ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΕΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ, ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΧΡΟΝΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥ-ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ Θ. ΤΗΛΙΓΑΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012 ΑΘΗΝΑ

Αφιερώνεται:

Στη σύζυγό μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη της διάβρωσης χαλύβδινων δοκιμίων προστατευμένων με οργανικές επικαλύψεις σε θαλάσσιες συνθήκες, καθώς και η πρόβλεψη της λειτουργικής ζωής του συστήματος χάλυβα – επικάλυψης. Περιλαμβάνει θέματα που σχετίζονται με το φαινόμενο της διάβρωσης, τις μεθόδους προστασίας που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό του και στοιχεία που αναφέρονται στην πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια από χάλυβα, υλικό το οποίο είναι ευρύτατα διαδεδομένο στη μηχανολογία. Τα δοκίμια προετοιμάστηκαν κατάλληλα για τη σωστή εφαρμογή των οργανικών επικαλύψεων και πραγματοποιήθηκαν πειράματα επιταχυνόμενης διάβρωσης σε περιβάλλον εμβάπτισης και αλατονέφωσης. Χρησιμοποιήθηκαν δύο αντιδιαβρωτικά χρώματα που βρίσκονται σε εξέλιξη για εμπορική χρήση. Με το αστάρι μετάλλων έγινε η πρώτη επίστρωση της επιφάνειας των δοκιμίων και με το δεύτερο χρώμα έγινε η τελική επικάλυψη των δοκιμίων. Επιπλέον μετρήθηκαν οι ηλεκτροχημικές παράμετροι για την πρόβλεψη της διάβρωσης κι έγινε μελέτη της επιφάνειας των δοκιμίων με οπτικές, φυσικές και ηλεκτρονικές μεθόδους.

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Φυσικοχημείας και Εφαρμοσμένης Ηλεκτροχημείας του τμήματος Χημικών Μηχανικών υπό την επίβλεψη και ανεκτίμητη βοήθεια της καθηγήτριας Ε.Μ.Π Παναγιώτας Βασιλείου. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή Ε.Μ.Π Θεόδωρο Κωστόπουλο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της διπλωματικής.

Οφείλω επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες στις υποψήφιες διδάκτορες Όλγα Παπαδοπούλου, Έλσα Γεωργιζά και Jelica Novakovic για τη βοήθεια τους κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και τις χρήσιμες συμβουλές τους.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2012

Ευστάθιος Τηλιγάδης

ABSTRACT

The present study examines the corrosion of steel specimens protected by organic coatings in marine conditions and the prediction of theoperational life of the system steel - coating. It includes subjects related to the phenomenon of corrosion, the methods of protection that are employed for its restriction and elements that are reported in the experimental process that was followed. .

For the experimental procedure there were used specimens from steel, a material which is widely widespread in engineering applications. The specimens were prepared for application of organic coatings and experiments of accelerating corrosion accelerated in environment of submersion and salt spray were realised. There were used two types of anticorrosive coatings. There were employed a primer on the steel outface and a top finishing coating. Furthermore the electrochemical parameters were measured for the forecast of corrosion and a study of the specimens by optical and electronic methods was followed.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : Διάβρωση……1
1.1 Ιστορική εξέλιξη……..1
1.2 Οικονομικές Επιπτώσεις……...……...2
1.3 Ορισμός της Διάβρωσης……..3
1.4 Είδη Διάβρωσης……..4
1.4.1 Είδη Διάβρωσης Ανάλογα με τα Αίτια που την προκαλούν……...4
1.4.2 Είδη Διάβρωσης Ανάλογα με τη μορφή εμφάνισης……...5
1.5 Παράγοντες που επιδρούν στη Διάβρωση……..8
1.6 Είδη διαβρωτικού περιβάλλοντος……...9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : Θερμοδυναμική της Διάβρωσης…… 11
2.1 Γενικά……11
2.2 Αποκατάσταση κατά Wagner γαλβανικού στοιχείου……...11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : Κινητική της Διάβρωσης……13
3.1 Γενικά……....13
3.2 Ηλεκτροχημικός μηχανισμός Wagner……...14
3.3 Μηχανισμός Χημικής Διάλυσης ……16
3.4 Μηχανισμός διάχυσης ιόντων στην εγκοπή και κατά μήκος του ενεργού δρόμου……..17
3.5 Μηχανισμός της εξάχνωσης……..18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : Προστασία από τη διάβρωση……..19
4.1 Γενικά……19
4.2 Μέθοδοι προστασίας……20
4.2.1 Καταπολέμηση του δυναμικού διάβρωσης……...20
4.2.2 Καταπολέμηση της έντασης του ρεύματος διάβρωσης……28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο : Αντιδιαβρωτικά Χρώματα Οργανικές Επικαλύψεις……30
5.1 Γενικά……....30
5.2 Ιδιότητες διαπερατότητας αντιδιαβρωτικών χρωμάτων……...30
5.3 Σύσταση των αντιδιαβρωτικών χρωμάτων……...34
5.4 Προετοιμασία της επιφάνειας……...35

5.5 Μέθοδοι επικάλυψης με αντιδιαβρωτικά χρώματα……...36
5.6 Διάβρωση κάτω από οργανικά επιστρώματα……36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο : Πειραματική Διαδικασία…….39
6.1 Γενικά……39
6.2 Περιγραφή δοκιμίων…….39
6.3 Πειραματικές διατάξεις……40
6.3.1 Αλατονέφωση……40
6.3.2 Εμβάπτιση……42
6.4 Αντιδιαβρωτικά επιστρώματα……...43
6.5 Ποσοστό στερεών χρώματος επί τις % κατά βάρος……..……43
6.6 Μέτρηση πάχους επιστρωμάτων……...46
6.7 Περιγραφή πειραμάτων……49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο : Αποτελέσματα Πειραμάτων και Συγκρίσεις……..53
7.1 Ηλεκτροχημικές μετρήσεις(πρόβλεψη για χρόνο λειτουργικής ζωής του συστήματος μετάλλου – επικάλυψης, μέθοδος TAFEL)…….53
7.2 Απώλεια βάρους δοκιμίων……56
7.3 Πείραμα εμβάπτισης και αλατονέφωσης σε δοκίμια χωρίς επίστρωμα….....56
7.3.1 Απώλεια βάρους δοκιμίων χωρίς επίστρωμα στην εμβάπτιση……....56
7.3.2 Απώλεια βάρους δοκιμίων χωρίς επίστρωμα στην αλατονέφωση……....59
7.3.3 Σύγκριση δοκιμίων εμβάπτισης και αλατονέφωσης χωρίς επίστρωμα….61
7.4 Πείραμα εμβάπτισης και αλατονέφωσης σε δοκίμια με επίστρωμα μίνιου…..62
7.4.1 Πείραμα εμβάπτισης- Δοκίμια με εμπορικό επίστρωμα μίνιου……62
7.4.2 Πείραμα αλατονέφωσης – Δοκίμια με εμπορικό επίστρωμα μίνιου…….64
7.5 Πείραμα εμβάπτισης και αλατονέφωσης σε δοκίμια με διπλό επίστρωμα…...66
7.5.1 Πείραμα εμβάπτισης- Δοκίμια με διπλό επίστρωμα……66
7.5.2 Πείραμα αλατονέφωσης- Δοκίμια με διπλό επίστρωμα……...76
7.6 Μέθοδος TAFEL……...85
7.7 Δοκιμή σε κρούση- Πίπτον βάρος……89
7.8 Μέτρηση πρόσφυσης επιστρώματος……91
Γενικά Συμπεράσματα……...93

Βιβλιογραφία……..96

1. Διάβρωση

1.1 Ιστορική εξέλιξη

Ο άνθρωπος στην προσπάθειά του για επιβίωση και για βελτίωση του βίου του επινοεί αντικείμενα που υπηρετούν τους σκοπούς του. Τα αντικείμενα αυτά έχουν ως πρώτη ύλη αρχικά την πέτρα, το ξύλο και τον πηλό, υλικά τα οποία συναντώνται ευρέως στη φύση. Με την πάροδο του χρόνου τιθασεύοντας τη φωτιά και θέλοντας να βελτιώσει τα εργαλεία του , ο άνθρωπος άρχισε να χρησιμοποιεί πιο εύχρηστα και πιο αποτελεσματικά υλικά. Έτσι ανακάλυψε και χρησιμοποίησε τα μέταλλα.

Τα πρώτα μέταλλα που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο ήταν ο χρυσός και ο χαλκός. Στη συνέχεια αναμειγνύοντας το χαλκό με τον κασσίτερο έφτιαξε τον ορείχαλκο, κράμα που είναι πολύ πιο στερεό και ανθεκτικό. Η χρήση του χαλκού σηματοδοτεί μία εποχή προόδου για τον άνθρωπο και έχει ονομασθεί από τους ερευνητές ως εποχή του χαλκού. Η επόμενη σημαντική επινόηση ήταν αυτή της χρήσης του σιδήρου, οπότε περνάμε στην εποχή του σιδήρου.

Ταυτόχρονα με τη χρήση των μετάλλων και των κραμάτων τους άρχισε να εμφανίζεται και το φαινόμενο της διάβρωσης, λόγω της φυσικής προδιάθεσης των μετάλλων να διαβρώνονται. Το φαινόμενο αυτό είχε αντιληπτό από τους αρχαίους Έλληνες, οι οποίοι κατασκευάζοντας εργαλεία και όπλα από χαλκό παρατήρησαν ότι μετά από ένα διάστημα έχαναν την στιλπνότητά τους. Σήμερα γνωρίζουμε ότι πρόκειται για οξείδια ή υδροξείδια του χαλκού που σχηματίζονταν επιφανειακά. Αυτό το αντιμετώπιζαν με επάλειψη της επιφάνειας των αντικειμένων με λάδι. Αυτή η μέθοδος δεν αντιμετώπιζε την αιτία του φαινομένου , αλλά τα αποτελέσματά του. Μεταγενέστεροι ιστορικοί όπως ο Ηρόδοτος και ο Πλούταρχος παρατηρούν και αναφέρονται στο φαινόμενο της διάβρωσης. Από τότε μόλις το 1958 ο Wagner απόδειξε και έδωσε την ερμηνεία του μηχανισμού της διάβρωσης.. Ωστόσο, από το 1900 μελετάται διεξοδικά, οπότε και έχουμε τη διατύπωση της κβαντικής θεωρίας από τον Plank, σύμφωνα με την οποία ένα σύστημα απορροφά ή εκπέμπει ενέργεια κατά ακέραια πολλαπλάσια των κβάντων ενέργειας. Από τα μέσα της δεκαετίας του είκοσι μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του τριάντα τέθηκαν οι βάσεις της θεωρίας της Αταξίας των Στερεών Σωμάτων που διαμορφώθηκε από τον Frenkel, Wagner και Schottky. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία υπάρχει η δυνατότητα αντίδρασης των στερεών σωμάτων ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Το 1958 ο Wagner

ολοκλήρωσε τη θεωρία της αταξίας και έδωσε την ερμηνεία του φαινομένου της διάβρωσης. Από τότε ένας μεγάλος αριθμός επιστημόνων βοήθησε ώστε να ερευνηθεί περαιτέρω το φαινόμενο της διάβρωσης, να προβλεφθεί η διάρκεια ζωής ενός μετάλλου και να αναπτυχθούν μέθοδοι προστασίας.

1.2 Οικονομικές Επιπτώσεις

Στην εποχή μας το φαινόμενο της διάβρωσης και το πρόβλημα της αντιμετώπισής της οξύνθηκε. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αυξανόμενη χρήση των μετάλλων και των κραμάτων σε κάθε είδους κατασκευές, στην αλματώδη ανάπτυξη της βιομηχανίας και στην αυξανομένη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Ο μεγαλύτερος αριθμός μετάλλων(εκτός π.χ του χρυσού , του λευκόχρυσου, του χαλκού) βρίσκονται στη φύση με τη μορφή ενώσεων, κυρίως οξείδια, δηλαδή έχουν σταθερή οξειδωμένη μορφή. Ο άνθρωπος για να τα εκμεταλλευτεί τα ορυκτά μέταλλα χρειάζεται να δαπανήσει ενέργεια , άρα και χρήματα, έτσι ώστε να αφαιρέσει το οξυγόνο που περιέχουν και να τα φέρει στη μορφή που επιθυμεί. Οπότε τα ενεργειακά αναβαθμισμένα μέταλλα που παίρνουμε έχουν την τάση να επανέλθουν στη φυσική τους μορφή, η οποία βρίσκεται σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη. Άρα η διάβρωση είναι ένα φυσικό φαινόμενο, το οποίο δεν μπορεί να αποφευχθεί παρά μόνο να περιορισθεί και να επιβραδυνθεί.

Η καταστροφή μεταλλικών κατασκευών, όπως γέφυρες, αγωγοί, πλοία, οχήματα κλπ, συνεπάγεται μεγάλο οικονομικό κόστος για συντήρηση, αντικατάσταση και απασχόληση εργατικού δυναμικού, με αποτέλεσμα να επιφέρει μεγάλες οικονομικές επιπτώσεις στην οικονομία μίας εταιρείας που τα χειρίζεται, ενός οργανισμού και κατεπέκταση μίας χώρας. Σύμφωνα με μία στατιστική του 1991 στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής οι ετήσιες ζημιές από διάβρωση ανέρχονται στα 75. 10^9 $. Και βάση μίας άλλης έρευνας στην ίδια χώρα, εταιρείες που είναι μέλη της N.A.C.E (National Association of Corrosion Engineers), είχαν ετήσια έξοδα σε προστατευτικά επιστρώματα 2.907.43$. Επίσης αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι το 40% των μετάλλων και των κραμάτων που παράγονται παγκόσμια, καταστρέφεται κάθε χρόνο από τη διάβρωση.

Η σημασία και οι συνέπειες του φαινομένου της διάβρωσης στην Ελλάδα αν και δεν έχουν αποτυπωθεί με νούμερα, ωστόσο υφίστανται τόσο σε ατομικό, εταιρικό όσο και σε εθνικό επίπεδο, λόγω του θαλάσσιου περιβάλλοντος της Ελλάδας, λόγω του ότι τα περισσότερα εργοστάσια βρίσκονται κοντά σε ακτές, εξαιτίας της έντονης

ρύπανσης του περιβάλλοντος. Αν αναλογιστούμε το ποσό των χρημάτων που δαπανάται για τη συντήρηση μεταλλικών αντικειμένων σε ατομικό επίπεδο και το ανάγουμε στη συνέχεια σε εθνικό, θα μπορέσουμε να καταλάβουμε το μεγάλο οικονομικό κίνητρο που υπάρχει για την περαιτέρω αντιμετώπιση της διάβρωσης.

1.3 Ορισμός της Διάβρωσης

Τα περισσότερα μέταλλα όπως αναφέραμε παραπάνω βρίσκονται στη φύση σε καθαρή αλλά σε οξειδωμένη μορφή. Τα μεταλλεύματα μετατρέπονται σε καθαρά μέταλλα με φυσικοχημικές κατεργασίες, όπως την αναγωγή. Ένα ποσό από την απαιτούμενη ενέργεια για την αναγωγή δεσμεύεται από το μέταλλο, το οποίο όταν βρεθεί ελεύθερο στο περιβάλλον έχει την τάση να απελευθερώσει με τη μορφή θερμότητας την ενέργεια που αποθήκευσε, ακολουθώντας έτσι το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, μεταπίπτοντας στη χαμηλότερη αρχική του ενεργειακή κατάσταση. Η διαδικασία αυτή αποτελεί την αιτία της διάβρωσης.

Ο όρος διάβρωση είναι γενικός και μπορεί να περιλαμβάνει υλικά, όπως το γυαλί, η πέτρα, τα πλαστικά κ.α. Ωστόσο αναφέρεται ιδιαίτερα στα μέταλλα.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετοί ορισμοί αποδεκτοί, άλλοι που δεν είναι πλήρεις κι άλλοι που εξυπηρετούν διάφορους πρακτικούς σκοπούς. Ο πιο αποδεκτός ορισμός ο οποίος προέκυψε στα πλαίσια της Διεθνούς Επιτροπής Θαλάσσιας Διάβρωσης και Ρύπανσης των Υφάλων Κατασκευών και Διεθνών Συνεδρίων είναι ο εξής: << Διάβρωση λέγεται κάθε αυθόρμητη, κατ’επέκταση εκβιασμένη ηλεκτροχημικής, κατ’επέκταση χημικής, κατ’επέκταση μηχανικής, κατ’επέκταση βιολογικής φύσης αλλοίωση της επιφάνειας των μετάλλων και των κραμμάτων που οδηγεί σε απώλεια υλικού >>.

Ο ίδιος ορισμός αναφέρεται, εκτός από τα μέταλλα και τα κράματα, και για οποιοδήποτε άλλο υλικό, με την επισήμανση ότι σε αυτά υπερέχει η αλλοίωση φυσικής ή χημικής φύσης ως προς την ηλεκτροχημική (π.χ πολυμερή) και μεγαλώνει η αλλοίωση βιολογικής φύσης(π.χ. ξύλο, πέτρα). Οι έννοιες που περιέχονται στον ορισμό επεξηγούνται παρακάτω:

α. Αυθόρμητη αλλοίωση : Το φαινόμενο της διάβρωσης είναι αυθόρμητο φαινόμενο και εκδηλώνεται από υψηλότερη προς χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη, όπως αναφέρεται και στο δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο. Η αυθόρμητη αλλοίωση περιέχει την έννοια της πραγματοποίησης της διάβρωσης σε φυσικό διαβρωτικό περιβάλλον (συνήθεις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας)

β. Εκβιασμένη αλλοίωση : Στην περίπτωση, αυτή η διάβρωση είναι θερμοδυναμικά αυθόρμητη, αλλά λόγω έντονου τεχνητού διαβρωτικού περιβάλλοντος, επιταχύνεται. Ως τέτοιο περιβάλλον μπορεί να θεωρηθεί οι χημικές ουσίες, η υψηλή θερμοκρασία, η ραδιενέργεια, η ανοδική ηλεκτρική φόρτιση. Άρα η διαφορά της από την αυθόρμητη διάβρωση έγκειται στην ταχύτητα διάβρωσης και στην πιθανή αλλαγή του είδους της (όταν εκβιαστεί).

γ. Διάκριση μεταξύ ηλεκτροχημικής και χημικής φύσης αλλοίωσης : Στις ηλεκτροχημικές δράσεις παίρνει μέρος ηλεκτρικό ρεύμα. Στις χημικές δράσεις υπάρχει οξειδοαναγωγικό στάδιο κατά το οποίο γίνεται ανταλλαγή ηλεκτρονίων. Το φαινόμενο της διάβρωσης είναι κυρίως ηλεκτροχημικό.

δ. Μηχανική αλλοίωση : Θεωρείται κάθε επιφανειακή μηχανική κάκωση, λόγω τριβών, κρούσεων, επίδρασης ροής των ρευστών ή και εξάχνωσης (λόγω υποπίεσης). Στη μηχανική αλλοίωση κατατάσσεται και η ψηγματοβολή που χρησιμοποιούμε για τον καθαρισμό των μεταλλικών επιφανειών από τα οξείδια, καθώς και η κρούση αιωρούμενων σωματιδίων πάνω στα μέταλλα που τα αποξύνουν μηχανικά.

ε. Βιολογική αλλοίωση : Προκαλείται από μικροοργανισμούς (φυτικούς ή ζωικούς), οι οποίοι προκαλούν με τις εκκρίσεις τους διάβρωση των μετάλλων, όπως π.χ. συμβαίνει στα ύφαλα των πλοίων.

στ. Αλλοίωση επιφάνειας : Εννοείται η αλλοίωση της πραγματικής επιφάνειας. Ως πραγματική δεν εννοείται μόνο η σχηματική, αλλά και η γεωμετρική που σε αυτήν ανήκουν οι επιφανειακές ανωμαλίες, οι πόροι, τα ενεργά κέντρα και οι ενεργοί δρόμοι από αταξίες δομής.

ζ. Απώλεια υλικού : Θεωρείται η απώλεια ως προς την αρχική μορφή (μέταλλο-οξείδιο) του υλικού και όχι απαραίτητα η απώλεια μάζας του υλικού.

1.4 Είδη Διάβρωσης

1.4.1 Είδη Διάβρωσης ανάλογα με τα αίτια που την προκαλούν

Η διάβρωση βάση των αιτίων που την προκαλούν διακρίνεται στις επαρακάτω κατηγορίες:

- Ηλεκτροχημική διάβρωση
- Χημική διάβρωση
- Μηχανική διάβρωση
- Βιολογική διάβρωση

α. Ηλεκτροχημική διάβρωση: Είναι το είδος της διάβρωσης που συναντάμε πιο συχνά κι έχει ως χαρακτηριστικό την παρουσία δυναμικού μεταξύ πρώτον, του μετάλλου και περιβάλλοντος και δεύτερον μεταξύ περιβάλλοντος και θέσεων πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου με διαφορετικό δυναμικό. Η πρώτη οφείλεται στην προδιάθεση του μετάλλου να υποβαθμιστεί ενεργειακά και η δεύτερη (τοπικά γαλβανικά στοιχεία) μπορεί να προέρχεται από αταξίες της δομής, ανωμαλίες του κρυσταλλικού πλέγματος κ.λ.π.

Το χαρακτηριστικό της ηλεκτροχημικής πορείας της διάβρωσης είναι η μετακίνηση ιόντων και ηλεκτρονίων μέσω της οριακής επιφάνειας του μετάλλου προς το διαβρωτικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού και ροής ρεύματος.

β. Χημική Διάβρωση: Είναι το είδος της διάβρωσης όπου έχουμε προσβολή του μετάλλου από χημική ένωση και αλλοίωση της επιφάνειας λόγω χημικών αντιδράσεων. Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι η οξειδοαναγωγική δράση τελείται σε ένα κλειστό χημικό σύστημα και τα ηλεκτρόνια δεν οδεύουν μέσα στο μέταλλο. Το αποτέλεσμα της χημικής διάβρωσης είναι συνήθως μια ομοιόμορφη διάλυση της επιφάνειας του μετάλλου.

γ. Μηχανική (φυσική) διάβρωση: Λόγω της τριβής προκαλείται φθορά της επιφάνειας του μετάλλου με αποτέλεσμα την απομάκρυνση μερών της με μηχανικό τρόπο.

δ. Βιολογική διάβρωση: Πρόκειται για την επίδραση φυτικών και ζωικών μικροοργανισμών που προσκολλώνται στο μέταλλο και το διαβρώνουν με τις εκκρίσεις τους.

1.4.2 Είδη διάβρωσης ανάλογα με τη μορφή εμφάνισης.

α. Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση: Όταν στην επιφάνεια του μετάλλου ή του κράματος έχουμε τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου και σχεδόν ισόπαχου στρώματος προϊόντος διάβρωσης ή όταν πραγματοποιείται μία περίπου ομοιόμορφη διάλυση της επιφάνειας.

Μέτρο της ομοιόμορφης προσβολής είναι η απώλεια πάχους ανά μονάδα χρόνου (χρησιμοποιείται κυρίως στην Αμερική κι έχει μονάδα μέτρησης το ipy-ίντσες ανά έτος) και η απώλεια βάρους του μετάλλου ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας (χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη κι έχει μονάδα μέτρησης σε mdd-mg ανά dm^2 και ημέρα).

β. Διάβρωση με βελονισμούς. Όταν έχουμε εκλεκτικό τοπικό σχηματισμό του προϊόντος διάβρωσης ή όταν δημιουργούνται κρατήρες, εσοχές ή σπήλαια. Η διάβρωση αυτή αποτελεί τη πιο συνηθισμένη μορφή, αφού εμφανίζεται και στα επιμέρους στάδια όλων σχεδόν των άλλων γενικών μορφών διάβρωσης. Σε αυτό το είδος διάβρωσης και στο μηχανισμό Wagner οφείλεται ο σχηματισμός προϊόντων διάβρωσης πάνω από τις προστατευτικές επικαλύψεις (π.χ τα χρώματα). Αποτελεί την πιο επικίνδυνη διάβρωση γιατί δε γίνεται έγκαιρα αντιληπτή και οδηγεί σε καταστροφή των μεταλλικών κατασκευών σε μικρό χρονικό διάστημα.

γ. Ψαθυρή θραύση από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση: Οφείλεται στη συνδυασμένη δράση, άλλοτε ταυτόχρονα και άλλοτε διαδοχικά, του διαβρωτικού περιβάλλοντος και των μηχανικών κακώσεων που μπορεί να δημιουργηθούν στην επιφάνεια ενός τμήματος της μηχανής ή της εγκατάστασης που καταπονείται μηχανικά. Μπορεί να εμφανιστεί ακόμη και για φορτίσεις της τάξης του 10% του ορίου θραύσης. Όταν μία μηχανική φόρτιση είναι κάτω από ένα όριο, τότε δεν πραγματοποιείται θραύση, αλλά επιταχύνεται η διάβρωση(stress corrosion). Πάνω από ένα όριο φόρτισης η θραύση είναι καθαρά μηχανική(stress cracking).

Τα στάδια που ακολουθεί είναι τα ακόλουθα:

- Το στάδιο δημιουργίας εσοχής από διάβρωση με βελονισμούς,
- Το στάδιο εκκόλαψης, που κατά τη διάρκεια της το βάθος εσοχής δε μεταβάλλεται αισθητά, και
- Το στάδιο γρήγορης προώθησης της ρωγμής και θραύσης.

δ. Σπηλαιώδης μηχανική διάβρωση: Το είδος αυτό είναι καθαρά μηχανικό. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην τάση της στατικής πίεσης τοπικά σε μία περιοχή της ροής, να γίνει μικρότερη από την πίεση ατμοποίησης του υγρού, οπότε αυτό ατμοποιείται. Και στη συνέχεια την απότομη επανυγροποίηση των θυλάκων ατμού, που αντιστοιχεί στην ανάπτυξη έντονων κρουστικών υπερπιέσεων. Μετά από μακροχρόνια ανάπτυξη του φαινομένου στην επιφάνεια του υλικού αναπτύσσονται

τρύπες, που οφείλονται στη σταδιακή αφαίρεση των κόκκων, και η επιφάνεια αποκτά σπογγώδη μορφή.

Εάν ο κλασσικός χυτοσίδηρος (GG-25) βαθμολογηθεί με δείκτη 1 που εκφράζει την απώλεια μάζας λόγω σπηλαίωσης, τα υπόλοιπα συνήθη υλικά χαρακτηρίζονται από τους ακόλουθους δείκτες:

Υλικό	Δείκτης Φθοράς
Χυτοσίδηρος (GG-25)	1,0
Χυτοχάλυβας (GS-C25)	0,80
Ορείχαλκος (G-CuSn10)	0,50
Χρωμιούχος χάλυβας (G-X20Cr14)	0,20
Σύνθετος ορείχαλκος (G-AlBz10Fe)	0,10
Χρωμιονικελιούχος χάλυβας (G-X6CrNi189)	0,05

Σύμφωνα με τον προηγούμενο πίνακα ο ανοξείδωτος χρωμιονικελιούχος χάλυβας είναι κατά 20 φορές πιο ανθεκτικός στη φθορά από σπηλαίωση από ότι ο κοινός χυτοσίδηρος GG-25.

Εικόνα 1.1: Σπηλαιώδη Μηχανική Διάβρωση στην πτερωτή αντλίας

Από τα προαναφερθέντα είδη διάβρωσης πιο επικίνδυνα θεωρούνται η διάβρωση με βελονισμούς και η ψαθυρή θραύση από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση, γιατί με μικρή απώλεια υλικού μπορούν να καταστρέψουν τις επιφάνειες των μετάλλων.

1.5 Παράγοντες που επιδρούν στη διάβρωση: Οι παρακάτω παράγοντες επηρεάζουν κυρίως την ταχύτητα εξέλιξης του φαινομένου της διάβρωσης:

α. Επίδραση της τριεπιφάνειας: Αυτό είναι ένα γενικό φαινόμενο της διάβρωσης των μετάλλων και των κραμάτων εμφανίζεται σε κάθε περίπτωση τριεπιφάνειας, π.χ. σε μεταλλικούς σωλήνες μεταφοράς νερού, στους οποίους έχει διεισδύσει αέρας, όπως στο δίκτυο των καλοριφέρ. Στο παράδειγμα αυτό η τριεπιφάνεια είναι ο αέρας-το νερό-το μέταλλο. Άλλα παραδείγματα τριεπιφάνειας είναι μέταλλο ή κράμα-το έδαφος-ο αέρας, το μέταλλο ή κράμα-το σκυρόδεμα-ο αέρας, το μέταλλο ή κράμα-το νερό(γλυκό ή θαλασσινό)-το έδαφος. Η διεργασία αυτή δημιουργείται αφενός μεν λόγω αύξησης της πυκνότητας ρεύματος του ηλεκτροστατικού πεδίου που αναπτύσσεται και αφετέρου δε λόγω δημιουργίας γαλβανικού στοιχείου κατά την επαφή του μετάλλου με άλλο καθοδικότερο, που συνεπάγεται έντονη τοπική διάλυση του ανοδικότερου μετάλλου.

β. Επίδραση της αγωγιμότητας του διαβρωτικού περιβάλλοντος: Όσο η αγωγιμότητα του διαβρωτικού περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη τόσο και η διάβρωση είναι μεγαλύτερη. Όσο πιο όξινο είναι το περιβάλλον(μικρό pH) τόσο πιο έντονη είναι η διάβρωση, λόγω αύξησης της αγωγιμότητας(αύξηση των OH- και των H3O+) είτε λόγω διάλυσης των μετάλλων, των κραμάτων και των οξειδίων.

γ. Επίδραση της εναλλαγής του διαβρωτικού περιβάλλοντος: Αναφέρεται στην εναλλαγή του διαβρωτικού περιβάλλοντος ή και των ιδιοτήτων του (θερμοκρασία, αγωγιμότητα, pH, σύσταση) του ίδιου του περιβάλλοντος. Παραδείγματα τέτοιων εναλλαγών είναι η εναλλασσόμενη πλήρωση δεξαμενών με διαφορετικά υγρά, η εναλλασσόμενη διοχέτευση διαφορετικών υγρών μέσα από σωλήνες, χρησιμοποίηση μηχανημάτων σε διαφορετικό διαβρωτικό περιβάλλον (π.χ. εξωλέμβιες μηχανές). Οι εναλλαγές αυτές προκαλούν εντονότερες διαβρώσεις, παρά η παραμονή των υλικών σε σταθερές συνθήκες, έστω και περισσότερο διαβρωτικές.

δ. Επίδραση πλαστικών και ελαστικών παραμορφώσεων: Πλαστικές παραμορφώσεις ή πρόσθετες αταξίες δομής, που δημιουργήθηκαν με μηχανική ή θερμική κατεργασία, μεγαλώνουν τη διάβρωση, γιατί οδηγούν σε τοπική ανοδικοποίηση και άρα σε τοπικά γαλβανικά στοιχεία.

ε. Επίδραση της θερμοκρασίας: Η αύξηση της θερμοκρασίας γενικά αυξάνει την ταχύτητα της διάβρωσης, λόγω της αύξησης της κινητικότητας των ατόμων.

στ. Επίδραση της υγρασίας: Η παρουσία και η αύξηση της υγρασίας εντείνει το φαινόμενο της διάβρωσης.

ζ. Επίδραση διαφυγόντων ρευμάτων: Πρόκειται για τα ρεύματα που κυκλοφορούν στο έδαφος, στους τοίχους, τις κατασκευές ή και τα νερά, έξω από τα υπάρχοντα κυκλώματα, λόγω διαφυγής τους. Η διαδρομή που ακολουθούν καθορίζεται από την αρχή διότι το ηλεκτρικό ρεύμα ακολουθεί τη διαδρομή με τη μικρότερη αντίσταση. Ιδιαίτερα έντονα διαβρωτικά φαινόμενα παρουσιάζονται στα σημεία που τα ηλεκτρόνια εγκαταλείπουν τις μεταλλικές επιφάνειες. Άρα τα διαφυγόντα ρεύματα 9όταν δεν υπάρχει γείωση) μεγαλώνουν τη διάβρωση.

η. Επίδραση γεωμετρικών ανωμαλιών: Μακροσκοπικές ανωμαλίες, όπως ύπαρξη προεξοχών στην επιφάνεια, εμφάνιση κόκκων από την ψηγματοβολή ή από οποιοδήποτε άλλο υλικό ή ακαθαρσία και μικροσκοπικές ανωμαλίες, όπως διαφοροποιήσεις στη χημική σύσταση, γεωμετρικά ενεργά κέντρα λόγω αταξίας στη φύση του υλικού ή της επεξεργασίας του, προκαλούν τοπικά γαλβανικά στοιχεία και εντείνουν το φαινόμενο της διάβρωσης.

