

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
(ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ)
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : Α. ΖΕΡΒΑΚΗ
Π. ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ



ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ ΑΣΤΑΡΙ
ΧΑΛΥΒΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕ ΠΡΟΙΣΤΟΡΙΑ
ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ
ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2023
NTUA Zografou, Athens

www.naval.ntua.gr/
chemeng.ntua.gr/central.ntua.gr
Κωνσταντίνος Ποταμίτης NM08037
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΘΗΝΑ 2023

1	ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΔΙΑΒΡΩΣΗ	8
	1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
	1.2 ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	9
	1.3 ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	14
	1.4 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	15
	1.4.1 ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ-ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ (GENERAL CORROSION)	15
	1.4.2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕ ΒΕΛΟΝΙΣΜΟΥΣ (PITTING CORROSION)	16
	1.4.3 ΓΑΛΒΑΝΙΚΗ-ΔΙΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	18
	1.4.4 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΧΑΡΑΓΗΣ (GROOVING-CREVICE CORROSION)	21
	1.4.5 ΠΕΡΙΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	22
	1.4.6 ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	23
	1.4.7 ΘΕΡΜΟΓΑΛΒΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	25
	1.4.8 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	25
	1.4.9 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	26
	1.4.10 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΠΟ ΡΕΥΜΑΤΑ ΔΙΑΦΥΓΗΣ	26
	1.5 ΕΙΔΗ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	26
	1.6 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	28
	1.7 Η ΚΙΝΗΤΙΚΗ & ΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	30
	1.8 Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΔΙΑΛΥΣΗΣ.....	32
	1.9 Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΔΟΥΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	33
	1.10 ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	33
	1.11 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ.....	35
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΜΕΤΡΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙΑ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	38

2.1	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	38
2.2	ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	43
2.2.1	ΑΜΕΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	43
2.2.1.1	ΜΕΘΟΔΟΣ ΘΥΣΙΑΖΟΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ.....	43
2.2.1.2	ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....	44
2.2.1.3	ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΘΥΣΙΑΖΟΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ.....	45
2.2.1.4	ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΑΣΗ.....	45
2.2.1.5	ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΘΥΣΙΑΖΟΜΕΝΕΣ ΑΤΑΞΙΕΣ.....	46
2.2.1.6	ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΑΚΙΔΕΣ – ΔΙΟΔΟΥΣ.....	46
2.2.2	ΕΜΜΕΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	46
2.2.1	ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	49
2.3	ΑΣΤΑΡΙΑ (PRIMING SYSTEMS).....	50
2.4	ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΑ.....	51
2.4.1	ΜΕΓΑΛΟΜΟΡΙΑΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΜΕ ΔΙΠΟΛΙΚΑ ΜΟΡΙΑ.....	52
2.4.2	ΟΥΣΙΕΣ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.....	52
2.4.3	ΠΟΛΥΜΕΡΗΣ ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΣΚΟΝΗ ΑΝΟΔΙΚΟΤΕΡΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ Ή ΟΞΕΙΔΙΩΝ.....	52
2.4.4	ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΩΝ Η ΑΝΑΣΤΟΛΕΩΝ.....	53
2.4.5	ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΙΚΑ.....	53
2.4.5.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	53
2.4.5.2	ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ (ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ).....	54
2.4.5.3	ΧΡΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΙΚΩΝ.....	54
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΑ.....	62
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΓΕΝΙΚΑ.....	62

3.1.1 ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ (ΦΟΡΕΑΣ)	62
3.1.2 ΣΤΕΡΕΑ ΣΕ ΔΙΑΣΠΟΡΑ-ΠΙΓΜΕΝΤΑ	63
3.1.3 ΔΙΑΛΥΤΗΣ (ΑΡΑΙΩΤΙΚΟ)	64
3.1.5 ΠΡΟΣΘΕΤΑ.....	64
3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΩΝ ΧΡΩΜΑΤΩΝ	65
3.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	68
3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ	68
3.3.2 ΑΚΑΘΑΡΣΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	68
3.3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	69
3.3.3.1 ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	69
3.3.3.2 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	70
3.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ	74
3.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ	75
3.6 ΔΡΑΣΗ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΩΝ ΧΡΩΜΑΤΩΝ.....	76
3.6.1 ΜΟΝΩΣΗ.....	76
3.6.2 ΠΑΘΗΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ.....	77
3.6.3 ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	77
3.6.4 ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	77
3.6.5 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ	77
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΝΑΥΠΗΓΙΚΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ	79
4.1 ΝΑΥΠΗΓΙΚΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ (ΓΕΝΙΚΑ).....	79
4.2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	81
4.3 ΝΑΥΠΗΓΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ ΑΗ36	83
4.3.1 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΑΗ36	84

5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	85
	5.1 ΓΕΝΙΚΑ – ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	85
	5.2 ΘΑΛΑΜΟΣ ΑΛΑΤΑΝΕΦΩΣΗΣ – ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	86
	5.2.1 ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ – ΘΑΛΑΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	87
	5.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ, ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΚΝΕΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ.....	87
	5.3 ΒΗΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	88
	5.4 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΨΗΓΜΑΤΟΒΟΛΗΣ	89
	5.5 ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ.....	90
	5.6 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	93
	5.7 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΑΛΑΤΟΝΕΦΩΣΗΣ.....	95
	5.8 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΒΑΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΚΡΙΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΟΜΑΔΩΝ	96
	5.8.1 ΤΕΛΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	102

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Φυσικοχημείας και Εφαρμοσμένης Ηλεκτροχημείας της σχολής Χημικών Μηχανικών Ε. Μ. Π..

Ευχαριστώ ολόθερμα την επιβλέπουσα, κυρία Παναγιώτα Βασιλείου, καθηγήτρια της σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε. Μ. Π. του τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών για την άμεση ανταπόκριση σε ό,τι πρόβλημα παρουσιάστηκε αλλά και για την καθοδήγησή της κατά το διάστημα αυτό.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Διδάκτορες κύριο Μ. Δελαγραμμάτικα και κυρία Ο. Παπαδοπούλου για τις σημαντικές συμβουλές και παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση τους όλα αυτά τα χρόνια.

*Με εκτίμηση,
Ποταμίτης Κωνσταντίνος*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκπόνηση της εργασίας αυτής πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα 2021-2022 και είχε σκοπό την αξιολόγηση της συμπεριφοράς σε σχέση με την προϊστορία διάβρωσης του χάλυβα υψηλής αντοχής ΑΗ36 σε συνθήκες θαλάσσιου περιβάλλοντος έχοντας ως προστασία αντισκωριακό αστάρι αλκυδικών ρητίνων.

Το θεωρητικό μέρος απαρτίζεται από τις βασικές θεματικές ενότητες σχετικά με τη διάβρωση μεταλλικών κατασκευών και την προστασία τους με χρήση αντιδιαβρωτικών επικαλυπτικών. Γίνεται και ξεχωριστή αναφορά στον ναυπηγικό χάλυβα υψηλής αντοχής ΑΗ36 και τις μηχανικές του ιδιότητες.

Στο πειραματικό μέρος αναλύεται η διαδικασία εκτέλεσης των πειραμάτων. Συγκεκριμένα τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν διαβρώθηκαν μέσω του θαλάμου αλατονέφωσης αφού πρώτα προστατεύθηκαν με αντιδιαβρωτικό αστάρι. Η μία ομάδα δοκιμίων είχε υποστεί πρότερη διάβρωση, οπότε πρώτα καθαρίστηκαν με ψηγματοβολή και ύστερα προστατεύθηκαν με αντιδιαβρωτικό επικαλυπτικό. Ύστερα

μελετήθηκε η απώλεια βάρους και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων μέσω διαγραμμάτων και πινάκων, μεταξύ των δύο ομάδων δοκιμών, μίας με προϊστορία διάβρωσης και μίας χωρίς.

Τα πειράματα έλαβαν χώρα στο εργαστήριο Φυσικοχημείας και Εφαρμοσμένης Ηλεκτροχημείας του τμήματος Χημικών Μηχανικών Ε. Μ. Π. υπό την επίβλεψη της κκ Παναγιώτας Βασιλείου.

SUMMARY

The current thesis was formulated during the academic year of 2021-2022 at the laboratory of Applied Physics & Electrochemistry of the department of Chemical Engineering of NTUA and aims to evaluate the corrosion of high strength steel AH36 specimens under coating protection in the Saltspray Chamber.

The theoretical part consists of basic sections concerning the corrosion of metals and their protection methods against it using anti-corrosion coatings or other methods. Especially, the high strength steel AH36 is presented thoroughly during a section of the thesis.

In the experimental part the process is described in detail. The AH36 steel specimens were exposed to corrosion in the Saltspray Chamber. Their surface was properly prepared before the colour application using the sand blasting machine of the laboratory.

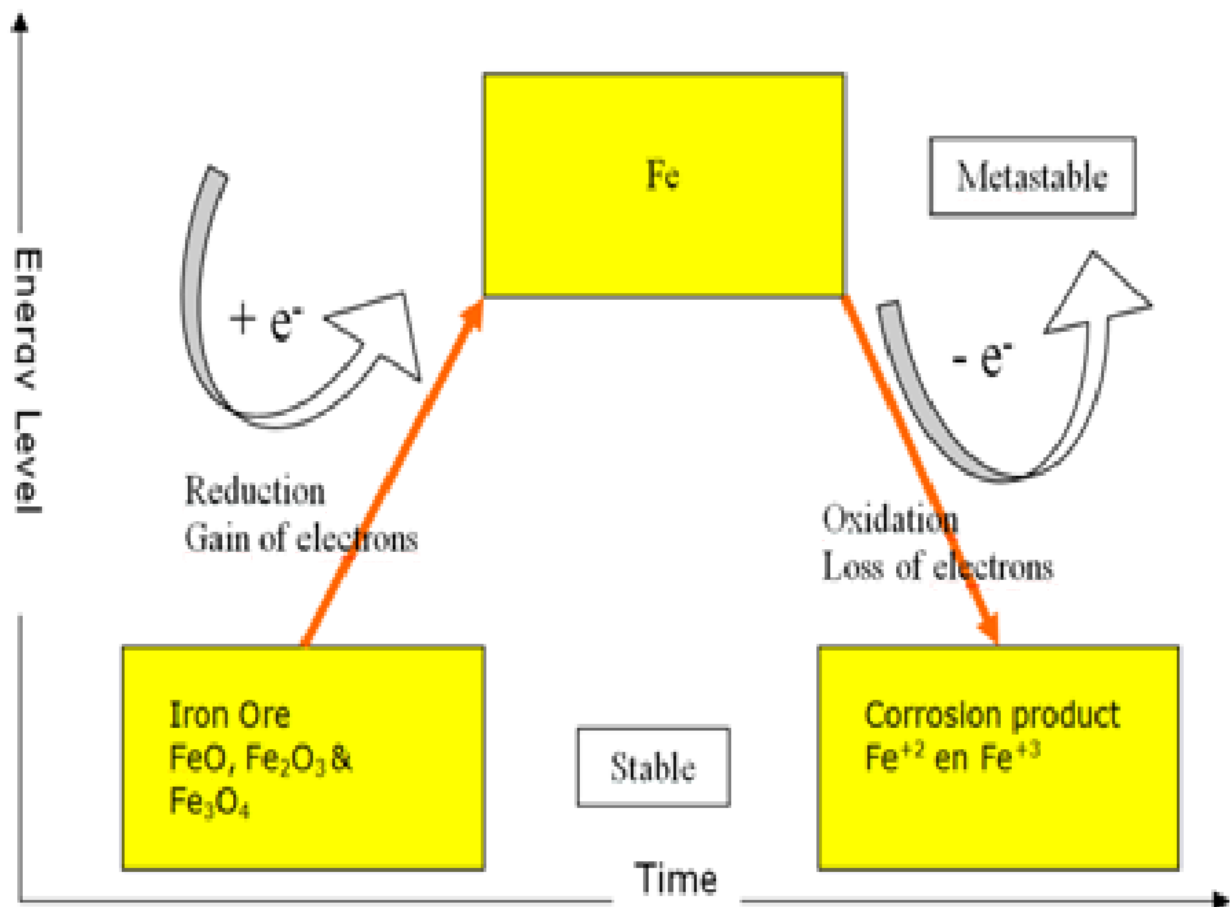
After the ending of this process their weight loss was evaluated and tables and diagrams were made to compare the behaviour of the two teams of specimens that were used.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΔΙΑΒΡΩΣΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κάθε μέταλλο ή κράμα μετάλλου -χημική ένωση δηλαδή που περιέχει δύο ή και παραπάνω μέταλλα - είναι σχεδόν απόλυτα σίγουρο ότι θα υποστεί διάβρωση. Τα μέταλλα βρίσκονται στη φύση υπό την μορφή ενώσεων, κυρίως σαν οξείδια μετάλλων ή σαν θειούχα μεταλλεύματα εκτός από μερικές περιπτώσεις όπως ο χρυσός (Au), ο λευκόχρυσος (Pt), ο άργυρος (Ag) και ο χαλκός (Cu) τα οποία είναι δυνατό να βρεθούν και σε “καθαρή” μορφή. Κατά την εξαγωγή και επεξεργασία των μεταλλευμάτων προκαλούμε μείωση της κατάστασης οξείδωσης και οδηγούμεστε στην καθαρή μορφή του μετάλλου η οποία πλέον έχει αυξημένη εσωτερική ενέργεια ή αλλιώς είναι ενεργειακά αναβαθμισμένο. Έτσι όταν αυτό αφεθεί ελεύθερο στο περιβάλλον, βάσει του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου έχει την τάση να “υποβαθμιστεί” ενεργειακά. Αυτό ουσιαστικά μετουσιώνεται στην ένωση του εκάστοτε μετάλλου με το οξυγόνο. Οπότε η τάση του κάθε μετάλλου να επανέλθει στην αρχική ενεργειακή του κατάσταση ορίζει το αίτιο της διάβρωσης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται απλοποιημένα η τάση που έχουν όλα τα μέταλλα να διαβρωθούν αφήνοντας απ’ έξω τα ευγενή μέταλλα (χρυσός, λευκόχρυσος κ.τ.λ.) Κατά την επεξεργασία των μεταλλευμάτων το μέταλλο παραλαμβάνει ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα να έχει ύστερα - στην καθαρή του μορφή πια - την τάση να οξειδωθεί, δηλαδή να χάσει ηλεκτρόνια.



Εικόνα 1.1-α: Αναγωγή κατάστασης οξείδωσης μεταλλευμάτων

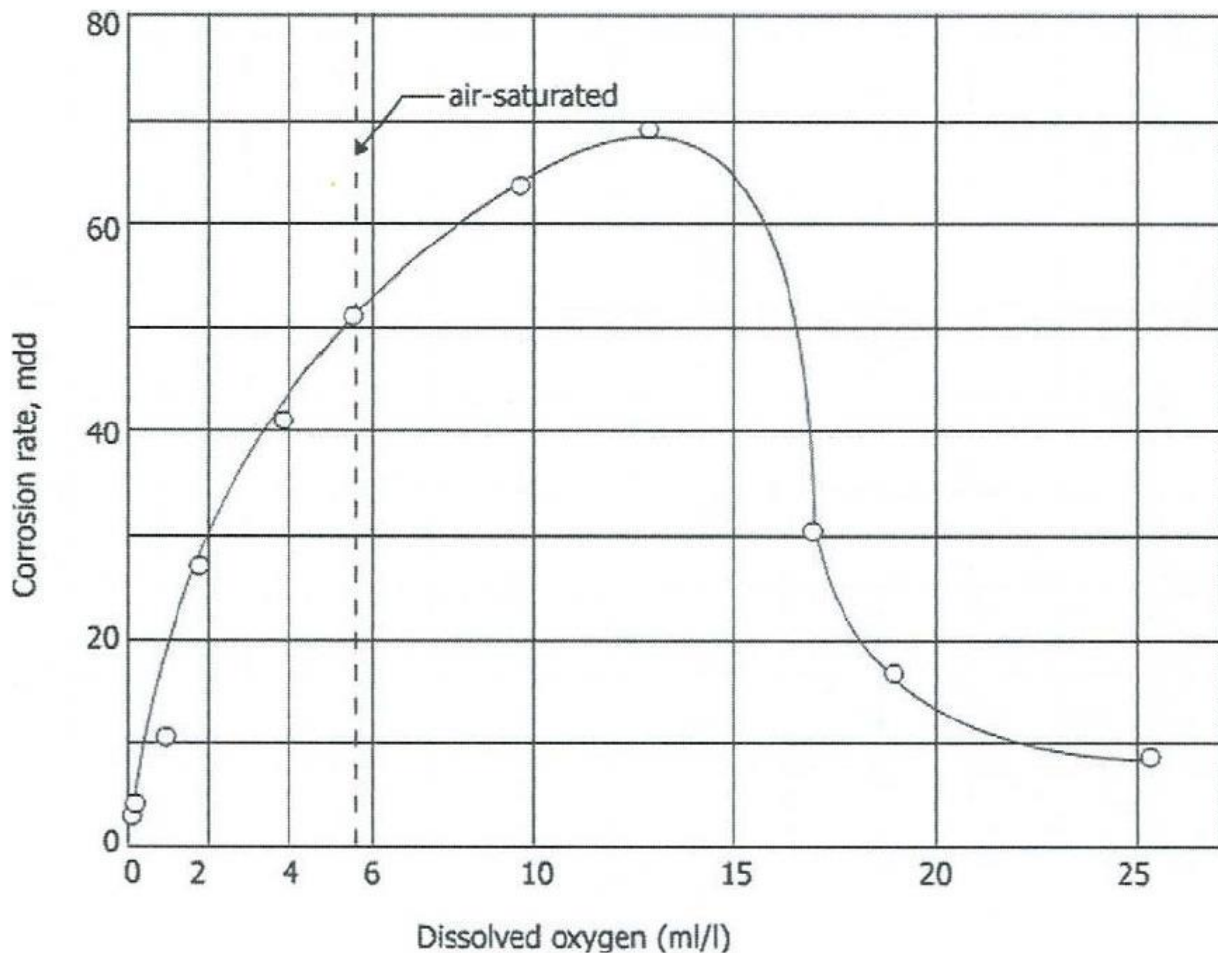
1.2 ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Το φαινόμενο της διάβρωσης χαρακτηρίζεται από την πολυπλοκότητα και την μη προβλέψιμη φύση της εμφάνισής του, καθώς επίσης από τη δυσκολία προσδιορισμού του χρονικού και χημικού της χαρακτήρα, αλλά και από την εναλλαγή του φαινομένου λόγω αλλαγών στις συνθήκες του διαβρωτικού περιβάλλοντος που είναι αδύνατο να μείνουν σταθερές. Για αυτούς του λόγους είναι πάντα χρήσιμο να προσμετρώνται παλαιότερες παρόμοιες μελέτες για εξαγωγή συμπερασμάτων γύρω από τα θερμοδυναμικά και κινητικά δεδομένα. Έτσι πολλά στοιχεία γύρω από διάφορες περιπτώσεις διάβρωσης οδήγησαν σε κάποια γενικά συμπεράσματα που

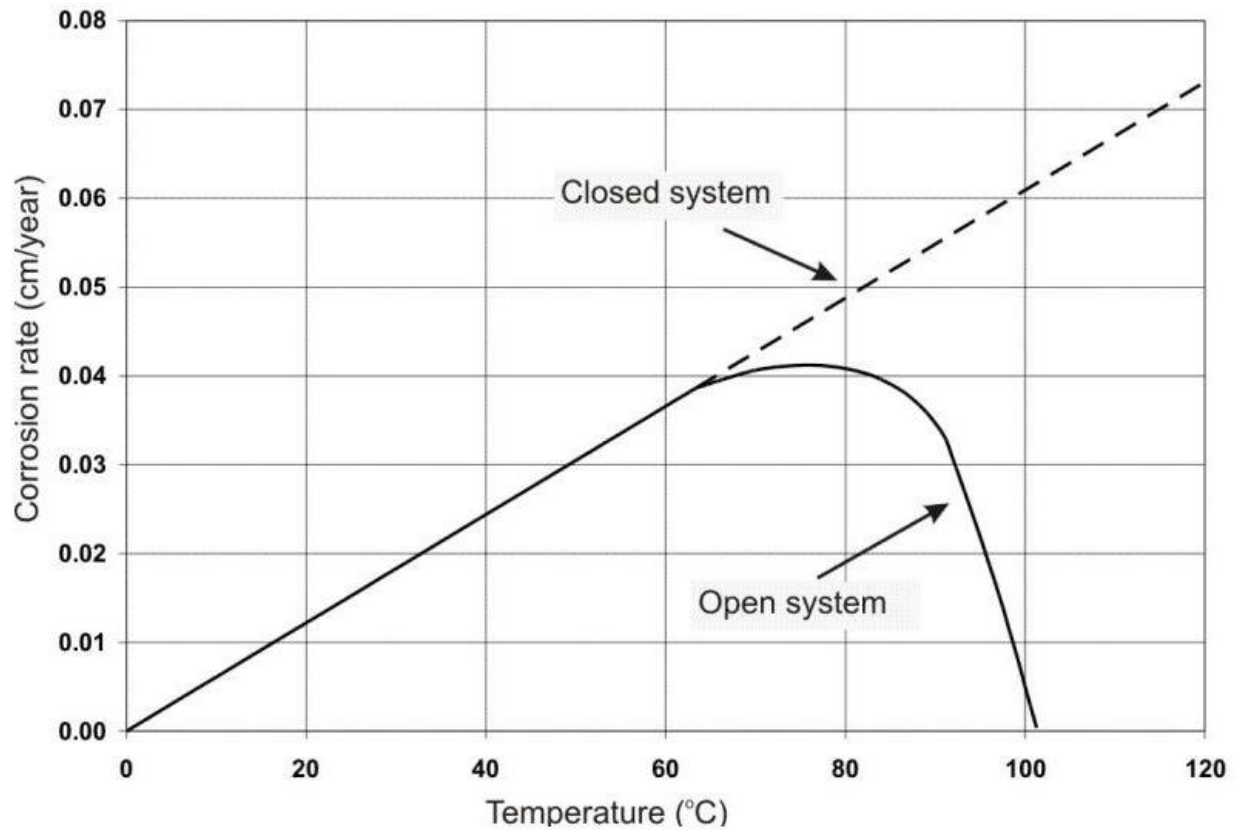
αφορούν τις συνθήκες που επηρεάζουν το φαινόμενο της διάβρωσης και είναι τα εξής:

- Οποιαδήποτε επιφανειακή ανομοιομορφία είναι ικανή να οδηγήσει σε επιτάχυνση του φαινομένου της διάβρωσης, όπως επίσης και η ύπαρξη προεξοχών ή άλλων γεωμετρικών ανωμαλιών.
- Διάβρωση γύρω από τρι-επιφάνειες θεωρείται επιταχυνόμενη διάβρωση παραδείγματος χάριν διάβρωση κοντά στην ίσαλο γραμμή του πλοίου (θαλασσινό νερό-αέρας-χάλυβας).
- Μεγαλύτερη Αγωγιμότητα του διαβρωτικού περιβάλλοντος οδηγεί επίσης σε πιο έντονη διάβρωση.
- Συχνή εναλλαγή του διαβρωτικού περιβάλλοντος (pH, αγωγιμότητα, θερμοκρασία, σύσταση) κάνουν πιο έντονο το φαινόμενο της διάβρωσης όπως πλήρωση δεξαμενών με διαφορετικής σύστασης υγρές ουσίες ή χρήση μηχανημάτων σε διαφορετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα. Αυτές οι εναλλαγές οδηγούν σε εντονότερη διάβρωση.
- Επιπρόσθετες αταξίες δομής του υλικού και πλαστικές παραμορφώσεις έπειτα από κατεργασία επιταχύνουν το φαινόμενο της διάβρωσης.
- Περιπατητικά ρεύματα δηλαδή ηλεκτρικό ρεύμα που διαφεύγει από το κύκλωμα τού στο θαλασσινό νερό αυξάνει τη διάβρωση όπως η αποκατάσταση εσωτερικών ελασμάτων του πλοίου με ηλεκτροσυγκόλληση.
- Αύξηση της συγκέντρωσης οξυγόνου στο διαβρωτικό περιβάλλον αυξάνει τη διαβρωτικότητα του διαλύματος με αποτέλεσμα η διάβρωση να γίνεται όλο και πιο έντονη.
- Αύξηση της θερμοκρασίας του διαβρωτικού περιβάλλοντος οδηγεί και αυτή με τη σειρά της σε επιτάχυνση της διάβρωσης.
- Παρουσία δυο διαφορετικών μετάλλων ή κραμάτων τα οποία βρίσκονται σε επαφή (διαφορετικής σύστασης ή και δομής) έχουμε δημιουργία γαλβανικού στοιχείου με αποτέλεσμα το <<ανοδικότερο>> υλικό να διαβρώνεται περισσότερο και το άλλο λιγότερο (<<καθοδικότερο>>) απ' ότι αν βρίσκονταν σε ξεχωριστό περιβάλλον εξαρχής.
- Η παρουσία προϊόντων διάβρωσης στην επιφάνεια που διαβρώνεται είναι ικανή να προκαλέσει διόγκωση και ρήξη του υλικού στη γύρω περιοχή.