1.6 Είδη διαβρωτικού περιβάλλοντος

Το διαβρωτικό περιβάλλον οδηγεί σε ποσοτική διαφορά από την άποψη της ταχύτητας της διάβρωσης, αλλαγής του μηχανισμού διάβρωσης και των αποτελεσμάτων της διάβρωσης. Διακρίνουμε τα παρακάτω είδη διαβρωτικού περιβάλλοντος:

α. Ατμοσφαιρικό: Η ατμόσφαιρα με την περιεκτικότητά της σε οξυγόνο και υγρασία, σε συνδυασμό με το αν το περιβάλλον είναι αστικό(έντονοι ρύποι και σωματίδια που λειτουργούν ως πυρήνες υγροποίησης), θαλάσσιο(NaCl στο περιβάλλον, βιομηχανικό, αγροτικό ή συνδυασμός τους, εντείνει το φαινόμενο της διάβρωσης.

Στην κατηγορία αυτή μπορούμε να εντάξουμε και τα διάφορα θερμά αέρια, των οποίων η διαβρωτική δράση οφείλεται καταρχήν στη χημική τους σύσταση και ενισχύεται από τις ψηλές θερμοκρασίες ή τις μεγάλες ταχύτητες ροής. Δρουν διαβρωτικά τόσο στο χώρο παραγωγής τους όσο και στο χώρο που ρυπαίνουν, π.χ. το θειικό οξύ που δημιουργείται διαβρώνει $SO_2+H_2O \rightarrow SO_3 \rightarrow H_2SO_4$

$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$ & $SO_3(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_4(aq)$

β. Υγρό: Σε αυτή περιλαμβάνεται η διάβρωση σε γλυκό νερό, όπου η διαβρωτική δράση οφείλεται στο διαλυμένο σε αυτό οξυγόνο, στα διαλυμένα άλατα, στην τιμή του ph, σε αιωρούμενα σε αυτό σωματίδια και μικροοργανισμούς. Και η διάβρωση σε υφάλμυρο νερό, όπου η διαβρωτική δράση οφείλεται στην

περιεκτικότητα του νερού σε άλατα, στο διαλυμένο σε αυτό οξυγόνο και στην ύπαρξη μικροοργανισμών.

γ. Στερεό: Σε αυτό ανήκει το έδαφος, του οποίου η διαβρωτική δράση οφείλεται στην ύπαρξη υγρασίας, διαλυμένων αλάτων, διαφόρων μικροοργανισμών και την αγωγιμότητα. Μία κατασκευή που είναι θαμμένη σε κάποιο στερεό, όπως δεξαμενές καυσίμων αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αντικειμένων που υφίστανται διάβρωση σε στερεό περιβάλλον.

Κλείνοντας θα πρέπει να τονίσουμε τη μεγάλη σημασία που έχει η γνώση του περιβάλλοντος, για να ξέρουμε πως θα προστατέψουμε την κατασκευή μας, π.χ σε περιβάλλον με όξινη βροχή εάν έχουμε μικρό pH, μπορούμε να το αυξήσουμε έτσι ώστε να την εξουδετερώσουμε.

2. Θερμοδυναμική της Διάβρωσης

2.1 Γενικά

Με τη θερμοδυναμική εξέταση της διάβρωσης προσδιορίζονται τα αίτιά της, οι συνθήκες πραγματοποίησής της, οι μακροσκοπικές συνθήκες που την επηρεάζουν και το ποσό ενέργειας που ανταλλάσσεται κατά τη διάρκειά της.

Όλα τα μέταλλα, εκτός από ορισμένες περιπτώσεις, όπως ο χρυσός, λευκόχρυσος, άργυρος και χαλκός, τα οποία βρίσκονται στη φύση σε καθαρή μορφή, παραμένουν σταθερά και διατηρούν τις ιδιότητές τους και μετά την εξόρυξη, πρόκειται για τα λεγόμενα ευγενή μέταλλα, βρίσκονται στη φύση με τη μορφή ενώσεων, κυρίως οξείδια, και αποτελούν τα ορυκτά. Τα συνηθέστερα ορυκτά είναι τα οξείδια, τα θειούχα, τα θειικά, τα ανθρακικά και τα χλωριούχα άλατα. Για να πάρουμε τα μέταλλα σε καθαρή μορφή και έτοιμα προς εκμετάλλευση χρησιμοποιούνται κατάλληλες αναγωγικές δράσεις, όπως πρόσληψη ηλεκτρονίων και αφαίρεση οξυγόνου. Για τη μετατροπή αυτή απαιτείται η δαπάνη ενέργειας, γιατί πρόκειται για μία πράξη αντίστροφη από την αυθόρμητη και φυσική. μέρος της ενέργειας αυτής αποθηκεύεται στα μέταλλα που παράχθηκαν με τη μορφή εντροπίας (ΔS) και ελεύθερης ενέργειας (ΔF), κι έτσι αυξάνεται η εσωτερική τους ενέργεια(ΔU).

Οπότε τα μέταλλα αναγόμενα στη μεταλλική τους μορφή είναι ενεργειακά αναβαθμισμένα υλικά σε σχέση με τις πρώτες ύλες τους, οπότε έχουν την προδιάθεση να υποβαθμιστούν ενεργειακά, σύμφωνα με το 2ο θερμοδυναμικό νόμο και να επανέλθουν στη φυσική και σταθερή οξειδωμένη τους μορφή, με ταυτόχρονη απομάκρυνση θερμότητας. Η προδιάθεση αυτή των μετάλλων και κραμάτων αποτελεί το αίτιο της διάβρωσης.

Σημειώνεται ότι για την έναρξη της διαβρωτικής δράσης σε συνηθισμένες συνθήκες αρκεί να προσφερθεί ενέργεια μέσω ηλεκτρικής τάσης που θα είναι ανάλογη του είδους του μετάλλου της τάξης του 340 έως 390 mV για δισθενή μέταλλα και 230 έως 289 mV για τρισθενή μέταλλα.

2.2 Αποκατάσταση κατά Wagner γαλβανικού στοιχείου

Ο Wagner δέχθηκε ότι μεταξύ των μετάλλων ή κραμάτων και του διαβρωτικού περιβάλλοντος δημιουργείται αυθόρμητα δυναμικό γαλβανικού στοιχείου με

αρνητικό πόλο (άνοδο) το μέταλλο ή το κράμα και θετικό πόλο (κάθοδο) το διαβρωτικό περιβάλλον και ηλεκτρολύτη το προϊόν διάβρωσης.

Το φαινόμενο αυτό μπορεί να συμβεί και μεταξύ δύο διαφορετικών σωμάτων που βρίσκονται σε ηλεκτρική επαφή και μέσα σε ισχυρό διαβρωτικό περιβάλλον (π.χ. νερό). Τότε αρνητικός πόλος θα είναι το ένα μέταλλο ή κράμα (το ανοδικότερο), θετικός πόλος το άλλο και ηλεκτρολύτης το διαβρωτικό περιβάλλον. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων που βρίσκονται μέσα στο νερό, εξαιτίας της οποίας προκαλείται ροή ρεύματος οφείλεται σε πολλά αίτια. Έτσι εκτός από την περίπτωση μετάλλων με διαφορετικό δυναμικό, διαφορές δυναμικού μπορούν να παρατηρηθούν στο ίδιο μέταλλο μεταξύ διαφορετικών επιφανειών κόκκων λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας, σύστασης ή αερισμού.

Κατά τη λειτουργία γαλβανικού στοιχείου σε ηλεκτρολύτη, π.χ. θαλασσινό ή γλυκό νερό, έχουμε διάλυση (φθορά) του μετάλλου της ανόδου με μορφή ιόντων. Τα ηλεκτρόνια απελευθερώνονται και ρέουν δια μέσω του μετάλλου στην κάθοδο (διαβρωτικό περιβάλλον), όπου δεσμεύονται από τα ιόντα ή το οξυγόνο. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου ονομάζεται δυναμικό διάβρωσης, το οποίο μπορεί να ενισχυθεί από τα τοπικά γαλβανικά στοιχεία, που δημιουργούνται στην επιφάνεια των μετάλλων ή των κραμάτων:

α. Από πρόσμιξη αγενέστερου μετάλλου.

β. Από πρόσμιξη ευγενέστερου ή παθητικότερου μετάλλου ή από μη μεταλλική πρόσμιξη.

γ. Από γεωμετρικές αταξίες δομής.

δ. Από ενδόκοκκες αταξίες δομής.

ε. Από διαφορετικό αερισμό.

Το δυναμικό διάβρωσης ενισχύεται ακόμη από την υγρασία.

Τα δυναμικά που δημιουργούνται ανάμεσα στο μέταλλο και το διαβρωτικό περιβάλλον σε συνηθισμένη θερμοκρασία βρέθηκε ότι είναι χωρίς υγρασία 320-450 mV, ενώ για μέταλλα που έχουν υποστεί επεξεργασία (δεν έχουν ενεργά κέντρα) είναι 250-350 mV.

Η πραγματική θερμοκρασία έναρξης της διάβρωσης των μετάλλων και των κραμάτων είναι η συνηθισμένη, με την προϋπόθεση να διεγερθούν με μια τάση 230-390 mV. Η τάση αυτή μπορεί να προσφερθεί αυτόματα με τη δημιουργία γαλβανικού στοιχείου, ανάμεσα στο μέταλλο και το διαβρωτικό περιβάλλον.

3. Κινητική της Διάβρωσης

3.1 Γενικά

Η θερμοδυναμική εξέταση της διάβρωσης μας έδωσε μακροσκοπικές πληροφορίες για τις συνθήκες που την επηρεάζουν, τα αίτια της της διάβρωσης και τη μορφή και την ποσότητα της ενέργειας που ανταλλάσσεται. Δεν μας παρέχει πληροφορίες για την ταχύτητα με την οποία πραγματοποιείται, ωστόσο αποτελεί τη βάση για την κατανόηση της κινητικής (ταχύτητες και μηχανισμοί) της διάβρωσης.

Σκοπός της κινητικής της διάβρωσης είναι η αποκάλυψη του μικροσκοπικού μηχανισμού μιας φυσικής ή χημικής δράσης, δηλαδή ο εντοπισμός του πιο αργού σταδίου της δράσης, που επιβάλλει την ταχύτητά του και τις συνθήκες πραγματοποίησης του σε όλο το φαινόμενο. Γνωρίζοντας τις συνθήκες αυτές μπορούμε να επιβραδύνουμε το φαινόμενο.

Η κινητική εξέταση της διάβρωσης, σε αντίθεση με τη θερμοδυναμική, που είναι μακροσκοπική, πριν τη θεωρία Wagner. θα έπρεπε να γίνει ως εξής:

α. Από τον ορισμό της διάβρωσης και τις διευκρινίσεις που δόθηκαν γι’αυτόν, δηλαδή αυθόρμητη-εκβιασμένη, ηλεκτροχημικής-μηχανικής φύσης.

β. Από το είδος του διαβρωτικού περιβάλλοντος, δηλαδή χωρίς-με υγρασία, χωρίς- με ρύπανση, ψηλές-χαμηλές θερμοκρασίες.

γ. Από το είδος των δράσεων, που πραγματοποιούνται, δηλαδή οξείδωση-τοπική αναγωγή, σχηματισμός προϊόντος διάβρωσης-διάλυση.

δ. Από το είδος της διάβρωσης, δηλαδή ομοιόμορφη, με βελονισμούς, με μηχανική καταπόνηση που οδηγεί σε ψαθυρή θραύση, σπηλαιώδης μηχανική.

ε. Από την κλίμακα, εργαστηριακή-προ ημιβιομηχανική-ημιβιομηχανική.

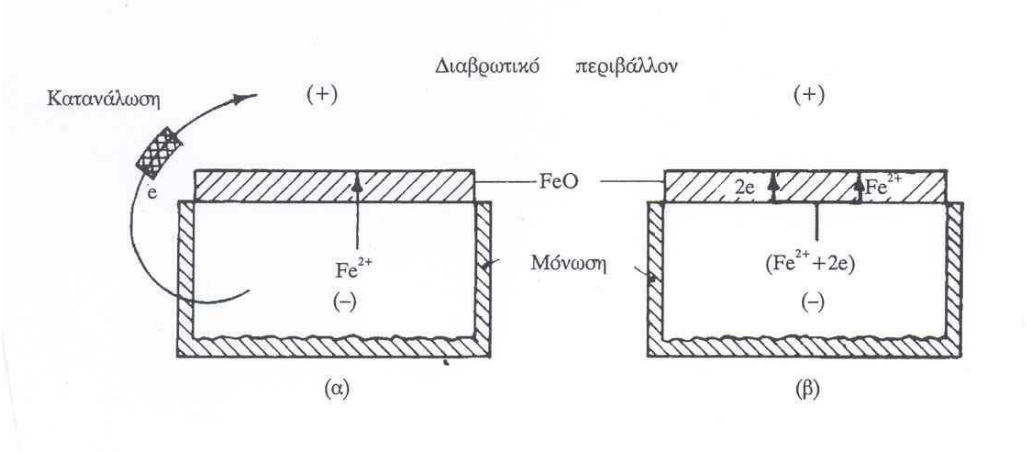
Η θεωρία της Αταξίας και η θεωρία του Wagner οδήγησαν τους επιστήμονες στην ενοποίηση ομάδων περιπτώσεων. Έτσι αν εξαιρέσουμε τη σπηλαιώδη μηχανική διάβρωση και την ψαθυρή θραύση από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση, όλες οι περιπτώσεις που προκύπτουν από συνδυασμούς των παραπάνω ανάγονται ποιοτικά στους εξής μηχανισμούς: τον ηλεκτροχημικό, το χημικό, το μηχανισμό εξάχνωσης(σπηλαιώδης μηχανική διάβρωση) και το μηχανισμό ψαθυρής θραύσης από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση.

Η εκλογή των μεθόδων προστασίας(ποιοτικά) και οι συνθήκες με αυτές θα εφαρμοστούν οι μέθοδοι (ποσοτικά), εξαρτώνται από το είδος της διάβρωσης,

γεγονός που επιβάλλει την εξέταση της κινητικής καθενός από τα παραπάνω είδη μηχανισμών ξεχωριστά.

3.2 Ηλεκτροχημικός μηχανισμός Wagner

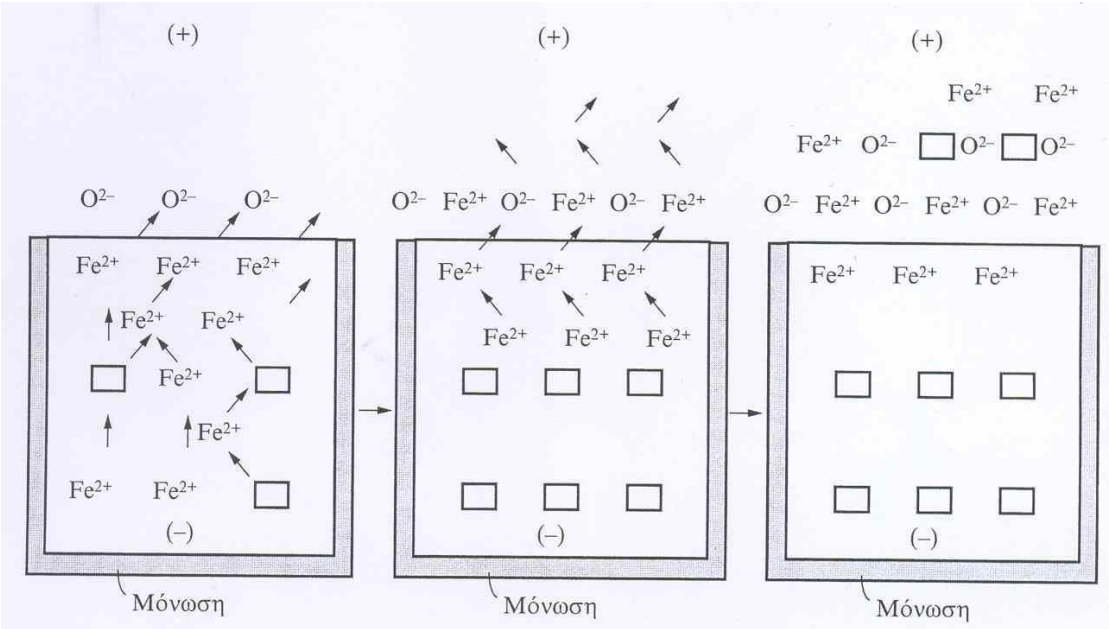
Όπως προαναφέραμε μεταξύ του μετάλλου και του διαβρωτικού περιβάλλοντος δημιουργείται γαλβανικό στοιχείο, με το μέταλλο να αποτελεί την άνοδο, το περιβάλλον την κάθοδο και ηλεκτρολύτη το προϊόν της διάβρωσης. Το δυναμικό του γαλβανικού αυτού στοιχείου επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρονίων από τον αρνητικό πόλο στο θετικό. Η αποκατάσταση γαλβανικού στοιχείου ανάμεσα στο μέταλλο και το διαβρωτικό περιβάλλον και που ενισχύεται από τοπικά γαλβανικά στοιχεία , οδηγεί στην αρχή στην κάλυψη της επιφάνειας του μετάλλου με στρώμα προϊόντος αντίδρασης λίγων μορίων.



Σχήμα 3.1: Όδευση ηλεκτρονίων σε εσωτερικά βραχυκυκλωμένο γαλβανικό στοιχείο.

Αριθμός μεταλλικών ιόντων στο μέταλλο και στο προιόν διάβρωσης μετατοπίζεται σε παραπλεγματικές άτακτες θέσεις. Τα θετικά ιόντα σε άτακτες θέσεις είναι ευκίνητα και υπακούοντας στους νόμους των γαλβανικών στοιχείων, που επιβάλλει την κίνηση των θετικών ιόντων προς τον θετικό πόλο, διαχέονται προς το διαβρωτικό περιβάλλον μέσα από τις άτακτες θέσεις του οξειδίου και στην επιφάνειά του δομούν νέο οξείδιο. Επομένως κατά τη διάβρωση δημιουργείται ένα εσωτερικά βραχυκυκλωμένο γαλβανικό στοιχείο, κι αυτό επειδή δεν υπάρχει εξωτερική κατανάλωση τα ηλεκτρόνια οδεύουν προς το θετικό πόλο εσωτερικά. Τα άτακτα ιόντα του οξειδίου, που καταναλώθηκαν εξαιτίας της αντίδρασης στην επιφάνεια,

αντικαθιστούνται από άτακτα ιόντα του εσωτερικού του οξειδίου. Τα άτακτα ιόντα του οξειδίου, σε επαφή με το μέταλλο, που έφυγαν, αντικαθιστούνται από άτακτα ιόντα γειτονικά στην επιφάνεια του μετάλλου κι αυτά από άτακτα ιόντα του εσωτερικού του. Ο αριθμός των άτακτων ιόντων είναι μικρότερος από εκείνον που καταναλίσκεται εξαιτίας της αντίδρασης, έτσι ιόντα από τακτικές θέσεις πάνε σε άτακτες θέσεις. Έτσι μπορεί να καταναλωθεί όλο το μέταλλο. Σύμφωνα με τα παραπάνω το προϊόν της διάβρωσης που σχηματίζεται στη διεπιφάνεια μετάλλου-διαβρωτικού περιβάλλοντος προχωράει προς το διαβρωτικό περιβάλλον, καθώς επίσης και το μέταλλο προς το διαβρωτικό περιβάλλον. Με αποτέλεσμα τη διόγκωση κατά τη διάβρωση.



Σχήμα 3.2: Κατά Wagner μηχανισμός αύξησης του πάχους του προϊόντος διάβρωσης.

Για πάχος μέχρι 1000 Å, η ταχύτητα διάδοσης του στρώματος του προϊόντος της διάβρωσης δίνεται από τη σχέση:

$$y^3=Kt$$

όπου y: το πάχος των προϊόντων της διάβρωσης, K: σταθερή της ταχύτητας και t: χρόνος.

Για πάχος πάνω από 1000 Å ισχύει η σχέση:

$$y^2=Kt$$

που ονομάστηκε από τον Wagner anlaufparabel, μεταφρασμένη ονομάζεται παραβολή εξάνθησης, και χαρακτηρίζει συχνά τις ετερογενείς αντιδράσεις όπως η διάβρωση, στις στις οποίες συμμετέχει στερεό σώμα.

Η σταθερά της ταχύτητας δίνεται από τη σχέση:

$$K=2\cdot E_\delta\cdot\mu_+\cdot\mu_e\cdot u\cdot V_M / n_e\cdot F'$$

Όπου E_δ το δυναμικό διάβρωσης, μ_+ ο αριθμός μεταφοράς ιόντων του μετάλλου, μ_e ο αριθμός μεταφοράς ηλεκτρονίων, u η ολική ειδική αγωγιμότητα, V_M ο μοριακός όγκος του οξειδίου, η_e όν ηλεκτρονίων και η σταθερά F′= 96500 Cb.

3.3 Μηχανισμός χημικής διάλυσης

Ο μηχανισμός αυτός ισχύει για την ομοιόμορφη χημική προσβολή στερεών από υγρά και περιλαμβάνεται στο γενικό μηχανισμό των διαλύσεων σε υγρά. Στο μηχανισμό αυτό το βραδύτερο στάδιο είναι είτε η διάχυση σε διάλυμα των ιόντων ή των μορίων του διαβρωτικού μέσου προς την επιφάνεια του μετάλλου, είτε η διάχυση σε διάλυμα των προϊόντων της διάβρωσης προς το εσωτερικό του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Στην πρώτη περίπτωση ισχύει η σχέση:

$$y^2=kt$$

Στη δεύτερη περίπτωση ισχύουν οι σχέσεις:

$$y=e^{Kt} \quad \text{ή} \quad \log y=Kt$$

όπου η σταθερά της ταχύτητας K είναι του συντελεστή διάχυσης και της προηγούμενης στοιβάδας.

Στην περίπτωση αυτή λόγω της ύπαρξης του δυναμικού διάβρωσης του προσβαλλόμενου μετάλλου του κράματος, συνυπάρχει σαν στάδιο η διάχυση των

ιόντων του μετάλλου ή του κράματος σε στερεή κατάσταση, αλλά είναι ταχύτερη από τη διάχυση των ιόντων στο διάλυμα, που είναι το βραδύτερο στάδιο της χημικής προσβολής. Έτσι το δυναμικό της διάβρωσης επηρεάζει τη διάχυση των ιόντων σε διάλυμα. Με αποτέλεσμα η ενέργεια ενεργοποίησης είναι μεγαλύτερη από ότι στην ελεύθερη διάχυση.

Εάν σκόπιμα ή αυθόρμητα η διάχυση των ιόντων στο διάλυμα επιταχυνθεί και γίνει γρηγορότερη από την όδευση των ιόντων του μετάλλου σε στερεή κατάσταση, τότε η διάβρωση από καθαρά χημικής φύσης μεταπίπτει σε ηλεκτροχημικής φύσης.

3.4 Μηχανισμός διάχυσης ιόντων στην εγκοπή και κατά μήκος του ενεργού δρόμου.

Τα στάδια της δημιουργίας της ψαθυρής θραύσης από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση είναι τα ακόλουθα:

α. Δημιουργία εσοχής.

β. Περίοδος εκκόλαψης της ρωγμής.

γ. Γρήγορη προώθηση της ρωγμής και θραύση.

Για την ερμηνεία του τρίτου σταδίου έχουν αναπτυχθεί δύο μηχανιστικές και δύο ηλεκτροχημικές θεωρίες, οι οποίες ερμηνεύουν τη δημιουργία <<ενεργού δρόμου>>.

Η πρώτη μηχανιστική θεωρία αναφέρει ότι ο ενεργός δρόμος προϋπάρχει με τη μορφή εσωτερικών τάσεων, που έμειναν μετά την κατεργασία των μετάλλων και των κραμάτων και που οφείλονται στη μεταλλουργική κατεργασία παρασκευής τους και στο μέγεθος των κόκκων και την σύσταση του κράματος, έτσι έχουμε την περικρυσταλλική και την ενδοκρυσταλλική θραύση.

Η δεύτερη μηχανιστική θεωρία δέχεται ότι ο <<ενεργός δρόμος>> δημιουργείται από τη μηχανική καταπόνηση, η οποία προκαλεί τέτοιες δομικές αλλοιώσεις στα μέταλλα και τα κράματα ώστε να ευνοούνται αντιδράσεις ή κρυσταλλικές ολισθήσεις, με αποτέλεσμα την καταστροφή των στρωμάτων των προϊόντων διάβρωσης, που θα σχηματιζόταν στον πυθμένα της εσοχής και που θα επιβράδυναν τη θραύση.

Η πρώτη ηλεκτροχημική θεωρία αναφέρει ότι μετά από διάχυση των συστατικών του διαβρωτικού περιβάλλοντος προκαλείται εξασθένηση της συνοχής του υλικού και τη δημιουργία του<< ενεργού δρόμου>>. Η διάχυση αυτή επιτείνεται σε περιοχές όπου έχουν δημιουργηθεί δομικές αταξίες(π.χ. στους χάλυβες).

Η δεύτερη ηλεκτροχημική θεωρία (Θ. Σκουλικίδης) ερμηνεύει τη δημιουργία ενεργού δρόμου στα κράματα αλουμινίου και στα μέταλλα και κράματα όπου ισχύει η διάχυση σε στερεή κατάσταση των ιόντων του μετάλλου προς το διαβρωτικό περιβάλλον. Ο <<ενεργός δρόμος>> δημιουργείται κατά τη διάρκεια του σχηματισμού εσοχών από βελονισμούς. Έτσι άτακτα ιόντα του μετάλλου διαχέονται γρήγορα σε στερεή κατάσταση προς τον πυθμένα της εσοχής, όπου βρίσκεται το διαβρωτικό περιβάλλον, και προκαλούν δομικές αταξίες στα ακίνητα ιόντα. Αυτό δημιουργεί λύση της συνοχής κατά μήκος του δρόμου διάχυσης προς τον πυθμένα της εσοχής.

Από τις παραπάνω θεωρίες οι ηλεκτροχημικές, που ισχύουν η κάθε μία για ορισμένη κατηγορία μετάλλων και κραμάτων, καλύπτουν όλες τις περιπτώσεις και είναι οι πιο βέβαιες, αφού δεν έρχονται σε καμία αντίθεση με πειραματικά δεδομένα.

3.5 Μηχανισμός της εξάχνωσης.

Ο μηχανισμός της εξάχνωσης εμφανίζεται στην περίπτωση της σπηλαιώδους μηχανικής διάβρωσης. Τέτοια διάβρωση εμφανίζεται σε διάφορες μηχανολογικές κατασκευές, όπως είναι οι έλικες των πλοίων ή τα πτερύγια αντλιών. Στις περιπτώσεις αυτές δημιουργείται υποπίεση κατά τη διάρκεια λειτουργίας των κατασκευών που οδηγεί σε εξάχνωση του μετάλλου. Η ταχύτητα εξάχνωσης εξαρτάται από:

- Από την επιφάνεια του μετάλλου.
- Από την τάση ατμών του μετάλλου.
- Από το μέγεθος της υποπίεσης.
- Από τον αριθμό και την ένταση των ενεργών κέντρων του μετάλλου και του κράματος.

Η ταχύτητα εξάχνωσης είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα οποιουδήποτε άλλου είδους διάβρωσης κι έτσι το βραδύτερο στάδιο δεν μπορεί να έχει σχέση με ηλεκτροχημική ή χημική διάβρωση.

4. Προστασία από τη διάβρωση

4.1 Γενικά

Κάθε περίπτωση διάβρωσης σε μηχανολογική εγκατάσταση και σε τεχνικό υλικό αποτελεί ιδιαίτερη περίπτωση, λόγω του τοποχρονικού και τοποχημικού χαρακτήρα που έχει το φαινόμενο. Άρα η προστασία από τη διάβρωση δε μπορεί να γίνει με απλή μεταφορά γνώσεων χωρίς προσαρμογή. Για να εφαρμόσουμε σε κάθε περίπτωση την κατάλληλη και με τις κατάλληλες συνθήκες μέθοδο προστασίας, απαιτείται η λεπτομερειακή γνώση της αποτελεσματικότητας αλλά και των κινδύνων που μπορεί να έχει ως συνέπεια καθεμιά από αυτές. Για παράδειγμα αναφέρουμε ότι μία λανθασμένη χρήση μεθόδου προστασίας απευθείας στην εγκατάσταση που διαβρώνεται μπορεί να επιτείνει τη διάβρωσή της. Ωστόσο υπάρχουν κάποιοι παράγοντες τους οποίους αν τους αποφύγουμε μπορούμε να θέσουμε υπό έλεγχο το φαινόμενο ή να το επιβραδύνουμε σε ικανοποιητικό βαθμό.

Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται με την επίδραση στην ταχύτητα διάβρωσης και με το περιβάλλον που αυτή θα εμφανιστεί.

Οι παράγοντες που επιδρούν στην ταχύτητα της διάβρωσης και που θα πρέπει να αποφεύγονται ή να περιορίζονται είναι:

α. Οι γεωμετρικές μακροσκοπικές και μικροσκοπικές επιφανειακές ανωμαλίες.

β. Οι αταξίες δομής.

γ. Οι πλαστικές παραμορφώσεις.

δ. Οι εσωτερικές μηχανικές τάσεις.

ε. Η επαφή δύο διαφορετικών μετάλλων ή κραμάτων

στ. Η επιφανειακή ανομοιογένεια.

ζ. Η τριεπιφάνεια.

η. Οι ελαστικές παραμορφώσεις.

θ. Τα περιπατητικά ρεύματα.

ι. Οι υψηλές θερμοκρασίες.

κ. Η διόγκωση κατά τη διάβρωση.

Οι παράγοντες που επιδρούν στο περιβάλλον της διάβρωσης, όπου αυτή θα λειτουργήσει, και που θα πρέπει να αποφεύγονται είναι:

α. Η εναλλαγή του διαβρωτικού περιβάλλοντος.

β. Η μεγάλη αγωγιμότητα. Το pH πρέπει να κυμαίνεται γύρω στο 8. Η τιμή αυτή του pH προτιμάται μόνο σε νερό κλειστών κυκλωμάτων και όταν αυτό έρχεται σε επαφή με χάλυβες. Αλκαλικό περιβάλλον στην περίπτωση άλλων μετάλλων όπως π.χ. αλουμίνιο και κράματά του, δε συνίσταται αφού σε τέτοιο pH διαλύεται και το μέταλλο και το προστατευτικό οξείδιό του.

γ. Η μεγάλη ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου.

Ο εντοπισμός των παραπάνω παραγόντων αποτελεί μία άσκηση γενικής εποπτείας της εγκατάστασης και εξάλειψης ή περιορισμού των γενικών συνθηκών που επιταχύνουν τη διάβρωση.

Σε πρώτη φάση θέλοντας να προστατέψουμε μία εγκατάσταση ή κατασκευή ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

α. Επιλογή των κατάλληλων υλικών.

β. Έλεγχος των ιδιοτήτων των υλικών, ως προς τη διάβρωση καθώς και του διαβρωτικού περιβάλλοντος με μετρήσεις.

γ. Εξακρίβωση του είδους της διάβρωσης που εμφανίστηκε ή που ενδέχεται να εμφανιστεί.

δ. Η εφαρμογή της παραπάνω άσκησης εποπτείας.

Οι παραπάνω τρόποι προστασίας πολλές φορές αποδεικνύονται αρκετοί. Όμως αν αποδειχθεί ότι χρειάζεται περαιτέρω προστασία πρέπει εφαρμόσουμε κι άλλες μεθόδους.

4.2 Μέθοδοι Προστασίας

Οι βασικές μέθοδοι προστασίας από τη διάβρωση χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Πρώτη την καταπολέμηση του δυναμικού διάβρωσης και δεύτερη την καταπολέμηση του ρεύματος διάβρωσης.

4.2.1 Καταπολέμηση του δυναμικού διάβρωσης (E_δ)

Αν το μέταλλο είναι προστατευμένο η διάβρωση εξαρτάται από το δυναμικό διάβρωσης. Ενώ αν δεν είναι η διάβρωση εξαρτάται ιδιαίτερα από τα τοπικά γαλβανικά στοιχεία. Έτσι διακρίνουμε τις άμεσες και έμμεσες μεθόδους ελάττωσης του δυναμικού.