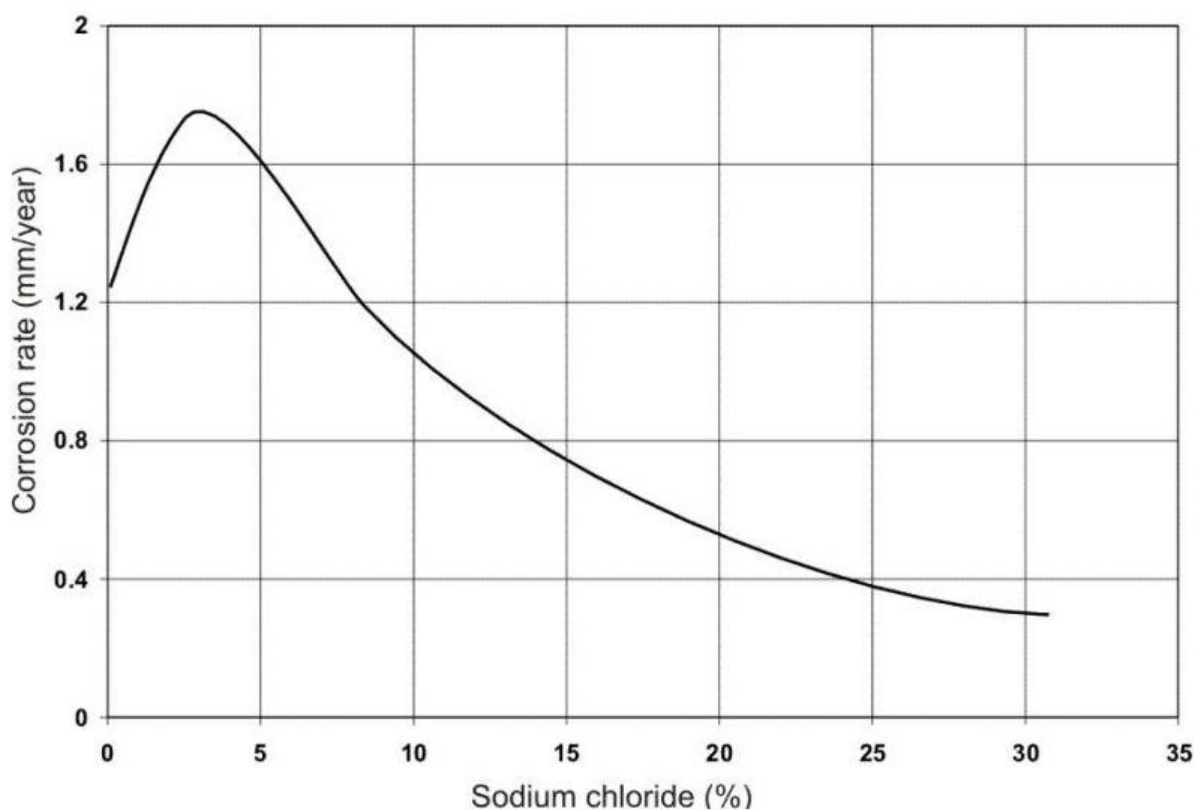
- Ιόντα μετάλλων είναι πιθανό να διαφύγουν από την περιοχή διάβρωσης και να βρεθούν πάνω σε καλυπτικά επιστρώματα χωρίς επαφή άμεση με το διαβρωτικό περιβάλλον.
- Τέλος ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει άμεσα το φαινόμενο της διάβρωσης είναι η ταχύτητα του νερού κατά μήκος της επιφάνειας καθώς μεγαλύτερη ταχύτητα σημαίνει μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής του υλικού με το οξυγόνο.



Εικόνα 1.2 -α : Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου και ρυθμός διάβρωσης (mild Steel, 25 °C, 48 hours) (Uhlig 1995)



Εικόνα 1.2-β :Θερμοκρασία και ρυθμός διάβρωσης (RINA 2004)



Εικόνα 1.2-γ : Ρυθμός διάβρωσης ως συνάρτηση της αλατότητας-salinity (Roberge 2010)

Alloy	Deepest pit	Average corrosion rate		
	(mm)	(mm y ⁻¹)		
	Still seawater	Still seawater	8.2 m s ⁻¹	35-42 m s ⁻¹
Carbon steel	2.0	0.075	-	4.5
Grey cast iron (graphitised)	4.9	0.55	4.4	13.2
Admiralty Gunmetal	0.25	0.027	0.9	1.07
85/5/5/5 Cu Zn Pb Zn	0.32	0.017	1.8	1.32
Ni Resist Cast Iron Type 1B	Nil	0.02	0.2	0.97
Ni Al Bronze	1.12	0.055	0.22	0.97
70/30 Cu Ni + Fe	0.25	<0.02	0.12	1.47
Type 316 Stainless Steel	1.8	0.02	<0.02	<0.01
6% Mo Stainless Steel	nil	0.01	<0.02	<0.01
Ni-Cu Alloy 40	1.3	0.02	<0.01	0.01

Εικόνα 1.2-δ : Πίνακας σχετικά με την ταχύτητα του ηλεκτρολύτη (θαλ. Νερού) (Roberge 2010)

1.3 ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Το μέταλλο όταν ξεκινήσει να διαβρώνεται χάνει ηλεκτρόνια τα οποία δεσμεύονται από το οξυγόνο και ουσιαστικά αυξάνεται το χημικό σθένος του μετάλλου. Το φαινόμενο της διάβρωσης είναι σχεδόν πάντα ηλεκτροχημικό και θερμοδυναμικά αυθόρμητο συμβαίνει στο φυσικό περιβάλλον νερού, αέρα αλλά και στο έδαφος. Σε έντονο διαβρωτικό περιβάλλον (χημικές ουσίες, αυξημένη θερμοκρασία κ.τ.λ.) η διάβρωση χαρακτηρίζεται ως εκβιασμένη.



Ένας από τους πληρέστερους ορισμούς που έχει δοθεί στο φαινόμενο της διάβρωσης προέκυψε από συζητήσεις στα πλαίσια της Διεθνούς Επιτροπής Θαλάσσιας Διάβρωσης και Ρύπανσης των Υφάλων Κατασκευών και Διεθνών Συνεδρίων και καταλήγει στο εξής :

“Διάβρωση ονομάζεται κάθε αυθόρμητη, κατ’επέκταση εκβιασμένη ηλεκτροχημικής, χημικής ή μηχανικής ή και βιολογικής φύσης αλλοίωση της επιφάνειας των μετάλλων και των κραμάτων η οποία οδηγεί σε απώλεια υλικού.”

Η διάβρωση είναι επιφανειακό φαινόμενο με τον όρο επιφάνεια να περιλαμβάνει και τις επιφανειακές ανωμαλίες, τους πόρους, τα ενεργά κέντρα καθώς και τους ενεργούς δρόμους από τις υπάρχουσες αταξίες δομής. Μέσω αυτής της διεπιφάνειας “πραγματική επιφάνεια-διαβρωτικό περιβάλλον” πραγματοποιείται μεταφορά μάζας και ενέργειας. Είναι δυνατό τα προϊόντα διάβρωσης να μένουν προσκολλημένα πάνω στο υλικό, γι’ αυτόν τον λόγο απώλεια υλικού νοείται εκείνη ως προς την αρχική μορφή του υλικού και όχι απαραίτητα η απώλεια μάζας του.

Ο παραπάνω ορισμός ισχύει και για οποιοδήποτε άλλο υλικό εκτός από τα μέταλλα μόνο που σε αυτά υπερέχει η αλλοίωση φυσικής/χημικής φύσης (πολυμερή) παρά της ηλεκτροχημικής καθώς και η αλλοίωση βιολογικής φύσης (ξύλο).

1.4 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

1.4.1 ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ-ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ (GENERAL CORROSION)

Πρόκειται για τον πιο κοινό τύπο διάβρωσης όπου είτε δημιουργείται πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου/κράματος ένα ομοιόμορφο στρώμα σταθερού πάχους είτε παρατηρείται ομοιόμορφη διάλυση της επιφάνειας. Τα προϊόντα της διάβρωσης παραμένουν πάνω στην επιφάνεια και απομακρύνονται συνήθως με την επιβολή μηχανικής δράσης υπό αισθητή ταχύτητα.

Η διάβρωση αυτού του είδους εμφανίζεται όταν η μεταλλική επιφάνεια βρίσκεται σε επαφή με κάποιο οξύ ή διάλυμα ή ακόμη και σε ξηρή ατμόσφαιρα. Εδώ να επισημάνουμε ότι υπάρχουν και περιπτώσεις που η διάβρωση είναι επιθυμητή και μπορεί να λειτουργεί προστατευτικά στο υλικό. Αποτελεί τον απλούστερο τύπο διάβρωσης διότι είναι σχετικά εύκολο να υπολογιστεί ο χρόνος ζωής των εγκαταστάσεων.

Η απώλεια πάχους ανά την επιλεγμένη μονάδα χρόνου και η απώλεια βάρους του μετάλλου ανά το εμβαδό της επιφάνειας αποτελούν τους δυο συνηθέστερους τρόπους παρατήρησης και καταγραφής του φαινομένου της διάβρωσης. Συνήθως επιλέγεται η μέθοδος της απώλειας βάρους όπως και στην παρούσα πειραματική διαδικασία όπου το αρχικό δοκίμιο που επίκειται να υποστεί διάβρωση ζυγίζεται πριν τη χρήση προστατευτικών και αφ' ότου έχει εκτεθεί στο διαβρωτικό περιβάλλον καθαρίζεται και ζυγίζεται εκ νέου. Μέσω της απώλειας βάρους είναι δυνατόν να υπολογιστεί η μέση απώλεια πάχους. Γι' αυτόν το λόγο θεωρείται και το πιο ακίνδυνο είδος διάβρωσης αφού μπορεί να αντιμετωπιστεί με αύξηση του προστατευτικού επιστρώματος στα αρχικά επιθυμητά όρια.

1. General Attack Corrosion

- Also known as uniform attack corrosion, general attack corrosion is the most common type of corrosion and is caused by a chemical or electrochemical reaction that results in the deterioration of the entire exposed surface of a metal.



6

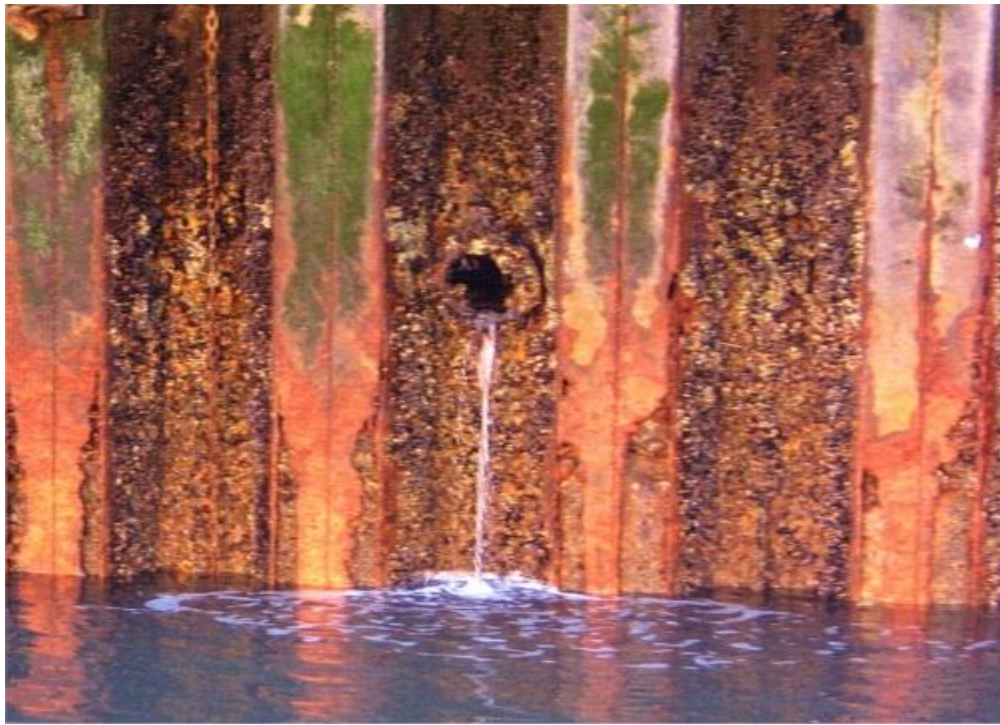
Εικόνα 1.4.1-α : Γενική διάβρωση

1.4.2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕ ΒΕΛΟΝΙΣΜΟΥΣ (PITTING CORROSION)

Η εμφάνιση αυτού του είδους διάβρωσης είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη διότι δεν είναι εύκολο να εντοπιστεί με πρώτη ματιά η ζημιά που έχει προκαλέσει στο υλικό. Αυτό συμβαίνει διότι τα προϊόντα διάβρωσης δεν δημιουργούνται ομοιόμορφα πάνω στην επιφάνεια του υλικού αλλά τοπικά και εκλεκτικά δημιουργώντας εσοχές και κρατήρες στην επιφάνεια του μετάλλου. Στους ανοξειδωτους χάλυβες και σε κράματα αλουμινίου το φαινόμενο αυτό ευνοείται από την ύπαρξη στάσιμων νερών. Τα διαλύματα χλωριόντων είναι συνήθως το διαβρωτικό περιβάλλον που εμφανίζεται αυτό το είδος διάβρωσης. Επίσης εμφανίζεται συχνά σε δεξαμενές έρματος του πλοίου στα side shell ελάσματα.



Εικόνα 1.4.2-α : Διάβρωση με βελονισμούς



Εικόνα 1.4.2-β: Διάβρωση με βελονισμούς

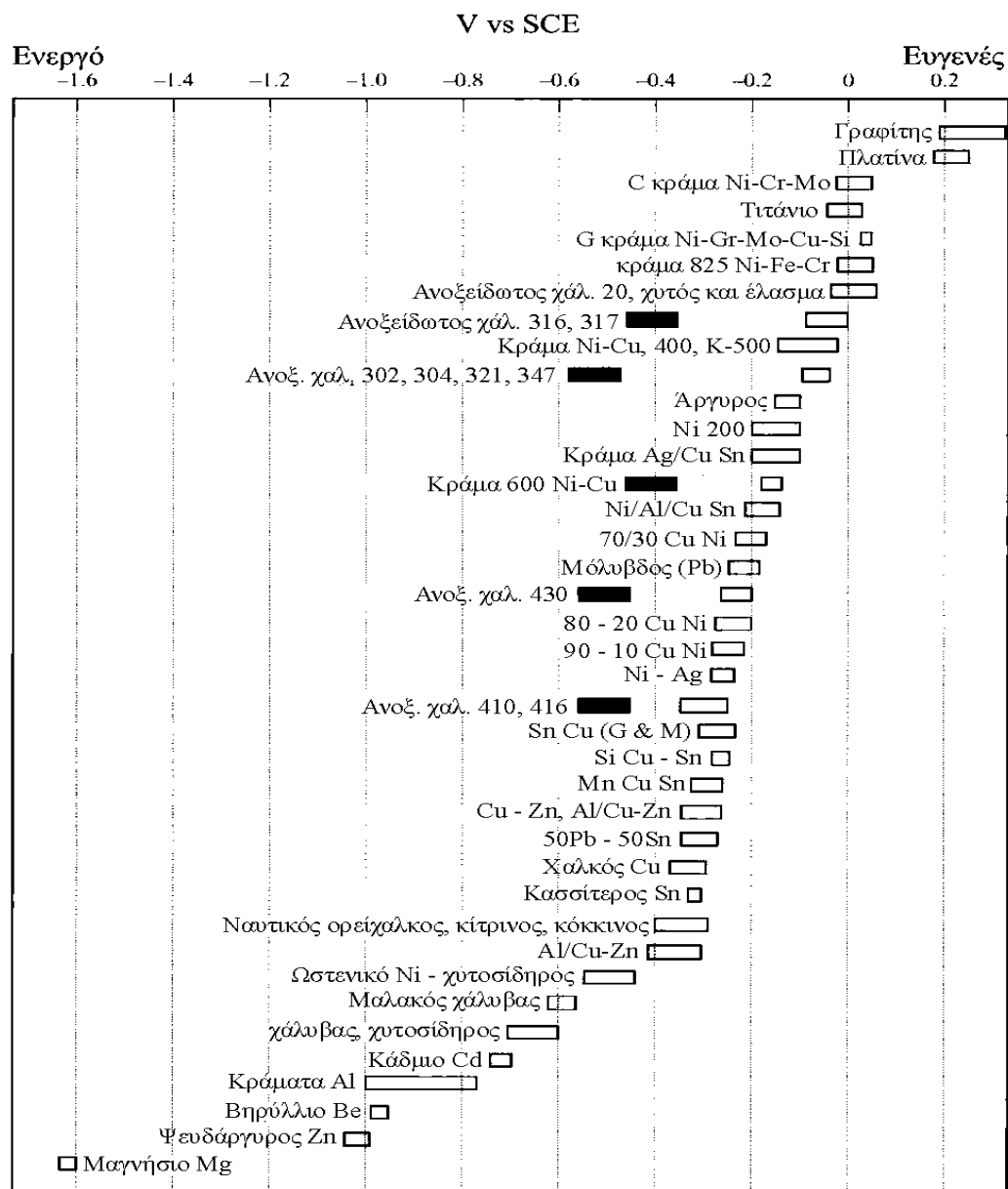
1.4.3 ΓΑΛΒΑΝΙΚΗ-ΔΙΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Όταν δυο διαφορετικά μέταλλα βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους το παθητικό μέταλλο παραμένει ουσιαστικά προστατευμένο οδηγώντας έτσι στη διάβρωση του ενεργού μετάλλου. Αυτή η ηλεκτροχημική διαδικασία ανήκει ουσιαστικά στα είδη επιταχυνόμενης διάβρωσης. Κατά συνέπεια το δραστικότερο μέταλλο συμπεριφέρεται σαν άνοδος και το ευγενέστερο-παθητικό σαν κάθοδος. Έτσι σ' αυτή την περίπτωση καταλαβαίνουμε τη χρησιμότητα των γαλβανικών σειρών καθώς μας υποδεικνύουν σε ποιο από τα δυο μέταλλα θα δημιουργηθούν προϊόντα διάβρωσης. Για την έναρξη του παραπάνω φαινομένου θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις :

- Τα μέταλλα θα πρέπει να βρίσκονται μακριά το ένα από το άλλο στον πίνακα της γαλβανικής σειράς. Η ταξινόμηση τους γίνεται με βάση το δυναμικό τους το οποίο υπολογίζεται με το τυποποιημένο ηλεκτρόδιο υδρογόνου ή καλομέλινα (Saturated Calomel Electrode – S.C.E.). Τα ανοδικά μέταλλα έχουν μεγαλύτερη τάση να διαβρωθούν από τα καθοδικά ή ευγενέστερα. Η διαφορά δυναμικού των δυο υλικών ορίζει το κρίσιμο σημείο.
- Τα μέταλλα πρέπει να βρίσκονται σε " ηλεκτρική " επαφή.
- Η σύνδεση των μετάλλων (εκτός από την άμεση επαφή μεταξύ τους) νοείται με την παρουσία ενός ηλεκτρολύτη και στην περίπτωση που αυτός είναι το θαλασσινό νερό όπου διακρίνεται από υψηλή αγωγιμότητα (λόγω των ιόντων νατρίου και χλωρίου) τότε τα προϊόντα διάβρωσης εμφανίζονται σε μια ευρύτερη περιοχή της επιφάνειας ενώ παρουσία διαλύτη χαμηλής αγωγιμότητας τα προϊόντα διάβρωσης εντοπίζονται κοντά στη σύνδεση των διαφορετικών μετάλλων.



Εικόνα 1.4.3-α : Γαλβανική-διμεταλλική διάβρωση (Ανοξείδωτος με Κοινό ναυπηγικό χάλυβα)



Εικονα 1.4.3-β : Πίνακας γαλβανικής σειράς μετάλλων-κραμάτων

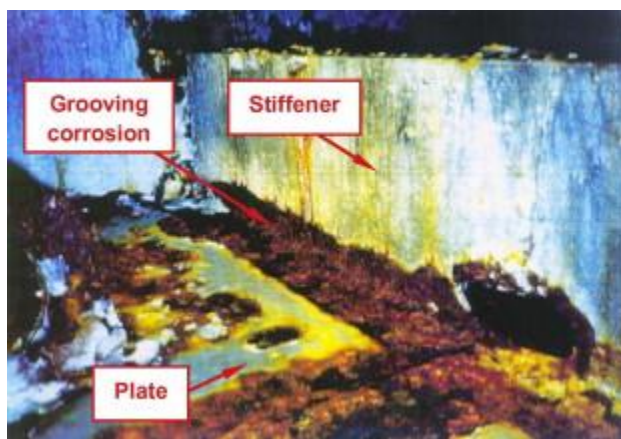
Η γαλβανική διάβρωση επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες :

- Τη φύση και την αγωγιμότητα του διαβρωτικού περιβάλλοντος.
- Τα ποσοστά υγρασίας στον ατμοσφαιρικό αέρα π.χ. (Παραθαλάσσιες περιοχές).

- Τον λόγο της ανοδικής προς την καθοδική επιφάνεια, μεγάλη επιφάνεια ανόδου και μικρή επιφάνεια καθόδου μπορεί να οδηγήσει σε έντονη γαλβανική-διμεταλλική διάβρωση καθώς εμφανίζεται μεγάλη πυκνότητα ρεύματος στο ανοδικό μέταλλο ενώ το αντίθετο δηλαδή μικρή επιφάνεια ανόδου και μεγάλη καθοδική επιφάνεια δυσχεραίνει το σχηματισμό προϊόντων διάβρωσης.

1.4.4 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΧΑΡΑΓΗΣ (GROOVING-CREVICE CORROSION)

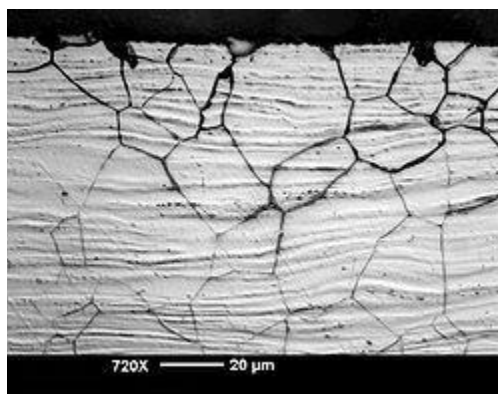
Το είδος αυτού του φαινομένου διάβρωσης παρατηρείται κυρίως σε σχισμές ή σε προστατευμένες περιοχές της μεταλλικής επιφάνειας όπου υπάρχει διαφορετική συγκέντρωση μέσα και έξω από αυτή. Αυτός ο μηχανισμός ουσιαστικά είναι ο ίδιος με της γαλβανικής διάβρωσης αλλά εδώ η γενέτειρα δύναμη που προκαλεί το φαινόμενο αυτό είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο επιφανειών του ίδιου μετάλλου που εκτίθεται σε διαφορετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα και όχι διαφορετικών κραμάτων. Η αντίσταση του ηλεκτρολύτη στη ροή των ιόντων είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον περιορισμό του φαινομένου. Αυτό το είδος διάβρωσης είναι μια βασική αιτία αστοχίας του ναυτικού εξοπλισμού.



Εικόνα 1.4.4-α : Διάβρωση χαραγής (grooving – crevice corrosion)

1.4.5 ΠΕΡΙΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η περικρυσταλλική διάβρωση συντελεί στη μείωση της δυσθραυστότητας του υλικού και είναι πιθανό να οδηγήσει και στη θραύση του. Για την παρατήρηση αυτού του φαινομένου απαιτείται η μικροσκοπική εξέταση δειγμάτων καθώς δεν εντοπίζεται με γυμνό μάτι διότι αυτό το είδος της διάβρωσης παρουσιάζεται στα περατωτικά όρια των κόκκων του υλικού και στην υπόλοιπη επιφάνεια η προσβολή είναι αμελητέα με κίνδυνο όμως να εξαπλωθεί και στο υπόλοιπο υλικό αν αφεθεί ως έχει. Εξαιτίας της προσβολής των ορίων των κόκκων και των γύρω από αυτών περιοχών προκαλείται ο διαχωρισμός τους που μπορεί να προκαλέσει και απόσπαση των κόκκων με αποτέλεσμα τη δημιουργία κοιλοτήτων. Αιτία αυτού του είδους διάβρωσης αποτελεί ο σχηματισμός γαλβανικών στοιχείων είτε εξαιτίας υψηλότερης κρυσταλλικής ενέργειας των σημείων αυτών είτε λόγω συγκέντρωσης ακαθαρσιών και στοιχείων κραματοποίησης και παρατηρείται σε κράματα με βάση το χρώμιο, το νικέλιο, το χαλκό, το χυτό ψευδάργυρο, το αλουμίνιο και τους ανοξείδωτους χάλυβες.

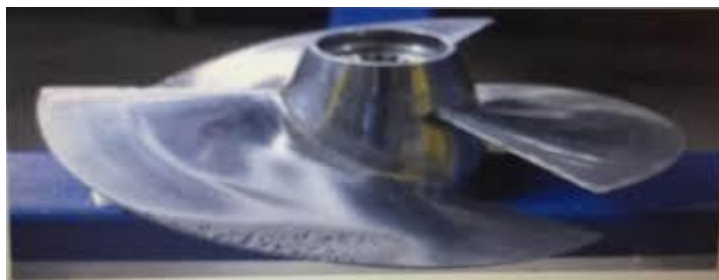


Εικόνα 1.4.5-α : Περικρυσταλλική διάβρωση

1.4.6 ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

-Μηχανική δράση υγρού πάνω στο μέταλλο :

- **Διάβρωση εκτριβής ή ρευστομηχανική :** Προκαλείται λόγω αύξησης της ταχύτητας φθοράς στη σχετική κίνηση του υγρού διαβρωτικού μέσου πάνω στην μεταλλική επιφάνεια. Η αντιμετώπιση της επιτυγχάνεται με την επιλογή κατάλληλων υλικών και την εισαγωγή φίλτρων για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, την πρόσδοση ομαλής εσωτερικής επιφάνειας των σωληνώσεων για εύκολη αποστράγγιση, την αποφυγή διακοπτόμενης και τυρβώδους ροής αλλά και με την επικάλυψη με διάφορα είδη επιστρωμάτων ή την χρήση αναστολέων διάβρωσης.
- **Σπηλαιώδης διάβρωση :** Μέσα σε ρευστό που κινείται τοπικά με πολύ μεγάλη ταχύτητα σχηματίζονται φυσαλίδες ατμού οι οποίες προσκρούουν πάνω στη μεταλλική επιφάνεια με πολύ υψηλή πίεση με αποτέλεσμα να αποξύνεται η επιφάνεια του μετάλλου και των προϊόντων διάβρωσης που πιθανά έχουν δημιουργηθεί, σχηματίζοντας έτσι νέα προϊόντα οξείδωσης.



Εικόνα 1.4.6-α : Σπηλαιώδης διάβρωση

-Μηχανική δράση ενός στερεού πάνω στο μέταλλο :

- **Διάβρωση λόγω τριβής παλινδρόμησης (fretting) :** Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα προϊόντα διάβρωσης που σχηματίζονται στη διεπιφάνεια δυο υλικών χωρίς απαραίτητα να είναι και οι δυο μεταλλικές, εξαιτίας ελαφριάς επαναλαμβανόμενης σχετικής ολίσθησης της μίας ως προς την άλλη.

-Μηχανικές δυνάμεις μέσα στο μέταλλο :

- **Διάβρωση μηχανικής καταπόνησης :** Η συνδυασμένη δράση τοπικής προσβολής και εφελκυστικών τάσεων οδηγεί σε αυτό το φαινόμενο διάβρωσης με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγματώσεων που εισχωρούν στο εσωτερικό του κάθετα στη διεύθυνση της μηχανικής τάσης περικρυσταλλικά ή ενδοκρυσταλλικά.



Εικόνα 1.4.6-β : Διάβρωση μηχανικής καταπόνησης

- **Βλάβη από υδρογόνο :** Εισροή υδρογόνου στο μέταλλο χωρίς πρότερη διαβρωτική δράση στην επιφάνεια.
- **Διάβρωση κόπωσης :** Συνδυασμένη δράση οξείδωσης και εναλλασσόμενων εφελκυστικών – θλιπτικών τάσεων.

1.4.7 ΘΕΡΜΟΓΑΛΒΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Όταν μεταξύ δυο τμημάτων της ίδιας μεταλλικής κατασκευής εμφανίζεται διαφορά θερμοκρασίας παρουσιάζεται η λεγόμενη θερμογαλβανική διάβρωση. Εξαιτίας της διαφορετικής πόλωσης δημιουργούνται ανοδικές και καθοδικές περιοχές οδηγώντας σε τοπική προσβολή. Πρέπει να αποφεύγεται η ανομοιόμορφη θέρμανση ή ψύξη της κατασκευής, να εφαρμόζεται ο κατάλληλος σχεδιασμός κατά τη δημιουργία της κατασκευής ώστε να αποφεύγεται η επαφή με υγρά από εξωτερικές πηγές διαφορετικών θερμοκρασιών αλλά και να εξασφαλίζεται η συνέχεια της μόνωσης ή της επένδυσης.

1.4.8 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Βιολογική ή μικροβιολογική διάβρωση είναι το φαινόμενο οξείδωσης του μετάλλου που παρατηρείται λόγω παρουσίας μικροοργανισμών κυρίως βακτηριδίων. Διάφορα είδη εξ ' αυτών αναπτύσσονται στο νερό, στο έδαφος, σε προϊόντα πετρελαίου αλλά και στα διαλύματα πλύσης των μεταλλευμάτων. Οι μικροοργανισμοί επηρεάζουν τη λειτουργία των ανοδικών και καθοδικών δράσεων είτε προσβάλλοντας τα προστατευτικά επιστρώματα ή τους αναστολείς είτε παράγουν διαβρωτικές ουσίες με τη μορφή εξογκωμάτων.



Εικόνα 1.4.8-α : Βακτηριακή διάβρωση

1.4.9 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η υγρασία της ατμόσφαιρας λόγω της ομίχλης ή του θαλασσινού νερού λειτουργεί ως ηλεκτρολύτης σε αυτό το φαινόμενο οξείδωσης. Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την ένταση της ατμοσφαιρικής διάβρωσης είναι :

- Το χρονικό διάστημα που εκτίθενται οι επιφάνειες στην ατμόσφαιρα.
- Τα ποσοστά χλωριδίου που φτάνουν από τη θάλασσα στην επιφάνεια.
- Τα ποσοστά των βιομηχανικών ρύπων που προστίθενται στις επιφάνειες.

Κατά συνέπεια κοντά σε ξηρή ατμόσφαιρα το περιβάλλον είναι λιγότερο διαβρωτικό σε αντίθεση με τις βιομηχανικές περιοχές. Το ποσό του παρόντος οξυγόνου σε μια περιοχή δεν περιορίζει το φαινόμενο καθώς κυρίαρχο ρόλο σε αυτό το φαινόμενο οξείδωσης έχει η υγρασία της ατμόσφαιρας που λειτουργεί σαν ηλεκτρολύτης. Τα τοπικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας αλλά και ο σχεδιασμός των μεταλλικών κατασκευών υπαγορεύουν την ένταση του φαινομένου αυτού.

1.4.10 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΠΟ ΡΕΥΜΑΤΑ ΔΙΑΦΥΓΗΣ

Συνεχή ρεύματα τα οποία ακολουθούν διαφορετικό δρόμο από τον προβλεπόμενο είναι ικανά να δημιουργήσουν προϊόντα διάβρωσης. Μπορεί να προέρχονται από διατάξεις συγκολλήσεων, συστήματα γείωσης και καθοδικής προστασίας. Η οξείδωση προκαλείται στα σημεία εξόδου των ρευμάτων από τις κατασκευές που προέρχονται. Για να αντιμετωπιστεί χρειάζεται κατάλληλη σύνδεση διατάξεων, ηλεκτρική μόνωση, επιφανειακά επιστρώματα, καθοδική προστασία χρήση μη αγώγιμων ρευστών και θυσιαζόμενων ανόδων.

1.5 ΕΙΔΗ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Το διαβρωτικό περιβάλλον καθορίζει την ταχύτητα του φαινομένου της διάβρωσης που παρουσιάζεται αλλά ευθύνεται και για την αλλαγή του μηχανισμού της οξείδωσης καθώς η διάβρωση εν γένει είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο και πολλές

φορές εμφανίζονται παραπάνω από ένας μηχανισμοί στην οξείδωση μιας μεταλλικής κατασκευής. Τα βασικότερα είδη είναι τα παρακάτω :

- **Ατμοσφαιρικός αέρας** : Αναλόγως τη σύσταση του διακρίνεται σε θαλάσσιο, αγροτικό αστικό και βιομηχανικό. Η διαβρωτική του δράση οφείλεται σαφώς στην ύπαρξη οξυγόνου, της υγρασίας που τον χαρακτηρίζει και ενισχύεται με την παρουσία ρυπογόνων χημικών ενώσεων όπως του διοξειδίου του θείου, οξειδίων αζώτου, υδρόθειου αλλά και αμμωνίας (SO_2 , NO_x , H_2S , NH_3).
- **Έδαφος** : Το έδαφος περιέχει πολύ συχνά νερό και άλλο αριθμό διαλυμένων ενώσεων. Η διαβρωτική του δράση οφείλεται στην υγρασία, στην οξύτητα, στα διαλυμένα άλατα, σε μικροοργανισμούς, στην ηλεκτρική αγωγιμότητα και είναι περισσότερο έντονη παρουσία τριεπιφανειών δηλαδή εδάφους -μετάλλου - υγρού ή αέρα.
- **Γλυκό & θαλασσινό νερό** : Η παρουσία διαλυμένου οξυγόνου, αλάτων και αερίων, η ύπαρξη μικροοργανισμών και άλλων διαλυμένων αιωρούμενων σωματιδίων καθορίζουν την ένταση της διαβρωτικής δράσης του νερού.
- **Καυσαέρια ή θερμά αέρια** : Κυρίαρχοι παράγοντες της διαβρωτικής δράσης η θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα ροής και τα χημικά στοιχεία που περιέχουν.
- **Χημικό περιβάλλον** : Η συγγένεια που έχουν οι χημικές ουσίες του διαβρωτικού περιβάλλοντος με αυτές που υπάρχουν στο μεταλλικό κράμα που υφίσταται οξείδωση.
- **Πυρηνικό περιβάλλον** : Οι ραδιενεργές ακτινοβολίες επηρεάζουν τη χημική σύσταση, τη δομή και τις ηλεκτρονικές ιδιότητες των κραμάτων (ενεργά κέντρα και αταξίες δομής) αλλά και τον μηχανισμό των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων δηλαδή την ενέργεια ενεργοποίησης.

1.6 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή σχεδόν κανένα μέταλλο πέραν του χρυσού, του υδραργύρου, του λευκόχρυσου και μερικών άλλων δεν βρίσκονται σε καθαρή μορφή αλλά σε κάποια μορφή οξειδίου. Με κατάλληλες φυσικοχημικές κατεργασίες στις οποίες απαιτείται η δαπάνη ενέργειας καταλήγουμε στην καθαρή μορφή του εκάστοτε μετάλλου. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας παραμένει στα υλικά με τη μορφή εντροπίας (ΔS) και ελεύθερης ενέργειας (ΔG) αποκτώντας έτσι μεγαλύτερη εσωτερική ενέργεια.

Σύμφωνα με τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο τα μέταλλα στην καθαρή τους μορφή πλέον έχουν την τάση να υποβαθμιστούν ενεργειακά και να επανέρθουν ενεργειακά στην πρότερη τους κατάσταση δηλαδή σε χαμηλότερης ενεργειακής στάθμης οξείδια. Η τάση αυτή σχεδόν όλων των μετάλλων επιτυγχάνεται με την ελάττωση της ελεύθερης ενέργειας τους ή της ενθαλπίας τους ή του χημικού τους δυναμικού και αυξάνοντας την εντροπία τους.

Η θεωρία του Wagner ισχυρίζεται ότι ανάμεσα στο μέταλλο και το διαβρωτικό περιβάλλον δημιουργείται δυναμικό γαλβανικού στοιχείου με πόλους το μέταλλο και το διαβρωτικό περιβάλλον και ηλεκτρολύτη τα προϊόντα διάβρωσης. Το μέταλλο αποτελεί τον αρνητικό πόλο (άνοδο, όπου χάνει ηλεκτρόνια) και το διαβρωτικό περιβάλλον αποτελεί το θετικό πόλο (κάθοδο) του γαλβανικού στοιχείου.

Τα δυναμικά που αναπτύσσονται αν μετρηθούν σε θερμοκρασία 24 βαθμών χωρίς υγρασία και για μέταλλα που έχουν υποστεί ανόπτηση και ηλεκτρολυτική λείανση της επιφάνειάς τους (ελλείψει αταξιών δομής), βρίσκονται μεταξύ 250 -350 mV ενώ δίχως τις επεξεργασίες προετοιμασίας μεταξύ 320 -450 mV.

Η ενίσχυση του δυναμικού του μετάλλου σε συνηθισμένη θερμοκρασία και ξηρό αέρα είναι εφικτή υπό την παρουσία τοπικών γαλβανικών στοιχείων στην επιφάνεια τους λόγω :

- Πρόσμιξης με ανοδικότερο μέταλλο
- Γεωμετρικής αταξίας δομής
- Ενδόκοκκης αταξίας δομής
- Πρόσμιξης καθοδικότερου μετάλλου ή μη μεταλλικής ακαθαρσίας
- Διαφορικού αερισμού

Το ολικό δυναμικό που δημιουργείται ανάμεσα στο μέταλλο και το διαβρωτικό περιβάλλον και μεταβάλλεται από τους παραπάνω παράγοντες αποτελεί το δυναμικό διάβρωσης.

Κάθε μέταλλο προφανώς έχει διαφορετική τάση να οξειδωθεί όπως προαναφέρθηκε. Αυτό εξαρτάται από την τιμή του $\Delta\mu$ (ολικό πρότυπο χημικού δυναμικού) ή ΔG . Μια ηλεκτροχημική δράση η οποία εξελίσσεται από μια κατάσταση A στην κατάσταση B είναι θερμοδυναμικά δυνατή μόνο όταν η μετάβαση αυτή συνοδεύεται από μείωση της ελεύθερης ενέργειας ΔG του συστήματος.

$$\Delta G = -n \cdot F \cdot E$$

- E : το κανονικό δυναμικό ενός ημιστοιχείου, που αποτελείται από το μέταλλο και το διάλυμα ιόντων στους 25 βαθμούς Κελσίου
- n : ο αριθμός ηλεκτρονίων ανά γραμμοϊόν
- F : $F=96500 \text{ Cb}$, σταθερά Faraday

Η μετάβαση από την κατάσταση A στη B είναι εφικτή όταν η διαφορά δυναμικών μεταξύ των B και A είναι αρνητική $\Delta E < 0$ αλλά πρέπει επίσης η ταχύτητα της αντίδρασης να είναι υπολογίσιμη και όχι αμελητέα. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαφορά δυναμικού τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του φαινομένου της οξείδωσης. Για τον υπολογισμό αυτό χρησιμοποιείται ο πίνακας ηλεκτροδιακής σειράς. Εάν όμως τα μέταλλα είναι εμβαπτισμένα σε διάλυμα διαφορετικής συγκέντρωσης και θερμοκρασίας διαφορετικής των 25 βαθμών Κελσίου τότε το δυναμικό διάβρωσης υπολογίζεται με τον **νόμο του Nernst** :

$$E = E_0 - \frac{R * T}{n * F} * \log ([M+])$$

- E_0 : Δυναμικό ημιστοιχείου στους 25 βαθμούς Κελσίου
- R : Σταθερά αερίων
- T : Απόλυτη θερμοκρασία
- n : αριθμός ηλεκτρονίων ανά γραμμοίον
- F : Σταθερά Faraday $F=96500 \text{ Cb}$
- $[M+]$: αριθμός μεταφοράς ιόντων μετάλλου

Με αυτόν τον τύπο υπολογίζεται συγκριτικά ποιο από τα δυο μέταλλα έχει την μεγαλύτερη τάση να οξειδωθεί, σε άλλες περιπτώσεις όμως είναι αναγκαίος ο υπολογισμός του δυναμικού διάβρωσης.

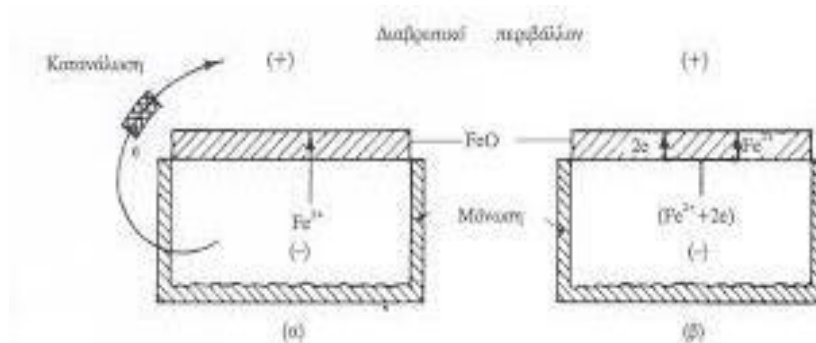
1.7 Η ΚΙΝΗΤΙΚΗ & ΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Η κινητική της διάβρωσης μελετά τον μηχανισμό της μικροσκοπικά και εξετάζει την ταχύτητα και τις συνθήκες που επηρεάζουν το φαινόμενο κάτι που μας βοηθάει ιδιαίτερα στην αντιμετώπιση της. Εκτός από το φαινόμενο της σπηλαιώδους διάβρωσης και κάποιων ειδών που ανήκουν στη διάβρωση με μηχανική καταπόνηση σχεδόν όλα τα φαινόμενα οξείδωσης ανεξαρτήτως το διαβρωτικό περιβάλλον στο οποίο λαμβάνουν χώρα, περιγράφονται ποιοτικά μέσω του ηλεκτροχημικού μηχανισμού **Wagner** και μέσω του χημικού μηχανισμού.

Μηχανισμός Wagner :

Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία μεταξύ όλων των κραμάτων και οποιουδήποτε διαβρωτικού περιβάλλοντος εμφανίζεται το δυναμικό γαλβανικού στοιχείου, με αρνητικό πόλο το προς διάβρωση υλικό και θετικό το διαβρωτικό περιβάλλον. Το δυναμικό αυτό οδηγεί σε κίνηση τα ηλεκτρόνια του κράματος από τον αρνητικό στον θετικό πόλο μέσα από το στρώμα των προϊόντων διάβρωσης προς το διαβρωτικό περιβάλλον. Η ταχύτητα αυτή είναι αρκετή ώστε η ηλεκτρική ενέργεια που προσδίδεται στο μέταλλο να οδηγήσει έναν αριθμό ιόντων σε άτακτες θέσεις που δύναται να κινηθούν, να διαχυθούν αναγκάζοντας έτσι τα θετικά ιόντα να κινηθούν

προς τον θετικό πόλο. Οπότε στη βάση αυτής της θεωρίας το φαινόμενο της οξείδωσης πραγματοποιείται υπό την μορφή ενός εσωτερικού βραχυκυκλωμένου γαλβανικού στοιχείου



Εικόνα 1.7-α : Μηχανισμός Wagner

Η ταχύτητα αύξησης του στρώματος των προϊόντων διάβρωσης διέπεται από τη συνάρτηση : $y = \sqrt{K * t}$ όπου

- y είναι το πάχος του στρώματος
- K η σταθερά αντίδρασης
- t είναι ο χρόνος του φαινομένου οξείδωσης

Η σταθερά ταχύτητας ισούται με $K = (2 \cdot E_{\delta} \cdot (\mu+)') + \mu e' \cdot u \cdot V_M) / (n_e \cdot F')$. Με E_{δ} συμβολίζεται το δυναμικό διάβρωσης, $(\mu+)$ είναι ο αριθμός μεταφοράς των ιόντων του μετάλλου, (μe) ο αριθμός μεταφοράς ηλεκτρονίων, (u) η ολική ειδική αγωγιμότητα, (V_M) ο μοριακός όγκος του οξειδίου, (n_e) αριθμός των ηλεκτρονίων που ανταλλάσσονται ανά γραμμοϊόν και $F = 96500 \text{ Cb}$ η σταθερά Faraday.

Αυτή η σχέση του Wagner χαρακτηρίζει την παραβολική εξέλιξη οποιασδήποτε αντίδρασης στην οποία μετέχει στερεό σώμα και την ονομάζουμε παραβολή εξίσωσης ή εξάνθησης.

Στο πρωταρχικό στάδιο άτακτα ιόντα μετάλλου και ισοδύναμα ηλεκτρόνια διαχέονται προς την επιφάνεια του μετάλλου, οδηγώντας στην απελευθέρωση ιόντων O_2 τα οποία ενώνονται με τα νέα ιόντα του μετάλλου. Στα οξείδια που

δημιουργούνται συνεχίζεται η διάχυση άτακτων ιόντων μετάλλου και ηλεκτρονίων χωριστά πλέον προς τη διεπιφάνεια οξειδίου και διαβρωτικού περιβάλλοντος. Εκεί συνεχίζεται η δημιουργία νέου οξειδίου με μόρια οξυγόνου και ηλεκτρονίων που φτάνουν στη διεπιφάνεια και ενώνονται εκ νέου με ιόντα οξυγόνου και μετάλλου.

Η οξείδωση του μετάλλου και η αναγωγή του οξυγόνου στη διεπιφάνεια οξειδίου και διαβρωτικού περιβάλλοντος οδηγούν στη δόμηση του οξειδίου από την επιφάνεια του μετάλλου προς το διαβρωτικό περιβάλλον που οδηγεί σε διόγκωση του μετάλλου. Επιπλέον όμως σύμφωνα με τον μηχανισμό της διάχυσης των ιόντων προς το διαβρωτικό περιβάλλον υφίσταται και αραίωση του μετάλλου.

1.8 Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΔΙΑΛΥΣΗΣ

Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία υπάρχει ομοιόμορφη χημική διαλυτική προσβολή στερεών από υγρό και ισχύει ο γενικός μηχανισμός διάλυσης σε υγρά όπου το βραδύτερο στάδιο είναι, είτε η διάχυση σε διάλυμα ιόντων ή μορίων του διαβρωτικού μέσου προς την επιφάνεια του μετάλλου όπου επικρατεί μία από τις εξισώσεις του **Fick** ($y=K*t$, γραμμική ή παραβολική ενίστε), είτε η διάχυση σε διάλυμα των προϊόντων διάβρωσης προς το διαβρωτικό περιβάλλον, οπότε ισχύει ο εκθετικός νόμος $y = e^{K*t}$.

Και στις δυο περιπτώσεις η ενέργεια ενεργοποίησης είναι $Q=6$ kcal/mol και η σταθερά της ταχύτητας K είναι συνάρτηση του συντελεστή διάχυσης και της προηγούμενης στοιβάδας. Το δυναμικό διάβρωσης εμφανίζεται και σε αυτή την περίπτωση, οπότε συνυπάρχει η διάχυση ιόντων του μετάλλου σε στέρεη κατάσταση αλλά είναι ταχύτερη από τη διάχυση των ιόντων στο διάλυμα που είναι το βραδύτερο στάδιο της προσβολής. Επομένως στην περίπτωση αυτή η τιμή του δυναμικού διάβρωσης δεν επηρεάζει το φαινόμενο με τον ίδιο τρόπο όπως σε μια ηλεκτροχημική προσβολή, επηρεάζει όμως τη διάχυση ιόντων στο διάλυμα. Η καθαρή χημική προσβολή επηρεάζεται και από το ηλεκτρικό ρεύμα. Εάν η διάχυση των ιόντων γίνει τόσο γρήγορη, ώστε η όδευση των ιόντων του μετάλλου σε στερεά κατάσταση να γίνει το βραδύτερο στάδιο τότε η προσβολή ουσιαστικά γίνεται ηλεκτροχημικής φύσης. Ο

μηχανισμός της χημικής διάλυσης μπορεί να ισχύει και για την διάβρωση με βελονισμούς ενίοτε.

1.9 Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΠΗΛΑΙΩΔΟΥΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Η μηχανική σπηλαιώδης διάβρωση βασίζεται στον μηχανισμό της εξάχνωσης. Η ταχύτητα του μηχανισμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η επιφάνεια του μετάλλου, η θερμοκρασία, η τάση ατμών, η ταχύτητα περιστροφής της έλικας, ή της ταχύτητας του υγρού στη σωλήνα, ο αριθμός και η ένταση των ενεργών κέντρων του κράματος που δέχεται την προσβολή.

1.10 ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Η εξίσωση η οποία μπορεί σε αρκετές περιπτώσεις αν όχι σε όλες να εξηγήσει τη χρονική εξέλιξη της διάβρωσης έχει διατυπωθεί από τον Wagner και μας δείχνει και τη σχέση αναλογίας με μια σταθερά K . Η σταθερά αυτή είναι ανάλογη του δυναμικού διάβρωσης, των ποσοτήτων μεταφοράς ηλεκτρονίων και ιόντων μετάλλου, της ειδικής αγωγιμότητας, του μοριακού όγκου των προϊόντων διάβρωσης και αντιστρόφως ανάλογη των ηλεκτρονίων που ανταλλάσσονται ανά γραμμοϊόν κάτι που είναι ανάλογο όμως με το σθένος του μετάλλου.

Είναι επίσης γνωστό ότι λόγω της ατμοσφαιρικής έκθεσης προκαλείται μια αύξηση του στρώματος οξειδίου που σχηματίζεται στην επιφάνεια που προσβάλλεται. Τα μέταλλα που σχηματίζουν σταθερά οξείδια παρουσιάζουν τους εξής δυο τύπους οξειδίων :

- Ένα πορώδες φιλμ οξειδίου, στις περιπτώσεις των αλκαλίων και των αλκαλικών γαιών (Na, K, Mg).
- Ένα πυκνό φιλμ, σε μέταλλα όπως ο σίδηρος, ο χαλκός, το νικέλιο.

Το οξείδιο σαν ενιαίο σώμα δίνει και ένα βαθμό προστασίας στο μέταλλο που προσβάλλεται κάτι που εξαρτάται και από το πάχος του στρώματος, το πορώδες την ταχύτητα με την οποία αυξάνεται αλλά και από την αγωγιμότητα των οξειδίων. Ο παρακάτω λόγος εκφράζει τον λόγο του οξειδίου προς τον όγκο του μετάλλου που οξειδώθηκε και καθορίζει πόσο πορώδες ή πυκνό είναι το φιλμ που σχηματίζεται :

$$\frac{\text{ΟΓΚΟΣ ΟΞΕΙΔΙΟΥ}}{\text{ΟΓΚΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥ}} = \frac{M * d}{a * D * m}$$

Με M συμβολίζεται το μοριακό βάρος του οξειδίου, με D η πυκνότητα του οξειδίου, με m το ατομικό βάρος του μετάλλου, με d η πυκνότητα του μετάλλου και με α ο αριθμός ατόμων του μετάλλου στο μόριο του οξειδίου.

Η χρονική εξέλιξη της διάβρωσης μπορεί να υπακούει σε συναρτήσεις :

- Γραμμικής εξέλιξης
- Παραβολικής εξέλιξης
- Λογαριθμικής εξέλιξης
- Αντίστροφης λογαριθμικής εξέλιξης
- Υπερβολικής εξέλιξης
- Κυβικής εξέλιξης

Με την παρατήρηση βέβαια ότι δεν αλλάζει ο μηχανισμός της διάβρωσης κάθε φορά λόγω αλλαγής συνθηκών διάβρωσης.

1.11 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η διάβρωση ουσιαστικά είναι αυτή που πολλές φορές καθορίζει τη διάρκεια ζωής ενός πλοίου καθώς η γάστρα του πλοίου ή οι δεξαμενές έρματος (κύρια παράμετρος) ή φορτίου μπορεί να κριθούν ακατάλληλες για την ασφαλή πλεύση του από τον εκάστοτε νηογνώμονα. Επηρεάζει κυρίως τους παρακάτω τομείς δραστικά :

- **Τομέας της ενέργειας :** Τα ποσοστά διάβρωσης της γάστρας (και η πιθανή ανάπτυξη ανθρακικών βιολογικών οργανισμών στην επιφάνειά της) ή της έλικας επηρεάζουν άμεσα την κατανάλωση καυσίμου του πλοίου (από αύξηση της τριβής) ώστε να μπορεί ταξιδεύει με την εκάστοτε υπηρεσιακή ταχύτητα.
- **Τομέας της ασφάλειας :** Υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ατυχημάτων που μπορεί να κοστίσουν ανθρώπινες ζωές να προκαλέσουν μεγάλες οικολογικές καταστροφές στο θαλάσσιο περιβάλλον αλλά ακόμη και να οδηγήσουν στην ολική απώλεια του πλοίου.
- **Οικονομικός τομέας :** Η συχνή επιτήρηση και προφανώς η σωστή συντήρηση ή η επισκευή της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου αποτελεί σημαντικό κόστος κατά τη διάρκεια ζωής του και πολλές φορές εάν δεν γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα μπορεί να προκληθούν ζημιές οι οποίες να κοστίσουν πολλαπλάσια έξοδα ώστε να κριθεί το πλοίο ξανά λειτουργικό.

Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά μερικές περιπτώσεις ατυχημάτων που προκλήθηκαν από διάβρωση στο σύστημα σωληνώσεων διάφορων πλοίων και οδήγησαν σε σοβαρές ζημιές ή απώλειες ζωών του πληρώματος. Οι περιπτώσεις αυτές προέρχονται από πρόσφατη μελέτη του RINA (2014) γύρω από τη προστασία επιτήρηση και συντήρηση του συστήματος σωληνώσεων ενός πλοίου.

- Ένα product tanker γέμιζε μια δεξαμενή διαχωρισμένου έρματος με τη μέθοδο gravity ballasting. Αυτή η γραμμή περνούσε μέσα από δεξαμενή φορτίου. Όταν η ροή θαλάσσιου έρματος μέσα στη σωλήνα σταμάτησε, εμφανίστηκε πλήρης

οπή-τρύπα όπου επέτρεψε στο φορτίο-πετρέλαιο να διαφύγει ελεύθερα στο θαλάσσιο περιβάλλον μέσω μιας ανοιχτής βαλβίδας. Κόστος ζημιάς: 975.000 \$

- Ένα δεξαμενόπλοιο προσάραξε και τέσσερα μέλη πληρώματος έχασαν τη ζωή τους. Μία σωλήνα του συστήματος seawater-cooling εκρήγνυται και η μηχανή του πλοίου αναγκαστικά έπρεπε να σταματήσει να λειτουργεί. Το πλοίο προσέκρουσε στα βράχια της ακτής λόγω ισχυρού ανέμου οδηγώντας στην απώλεια μελών του πληρώματος και προκαλώντας συνολικά ζημιές κόστους 1 εκατομμυρίου δολαρίων.
- Η κύρια μηχανή ενός bulk carrier πλοίου υπέστη σοβαρή ζημιά όταν αλούμινα από τη δεξαμενή φορτίου πέρασε μέσα στη δεξαμενή καυσίμου. Αργότερα βρέθηκε ρωγμή στο σύστημα σωληνώσεων εξαερισμού που επέτρεψε να συμβεί το συγκεκριμένο ατύχημα και διαπιστώθηκε ότι οι σωληνώσεις αυτές δεν είχαν ελεγχθεί σχεδόν σε κανένα survey. Κόστος ζημιάς: 900.000 δολάρια.