Α. Άμεσες μέθοδοι

Με τις άμεσες μεθόδους πετυχαίνουμε την ελάττωση του δυναμικού της διάβρωσης των μετάλλων ή των κραμάτων. Έτσι αυτά εμφανίζουν μικρότερη προδιάθεση για διάβρωση. Με αποτέλεσμα η προστασία με αυτές τις μεθόδους να είναι αποτελεσματικότερη. Στις άμεσες μεθόδους ανήκουν:

1. Μέθοδος θυσιαζόμενων ηλεκτροδίων ή θυσιαζόμενων ανόδων

Το θυσιαζόμενο ηλεκτρόδιο βρίσκεται σε τέλεια και άμεση ηλεκτρική επαφή με την επιφάνεια που προστατεύεται.

Το θυσιαζόμενο ηλεκτρόδιο πρέπει να κατασκευάζεται από υλικό ανοδικότερο (αγενέστερο) από αυτό που είναι κατασκευασμένη η μεταλλική επιφάνεια που προστατεύεται. Πρακτικά τα συνηθέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το μαγνήσιο (Mg), το αλουμίνιο (Al) και ο ψευδάργυρος (Zn).

Τα ανοδικότερα αυτά μέταλλα αποκτούν αυθόρμητα αρνητικό δυναμικό σε σχέση με το διαβρωτικό περιβάλλον. Αρνητικό δυναμικό ως προς το διαβρωτικό περιβάλλον έχει όμως και η μεταλλική επιφάνεια. Τα μέταλλα όμως αυτά που χρησιμοποιούνται ως άνοδοι έχουν μεγαλύτερο αρνητικό δυναμικό από ότι ο χάλυβας. Έτσι ο χάλυβας φορτίζεται θετικά ως προς την άνοδο. Με τη διαδικασία αυτή δημιουργείται ένα γαλβανικό στοιχείο με αρνητικό πόλο το μέταλλο και θετικό το χάλυβα. Το δυναμικό που αναπτύσσεται έχει αντίθετη φορά από το δυναμικό διάβρωσης του χάλυβα. Ταυτόχρονα το ανοδικότερο μέταλλο λόγω της δημιουργίας γαλβανικού στοιχείου χάνει ηλεκτρόνια, σχηματίζονται ιόντα με αποτέλεσμα να οξειδώνεται και να καταναλίσκεται περισσότερο παρά αν ήταν μόνο του. Δηλαδή θυσιάζεται για την προστασία της κατασκευής. Η διάρκεια της προστασίας συνεχίζεται όσο υπάρχει το ανοδικό μέταλλο. Πριν την ολική κατανάλωση της ανόδου πρέπει να προστεθεί νέο μέταλλο.

Η μέθοδος αυτή δεν εφαρμόζεται σε χημική διάβρωση, επειδή η παρουσία χημικών διαβρωτικών μέσων που επιβάλλουν τους μηχανισμούς χημικής διάβρωσης καθιστούν την κατανάλωση των θυσιαζόμενων ηλεκτροδίων γρηγορότερη (είναι ανοδικότερα της κατασκευής), με αποτέλεσμα η μέθοδος να γίνεται αντιοικονομική.

Εικόνα 4.1: Προπέλα πλοίου με θυσιαζόμενες ανόδους

2. Καθοδική προστασία

Με τη μέθοδο της <<καθοδικής προστασίας>>, η εγκατάσταση που προστατεύεται φορτίζεται αρνητικά είτε με θυσιαζόμενα ηλεκτρόδια (θυσιαζόμενες ανόδους ηλεκτρολυτικού κελλιού) είτε με ηλεκτρική τάση από εξωτερική πηγή. Έτσι, η εγκατάσταση που ήταν άνοδος γαλβανικού στοιχείου, δηλαδή αρνητικός οξειδωτικός πόλος, γίνεται κάθοδος ηλεκτρολυτικού κελιού, δηλαδή αρνητικός αναγωγικός πόλος.

Αναλυτικότερα, η εγκατάσταση εξακολουθεί να είναι αρνητικά φορτισμένη αλλά η δράση αντιστρέφεται. Μετά την εφαρμογή της προστασίας, αποκτά προδιάθεση να πάθει αναγωγή, ενώ πρώτα είχε την προδιάθεση για οξείδωση. Άρα η μέθοδος της καθοδικής προστασίας δεν ελαττώνει μόνο το δυναμικό της διάβρωσης αλλά και το αντιστρέφει.

Η εφαρμογή της μεθόδου απαιτεί εξαιρετικά μεγάλη προσοχή, γιατί αν εφαρμοστεί με λαθεμένες συνθήκες, η αύξηση της καθοδικότητας της εγκατάστασης πάνω από ορισμένο όριο (υπερπροστασία), μεγαλώνει πολύ την ταχύτητα διάβρωσης. Επίσης, εφαρμόζεται μόνο αν το διαβρωτικό περιβάλλον είναι σχετικά αγώγιμο.

Η μέθοδος καθοδικής προστασίας είναι αποτελεσματικότερη από όλες τις μεθόδους προστασίας, ιδιαίτερα αν συνδυαστεί σωστά και με αντιδιαβρωτικά χρώματα, λόγω της προσαρμογής του εφαρμοζόμενου δυναμικού ανάλογα με τη διακύμανση του δυναμικού της διάβρωσης που προέρχεται από τη διακύμανση των ιδιοτήτων του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Εφαρμόζεται και για ηλεκτροχημική και για χημική διάβρωση.

3. Καθοδική προστασία από θυσιαζόμενες αταξίες

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή αν στερεό σώμα θερμανθεί πάνω από το 1/3 του απόλυτου κανονικού σημείου τήξης του, αποκτά ανάλογα με το σχετικό μέγεθος των ακτίνων του ιοντικές θερμοκρασιακά αντιστρεπτές αταξίες. Αν στη συνέχεια το σώμα ψυχθεί απότομα, οι αταξίες παγώνουν στη συνηθισμένη θερμοκρασία και αποκτούν χαρακτήρα αταξιών δομής. Το στερεό με αυτόν τον τρόπο αναβαθμίζεται ενεργειακά.

Αν με το σώμα αυτό περιβληθεί μεταλλικό ηλεκτρόδιο και βυθιστεί σε ένα διάλυμα και στο ίδιο διάλυμα βυθιστεί άλλο ηλεκτρόδιο από το ίδιο μέταλλο, που περιβάλλεται με το ίδιο στερεό, χωρίς να έχει περάσει από αυτή την κατεργασία, σχηματίζεται γαλβανικό στοιχείο με δυναμικό από 10 έως 500 mV, ανάλογα με την ενεργειακή διαφορά ανάμεσα στο στερεό όπως είναι και στο αναβαθμισμένο στερεό.

Με αυτόν τον τρόπο φτιάχτηκε αρχικά από τον Έλληνα Φυσικό (Δρ Μ. Αρτέμη) και στη συνέχεια ακολούθησαν κι άλλοι επιστήμονες αναβαθμισμένο οξείδιο του μαγνησίου. Το υλικό αυτό όταν έρχεται σε επαφή με την εγκατάσταση την φορτίζει αρνητικά. Κατά τη λειτουργία της μεθόδου, ελαττώνονται οι αταξίες και η μεταβολή του χημικού δυναμικού μετατρέπεται σε ηλεκτρικό έργο. Με τον ίδιο τρόπο δρα και η θηραϊκή γη, και γι' αυτό χρησιμοποιείται ως αντιδιαβρωτικό πρόσθετο στο σκυρόδεμα.

4. Καθοδική προστασία με ακίδες

Κατά τη λειτουργία αυτής της μεθόδου γίνεται εκμετάλλευση του ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού. Συγκεκριμένα, ανάμεσα σε ένα αλεξικέραυνο ή μεταλλική ακίδα, που συνδέεται με ένα μεταλλικό δοκίμιο και την ατμόσφαιρα ανταλλάσσεται ηλεκτρισμός , που ανάλογα με την κατεύθυνση των ηλεκτρονίων, από και προς την ακίδα, μεγαλώνει ή μικραίνει την ταχύτητα διάβρωσης του δοκιμίου αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο δε θυσιάζονται άνοδοι, ρεύμα ή αταξίες. Το φαινόμενο εξαρτάται από τη σχετική φόρτιση γης – ατμόσφαιρας και είναι εποχιακό.

Β. Έμμεσες Μέθοδοι

Στις έμμεσες μεθόδους περιλαμβάνονται μια σειρά από κατεργασίες των επιφανειών των μετάλλων, που έχουν ως σκοπό τη δημιουργία επιστρωμάτων ευγενέστερων ή παθητικότερων από ότι είναι το καλυπτόμενο μέταλλο ή κράμα. Άρα και με μικρότερο δυναμικό διάβρωσης.

1. Επιφανειακές κατεργασίες

α. Μία τέτοια μέθοδος προστασίας είναι η επιφανειακή εναζώτωση. Διοχετεύοντας ατμούς αμμωνίας στην επιφάνεια του χάλυβα και θερμαίνοντας τον αρκετά, οι ατμοί διασπώνται σε άζωτο και υδρογόνο με την επίδραση του σιδήρου. Έτσι σχηματίζονται νιτρίλια, τα οποία έχουν μικρότερο δυναμικό διάβρωσης από αυτό του χάλυβα. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα προστατευτικό στρώμα νιτριλίων, το οποίο παθαίνει τη διάβρωση, χωρίς ωστόσο να έχουμε πετύχει την ελάττωση του δυναμικού του ίδιου του μετάλλου.

β. Φωσφάτωση: Πρόκειται κι αυτή για μέθοδο επιφανειακής κατεργασίας. Η κατεργασία γίνεται με φωσφορικές ενώσεις. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός μιας λεπτής φωσφορικής επικάλυψης πάνω στο μέταλλο. Για τη φωσφάτωση χρησιμοποιούνται φωσφορικά άλατα του σιδήρου, του ψευδαργύρου του μαγγανίου κ.α.

γ. Ενανθράκωση: Γίνεται με τη βοήθεια της ισορροπίας ανάμεσα στο διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα και του άνθρακα και με την αναγωγική επίδραση του ίδιου του μετάλλου, που αφού διαβρώνεται, προκαλεί στο περιβάλλον αναγωγές. Με την ισορροπία αυτή αποβάλλεται κολλοειδής άνθρακας και με θέρμανση γίνεται τοπική ενανθράκωση.

Εικόνα 4.2: Δοκίμιο πριν –μετά την ενανθράκωση

δ. Χρήση LASER και πλάσματος: Πρόκειται για μία καινούρια μέθοδο, όπου ένας αριθμός ουσιών (π.χ.Al_2O_3, SiO_2) με τη βοήθεια θερμικών ακτίνων LASER επικαλύπτουν τα μέταλλα. Επίσης με ιόντα και άτομα ευγενέστερων ή παθητικότερων μετάλλων (Ni, Cr,V,Mo, κ.α.) με τη μορφή πλάσματος δημιουργείται επιφανειακή κραματοποίηση.

2. Επιμεταλλώσεις

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται μέθοδοι προστασίας που έχουν ως σκοπό την απόθεση πάνω στο μέταλλο, ενός άλλου μετάλλου που είναι λιγότερο ανοδικό ή παθητικότερο, Έτσι σε άμεση επαφή με το διαβρωτικό περιβάλλον θα βρίσκεται ένα μέταλλο με μικρότερο δυναμικό διάβρωσης από αυτό του μετάλλου που θέλουμε να προστατέψουμε. Οι μέθοδοι επιμετάλλωσης είναι οι παλαιότεροι τρόποι προστασίας των μετάλλων και οι πιο συνηθισμένοι είναι ο ηλεκτρολυτικός, ο πιστολισμός, η συνέλαση, η εμβάπτιση σε τήγμα. Η διαδικασία και το είδος της επιμετάλλωσης επιδρά στο τελικό επίστρωμα του μετάλλου. Επομένως πρέπει να γνωρίζουμε την υφή του στρώματος που σχηματίζεται με τις μεθόδους ώστε να μπορέσουμε να προστατέψουμε καλύτερα το μέταλλο που θέλουμε. Τη διαδικασία επιμετάλλωσης προηγείται μία προκατεργασία της επιφάνειας που περιλαμβάνει την απολίπανση και την ηλεκτρολυτική λείανση της επιφάνειας.

Η απολίπανση αποσκοπεί στην απομάκρυνση των οξειδίων του μετάλλου, των ακαθαρσιών και των λιπών που βρίσκονται στην επιφάνεια του μετάλλου. Πραγματοποιείται με μηχανικούς τρόπους (ψηγματοβολή) και με ηλεκτρολυτικούς για απομάκρυνση οξειδίων που δεν είναι ορατοί με το μάτι.

Η ηλεκτρολυτική λείανση απαιτείται για την επίτευξη όσο γίνεται πιο λείας επιφάνειας. Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνουμε ομοιόμορφη μορφή του μετάλλου και καλύτερη πρόσφυση, άρα και μεγαλύτερη αντοχή του επιστρώματος.

Μετά τις παραπάνω επεξεργασίες ακολουθεί η επιμετάλλωση της επιφάνειας που θέλουμε να προστατέψουμε. Οι κυριότερες επιμεταλλώσεις είναι;

α. Επιχάλκωση: Εφαρμόζεται για χάλυβα, ορείχαλκο, άργυρο κ.α. Πραγματοποιείται συνήθως πριν από την επιμετάλλωση γιατί έτσι πετυχαίνουμε καλύτερη πρόσφυση μεταξύ του μετάλλου και του επερχόμενου επιστρώματος. Μετά την επιχάλκωση, ο χαλκός οξειδώνεται λόγω της επαφής του με την ατμόσφαιρα. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την εμβάπτιση των επιχαλκωμένων αντικειμένων σε λουτρό επινικέλωσης.

β. Επινικέλωση: Τα λουτρά επινικέλωσης περιέχουν άλατα νικελίου, χλωριούχου αμμωνίου, βορικό οξύ και ποικιλία άλλων προσμίξεων. Το νικέλιο μπορεί να αποτελέσει το τελικό στρώμα προστασίας, αλλά μπορούμε όμως να αυξήσουμε την αντοχή στη διάβρωση των αντικειμένων αν αυτά επιχρωμιωθούν.

γ. Επιχρωμίωση: Πριν την εφαρμογή της απαιτείται λείανση και απολίπανση του αντικειμένου. Στο τελικό στρώμα αποθέτονται χρώμιο και υδρογόνο μαζί. Με την

παρουσία του υδρογόνου σχηματίζονται οι πόροι. Άρα η επιχρωμίωση δεν πρέπει να εφαρμόζεται απευθείας στο μέταλλο ή μετά την επιχάλκωση. Για την εξουδετέρωση των πόρων πραγματοποιείται ξανά επινικέλωση και μετά πάλι επιχρωμίωση.

δ. Επιψευδαργύρωση: Η μέθοδος αυτή είναι η πιο παλιά και πιο διαδεδομένη επιμετάλλωση του χάλυβα. Ο ψευδάργυρος είναι πιο ανοδικός από το χάλυβα και διαβρώνεται πιο εύκολο. Ωστόσο αργεί να διαλυθεί και ο χρόνος διάρκειας της προστασίας είναι μεγάλος, λόγω των προϊόντων της διάβρωσης(οξείδια και υδροξείδια) που σχηματίζονται.

ε. Επικαδμίωση: Το κάδμιο προσλαμβάνεται από τον ψευδάργυρο με κλασματική απόσταξη και έχουν την ίδια περίπου συμπεριφορά όσον αφορά την επικάλυψη του χάλυβα. Ωστόσο το κάδμιο παρέχει μικρότερη προστασία από ότι ο ψευδάργυρος.

στ. Επικασσιτέρωση: Πρόκειται για μέθοδο που χρησιμοποιείται αρκετά για την επικάλυψη του χάλυβα. Το τελικό αποτέλεσμα βρίσκει ευρύτατη εφαρμογή σε ραδιόφωνα, τηλεοράσεις, την κονσερβοποιία κ.λ.π.

ζ. Επαργύρωση: Ο άργυρος έχει καλή αντοχή στη διάβρωση αλλά προσβάλλεται από τρόφιμα όπως η μουστάρδα, τα αυγά και το SO_2. Η μέθοδος αυτή βρίσκει ευρύτατη εφαρμογή στην κάλυψη αντικειμένων όπως τα μαχαίρια, τα κουτάλια, τα πιρούνια, οι δίσκοι, τα χειρουργικά όργανα κ.α.

η. Επιμετάλλωση με πιστολισμό: Η μέθοδος αυτή της επιμετάλλωσης διαφέρει από τις προηγούμενες που γίνονται με ηλεκτρολυτικό τρόπο. Εδώ δημιουργείται ηλεκτρικό τόξο μεταξύ των ηλεκτροδίων από το μέταλλο, που πρόκειται να επιστρωθεί, και οι ατμοί του οδηγούνται στην επιφάνεια του μετάλλου, που πρόκειται να καλυφθεί. Έτσι δημιουργείται το στρώμα προστασίας που είναι μεν παχύ, αλλά ανισόπαχο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τη συμπλήρωση υλικού σε σημεία όπου έχουμε απώλειες λόγω διάβρωσης και σε τμήματα όπου δεν μπορεί να γίνει ηλεκτρόλυση με μεταφορά τους σε εργοστάσιο.

θ. Επιμετάλλωση με συνέλαση: Πρόκειται για μέθοδο επιμετάλλωσης στην οποία γίνεται συνέλαση φύλλων χάλυβα με λεπτά φύλλα δύο ή περισσοτέρων μετάλλων, χωρις να παρεμβάλλεται ανάμεσά τους άλλο υλικό. Για την καλύτερη πρόσφυση οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή πρέπει να έχουν καθαριστεί από οξείδια, λίπη, υγρασία και άλλες ουσίες. Η συνέλαση μπορεί να γίνει με ή χωρίς θέρμανση.

ι. Επιμετάλλωση με εμβάπτιση σε τήγμα: Ο χάλυβας σε μεγάλες ποσότητες και με τη μορφή φύλλων, σωλήνων, συρμάτων περνάει μέσα από λουτρό ψευδαργύρου και επιψευδαργυρώνεται. Έτσι προκύπτουν οι γαλβανισμένες λαμαρίνες, οι γαλβανισμένοι σωλήνες και τα γαλβανισμένα σύρματα. Το πάχος του προστατευτικού επιστρώματος ελέγχεται με κατάλληλη ρύθμιση της θερμοκρας ίας του λουτρού, της ταχύτητας που έχουν τα αντικείμενα χάλυβα και της ροής αέρα που χρησιμοποιούμε στην έξοδο για τον καθαρισμό των γαλβανισμένων πλέον αντικειμένων.

3. Κάλυψη των χαλύβων με Fe_3O_4 και των κραμάτων αργιλίου με Al_2O_3-$3H_2O$

Πρόκειται για μία ειδική μέθοδο καταπολέμησης του δυναμικού διάβρωσης, με τη δημιουργία οξυγονούχων στρωμάτων στην επιφάνεια ορισμένων μετάλλων και κραμάτων.

Η πιο συνηθισμένη περίπτωση είναι η δημιουργία επιτεταρτοξειδίου του σιδήρου στην επιφάνεια των χαλύβων και υδρίτη του τριοξειδίου του αργιλίου στην επιφάνεια κραμάτων αργιλίου.

Τα οξείδια αυτά παράγονται στην επιφάνεια των μετάλλων και κραμάτων με αυθόρμητη διάβρωση, αλλά λόγω της αυθόρμητης φυσικής εμφάνισής τους έχουμε εμφάνιση εσωτερικών μηχανικών τάσεων και ενεργά κέντρα στα οξείδια. Με αποτέλεσμα τη δημιουργία εσοχών και τη ρήξη του επιστρώματος του μετάλλου.

Αν όμως τα οξείδια αυτά δημιουργηθούν με ανοδική οξείδωση τότε μπορεί οι ιδιότητες των οξειδίων που δημιουργούνται να ικανοποιούν τους όρους που απαιτούνται για ένα επίστρωμα σε ότι αφορά την πρόσφυση, την καλή μηχανική αντοχή, την έλλειψη πόρων, τη σκληρότητα και την ομοιόμορφη διάβρωση.

4. Ανοδική προστασία

Υπάρχουν ορισμένα μέταλλα και κράματα που δεν επιτρέπουν την εμφάνιση ανθεκτικών στρωμάτων με ανοδική οξείδωση. Για το λόγω αυτό επινοήθηκε από τον Edeleanu η ανοδική προστασία.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η εγκατάσταση που θέλουμε να προστατεύσουμε συνδέεται με το θετικό πόλο πηγής συνεχούς ρεύματος, με τη βοήθεια ηλεκτροδίου αναφοράς και δυναμοστάτη. Η τιμή της τάσης δημιουργεί πάνω στην επιφάνεια της εγκατάστασης αμέσως οξείδιο του μετάλλου. Η παραπέρα δημιουργία του οξειδίου

είναι στην περίπτωση αυτή πολύ μικρότερη από την ανοδική διάλυση του γυμνού μετάλλου. Έτσι η ταχύτητα διάβρωσης είναι μικρότερη από ότι αυτή αν το μέταλλο ήταν γυμνό.

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ωστόσο αν δεν εφαρμοστεί με τις κατάλληλες συνθήκες μπορεί να ξεφύγει από τον έλεγχό μας και η διάβρωση να επιταχυνθεί, από ανοδική διάλυση του οξειδίου και του ίδιου του μετάλλου ή κράματος της κατασκευής.

4.2.2 Καταπολέμηση της έντασης του ρεύματος διάβρωσης

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι ελάττωσης του δυναμικού δημιουργούν έμμεσα και ελάττωση του ρεύματος διάβρωσης. Υπάρχουν όμως και μέθοδοι που καταπολεμούν άμεσα το ρεύμα διάβρωσης, λόγω της αύξησης της ηλεκτρικής αντίστασης που προκαλούν μεταξύ της μεταλλικής επιφάνειας και του διαβρωτικού περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο προστασίας των κατασκευών, οι επιφάνειες πρέπει πρώτα να καθαριστούν από τυχόν οξείδια (ψηγματοβολή) και στη συνέχεια να καλυφθούν με ουσίες, οι οποίες είναι μονωτικές του ηλεκτρισμού.

Οι καλυπτικές ουσίες διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες : τα αντιδιαβρωτικά χρώματα και άλλες καλυπτικές ουσίες.

Στα αντιδιαβρωτικά χρώματα κατατάσσονται ουσίες που μπορούν να τοποθετηθούν με επίχριση (με πινέλο) ή με εκνέφωση, δηλαδή ουσίες υγρές, που στερεοποιούνται με πολυμερισμό ή διαλύτες σε διαλυτικά μέσα. Δεν τοποθετούνται σε πολλαπλά στρώματα.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν ουσίες που μπορούν να τοποθετηθούν μόνο με συνέλαση ή δημιουργία κενού ή και τα δύο μαζί.

Και στις δύο περιπτώσεις πολλές φορές χρειάζεται να καλυφθεί η επιφάνεια με ένα πρώτο στρώμα (primer), που περιέχει χρωμικό ψευδάργυρο ή μίνιο ή σκόνη ψευδαργύρου (Zinc-Rich-Epoxy).

Οι ουσίες καταπολέμησης της έντασης του ρεύματος διάβρωσης μπορούν να διακριθούν σε τρεις επιπλέον κατηγορίες.

Η πρώτη περιλαμβάνει ουσίες που εμφανίζουν μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση, όπως το χλωριωμένο καουτσούκ.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν ουσίες που έχουν ηλεκτρική αντίσταση και δίπολα μόρια. Τα δίπολα μόρια (πιγμέντα) εμφανίζουν στο εσωτερικό του μορίου αντίθετα φορτισμένα τμήματα. Το δυναμικό που δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο

ελαττώνει το δυναμικό διάβρωσης του μετάλλου, ενώ ταυτόχρονα εμποδίζει τη ροή των ηλεκτρονίων (μείωση έντασης ρεύματος).

Στην Τρίτη κατηγορία συγκαταλέγονται ουσίες με ηλεκτρική αντίσταση ή και δίπολα μόρια, που περιέχουν και σκόνη ανοδικών μετάλλων (μαγνήσιο, ψευδάργυρο, αργίλιο) ή σκόνη ανοδικών ουσιών (ηλεκτρολυτικά οξείδιαAl_2O_3, ZnO). Λόγω της σύνθεσής τους δρουν ως θυσιαζόμενα ηλεκτρόδια ή θυσιαζόμενες αταξίες.

Όλες οι παραπάνω ουσίες εκτός από την ελάττωση της έντασης του ρεύματος διάβρωσης, εμποδίζουν το μέταλλο να έρθει σε άμεση επαφή με το διαβρωτικό περιβάλλον κι έτσι το προστατεύουν από χημική προσβολή. Οι ουσίες αυτές είναι ανόργανες, όπως τα πιγμέντα (π.χ. το μίνιο Pb_3O_4) και οργανικές. Τα ελαστομερή (νεοπρένιο, χλωριωμένο λάστιχο), τα θερμοπλαστικά (teflon, ακρυλικά Plexiglas, άσφαλτος και πίσσα, νάυλον, pvc), θερμοσκληρυνόμενα (εποξυδικές ρυτίνες).

5. Αντιδιαβρωτικά χρώματα(οργανικές επικαλύψεις)

5.1 Γενικά

Τα αντιδιαβρωτικά χρώματα κατέχουν σήμερα δεσπόζουσα θέση στην προστασία μεταλλικών κατασκευών. Περίπου το 50% των κατασκευών προστατεύονται με αυτόν τον τρόπο. Το 40% χρησιμοποιεί πορώδη αντιδιαβρωτικά και μόλις το 10% προστατεύεται με άλλες μεθόδους, όπως οι επιμεταλλώσεις. Τα αντιδιαβρωτικά χρώματα είναι μη μεταλλικά επιστρώματα που έχουν ως σκοπό την απομόνωση του μετάλλου από το περιβάλλον, τη μόνωση θερμική ή ηλεκτρική και την ελάττωση του δυναμικού ή ακόμα και την αντιστροφή του. Πέρα όμως από την προστασία από τη διάβρωση οι επικαλύψεις χρησιμοποιούνται και αισθητικούς λόγους.

Τα αντιδιαβρωτικά χρώματα (οργανικές επικαλύψεις) ανάλογα με τη σύστασή τους και το περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιούνται έχουν ειδικές ιδιότητες, οι οποίες εκπληρώνουν έναν ή περισσότερους από τους παραπάνω στόχους για τους οποίους προορίζονται. Στο εμπόριο υπάρχουν δύο ειδών επιστρώματα το αστάρι (priming system) που είναι ανόργανες ενώσεις και το κυρίως χρώμα που είναι συνήθως οργανικές ενώσεις. Σκοπός του ασταριού είναι να παρέχει καλή πρόσφυση στα επιστρώματα που θα ακολουθήσουν και να συνεισφέρει στην προστασία από τη διάβρωση με ενεργά χημικά. Ενώ το κύριο επίστρωμα πρέπει να διαθέτει χρώμα, αδιαφάνεια, λάμψη, να είναι λείο, να παρουσιάζει χημική αντίσταση και να έχει αντιδιαβρωτική προστασία. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά προστασίας και βαφής χρησιμοποιούνται συνήθως και τα δύο είδη επιστρώματος. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια εφαρμόζονται χρώματα που έχουν διαλυμένες ανόργανες ενώσεις (πιγμέντα) όπως το μίνιο και δεν απαιτούν σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών την επίχριση ασταριού σε μια πρώτη φάση επικάλυψης.

5.2 Ιδιότητες διαπερατότητας αντιδιαβρωτικών χρωμάτων

Τα αντιδιαβρωτικά χρώματα (οργανικές επικαλύψεις) πρέπει να έχουν τις ίδιες ιδιότητες, που απαιτούνται για τα άλλα επιστρώματα, δηλαδή ορισμένο πάχος, ορισμένη συνάφεια και σκληρότητα, ορισμένο πάχος, ορισμένη συνοχή και χημική αντοχή σε αλκαλικά διαλύματα. Στην περίπτωση που η επικάλυψη περιέχει σκόνη μετάλλων, το πορώδες πρέπει να είναι αρκετό, ώστε να υπάρχει ηλεκτρική επαφή

μεταξύ σκόνης και του μετάλλου που προστατεύεται. Οι ιδιότητες που πρέπει να έχει μία επικάλυψη είναι:

α. Πάχος: Η χρονική αντοχή ενός μετάλλου ή κράματος είναι ανάλογη του πάχους του αντιδιαβρωτικού χρώματος που τοποθετείται. Όσο πιο μεγάλο είναι το πάχος τόσο πιο πολύ αργεί να καταναλωθεί. Επίσης, στη διάβρωση με βελονισμούς τα ιόντα του μετάλλου ή του κράματος πρέπει να διατρέξουν μεγαλύτερη απόσταση μέχρι το περιβάλλον. Ωστόσο η πληθωρική χρήση του χρώματος στην επιφάνεια που προστατεύεται μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι και αντιοικονομική. Το πάχος μπορεί να μετρηθεί με διάφορες μεθόδους όπως οπτικές, ηλεκτρικές, ακτινοβολίας κ.α.

β. Πορώδες: Επιστρώματα μη πορώδη περιορίζουν τη διάβρωση γιατί εμποδίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό την άμεση επαφή μεταξύ του διαβρωτικού περιβάλλοντος και του μετάλλου ή κράματος. Τα πορώδη επιστρώματα προτιμώνται, όπως προαναφέραμε, στις περιπτώσεις όπου η οργανική επικάλυψη περιέχει σκόνη μετάλλων. Τότε το πορώδες πρέπει να είναι αρκετό, ώστε να υπάρχει ηλεκτρική επαφή μεταξύ της σκόνης και του μετάλλου.

γ. Συνάφεια: Η συνάφεια ονομάζουμε την ιδιότητα που έχει η επικάλυψη για όσο το δυνατόν καλύτερη πρόσφυση στη μεταλλική επιφάνεια. Η συνάφεια μετριέται σε Kgr/mm^2 και όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλώνει και η αντοχή του επιστρώματος σε αποφλοίωση. Αποτελεί δηλαδή μία δύναμη που η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ του ορίου θραύσης του μετάλλου και του επιστρώματος.

δ. Σκληρότητα: Η ιδιότητα αυτή δείχνει την αντοχή των επικαλύψεων σε κρούση με κάποιο αντικείμενο και κατεπέκταση την αντοχή τους σε αποφλείωση.

ε. Συνοχή: Μετριέται, όπου αυτό είναι δυνατόν, με έλξη του ελάσματος, που φέρει την επικάλυψη και έλεγχο της ρηγμάτωσής της. Το μέτρο της συνοχής θεωρείται η δύναμη για την οποία φάνηκαν ρηγματώσεις.

στ. Αντίσταση στο νερό: Το επίστρωμα ειδικά όταν εκτίθεται σε θαλασσινό νερό μπορεί να επιφέρει τη μείωση της συνάφειας ή της αντοχής στο σχηματισμό δλυκταινών (blistering) ή ρηγματώσεων (cracking).

ζ. Χαμηλή απορρόφηση υγρασίας: Η ιδιότητα αυτή των αντιδιαβρωτικών χρωμάτων σχετίζεται με την ποσότητα του νερού που παραμένει μεταξύ των μορίων της βασικής ρητίνης. Με την έκθεση του επιστρώματος στο θαλασσινό νερό, επέρχεται ισορροπία στην απορρόφηση υγρασίας, η οποία διατηρείται με την εξάτμιση του νερού όταν η επικάλυψη βρεθεί σε ξηρό περιβάλλον και με την

απορρόφηση νερού όταν βρεθεί σε θαλασσινό. Άρα όσο μικρότερη είναι η απορρόφηση υγρασίας, τόσο καλύτερα προστατεύεται το μέταλλο ή το κράμα.

η. Ρυθμός μεταφοράς υγρασίας: Ορίζεται ως ο ρυθμός με τον οποίο το νερό περνά μέσα από το επίστρωμα. Η ιδιότητα αυτή είναι πολύ σημαντική και χαρακτηριστική για κάθε επικάλυψη. Η επικάλυψη όσο μικρότερο ρυθμό μεταφοράς υγρασίας έχει τόσο αποτελεσματικότερη είναι.

θ. Χημική αντίσταση σε αλκαλικά διαλύματα: Τα αντιδιαβρωτικά χρώματα συνδυάζονται με τη μέθοδο της καθοδικής προστασίας. Έτσι η αρνητική φόρτιση του μετάλλου έχει σαν συνέπεια τη δέσμευση ή την εξουδετέρωση υδροξωνίων και τη δημιουργία αλκαλικού περιβάλλοντος. Το φαινόμενο αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη χημική προσβολή των ουσιών ή του φορέα τους, τη σαπουνοποίησή τους και την τελική διάλυσή τους ή την εμφάνιση φλυκταινών (έκλυση υδρογόνου).

ι. Αντίσταση στην ώσμωση: Ώσμωση ονομάζεται το φαινόμενο της μεταφοράς νερού μέσα από μια ημιπερατή μεμβράνη από διάλυμα μικρής συγκέντρωσης σε διάλυμα μεγάλης συγκέντρωσης. Στην περίπτωσή μας οι οργανικές επικαλύψεις συμπεριφέρονται ως ημιπερατές μεμβράνες. Όταν αυτές τοποθετηθούν σε επιφάνειες που έχουν χλωριόντα ή ιόντα αυτά υποβοηθούν το σχηματισμό διαλύματος μεγάλης συγκέντρωσης. Με αποτέλεσμα τη μεταφορά νερού προς τη διεπιφάνεια μετάλλου-επικάλυψης και τη δημιουργία φλύκταινων (blistering).

ια. Αντίσταση στην ιοντική μεταφορά: Η οργανική επικάλυψη πρέπει να παρουσιάζει την ιδιότητα της αντίστασης στη μεταφορά ιόντων, όπως είναι τα Cl^-, SO_4^{-2}, CO_3^{-2}. Γιατί όταν περάσουν μέσα από το επίστρωμα συμβάλλουν στη διάβρωση της κατασκευής που προστατεύεται.

ιβ. Αντίσταση στην ηλεκτροενδόσμωση: Ηλεκτροενδόσμωση ονομάζεται το φαινόμενο της μεταφοράς νερού μέσα από μία μεμβράνη υπό την επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος, προς την κατεύθυνση του πόλου που έχει το ίδιο φορτίο με τη μεμβράνη. Οι περισσότερες επικαλύψεις είναι αρνητικά φορτισμένες και οι μεταλλικές περιοχές γύρω από μια ασυνέχεια της επικάλυψης είναι καθοδικές με περίσσεια ηλεκτρονίων. Έτσι έχουμε μεταφορά ηλεκτρονίων νερού προς τη διεπιφάνεια μετάλλου επικάλυψης και τη δημιουργία φλυκταινών.

ιγ. Πυκνότητα στρώματος: Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούνται οι συνηθισμένες μέθοδοι ζύγισης, ενώ σε πορώδες φίλμ ο υπολογισμός είναι δύσκολος με αυτές τις μεθόδους.

ιδ. Συγκέντρωση όγκου πιγμέντου(P.V.C.:Pigment-Volume-Concentration): Ορίζεται ως ο λόγος του όγκου του πιγμέντου στη μονάδα όγκου ενός δοσμένου μίγματος πιγμέντου/φορέα (μόνο τα στερεά λαμβάνονται υπόψη).

ιε. Εσωτερικές τάσεις: Οι εσωτερικές τάσεις σε συνδυασμό με τη συνάφεια μιας επικάλυψης επηρεάζουν τη συμπεριφορά της. Αν οι τάσεις αυτές είναι αρκετά μεγάλες τότε υπάρχει ο κίνδυνος της δημιουργίας εύθρυπτης επικάλυψης. Οι εσωτερικές τάσεις αναπτύσσονται κυρίως κατά τη διάρκεια της ξήρανσης του επιστρώματος, όπου το πάχος του ελαττώνεται καθώς στερεοποιείται. Για τη μέτρηση αυτών των τάσεων χρησιμοποιούνται μηχανικές και φωτοελαστικές μέθοδοι.

ιστ. Μηχανικές ιδιότητες: Οι μηχανικές ιδιότητες του επιστρώματος μεταβάλλονται καθώς μεταβάλλεται ο δείκτης P.V.C. Οι πιο κοινές από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται είναι οι μετρήσεις σκληρότητας και αντοχής σε κρούση. Για τη σκληρότητα του φίλμ η δοκιμή χάραξης είναι η πιο αντιπροσωπευτική μέθοδο (χάραξη με ειδικό μολύβι υπό γωνία 45^{ο}). Επίσης η αντοχή σε κρούση μπορεί να συσχετιστεί με τις μηχανικές ιδιότητές της, όπως συμβαίνει και με τις δοκιμές κάμψης.

ιζ. Οπτικές ερμηνείες της επικάλυψης: Το χρώμα και η ανακλαστικότητα είναι οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν οπτικά μία επικάλυψη.

ιη. Ρεολογικές ιδιότητες αντιδιαβρωτικών χρωμάτων: Οι ιδιότητες αυτές παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποθήκευση, την εφαρμογή και το σχηματισμό του επιστρώματος. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η μελέτη και η γνώση του ιξώδους, κάτω από διάφορες συνθήκες.

ιθ. Ιδιότητες γήρανσης των οργανικών επικαλύψεων: Οι ιδιότητες αυτές παρέχουν πληροφορίες για τη συμπεριφορά των επικαλύψεων σε διάφορα περιβάλλοντα και δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού της ανθεκτικότητάς τους. Υποβάθμιση της συμπεριφοράς του επιστρώματος προκαλείται όταν αυτό βρίσκεται εκτεθειμένο σε ηλιακή ακτινοβολία, σε θερμοκρασιακές αλλαγές, σε υγρασία, σε οξυγόνο και σε άλλα συστατικά της ατμόσφαιρας.

κ. Ιδιότητες πρόσφυσης των αντιδιαβρωτικών χρωμάτων: Οι μηχανισμοί απώλειας πρόσφυσης μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, ωστόσο σχετίζονται απόλυτα με τις ιδιότητες του συστήματος επιφάνεια μετάλλου/επίστρωμα. Οι ιδιότητες αυτές προσδιορίζονται γνωρίζοντας τη χημεία της επιφάνειας, τις φυσικές της ιδιότητες, τη χημεία του χρώματος, τους μηχανισμούς θραύσης του, τις φυσικές του ιδιότητες καθώς και τις ιδιότητες ροής.

Η απώλεια πρόσφυσης δεν οδηγεί πάντοτε σε απομείωση της αντιδιαβρωτικής προστασίας, εφόσον το διάλυμα μέσα στις φλύκταινες που δημιουργούνται ή κάτω από το επίστρωμα δεν είναι διαβρωτικό. Ωστόσο η αντιδιαβρωτική προστασία χάνεται όταν συμβεί αποκόλληση του επιστρώματος.

5.3 Σύσταση των αντιδιαβρωτικών χρωμάτων

Τα συστατικά των αντιδιαβρωτικών χρωμάτων είναι το διάλυμα του συνδετικού μέσου (binder) ή αλλιώς φορέα (οργανικές ενώσεις-organic coatings) και το στερεό υλικό που διαλύεται σε αυτό και ονομάζεται πιγμέντο (pigment).

Ο φορέας είναι αυτός που προσδίδει στο αντιδιαβρωτικό χρώμα τις κύριες χημικές και φυσικές ιδιότητές του. Το διάλυμα του φορέα μπορεί να αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

α. Το συνδετικό μέσο: Το στοιχείο αυτό αποτελεί το πιο σημαντικό από τα συστατικά καθώς εξασφαλίζει την προσκόλληση και τη συνοχή μέσα στο στρώμα αυτού. Ως συνδετικό μέσο χρησιμοποιούνται υλικά όπως τα συνθετικά πολυμερή (αλκυδικές, βινυλικές και εποξειδικές ρητίνες, πολυεστέρες, πολυουρεθάνες, παράγωγα του καουτσούκ) διαλυμένα σε νερό (πλαστικά χρώματα) ή σε φυσικά έλαια (λινέλαιο).

β. Το διαλύτη: Χρησιμοποιείται όταν το συνδετικό μέσο είναι σε στερεά κατάσταση και θέλουμε να μετατραπεί το επίστρωμα σε υγρή μορφή. Αυτό το επιτυγχάνει με τη μείωση του ιξώδους. Ο διαλύτης επηρεάζει την ταχύτητα πήξης του επιστρώματος. Η ταχύτητα εξάτμισής του ποικίλει ανάλογα τον τρόπο επίχρισης της επικάλυψης. Έτσι αν ο διαλύτης δεν εξατμιστεί πλήρως το επίστρωμα μπορεί να αστοχήσει και να δημιουργηθούν φλύκταινες ή βελονισμοί. Ως διαλύτες χρησιμοποιούνται υλικά όπως το βενζόλιο, κετόνες, αλκοόλες, εστέρες κ.α.

γ. Το αραιωτικό: Δε θα πρέπει να συγχέουμε το διαλυτικό με το αραιωτικό. Το δεύτερο προστίθεται στο πρώτο για τη ρύθμιση της επιφανειακής τάσης του διαλύματος και της τάσης μεταξύ μετάλλου και επιστρώματος. Έτσι το χρώμα μπορεί να απλωθεί ομοιόμορφα στην επιφάνεια που προστατεύεται. Επίσης μπορούν να καθορίσουν και την ταχύτητα εξάτμισης του διαλύτη. Τα πιο συνηθισμένα είναι το νέφτι και το νερό.

δ. Τα πρόσθετα: Σε αυτά περιλαμβάνονται τα ξηραντικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται σε όλα τα ξηραινόμενα στον αέρα αλλά και σε φούρνο αντιδιαβρωτικά χρώματα. Τα αντιοξειδωτικά πρόσθετα, τα επιφανειακά ενεργά, τους

διαμορφωτές επιστρώματος και τους παράγοντες αντικαθίζησης, οι οποίοι περιορίζουν τη ροή του χρώματος προς τα κάτω αμέσως μετά την επίχριση.

Τα πιγμέντα χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν χρώμα και θολότητα στο επίστρωμα, καθώς επίσης να το ενισχύσουν δομικά, να του αυξήσουν την αδιαπερατότητα και να ενισχύσουν την προστασία του μετάλλου. Τα πιγμέντα μπορεί να είναι οργανικά ή ανόργανα και φυσικά ή συνθετικά. Ανάλογα με το είδος της χρήσης τους διακρίνονται σε:

α. Αντιδιαβρωτικά: Πρόκειται για πιγμέντα που ενισχύουν τη μόνωση της επιφάνειας από το περιβάλλον, αυξάνουν την ηλεκτρική αντίσταση του φορέα, δρουν σαν θυσιαζόμενες άνοδοι.

β. Βελτιωτικά: Οι ουσίες αυτές χρησιμοποιούνται για την αισθητική βελτίωση των επιστρωμάτων, όπως την επίτευξη μεταλλική λάμψης, τη θολερότητα, την ανακλαστικότητα κ.α.

γ. Επιβραδυντές: Αυτό το είδος πιγμέντου χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τα αντιδιαβρωτικά και τα βελτιωτικά ή και μόνο του, για την επιβράδυνση της διάβρωσης. Τέτοιες ουσίες είναι το μίνιο (Pb_3O_4) κυρίως για σιδηρούχα υποστρώματα, τα φωσφορικά άλατα, $ZnCrO_4$ κ.α.

δ. Χρωστικές ουσίες: Οι ουσίες αυτές χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν το επιθυμητό χρώμα στο επίστρωμα. Δεν αντιδρούν με το μέταλλο και ανάλογα με τον τρόπο δράσης τους εναντίον της διάβρωσης διακρίνονται σε ανασταλτικές, θυσίας (sacrificial) και τα φράγματα-εμπόδια.

5.4 Προετοιμασία της επιφάνειας

Η αποτελεσματικότητα ενός επιστρώματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προετοιμασία της επιφάνειας του μετάλλου. Η κατάλληλη προετοιμασία ενός μετάλλου αποσκοπεί αφενός στην απομάκρυνση των ανεπιθύμητων ουσιών, όπως ακαθαρσίες, τυχόν οξείδια του μετάλλου και αφετέρου στην αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας. Έτσι αποφεύγονται τοπικά γαλβανικά στοιχεία και δημιουργείται η κατάλληλη συνάφεια μεταξύ του μετάλλου και του επιστρώματος.

Οι μέθοδοι προετοιμασίας μίας μεταλλικής επιφάνειας είναι:

α. Απολίπανση

β. Μηχανικός καθαρισμός

γ. Ψηγματοβολή

δ. Καθαρισμός με φλόγα

ε. Χημικός καθαρισμός-αποξείδωση

5.5 Μέθοδοι επικάλυψης με αντιδιαβρωτικά χρώματα

Η μέθοδος επικάλυψης που θα εφαρμοστεί εξαρτάται από το μέγεθος της μεταλλικής επιφάνειας που θα καλυφθεί και από το είδος της επικάλυψης που θα εφαρμοστεί. Οι μέθοδοι επικάλυψης είναι:

α. Με πινέλο ή ρολό: Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την κάλυψη μικρών επιφανειών και τμημάτων που απαιτούν μεγάλη προσοχή, λόγω του γεωμετρικού σχήματός τους.

β. Εκνέφωση: Χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανική κλίμακα, όπου μεγάλες μεταλλικές επιφάνειες καλύπτονται γρήγορα και ομοιόμορφα. Η μέθοδος χωρίζεται σε δ

ύο κατηγορίες σε θερμή και ψυχρή. Η πρώτη κατηγορία δίνει στρώματα με μεγάλο πάχος και η δεύτερη με μικρό πάχος. Η ηλεκτροστατική εκνέφωση είναι άλλη μια κατηγορία εκνέφωσης, όπου η ηλεκτρική φόρτιση της επιφάνειας προηγείται με αντίθετο φορτίο από αυτό των κολλοειδών σωματιδίων του χρώματος. Με την εκνέφωση μόνο ένα στρώμα επικάλυψης μπορεί να τοποθετηθεί.

γ. Εμβάπτιση: Εφαρμόζεται κυρίως σε επιφάνειες με γεωμετρικές ανωμαλίες. Η μέθοδος αυτή δεν εξασφαλίζει τέλεια εμφάνιση του τελικού επιστρώματος. Στην ηλεκτροφόρτιση κατά την εμβάπτιση το αντιδιαβρωτικό χρώμα που αποτελείται από δίπολα μόρια έλκεται από το κατάλληλα φορτισμένο κομμάτι.

δ. Θέρμανση: Σε φούρνους που χρησιμοποιούν θερμό αέρα γίνεται η ξήρανση του αντιδιαβρωτικού χρώματος, με εξάτμιση του διαλυτικού που περιέχουν. Τελευταία χρησιμοποιούνται υπέρυθρες ακτινοβολίες, οι οποίες προκαλούν τη γρήγορη ανύψωση της θερμοκρασίας επιφανειακά, χωρίς να προσβληθεί το μεταλλικό υπόστρωμα και οι μηχανικές του ιδιότητες.

5.6 Διάβρωση κάτω από οργανικά επιστρώματα

Η διάβρωση κάτω από τα οργανικά επιστρώματα διακρίνεται στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Δημιουργία φυσαλίδων: Η πρώτη ένδειξη της ανεπαρκούς προστασίας από οργανικές επικαλύψεις κατά τη διάβρωση είναι η δημιουργία φυσαλίδων. Κυρίως έχουν συζητηθεί τέσσερις διαφορετικοί μηχανισμοί που οδηγούν στη δημιουργία φυσαλίδων:

α. Φουσκάλες με αύξηση του όγκου λόγω οιδήματος

β. Φουσκάλες λόγω σχηματισμού υδρογόνου.

γ. Φουσκάλες από οσμωτικές διαδικασίες λόγω διαλυτές ακαθαρσίες στη διεπιφάνεια φίλμ / επιφάνεια. Αποτελεί το πιο συνηθισμένο μηχανισμό εμφάνισης των φλύκταινων.

δ. Φουσκάλες λόγω διαχωρισμού φάσεων κατά τη στερεοποίηση: Πραγματοποιείται όταν χρησιμοποιούνται δύο διαλύτες από τους οποίους αυτός που εξατμίζεται βραδύτερα είναι υδρόφιλος. Έτσι το νερό διευκολύνεται να εισέλθει και να καλύψει τα κενά που αφήνει ο άλλος διαλύτης, που εξατμίστηκε γρηγορότερα. Διαλύτες όπως εστέρες ή αιθέρες τείνουν σε αυτό το είδος δημιουργίας φυσαλίδων. Σε αυτή την περίπτωση το πάχος του φίλμ όσο αυξάνεται δε συνεπάγεται αυτόματα και την καλύτερη προστασία του μετάλλου. Διότι ο λιγότερο πτητικός υδρόφιλος διαλύτης αφήνει το φίλμ πιο αργά, όσο το πάχος του φίλμ είναι μεγαλύτερο.

2. Νηματοειδής διάβρωση: Συνήθως εμφανίζεται σε βερνίκια και λάκες. Ο σχηματισμός της ευνοείται μόνο σε περιβάλλον με μεγάλο ποσοστό υγρασίας, καθώς επίσης και από την επαρκή υδατοδιαπερατότητα της βαφής και την παρουσία ελαττωμάτων, όπως πόροι, μηχανικές καταπονήσεις, κρύσταλλοι άλατος ή σωματίδια σκόνης. Τα νήματα που δημιουργούνται είναι κόκκινου χρώματος, χαρακτηριστικό του Fe_2O_3, και η κεφαλή τους είναι πράσινη ή μπλε, ανάλογα με την παρουσία ιόντων σιδήρου. Σε σχετική υγρασία 100% τα νήματα εκδηλώνονται σε φλύκταινες.

3. Καθοδική αποφλοίωση: Παρατηρείται κατά την εφαρμογή της ανοδικής προστασίας σε επικαλυμμένο επίστρωμα, λόγω της απώλειας της συνάφειας στις ατέλειες του επιστρώματος.

4. Ανοδική υπονόμευση: Παρουσιάζεται όταν το μέταλλο είναι ανοδικό ως προς το δυναμικό διάβρωσης λόγω εφαρμογής εξωτερικού ρεύματος ή δημιουργίας γαλβανικού στοιχείου.

5. Διάβρωση αμμοβολημένων χαλύβδινων επιφανειών: Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται σε αμμοβολημένες χαλύβδινες επιφάνειες με τη μορφή κηλίδων σκουριάς καφέ χρώματος.

6. Πρώιμη διάβρωση: Στην περίπτωση αυτή εάν το αντιδιαβρωτικό χρώμα δεν έχει ξηραθεί σωστά έχει σαν αποτέλεσμα ο διαλύτης να μην εξατμιστεί και να επιτρέπει έτσι τη διέλευσή του.

7. Απώλεια συνάφειας λόγω ύγρανσης: Τα πολικά μόρια του νερού που απορροφούνται από το περιβάλλον επηρεάζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ των

μορίων του υποστρώματος και του επιστρώματος, με αποτέλεσμα τη ρήξη του δεσμού και την έναρξη της διάβρωσης. Έτσι εφαρμόζοντας τη μέθοδο της διαδοχικής επίστρωσης της μεταλλικής επιφάνειας με αλληλουχία στρωμάτων επιτυγχάνουμε ένα ελάχιστο πάχος για το αντιδιαβρωτικό χρώμα και κατά συνέπεια και έλλειψη πόρων, άρα αποτελεσματική προστασία του μετάλλου.

6. Πειραματική Διαδικασία

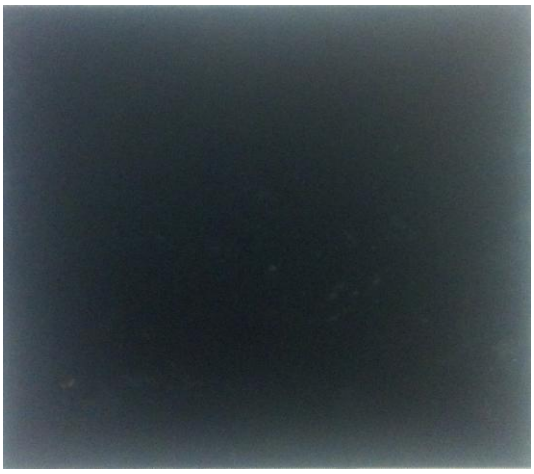
6.1 Γενικά

Η διάβρωση αποδεικνύεται ότι αποτελεί σημαντικό παράγοντα της διάρκειας ζωής των μεταλλικών κατασκευών. Για το λόγο αυτό γίνονται προσπάθειες αντιμετώπισης της. Ένας τρόπος αντιμετώπισής της είναι με τη χρήση αντιδιαβρωτικών χρωμάτων (οργανικών επικαλύψεων).

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει τη μελέτη προστασίας δοκιμίων χάλυβα με τη χρήση τέτοιων αντιδιαβρωτικών χρωμάτων. Για την καλύτερη προσομοίωση των φυσικών συνθηκών και την ευρύτερη μελέτη περιπτώσεων διάβρωσης, τα δοκίμια διαβρώθηκαν σε διάταξη αλατονέφωσης και σε διάταξη εμβάπτισης. Τα πειράματα έγιναν στο εργαστήριο Φυσικοχημείας και Εφαρμοσμένης Ηλεκτροχημείας του τομέα Επιστήμης και Τεχνικής της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

6.2 Περιγραφή Δοκιμίων

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν 60 δοκίμια από φύλλα χάλυβα. Τα δοκίμια έχουν τετράγωνο σχήμα, διαστάσεων 10cm x 10 cm, και πάχος ενός χιλιοστού.



Εικόνα 6.1: Δοκίμιο χάλυβα

Στοιχείο		Περιεκτικότητα %	Στοιχείο		Περιεκτικότητα %
Σίδηρος	Fe	99,2010	Βανάδιο	V	0,00101
Άνθρακας	C	0,07773	Κοβάλτιο	Co	0,00306
Πυρίτιο	Si	0,00558	Χαλκός	Cu	0,02413
Μαγγάνιο	Mn	0,30757	Κασσίτερος	Sn	0,00208
Φώσφορος	P	0,00504	Αργίλιο	Al	0,00670
Θείο	S	0,02216	Τιτάνιο	Ti	0,00001
Χρώμιο	Cr	0,02595	Νιόβιο	Nb	0,00097
Νικέλιο	Ni	0,02432	Αρσενικό	As	0,00115
Μολυβδένιο	Mo	0,00493	Ασβέστιο	Ca	0,00001
Μόλυβδος	Mb	0,00282	Οξυγόνο	O	0,21460
Άζωτο	N	0,06916	Μαγγάνιο / Θείο	Mn/S	13,90218
			Ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα	Ceq	0,13860

Πίνακας 6.1: Χημική σύσταση δοκιμίων χάλυβα

6.3 Πειραματικές Διατάξεις

6.3.1 Αλατονέφωση

Η διάταξη της αλατονέφωσης περιλαμβάνει:

α. Το θάλαμο αλατονέφωσης της εταιρείας ERICSHEN Model 606. Στο θάλαμο ψεκάζεται με ακροφύσιο υδατικό διάλυμα NaCl 5% κ.β με τη μορφή νέφους. Η θερμοκρασία στο θάλαμο είναι 30º C και η πίεση 1 bar. Ο θάλαμος έχει κυλινδρικό σχήμα. Η βάση του είναι κλειστή και στο κέντρο της βρίσκεται το ακροφύσιο

ψεκασμού. Η οροφή του κυλίνδρου είναι κλείνεται με έναν θόλο, ο οποίος οδηγεί τις σταγόνες που δημιουργούνται από την εκνέφωση στη βάση του θαλάμου. Στη βάση υπάρχει σύστημα απομάκρυνσης του διαλύματος που υγροποιείται και το οποίο πρέπει να απομακρύνεται χωρίς μετά να επανεψεκάζεται. Το ακροφύσιο περιβάλλεται από ειδική κυλινδρική στήλη (σωλήνα) που οδηγεί το νέφος διαλύματος προς το θόλο, με αποτέλεσμα την ομοιόμορφη διασπορά του μέσα στο θάλαμο. Η θερμότητα επιτυγχάνεται με ειδική αντίσταση που βρίσκεται στη βάση του θαλάμου.

Τα δοκίμια τοποθετούνται μέσα στο θάλαμο στηριζόμενα σε ειδικές βάσεις με κλίση περίπου 20º με την κατακόρυφο, χωρίς να έρχονται σε επαφή μεταξύ τους. Επίσης, η τοποθέτησή τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη διαβροχή όλων των δοκιμίων, ενώ ταυτόχρονα το διάλυμα που ρέει σε ένα δοκίμιο δε στάζει σε κάποιο άλλο.

Εικόνα 6.2: Θάλαμος αλατονέφωσης

β. Τη δεξαμενή διαλύματος και τον πίνακα ελέγχου. Η δεξαμενή έχει χωρητικότητα 200 lt διαλύματος. Το διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε είναι απιονισμένο νερό με 5% NaCl βάση των προδιαγραφών ASTM B117. Στον πίνακα ελέγχου υπάρχουν ενδείξεις και χειριστήρια ελέγχου της θερμοκρασίας, της πίεσης και της ώρας λειτουργίας της διάταξης.

γ. Τον αεροσυμπιεστή. Ο οποίος συγκεντρώνοντας την απαραίτητη πίεση (από 3 bar έως 6 bar) διοχετεύει τον αέρα στο θάλαμο, όπου το διάλυμα ψεκάζεται με την απαραίτητη αναλογία μέσα στο θάλαμο.

Εικόνα 6.3: Διάταξη θαλάμου αλατονέφωσης

6.3.2 Εμβάπτιση

Στη διάταξη της εμβάπτισης χρησιμοποιήθηκε διάλυμα NaCl 3,5% σε θερμοκρασία 34ο C. Η θερμοκρασία αυτή διατηρείται σταθερή με τη χρήση θερμοστάτη. Τα δοκίμια που τοποθετήθηκαν στη λεκάνη της διάταξης βρίσκονται μέσα σε γυάλινο δοχείο και σκεπάζονται με μεμβράνη για τον περιορισμό της εξάτμισης του απιονισμένου νερού του διαλύματος. Με την έναρξη του πειράματος σημειώνεται η στάθμη αναφοράς του διαλύματος στο δοχείο που περιέχει τα δοκίμια και συμπληρώνεται όταν η στάθμη πέφτει. Τα δοκίμια κρέμονται μέσα στο διάλυμα και καλύπτονται ολόκληρα από αυτό. Έτσι όλες οι παράμετροι διατηρήθηκαν σταθερές κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Εικόνα 6.4: Διάταξη εμβάπτισης

6.4 Αντιδιαβρωτικά Επιστρώματα

Τα αντιδιαβρωτικά επιστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

α. Πειραματικό αστάρι μετάλλων της εταιρείας VIVECHROM με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Τύπος: Αλκυδικό υπόστρωμα βερνικοχρωμάτων

Πιγμέντο: Φωσφορικός ψευδάργυρος

Χρώμα: Γκρι

Ειδικό βάρος: 1,42 – 1,54 gr/cm³ (ΕΛΟΤ 523)

Απόδοση: Περίπου 18 m² lt

Χρόνος ξήρανσης: 8 ώρες

β. Πειραματικό υλικό επίστρωμα (EXTRA NEOCHROM) της εταιρείας VIVECHROM με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Τύπος: Βερνικόχρωμα αλκυδικών ρητινών

Χρώμα: Λευκό

Ειδικό βάρος: 0,92 – 1,17 gr/cm³ (ISO 2811)

Απόδοση: 13 – 16 m lt

Χρόνος ξήρανσης: 24 ώρες

6.5 Ποσοστό στερεών χρώματος επί τις % κατά βάρος

Τα αντιδιαβρωτικά χρώματα περιέχουν στερεά και υγρά συστατικά. Από τη στιγμή που θα έρθουν σε επαφή με το περιβάλλον ένα μέρος από τα υγρά συστατικά εξατμίζεται. Οι ουσίες αυτές αποτελούν τις λεγόμενες πτητικές ουσίες, οι οποίες αναγράφονται από τον κατασκευαστή στη συσκευασία των χρωμάτων. Μετά την εξάτμισή τους ο αρχικός όγκος του χρώματος που χρησιμοποιήθηκε και το πάχος του μειώνεται.

Το υγρό μέρος του χρώματος αποτελεί το φορέα και το στερεό τα πιγμέντα. Το υγρό μετά την εξάτμιση μειώνεται και μαζί με τα στερεά μας δίνουν το πάχος της ξηρής μεμβράνης της επικάλυψης που τελικά σχηματίζεται. Το επίστρωμα που έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε στερεά θα εμφανίζει καλύτερη αντιδιαβρωτική συμπεριφορά. Για το λόγο αυτό προτείνεται τα χρώματα να μην αραιώνονται, εκτός αν αυτό είναι απαραίτητο και με αραιωτικό που προτείνεται από τον κατασκευαστή του χρώματος, γιατί η αραίωση θα μειώνει την περιεκτικότητα των στερεών.

Για τον υπολογισμό των πτητικών ουσιών της επικάλυψης ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

1. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις υαλοί ωρολογιού για το αστάρι και ισάριθμοι για το τελικό χρώμα, οι οποίοι αριθμήθηκαν.
2. Τοποθετήθηκε πάνω τους ένας συνδετήρας και ζυγίστηκαν.
3. Τοποθετήθηκε τυχαία ποσότητα χρώματος στον καθένα υαλό, ανακατεύτηκε το χρώμα με το συνδετήρα και ξαναζυγίστηκαν.
4. Όταν η μπογιά στέγνωσε, μετά από αρκετές μέρες, οι υαλοί ζυγίστηκαν.

Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Αριθμός Γυαλιού	**Βάρος γυαλιού με το συνδετήρα (gr)**	**Βάρος γυαλιού με το συνδετήρα και το αστάρι πριν την εξάτμιση (gr)**	**Βάρος γυαλιού με το συνδετήρα και το αστάρι μετά την εξάτμιση (gr)**	**Διαφορά βάρους (gr)**	**Ποσοστό %**
M2	6,2168	8,6265	7,9911	0,6354	26,37
M3	14,7629	16,8732	16,3052	0,568	26,92
M4	10,9426	12,9231	12,3926	0,5305	26,79

Πίνακας 6.2: Αστάρι – Υπολογισμός % κ.β. πτητικών ουσιών ασταριού

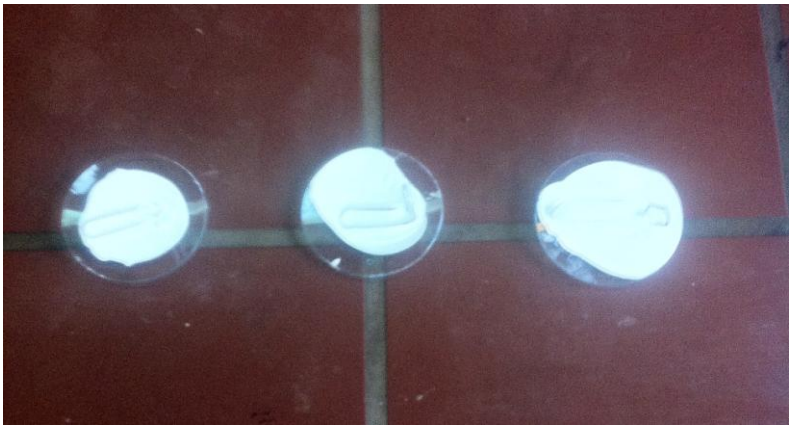
Άρα το ποσοστό % κ.β. των πτητικών ουσιών είναι 26,69%, οπότε των στερεών του ασταριού είναι 73,31%.

Εικόνα 6.5: Υαλοί με επίστρωμα ασταριού

Αριθμός Γυαλιού	**Βάρος γυαλιού με το συνδετήρα (gr)**	**Βάρος γυαλιού με το συνδετήρα και το τελικό χρώμα πριν την εξάτμιση (gr)**	**Βάρος γυαλιού με το συνδετήρα και το τελικό χρώμα μετά την εξάτμιση (gr)**	**Διαφορά βάρους (gr)**	**Ποσοστό %**
Λ1	10,2664	11,4440	11,1584	0,2856	24,25
Λ2	10,7013	12,0090	11,6890	0,32	24,47
Λ3	11,0208	13,1597	12,6580	0,5017	23,46

Πίνακας 6.3: Τελικό χρώμα – Υπολογισμός % κ.β. πτητικών ουσιών τελικό χρώμα

Άρα το ποσοστό % κ.β. των πτητικών ουσιών είναι 24,06%, οπότε των στερεών του τελικού χρώματος είναι 75,94%.