Πέραν των ατυχημάτων που μπορεί να προκληθούν και να προκαλέσουν ατυχήματα, απώλειες ζωών και σοβαρές οικονομικές και περιβαλλοντικές καταστροφές, η επιτήρηση και η συντήρηση της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου στο σύνολο της αποτελεί σημαντικό κομμάτι στη διάρκεια ζωής του και κάτι που προϋποθέτει και σημαντικές οικονομικές δαπάνες πολλές φορές. Τα πιο κομβικά σημεία εξ αυτών αποτελούν η συντήρηση της βρεχούμενης επιφάνειας της γάστρας, οι δεξαμενές έρματος και φορτίου καθώς πολλές φορές η μη ικανοποιητική τους κατάσταση όσον αφορά την οξείδωση που έχουν υποστεί είναι ικανά να οδηγήσουν ένα πλοίο για scrap δηλαδή στο τέλος της «ζωής» του.

[ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ]

1. Π. Βασιλείου, Θ. Σκουλικίδης, «Διάβρωση και προστασία υλικών». Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2007
2. Δ. Ι. Παντελής, Δ. Τσιούρβα, «Διάβρωση και προστασία ναυπηγικών και μηχανολογικών κατασκευών». Εκδόσεις Ε. Μ. Π., Αθήνα 2012
3. Π. Καρύδης, «Επιθεώρηση, συντήρηση και επισκευή της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου», Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε. Μ. Π., Αθήνα 2002
4. Θ. Ν. Σκουλικίδης, Π. Βασιλείου, Α. Ανδρεόπουλος, «Τεχνικά υλικά. Συμπεριφορά και προστασία», Ε. Μ. Π. 1989
5. Α. Ιωσηφίδου, Διπλωματική Εργασία, «Προστασία χαλύβων σε θαλάσσιο περιβάλλον με αντιδιαβρωτικό επικαλυπτικό που περιέχει πιγμέντο από ανοξείδωτο χάλυβα», επιβλέπουσα καθηγήτρια : Π. Βασιλείου, Αθήνα 2009
6. www.corrosionsource.com
7. www.azom.com
8. www.corrosion-doctors.org

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΜΕΤΡΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙΑ ΣΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

2.1 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν συνοπτικά οι συνθήκες που επιταχύνουν τη διάβρωση και διαμορφώνονται από τις ιδιότητες των μετάλλων ή κραμάτων που συμμετέχουν, από το διαβρωτικό περιβάλλον, αλλά και από τον συνδυασμό τους. Οι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να λάβουμε υπόψιν είναι εκείνοι που επιδρούν στην ταχύτητα της διάβρωσης αλλά και στο περιβάλλον που εκείνη θα συμβεί.

Για τους παράγοντες που επηρεάζουν **την ταχύτητα της διάβρωσης** θα πρέπει να εστιάσουμε κυρίως στα παρακάτω :

- **Αποφυγή γεωμετρικών και μακροσκοπικών επιφανειακών ανωμαλιών, πλαστικών παραμορφώσεων, αταξιών δομής και εσωτερικών μηχανικών τάσεων.** Η εμφάνιση αιχμηρών άκρων προκαλεί τη συγκέντρωση ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών γι' αυτό προτιμώνται οι καμπύλες στα περατωτικά άκρα των επιφανειών. Επίσης θα πρέπει να γίνεται ανόπτηση και ηλεκτρολυτική λείανση για τον περιορισμό και την εξάλειψη μικροσκοπικών επιφανειακών ανωμαλιών, πλαστικών παραμορφώσεων, εσωτερικών μηχανικών τάσεων κάθε είδους αταξιών δομής από μηχανικές ή θερμικές κατεργασίες καθώς και να αποφεύγεται ο σχηματισμός χαραγών διότι κατακρατά υγρασία.
- **Αποφυγή επαφής δύο διαφορετικών μετάλλων ή κραμάτων.** Αυτό το μέτρο συνιστά ουσιαστικά στην αποτροπή δημιουργίας γαλβανικού στοιχείου μεταξύ τους και επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλου ηλεκτρικά μονωτικού υλικού.

Στο δίκτυο σωληνώσεων ενός πλοίου π.χ. όταν συναντώνται διαφορετικά μέταλλα πρέπει να παρεμβάλλεται μη αγώγιμη φλάντζα.

- **Αποφυγή επιφανειακής ανομοιογένειας**, η οποία μπορεί να οφείλεται σε ορυκτέλαιο ή καθίζηση σκόνης και άλλα.
- **Αποφυγή Τριεπιφανειών** : Επιτυγχάνεται και πάλι με την παρεμβολή μονωτικού υλικού ως προς τον ηλεκτρισμό για την αποφυγή εμφάνισης γαλβανικού στοιχείου (βερνίκι, ξύλο, πλαστικό κ.α.).
- **Αποφυγή ελαστικών παραμορφώσεων** : Στην περίπτωση τριβής μηχανημάτων λόγω κίνησης η περιστροφής και άλλων πρέπει να υπάρχει κατάλληλος σχεδιασμός ώστε να ελαττωθούν οι ελαστικές παραμορφώσεις.
- **Αποφυγή περιπατητικών ηλεκτρικών ρευμάτων** : Όλα τα μηχανήματα και οι εγκαταστάσεις πρέπει να γειώνονται. Επίσης σε σωληνώσεις που κυκλοφορούν ρευστά με μεγάλη ταχύτητα και φορτίζονται επίσης ηλεκτρικά (δυναμικό ροής) και εκτός από τον κίνδυνο αυξημένης διάβρωσης υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης και έκρηξης αν τα ρευστά είναι εύφλεκτα υλικά.
- **Αποφυγή υψηλών θερμοκρασιών**, εξαιτίας της επιτάχυνσης της διάβρωσης που προκαλούν.
- **Αντιμετώπιση της διόγκωσης κατά τη διάβρωση** : Η διόγκωση που εμφανίζεται κατά τη διάβρωση πρέπει να αντιμετωπίζεται με την παρεμβολή υλικού που μπορεί να ρηγματωθεί όπως ο μόλυβδος ή το λάστιχο που μπορεί να δεχτεί και να περιορίσει τις μηχανικές τάσεις που θα προκληθούν λόγω της διόγκωσης των προσβαλλόμενων υλικών.

Τώρα όσον αφορά τους παράγοντες που επιδρούν στο περιβάλλον της διάβρωσης που λαμβάνει χώρα, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω :

-
- **Αποφυγή αγωγιμότητας. Ρύθμιση του pH :** Σε περίπτωση εκτεταμένου διαβρωτικού περιβάλλοντος θαλασσινού νερού, εδάφους ή αέρα είναι δύσκολο να ρυθμίσουμε την αγωγιμότητα οπότε προσέχουμε κυρίως να μην βρισκόμαστε κοντά σε ρυπασμένες περιοχές. Σε περιορισμένο διαβρωτικό περιβάλλον όπως στην περίπτωση κλειστού κυκλώματος θα πρέπει να προτιμάται αποσταγμένο νερό, επειδή έχει μικρή αγωγιμότητα. Όπου δεν μπορούμε να ελαττώσουμε την αγωγιμότητα θα πρέπει να ρυθμιστεί το pH με ρυθμιστικά διαλύματα σε όρια όπου δεν προκαλούν χημική προσβολή των παθητικών οξειδίων ή και του μετάλλου και να χρησιμοποιούνται επίσης αναστολείς διάβρωσης.
 - **Αποφυγή έντονης εναλλαγής του διαβρωτικού περιβάλλοντος.**
Κυρίως να αποφεύγονται :
 - Η εναλλασσόμενη διοχέτευση με τις ίδιες σωληνώσεις διαφορετικών υγρών
 - Η εκκένωση κυκλώματος κυκλοφορίας υγρού, κατά την αναστολή λειτουργίας του
 - Η εκκένωση λεβήτων και η παραμονή τους αχρησιμοποίητων για μεγάλο διάστημα
 - **Αποφυγή παρουσίας διαλυμένου οξυγόνου (σε υγρό περιβάλλον).**
Επιβάλλεται η απαέρωση για την απομάκρυνση του οξυγόνου σε κλειστά διαβρωτικά περιβάλλοντα, κυρίως για χαλύβδινες κατασκευές. Σε περιπτώσεις μετάλλων-κραμάτων όπως του τιτανίου ή του χάλυβα το οξυγόνο δρα και ανασταλτικά αφού τα παθητικοποιεί.

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι δυνατό να επιτευχθεί ικανοποιητικός περιορισμός της διάβρωσης και να μην κριθεί αναγκαία η εφαρμογή μεθόδων προστασίας στην περίπτωση που χρειάζονται όμως θα πρέπει αυτό να γίνει μετά από περαιτέρω εξέταση του φαινομένου ώστε να καθοριστεί και ο τρόπος με τον οποίο αυτό θα επιτευχθεί.

Οι πιο ευρέως γνωστοί μέθοδοι προστασίας διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες :

❖ [A] Καταπολέμηση του δυναμικού διάβρωσης (E_{δ})

Αυτό ([A]) επιτυγχάνεται με **έμμεσες μεθόδους** όπως :

- Ενανθράκωση -χρήση LASER και πλάσματος, εναζώτωση και φωσφάτωση
- Επιμεταλλώσεις
- Κάλυψη του χάλυβα με Fe_3O_4 και των κραμάτων αργιλίου με $Al_2O_3 \cdot H_2O$ (Αλούμινα)
- Ανοδική προστασία

Καθώς και με **άμεσες μεθόδους** :

- Με θυσιαζόμενα ανοδικά ηλεκτρόδια
- Καθοδική προστασία από εξωτερική ηλεκτρική τάση
- Καθοδική προστασία από θυσιαζόμενες αταξίες
- Καθοδική προστασία από εξωτερική ηλεκτρική τάση
- Καθοδική προστασία από ακίδες – διόδους (ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός)

❖ **[B] Καταπολέμηση της έντασης του ρεύματος διάβρωσης ή αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης**

Αυτή η μέθοδος ([B]) επιτυγχάνεται με :

- Επίστρωση αντιδιαβρωτικών χρωμάτων που περιέχουν διπολικά μόρια, σκόνες μετάλλων ή οξειδία
- Χρήση επιβραδυντών ή αναστολέων
- Επίστρωση ουσιών που δρουν σαν εμπόδιο-φράγμα ανάμεσα στο μέταλλο-κράμα και το διαβρωτικό περιβάλλον

Όλα τα παραπάνω είναι βασισμένα στη μελέτη της θερμοδυναμικής και της κινητικής γύρω από τη θεωρία της διάβρωσης και μπορούν να εφαρμοστούν και στη μελέτη άλλων υλικών που διαβρώνονται πέραν των μεταλλικών που είναι το κύριο θέμα της παρούσας εργασίας. Επίσης συνεπάγεται ότι μετά από μελέτη και ανάλυση ενός συγκεκριμένου φαινομένου διάβρωσης είναι δυνατόν να εφαρμοστούν πολλαπλοί μέθοδοι προστασίας, τόσοι όσοι κριθούν αναγκαίοι και καταλυτικοί στον περιορισμό του φαινομένου. Γι' αυτόν το λόγο μπορεί να γίνει και μια ακόμη περαιτέρω διάκριση ως προς το είδος προστασίας από διάβρωση και είναι η εξής :

- **(I) Ενεργή προστασία :** Επίδραση απευθείας στους παράγοντες που εντείνουν το φαινόμενο.
- **(II) Παθητική προστασία :** Χρήση των διάφορων επιστρωμάτων που δεν επιτρέπουν την επαφή των υλικών με το διαβρωτικό περιβάλλον είτε αφορά μόνιμη προστασία είτε προσωρινή.

Συνοψίζοντας, για την εφαρμογή οποιασδήποτε μεθόδου προστασίας από διάβρωση το πιο βασικό είναι η εξακρίβωση του είδους διάβρωσης και η προσεκτική ανάλυση του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Με εξαίρεση το φαινόμενο της σπηλαιώδους διάβρωσης το κύριο αίτιο της διάβρωσης αποτελεί το αποκαθιστόμενο δυναμικό και τα τοπικά γαλβανικά στοιχεία με “μέτρο” της ταχύτητας διάβρωσης την ένταση του ρεύματος διάβρωσης. Εάν το μέταλλο είναι προστατευμένο η διάβρωση εξαρτάται περισσότερο από το δυναμικό ενώ αν δεν είναι τότε εξαρτάται περισσότερο από τα γαλβανικά στοιχεία και οι μέθοδοι προστασίας που προέκυψαν στοχεύουν στην άμεση ή έμμεση ελάττωση του δυναμικού διάβρωσης ή και την ελάττωση της έντασης του ρεύματος διάβρωσης.

2.2 ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

2.2.1 ΑΜΕΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι άμεσες μέθοδοι όπως προαναφέρθηκε στοχεύουν στην ελάττωση του ίδιου δυναμικού διάβρωσης των μετάλλων ή κραμάτων. Συνεπώς μετατρέπουν το υλικό ώστε άμεσα να έχει μικρότερη χημική προδιάθεση για διάβρωση και συνήθως είναι αποτελεσματικότερες από τις έμμεσες μεθόδους.

2.2.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΘΥΣΙΑΖΟΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ

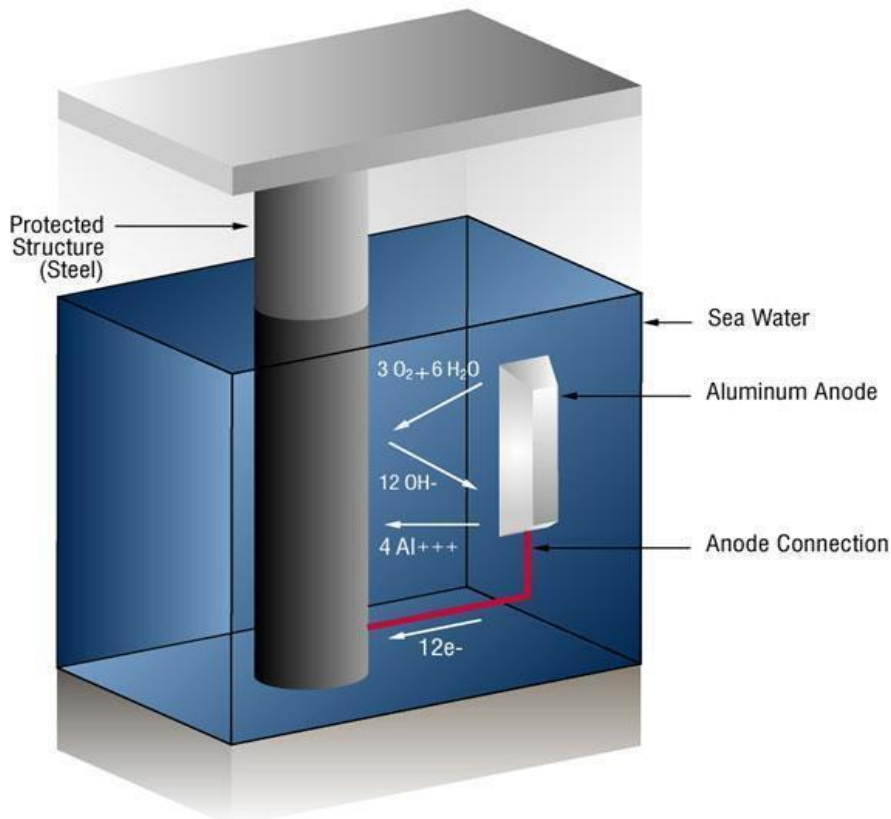
Πλάκες ανοδικότερου μετάλλου τοποθετούνται πάνω στην χωρίς προστασία επιφάνεια της κατασκευής που πρέπει να προστατευθεί. Για τον χάλυβα γίνεται χρήση των μετάλλων μαγνησίου (Mg), ψευδαργύρου (Zn) και αργιλίου (αλουμινίου Al).

Τα ανοδικότερα μέταλλα αποκτούν αρνητικό δυναμικό ως προς το διαβρωτικό περιβάλλον και επίσης η κατασκευή που θα προστατευθεί είναι και αυτή αρνητικά φορτισμένη, οπότε ο χάλυβας ουσιαστικά φορτίζεται θετικά ως προς τα ανοδικά

μέταλλα. Έτσι έχουμε τη δημιουργία γαλβανικού στοιχείου μεταξύ χάλυβα και ανοδικών μετάλλων (θετικό – αρνητικό φορτίο). Αυτό σημαίνει όμως ότι η απουσία ηλεκτρονίων και ο σχηματισμός ιόντων συμβαίνει στο ανοδικότερο μέταλλο το οποίο είναι αυτό που οξειδώνεται και έτσι θυσιάζεται για την προστασία της κατασκευής. Για να είναι αυτό το μέτρο όσο το δυνατό πιο αποτελεσματικό θα πρέπει να είναι πολύ καθαρή η επιφάνεια η οποία θα προστατευθεί να υφίσταται όσο το δυνατό πιο στενή επαφή με το ανοδικότερο μέταλλο να μην σχηματίζονται οξείδια στην επιφάνεια των ανόδων αλλά ούτε και ανάμεσα στα δύο μέταλλα. Το τελευταίο επιτυγχάνεται με την μόνωση της επιφάνειας και την αύξηση της συγκέντρωσης δυναμικών γραμμών που αυτό συνεπάγεται. Καθόσον όλα τα παραπάνω ισχύουν το μέταλλο προστατεύεται και η παρατήρηση του για επιπλέον χρήση ανοδικότερου μετάλλου θα εξασφαλίζει την μακροχρόνια προστασία του ενάντια στη διάβρωση.

2.2.1.2 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Αυτό το μέτρο μετατρέπει τεχνητά τα μέταλλα υπό προστασία σε καθόδους φορτίζοντας τα αρνητικά. Έτσι το υπό προστασία μέταλλο μετατρέπεται από άνοδο γαλβανικού στοιχείου (αρνητικός οξειδωτικός πόλος) σε κάθοδο ηλεκτρονικού κελιού (αρνητικός αναγωγικός πόλος). Οπότε η εγκατάσταση συνεχίζει να είναι αρνητικά φορτισμένη όπως και πριν αλλά αναστρέφεται η δράση της από οξείδωση σε αναγωγή αναστρέφοντας έτσι το δυναμικό διάβρωσης παράλληλα με την ελάττωση του. Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται χρήση είτε θυσιάζομενων ηλεκτρονίων είτε ηλεκτρική τάση από πηγή συνεχούς ρεύματος.



Εικόνα 2.2.1.2-α : Καθοδική προστασία

2.2.1.3 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΘΥΣΙΑΖΟΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ

Κατά τον τρόπο αυτό χρησιμοποιούνται αναλώσιμα κομμάτια από μέταλλα ανοδικότερα και τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία μετά από μελέτη έτσι ώστε να φθαρούν και να μεταβάλλουν σε κάθοδο το υπό προστασία υλικό. Σειρά πλακών τοποθετείται μέσα στο διαβρωτικό περιβάλλον και συνδέονται με την κατασκευή χωριστά η κάθε μια μέσω εξωτερικά μονωμένων αγωγών και με την παρεμβολή αντίστασης.

2.2.1.4 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΑΣΗ

Εδώ επαναλαμβάνεται το προηγούμενο φαινόμενο δηλαδή μετατρέπεται το υπό προστασία υλικό σε κάθοδο. Ο αρνητικός πόλος πηγής συνεχούς ρεύματος συνδέεται μέσω μονωμένων εξωτερικά παράλληλων αγωγών με την εγκατάσταση και ο θετικός

πόλος μέσω αδρανών παράλληλων ηλεκτροδίων (από γραφίτη ή επιλευκοχρυσωμένο τιτάνιο) και τοποθετούνται στο διαβρωτικό περιβάλλον.

Αυτές οι μέθοδοι προστασίας θα πρέπει να εφαρμόζονται με ιδιαίτερη προσοχή καθώς αν γίνει υπό λάθος συνθήκες η αύξηση της προστιδόμενης καθοδικότητας προκαλεί την αύξηση της ταχύτητας διάβρωσης. Η καθοδική προστασία με εξωτερική τάση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν συνδυαστεί και με τη χρήση αντιδιαβρωτικών χρωμάτων. Ανάμεσα στις δυο μεθόδους καθοδικής προστασίας αυτός με την επιβολή εξωτερικής τάσης είναι προτιμότερος καθώς είναι ευκολότερη η αναπροσαρμογή της τάσης χωρίς να χρειάζεται αντικατάσταση των ανόδων αφού είναι αδρανείς και δεν θυσιάζονται.

2.2.1.5 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΘΥΣΙΑΖΟΜΕΝΕΣ ΑΤΑΞΙΕΣ

Πρόκειται για μια καινούργια μέθοδο προστασίας κατά την οποία ενεργειακά αναβαθμισμένο οξειδίο του μαγνησίου (SIMAC) αναμειγμένο με σκόνη σκυροδέματος φορτίζει αρνητικά την εγκατάσταση (ηλεκτρική επαφή μεταξύ των κόκκων και της επιφάνειας. Έτσι ελαττώνονται οι αταξίες και η μεταβολή του χημικού δυναμικού μετατρέπεται σε ηλεκτρικό έργο.

2.2.1.6 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΑΚΙΔΕΣ – ΔΙΟΔΟΥΣ

Και αυτή η μέθοδος προστασίας θεωρείται νέα και βρίσκεται σε στάδιο ημιβιομηχανικής κλίμακας. Εκμεταλλεύεται τον ατμοσφαιρικό ηλεκτρισμό και έτσι δεν θυσιάζονται άνοδοι.

2.2.2 ΕΜΜΕΣΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Σε αυτές τις μεθόδους προστασίας με καταπολέμηση του δυναμικού διάβρωσης περιλαμβάνεται μια σειρά επιφανειακών επεξεργασιών που οδηγούν στη δημιουργία επιστρωμάτων καθώς και άλλων φυσικών και χημικών ιδιοτήτων. Το δυναμικό διάβρωσης των επιστρωμάτων είναι μικρότερο καθώς είναι ευγενέστερα.

- **Εναζώτωση, ενανθράκωση φωσφάτωση χρήση Laser και πλάσματος**

Κατά την εναζώτωση γίνεται διοχέτευση ατμών αμμωνίας στην επιφάνεια θερμού χάλυβα. Οι ατμοί αυτοί διασπώνται σε άζωτο και υδρογόνο με την καταλυτική επίδραση του σιδήρου σχηματίζεται ένα στρώμα νιτριλίων τα οποία δεν είναι αγωγίμα αλλά το δυναμικό διάβρωσης τους είναι μικρότερο από του μετάλλου και έτσι το προστατεύει μερικώς. Η ενανθράκωση και η φωσφάτωση είναι ανάλογες μέθοδοι. Τελευταία χρησιμοποιούνται χημικές ουσίες Al_2O_3 , SiO_2 κ.α. όπου με τη χρήση ακτινών Laser επικαλύπτουν την επιφάνεια των μετάλλων. Με ιόντα και άτομα ευγενέστερων μετάλλων με τη μορφή πλάσματος επιτυγχάνεται επιφανειακή κραματοποίηση.

- **Ανοδική οξείδωση - Κάλυψη χαλύβων Fe_3O_4 και των κραμάτων αλουμινίου με $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$**

Πρόκειται για μια ειδική μέθοδο λόγω της δημιουργίας οξυγονούχων στρωμάτων στην επιφάνεια ορισμένων μετάλλων και κραμάτων. Μεγάλη εφαρμογή συναντά η επικάλυψη χαλύβων με επιτεταρτοξείδιο του σιδήρου Fe_3O_4 και υδρίτη του τριοξειδίου του αλουμινίου στα κράματα αλουμινίου. Τα προαναφερθέντα οξείδια παράγονται και κατά την αυθόρμητη διάβρωση των μετάλλων-κραμάτων αυτών με τη διαφορά ότι στην τυχαία πλέον παραγωγή τους εμφανίζονται παράλληλα με εσωτερικά μηχανικές τάσεις και ενεργά κέντρα. Αν όμως τα οξείδια δημιουργηθούν με ανοδική οξείδωση τότε το επίστρωμα μπορεί να έχει καλή πρόσφυση, μηχανική αντοχή, σκληρότητα έλλειψη πόρων και να παρουσιαστεί επίσης ομοιόμορφη διάβρωση.

- **Επιμεταλλώσεις**

Όλες οι μέθοδοι επικάλυψης και επιφανειακής επεξεργασίας που αποσκοπούν στην απόθεση ενός στρώματος μετάλλου ή κράματος πάνω στην επιφάνεια του υπό προστασία υλικού. Παρακάτω αναφέρουμε τις πιο διαδεδομένες στη βιομηχανία

[Α] Επικάλυψη του χάλυβα με αλουμίνιο :

Το αλουμίνιο παραμένει παθητικοποιημένο σχεδόν σε όλα τα διαβρωτικά περιβάλλοντα. Βέβαια αν η συγκέντρωση χλωριόντων αυξηθεί δραματικά τότε η παθητική δράση του επιστρώματος μπορεί να σταματήσει να υφίσταται.

[Β] Επικασσιτέρωση :

Ηλεκτρολυτική επικάλυψη με σκοπό την προστασία του χάλυβα είναι επίσης ευρέως διαδεδομένη.

[Γ] Επικάλυψη με νικέλιο ή χαλκό :

Συχνά γίνεται συνδυασμός των δύο και έχουμε επικαλύψεις με νικέλιο με υπόστρωμα χαλκού ή και χωρίς. Το νικέλιο παραμένει παθητικό σχεδόν σε όλες τις ατμόσφαιρες και η καθοδική συμπεριφορά του χαλκού εγγυώνται την προστασία του υλικού.

[Δ] Επιψευδαργύρωση (Γαλβανισμός) του χάλυβα

Αποτελεί την παλιότερη μέθοδο. Ο ψευδάργυρος είναι πιο ανοδικός από τον χάλυβα με αποτέλεσμα να δρα ως θυσιαζόμενη άνοδος. Επίσης είναι αποδεδειγμένη η ευεργετική επίδραση των προϊόντων διάβρωσης του ψευδαργύρου και γι' αυτό η προστασία του μπορεί να έχει μεγάλη διάρκεια.