Εικόνα 6.6: Υαλοί με επίστρωμα τελικού χρώματος

6.6 Μέτρηση Πάχους Επιστρωμάτων

Το πάχος των επιστρωμάτων πρέπει να είναι ομοιόμορφο και αναάλογα με την τραχύτητα θα πρέπει να εφαρμόζουμε και το κατάλληλο πάχος επιστρώματος, το οποίο πρέπει πάντως να είναι μεγαλύτερο από μία ελάχιστη τιμή, έτσι ώστε να καλύπτονται όλες οι αιχμές των δοκιμίων.

Για τους λόγους αυτούς μετρήθηκαν τα πάχη των διαδοχικών επιστρωμάτων (ασταριού και τελικού χρώματος) με ειδική συσκευή μέτρησης τύπου Elcometer F456. Η συσκευή χρησιμοποιεί τα δινορεύματα. Για να μετρήσουμε πρέπει ο διαλύτης να έχει εξατμιστεί και το επίστρωμα να έχει στεγνώσει. Η χρονική περίοδος βαφής παίζει σημαντικό ρόλο στη σωστή και γρήγορη εξάτμιση. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται είναι 10 για κάθε δοκίμιο (5 μετρήσεις σε κάθε πλευρά του δοκιμίου), σε προεπιλεγμένα σημεία των μεταλλικών επιφανειών. Τα δοκίμια που μετρήθηκαν είναι 10 για την εμβάπτιση, εκ των οποίων τα μισά βάφηκαν με λεπτό πινέλο (Α1-Α5) και τα υπόλοιπα μισά (Β1-Β5) με χοντρό πινέλο. Και 10 για την αλατονέφωση, εκ των οποίων τα μισά βάφηκαν με λεπτό πινέλο (Γ1-Γ5) και τα υπόλοιπα μισά με χοντρό πινέλο (Δ1-Δ5)

Εικόνα 6.7: Παχύμετρο

Αριθμός δοκιμίου	Μικρότερη τιμή (μm)	Μεγαλύτερη τιμή (μm)	Μέση Τιμή (μm)	Τυπική απόκλιση
A1	6,3	38,0	23,6	9.4
A2	11,0	47,5	25,0	10,2
A3	9,8	65,6	26,0	15,1
A4	16,4	40,5	27,9	7,9
A5	14,4	55,3	26,3	12,5
B4	32,7	95,8	57,7	18,4
B2	49,0	107,0	67,4	18,8
B3	33,6	206,0	90,0	51,9
B4	42,5	135,0	92,6	29,3
B5	44,9	103,0	64,3	18,7

Πίνακας 6.4: Μέτρηση πάχους επιστρώματος Ασταριού σε δοκίμια εμβάπτισης

Αριθμός δοκιμίου	Μικρότερη τιμή (μm)	Μεγαλύτερη τιμή (μm)	Μέση Τιμή (μm)	Τυπική απόκλιση
A1	54,7	186,0	122,0	58,5
A2	89,9	135,0	116,0	13,7
A3	80,7	120,0	105,0	13,8
A4	91,7	126,0	105,0	10,5
A5	93,7	141,0	114,0	14,8
B1	71,7	125,0	98,4	19,4
B2	90,6	154,0	116,0	22,9
B3	101,0	232,0	154,0	47,4
B4	100,0	188,0	142,0	27,6
B5	111,0	174,0	139,0	23,5

Πίνακας 6.5: Μέτρηση πάχους επιστρώματος τελικού χρώματος -EXTRA NEOCHROM-σε δοκίμια εμβάπτισης

Αριθμός δοκιμίου	Μικρότερη τιμή (μm)	Μεγαλύτερη τιμή (μm)	Μέση Τιμή (μm)	Τυπική απόκλιση
Γ1	146,0	52,0	51,5	26,8
Γ2	20,3	47,1	33,2	9,1
Γ3	21,7	44,1	32,8	6,6
Γ4	27,3	62,8	40,2	11,6
Γ5	29,5	62,0	46,0	10,7
Δ1	38,7	62,2	51,8	7,9
Δ2	30,3	65,2	43,5	12,8
Δ3	41,4	60,6	49,7	6,9
Δ4	25,7	88,5	56,3	21,0
Δ5	31,3	74,9	51,4	14,9

Πίνακας 6.6: Μέτρηση πάχους επιστρώματος Ασταριού σε δοκίμια αλατονέφωσης.

Αριθμός δοκιμίου	Μικρότερη τιμή (μm)	Μεγαλύτερη τιμή (μm)	Μέση Τιμή (μm)	Τυπική απόκλιση
Γ1	94,4	380,0	173,0	108,0
Γ2	64,0	139,0	106,0	24,0
Γ3	89,4	116,0	103,0	8,6
Γ4	101,0	143,0	115,0	12,0
Γ5	111,0	144,0	128,0	11,3
Δ1	107,0	171,0	128,0	17,6
Δ2	101,0	146,0	120,0	15,9
Δ3	95,6	171,0	126,0	23,7
Δ4	117,0	150,0	131,0	10,5
Δ5	102,0	157,0	125,0	15,2

Πίνακας 6.7: Μέτρηση πάχους επιστρώματος τελικού χρώματος –EXTRA NEOCHROM-σε δοκίμια αλατονέφωσης

6.7 Περιγραφή Πειραμάτων

Τα δοκίμια χάλυβα που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα καθαρίστηκαν σε πρώτη φάση με ψηγματοβολή. Με τον τρόπο αυτό αφαιρέθηκαν τυχόν ακαθαρσίες και προηγούμενες βαφές. Η ψηγματοβολή έγινε σε ειδική συσκευή, οποία φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Εικόνα 6.8: Συσκευή ψηγματοβολής

Μετά τον καθαρισμό, τα δοκίμια αριθμήθηκαν και ζυγίστηκαν με ζυγαριά ακριβείας.

Εικόνα 6.9: Ζυγαριά ακριβείας

Στη συνέχεια βάφτηκαν τα πρώτα 30 δοκίμια, που χρησιμοποιήθηκαν στην εμβάπτιση, με το πρώτο επίστρωμα (αστάρι). Η βαφή έγινε με λεπτό πινέλο για τα πρώτα 15 (A1-A15) και με χοντρό πινέλλο για τα υπόλοιπα 15 (B1-B15). Ο τρόπος βαφής είναι συγκεκριμένος για όλα τα δοκίμια. Η επίχριση του χρώματος έγινε αρχικά κατά πλάτος των δοκιμίων και από τις δύο πλευρές τους. Μετά από το στέγνωμα η βαφή έγινε κάθετα στην προηγούμενη κατεύθυνση για την αποφυγή διάκενων. Τα δοκίμια αφέθηκαν να στεγνώσουν και μετά από 3 μέρες ζυγίστηκαν και έγινε μέτρηση του πάχους του επιστρώματος ασταριού.

Στη συνέχεια τα δοκίμια βάφτηκαν, με τον ίδιο τρόπο, με το τελικό χρώμα κι αφέθηκαν να στεγνώσουν 8 μέρες. Κατόπιν ζυγίστηκαν κι έγινε μέτρηση του πάχους του τελικού επιστρώματος.

Εικόνα 6.10: Δοκίμια με το τελικό επίστρωμα

Τα δοκίμια με αρίθμηση A1-A13 κρεμάστηκαν σε 4 ράβδους, ανά 3 δοκίμια σε κάθε ράβδο εκτός από την τέταρτη που έχει 4 δοκίμια. Οι ράβδοι στηρίχθηκαν στο χείλος της γυάλινης λεκάνης κι έτσι τα δοκίμια τοποθετήθηκαν μέσα σε αυτή. Ομοίως και τα δοκίμια με αρίθμηση B1-B13 χωρίστηκαν και κρεμάστηκαν από ράβδους, οι οποίες στηρίχθηκαν κι αυτές σε γυάλινη λεκάνη. Στις δύο γυάλινες λεκάνες προσθέσαμε το διάλυμα που έχουμε αναφέρει στην παράγραφο 6.3.2 μέχρι το σημείο που έχει προσημειωθεί κι έτσι ώστε τα δοκίμια να είναι πλήρως βυθισμένα στο διάλυμα. Μετά 2 γυάλινες λεκάνες σκεπάστηκαν με διαφανή ζελατίνα και τοποθετήθηκαν στο δοχείο με το απιονισμένο νερό της διάταξης της εμβάπτισης. Τα δοκίμια A14, A15, B14 και B15 δεν εμβαπτίστηκαν, γιατί χρησιμοποιήθηκαν σε πειράματα μέτρησης πρόσφυσης, μέτρησης αντοχής σε κρούση και πρόβλεψης διάβρωσης με ηλεκτροχημική μέθοδο.

Εικόνα 6.11: Δοκίμια με το τελικό επίστρωμα και τη ζελατίνα στη διάταξη εμβάπτισης

Τα 3 πρώτα δοκίμια από κάθε σειρά (Α1-Α3 και Β1-Β3) βγήκαν από την εμβάπτιση μετά από 240 ώρες (10 ημέρες). Τα επόμενα (Α4-Α6 και Β4-Β6) μετά από 888 ώρες (37 ημέρες). Η επόμενη σειρά (Α7-Α9 και Β7-Β9) βγήκε μετά από 1608 ώρες (67 ημέρες). Η τελευταία σειρά δοκιμίων (Α10-Α11-Α12-Α13 και Β10-Β11-Β12-Β13)βγήκε μετά από 2256 ώρες (94 ημέρες). Η αφαίρεση των δοκιμίων έγινε με τη σειρά που αναφέρθηκε για την διευκόλυνση παρακολούθησης του πειράματος. Τα δοκίμια όταν βγήκαν από την εμβάπτιση πλυθήκαν με απιονισμένο νερό για να φύγει το διάλυμα που είχε καθίσει πάνω τους και αφέθηκαν να στεγνώσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στο τέλος ζυγίστηκαν μετά από 1 ημέρα και ξαναζυγίστηκαν 12 ημέρες μετά την αφαίρεσή τους από το διάλυμα.

Για το πείραμα της αλατονέφωσης χρησιμοποιήθηκαν πάλι 30 δοκίμια, τα οποία αφου καθαρίστηκαν με τη συσκευή ψηγματοβολής, όπως και τα προηγούμενα, αριθμήθηκαν και ζυγίστηκαν με τη ζυγαριά ακριβείας. Στη συνέχεια βάφτηκαν με αστάρι και με τον ίδιο τρόπο με τα δοκίμια της εμβάπτισης. Τα δοκίμια αφέθηκαν να στεγνώσουν 3 ημέρες και έπειτα αριθμήθηκαν. Τα πρώτα 15 που βάφτηκαν με λεπτό πινέλο είναι τα Γ1- Γ15 και τα υπόλοιπα 15 με χοντρό πινέλο είναι τα Δ1-Δ15. Κατόπιν έγινε η μέτρηση του πάχους του επιστρώματος ασταριού.

Στη συνέχεια τα δοκίμια βάφτηκαν με το τελικό χρώμα, με τον ίδιο πάλι τρόπο, κι αφέθηκαν να στεγνώσουν 8 ημέρες. Μετά ζυγίστηκαν κι έγινε η τελική μέτρηση του πάχους του επιστρώματος.

Οι δύο σειρές δοκιμίων από Γ1-Γ15 και Δ1-Δ15 τοποθετήθηκαν ξεχωριστά σε δύο πανομοιότυπες βάσεις, τα χαρακτηριστικά των οποίων αναφέρονται στην παράγραφο 6.3.1 και μπήκαν στο θάλαμο αλατονέφωσης. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στη βάση κατά αύξοντα αριθμό από πάνω προς τα κάτω.

Εικόνα 6.12: Βάση στήριξης δοκιμίων στην αλατονέφωση

Τα πρώτα δοκίμια που αφαιρέθηκαν είναι τα Γ1, Γ8, Γ15 και Δ1, Δ8, Δ15, μετά από 240 ώρες έκθεσης (10 ημέρες). Η επόμενη σειρά Γ2, Γ7, Γ14 και Δ2, Δ7, Δ14 μετά από 528 ώρες (22 ημέρες). Στη συνέχεια βγήκαν τα Γ3, Γ9, Γ13 και Δ3, Δ9, Δ13 μετά από 888 ώρες (37 ημέρες). Η επόμενη σειρά είναι τα Γ4, Γ6, Γ12 και Δ4, Δ6, Δ12,που αφαιρέθηκαν μετά από 1176 ώρες (49 ημέρες). Η τελευταία σειρά δοκιμίων Γ5, Γ10, Γ11 και Δ5, Δ10, Δ11 βγήκε μετά από 1536 ώρες (64 ημέρες) Η αφαίρεση των δοκιμίων κάθε σειράς έγινε με τρόπο έτσι που το πρώτο να βρίσκεται ψηλά στη βάση στήριξης, το δεύτερο στη μέση και το τρίτο προς το κάτω μέρος της. Τα δοκίμια όταν βγήκαν από την εμβάπτιση πλυθήκαν με απιονισμένο νερό για να φύγει το διάλυμα που είχε καθίσει πάνω τους και αφέθηκαν να στεγνώσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στο τέλος ζυγίστηκαν μετά από 1 ημέρα και ξαναζυγίστηκαν 12 ημέρες μετά την αφαίρεσή τους από το διάλυμα.

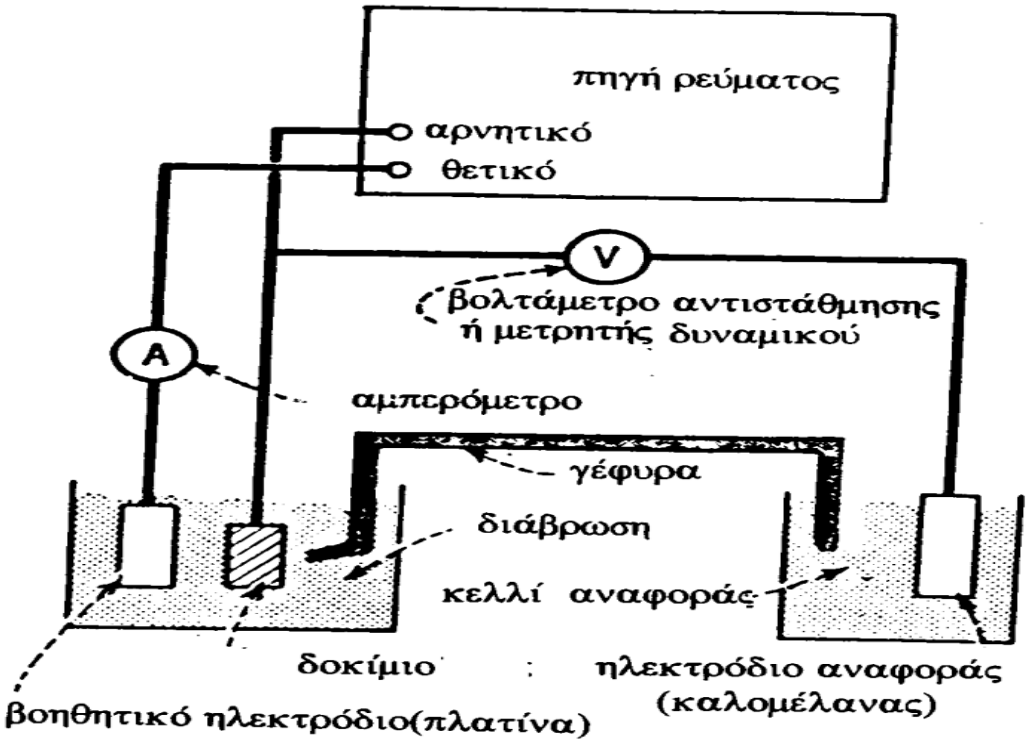
7. Αποτελέσματα Πειραμάτων και Συγκρίσεις

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναφορά στην πρόβλεψη του ρυθμού διάβρωσης με τη μέθοδο TAFEL και με τη μέθοδο της διαφοράς βάρους.

7.1 Ηλεκτροχημικές Μετρήσεις (πρόβλεψη για χρόνο λειτουργικής ζωής του συστήματος μετάλλου-επικάλυψης, μέθοδος TAFEL)

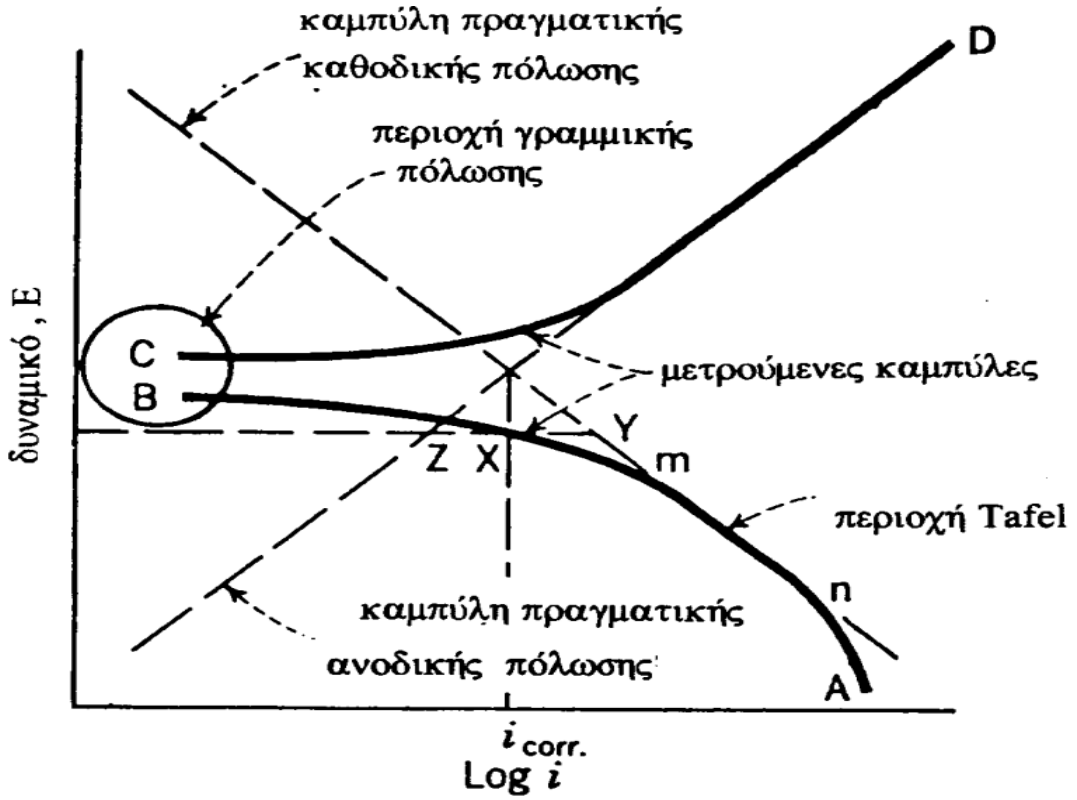
Η μέθοδος αυτή ονομάζεται και μέθοδος δυναμοστατικών – εντασιοστατικών καμπύλων φόρτισης και χρησιμοποιεί την ανοδική φόρτιση των δοκιμίων έτσι ώστε να επιταχύνει τη διάβρωσή τους και να μας δώσει στοιχεία που αφορούν τη μακροχρόνια έκθεση των δοκιμίων σε διαβρωτικό περιβάλλον.

Η διάταξη που χρησιμοποιείται για αυτή τη μέθοδο περιλαμβάνει το δοχείο διαλύματος NaCl περιεκτικότητας 3,5%, μέσα στο οποίο τοποθετείται το δοκίμιο που εξετάζεται, το βοηθητικό ηλεκτρόδιο από λευκόχρυσο και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς που είναι από καλομέλανα. Τα δοκίμια συνδέονται με την πηγή ρεύματος, η οποία παρέχει σταθερές τάσεις στο κύκλωμα (θετικές ή αρνητικές) που δημιουργείται. Με το αμπερόμετρο μπορούμε να μετρήσουμε την ένταση του ρεύματος που περνάει το κύκλωμα κάθε φορά.



Σχήμα 7.1: Διάταξη για λήψη καμπυλών

Το δοκίμιο λειτουργεί είτε ως άνοδος είτε ως κάθοδος. Κατά την ανοδική φόρτισή του εντείνεται η οξείδωσή του (απώλεια ηλεκτρονίων), ενώ κατά την καθοδική φόρτισή του εντείνεται η αναγωγή του (πρόσληψη ηλεκτρονίων). Μεταβάλλοντας την τιμή του δυναμικού της πηγής ρεύματος παίρνουμε τις καμπύλες πόλωσης του σχήματος 7.2. Στο σημείο τομής των δύο καμπύλων βρίσκεται το δυναμικό διάβρωσης, δηλαδή η διαφορά δυναμικού μεταξύ του δοκιμίου και του διαβρωτικού περιβάλλονος, και η ένταση του ρεύματος διάβρωσης.



Σχήμα 7.2: Μετρούμενες και πραγματικές καμπύλες πόλωσης

Όταν συμβαίνει ηλεκτροχημική διάβρωση το ρεύμα που ρέει μεταξύ ανόδου και καθόδου προκαλεί μια αλλαγή στο ηλεκτροδιακό δυναμικό. Αυτή η αλλαγή ορίζεται ως πόλωση (polarization) και επηρεάζει το ρυθμό διάβρωσης. Το δυναμικό ισορροπίας ονομάζεται δυναμικό διάβρωσης και η προκαλούμενη από το φαινόμενο πυκνότητα ρεύματος μπορεί να μετρηθεί.

Το δυναμικό διάβρωσης δεν έχει απόλυτη έννοια αλλά χρησιμοποιείται συγκριτικά για τον προσδιορισμό της τάσης για διάβρωση των διαφόρων μετάλλων και κραμάτων. Ωστόσο οι καμπύλες αυτές δίνουν τη δυνατότητα του υπολογισμού

της «ηλεκτροχημικής ταχύτητας διάβρωσης», της απώλειας δηλαδή υλικού σε ορισμένο χρονικό διάστημα.

Στο σχήμα 7.2 φαίνονται οι καμπύλες ανοδικής και καθοδικής πόλωσης. Το ηλεκτρόδιο έχει ανοδικές και καθοδικές περιοχές στην επιφάνειά του, έτσι η μετρούμενη καμπύλη που τείνει να καλυφθεί από τη λογαριθμική κλίμακα, είναι ένας συνδυασμός των αληθινών ανοδικών και καθοδικών καμπύλων. Οι πραγματικές καμπύλες προκύπτουν από την προέκταση των ευθύγραμμων τμημάτων των μετρούμενων καμπύλων. Όσο απομακρυνόμαστε από το δυναμικό διάβρωσης, η πειραματική καμπύλη συμπίπτει με την πραγματική καμπύλη πόλωσης. Στις περιοχές αυτές ισχύει (περιοχές TAFEL) ισχύει ευθύγραμμη σχέση μεταξύ των δυναμικών και του λογαρίθμου της έντασης διάβρωσης.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 7.2 αρκεί να προεκτείνουμε μία από τις δύο καμπύλες (ανοδική ή καθοδική). Έτσι προεκτείνοντας την καθοδική γραμμή TAFEL παίρνουμε το σημείο τομής της με το δυναμικό διάβρωσης. Από το νόμο του Faraday

$$\beta = i_{\delta} \cdot t \cdot M \quad n_e \cdot F$$

όπου i_{δ}: η ένταση του ρεύματος διάβρωσης, M: το μοριακό βάρος του μετάλλου, n_e: ο αριθμός ηλεκτρονίων που ανταλλάσσονται ανά ιόν και F= 96500Cb. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζουμε την απώλεια βάρους σε συνάρτηση με το χρόνο t.

Η απώλεια βάρους που υπολογίζεται με αυτόν τον τρόπο διαφέρει από την απώλεια βάρους που μετράται πραγματικά. Ωστόσο λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές τιμές απώλειας βάρους και κάνοντας τις απαραίτητες διορθώσεις μπορούμε με την παραπάνω μέθοδο να πάρουμε μία αρχική εικόνα της ταχύτητας διάβρωσης.

Η ηλεκτροχημική ένταση της διάβρωσης μπορεί να βρεθεί και με τη μέθοδο της γραμμικής πόλωσης:

$$i_{\delta\iota\acute{\alpha}\beta\rho} = [B_{\alpha} \cdot B_c \quad 2{,}3 \cdot B_{\alpha} \cdot B_c\ ] \cdot \Delta I \quad \Delta E$$

όπου Βα και Βc οι κλίσεις των ευθειών TAFEL ανοδική και καθοδική αντίστοιχα, Ε η πόλωση, Ι το εφαρμοζόμενο ρεύμα και η κλίση της ευθείας ΔI ΔE έχει μονάδες αντίστασης και ονομάζεται αντίσταση πόλωσης.

Από την εφαρμογή της τεχνικής TAFEL παίρνουμε μία γραφική παράσταση του δυναμικού συναρτήσει του λογαρίθμου του ρεύματος διάβρωσης. Έτσι τα πειράματα

TAFEL μας παρέχουν ποσοτικές πληροφορίες για το ρυθμό διάβρωσης και συγκεκριμένα για το δυναμικό διάβρωσης, το ρεύμα και το ρυθμό διάβρωσης, κινητικές πληροφορίες (συντελεστές ΒΕΤΑ) για την ανοδική και καθοδική αντίδραση.

7.2 Απώλεια Βάρους Δοκιμίων

Αποτελεί μία μέθοδο πρόβλεψης της διάβρωσης με μη ηλεκτρικό τρόπο. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή γνωρίζοντας το αρχικό βάρος των δοκιμίων ή γενικότερα των κατασκευών, μετράμε το τελικό τους βάρος μετά από την τεχνητή ή φυσική έκθεσή τους σε διαβρωτικό περιβάλλον σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα και αφού απομακρύνουμε τα προϊόντα διάβρωσης που σχηματίζονται πάνω τους. Η μέθοδος αυτή βρίσκει κυρίως εφαρμογή σε περιπτώσεις ομοιόμορφης διάβρωσης. Επίσης η απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης από τις επιφάνειες των μετάλλων εγκυμονεί τον κίνδυνο απομάκρυνσης και υλικού. Ωστόσο η μέθοδος αυτή δίνει ποιοτικά αποτελέσματα, όταν τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται είναι ίδιου μεγέθους και τίθονται σε διαβρωτικό περιβάλλον για τις ίδιες χρονικές περιόδους.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του ρυθμού διάβρωσης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν 56 δοκίμια, 26 από τα οποία διαβρώθηκαν με τη μέθοδο της εμβάπτισης και τα 30 με τη μέθοδο της αλατονέφωσης. Τα δοκίμια καθαρίστηκαν με διάλυμα ακετόνης και στο τέλος ζυγίστηκαν για τον υπολογισμό του τελικού βάρους τους.

7.3 Πείραμα Εμβάπτισης και Αλατονέφωσης σε δοκίμια χωρίς επίστρωμα

Χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον χαλύβδινα δοκίμια για τον υπολογισμό της διάβρωσης με τη μέθοδο της εμβάπτισης και της αλατονέφωσης. Τα δοκίμια αυτά δεν προστατεύτηκαν με κάποιο επίστρωμα.

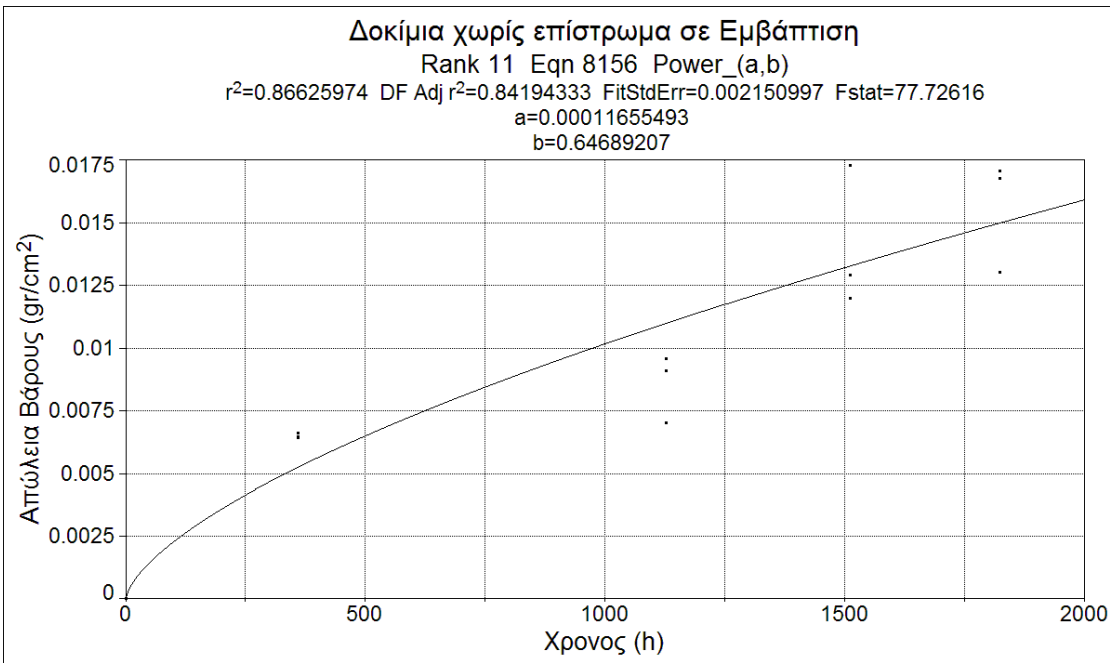
7.3.1 Απώλεια βάρους δοκιμίων χωρίς επίστρωμα στο πείραμα εμβάπτισης

Λόγω της διάταξης των δοκιμίων στη συσκευή εμβάπτισης διαβρώθηκαν και οι δύο επιφάνειες τους και η συνολική επιφάνεια διάβρωσης βρέθηκε ίση με A= 200 cm^2. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός Δοκιμίου	**Χρόνος (ώρες)**	**Αρχικό Βάρος(gr)**	**Τελικό Βάρος(gr)**	**Διαφορά Βάρους(gr)**	**Απώλεια Βάρους ανά επιφάνεια(gr/cm²)**
1	360	76,9638	75,6669	1,2969	0,0065
2	360	77,2866	75,9965	1,2901	0,0064
3	360	77,3535	76,0302	1,3233	0,0066
4	1128	77,8325	76,4267	1,4058	0,0070
5	1128	78,2562	76,4358	1,8204	0,0091
6	1128	74,7388	72,8191	1,9197	0,0096
7	1512	77,1624	74,5816	2,5808	0,0129
8	1512	77,4476	75,0480	2,3996	0,0119
9	1512	76,8134	73,3506	3,4628	0,0173
10	1824	77,0934	74,4898	2,6036	0,0130
11	1824	77,4721	74,0555	3,4166	0,0170
12	1824	77,7041	74,3476	3,3565	0,0168

Πίνακας 7.1: Πείραμα εμβάπτισης- Απώλεια βάρους δοκιμίων χωρίς επίστρωμα.

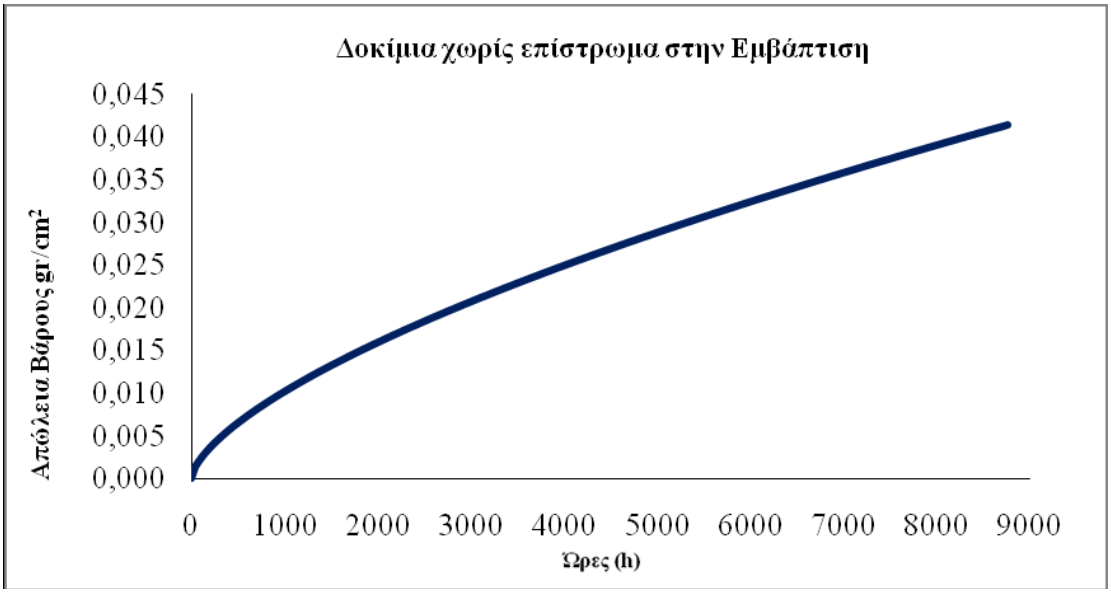
Εισάγοντας τα στοιχεία απώλειας βάρους στο πρόγραμμα Table Curve vs 5.01 υπολογίστηκε η βέλτιστη εκθετική καμπύλη που περνά από τα σημεία υπολογισμού με μορφή $y=ax^b$.