▪ ΑΝΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Σε μέταλλα-κράματα που έχουν την τάση να δημιουργούν προστατευτικά οξειδία κατά τη διάβρωση τους κάτω από ανοδικές συνθήκες είναι δυνατό να εφαρμοστεί η παρακάτω μέθοδος. Η κατασκευή συνδέεται με έναν θετικό πόλο πηγής συνεχούς ρεύματος μέσω ηλεκτροδίου αναφοράς, βοηθητικού ηλεκτροδίου και δυναμοστάτη. Η τιμή της τάσης που επιβάλλεται είναι τέτοια ώστε ακόμα και όταν το οξείδιο σε μια περιοχή καταστραφεί δημιουργείται ξανά ώστε να προστατευθεί το υλικό. Η ανοδική

προστασία εφαρμόζεται μόνο σε αγώγιμο διαβρωτικό περιβάλλον σε ιδιαίτερα όξινη διάβρωση και για ειδικά κράματα χαλύβων (Ni, Pb, Ti) σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα. Βέβαια χρειάζεται μεγάλη προσοχή διότι αν η τάση ξεφύγει από τον έλεγχο του δυναμοστάτη συντελείται ανοδική διάλυση του οξειδίου και του υπό προστασία υλικού με αυξημένη ταχύτητα διάβρωσης.

2.2.1 ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι προστασίας πέραν της ελάττωσης του δυναμικού διάβρωσης προκαλούν έμμεση ελάττωση του ρεύματος διάβρωσης (Νόμος του Ohm). Υπάρχουν βέβαια και μέθοδοι που οδηγούν άμεσα σε μείωση της έντασης του ρεύματος διάβρωσης λόγω της αυξημένης ηλεκτρικής τους αντίστασης και ταυτόχρονα σε έμμεση ελάττωση του δυναμικού διάβρωσης. Η επιφάνεια καλύπτεται από ουσίες μονωτικές ως προς τον ηλεκτρισμό.

Η επιφάνεια του μετάλλου θα πρέπει να έχει υποστεί μια προετοιμασία πριν την εφαρμογή της μεθόδου. Αυτό γιατί θα πρέπει η επιφάνεια να αποκτήσει ιδιότητες που θα εξασφαλίζουν την καλύτερη πρόσφυση του επιστρώματος. Κυρίως εστιάζουμε στην τραχύτητα της επιφάνειας στο πόσο καθαρή είναι αλλά και στην κατεργασία που έχει υποστεί το υλικό. Ιδιαίτερα οι επιφάνειες θα πρέπει να ναι καθαρές από οξείδια που ευνοούν την εμφάνιση τοπικών γαλβανικών στοιχείων εντείνοντας έτσι τη διάβρωση. Η νηματοειδής διάβρωση εμφανίζεται κάτω από πολλές επικαλύψεις.

Οι κατεργασίες αυτών των επιφανειών για καθαρισμό, γίνονται με χημικές μεθόδους όπως σαπωνοποίηση λιπαρών οξέων / υδρογονανθράκων ή καθαρισμός με οργανικούς διαλύτες, με μηχανικές μεθόδους όπως αμμοβολή ή λείανση αλλά και ηλεκτροχημικές όπως ο ηλεκτρολυτικός καθαρισμός ή λείανση.

Η κάλυψη της επιφάνειας ξεκινά με ένα **πρώτο αστάρι (primer)** ή με τη δημιουργία ανόργανων μη μεταλλικών επιστρωμάτων προτού γίνει η επικάλυψη με τις τελικές ουσίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν ο χρωμικός ψευδάργυρος, το μίνιο (Pb_3O_4), ή σκόνη ψευδαργύρου σε κάποιον οργανικό ή ανόργανο φορέα ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι εμποτίσεις, όπως η φωσφάτωση. Οι ουσίες που αποτελούν την

επικάλυψη του υλικού εφαρμόζονται με τη χρήση πινέλου, με ψεκασμό, με συνέλαση, με δημιουργία κενού. Όλες αυτές οι ουσίες διακρίνονται ουσιαστικά σε δυο μεγάλες γενικές κατηγορίες :

- **Αντιδιαβρωτικά χρώματα** : Εδώ ανήκουν οι ουσίες που εφαρμόζονται με επίχριση ή εκνέφωση. Είναι υγρές ουσίες που στερεοποιούνται με πολυμερισμό ή διαλύτες σε διαλυτικά μέσα.
- **Άλλες επικαλυπτικές ουσίες** οι οποίες τοποθετούνται με συνέλαση ή δημιουργία κενού.

Κάποιες ουσίες είναι δυνατόν να ανήκουν και στις δυο κατηγορίες.

2.3 ΑΣΤΑΡΙΑ (PRIMING SYSTEMS)

Σκοπός των αρχικών επιστρωμάτων είναι να παρέχουν καλή πρόσφυση στα επιστρώματα που θα ακολουθήσουν συνεισφέροντας στην προστασία κατά της διάβρωσης. Κανένα από τα επιστρώματα δεν κατέχει μόνο του όλες τις ιδιότητες που απαιτούνται βέβαια για την προστασία γι' αυτό ο συνδυασμός τους επιβάλλεται για να μας δώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Εδώ να υπενθυμίσουμε επίσης ότι η διάβρωση από τον ατμοσφαιρικό αέρα διαφέρει πολύ από τη διάβρωση της μεταλλικής κατασκευής όταν είναι βυθισμένη στο νερό και λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν κατά την επιλογή αντιδιαβρωτικής προστασίας.

Ένα συνηθισμένο σύστημα χρώματος βασισμένο σε λάδια για χάλυβα υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες αποτελείται από ένα πρώτο στρώμα (primer coat) που περιέχει χημικά ενεργά κατά των οξειδίων και ένα αριθμό τελικών επιστρωμάτων (finishing coats of paint) ώστε να επιτευχθεί η συνολική προστασία αυτής της μεθόδου.

Τα τελικά επιστρώματα αποτελούν προχωρημένη γραμμή άμυνας κατά του νερού και του οξυγόνου. Για χρώματα που περιέχουν λάδια συμπεριλαμβανομένων και των αλκυδικών, τα τελικά επιστρώματα υπό συνθήκες υγρασίας επιτρέπουν στο νερό να εισέλθει στο συνδεδετικό υλικό (το φιλμ φουσκώνει) ενώ σε ξηρή περίοδο του επιτρέπουν να διαφύγει. Σε παρατεταμένη περίοδο υγρασίας βέβαια λόγω αυτής της λειτουργίας το νερό διεισδύει στο αρχικό επίστρωμα (primer coat) διαλύοντας ενεργά χημικά συστατικά του, φτάνοντας έτσι προς την μεταλλική επιφάνεια. Χωρίς την παρουσία των τελικών επιστρωμάτων η διάρκεια ζωής του αρχικού επιστρώματος θα ήταν σημαντικά μικρότερη. Όταν τα χημικά ενεργά συστατικά του αρχικού επιστρώματος εξαντληθούν πλήρως το υλικό προστατεύεται μόνο από τα τελικά επιστρώματα τα οποία όταν και αυτά αποσυντεθούν πλήρως, είναι απαραίτητη η απομάκρυνση όλων των επικαλύψεων ως το γυμνό μέταλλο ώστε να εφαρμοστεί εκ νέου η προστασία του.

Αντιθέτως τώρα, όταν η κατασκευή είναι **βυθισμένη στο νερό**, βασιζόμαστε μόνο στη δράση των τελικών επιστρωμάτων που φράζουν την είσοδο του νερού. Η **πίσσα** και η **άσφαλτος** που έχουν χαμηλή διαπερατότητα και δεν διογκώνονται εύκολα είναι τα πιο **κατάλληλα συστατικά**. Το σκούρο χρώμα τους και η έλλειψη αντίστασης στις υπεριώδεις ακτινοβολίες δεν έχουν καμία συνέπεια διότι εκεί που βρίσκονται δεν φτάνει ουσιαστικά ηλιακή ακτινοβολία. Αυτά τα υποβρύχια επιστρώματα συνήθως ενισχύονται με πιγμέντα, τα οποία δυσχεραίνουν τη διαδρομή του νερού μέσα τους. Τα **primers** που βασίζονται σε λάδια και τα περισσότερα αλκύδια **δεν είναι κατάλληλα** για υποβρύχια χρήση καθώς παρουσιάζουν έντονη διόγκωση.

2.4 ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΑ

Τα αντιδιαβρωτικά χρώματα είναι πολυμερή ή μείγμα πολυμερών με επιπρόσθετες ουσίες ή χωρίς και εφαρμόζονται σε επιφάνεια υλικού η οποία είναι καθαρισμένη από οξειδία και ακαθαρσίες. Τα χωρίζουμε σε τρεις μεγάλες κατηγορίες που αναλύονται παρακάτω.

2.4.1 ΜΕΓΑΛΟΜΟΡΙΑΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΜΕ ΔΙΠΟΛΙΚΑ ΜΟΡΙΑ

Μερικά αντιδιαβρωτικά χρώματα δρουν με διπολικότητα των μορίων τους. Δεν χρειάζεται να βρίσκονται σε άμεση επαφή με το υλικό για να το προστατεύσουν παρόλο που προφανώς τότε δρουν καλύτερα, αλλά είναι ικανό να προστατεύουν τις ήδη σκουριασμένες επιφάνειες από τις οποίες έχουν απομακρυνθεί τα στρώματα των μη συνεκτικών οξειδίων. Αυτό είναι δυνατό διότι το θετικό τμήμα των μορίων προσαρμόζεται στην επιφάνεια του μετάλλου που είναι φορτισμένο αρνητικά και ελαττώνει έτσι το δυναμικό διάβρωσης με τη βοήθεια των οξειδίων παράλληλα που δρουν ως ημιαγωγοί.

2.4.2 ΟΥΣΙΕΣ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Αντιδιαβρωτικά χρώματα με μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση όπως είναι το χλωριωμένο καουτσούκ και πληθώρα πολυμερών ουσιών.

2.4.3 ΠΟΛΥΜΕΡΗΣ ΦΟΡΕΑΣ ΜΕ ΣΚΟΝΗ ΑΝΟΔΙΚΟΤΕΡΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ Ή ΟΞΕΙΔΙΩΝ

Σε αυτή την κατηγορία χρησιμοποιούνται και πάλι πολυμερή με πιγμέντα όπως σκόνη μαγνησίου, αλουμινίου, ψευδαργύρου για χάλυβες. Το πιο σύνηθες είναι αυτό με τον ψευδάργυρο (Zinc Rich Epoxy – Z. R. E.). Δρουν με θυσία της μεταλλικής σκόνης. Για να επιτευχθεί προστασία πρέπει ο φορέας (πολυμερές) να είναι πορώδης ώστε να υπάρχει ηλεκτρική επαφή μεταξύ σκόνης και κατασκευής με τη βοήθεια του αέρα της υγρασίας ή του εδάφους. Τα χρώματα αυτά χρησιμοποιούνται για υλικά που έρχονται σε επαφή με το νερό.

Μαζί με την καθοδική προστασία με εξωτερική τάση είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος. Η διάρκεια της βέβαια είναι περιορισμένη και καθορίζεται από τις εκάστοτε μεταλλικές σκόνες.

2.4.4 ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΩΝ Η ΑΝΑΣΤΟΛΕΩΝ

Πρόκειται για ουσίες που προστίθενται στο διαβρωτικό περιβάλλον συνήθως όταν είναι κλειστό σύστημα και παθητικοποιούν την επιφάνεια των υλικών με τους εξής τρόπους :

- Απομάκρυνση του οξυγόνου και οξειδίων του θείου (O_2 , SO_x)
- Καθυστέρηση έκλυσης υδρογόνου που οδηγεί σε ψαθυρή θραύση
- Δημιουργία παθητικών οξυγονούχων στρωμάτων (δημιουργία οξειδίων μετάλλων)
- Εισρόφηση ουσιών (οργανικών μεγαλομοριακών ενώσεων) στα ενεργά κέντρα επιφανείας

Οι επιβραδυντές αναστέλλουν τις δράσεις στην άνοδο και κάθοδο σε όλη την επιφάνεια του μετάλλου και χρησιμοποιούνται συνήθως όταν πολλά μέταλλα έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και με το περιβάλλον (γαλβανική διάβρωση). Είναι η συνηθέστερη μέθοδος για καθαρισμό μετάλλων (σωλήνων και ελασμάτων) με οξέα που υπό την παρουσία τους αποφεύγεται η προσβολή των μετάλλων μετά από την διάλυση των οξειδίων.

2.4.5 ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΙΚΑ

2.4.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ρύπανση της γάστρας του πλοίου αποτελείται από οργανική και ανόργανη ύλη που με την πάροδο του χρόνου προσκολλάται στα ύφαλα του σκάφους. Οι οργανισμοί αυτοί είναι κυρίως πολύζωα, σπόγγοι, φύκια και βάλανοι. Οι οργανισμοί αυτοί όπως φυτικοί και ζωικοί μικροοργανισμοί προσκολλώνται καθώς το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι και δεν ταξιδεύει. Οι ουσίες που εκκρίνονται από τους οργανισμούς αυτούς αυξάνουν τη διάβρωση της μεταλλικής επιφάνειας καθώς και της τραχύτητας της που προκαλεί επιβράδυνση του πλοίου και πρέπει να καταπολεμάται. Μέσα σε ένα χρόνο

αυτή η επιβράδυνση αντιστοιχεί περίπου με ελάττωση της ταχύτητας της τάξης του 8% για σταθερή ιπποδύναμη.

Το κόστος των θαλάσσιων επικαλυπτικών και των άλλων μεθόδων προστασίας κατά της διάβρωσης των πλοίων μεταβάλλεται συνεχώς τα τελευταία 20 χρόνια λόγω των αλλαγών στα υλικά και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται αλλά και λόγω των περιβαλλοντικών αλλαγών. Οι πιο κρίσιμες περιοχές του πλοίου που χρειάζονται προστασία είναι τα ύφαλα του πλοίου, οι δεξαμενές έρματος το κατάστρωμα και οι δεξαμενές φορτίου.

2.4.5.2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ (ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ)

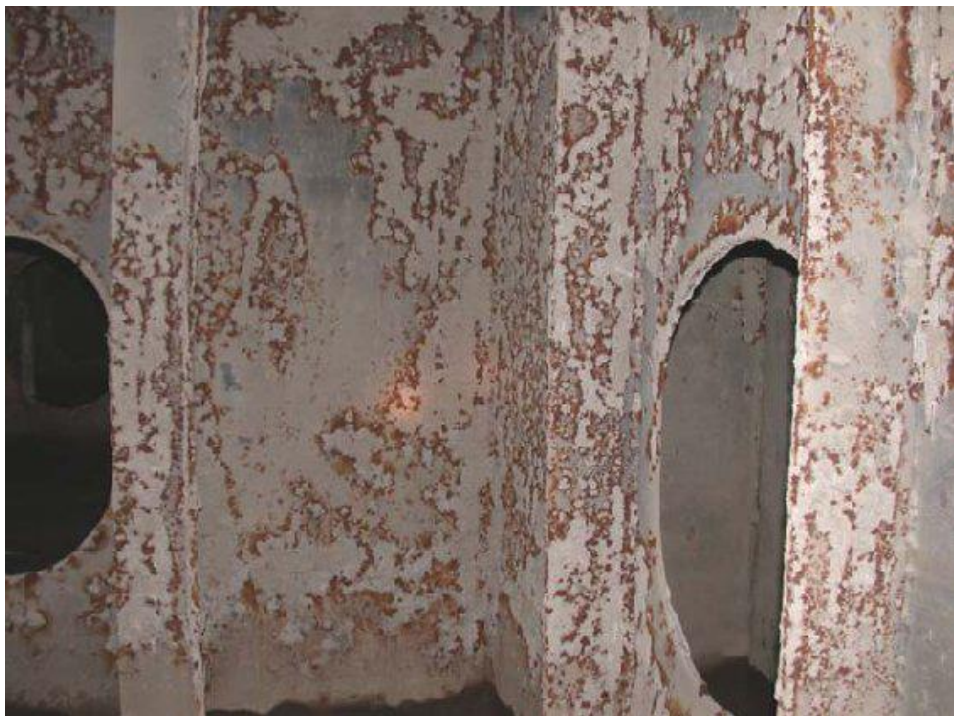
Το θαλασσινό νερό θεωρείται διάλυμα χλωριούχου νατρίου με συγκέντρωση 3.5% NaCl κατά βάρος αλλά στην πραγματικότητα έχει περισσότερο πολύπλοκη σύνθεση. Χαρακτηριστικά στοιχεία είναι η αλμυρότητα του (συνολικό ποσοστό διαλυμένων αλάτων) αλλά και η περιεκτικότητα του σε χλωριόντα. Όπου συγκεντρώνεται αλατόνερο υγρασία και υπεριώδης ακτινοβολία η διάβρωση εντείνεται. Επίσης η παρουσία μικροοργανισμών ή και μολυσμένων νερών συντελούν ένα πολυσύνθετο διαβρωτικό περιβάλλον.

2.4.5.3 ΧΡΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΙΚΩΝ

Τα θαλάσσια επικαλυπτικά χρησιμοποιούνται για προστασία κατασκευών μέσα η πάνω στο νερό όπως σε πλοία, εξέδρες, σημαντήρες, πλατφόρμες και άλλα. Ειδικά για τα πλοία πέραν της διάβρωσης πρέπει να αποτρέπει και την απόθεση των μικροοργανισμών και η περιοχή με τα **εντονότερα προβλήματα** είναι τα **ύφαλα** του πλοίου δηλαδή η **βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας**.

Συνολικά ένα θαλάσσιο επικαλυπτικό πρέπει να παρουσιάζει τις εξής ιδιότητες :

- Μεγάλη αντοχή σε διάβρωση
- Καλή αντοχή σε τριβή
- Γρήγορη ξήρανση
- Χαμηλή διαπερατότητα υγρασίας
- Καλή συνάφεια με άλλες επιστρώσεις
- Σημείο ανάφλεξης άνω των 27 βαθμών
- Έλλειψη τοξικότητας
- Δυνατότητα εφαρμογής σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών
- Χαμηλό κόστος
- Ευχέρεια εφαρμογής με πινέλο, κύλινδρο ή πιστόλι



Εικόνα 2.4.5.3-α : Δεξαμενή έρματος



Εικόνα 2.4.5.3-β : Δεξαμενή έρματος



Εικόνα 2.4.5.3-γ : Δεξαμενή έρματος

Στην πρώτη φωτογραφία παρόλο που το επίστρωμα έχει ρηγματωθεί δεν υπάρχει μεγάλη απώλεια υλικού. Η αντοχή της κατασκευής θεωρείται ακόμα ικανοποιητική απαιτείται όμως η επιβολή νέου επιστρώματος. Μπορεί βέβαια να γίνουν **έγκαιρες επισκευές του επιστρώματος** που επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής του. Η πρόληψη της φθοράς προσφέρει **αντοχή και οικονομία**.

Στη δεύτερη εικόνα το επίστρωμα είναι σχεδόν άθικτο με ίχνη διάβρωσης να διαφαίνονται στις άκρες. Αυτή η δεξαμενή θα μπορούσε να επισκευαστεί τοπικά. Εάν αφεθεί θα καταλήξει όπως η κατασκευή της τρίτης εικόνας που παρουσιάζει μια δεξαμενή που έχει υποστεί γενική διάβρωση με εμφανή απώλεια μετάλλου που αποδυναμώνει συνολικά την εγκατάσταση.

Η περιοχή της γάστρας που βρίσκεται **πάνω από την ίσαλο γραμμή** δέχεται μερικώς την επίδραση του νερού και περισσότερο του **αέρα και της ηλιακής ακτινοβολίας** αλλά υφίσταται και έντονη καταπόνηση τριβής εξαιτίας της επαφής με το θαλασσινό νερό. Ο κύριος λόγος χρήσης επιστρωμάτων σ' αυτές τις περιοχές είναι και αισθητικός εν μέρει καθώς το **ποσοστό διάβρωσης** στα περισσότερα πλοία είναι **σχετικά μικρό**. Τα τελευταία χρόνια η βιομηχανία έχει στραφεί σε χρήση εποξειδικών και πολυουρεθανικών επιστρωμάτων. Επίσης γι' αυτήν την περιοχή **δεν απαιτείται προστασία με αντιρρυπαντικό**.

Για την προστασία των **δεξαμενών έρματος** γίνεται χρήση επιστρωμάτων διαφόρων τύπων προϊόντων όπως πίσσας, καυτής ανθρακόπισσας, λίπος ζώων, ξηρά φυτικά έλαια και άλλα. Χρονολογικά ανάμεσα στο 1960-1980 το κυρίαρχο προϊόν ήταν η λιθανθρακόπισσα ενώ αργότερα άρχισαν να χρησιμοποιούνται πιο **καθαρά εποξικά προϊόντα** για να ικανοποιούνται και οι απαιτήσεις διαφόρων οργανισμών. Το σύστημα επίστρωσης γίνεται με τις υποδείξεις του κατασκευαστή και συντηρείται σύμφωνα με ένα **συμφωνηθέν σχέδιο συντήρησης**. Μετά από επιθεωρήσεις IACS ακόμη και εάν η κατασκευή είναι ασφαλής το πλοίο μπορεί να **κριθεί ακατάλληλο** μόνον από την **κακή κατάσταση του επιστρώματος** στις δεξαμενές έρματος.

Στο **κατάστρωμα και στις υπερκατασκευές** τα επικαλυπτικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να συνδυάζουν αντιδιαβρωτικές και αντιολισθητικές ιδιότητες καθώς και να

έχουν υψηλή αντοχή σε κακές καιρικές συνθήκες και ενάντια στην υπεριώδη ακτινοβολία.

Για τις **δεξαμενές φορτίου** η επιλογή του επικαλυπτικού καθορίζεται από τις απαιτήσεις υπηρεσίας του πλοίου και πρέπει να ακολουθούν τις οδηγίες των αρμόδιων οργανισμών επιθεώρησης. Πέραν της διάβρωσης τα επικαλυπτικά αυτά πρέπει να προστατεύουν τη φύση του φορτίου από αλλοιώσεις των τοιχωμάτων της δεξαμενής αλλά και να προστατεύουν τα τοιχώματα από ισχυρά χημικά φορτία.

Στο **μηχανοστάσιο** και τα αποθηκευτικά διαμερίσματα του πλοίου χρησιμοποιούνται επικαλυπτικά για να υπάρχει ένα **ασφαλές εργασιακό περιβάλλον** για το πλήρωμα του πλοίου.

Για την **προστασία της έλικας και του πηδαλίου** γίνεται χρήση αντιρρυπαντικών, αν και σήμερα εξετάζονται συστήματα βασισμένα στη **σιλικόνη**. Αυτά προσδίδουν μια λεία επιφάνεια πάνω στην κατασκευή που δυσχεραίνει την παγίδευση του νερού κοντά στην επιφάνεια της κατασκευής. Καλά προστατευμένη έλικα προσφέρει μειωμένη κατανάλωση καυσίμου, μειωμένες δονήσεις και είναι δυνατό να προσδώσει μεγαλύτερη ταχύτητα με λιγότερο κόστος ενέργειας. Επίσης μια ρυπασμένη έλικα μπορεί να προκαλέσει αντίστοιχες κακές επιπτώσεις με αυτές μιας ρυπασμένης γάστρας, να σημειώσουμε.

Για τη **βρεχούμενη επιφάνεια της γάστρας**, τα υφαλοχρώματα πρέπει να ικανοποιούν δυο βασικές προϋποθέσεις, την προστασία κατά της διάβρωσης και προστασία κατά των αποθέσεων των μικροοργανισμών δηλαδή να είναι και αντιδιαβρωτικά και αντιρρυπαντικά. Αυτό συνεπάγεται τη χρήση δυο διαφορετικών επικαλυπτικών γιατί τα αντιρρυπαντικά χρώματα έχουν τοξικά πρόσθετα που επιταχύνουν τη διάβρωση αν έρθουν σε επαφή με το χάλυβα, οπότε πρώτα απαιτείται η χρήση του αντιδιαβρωτικού χρώματος το οποίο δρα και σαν προστατευτικό της επιφάνειας από τα πρόσθετα του αντιρρυπαντικού.

Συγκεκριμένα η αντιδιαβρωτική προστασία χάλυβα εμβαπτισμένου σε νερό, επιτυγχάνεται χάριν στη χρήση ενός επικαλυπτικού που σχηματίζει ένα υμένα

αδιαπέραστο από το νερό αφήνοντας μερικώς υγρασία να διαρρέει από μέσα του. Έτσι οργανικά επικαλυπτικά μπορούν να λειτουργήσουν σαν ένα μονωτικό στρώμα που εμποδίζει τη διαπερατότητα του νερού. Πιο ουσιαστική μέθοδος προστασίας βέβαια για τα ύφαλα του πλοίου είναι η καθοδική προστασία με χρήση ηλεκτρικής τάσης ή ηλεκτροδίων από μέταλλο ανοδικότερο του χάλυβα.

Άλλη μέθοδος για την αντιδιαβρωτική προστασία είναι οι χρωστικές ουσίες. Για να λειτουργήσουν πρέπει το συνδετικό μέσο να είναι αρκετά πορώδες και να επιτρέπει τη διέλευση του νερού ώστε να σχηματίζονται κατάλληλα ιόντα που επιβραδύνουν τη διάβρωση. Οπότε στην επιλογή επικαλυπτικού εμφανίζονται δυο επιλογές :

- Επικαλυπτικό ως στεγανωτικό μέσο
- Επικαλυπτικό με αντιδιαβρωτικές χρωστικές ουσίες

Συμπερασματικά μπορούμε να ιεραρχήσουμε τα **βήματα** για την **αναστολή** της **διάβρωσης σε χαλύβδινες επιφάνειες εμβαπτισμένες** στο νερό σύμφωνα με τα παρακάτω βήματα :

- Χρήση επικαλυπτικού υψηλής στεγανότητας
- Χρήση επικαλυπτικού με χρωστικές
- Καθοδική προστασία (ρεύμα ή ηλεκτρόδια)
- Απομάκρυνση οξειδίων με ψηγματοβολή

Η δημιουργία αποθέσεων σε ένα πλοίο πρέπει να αποφεύγεται διότι επηρεάζει :

- Την κατανάλωση καυσίμου λόγω οπισθέλκουσας
- Την ανάπτυξη ταχύτητας λόγω ανώμαλης επιφάνειας
- Την αντοχή σε διάβρωση αφού προκαλούν ζημιά στο αντιδιαβρωτικό επίστρωμα

Τέλος, τα αντιρρυπαντικά ταξινομούνται σε επικαλυπτικά διάλυσης και επαφής. Τα πρώτα συναντώνται σε εμπορικά σκάφη λόγω του χαμηλού κόστους και δρουν με την

αργή διάλυση των συστατικών τους από το νερό και την δημιουργία τοπικά δηλητηριώδους περιβάλλοντος. Τα επικαλυπτικά επαφής έχουν και αυτά υψηλές ποσότητες τοξικών συστατικών, έχουν τριπλάσια διάρκεια ζωής σχεδόν και είναι ιδιαίτερα πιο ακριβά από τα επικαλυπτικά διάλυσης. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε πολεμικά σκάφη.

Εικόνα 2.4.5.3-δ : Έντονη δημιουργία αποθέσεων στη γάστρα



[ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ]

1. Π. Βασιλείου, Θ. Σκουλικίδης, «Διάβρωση και προστασία υλικών». Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα 2007
2. Κωνσταντίνου Α. Καγκαράκη, «Η προστασία των μετάλλων εκ της διαβρώσεως», Ε. Μ. Π., Αθήνα 1971
3. Ichiro Suzuki, «Corrosion-resistant coatings technology», NEW YORK : MARCEL DEKKER, 1989
4. Lloyd's List events Conference : PREVENTION AND MANAGEMENT OF MARINE CORROSION, LONDON 2003
5. Π. Καρύδης, «Επιθεώρηση, συντήρηση και επισκευή της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου», Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε. Μ. Π., Αθήνα 2002
6. Σωτήρη Π. Βλάχου, «Προστασία χάλυβα από διάβρωση», Αθήνα 1991
7. Θ. Ν. Σκουλικίδης, Π. Βασιλείου, Α. Ανδρεόπουλος, «Τεχνικά υλικά. Συμπεριφορά και προστασία», Ε. Μ. Π. 1989
8. Ε. Τσαγκαράκη-Καπλάνογλου, «Προστασία από τη διάβρωση. Χρώματα και βερνίκια», ΟΕΔΒ, Αθήνα 1985
9. Π. Γ. Βασιλείου, «Νέα αντιδιαβρωτικά χρώματα. Αξιοποίηση των ημιαγωγικών ιδιοτήτων μετάλλων οξειδίων», Διδακτορική διατριβή Ε. Μ. Π.
10. «Corrosion protection by protective coatings», Charles G. Munger, Louis d. Vincent, Houston TX : NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS, 1999

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΓΕΝΙΚΑ

Η επικάλυψη επιφανειών με οργανικές ουσίες αποτελεί από παλιά γνωστή μέθοδος προστασίας ενάντια στη διάβρωση και εξαρτάται από το πάχος του επιστρώματος, το είδος του μετάλλου και την προετοιμασία που έχει υποστεί το υπόστρωμα.

Τα βασικά συστατικά των οργανικών επικαλύψεων είναι το συνδεδετικό υλικό που ονομάζεται φορέας, το πιγμέντο, ο διαλύτης (αραιωτικό) και τα πρόσθετα. Κάθε ένα από τα προαναφερθέντα συστατικά προσδίδει διαφορετικά χαρακτηριστικά στο επίστρωμα. Τον κυριότερο ρόλο ως προς τις ιδιότητες του προστατευτικού φιλμ έχει το συνδεδετικό υλικό ή φορέας.

Τα κύρια μέρη των οργανικών επικαλύψεων είναι το αστάρι, το ενδιάμεσο στρώμα και το τελικό επίστρωμα. Πλέον τα αστάρια στο εμπόριο συνδυάζονται απευθείας με τελικό επίστρωμα σε ένα προϊόν. Τα αστάρια για τους χάλυβες ταξινομούνται σύμφωνα με το πιγμέντο αναστολής διάβρωσης (αστάρια ψευδαργύρου ή αλουμινίου), ενώ τα ενδιάμεσα και τα τελικά βάσει των συνδεδετικών τους υλικών.

3.1.1 ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ (ΦΟΡΕΑΣ)

Ουσιαστικά είναι το πιο σημαντικό συστατικό των περισσότερων χρωμάτων αφού αποτελεί τη μήτρα που κυκλοφορούν όλα τα συστατικά. Από την υγρή περνά στη στερεά φάση σχηματίζοντας έτσι το προστατευτικό σώμα μέσω φυσικής εξάτμισης των διαλυτών ή μέσω χημικών αντιδράσεων (ανοδικών και καθοδικών) μεταξύ των μορίων του. Η χημική αντίσταση, η αντίσταση υπεριώδους ακτινοβολίας και η διαπερατότητα του φιλμ καθορίζονται αποκλειστικά από την πυκνότητα και τη σύνθεση του συνδεδετικού υλικού. Η απομάκρυνση των διαλυτών λόγω εξάτμισης ονομάζεται λάκκα ενώ λόγω χημικών αντιδράσεων λέγεται βερνίκι.

3.1.2 ΣΤΕΡΕΑ ΣΕ ΔΙΑΣΠΟΡΑ-ΠΙΓΜΕΝΤΑ

Αποτελούν συστατικά των οργανικών επικαλύψεων που έχουν χαμηλή κοκκομετρία και η χρήση τους εγγυάται τη δομική ενίσχυση του επιστρώματος αλλά και για να προσδώσουν συγκεκριμένες ιδιότητες σε αυτό. Τα πιγμέντα είναι αδιάλυτα στο συνδετικό υλικό και με τεχνική αλέσματος διαχέονται σε αυτό, προσδίδουν χρώμα και βελτιώνουν την αντιδιαβρωτική προστασία. Τα πιγμέντα θα πρέπει να είναι συμβατά και με τα άλλα συστατικά ώστε να είναι πιο εύκολη η βαφή και η διαδικασία αλέσματος. Με εφαρμογή πιγμένων μετάλλου σε βερνίκια παράγεται μεταλλικό επίστρωμα. Τα πιγμέντα αναλόγως τη δράση τους ταξινομούνται στα παρακάτω :

- **Πιγμέντα αποκλεισμού**

Λεπιοειδή σωματίδια μεγάλης επιφάνειας και μικρού πάχους τα οποία απορροφώνται από την ενεργή μεταλλική επιφάνεια σχηματίζοντας ένα φλοιό που εμποδίζει την ανταλλαγή ιόντων με το υπόστρωμα.

- **Γαλβανικά πιγμέντα**

Πρόκειται για μεταλλικά μόρια δραστικότερα από το μέταλλο του υποστρώματος, συνεπώς διαβρώνονται για την προστασία του μέσω καθοδικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα.

- **Πιγμέντα χρώματος**

Χρησιμοποιούνται κυρίως για αισθητικούς λόγους για να προσφέρουν γυαλάδα, λάμψη και αδιαπερατότητα στη βαφή.

- **Πιγμέντα παθητικοποίησης**

Αυτές οι ουσίες δημιουργούν ένα στρώμα οξειδίου με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση δημιουργίας ηλεκτροχημικών κελιών. Συνήθως πρόκειται για χρωμικά άλατα ψευδαργύρου που προσφέρουν περιορισμένη διαλυτότητα στο νερό και περιορίζουν τη δημιουργία φλукταινών.

Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα πιγμέντα σε αστάρια προστασίας κραμάτων είναι το μίνιο (κόκκινος μόλυβδος), το μολυβδικό ασβέστιο, ο φωσφορικός ψευδάργυρος και η σκόνη ψευδαργύρου, μαγνησίου ή αλουμινίου.

3.1.3 ΔΙΑΛΥΤΗΣ (ΑΡΑΙΩΤΙΚΟ)

Οι διαλύτες χρησιμοποιούνται για να μειώσουν το ιξώδες του συνδετικού υλικού (φορέα) και άλλων συστατικών για να εφαρμοστεί με βέλτιστο τρόπο η βαφή και η διαδικασία αλέσματος πιγμένων και πρόσθετων.

Ο ρόλος τους είναι εν μέρει αντικρουόμενος πριν και μετά την εφαρμογή του. Στην αρχή πετυχαίνει διασπορά των συστατικών των επιστρωμάτων με αποτέλεσμα η **εφαρμογή της βαφής** να είναι πιο εύκολη καθώς βελτιστοποιούνται και οι **διαδικασίες ξήρασης**. Μετά την εφαρμογή του απαιτείται μια εσωτερική ελκτική δύναμη μεταξύ των συστατικών ώστε να δημιουργηθεί ένα **ομοιόμορφο φιλμ προστασίας**. Οι **αντιδράσεις** των συστατικών με τον διαλύτη θα πρέπει να **φθίνουν** για να **επιτευχθεί η πλήρης εξάτμιση** του διαλύτη και γι' αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των ουσιών αυτών.

Οι συνθήκες εφαρμογής τους είναι **θερμοκρασία 24** βαθμών Κελσίου και **50%** ατμοσφαιρική **υγρασία** περιβάλλοντος. Αν βέβαια οι **συνθήκες** περιβάλλοντος διαφέρουν απαιτείται **μεταβολή της συγκέντρωσης** του διαλύτη για σωστή εφαρμογή και ξήραση. Επειδή εδώ χρησιμοποιούνται ισχυρές χημικές ουσίες πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στην τήρηση των **κατάλληλων μέτρων προστασίας** ενάντια σε αναφλέξεις και στη ρύπανση του περιβάλλοντος.

3.1.5 ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Προκειμένου η βαφή να αποκτήσει περαιτέρω ιδιότητες συνίσταται η προσθήκη προσθέτων. Είναι στοιχεία που προστίθενται στην βαφή σε μικρές ποσότητες επηρεάζοντας δραστικά την αποτελεσματικότητα της βαφής. Τα πιο γνωστά είναι οι σταθεροποιητές χρώματος (stabilizers), οι επιβραδυντές ξήρασης (driers), και οι αναστολείς διάβρωσης (corrosion inhibitors). Το οξείδιο του ψευδαργύρου είναι ευρέως χρησιμοποιούμενο ως πρόσθετο που καθυστερεί την επιδείνωση της ρητίνης που προκαλεί η συνεχής έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία και σε ηλιακή ακτινοβολία.

3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΩΝ ΧΡΩΜΑΤΩΝ

Όπως προαναφέρθηκαν ιδιότητες των επιστρωμάτων στην προστασία της κατασκευής αναλόγως τα αντιδιαβρωτικά χρώματα έχουν αρκετά παρόμοιες ιδιότητες όπως ορισμένο πάχος συνάφεια σκληρότητα συνοχή και χημική αντοχή σε αλκαλικά διαλύματα. Όταν τα συστατικά τους είναι μεταλλική σκόνη επίσης η ποσότητα του πορώδους φιλμ πρέπει να είναι αρκετή ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη ηλεκτρική επαφή με το υπό προστασία υλικό.

Για χαλύβδινες κατασκευές εμβαπτισμένες σε νερό χρειάζονται πιο αυστηρές απαιτήσεις βέβαια συγκριτικά με συμβατικές επικαλύψεις σχετικά με τη συνάφεια τη συνεκτικότητα και την αντίσταση σε χημικά διαβρωτικά περιβάλλοντα.

Συγκεκριμένα οι πιο βασικές προϋποθέσεις αναφέρονται παρακάτω :

- **Πάχος :** Το πάχος σχετίζεται με τη διάρκεια ζωής της επικάλυψης και της κατασκευής άμεσα. Δεν έχουν οριστεί διεθνείς προδιαγραφές και κάθε περίπτωση μελετάται ξεχωριστά.
- **Πορώδες : Μη πορώδη επιστρώματα** μειώνουν το φαινόμενο της διάβρωσης καθώς ελαττώνουν την άμεση επαφή της κατασκευής με το περιβάλλον. Όταν όμως πρόκειται για **μεταλλικές σκόνες** είναι απαραίτητα τα **πορώδη επιστρώματα**.
- **Σκληρότητα :** Η σκληρότητα των επιστρωμάτων συνδέεται με την αντοχή τους σε αποφλοίωση.
- **Συνάφεια :** Η ικανότητα για όσο το δυνατόν καλύτερη πρόσφυση τους στην επιφάνεια της κατασκευής ονομάζεται συνάφεια με μονάδα μέτρησης [Kg/mm^2]. Η τιμή της επίσης όσο υψηλότερη τόσο μεγαλύτερη αντοχή στην αποφλοίωση προσδίδει και η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ του ορίου θραύσης του μετάλλου και του επιστρώματος.

-
- **Συνοχή :** Μετριέται με έλξη του ελάσματος για να ελεγχθεί η ρηγμάτωση του επιστρώματος και τότε αυτό θα συμβεί.
 - **Αντίσταση στο νερό :** Ελέγχεται η μείωση της της συνάφειας και της αντοχής σε σχηματισμό φλυκταινών και ρηγματώσεων σε εμβαπτισμένη κατασκευή.
 - **Απορρόφηση υγρασίας :** Χαμηλή απορρόφηση υγρασίας δηλαδή παραμονή νερού μεταξύ των μορίων της βασικής ρητίνης. Όταν η επιφάνεια βρεθεί σε ξηρό περιβάλλον εξατμίζεται η υγρασία και διατηρείται η χαμηλή απορρόφηση υγρασίας του χρώματος που εξασφαλίζει καλύτερη προστασία της κατασκευής.
 - **Ρυθμός μεταφοράς υγρασίας :** Ο ρυθμός που το νερό περνάει μέσα από το επίστρωμα είναι μια πολύ βασική ιδιότητα του χρώματος και όσο μικρότερος είναι τόσο πιο αποτελεσματική προστασία προσφέρει.
 - **Χημική αντίσταση σε αλκαλικά διαλύματα :** Η προστασία της κατασκευής γίνεται παράλληλα και με τη χρήση καθοδικής προστασίας. Η αρνητική φόρτιση του μετάλλου προκαλεί δέσμευση ή εξουδετέρωση υδροξειδίων και δημιουργεί αλκαλικό περιβάλλον. Οπότε τα επικαλυπτικά προσβάλλονται χημικά, σαπουνοποιούνται ως την τελική διάλυσή τους ή την εμφάνιση φλυκταινών (έκλυση υδρογόνου).
 - **Αντίσταση στην ώσμωση :** Το φαινόμενο της μεταφοράς του νερού μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης- ορίου από διάλυμα μικρής συγκέντρωσης σε διάλυμα μεγάλης συγκέντρωσης ονομάζεται ώσμωση. Σε αυτήν την περίπτωση ημιπερατές μεμβράνες είναι οι οργανικές επικαλύψεις. Όταν τοποθετούνται σε επιφάνειες με χλωριόντα, προκαλούν το σχηματισμό διαλύματος μεγάλης συγκέντρωσης με αποτέλεσμα τη μεταφορά νερού προς τη διεπιφάνεια επικάλυψης – κατασκευής και τη δημιουργία φλυκταινών.

-
- **Αντίσταση στην ηλεκτροενδόσμωση :** Ηλεκτροενδόσμωση ονομάζουμε το φαινόμενο μεταφοράς νερού μέσα από μια μεμβράνη υπό την επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος προς την κατεύθυνση του πόλου που έχει το ίδιο φορτίο με την μεμβράνη. Οι επικαλύψεις είναι συνήθως αρνητικά φορτισμένες ενώ οι μεταλλικές επιφάνειες γύρω από μια ασυνέχεια της επικάλυψης έχουν περίσσεια ηλεκτρονίων και είναι καθοδικές. Έτσι γίνεται μεταφορά ηλεκτρονίων νερού προς τη διεπιφάνεια με αποτέλεσμα τη δημιουργία φλукταινών.
 - **Πυκνότητα στρώματος :** Για τον υπολογισμό της πυκνότητας χρησιμοποιείται η μέθοδος ζύγισης όμως σε περίπτωση ύπαρξης πορώδους φιλμ η διαδικασία αυτή δεν ενδείκνυται.
 - **Συγκέντρωση όγκου πιγμέντου : P.V.C (Pigment -Volume-Concentration),** ορίζεται ο λόγος του όγκου του πιγμέντου προς τον όγκο ενός δοσμένου μίγματος πιγμέντου – φορέα (στερεά).
 - **Εσωτερικές τάσεις :** Όταν αναπτύσσονται μεγάλες εσωτερικές τάσεις υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας εύθραπτης επικάλυψης. Η ανάπτυξή τους παρατηρείται κατά την ξήρανση του επιστρώματος και την ελάττωση του πάχους του. Αναλύονται με μηχανικές και φωτοελαστικές μεθόδους.
 - **Μηχανικές ιδιότητες :** Οι μηχανικές ιδιότητες μεταβάλλονται παράλληλα με τον δείκτη P.V.C.. Οι συνηθέστερες μέθοδοι είναι οι μετρήσεις σκληρότητας και αντοχής σε κρούση. Για τη σκληρότητα του φιλμ η δοκιμή χάραξης με ειδικό μολύβι.
 - **Ρεολογικές ιδιότητες :** Η μελέτη του ιξώδους κάτω από διάφορες συνθήκες είναι αναγκαία διότι οι συγκεκριμένες ιδιότητες συμβάλλουν στην αποθήκευση, την εφαρμογή και το σχηματισμό του επιστρώματος.
 - **Ιδιότητες γήρανσης των οργανικών επικαλύψεων :** Αφορούν την ικανότητα υπολογισμού της ανθεκτικότητας τους και τη συμπεριφορά τους σε

διάφορα περιβάλλοντα. Οι κύριες αιτίες υποβάθμισης της συμπεριφοράς τους είναι η έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία ή σε συχνές αλλαγές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ή της συγκέντρωσης οξυγόνου ή άλλων στοιχείων.

- **Ιδιότητες πρόσφυσης των αντιδιαβρωτικών χρωμάτων :** Αφορά τη μελέτη γύρω από τη χημική σύσταση του χρώματος, τις φυσικές του ιδιότητες αλλά και τους μηχανισμούς θραύσης και ροής. Η απώλεια πρόσφυσης δεν οδηγεί πάντα σε περιορισμό της αντιδιαβρωτικής τάσης όταν το διάλυμα κάτω από τις φλύκταινες ή το επίστρωμα δεν είναι διαβρωτικό.

3.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας είναι πολύ βασικό βήμα για να επιτευχθεί η βέλτιστη προστασία της κατασκευής μετά τη βαφή και αποσκοπεί στον καθαρισμό της επιφάνειας από ακαθαρσίες και στην δημιουργία της επιθυμητής τραχύτητας ώστε να επιτευχθεί η σωστή πρόσφυση των επικαλυπτικών. Οι ακαθαρσίες και τα προϊόντα διάβρωσης αποτελούν αιτίες δημιουργίας τοπικών γαλβανικών στοιχείων, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της καταστροφής του αντιδιαβρωτικού και γι' αυτό πρέπει να απομακρύνονται από την επιφάνεια που θέλουμε να προστατεύσουμε.

3.3.2 ΑΚΑΘΑΡΣΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες τις υδατοδιαλυτές ακαθαρσίες και τις αδιάλυτες στο νερό. Ακαθαρσία εννοείται οποιοδήποτε συστατικό παραμένει σε μια μεταλλική επιφάνεια μετά τον καθαρισμό της από συμβατικά μέσα. Παρατηρούνται βέβαια και σε εντελώς καινούργιες αχρησιμοποίητες κατασκευές κατά τη μεταφορά ή αποθήκευσή τους.

- **Υδατοδιαλυτές ακαθαρσίες**

Αποτελούν τη συνηθέστερη και πιο καταστρεπτική κατηγορία. Είναι άχρωμες και αόρατες πάνω στην επιφάνεια όταν βρίσκονται σε μικρές ποσότητες που είναι αρκετό ώστε να προκαλέσουν την έναρξη της κυκλικής αντίδρασης προκαλώντας συνεχή διάβρωση και φλύκταινες πιθανόν κάτω από το επίστρωμα και οδηγώντας το έτσι στην πλήρη καταστροφή του. Η αποτελεσματικότερη αντιμετώπισή των υδατοδιαλυτών αλάτων στο χάλυβα γίνεται με τη διαδικασία της ψηγματοβολής. Οι πιο συνηθισμένες είναι τα άλατα σιδήρου, χλωριούχα άλατα, θειικά άλατα, οξέα και αλκάλια.

- **Ακαθαρσίες αδιάλυτες στο νερό**

Οι κυριότερες εξ' αυτών είναι οξείδια, θειούχα άλατα, έλαια, κεριά λιπαρά οξέα και σιλικόνες.

3.3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η διαδικασία της βαφής αποτελείται ουσιαστικά από τρία στάδια, τον προκαταρτικό έλεγχο, την επιθεώρηση-καθαρισμό επιφάνειας και τον έλεγχο καθαρισμού.

3.3.3.1 ΠΡΟΚΑΤΑΡΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Πρόκειται για τον καθορισμό των δράσεων πριν την εφαρμογή της κύριας διαδικασίας καθαρισμού. Για την αποδοτική λειτουργία της επικάλυψης απαιτείται απομάκρυνση από την κατασκευή μικρών ποσοτήτων υλικών συγκόλλησης, ριτισμάτων, λαδιών ή λιπών από τα διάφορα σημεία.

- **Απολίπανση** : Μέθοδος απολίπανσης της επιφάνειας από χρήση οργανικών διαλυτικών ή και απορρυπαντικών σε υδατική διάλυση που διαλύουν τις λιπαρές ουσίες. Οι οργανικοί διαλύτες που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως ακετόνη, αλκοόλες, βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλένιο, τριχλωροαιθυλένιο, τετραχλωράνθρακας και επιλέγονται ανάλογα με το είδος της επιφάνειας και σύμφωνα με τις οικονομικές δυνατότητες της επεξεργασίας. Στο τέλος το τεστ διαλυτότητας νερού που είναι η ρίψη μιας σταγόνας στην επιφάνεια μας

δείχνει την αποτελεσματικότητα. Αν το νερό απλωθεί σε ένα συνεχούς πάχους φιλμ ή θα περιοριστεί σχηματίζοντας μικρές σταγόνες εάν υπάρχουν ακόμα λίπη (διαβροχή ή όχι της επιφάνειας).

- **Απομάκρυνση καλαμίνας (Mill scale)** : Η καλαμίνα είναι τα οξειδία του σιδήρου (Fe_2O FeO Fe_3O_4) τα οποία σχηματίζονται κατά την παραγωγή θερμικά ανοπτημένων χαλύβδινων ελασμάτων που αντιδρούν με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Αν η καλαμίνα παραμείνει στην επιφάνεια τότε ο επικάλυψη χάνει πιο γρήγορα την πρόσφυση στην επιφάνεια. Η διαφορά του δυναμικού της καλαμίνας και του χάλυβα προκαλεί τη δημιουργία γαλβανικού στοιχείου. Η απομάκρυνσή της είναι γνωστή μέθοδος από παλιά και προϋποθέτει την έκθεση των ελασμάτων στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον και ονομάζεται “δόμηση στη σκουριά” (“building in the rust”). Κατά τη διάρκεια αυτής της μεθόδου βέβαια άλατα της θάλασσας προσκολλώνται στις επιφάνειες και πρέπει να αφαιρούνται. Πρόκειται για μέθοδο που απαιτεί μεγάλη χρονική διάρκεια.

3.3.3.2 ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

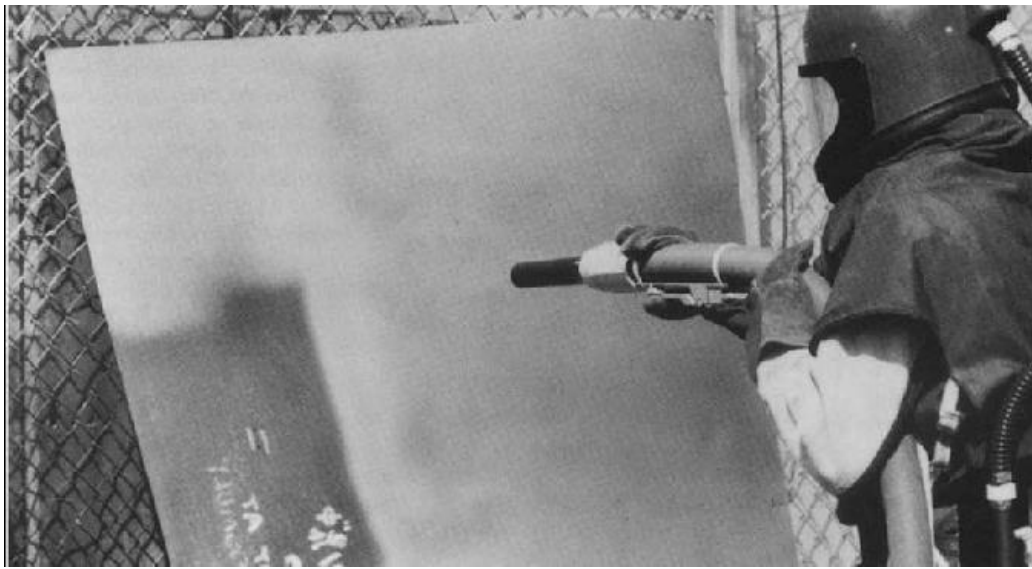
Ανάλογα με το σύστημα επικάλυψης υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι καθαρισμού μηχανικοί, χημικοί και ηλεκτρολυτικοί.

- **Μηχανικός καθαρισμός** : Πρόκειται για παραδοσιακό τρόπο απομάκρυνσης οξειδίων και άλλων ακαθαρσιών που προσκολλώνται στα ύφαλα του πλοίου. Σε μικρές επιφάνειες γίνεται χρήση εργαλείων χειρός π. χ. ματσακόνια, κοπίδια, ξύστρες άλλα μηχανήματα εξομάλυνσης ενώ η απομάκρυνση της σκόνης γίνεται με πεπιεσμένο αέρα ή μαλακά υφάσματα.
- **Ηλεκτρικός καθαρισμός** : Σε μικρές επιφάνειες πάλι χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά εργαλεία και ο καθαρισμός επιτυγχάνεται με πρόσκρουση (impact cleaning) και με περιστροφή (rotary cleaning) ή και με το συνδυασμό τους. Οι μέθοδοι αυτές είναι ταχύτερες των μηχανικών αλλά ακριβότερες από την ψηγματοβολή. Χρησιμοποιείται για περιοχές στα ύφαλα, κοντά στην ίσαλο καθώς και στους εσωτερικούς χώρους των δεξαμενών.

- **Ψηγματοβολή :** Η μέθοδος αυτή προτιμάται για μεγάλες επιφάνειες και εμφανίζει ικανοποιητικά και γρήγορα αποτελέσματα. Με την πρόσκρουση ψηγμάτων πάνω στη μεταλλική επιφάνεια αποκολλώνται οξείδια και άλλα επιστρώματα. Υπάρχει βέβαια πάντα κίνδυνος για δημιουργία γεωμετρικής ομοιογένειας με την παραμονή ψηγμάτων ή άλλων ενεργών κέντρων στην επιφάνεια. Οι πιο γνωστές παραλλαγές της μεθόδου αυτής ανάλογα με το μέγεθος, το μέσο μεταφοράς τον τύπο και το είδος του εξοπλισμού είναι ψηγματοβολή με ακροφύσιο, με χρήση φυγόκεντρου συμπιεστή, κενό, υδροβολή και αμμοβολή. Άλλες εναλλακτικές μέθοδοι είναι η υδραμμοβολή, υδραμμοβολή με κουρτίνα νερού, τύπου πολφού και με έξυση αποξεστικού. Επίσης η ψηγματοβολή κενού ή κλειστού τύπου ή με σφαιρίδια ψευδαργύρου, με σπογγίδια, με χρήση πλαστικών και ο καθαρισμός με ξηρό πάγο ή με υαλοσφαιρίδια.