Σχήμα 7.3: Εξίσωση καμπύλης διάβρωσης

Η μορφή της καμπύλης είναι $y=ax^b$, όπου a=0,00011655493 και b=0,64689207. Συντελεστής συσχέτισης r^2= 0,86625974.

Η εξίσωση αυτή περιγράφει την απώλεια βάρους των δοκιμίων σε σχέση με το χρόνο για έκθεση σε εμβάπτιση 1824 h. Με βάση αυτή σχεδιάζεται το γράφημα απώλεια βάρους ανά έτος.



Σχήμα 7.4: Καμπύλη διάβρωσης δοκιμίων.

Η απώλεια βάρους ανά χρόνο είναι 0,04139 gr/cm². Ο ρυθμός διάβρωσης σε mm/year υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

Ρυθμός διάβρωσης σε mm/year = 0,0254 • C•K• διαφορά βάρους / Επιφάνεια • Χρόνο

Όπου K= 1,001 (χάλυβα) και C= 49,8 γιατί θέλω να υπολογίσω το ρυθμό διάβρωσης ανά έτος και ο λόγος διαφοράς βάρους προς επιφάνεια και προς χρόνο είναι το νούμερο 0,001413 gr/cm². Ο ρυθμός διάβρωσης ανά έτος είναι 0,05240 mm/year.

Χρόνος	1 χρόνος(8760 ώρες)
Απώλεια Βάρους	0,04139 gr/cm²
Ρυθμός Διάβρωσης	0,05240 mm/year

Πίνακας 7.2: Ρυθμός διάβρωσης-απώλεια βάρους – δοκιμίων χωρίς επίστρωμα.

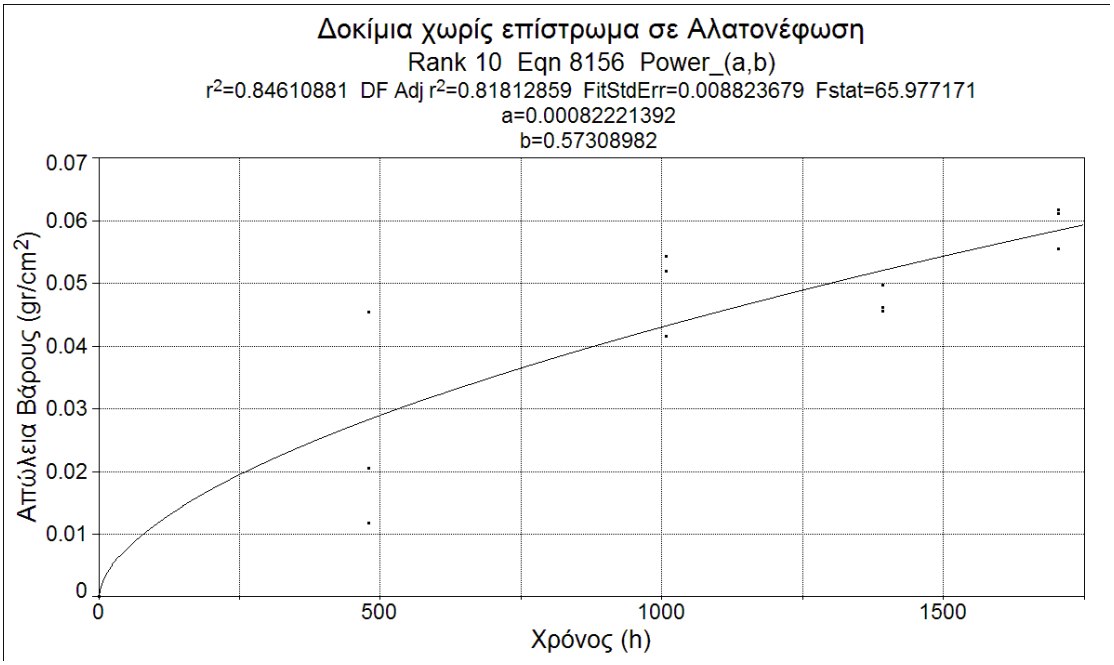
7.3.2 Απώλεια βάρους δοκιμίων χωρίς επίστρωμα στο πείραμα αλατονέφωσης.

Λόγω της διάταξης των δοκιμίων στη συσκευή αλατονέφωσης διαβρώθηκαν και οι δύο επιφάνειες τους και η συνολική επιφάνεια διάβρωσης βρέθηκε ίση με A= 200cm². Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός Δοκιμίου	**Χρόνος (ώρες)**	**Αρχικό Βάρος(gr)**	**Τελικό Βάρος(gr)**	**Διαφορά Βάρους(gr)**	**Απώλεια Βάρους ανά επιφάνεια(gr/cm²)**
1	480	77,4532	68,3687	9,0845	0,0454
2	480	74,2530	71,8962	2,3568	0,0118
3	480	76,6277	72,5194	4,1083	0,0205
4	1008	77,4495	69,1430	8,3065	0,0415
5	1008	79,2256	68,8382	10,3874	0,0519
6	1008	77,9582	67,0902	10,8680	0,0543
7	1392	75,3000	66,0558	9,2442	0,0462
8	1392	77,1532	68,0374	9,1158	0,0455
9	1392	77,8622	67,9017	9,9605	0,0498
10	1704	77,9635	66,8431	11,1204	0,0556
11	1704	75,7406	63,3831	12,3575	0,0617
12	1704	76,7564	64,5278	12,2286	0,0611

Πίνακας 7.3: Πείραμα αλατονέφωσης- Απώλεια βάρους δοκιμίων χωρίς επίστρωμα.

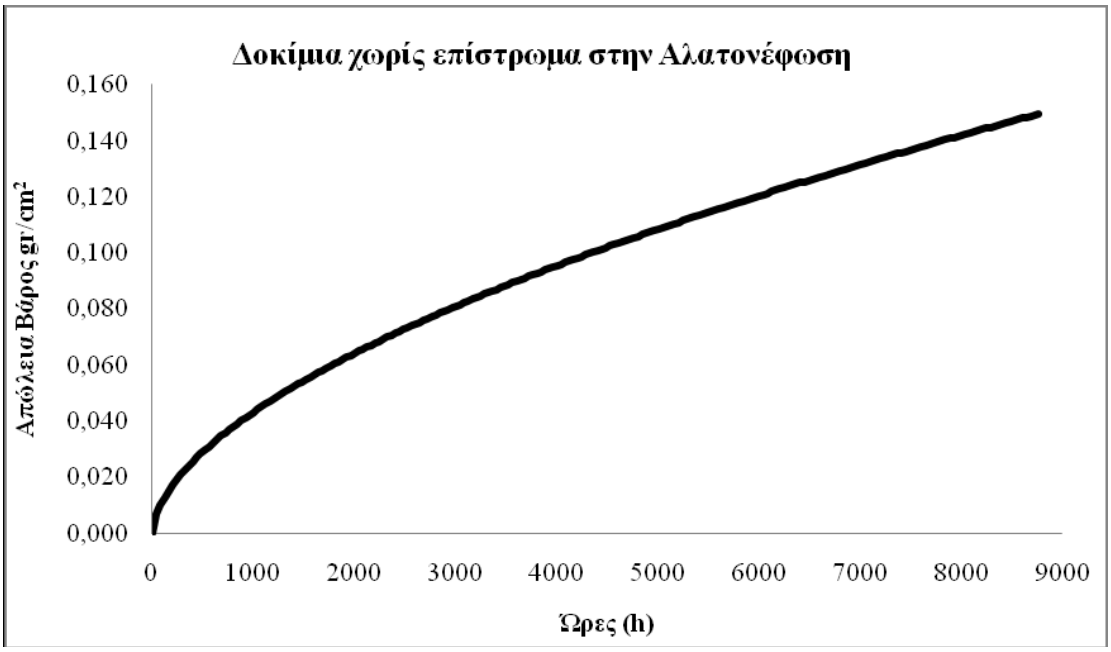
Εισάγοντας τα στοιχεία απώλειας βάρους στο πρόγραμμα Table Curve vs 5.01 υπολογίστηκε η βέλτιστη εκθετική καμπύλη που περνά από τα σημεία υπολογισμού με μορφή $y=ax^b$.



Σχήμα 7.5: Εξίσωση καμπύλης διάβρωσης

Η μορφή της καμπύλης είναι $y=ax^b$, όπου a=0,00082221392 και b=0,57308982. Συντελεστής συσχέτισης r^2= 0,84610881.

Η εξίσωση αυτή περιγράφει την απώλεια βάρους των δοκιμίων σε σχέση με το χρόνο για έκθεση σε εμβάπτιση 1704 h. Με βάση αυτή σχεδιάζεται το γράφημα απώλεια βάρους ανά έτος.



Σχήμα 7.6: Καμπύλη διάβρωσης δοκιμίων.

Η απώλεια βάρους ανά χρόνο είναι 0,14941 gr/cm². Ο ρυθμός διάβρωσης σε mm/year υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

Ρυθμός διάβρωσης σε mm/year = 0,0254 • C•K• διαφορά βάρους / Επιφάνεια • Χρόνο

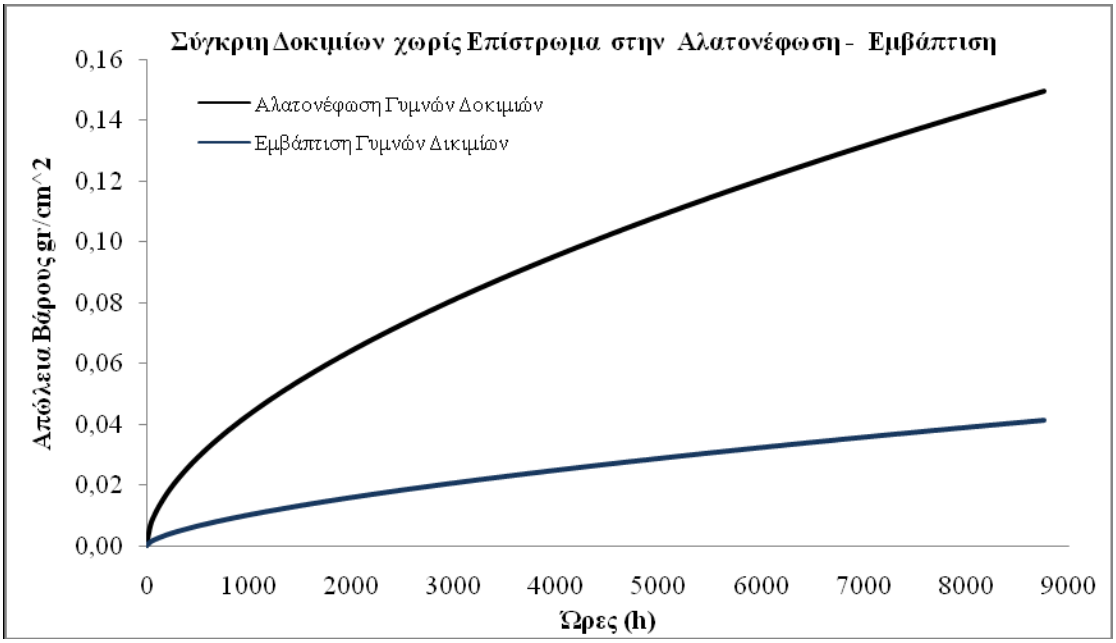
Όπου K= 1,001 (χάλυβα) και C= 49,8 γιατί θέλω να υπολογίσω το ρυθμό διάβρωσης ανά έτος και ο λόγος διαφοράς βάρους προς επιφάνεια και προς χρόνο είναι το νούμερο 0,14941 gr/cm². Ο ρυθμός διάβρωσης ανά έτος είναι 0,1891 mm/year.

Χρόνος	1 χρόνος(8760 ώρες)
Απώλεια Βάρους	0,14941 gr/cm²
Ρυθμός Διάβρωσης	0,1891 mm/year

Πίνακας 7.4: Ρυθμός διάβρωσης-απώλεια βάρους – δοκιμίων χωρίς επίστρωμα.

7.3.3 Σύγκριση δοκιμίων εμβάπτισης και αλατονέφωσης χωρίς επίστρωμα

Όπως παρατηρούμε και στο παρακάτω σχήμα τα δοκίμια στην αλατονέφωση παρουσιάζουν μεγαλύτερη απώλεια βάρους ως προς τα αντίστοιχα δοκίμια της εμβάπτισης. Αυτό οφείλεται στο ότι τα δοκίμια της αλατονέφωσης ξεπλένονται συνεχώς από το διάλυμα, με αποτέλεσμα τα αποτελέσματα της οξείδωσης να απομακρύνονται από τις επιφάνειες.



Σχήμα 7.7: Καμπύλες διάβρωσης εμβάπτισης-αλατονέφωσης δοκιμίων χωρίς επίστρωμα

7.4 Πείραμα Εμβάπτισης και Αλατονέφωσης σε δοκίμια με επίστρωμα μίνιου

Για την πληρέστερη σύγκριση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα πειράματος εμβάπτισης με δοκίμια με επίστρωμα μίνιου.

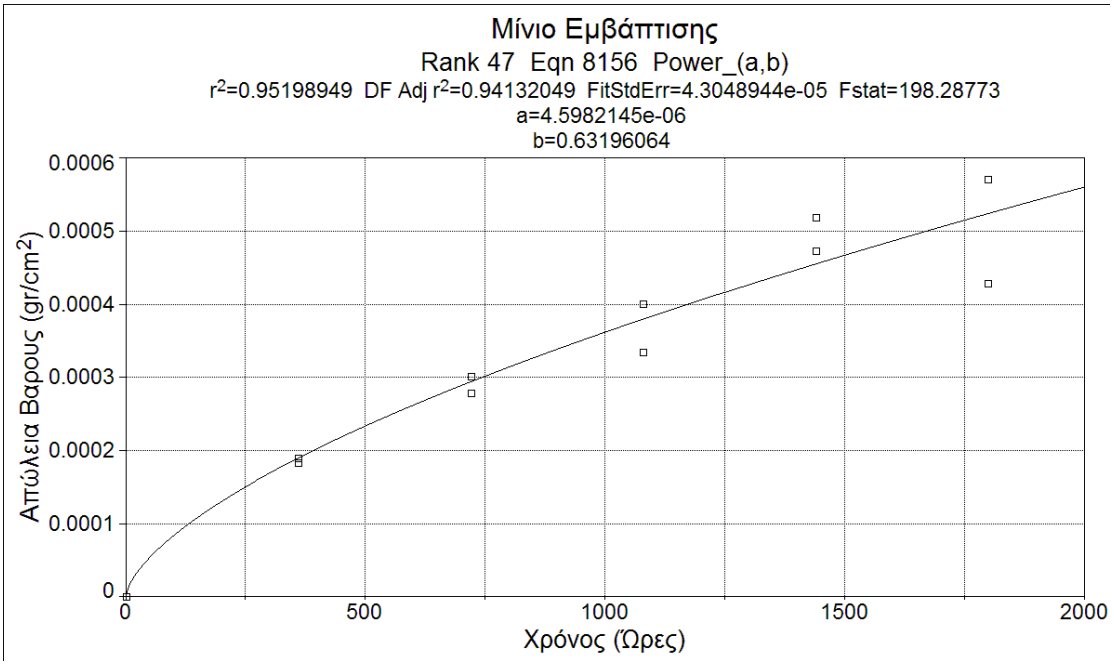
7.4.1 Πείραμα Εμβάπτισης – Δοκίμια με Εμπορικό Επίστρωμα Μινίου

Η συνολική επιφάνεια διάβρωσής τους είναι A=200 cm². Τα τελικά αποτελέσματα καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Αριθμός Δοκιμίου	Διάρκεια Παραμονής (ώρες)	Αρχικό Βάρος(gr)	Τελικό Βάρος(gr)	Διαφορά Βάρους(gr)
1	360	77,4870	77,4491	0,0379
7	360	77,4828	77,4461	0,0367
2	720	74,3050	74,2492	0,0558
3	720	76,6844	76,6240	0,0604
8	1080	79,3009	79,2207	0,0802
9	1080	78,0202	77,9531	0,0671
10	1440	75,3903	75,2956	0,0947
11	1440	77,2527	77,1488	0,1039
13	1800	77,9435	77,8577	0,0858
14	1800	78,0743	77,9599	0,1144

Πίνακας 7.5: Πείραμα εμβάπτισης- Απώλεια βάρους δοκιμίων με επίστρωμα μίνιου.

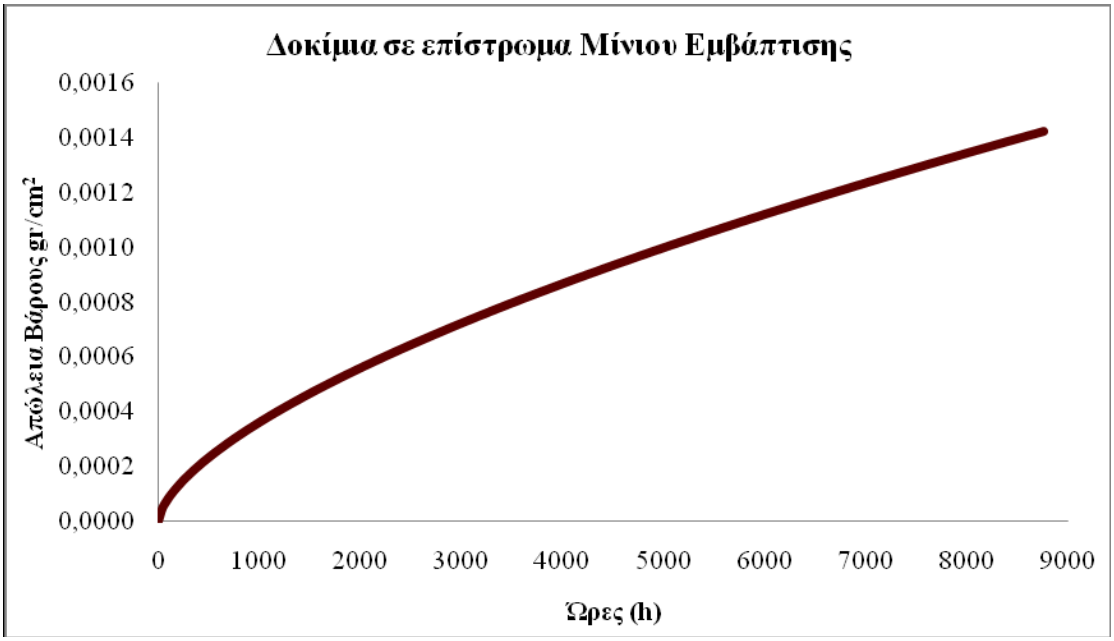
Εισάγοντας τα στοιχεία απώλειας βάρους στο πρόγραμμα Table Curve vs 5.01 υπολογίστηκε η βέλτιστη εκθετική καμπύλη που περνά από τα σημεία υπολογισμού με μορφή $y=ax^b$.



Σχήμα 7.8: Εξίσωση καμπύλης διάβρωσης

Η μορφή της καμπύλης είναι $y=ax^b$, όπου a=4,5982145e-06 και b=0,63196064. Συντελεστής συσχέτισης r^2= 0,95198949.

Η εξίσωση αυτή περιγράφει την απώλεια βάρους των δοκιμίων σε σχέση με το χρόνο για έκθεση σε εμβάπτιση 1800 h. Με βάση αυτή σχεδιάζεται το γράφημα απώλεια βάρους ανά έτος.



Σχήμα 7.9: Καμπύλη διάβρωσης δοκιμίων.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 7.8 η εκθετική καμπύλη έχει τα κοίλα προς τα κάτω (b<1). Άρα το επίστρωμα είναι προστατευτικό διότι η απώλεια βάρους με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό.

Η απώλεια βάρους ανά χρόνο είναι 0,001421 gr/cm². Ο ρυθμός διάβρωσης σε mm/year υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

Ρυθμός διάβρωσης σε mm/year = 0,0254 • C•K• διαφορά βάρους / Επιφάνεια • Χρόνο

Όπου K= 1,001 (χάλυβα) και C= 49,8 γιατί θέλω να υπολογίσω το ρυθμό διάβρωσης ανά έτης και ο λόγος διαφοράς βάρους προς επιφάνεια και προς χρόνο είναι το νούμερο 0,001421 gr/cm². Ο ρυθμός διάβρωσης ανά έτος είναι 0,001799 mm/year.

Χρόνος	1 χρόνος(8760 ώρες)
Απώλεια Βάρους	0,001421 gr/cm²
Ρυθμός Διάβρωσης	0,001799 mm/year

Πίνακας 7.6: Ρυθμός διάβρωσης-απώλεια βάρους – δοκιμίων με επίστρωμα μίνιου.

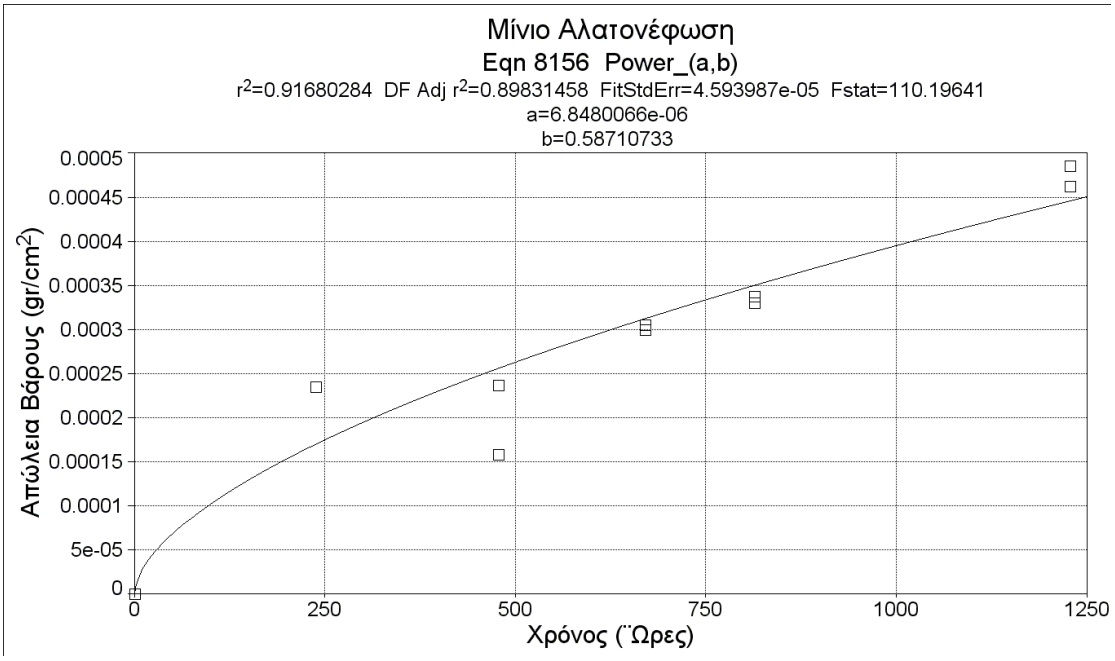
7.4.2 Πείραμα Αλατονέφωσης – Δοκίμια με Εμπορικό Επίστρωμα Μινίου

Η συνολική επιφάνεια δίαβρωσής τους είναι A=115 cm². Τα τελικά αποτελέσματα καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Αριθμός Δοκιμίου	**Διάρκεια Πραμονής (ώρες)**	**Αρχικό Βάρος(gr)**	**Τελικό Βάρος(gr)**	**Διαφορά Βάρους(gr)**
1	238	77,5097	77,4826	0,0271
10	238	77,1530	77,1259	0,0271
2	478	77,8434	77,8252	0,0182
9	478	74,8754	74,8481	0,0273
7	670	77,3956	77,3611	0,0345
15	670	78,2827	78,2476	0,0351
3	814	78,1734	78,1345	0,0389
6	814	75,0653	75,0273	0,0380
12	1228	77,0105	76,9573	0,0532
14	1228	77,9283	77,8725	0,0558

Πίνακας 7.7: Πείραμα αλατονέφωσης - Απώλεια βάρους δοκιμίων με μίνιο

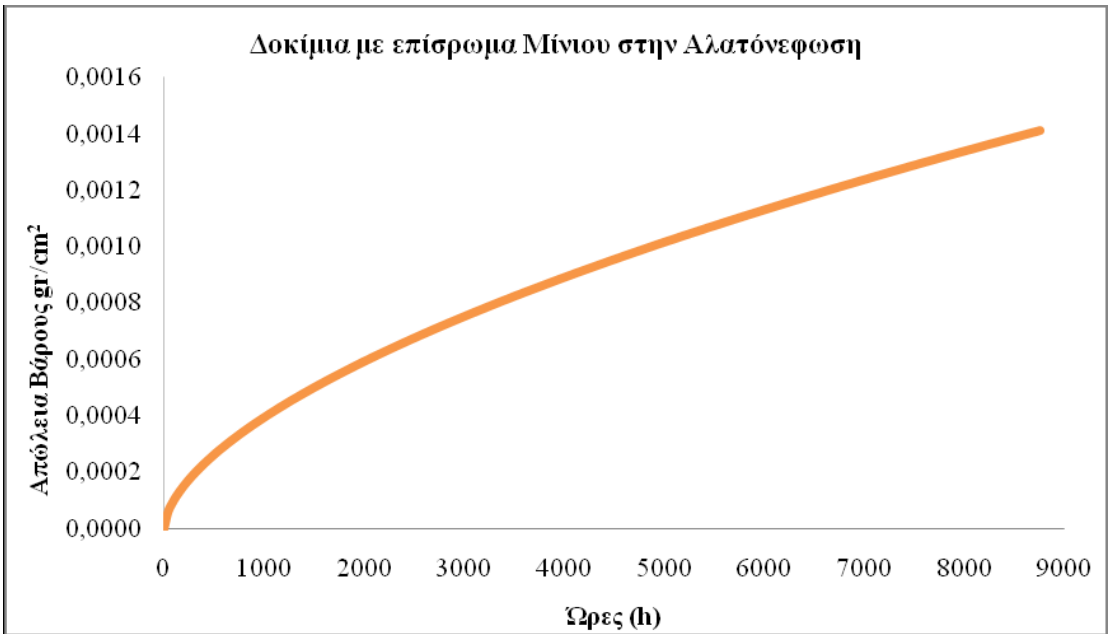
Εισάγοντας τα στοιχεία απώλειας βάρους στο πρόγραμμα Table Curve vs 5.01 υπολογίστηκε η βέλτιστη εκθετική καμπύλη που περνά από τα σημεία υπολογισμού με μορφή $y=ax^b$.



Σχήμα 7.10: Εξίσωση καμπύλης διάβρωσης

Η μορφή της καμπύλης είναι $y=ax^b$, όπου a=6,8480066e-06 και b=0,58710733. Συντελεστής συσχέτισης r^2= 0,91680284.

Η εξίσωση αυτή περιγράφει την απώλεια βάρους των δοκιμίων σε σχέση με το χρόνο για έκθεση σε αλατονέφωση 1228 h. Με βάση αυτή σχεδιάζεται το γράφημα απώλεια βάρους ανά έτος.



Σχήμα 7.11: Καμπύλη διάβρωσης δοκιμίων.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 7.8 η εκθετική καμπύλη έχει τα κοίλα προς τα κάτω (b<1). Άρα το επίστρωμα είναι προστατευτικό διότι η απώλεια βάρους με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό.

Η απώλεια βάρους ανά χρόνο είναι 0,00141 gr/cm². Ο ρυθμός διάβρωσης σε mm/year υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

Ρυθμός διάβρωσης σε mm/year = 0,0254 • C•K• διαφορά βάρους / Επιφάνεια • Χρόνο

Όπου K= 1,001 (χάλυβα) και C= 49,8 γιατί θέλω να υπολογίσω το ρυθμό διάβρωσης ανά έτος και ο λόγος διαφοράς βάρους προς επιφάνεια και προς χρόνο είναι το νούμερο 0,00141 gr/cm². Ο ρυθμός διάβρωσης ανά έτος είναι 0,00178mm/year.

Χρόνος	1 χρόνος(8760 ώρες)
Απώλεια Βάρους	0,00141 gr/cm²
Ρυθμός Διάβρωσης	0,00178 mm/year

Πίνακας 7.8: Ρυθμός διάβρωσης-απώλεια βάρους – δοκιμίων με επίστρωμα μίνιου.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι και στα δύο πειράματα τα δοκίμια με επίστρωμα μίνιου εμφάνισαν ικανοποιητική αντίσταση στη διάβρωση.

7.5 Πείραμα Εμβάπτισης και Αλατονέφωσης σε δοκίμια με διπλό επίστρωμα

Στο πείραμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια με λεπτό επίστρωμα και με χοντρό επίστρωμα, τα οποία όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο αριθμήθηκαν και στη συνέχεια αφαιρέθηκαν από τη διάταξη της εμβάπτισης και της αλατονέφωσης σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα.

7.5.1 Πείραμα Εμβάπτισης – Δοκίμια με διπλό επίστρωμα

Στους παρακάτω πίνακες έχουν καταγραφεί τα βάρη των δοκιμίων πριν την εφαρμογή των επιστρωμάτων και τα βάρη τους μετά το τέλος του πειράματος κι αφού πρώτα καθαρίστηκαν.

Αριθμός Δοκιμίου	Διάρκεια Παραμονής (ώρες)	Αρχικό Βάρος(gr)	Τελικό Βάρος(gr)	Διαφορά Βάρους(gr)
A1	240	77,5659	77,6671	-0,1012
A2	-//-	74,9716	75,0487	-0,0771
A3	-//-	74,3911	74,4807	-0,0896
A4	888	77,1576	77,2362	-0,0786
A5	-//-	74,4404	74,4968	-0,0564
A6	-//-	75,5482	75,6293	-0,0811
A7	1608	76,8438	76,8852	-0,0414
A8	-//-	74,7905	74,7382	0,0523
A9	-//-	77,1094	77,1319	-0,0225
A10	2256	71,4932	71,5403	-0,0471
A11	-//-	77,8105	77,7041	0,1064
A12	-//-	75,8522	75,8130	0,0392
A13	-//-	71,9851	71,9850	0,0001

Πίνακας 7.9: Πείραμα εμβάπτισης - Απώλεια βάρους δοκιμίων με λεπτό-διπλό επίστρωμα

Αριθμός Δοκιμίου	Διάρκεια Παραμονής (ώρες)	Αρχικό Βάρος	Τελικό Βάρος	Διαφορά Βάρους
B1	240	76,8755	76,9616	-0,0861
B2	-//-	70,5064	70,7723	-0,2659
B3	-//-	76,7286	76,8061	-0,0775
B4	888	77,4094	77,4725	-0,0631
B5	-//-	74,7417	74,7942	-0,0525
B6	-//-	76,6555	76,6994	-0,0439
B7	1608	78,0249	78,0398	-0,0149
B8	-//-	74,7231	74,7423	-0,0192
B9	-//-	77,5680	77,6132	-0,0452
B10	2256	77,6047	77,6042	0,0005
B11	-//-	75,6773	75,6065	0,0708
B12	-//-	77,5339	77,4745	0,0594
B13	-//-	76,8956	76,8404	0,0552

Πίνακας 7.10: Πείραμα εμβάπτισης - Απώλεια βάρους δοκιμίων με χοντρό-διπλό επίστρωμα

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε ότι μετά την αφαίρεση της σκουριάς και του εναπομείναντος χρώματος το βάρος των δοκιμίων σε πολλές περιπτώσεις αυξήθηκε. Αυτό οφείλεται στο ότι τα δοκίμια δεν υπέστησαν αρκετή διάβρωση, με αποτέλεσμα μετά τον καθαρισμό τους να παραμείνει ελάχιστη ποσότητα χρώματος στην επιφάνειά τους. Το γεγονός αυτό οφείλεται επίσης στην πολύ καλή πρόσφυση των χρωμάτων, με αποτέλεσμα τη δυνατή προσκόλληση των επιστρωμάτων στη μεταλλική επιφάνεια αλλά και μεταξύ τους.

Έτσι η πρόβλεψη του ρυθμού διάβρωσης με τη μέθοδο της απώλειας βάρους κρίνεται ακατάλληλη. Η εκτίμηση του βαθμού διάβρωσης γίνεται κατά ASTM standard D-610-68/SSPC-Vis2

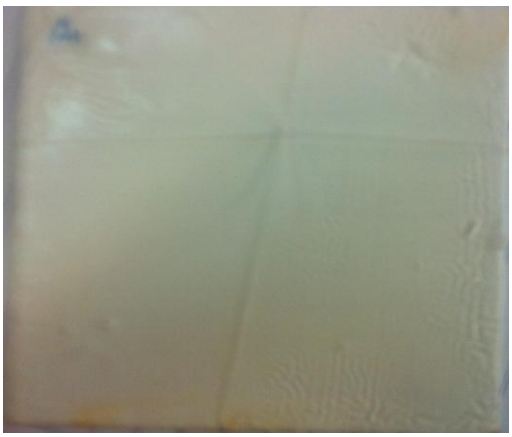
ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ASTM	**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**	**ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**
10	Χωρίς σκουριά ή λιγότερο από 0,01% της επιφάνειας διαβρωμένη	Χωρίς διάβρωση
9	Ελάχιστη διάβρωση, λιγότερο από 0,03% της επιφάνειας έχει διάβρωση	1-2 σημεία διάβρωσης ανά ft^2
8	Λίγες μεμονωμένες θέσεις σκουριάς, διαβρωμένη επιφάνεια λιγότερο από 0,1%	3-6 σημεία διάβρωσης ανά ft^2
7	Λιγότερο από 0,3% της επιφάνειας διαβρωμένη	±20 σημεία διάβρωσης ανά ft^2

ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ASTM	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
6	Πολλές θέσεις διάβρωσης αλλά διαβρωμένη επιφάνεια λιγότερο από1%	±30 σημεία διάβρωσης μέχρι 1/32in ανά ft²
5	Διάβρωση στο 3% της επιφάνειας	±30 σημεία διάβρωσης μέχρι 1/16in ανά ft²
4	Διάβρωση στο 10% της επιφάνειας	±50 σημεία διάβρωσης 1/32-1/8in, ανά ft²
3	Περίπου το 1/6 της επιφάνειας διαβρωμένη	Περίπου το 1/4 της επιφάνειας διαβρωμένη με σημεία διάβρωσης 1/32-1/8in
2	Περίπου το 1/3 της επιφάνειας διαβρωμένη	Περίπου το 1/3 της επιφάνειας διαβρωμένη με σημεία διάβρωσης 1/32-1/8in
1	Περίπου το 1/2 της επιφάνειας διαβρωμένη	Περίπου το 1/2 της επιφάνειας διαβρωμένη με σημεία διάβρωσης 1/32-1/2in
0	Περίπου 100% διαβρωμένη επιφάνεια	Περίπου 100% διαβρωμένη επιφάνεια

Πίνακας 7.11: Χαρακτηριστικών διάβρωσης κατά ASTM standard D-610-68/SSPC-Vis2.

Παρακάτω φαίνονται οι εικόνες των δοκιμίων μετά την εμβάπτιση:

240 ώρες παραμονής

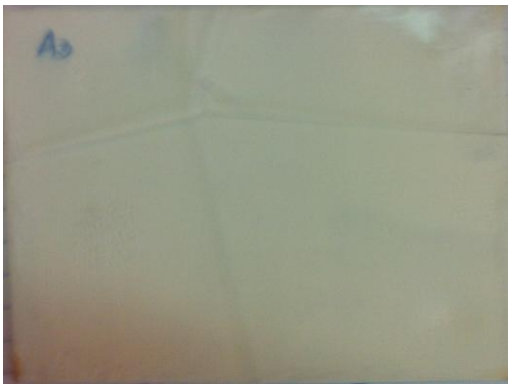


Δοκίμιο Α1

Δοκίμιο Β1

Δοκίμιο Α2

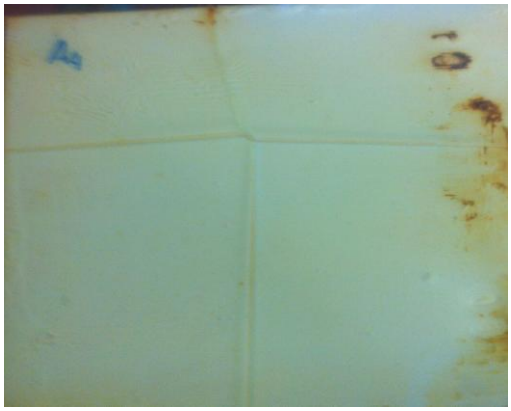
Δοκίμιο Β2



Δοκίμιο Α3

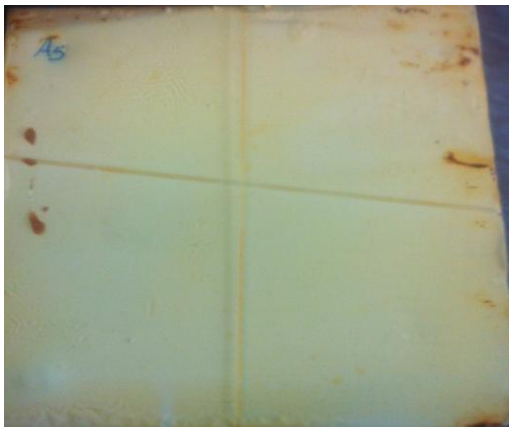
Δοκίμιο Β3

888 ώρες παραμονής



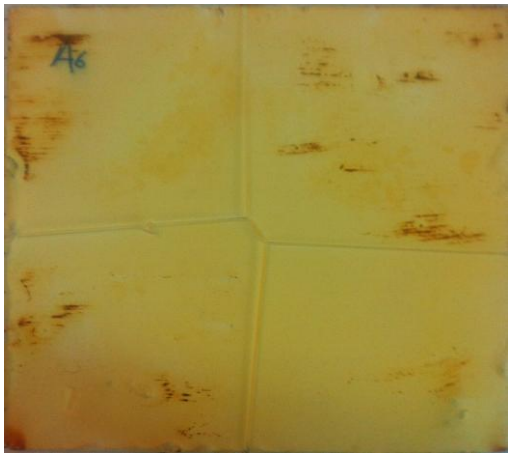
Δοκίμιο Α4

Δοκίμιο Β4



ΔοκίμιοΑ5

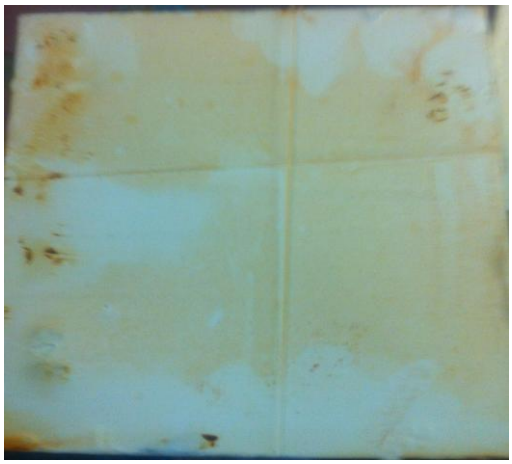
Δοκίμιο Β5



Δοκίμιο Α6

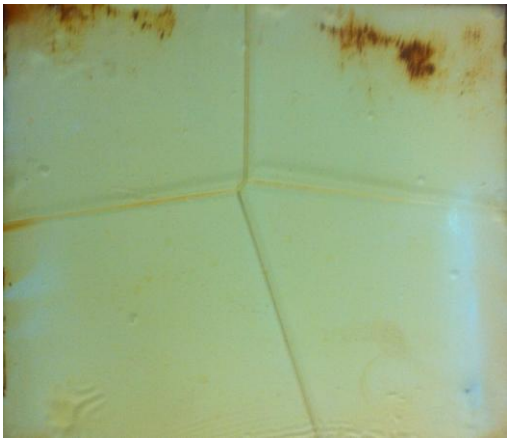
Δοκίμιο Β6

1608 ώρες παραμονής



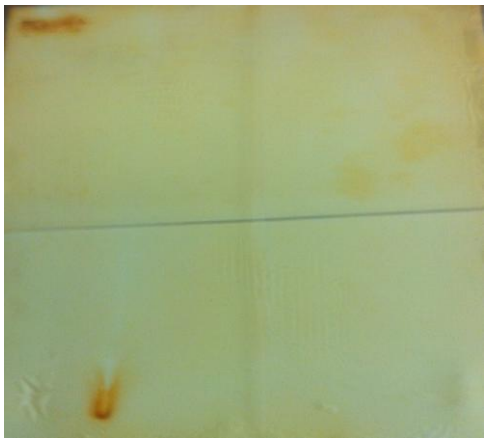
Δοκίμιο Α7

Δοκίμιο Β7



Δοκίμιο Α8

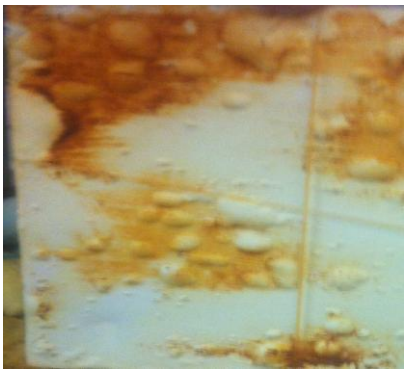
Δοκίμιο Β8



Δοκίμιο Α9

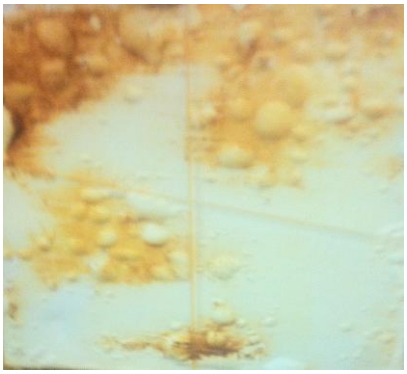
Δοκίμιο Β9

2256 ώρες παραμονής



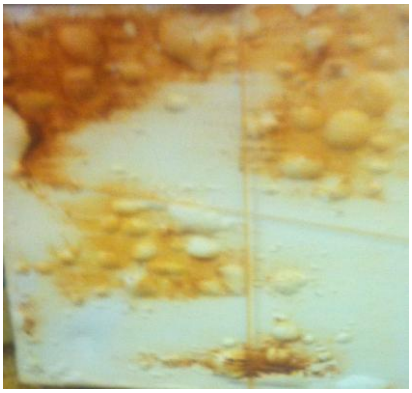
ΔοκίμιοΑ10

Δοκίμιο Β10



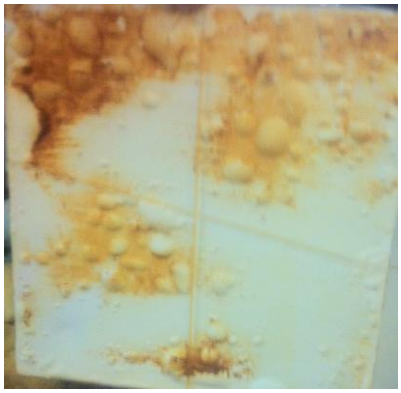
Δοκίμιο Α11

Δοκίμιο Β11

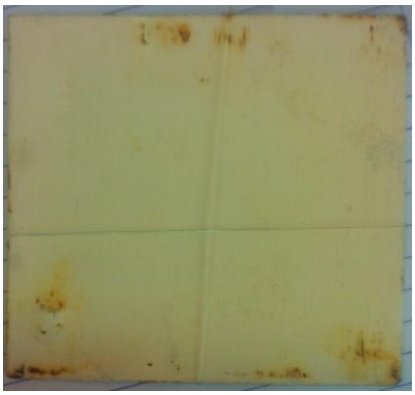


Δοκίμιο Α12

Δοκίμιο Β12



Δοκίμιο Α13



Δοκίμιο Β13

Διάρκεια παραμονής	Δοκίμιο	Βαθμός διάβρωσης
240 ώρες	A1	10
	A2	10
	A3	10
888 ώρες	A4	9
	A5	9
	A6	8
1608 ώρες	A7	8
	A8	8
	A9	8
2256 ώρες	A10	4
	A11	4
	A12	4
	A13	4

Πίνακας 7.12: Χαρακτηρισμός διάβρωσης δοκιμίων με λεπτό επίστρωμα σε εμβάπτιση κατά ASTM

Διάρκεια παραμονής	Δοκίμιο	Βαθμός διάβρωσης
240 ώρες	B1	10
	B2	10
	B3	10
888 ώρες	B4	10
	B5	10
	B6	9
1608 ώρες	B7	10
	B8	10
	B9	10
2256 ώρες	B10	10
	B11	9
	B12	9
	B13	8

Πίνακας 7.13: Χαρακτηρισμός διάβρωσης δοκιμίων με χοντρό επίστρωμα σε εμβάπτιση κατά ASTM

Σχόλια: Σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM standard D-610-68/SSPC-Vis2 τα δοκίμια με λεπτό επίστρωμα (A1–A13) στην εμβάπτιση δεν παρουσίασαν έντονο ρυθμό διάβρωσης για τις 1608 ώρες παραμονής τους στο πείραμα. Στο διάστημα αυτό παρατηρήθηκε αρχικά εμφάνιση σκουριάς στις γωνίες των δοκιμίων. Η επέκταση της διάβρωσης συνεχίστηκε στην υπόλοιπη επιφάνεια των δοκιμίων με πολύ αργό ρυθμό. Ωστόσο ο ρυθμός διάβρωσης άρχισε να αυξάνεται στις 2256 ώρες, οπότε έχουμε και τα πρώτα δείγματα έντονης διάβρωσης (εμφάνιση φλύκταινων).

Στα δοκίμια με χοντρό επίστρωμα (B1- B13) με την ίδια μέθοδο παρατηρήθηκε ότι έχουμε αρχικά εμφάνιση σκουριάς στις γωνίες των δοκιμίων. Στη συνέχεια όμως ο ρυθμός διάβρωσης είναι ακόμα μικρότερος από αυτόν στα δοκίμια με λεπτό επίστρωμα. Έτσι στις 2256 ώρες παραμονής μέσα στο διάλυμα δεν έχουν αναπτύξει ακόμα έντονα σημάδια διάβρωσης (φλύκταινες).

7.5.2 **Πείραμα Αλατονέφωσης – Δοκίμια με διπλό επίστρωμα**

Στους παρακάτω πίνακες έχουν καταγραφεί τα βάρη των δοκιμίων πριν την εφαρμογή των επιστρωμάτων και τα βάρη τους μετά το τέλος του πειράματος κι αφού πρώτα καθαρίστηκαν.

Αριθμός Δοκιμίου	**Διάρκεια Παραμονής (ώρες)**	**Αρχικό Βάρος(gr)**	**Τελικό Βάρος(gr)**	**Διαφορά Βάρους(gr)**
Γ1	240	74,3213	74,4472	-0,1259
Γ2	528	76,5129	76,6290	-0,1161
Γ3	888	78,0404	78,1648	-0,1244
Γ4	1176	74,9486	75,0389	-0,0903
Γ5	1536	77,0956	77,1369	-0,0413
Γ6	1176	78,5493	78,6497	-0,1004
Γ7	528	76,9395	77,0135	-0,0740
Γ8	240	76,6025	76,7395	-0,1370
Γ9	888	77,6480	77,7651	-0,1171
Γ10	1536	77,8704	77,9867	-0,1163
Γ11	1536	77,8491	77,9278	-0,0787
Γ12	1176	76,6899	76,8116	-0,1217
Γ13	888	76,3543	76,5035	-0,1492
Γ14	528	74,9269	75,0851	-0,1582
Γ15	240	74,8259	74,9808	-0,1549

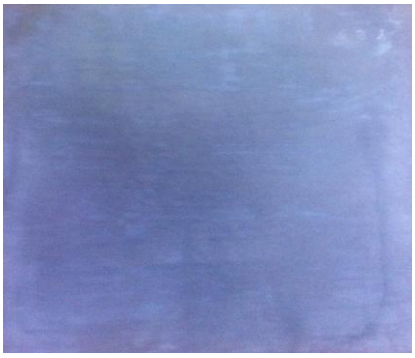
Πίνακας 7.14: Πείραμα αλατονέφωσης - Απώλεια βάρους δοκιμίων με λεπτό-διπλό επίστρωμα

Αριθμός Δοκιμίου	**Διάρκεια Παραμονής (ώρες)**	**Αρχικό Βάρος(gr)**	**Τελικό Βάρος(gr)**	**Διαφορά Βάρους(gr)**
Δ1	240	75,4432	75,4901	-0,0469
Δ2	528	78,1804	78,2493	-0,0689
Δ3	888	76,4724	76,5257	-0,0533
Δ4	1176	76,1022	76,1467	-0,0445
Δ5	1536	77,5621	77,6259	-0,0638
Δ6	1176	75,6026	75,6544	-0,0518
Δ7	528	77,4273	77,4788	-0,0515
Δ8	240	76,1855	76,2599	-0,0744
Δ9	888	77,4857	77,5759	-0,0902
Δ10	1536	77,9238	77,9957	-0,0719
Δ11	1536	78,9627	78,0487	0,914
Δ12	1176	77,4203	77,5276	-0,1073
Δ13	888	75,7797	75,8910	-0,1113
Δ14	528	77,3532	77,4456	-0,0924
Δ15	240	77,8238	77,9328	-0,1090

Πίνακας 7.15: Πείραμα αλατονέφωσης- Απώλεια βάρους δοκιμίων με χοντρό-διπλό επίστρωμα

Παρακάτω φαίνονται οι φωτογραφίες των δοκιμίων μετά την αλατονέφωση:

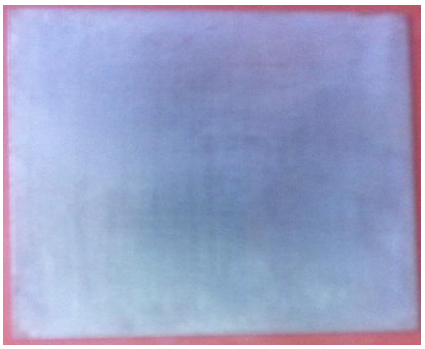
240 ώρες παραμονής



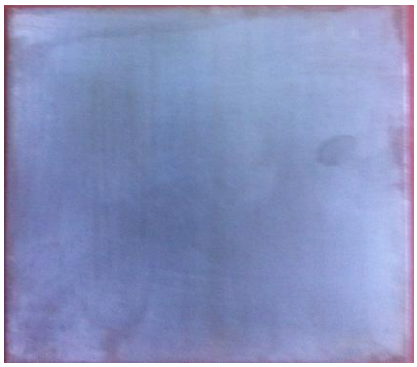
Δοκίμιο Γ1

Δοκίμιο Δ1

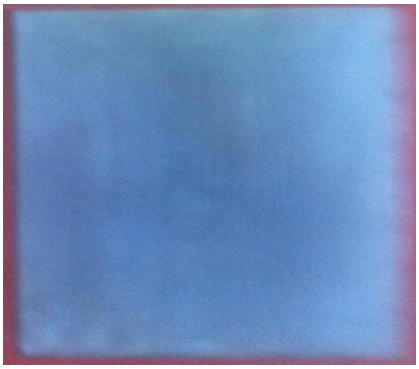
Δοκίμιο Γ2



Δοκίμιο Δ2

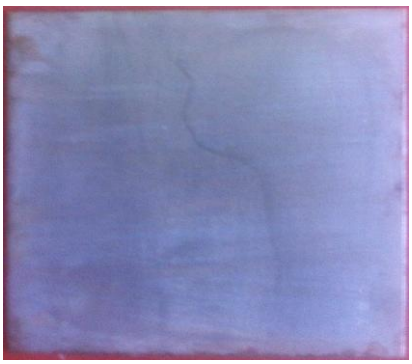


Δοκίμιο Γ3



Δοκίμιο Δ3

528 ώρες παραμονής



Δοκίμιο Γ4

Δοκίμιο Δ4

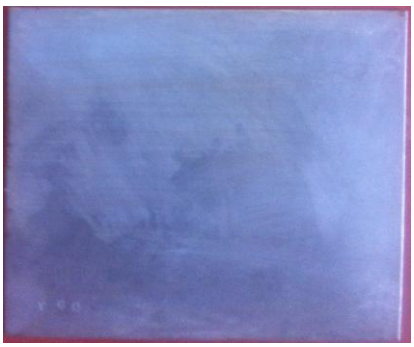
Δοκίμιο Γ5

Δοκίμιο Δ5

Δοκίμιο Γ6

Δοκίμιο Δ6

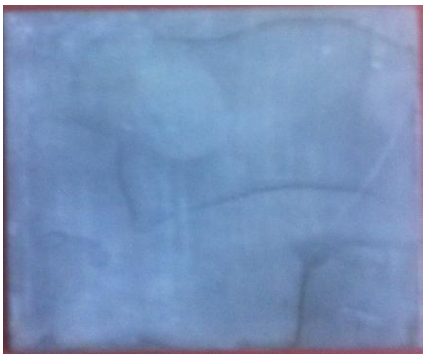
888 ώρες παραμονής



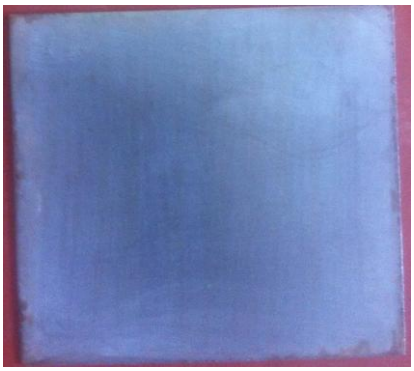
Δοκίμιο Γ7

Δοκίμιο Δ7

Δοκίμιο Γ8



Δοκίμιο Δ8



Δοκίμιο Γ9

Δοκίμιο Δ9

1176 ώρες παραμονής

Δοκίμιο Γ10

Δοκίμιο Δ10

Δοκίμιο Γ11

Δοκίμιο Δ11

Δοκίμιο Γ12

Δοκίμιο Δ12

1536 ώρες παραμονής

Δοκίμιο Γ13

Δοκίμιο Δ13

Δοκίμιο Γ14

Δοκίμιο Δ14

Δοκίμιο Γ15

Δοκίμιο Δ15

Διάρκεια παραμονής	Δοκίμιο	Βαθμός διάβρωσης
240 ώρες	Γ1	10
	Γ2	10
	Γ3	10
528 ώρες	Γ4	10
	Γ5	10
	Γ6	10
888 ώρες	Γ7	10
	Γ8	10
	Γ9	10
1176 ώρες	Γ10	10
	Γ11	10
	Γ12	10
1536 ώρες	Γ13	10
	Γ14	10
	Γ15	10

Πίνακας 7.16: Χαρακτηρισμός διάβρωσης δοκιμίων με λεπτό επίστρωμα σε αλατονέφωση κατά ASTM

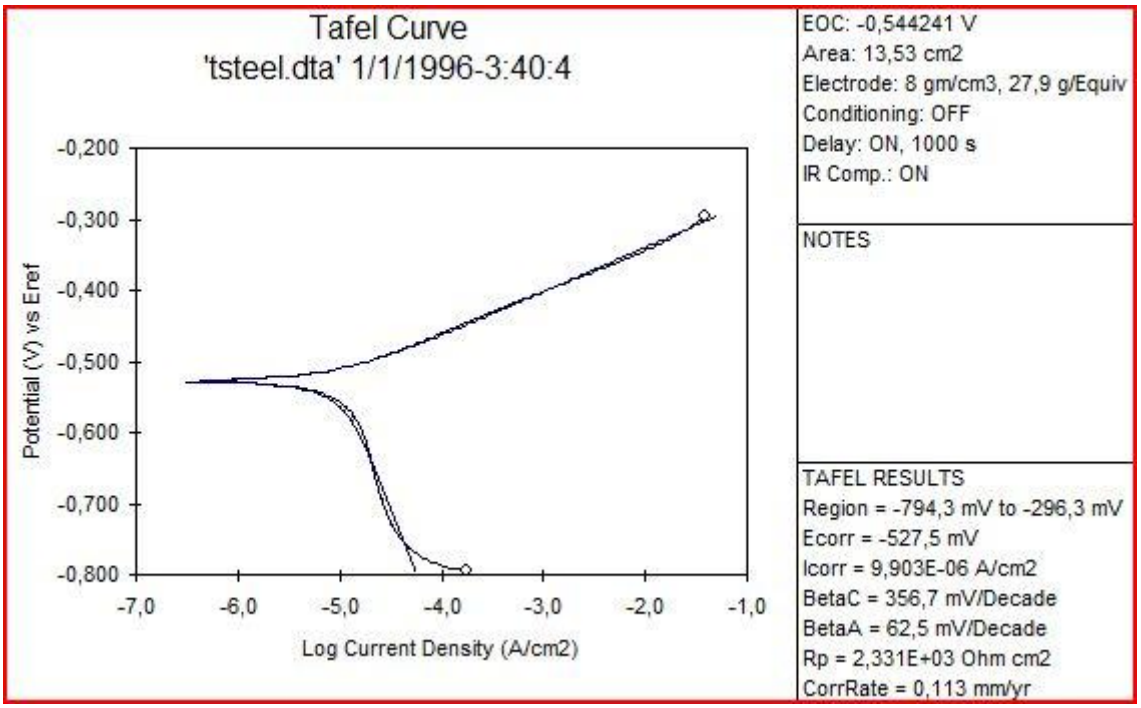
Διάρκεια παραμονής	Δοκίμιο	Βαθμός διάβρωσης
240 ώρες	Δ1	10
	Δ2	10
	Δ3	10
528 ώρες	Δ4	10
	Δ5	10
	Δ6	10
888 ώρες	Δ7	10
	Δ8	10
	Δ9	10
1176 ώρες	Δ10	10
	Δ11	10
	Δ12	10
1536 ώρες	Δ13	10
	Δ14	10
	Δ15	10

Πίνακας 7.17: Χαρακτηρισμός διάβρωσης δοκιμίων με χοντρό επίστρωμα σε αλατονέφωση κατά ASTM

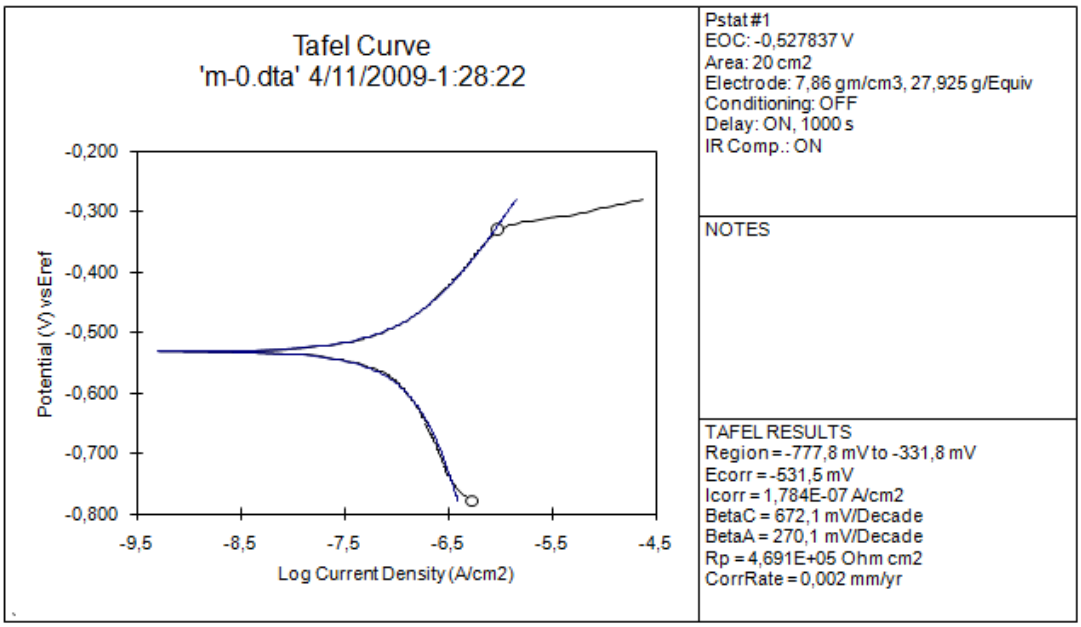
Με τη ίδια μέθοδο ASTM standard D-610-68/SSPC-Vis2 παρατηρούμε ότι τα δοκίμια στην αλατονέφωση εκτός από τα δείγματα σκουριάς που εμφανίστηκαν στις γωνίες όλων των δοκιμίων από τις 240 ώρες, δε διαβρώθηκαν έντονα στο υπόλοιπο χρονικό διάστημα κρατώντας την αρχική τους μορφή (χρώμα και στιλπνότητα) σε μεγάλο βαθμό, ανεξάρτητα από το πάχος του επιστρώματος.

7.6 Μέθοδος TAFEL

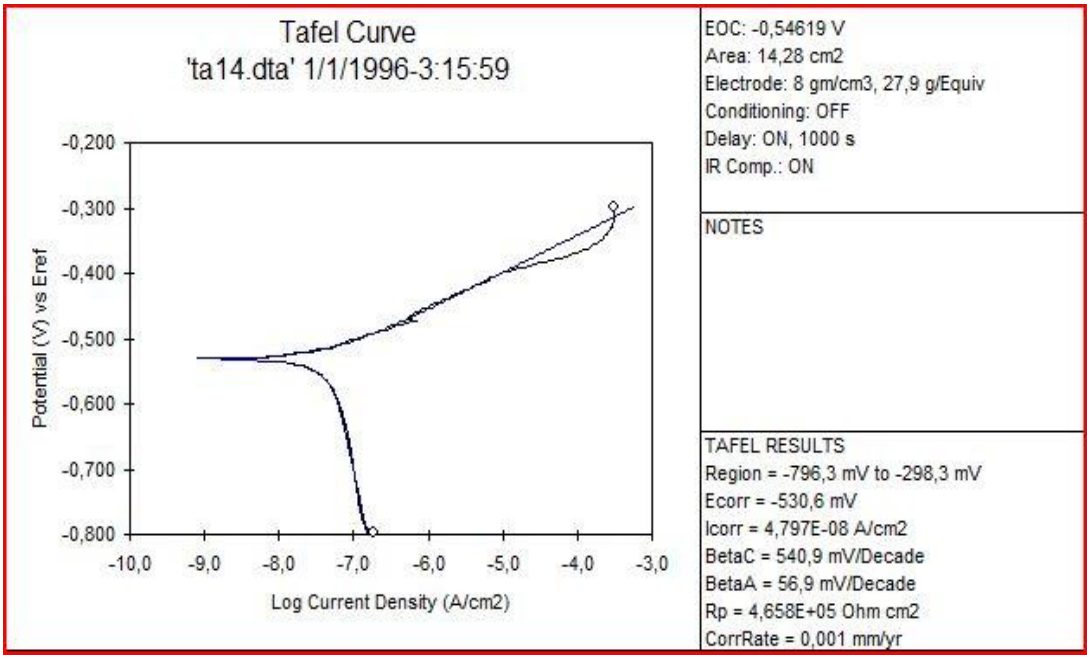
Στη μέθοδο Tafel εκθέσαμε ένα δοκίμιο χωρίς επίστρωμα, ένα δοκίμιο με επίστρωμα μινίου, ένα δοκίμιο με λεπτό και διπλό επίστρωμα και ένα δοκίμιο με χοντρό και διπλό επίστρωμα. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι καμπύλες Tafel αυτών των δοκιμίων καθώς και τα αποτελέσματα για το ρυθμό διάβρωσης και το ρεύμα διάβρωσης.



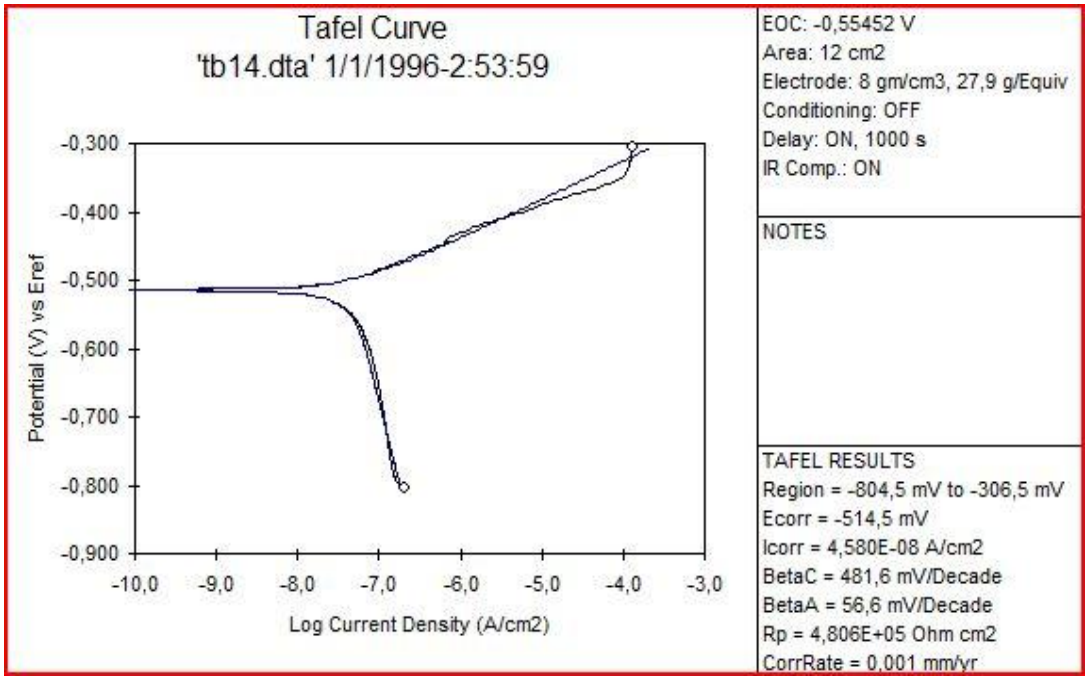
Σχήμα 7.12: Αρχικό διάγραμμα TAFEL – Χωρίς Επίστρωμα



Σχήμα 7.13: Αρχικό διάγραμμα TAFEL – Επίστρωμα μινίου

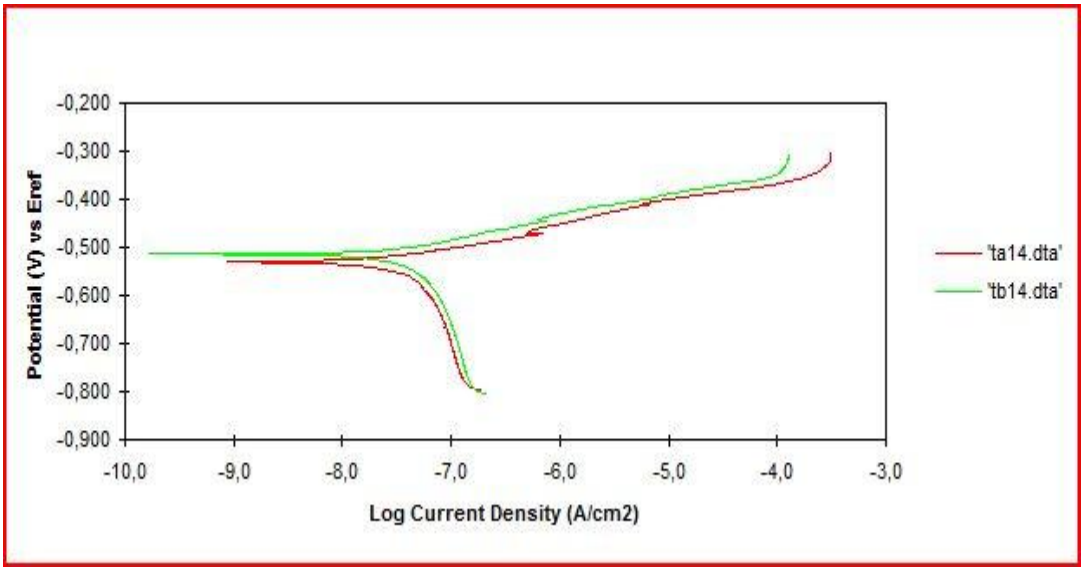


Σχήμα 7.14: Αρχικό διάγραμμα TAFEL – Λεπτό και διπλό επίστρωμα

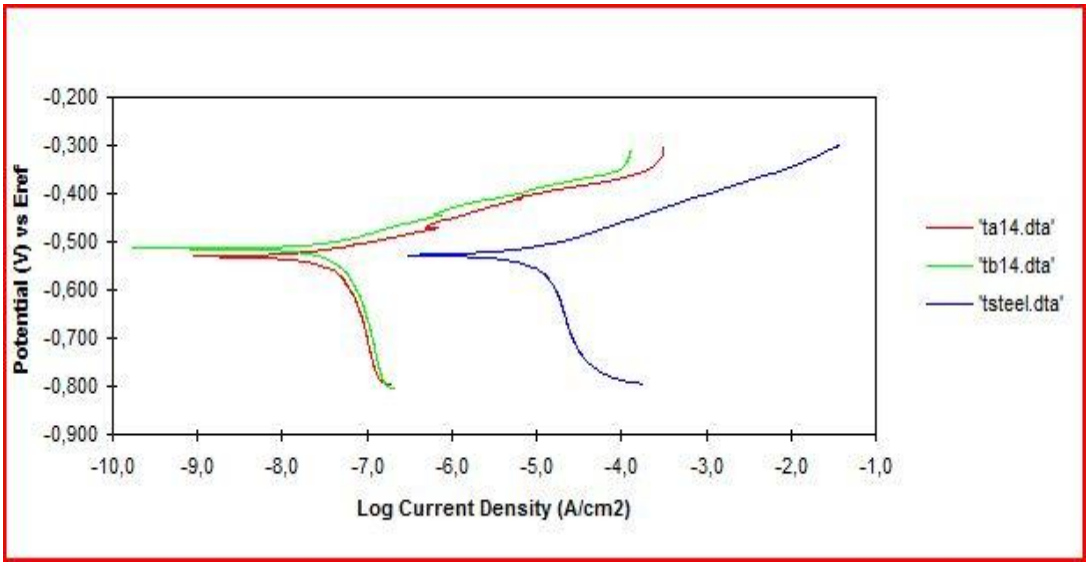


Σχήμα 7.15: Αρχικό διάγραμμα TAFEL – Χοντρό και Διπλό επίστρωμα

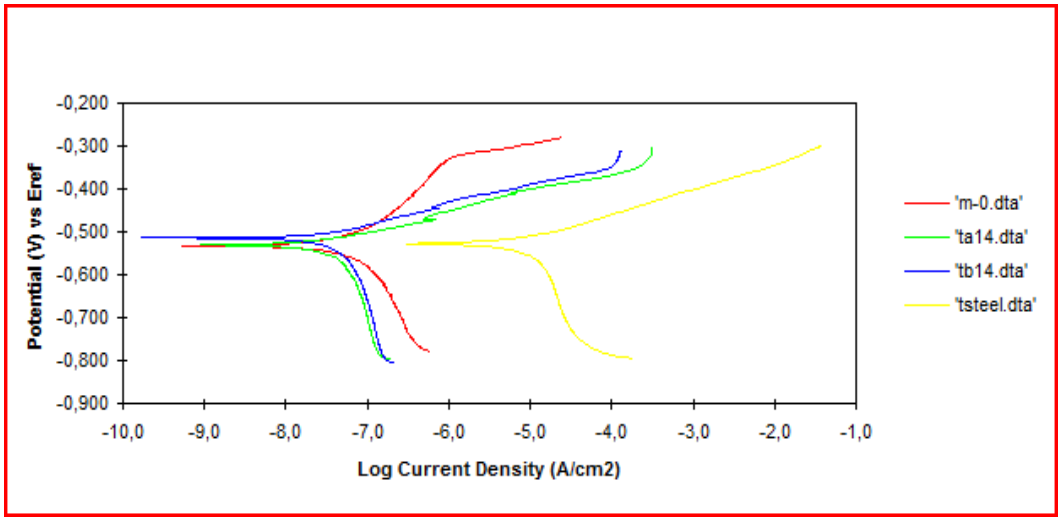
Παρουσιάζονται δύο συγκριτικά διαγράμματα των καμπύλων Tafel που προέκυψαν από τα δοκίμια με διπλό επίστρωμα:



Σχήμα 7.16: Σύγκριση καμπύλες Tafel δύο δοκιμίων με διπλό επίστρωμα



Σχήμα 7.17: Σύγκριση καμπύλες Tafel τριών δοκιμίων, δύο με διπλό επίστρωμα και ενός δοκιμίου χωρίς επίστρωμα



Σχήμα 7.18: Σύγκριση καμπύλες Tafel τεσσάρων δοκιμίων, δύο με διπλό επίστρωμα, ενός χωρίς επίστρωμα κι ενός δοκιμίου με επίστρωμα μίνιου

Τα αποτελέσματα των παραπάνω διαγραμμάτων συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Αριθμός Δοκιμίου	**Δυναμικό Διάβρωσης Ecorr(mV)**	**Πυκνότητα Ρεύματος Διάβρωσης Icorr(A/cm²)**	**Αντίσταση Rp(Ohm•cm²)**	**Ρυθμός Διάβρωσης CorrRate (mm/year)**
Γυμνό	-527,5	9,903 E-06	2,331 E+03	0,113
A14	-530,6	4,797 E-08	4,658 E+05	0,001
B14	-514,5	4,580 E-08	4,806 E+05	0,001
Με μίνιο	-531,5	1,784 E-07	4,691 E+05	0,001

Πίνακας 7.18: Ηλεκτροχημικά χαρακτηριστικά διπλών επιστρωμάτων

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι:

α. Ο ρυθμός διάβρωσης είναι ίδιος στα δοκίμια A14 , B14 και σε αυτό με μίνιο.

β. Η αντίσταση πόλωσης είναι σχεδόν ίδια στα δοκίμια με επιστρώσεις.

γ. Οι διαφορές των δυναμικών διάβρωσης των τριών δοκιμίων με επίστρωση, με το αρχικό δοκίμιο είναι μέσα στα όρια του σφάλματος.

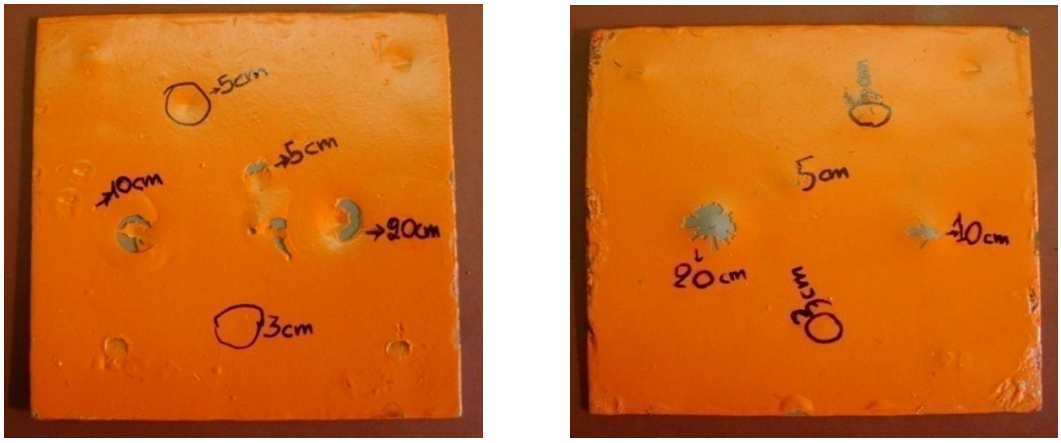
δ. Ωστόσο αυξήθηκε αρκετά η αντίσταση πόλωσης, οπότε μειώθηκε σημαντικά η πυκνότητα του ρεύματος διάβρωσης και στα τρία δοκίμια.

ε. Η πυκνότητα διάβρωσης των δοκιμίων A14 και B14 είναι μικρότερη από την πυκνότητα του δοκιμίου με επικάλυψη μίνιου.

7.7 Δοκιμή σε κρούση – Πίπτον Βάρος

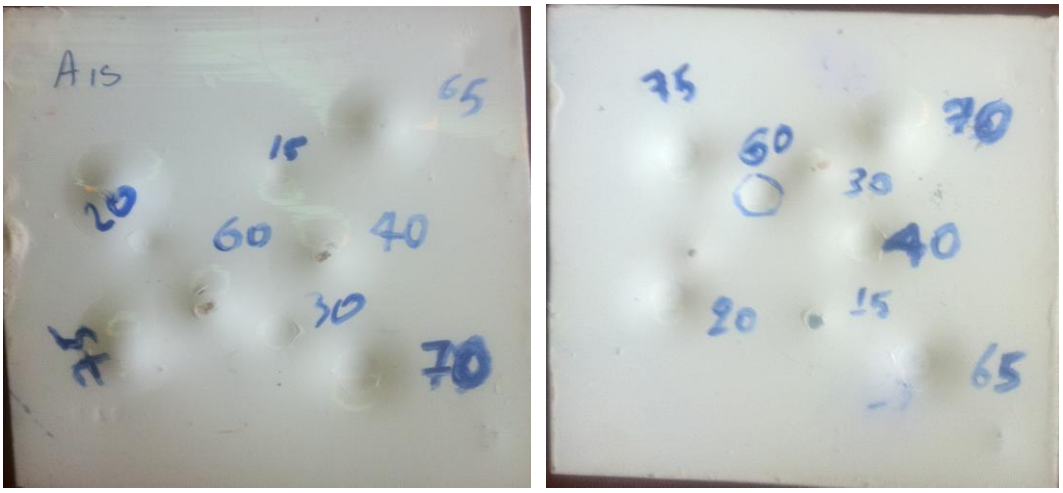
Η δοκιμή πίπτοντος βάρους κατά ASTM D2794 είναι πολύ χρήσιμη για τη μέτρηση της αντοχής του επιστρώματος. Τα δοκίμια που μελετώνται τοποθετούνται στη βάση ειδικής συσκευής. Κατάλληλα επιλεγμένο σφαιρίδιο βάρους ενός κιλού και διαμέτρου 20 χιλιοστών τοποθετείται στο σωλήνα και απελευθερώνεται κάθε φορά από διαφορετικό ύψος. Οι ρίψεις για το επίστρωμα με μίνιο έγιναν από τα εξής ύψη: 3, 5, 10, 20, 40, 50 εκατοστά. Οι ρίψεις για το δοκίμιο A15 (με λεπτό στρώμα) έγιναν από τα ύψη: 15, 20, 30, 40, 60, 65, 70, 75 εκατοστά. Οι ρίψεις για το δοκίμιο B15 (με παχύ στρώμα) έγιναν από τα ύψη: 60, 65, 67, 70 εκατοστά.

Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνονται οι δύο όψεις των δοκιμίων μετά τη δοκιμή. Στη μία όψη κάθε δοκιμίου σημειώνονται δίπλα σε κάθε αποτύπωμα το ύψος από το οποίο αφέθηκε το σφαιρίδιο.



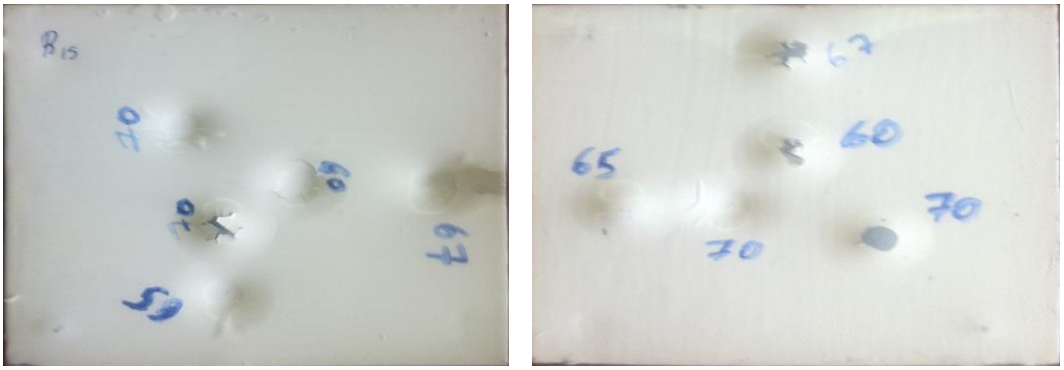
Εικόνα 7.1 : Δοκιμή σε κρούση – Δοκίμιο με επίστρωμα μίνιου προς και πίσω όψη.

Παρατήρηση: Από τη δοκιμή συμπεραίνουμε ότι το επίστρωμα μίνιου έσπασε (εμφάνισε ρυγματώσεις) όταν η ρίψη έγινε από τα 5 εκατοστά. Άρα δεν έχει αντοχή σε κρούση και σπάει εύκολα.



Εικόνα 7.2: Δοκιμή σε κρούση - Δοκίμιο (A15 - με λεπτό στρώμα) με δύο επιστρώματα προς και πίσω όψη.

Από τη δοκιμή αυτή παρατηρούμε ότι το επίστρωμα μέχρι και τα 75 εκατοστά ρίψης, δεν έσπασε. Άρα το επίστρωμα έχει αντοχή σε κρούση. Η πρόσφυση και των δύο επιστρωμάτων μεταξύ τους και του αρχικού (prime) με το μέταλλο είναι αρκετά καλή.

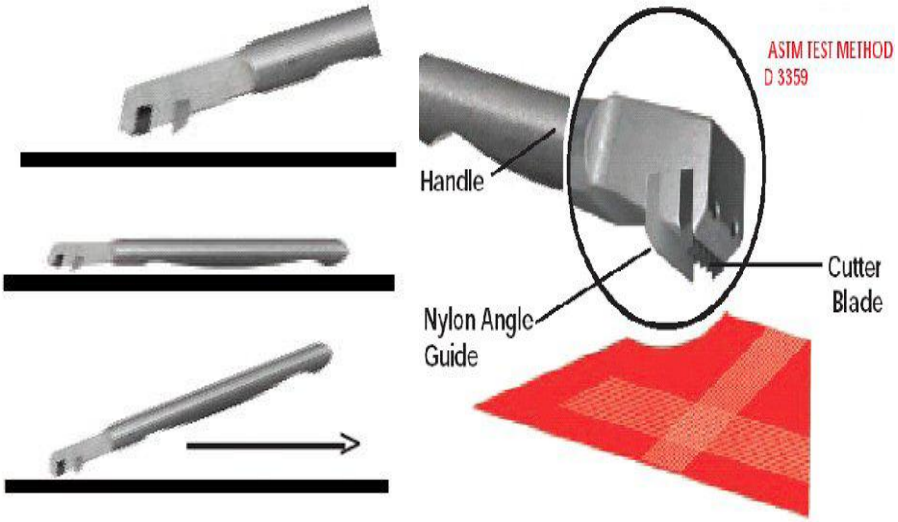


Εικόνα 7.3: Δοκιμή σε κρούση – Δοκίμιο (B15 – με παχύ στρώμα) με δύο επιστρώματα προς και πίσω όψη.

Παρατήρηση: Από τη δοκιμή αυτή διαπιστώνεται ότι το επίστρωμα αρχίζει να σπάει όταν η ρίψη γίνεται από τα 67 εκατοστά. Στα 70 εκατοστά έγιναν 2 ρίψεις. Και στις περιπτώσεις εμφανίστηκαν ρωγμές άρα δεν υπάρχει πιθανότητα τυχαίας εμφάνισης σε μία από αυτές της ρωγμής στο χρώμα. Άρα το επίστρωμα έχει αντοχή σε κρούση, όχι όμως το ίδιο καλή με αυτή που έχει το προηγούμενο λεπτό επίστρωμα. Αυτό οφείλεται στο ότι η πρόσφυσή του δεν είναι το ίδιο καλή με αυτή του λεπτού στρώματος. Η διαφορά πάχους των δύο επιστρωμάτων δεν επηρεάζει την αντοχή τους σε κρούση.

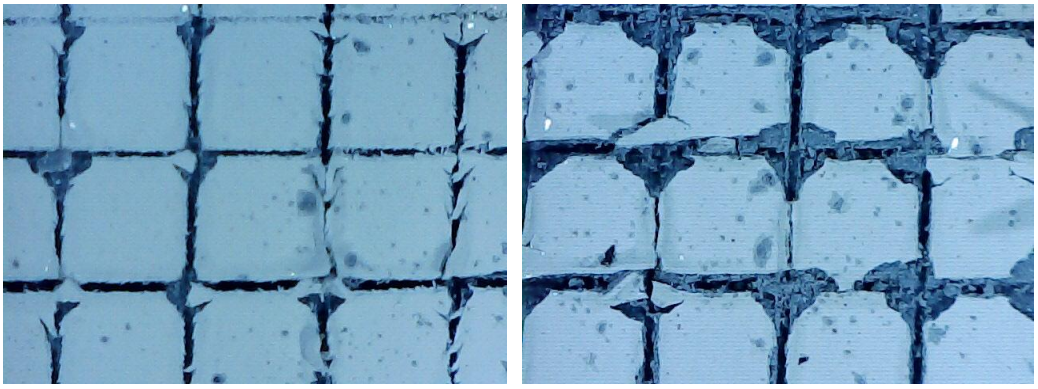
7.8 Μέτρηση Πρόσφυσης Επιστρώματος

Η πρόσφυση του επιστρώματος εξετάστηκε με την πρότυπη δοκιμή κατά ASTM D-3359 και με τη βοήθεια του εργαλείου που φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί



Σχήμα 7.19 : Χαρακτικό εργαλείο- Τρόπος χρήσης του

Το εργαλείο του σχήματος τοποθετείται στην επιφάνεια δοκιμής σε οριζόντια θέση. Η λεπίδα σύρεται σε ευθεία ασκώντας ελαφριά πίεση μέχρι να ανυψωθεί η λαβή σχηματίζοντας γωνία 15 μοιρών με τη επιφάνεια, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία σε κατεύθυνση κάθετη με την προηγούμενη και πάνω στην ίδια επιφάνεια.



Εικόνα 7.4: Δοκίμιο Α14 Δοκίμιο Β14

Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται αξιολογούνται με βάση των επόμενο πίνακα.

Surface of cross-cut area from which flaking has occurred. (Example for 6 parallel cuts)	None					Greater than 65%
Classification	5	4	3	2	1	0

Στον πίνακα αυτό χρησιμοποιείται η κλίμακα από 0 έως 5 ανάλογα με την αποκόλληση του επιστρώματος στην περιοχή των χαραγών.

Παρατήρηση: Μετά από αυτή τη δοκιμή διαπιστώθηκε πολύ καλή πρόσφυση των δοκιμίων. Χαρακτηρίζοντας το επίστρωμα του δοκιμίου Α14 (λεπτό στρώμα) με το βαθμό 4 και το δοκίμιο Β14 (παχύ στρώμα) με το βαθμό 3.

Γενικά Συμπεράσματα

- Ο χάλυβας είναι κράμματα σιδήρου με άνθρακα και λοιπά μέταλλα σε μικρές ποσότητες. Λόγω της σύστασής του το κόστος αξιοποίησης και εκμετάλλευσής του είναι μικρό κι έτσι χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία. Το μειονέκτημα του χάλυβα είναι η επίδραση που υφίσταται σε διαβρωτικό περιβάλλον. Όταν χάλυβας εκτίθεται σε περιβάλλον με έντονο το υγρό στοιχείο ή σε αέρα χωρίς κάποια αντιδιαβρωτική προστασία διαβρώνεται εύκολα.

- Ο χάλυβας έχει τη φυσική τάση να αντιδρά με το περιβάλλον και να σχηματίζει ένα προστατευτικό επίστρωμα οξειδίου. Το επίστρωμα αυτό είναι υδατοδιαλυτό και απομακρύνεται από τις χαλύβδινες επιφάνειες. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη επικάλυψης του μετάλλου με χρώμα που να επιταχύνει και να βοηθά στη δημιουργία του στρώματος οξειδίου (παθητικοποίηση).

- Ένα άλλο είδος αντιδιαβρωτικών χρωμάτων είναι αυτά που προστατεύουν τις επιφάνειες απομονώντας το χάλυβα από την άμεση επαφή με το περιβάλλον. Το επίστρωμα που θα επιλεγεί πρέπει να πληρεί ορισμένες προϋποθέσεις, όπως πρόσφυση, αντίσταση στο νερό, ρυθμό μεταφοράς υγρασίας. Ωστόσο ένα χρώμα επιλέγεται και με βάση το κόστος εφαρμογής του στη συγκεκριμένη εγκατάσταση σε σχέση με την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του και από την αισθητική που θέλουμε να προσδώσουμε στις επιφάνειες.

- Σε αυτή την εργασία μελετήθηκε η επίδραση έντονα διαβρωτικού περιβάλλοντος όπως είναι το θαλάσσιο σε χαλύβδινες επιφάνειες. Σκοπός είναι η παρατήρηση και ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας των επιστρωμάτων στην προστασία των δοκιμίων. Ανεξάρτητα από το είδος του επιστρώματος που θα χρησιμοποιηθεί, η κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας πριν την επικάλυψή της είναι απαραίτητη. Έτσι στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, οι επιφάνειες των δοκιμίων καθαρίστηκαν με ψηγματοβολή για την απομάκρυνση τυχόν οξειδίων και βελτίωση της τραχύτητάς τους. Χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη χρωμάτων με σκοπό την καταπολέμηση του ρεύματος διάβρωσης. Το πρώτο στρώμα (prime) αστάρι μετάλλων έχει μεγάλη πρόσφυση και το δεύτερο στρώμα (βερνικόχρωμα) χαρακτηρίζεται από στιλπνότητα. Τα δοκίμια χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το πάχος του τελικού επιστρώματος, σε αυτά με λεπτό επίστρωμα και σε αυτά με χοντρό

επίστρωμα. Στη συνέχεια δοκιμάστηκαν στο θάλαμο της αλατονέφωσης και στην εμβάπτιση. Ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκαν ηλεκτροχημικές μετρήσεις με τη μέθοδο Tafel για την πρόβλεψη του ρυθμού διάβρωσης των δοκιμίων. Επίσης τα δοκίμια εξετάστηκαν με τη μέθοδο ASTM D-3359 για την αξιολόγηση της πρόσφυσης του επιστρώματος. Τέλος, αξιολογήθηκαν με τη μέθοδο ASTM D2794 για την αντοχή του επιστρώματος σε κρούση.

- Από τα πειράματα της εμβάπτισης και της αλατονέφωσης συμπεραίνεται ότι τα δοκίμια με χοντρό επίστρωμα είχαν καλύτερη συμπεριφορά στην εμβάπτιση από τα δοκίμια με λεπτό επίστρωμα. Ωστόσο στην αλατονέφωση και τα δύο είδη επιστρώματος είχαν την ίδια αντίσταση στη διάβρωση. Αυτό φαίνεται και από τους πίνακες που παίρνουμε με τη μέθοδο ASTM standard D-610-68/SSPC-Vis2. Όλα τα δοκίμια και στα δύο πειράματα εμφάνισαν από την αρχή δείγματα διάβρωσης περιμετρικά της επιφάνειάς τους, λόγω της ροής της υγρασίας από τα σημεία που έρχονταν σε άμεση επαφή με το διάλυμα. Τα σημεία αυτά είναι τα πιο ευάλωτα στη διάβρωση λόγω ανεπαρκούς κάλυψής τους.
- Στην εμβάπτιση τόσο τα δοκίμια με λεπτό επίστρωμα όσο και τα δοκίμια με χοντρό επίστρωμα παρουσίασαν διόγκωση του εξωτερικού επιστρώματος (σε διαφορετικό χρόνο έκθεσης), χωρίς ωστόσο να εμφανίσουν έντονα σημάδια διάβρωσης. Αυτό οφείλεται στη δημιουργία επιτεταρτοξειδίου του σιδήρου (Fe_3O_4), στην επιφάνεια του μετάλλου που δρα ως προστατευτικό επίστρωμα και δεν επιτρέπει την επαφή του διαβρωτικού διαλύματος με το χάλυβα.
- Από τις ηλεκτροχημικές μετρήσεις με τη μέθοδο Tafel παρατηρούμε ότι ο ρυθμός διάβρωσης των δοκιμίων με τα επιστρώματα είναι πολύ μικρότερος από αυτόν του δοκιμίου χωρίς επίστρωμα. Το δυναμικό διάβρωσης δεν έχει διαφοροποιηθεί αισθητά, αλλά αυτό που φαίνεται ότι άλλαξε είναι η αντίσταση πόλωσης, η οποία αυξήθηκε στο δοκίμιο με λεπτό επίστρωμα, στο δοκίμιο με χοντρό επίστρωμα και στο δοκίμιο με μίνιο. Κατά συνέπεια μειώθηκε σημαντικά και η πυκνότητα του ρεύματος όπως φαίνεται από τα αντίστοιχα διαγράμματα Tafel. Γεγονός που δικαιολογεί και τη μείωση του ρυθμού διάβρωσης στα δοκίμια με τις επικαλύψεις.
- Τα δοκίμια με λεπτό επίστρωμα παρουσίασαν ελάχιστα καλύτερη συμπεριφορά στην αντοχή σε κρούση σε σχέση με αυτά με χοντρό επίστρωμα. Αυτό δικαιολογείται από την ελάχιστα καλύτερη πρόσφυση που έχουν, όπως φαίνεται από τη μέθοδο

ASTM D-3359. Τα επιστρώματα παρουσιάζουν αρκετά καλή συνάφεια με αποτέλεσμα να έχουν καλή αντοχή στην αποφλοίωση. Η απώλεια πρόσφυσης στα σημεία που παρατηρήθηκε δεν επηρέασε σημαντικά την αντιδιαβρωτική προστασία, διότι το διάλυμα NaCl δεν εισήλθε στο σύστημα μεταλλικής επιφάνειας και αρχικού επιστρώματος (prime).

- Τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι κατάλληλα για εμπορικούς σκοπούς και παρουσίασαν ικανοποιητική αντίσταση στη διάδοση του ρεύματος διάβρωσης, που ήταν και ο αρχικός σκοπός μας. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τη μέθοδο Tafel και με τη μέθοδο ASTM standard D-610-68/SSPC-Vis2 με αυτά των αντίστοιχων δοκιμίων μόνο με μίνιο παρατηρούμε ότι το ρεύμα διάβρωσης είναι αυξημένο σε σχέση με αυτό των δοκιμίων με διπλό επίστρωμα (με λεπτό και με χοντρό επίστρωμα) . Το μίνιο έχει καμπύλη διάβρωσης ενώ τα διπλά επιστρώματα δεν βγάζουν καθόλου, γιατί το πιγμέντο από φωσφορικό ψευδάργυρο προστατεύει το χαλύβδινο υπόστρωμα.
- Άρα με το αρχικό επίστρωμα επιτυγχάνεται η προστασία της επιφάνειας και στη συνέχεια τοποθετώντας το τελικό αντιδιαβρωτικό χρώμα βελτιώνεται η προστασία αλλά και προσδίδονται στο επίστρωμα και κάποιες άλλες ιδιότητες όπως το επιθυμητό χρώμα, στιλπνότητα, ελαστικότητα, αντοχή σε κρούση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Θ. Σκουλικίδης, Π. Βασιλείου : ΄΄ Διάβρωση και προστασία Υλικών ΄΄, Αθήνα 2007.

2. Θ. Κωστόπουλος : ΄΄ Διάγνωση Βλαβών και Συντήρηση Περιστρεφομένων μηχανών ΄΄ , Αθήνα 2009.

3. Δ. Υφαντής : ΄΄ Υλικά : Διάβρωση και προστασία ΄΄ , Αθήνα 2003.

4. Δ. Παπαντώνης : ΄΄ Υδροδυναμικές μηχανές, αντλίες- υδροστρόβιλοι υδροδυναμικές μεταδόσεις ΄΄ , Αθήνα 2009.

5. Μάρκος Γ. Γεωργουλάκης : ΄΄ Διπλωματική εργασία΄΄ , Αθήνα 2010.

6. Αθηνά Ιωσηφίδου : ΄΄ Διπλωματική εργασία ΄΄ , Αθήνα 2009.

7. R. Winston Review and Herbert H. Uhlig : ΄΄ Corrosion Control (BookFI.org) ΄΄

8. W. Funke : ΄΄ Blistering of Paint Films (Corrosion Control by Organic Coatings) ΄΄ .

9. M. Yassen : ΄΄ Permeation Properties of Organic Coatings in the Control of Metallic Corrosion (Corrosion Control by Organic Coatings) ΄΄.

10. W. Schwenk : ΄΄ Adhesion Loss of Organic Coatings Causes and Consequences for Corrosion Protection(Corrosion Control by Organic Coatings) ΄΄ .