Ψηγματοβολή με χρήση ακροφυσίου (nozzle- blasting)

Τα ψήγματα προωθούνται με μέσα πεπιεσμένου αέρα σε ανοιχτούς χώρους αλλά για μεγάλης κλίμακας καθαρισμούς αποφεύγεται εξαιτίας της σκόνης και του θορύβου που προκαλεί.



Εικόνα 3.3.3.2-α : Ψηγματοβολή με ακροφύσιο

Ψηματοβολή με χρήση φυγόκεντρου συμπιεστή (impeller /centrifugal blast-cleaning)

Τα ψήγματα σφαιρικά συνήθως, εκτοξεύονται προς την επιφάνεια από φυγόκεντρες μηχανές με εξωθητήριους τροχούς καθώς τα μηχανήματα κινούνται σε όλη την επιφάνεια. Συχνά η χαλύβδινη επιφάνεια θερμαίνεται κοντά στους 40 βαθμούς Κελσίου και αμέσως μετά τον καθαρισμό της η κατασκευή καλύπτεται από ένα αστάρι προσωρινής προστασίας μέχρι την ολοκλήρωση της ναυπήγησης του πλοίου. Το ψήγμα διαχωρίζεται από ακαθαρσίες σε ένα ειδικό διαχωριστή (air wash) και στην συνέχεια επαναχρησιμοποιείται. Προφανώς ο βαθμός τραχύτητας της επιφάνειας καθορίζεται από την σκληρότητα του ψήγματος, την ταχύτητα που κινείται το μηχάνημα και το ρυθμό ανανέωσης του ψήγματος.

Υδροβολή (water blast cleaning)

Χρήση εκτοξευτήρα νερού πίεσης 150-300 bar. Ρύποι μικροοργανισμών βαφής χαλαρής προσκόλλησης και υδατοδιαλυτά άλατα απομακρύνονται από την γάστρα του πλοίου. Για απομάκρυνση αλάτων αποτελεί την καλύτερη μέθοδο για τη γάστρα αλλά δεν αντικαθιστά την ψηματοβολή καθώς δεν επηρεάζει καθόλου την τραχύτητα και αφήνει την επιφάνεια υγρή ώστε δεν είναι έτοιμη μετά για απευθείας βαφή εκτός αν χρησιμοποιηθούν ειδικά αστάρια ανθεκτικά στην υγρασία.

Ψηματοβολή εν κενώ (vacuum blasting)

Το μείγμα αέρα-ψήγματος προωθείται σε μια πλαστική κλειστή σακούλα. Τα ψήγματα και όλη η σκόνη ρίπτονται πίσω στη μηχανή εκτόξευσης διαχωρίζονται και επαναχρησιμοποιούνται. Λόγω αυτής της ανακύκλωσης η διαδικασία παράγει σκόνη και ρύπανση του περιβάλλοντος τοπικά. Επιλέγεται κυρίως για μικροεπισκευές και καθαρισμό ραφών συγκόλλησης.

ΨΗΓΜΑΤΑ (ABRASIVES)

Η επιλογή του ψήγματος είναι θέμα μεγέθους, σχήματος και σκληρότητας σε σχέση με την επιθυμητή ποιότητα και τραχύτητα της επιφάνειας.

Τα ψήγματα που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε δυο ομάδες :

[Α] Μεταλλικά ψήγματα : Μπορούν να αντισταθούν σε εκατοντάδες κρούσεις πριν το μέγεθος τους μικρύνει έχοντας έτσι μεγάλη διάρκεια ζωής. Ανάλογα με το σχήμα τους διακρίνονται σε σφαιρικά σωματίδια (shots) και σε σωματίδια με πολλαπλές έδρες (grits). Ταξινομούνται σε συνάρτηση με τον τύπο και το μέγεθός τους. Το γράμμα S συμβολίζει τα σφαιρικά και το G τα ψήγματα γωνιακής μορφής. Μια τρίτη κατηγορία ψηγμάτων αποτελείται από χαλύβδινα τεμάχια συρματιδίων κυλινδρικής μορφής αλλά δεν χρησιμοποιούνται ευρέως. Το κόστος των μεταλλικών ψηγμάτων είναι υψηλό και γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις που μπορούν να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν εκ νέου.

[Β] Ορυκτά ψήγματα : Χαρακτηρίζονται από μικρή διάρκεια ζωής διότι κονιοποιούνται σχετικά γρήγορα έχουν ακανόνιστο σχήμα με πολλές έδρες και είναι φθηνότερα από τα μεταλλικά. Χρησιμοποιούνται σε ψηγματοβολή με χρήση ακροφυσίου. Τα ορυκτά ψήγματα πρέπει να είναι αδρανή γιατί αλλιώς προκαλούν διάβρωση και είναι κυρίως σωματίδια πυριτοκαρβιδίων, οξειδίων αλουμινίου και άλλα. Τα ορυκτά ψήγματα είναι πιθανό να περιέχουν αρκετές ακαθαρσίες και γι' αυτό πρέπει να διαχωρίζονται πριν τη χρήση τους.

- **Καθαρισμός με φλόγα (FLAME CLEANING)**

Η φλόγα οξυγόνου - ασετυλίνης πάνω στην επιφάνεια του χάλυβα προκαλεί θερμική διαστολή και εν τέλει ρηγμάτωση της καλαμίνας με αποτέλεσμα την απώλεια της συνάφειας και την απομάκρυνσή της. Η ταχύτητα της φλόγας κυμαίνεται από 1-5 [m/min]. Η αναλογία οξυγόνου – ασετυλίνης πρέπει να ναι τέτοια ώστε να μην αφήνει ποσότητες αιθάλης (κάπνα) πάνω στην επιφάνεια, να επιτευχθεί αποφυγή δηλαδή σύστασης οξειδωτικής φλόγας. Πριν από την εφαρμογή της φλόγας στρώματα σκουριάς πρέπει να απομακρύνονται με απόξεση ενώ μετά τον καθαρισμό με φλόγα η επιφάνεια καθαρίζεται τελικώς με μηχανική συρματόβουρτσα. Η μέθοδος δεν συνίσταται όταν απαιτείται βαφή υψηλής ποιότητας και δεν προτιμάται στις ναυπηγικές επισκευές λόγω αυξημένου κινδύνου για έναρξη πυρκαγιάς. Θα χρησιμοποιηθεί μόνο ως έκτακτη λύση σε περιοχές που χρειάζονται ψηγματοβολή και είναι αδύνατο να εφαρμοστεί.

- **Καθαρισμός εμβάπτισης σε οξέα (Pickling)**

Για την απομάκρυνση της καλαμίνας ή σκουριάς ανεπτυγμένης τοπικά μπορεί να γίνει καθαρισμός με εμβάπτιση σε θερμό λουτρό οξέων. Πρώτα γίνεται απολίπανση για να γίνεται διαβροχή, μετά σε λουτρό οξέος, όπου προστίθενται επιβραδυντές για αποφυγή της απευθείας επαφής μετάλλου-οξέος. Ύστερα τα κράματα ξεπλένονται με καθαρό νερό για να φύγουν υπολείμματα οξέος τα οποία ευθύνονται για δημιουργία φλукταινών στην επιφάνεια αν παραμείνουν. Τέλος ο χάλυβας παθητικοποιείται σε θερμό διάλυμα φωσφορικού οξέος 2%. Αυτή η μέθοδος μαζί με τον αλκαλικό καθαρισμό δεν προτιμάται συνήθως από ναυπηγεία λόγω των απαιτήσεων για μεγάλες δεξαμενές εμβάπτισης αλλά και αποθήκευσης ισχυρών οξέων, συναντάται όμως σε σωληνωργικές βιομηχανίες και σε εφαρμογές που δεν έχουν μεγάλες επιφάνειες καθαρισμού.

Στο τέλος πολλών μεθόδων ουσιαστικά και όπου είναι εφικτό τα ελάσματα τοποθετούνται σε χημικά διαλύματα που εγγυώνται την τελική απολίπανσή τους και την απομάκρυνση μικροσωματιδίων (λάδια, παλιότερα χρώματα κ.α.).

3.4 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

Από πραγματικά στατιστικά δεδομένα έχει παρατηρηθεί ότι συνήθως σε ένα πλοίο η περιοχή της κατασκευής που αστοχεί πρώτη η βαφή είναι αυτή των συγκολλήσεων. Μια συγκόλληση μπορεί να γίνει αποδεκτή ως προς την αντοχή της, μπορεί όμως να κριθεί ακατάλληλη για βέλτιστη εφαρμογή επικαλύψεων. Γι' αυτόν τον λόγο η επιφάνεια μιας συγκόλλησης πρέπει να είναι συνεχής και απαλλαγμένη από τρύπες προεσοχές και εσοχές. Κατάλοιπα συγκολλήσεων πρέπει να απομακρύνονται γιατί εισχωρούν στο επίστρωμα και προκαλούν την αποφλοίωσή του.

Οι τρύπες ή οι εσοχές πρέπει να γεμίζονται με κάποιο υλικό (εποξειδικό δύο συστατικών ή επανασυγκολλήσεις). Το βούρτσισμα της επιφάνειας συγκόλλησης δεν πρέπει να προχωρήσει πολύ διότι θα εξασθενήσει την επισκευή. Προτείνεται η χρήση ασταριού έπειτα ως πρόσθετη προστασία.

3.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ

Μετά τον καθαρισμό της επιφάνειας ακολουθεί η βαφή και η μέθοδος που θα εφαρμοστεί εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας και το είδος του επιχρίσματος. Οι συνηθέστερες μέθοδοι είναι οι εξής :

- **Πινέλο – Ρολό** : Προτιμάται μόνο για μικρές επιφάνειες και σε τμήματα που το γεωμετρικό τους σχήμα απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Σε λίγο μεγαλύτερες επιφάνειες χρησιμοποιούνται και αυτόματα μηχανικά ρολά.
- **Εκνέφωση-Ψεκασμός (Spray)** : Η μέθοδος αυτή διαχωρίζεται σε θερμή και ψυχρή εκνέφωση. Χρησιμοποιείται σε μεγάλες επιφάνειες για να καλυφθούν γρήγορα και ομοιόμορφα. Η ψυχρή εκνέφωση δημιουργεί επίστρωμα μικρότερου πάχους.
- **Εμβάπτιση** : Χρήση σε επιφάνειες που δεν μας απασχολεί αισθητικά το αποτέλεσμα.
- **Θέρμανση** : Σε φούρνους με θερμαινόμενο αέρα γίνεται ξήρανση των χρωμάτων που έχουν διαλυτικό παρασύροντας έτσι και τους ατμούς που παράγονται. Αν το χρώμα έχει ρητίνες απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες και γι' αυτό γίνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις. Τελευταία χρησιμοποιούνται τεχνικές με ακτινοβολία υπέρυθρων αυξάνοντας επιφανειακά τη θερμοκρασία χωρίς να επηρεαστεί το μεταλλικό υπόστρωμα και οι μηχανικές του ιδιότητες.
- **Εφαρμογή στερεών επικαλύψεων ως πούδρα (powder coating)** : Όλα τα χημικά τοποθετούνται σε ένα μύλο με σφαιρίδια για να αλεστούν και να δημιουργηθεί η πούδρα. Η εφαρμογή της πάνω στη μεταλλική επιφάνεια γίνεται είτε με ηλεκτροστατικό σπρέι είτε με την εναπόθεση στη θερμή επιφάνεια (σημείο τήξης) της πούδρας ώστε να γίνει η επικάλυψη.

Οι συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας του χάλυβα και του περιβάλλοντος επηρεάζουν τις ιδιότητες του βουρτσίσματος και του ψεκασμού, την εξάτμιση του διαλυτικού, το χρόνο του στεγνώματος και σκλήρυνσης. Ειδικότερα η θερμοκρασία του χάλυβα θα πρέπει να είναι 3 βαθμούς Κελσίου μεγαλύτερη από το σημείο δρόσου του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος.

3.6 ΔΡΑΣΗ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΩΝ ΧΡΩΜΑΤΩΝ

Πέραν των αντιδιαβρωτικών ιδιοτήτων τους τα χρώματα πρέπει να έχουν και κάποια άλλα χαρακτηριστικά, όπως καλή αντοχή κατά της γήρανσης, καλή συνάφεια με το υπόστρωμα, σκληρότητα και ικανοποιητικό αισθητικό αποτέλεσμα. Η σωστή εφαρμογή χρωμάτων συμβάλλει στην μόνωση της κατασκευής από το εξωτερικό περιβάλλον, την υγρασία, τη θερμοκρασία αλλά και στη μείωση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των επιφανειών που μειώνουν το ρυθμό διάβρωσης.

Συνοπτικά η δράση τους μπορεί να ταξινομηθεί ως εξής.

3.6.1 ΜΟΝΩΣΗ

Η μόνωση της κατασκευής πρέπει να έχει καλή αντοχή στο νερό και πλήρης έλλειψη πόρων για να γίνεται απορρόφηση υδατμών και άλλων διαβρωτικών συστατικών, μικρή θερμική αγωγιμότητα και να δυσχεραίνουν το φαινόμενο της ώσμωσης. Μόνωση από το νερό και την υγρασία επιτυγχάνεται με χρήση τασιενεργών ουσιών που αυξάνουν τη διαβροχή της επιφάνειας από το επικαλυπτικό, αυξάνοντας έτσι τη διαβρωτική προστασία. Το επικαλυπτικό γίνεται έτσι υδρόφοβο πιο εύχρηστο και οικονομικό. Τα αντιδιαβρωτικά προσφέρουν και θερμική μόνωση. Η διαπερατότητα του στρώματος επηρεάζεται από τη θερμοκρασία καθώς η αύξηση της οδηγεί στην επιτάχυνση της διάλυσης και στη διαστολή των πόρων του επιστρώματος. Τα τελικά υποστρώματα που είναι σε άμεση επαφή με το γυμνό υλικό συντελούν στον αποκλεισμό μεταφοράς μάζας. Γι' αυτό χρειάζεται να μην είναι πορώδη ώστε να αποτρέπεται η μεταφορά διαβρωτικών ουσιών από το υλικό στο περιβάλλον και αντιστρόφως.

3.6.2 ΠΑΘΗΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Ο χάλυβας κατά τη διάβρωσή του σχηματίζει ένα παθητικό στρώμα οξειδίου το οποίο δρα ως προστασία. Υπάρχουν κατηγορίες επικαλυπτικών που ενισχύουν αυτήν την παθητικοποίηση αυξάνοντας τη τάση για σχηματισμό του και ρυθμίζοντας επίσης την ταχύτητα ώστε το αντιδιαβρωτικό να έχει καλή πρόσφυση και να είναι συνεκτικό.

3.6.3 ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Το δυναμικό διάβρωσης επηρεάζει άμεσα την ταχύτητα διάβρωσης. Τα παρακάτω αντιδιαβρωτικά αναπτύχθηκαν γι' αυτόν το λόγο, να μειώνουν το δυναμικό. Τα τρία πιο βασικά είναι τα δίπολα μόρια, οι θυσιαζόμενες αταξίες και οι θυσιαζόμενες μεταλλικές σκόνες που αναφερθήκαμε για τη δράση τους στο δεύτερο κεφάλαιο.

3.6.4 ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Η ταχύτητα διάβρωσης εξαρτάται από την ηλεκτρική αντίσταση που επηρεάζει την ένταση του ρεύματος διάβρωσης. Γι' αυτό δημιουργήθηκαν αντιδιαβρωτικά με μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση όπως είναι όλα τα πολυμερή που χρησιμοποιούνται ευρέως ως μονωτικά ηλεκτρισμού.

3.6.5 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

Τα χρώματα του εμπορίου έχουν συνήθως συνδυαστική δράση καθώς μπορεί να έχουν παραπάνω των μια βασικών ιδιοτήτων που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

[ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ]

1. Π. Βασιλείου, Θ. Σκουλικίδης, «Διάβρωση και προστασία υλικών». Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2007
2. Κωνσταντίνου Α. Καγκαράκη, «Η προστασία των μετάλλων εκ της διαβρώσεως», Ε. Μ. Π., Αθήνα 1971
3. Διαμαντής Ν., «Προστασία μεταλλικών κατασκευών σε συνδυασμό αντιδιαβρωτικών χρωμάτων και καθοδικής προστασίας», Διδακτορική Διατριβή, Ε. Μ. Π. 1996
4. Π. Βασιλείου & Ανδρεόπουλος Α., «Υλικά: Ξύλο, Κεραμικά, Πολυμερή, Μέταλλα», Ε. Μ. Π. 2004
5. Π. Καρύδης, «Επιθεώρηση, συντήρηση και επισκευή της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου», Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε. Μ. Π., Αθήνα 2002
6. Σωτήρη Π. Βλάχου, «Προστασία χάλυβα από διάβρωση», Αθήνα 1991
7. Θ. Ν. Σκουλικίδης, Π. Βασιλείου, Α. Ανδρεόπουλος, «Τεχνικά υλικά. Συμπεριφορά και προστασία», Ε. Μ. Π. 1989
9. Δ. Ι. Παντελής, Δ. Τσιούρβα, «Διάβρωση και προστασία ναυπηγικών και μηχανολογικών κατασκευών». Εκδόσεις Ε. Μ. Π., Αθήνα 2012
8. Π. Γ. Βασιλείου, «Νέα αντιδιαβρωτικά χρώματα. Αξιοποίηση των ημιαγωγικών ιδιοτήτων μετάλλων οξειδίων», Διδακτορική διατριβή Ε. Μ. Π.
9. Ahmad Z., «Principles of corrosion engineering and corrosion control», Elsevier Science & Technology Books 2006

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΝΑΥΠΗΓΙΚΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

4.1 ΝΑΥΠΗΓΙΚΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ (ΓΕΝΙΚΑ)

Οι χάλυβες για την κατασκευή πλοίων παράγονται κυρίως με τις μεθόδους

- Ανοιχτής φλογοκαμίνου
- Ηλεκτρικής καμίνου
- Βασικού οξυγόνου (BOS)

Σύμφωνα με το πρότυπο A131M της ASTM οι ναυπηγικοί χάλυβες διακρίνονται σε κοινούς χάλυβες με τις κωδικές ονομασίες A, B, D, DS και E με ελάχιστο όριο διαρροής τα 235 MPa και στους ενισχυμένους ή χάλυβες υψηλής αντοχής με ονομασίες AH, DH και EH με ελάχιστο όριο διαρροής 315-350 MPa.

ΚΟΙΝΟΙ ΝΑΥΠΗΓΙΚΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΚΑΤΑ ASTM A131

Χάλυβας	C _{max}	Mn	P _{max}	S _{max}	Si	Al ¹	Nb
A	0,21	²	0,035	0,035	0,50 max	-	-
B	0,21	0,80 min	0,035	0,035	0,35 max	-	-
D	0,21	0,60 min	0,035	0,035	0,10-0,35	0,020 min ⁴	-
E	0,18	0,70 min	0,035	0,035	0,10-0,35	0,020 min	-

Πίνακας 4.1-α : Χημική σύσταση κοινών ναυπηγικών χαλύβων

Για τους παραπάνω χάλυβες η ποσότητα μαγγανίου πρέπει να είναι το λιγότερο 2.5% μεγαλύτερη της % κ. β. περιεκτικότητας σε C. Το άθροισμα των περιεκτικότητων του C και του 1/6 του Mn δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 0.4%. Επίσης όταν το πάχος των ελασμάτων είναι μεγαλύτερο των 25 mm το Al είναι απαραίτητο.

Η χημική σύσταση των χαλύβων υψηλής αντοχής δίνεται παρακάτω στον πίνακα

ΧΑΛΥΒΑΣ	AH32, DH32, EH32 AH36, DH36, EH36 AH40, DH40, EH40
Χημική Σύσταση % κ.β	
C _{max}	0,18
Mn	0,90 – 1,60 ⁽¹⁾
Si _{max}	0,50
P _{max}	0,035
S _{max}	0,035
Al ₍₂₎	0,015
Nb ₍₂₎	0,02 – 0,05
V ₍₂₎	0,05 – 0,10
Ti _{max} ⁽²⁾	0,02
Cu _{max}	0,35
Cr _{max}	0,20
Ni _{max}	0,40
Mo _{max}	0,08

Πίνακας 4.1-β : Χημική σύσταση χαλύβων υψηλής αντοχής

Για πάχη μικρά ως 12 mm οι χάλυβες είναι μερικώς αποξειδωμένοι ενώ για μεγαλύτερα πάχη είναι πλήρως οξειδωμένοι. Επίσης πρέπει το 1/6 της περιεκτικότητας σε C και Mn να μην υπερβαίνει την τιμή 0.4 %.

4.2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ						
Χάλυβας	Όριο διαρροής σε MPa	Όριο Θραύσης σε MPa	% Επιμήκυνση	Δυσθραυστότητα (J) για t ≤ 50 mm		
				θ °C	διαμήκης	εγκάρσια
A- B- D- E	>235	400-520	22%	+20		
				0	27	20
				-20	27	20
				-40	27	20
AH32- DH32 EH32	315-350	440-590	22%	0	31	22
				-20	31	22
				-40	31	22
AH36 DH36 EH36	>350	490-620	21%	0	34	24
				-20	34	24
				-40	34	24
AH40 DH40 EH40	>390	510-660	20%	0	41	27
				-20	41	27
				-40	41	27

Πίνακας 4.2-α : Μηχανικές ιδιότητες ναυπηγικών χαλύβων

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια τάση προτίμησης των χαλύβων υψηλής αντοχής έναντι των κοινών λόγω των καλύτερων μηχανικών τους ιδιοτήτων με αποτέλεσμα τις μικρότερες διατομές στα δομικά στοιχεία του πλοίου που οδηγούν και στη μείωση του βάρους της κατασκευής. Στην παρούσα πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια χάλυβα AH36.

Οι χάλυβες υψηλής αντοχής υπόκεινται σε μεγαλύτερες τάσεις λόγω του μειωμένου πάχους και γι' αυτό η απόξεση των επικαλύψεων γίνεται πιο γρήγορα, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο διάβρωσης με μηχανική καταπόνηση. Επίσης το μειωμένο πάχος σημαίνει και μειωμένο περιθώριο διάβρωσης (corrosion margin) - το πάχος του χάλυβα δηλαδή που επιτρέπεται να διαβρωθεί χωρίς να κινδυνέψει η κατασκευή. Παρακάτω είναι ένας πίνακας που δείχνει τα περιθώρια διάβρωσης για τους χάλυβες υψηλής αντοχής AH32 και AH36.

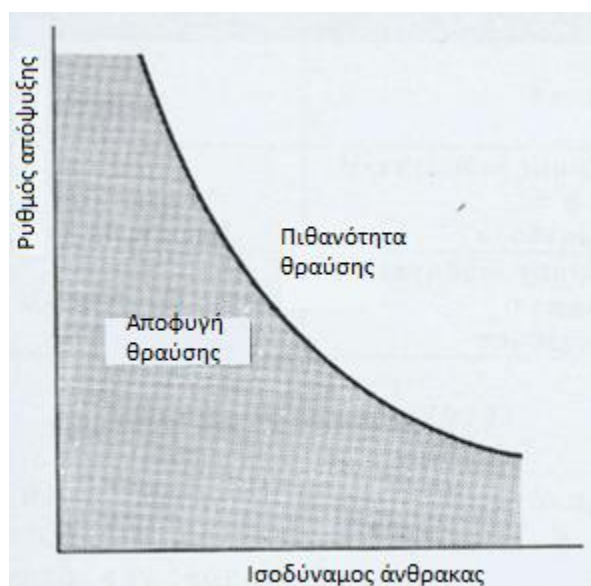
Panel description	AH32		AH36	
	t _{initial}	t _{min}	t _{initial}	t _{min}
Bottom	19.0	15.0	18.5	15.0
Side, general	21.0	17.0	19.0	16.0
Side upper	17.5	14.0	17.5	14.0
Deck	19.0	15.5	17.0	15.5
Inner side, mid height	16.5	13.5	15.0	12.5
Inner side, upper	20.0	16.0	20.0	16.0
Inner bottom	20.0	16.0	19.0	15.5
LBHD, lower strake	21.5	17.5	19.0	15.5
LBHD, mid height	15.5	12.5	14.0	12.5
LBHD upper strake	18.0	14.5	17.5	14.0
Stringers in double side	12.5	10.5		
Transv. frame, bottom	19.0	15.5		
Transv. Frame, deck, COT	12.0	9.5		
Transv. Bhd, BWT	20.0	16.0		
Transv. Bhd, COT, mid height	14.0	11.0		
Stringers in double side	12.5	10.0		

Πίνακας 4.2-β : Περιθώρια διάβρωσης

4.3 ΝΑΥΠΗΓΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ ΑΗ36

ΑΗ36 είναι η διεθνής επίσημη κωδική ονομασία του ναυπηγικού χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πειραματική διαδικασία σύμφωνα με το πρότυπο A131M της ASTM και έτσι αναγνωρίζεται και από τη Διεθνή Ομοσπονδία Νηογνομόνων (International Association of Classification Societies IACS). Μπορεί να συναντηθεί επίσης με κωδική ονομασία K11852 (Η.Π.Α), A36 (Ρωσία) και 1.0565 στη Γερμανία.

Η σκληρότητα του είναι κοντά στα 180 Vickers. Η τιμή του ισοδύναμου άνθρακα C_{eq} κυμαίνεται από 0.38 – 0.57 αφού υπάρχει μεγάλη διακύμανση και στην περιεκτικότητα σε Mn. Συνήθως η τιμή του C_{eq} δεν ξεπερνάει την τιμή 0.4 ενώ για τιμές κοντά στο 0.38 υπάρχει χαμηλή πιθανότητα ρωγμάτωσης στη Θ.Ε.Ζ. (Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη) ακόμα και με σχετικά υψηλούς ρυθμούς απόψυξης. Για τιμές μεγαλύτερες του 0.48 έχουμε υψηλές πιθανότητες ρωγμάτωσης ακόμη και σε χαμηλούς ρυθμούς απόψυξης.



Εικόνα 4.3-α : Διάγραμμα πιθανότητας θραύσης

4.3.1 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΑΗ36

Σε σχέση με τον κοινό χάλυβα (mild steel) ο χάλυβας υψηλής αντοχής διακρίνεται από :

- Μεγαλύτερη σκληρότητα
- Υψηλότερη αντοχή
- Παρόμοια αντοχή σε κόπωση
- Εξίσου καλή συγκολλησιμότητα
- Παρόμοια αντοχή σε διάβρωση (θαλάσσιου περιβάλλοντος)
- Χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα

Χρησιμοποιείται περισσότερο συχνά σε ανώτερα σημεία του πλοίου καθ' ύψος αλλά και σαν βοηθητικό έλασμα (girders, floors) και σαν ενισχυτικό στον πυθμένα ενώ για τη γάστρα και τις δεξαμενές γίνεται χρήση κοινού ναυπηγικού χάλυβα.

[ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ]

1. Β. Ι. Παπάζογλου, «Ναυπηγική Τεχνολογία», Εκδόσεις Ε. Μ. Π., Αθήνα 1995
2. Δ. Ι. Παντελής, «Διάβρωση και προστασία ναυπηγικών κατασκευών», Αθήνα Ε. Μ. Π. 2006
3. www.gangsteel.com
4. www.ysteelplate.com

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ – ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Η παρούσα εργασία είχε σκοπό να συγκρίνει τη συμπεριφορά χαλύβδινων δοκιμίων υψηλής αντοχής ΑΗ36 σε διάβρωση επιταχυνόμενης γήρανσης για να εξεταστεί η συμπεριφορά τους στην περίπτωση όπου η επιφάνεια είχε ήδη διαβρωθεί και μετά από καθαρισμό επαναβαφεί και εκτεθεί εκ νέου σε διαβρωτικό περιβάλλον. Για την επιτάχυνση της διάβρωσης έγινε χρήση του θαλάμου αλατονέφωσης του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Ηλεκτροχημείας της σχολής Χημικών Μηχανικών. Η γενική ιδέα ήταν να υπάρχουν δυο ομάδες δοκιμίων, μία που δεν είχε διαβρωθεί και μία δεύτερη, που η διάβρωση που είχαν υποστεί τα δοκίμια της να ήταν περισσότερο αισθητή στο γυμνό μάτι χωρίς όμως κανένα δοκίμιο να έχει προσβληθεί σε βαθμό που κρίνεται σχετικά επικίνδυνος.

Αφού έγινε αυτή η διαλογή των δοκιμίων που αποτελείτο από δύο ομάδες των δέκα (10) δοκιμίων η κάθε μια, το επόμενο βήμα ήταν να χρησιμοποιηθεί το μηχάνημα ψηγματοβολής του εργαστηρίου ώστε να εφαρμοστεί ένας πλήρης καθαρισμός των δοκιμίων μέχρι να εμφανιστεί η γυμνή επιφάνεια τους.

Αυτό έγινε με σκοπό την προστασία όλων των κραμάτων εκ νέου με αντιδιαβρωτικό χρώμα μετά την προστασία τους. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος απώλειας βάρους στη μελέτη των δοκιμίων ως πλέον αξιόπιστη μέθοδος για τη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία. Αυτό, διότι ο σκοπός δεν ήταν να μελετηθεί ειδικά η συμπεριφορά καθενός δοκιμίου, αλλά να γίνει μια σύγκριση μεταξύ των δύο ομάδων και να επιβεβαιωθεί ότι, όταν το υλικό που θα προστατευθεί δεν έχει προσβληθεί σε καταστροφικό και επικίνδυνο βαθμό τότε, μια ικανοποιητική προετοιμασία της επιφάνειας του και η επικάλυψή του με αντιδιαβρωτικό για να προστατευθεί εκ νέου, είναι αρκούτσως ικανά να προστατεύσουν σε μεγάλο βαθμό την κατασκευή και να εγγυηθούν τη διάρκεια ζωής της παρέχοντας παρόμοια αποτελέσματα, ακόμη και αν τα μέταλλα είχαν υποστεί πρότερη διάβρωση, η οποία βέβαια ήταν εντός επιτρεπόμενων ορίων.

Για να καταλήξουμε σε αυτό το συμπέρασμα θα έπρεπε μετά το πέρας του πειράματος στο θάλαμο της αλατονέφωσης να καθαριστούν τα δοκίμια από όλα τα προϊόντα οξείδωσης και να ζυγιστούν ώστε να συγκριθούν οι απώλειες βαρών των δύο ομάδων πριν και μετά την έκθεση. Αυτά τα βήματα θα αναλυθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου.

5.2 ΘΑΛΑΜΟΣ ΑΛΑΤΑΝΕΦΩΣΗΣ – ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η αλατονέφωση (saltspray) είναι μία μέθοδος που ξεκίνησε να χρησιμοποιείται περίπου τα τελευταία 90 χρόνια για να αξιολογείται η ποιότητα οργανικών και ανόργανων αντιδιαβρωτικών επιστρώσεων. Χρησιμοποιείται ευρέως στην αυτοκινητοβιομηχανία και σε βιομηχανίες που παράγουν βαμμένα μεταλλικά αντικείμενα για να διαπιστώνεται αν κάποια παρτίδα είναι προβληματική.

Η τεχνική της αλατονέφωσης θεωρείται η πιο χρήσιμη μέθοδος αναπαραγωγής των διαβρωτικών συνθηκών που προσομοιάζουν αυτές των παραθαλάσσιων περιοχών. Έχουν δημιουργηθεί επίσης πρότυπα που προβλέπουν τη χρήση συνθετικού θαλασσινού νερού (ASTM G85-Annex A3) ή SO₂ (ASTM G85-Annex A4) και η τυποποίησή τους είναι σύμφωνη και με το ASTM πρότυπο αλλά και με το ISO 9227.

Το μηχάνημα της αλατονέφωσης δεν αποτελεί κάποια μετρητική συσκευή, δεν μας δίνει δηλαδή ψηφιακά ή αναλογικά δεδομένα σχετιζόμενα με κάποιο φυσικό μέγεθος που συμμετέχει στις διαδικασίες της οξείδωσης του υλικού.

Δημιουργεί ένα κλειστό σύστημα με εντονότερες συνθήκες από αυτές ενός αυθόρμητου διαβρωτικού περιβάλλοντος που μπορούν να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας από το χειριστή της κατασκευής εάν το επιθυμεί ώστε να επιταχύνει ή να επιβραδύνει τα φαινόμενα οξείδωσης. Συγκεκριμένα στο θάλαμο αλατονέφωσης μπορεί να ρυθμιστεί η θερμοκρασία μεταξύ 15 έως 45 βαθμών Κελσίου αλλά και το διάλυμα το οποίο θα ψεκάζεται μέσα στο θάλαμο όπου συνήθως είναι διάλυμα χλωριούχου νατρίου (NaCl) εξ' ου και η ονομασία (αλατονέφωση – ψεκασμός νέφους άλατος). Η διαδικασία της αλατονέφωσης προετοιμάζει έτσι τα υλικά διαβρώνοντάς τα ώστε να μελετηθούν περαιτέρω με διάφορες μεθόδους όπως μικροσκοπία, ηλεκτρονική μικροσκοπία και φασματοσκοπικές μεθόδους.

Στην συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε η περαιτέρω ανάλυση με τη μέθοδο απώλειας βάρους όπως εξηγήθηκε ο λόγος στην εισαγωγή του παρόντος κεφαλαίου.

5.2.1 Κεντρικός θάλαμος – Θάλαμος πειραμάτων

Το πιο βασικό τμήμα της συσκευής αλατονέφωσης, ο κεντρικός της θάλαμος δηλαδή που τοποθετούνται τα υλικά, αποτελεί το κλειστό σύστημα διαβρωτικού περιβάλλοντος και συνήθως χαρακτηρίζεται όλη η συσκευή μόνο απ' αυτό ως θάλαμος αλατονέφωσης. Έχει ορθογωνική διατομή, το μέγεθος του ποικίλλει ανάλογα το μοντέλο της συσκευής, είναι πλαστικό ή μεταλλικό επικαλυμμένο από πλαστικό και κλείνει αεροστεγώς μέσω ενός κινητού θόλου που λειτουργεί ως σφράγισμα-σκέπασμα – καπάκι.

Στο εσωτερικό του βρίσκονται κατάλληλα στηρίγματα για τοποθέτηση των δοκιμών με βάσεις για την ανάρτησή τους σε σχήμα ράβδου ή άλλων γεωμετρικών σχημάτων. Επίσης στον πυθμένα του βρίσκεται μία οπή όπου γίνεται η εκκένωση του νερού που συσσωρεύεται από την υγροποίηση των υδρατμών που μέσα στον θάλαμο. Ακόμη υπάρχει μια μικρή οπή εξόδου του αέρα που χρησιμοποιείται ώστε η πίεση εντός του θαλάμου να είναι ίδια με την ατμοσφαιρική.

Τα πλευρικά τοιχώματα του θαλάμου είναι διπλά για να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία στο εσωτερικό του. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται είτε με τοποθέτηση ηλεκτρικής αντίστασης στο διάκενο είτε με την κυκλοφορία ενός ρευστού (νερό συνήθως).

5.2.2 Σύστημα αποθήκευσης, τροφοδοσίας και εκνέφωσης του διαβρωτικού μέσου

Ο κυλινδρικός θάλαμος με διαφανή ημισφαιρικό θόλο συνδέεται με μια δεξαμενή όπου αποθηκεύεται το διαβρωτικό διάλυμα. Μέσω ενός ακροφυσίου το διαβρωτικό μας μέσο διοχετεύεται μέσα στο θάλαμο μαζί με υγρό αέρα που το στέλνει ο υγροποιητής (humidifier), ο οποίος τροφοδοτείται με αέρα υπό πίεση από τον εξωτερικό αεροσυμπιεστή (air compressor).

Ο υπό πίεση αέρας διέρχεται μέσα από συγκεκριμένη διάταξη, περνά μέσα από μια στήλη νερού ορισμένης θερμοκρασίας, προκαλώντας έτσι τον κορεσμό της υγρασίας του αφού έρχεται σε θερμική ισορροπία με το υγρό νερό. Το ακροφύσιο ψεκάζει έτσι τον θάλαμο με τα σταγονίδια του διαβρωτικού μέσου, δημιουργώντας ένα ομιχλώδες νέφος στο εσωτερικό του ρυθμίζοντας με αυτόν τον τρόπο και τη θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος. Το πλέον συνηθισμένο διαβρωτικό μέσο είναι διάλυμα NaCl 5% κατά βάρος σε απιονισμένο νερό. Ο θάλαμος έχει επίσης τη δυνατότητα να συνδεθεί με φιάλες αέριων ρύπων όπως SO_x NO_x και άλλων για δημιουργία περαιτέρω διαβρωτικών συνθηκών.

5.3 ΒΗΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

[Α] Επιλογή δέκα δοκιμίων χάλυβα υψηλής αντοχής AH36 που δεν είχαν υποστεί διάβρωση.

[Β] Επιλογή δέκα δοκιμίων χάλυβα υψηλής αντοχής AH36 που είχαν υποστεί διάβρωση χωρίς κανένα να θεωρείται ότι έχει προσβληθεί σε επικίνδυνο ή μη επιτρεπτό βαθμό.

[Γ] Πλήρης καθαρισμός των δοκιμίων στη συσκευή ψηγατοβολής με οξείδιο του αλουμινίου-κορούνδιο (corundum Al₂O₃) 60 grid.

[Δ] Μαρκάρισμα των δοκιμίων και ζύγιση σε ζυγό ακριβείας με 4 δεκαδικά.

[Ε] Βάψιμο των δοκιμίων με αντιδιαβρωτικό χρώμα που και μέτρηση του πάχους επιστρώματος (coating thickness) αφότου στέγνωσαν.

[ΣΤ] Εισαγωγή των δοκιμίων στο θάλαμο αλατονέφωσης και περιοδική εξαγωγή τους (15, 34, 46, 65 ημέρες).

[Ζ] Πλύσιμο των δοκιμίων με απιονισμένο νερό για να απομακρυνθούν προϊόντα διάβρωσης και εμβάπτισή τους σε ακετόνη για να απομακρυνθεί το χρώμα.

[H] Ελαφρύ ξύσιμο των δοκιμίων ώστε να φύγουν και τα τελευταία υπολείμματα χρώματος.

[Θ] Εμβάπτιση των δοκιμίων σε υδροχλωρικό οξύ με αναστολέα διάβρωσης για 10 λεπτά, ξέπλυμα με απιονισμένο νερό να απομακρυνθεί το οξύ, ξέπλυμα με αιθυλική αλκοόλη για απομάκρυνση του νερού και τέλος ξέπλυμα με ακετόνη για να απομακρυνθεί το οινόπνευμα.

[I] Αφήνουμε τα δοκίμια να στεγνώσουν και γίνεται η τελική ζύγισή τους.

5.4 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΨΗΓΜΑΤΟΒΟΛΗΣ

Τα είκοσι συνολικά δοκίμια που διακρίθηκαν σε δύο ομάδες επιλέχθηκαν από μια πλειάδα χαλύβδινων δοκιμίων ΑΗ36 μερικά από τα οποία είχαν υποστεί πρότερη διάβρωση χωρίς καταστρεπτικές συνέπειες και εντός των επιτρεπόμενων ορίων τους σύμφωνα και με τη διάρκεια ζωής τους. Δημιουργήθηκε έτσι η ομάδα Α, όπου αποτελείτο από δοκίμια που δεν είχαν υποστεί διάβρωση και η ομάδα Β με δοκίμια που είχαν πρότερη διάβρωση εντός των επιτρεπόμενων ορίων σύμφωνα με τη διάρκεια ζωής τους.

Η προετοιμασία των επιφανειών της ομάδας Β προς βαφή έγινε με τη διαδικασία της ψηγματοβολής. Επετεύχθει έτσι ο καθαρισμός της επιφάνειας από σκουριά, ακαθαρσίες σκόνη και άλλες ουσίες που δυσχεραίνουν την καλή πρόσφυση του χρώματος αλλά και την κατάλληλη τραχύτητα ώστε να διεισδύσει το χρώμα εύκολα στην επιφάνεια. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στα συνοπτικά βήματα το 'ψήγμα' που χρησιμοποιήθηκε ήταν το κορούνδιο Al_2O_3 (corundum) μέσα στο κλειστό σύστημα της συσκευής που φαίνεται παρακάτω.



Εικόνες 5.4 -α & β : Εγκατάσταση Ψηματοβολής

5.5 ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Το επίστρωμα περιέχει στερεά αλλά και υγρά συστατικά τα οποία εν μέρει εξατμίζονται κατά την ξήρανση (οι πτητικές ουσίες) οδηγώντας έτσι σε μείωση του αρχικού όγκου της ποσότητας του χρώματος. Γι' αυτό αρκετές φορές διαχωρίζονται οι όροι πάχος υγρής μεμβράνης και πάχος ξηρής μεμβράνης.

Τα υγρά συστατικά αποτελούν τον φορέα του χρώματος ώστε να εναποτεθεί εκεί το πιγμέντο και οι συνδετικές ουσίες που είναι τα μόνα που μένουν σαν επικάλυψη αφού συμβεί η ξήρανση. Πιγμέντο και συνδετικές ουσίες ονομάζονται τα στερεά του χρώματος.

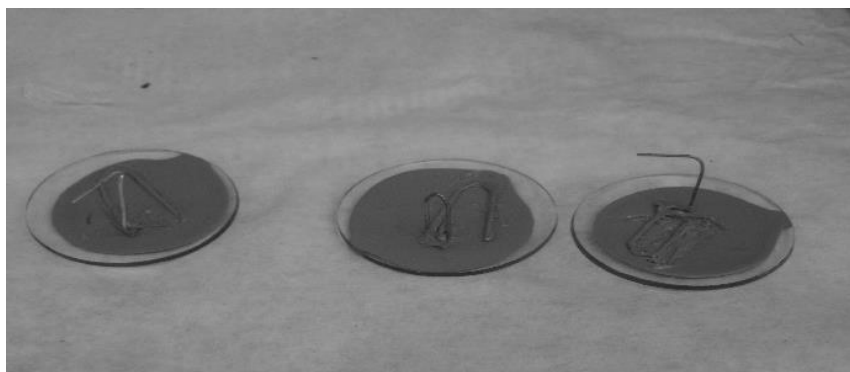
Το ποσοστό των στερεών και του υγρού καθορίζουν ουσιαστικά το πάχος ξηρής μεμβράνης. Συνεπώς μια υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά μπορεί να παρέχει παχύτερο στρώμα ξηρής μεμβράνης σχηματίζοντας καλύτερη επικάλυψη μεγαλύτερης προστασίας και διάρκειας συνήθως. Γι' αυτόν τον λόγο συνίσταται αραίωση του χρώματος μόνο όταν επιβάλλεται, όταν δηλαδή πρόκειται να εφαρμοστεί μέσω ψεκασμού, διότι οδηγεί σε μείωση της περιεκτικότητας σε στερεά κάτι που δεν είναι επιθυμητό μιας και σημαίνει λιγότερο αποδοτική προστασία.

Στο πείραμά μας οι πτητικές ουσίες προσδιορίστηκαν κατά βάρος. Έγινε χρήση τριών υάλων ωρολογίου όπου ρίξαμε ποσότητα χρώματος πάνω τους αφού είχαμε

τοποθετήσει εκεί έναν μεταλλικό συνδετήρα και τα είχαμε ζυγίσει και αφήνοντάς τα να στεγνώσουν τα ζυγίσαμε και πάλι.



Εικόνα 5.5-α Αντιδιαβρωτικό επικαλυπτικό με αλκυδικές ρητίνες που χρησιμοποιήθηκε (Rust Primer της Vivechrom)



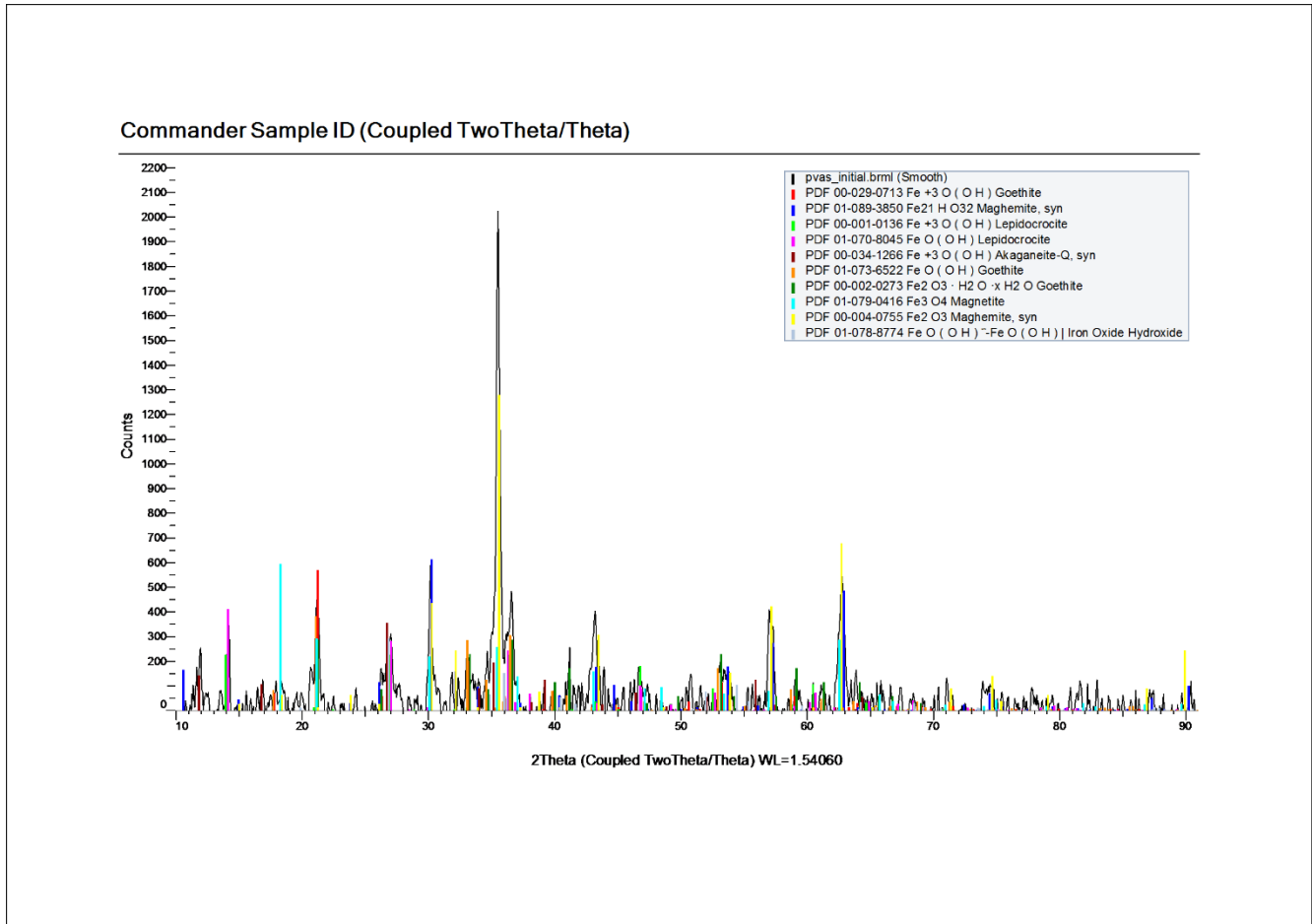
Εικόνα 5.5-β : Υπολογισμός στερεών του χρώματος

Πίνακας 5.5-α : Υπολογισμός πτητικών ουσιών

ΥΑΛΟΣ Α/Α	ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ ΥΑΛΟΥ [g]	ΒΑΡΟΣ ΥΑΛΟΥ ΥΓΡΗ ΜΠΟΓΙΑ	ΒΑΡΟΣ ΥΑΛΟΥ ΣΤΕΓΝΟ ΧΡΩΜΑ	ΑΠΟΛΥΤΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΒΑΡΟΥΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
<u>1</u>	10.4276	12.9706	12.3436	0.6270	24.7
<u>2</u>	9.1233	10.6455	10.2676	0.3779	24.8
<u>3</u>	10.8863	12.9357	12.4313	0.5044	24.6

Αφαιρούμε από το βάρος υάλου με υγρή μπογιά το καθαρό βάρος υάλου και ύστερα διαιρούμε την απόλυτη διαφορά βάρους με αυτό το μέγεθος ώστε να βρεθεί το ποσοστό κατά βάρος των πτητικών ουσιών. Οπότε διαλέγουμε τη μέση τιμή λέγοντας ότι το ποσοστό των στερεών στο αντιδιαβρωτικό επίσης είναι 75.3 % κατά βάρος.

Παραθέτουμε επίσης τα αποτελέσματα από την ανάλυση XRD, την περιθλαση ακτίνων Χ του ασταριού πάνω στα δοκίμια χάλυβα AH36 όπου φαίνονται αναλυτικά όλα τα σιδηρούχα κυρίως οξείδια που βρέθηκαν (μαγκεμίτης, μαγνητίτης, ακαγκενίτης, γκετίτης, λεπιδοκροκίτης, μονοξείδιο του σιδήρου-υδροξείδιο) .



Εικόνα 5.5-β : Ανάλυση XRD

5.6 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Είναι βασικό οι επιστρώσεις να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφες και το πάχος να μην ξεπερνά το ελάχιστο αποδεκτό όριο. Η ξηρότητα του χρώματος παίζει βασικό ρόλο στη μέτρηση του πάχους και παρόλο που μπορεί να στεγνώσει σχετικά γρήγορα ο διαλύτης αργεί να εξατμιστεί πλήρως. Οπότε αφού βάζαμε τα δοκίμια τα αφήσαμε 2-3 μέρες άθικτα στο εργαστήριο πριν κάνουμε τη μέτρηση πάχους του επιστρώματος.

Το ελάχιστο πάχος επιστρώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον το 90% του τυποποιημένου πάχους και η διαφορά να είναι μικρότερη του 10%. Όπου το επίστρωμα είναι πιο λεπτό καλύπτουμε με επιπλέον στρώσεις χρώματος μέχρι να ικανοποιηθούν οι συνθήκες αυτές.

Οι μετρήσεις έγιναν με ψηφιακή συσκευή που κάνει χρήση δινορευμάτων για μέτρηση πάχους επιστρωμάτων σε επιφάνειες με σιδηρούχο επίστρωμα και το μοντέλο μας ήταν το Elcometer F456. Διαθέτει ψηφιακή οθόνη, πλήκτρα ελέγχου και την κεφαλή την οποία τοποθετούσαμε κάθετα πάνω στις επιφάνειές σε σημεία που η μορφή φαινόταν να εξαπλώνεται ομοιόμορφα για να πάρουμε τις μετρήσεις.

Ενδεικτικά οι μετρήσεις κυμαίνονταν στα παρακάτω όρια :

- 67 +/- 21.8 μm
- 85.2 +/- 25.7 μm
- 74.2 +/- 31.4 μm
- 81.4 +/- 30.7 μm
- 67.6 +/- 10.7 μm
- 75.7 +/- 25 μm
- 64.5 +/- 15 μm
- 83 +/- 17.5 μm
- 84.8 +/- 17.8 μm
- 81 +/- 26 μm
- 74.1 +/- 15.6 μm
- 69.8 +/- 17.6 μm
- 79.2 +/- 11.5 μm
- 84.5 +/- 20.8 μm
- 72.8 +/- 23.8 μm
- 66.8 +/- 16.2 μm
- 72.5 +/- 16.6 μm
- 77.2 +/- 9 μm

Το πάχος των επιστρωμάτων μετρήθηκε για να επιβεβαιώσουμε ότι προστατεύονται ικανοποιητικά και τα είκοσι δοκίμια που επιλέξαμε. Το μέσο πάχος του ξηρού επιστρώματος είναι 75.628 +/- 19.594 [μm].

Εικόνα 5.6-α : Συσκευή μέτρησης πάχους επιστρωμάτων



5.7 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΑΛΑΤΟΝΕΦΩΣΗΣ

Αναφέρουμε επίσης ότι το μοντέλο της συσκευής που διαθέτει το εργαστήριο είναι το Eichsen model 606. Στις δοκιμές μας τα δοκίμια βρίσκονται σε περιβάλλον συνεχούς ψεκασμού με διάλυμα NaCl 5% στους 30 βαθμούς Κελσίου παραμένοντας χωρίς μεταβολή αυτών των παραμέτρων κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Τα δοκίμια στηρίχτηκαν στις βάσεις των στηριγμάτων του θαλάμου υπό με τον κατακόρυφο άξονα κρεμασμένα με πετονιά από κάθετα στηρίγματα και όλα σε ξεχωριστή θέση ώστε να μην βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους.

Πέραν των μικρών διακοπών για έλεγχο ή απομάκρυνση δοκιμίων αλλά και ανανέωση του διαβρωτικού διαλύματος οι συνθήκες του διαβρωτικού περιβάλλοντος ήταν συνεχείς το κύκλωμα παρέμενε κλειστό και απομονωμένο από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον και ο ψεκασμός λειτουργούσε διαρκώς.

5.8 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΒΑΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΚΡΙΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΟΜΑΔΩΝ

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου αυτού ύστερα από 65 ημέρες απομακρύναμε και τα τελευταία δοκίμια από τον θάλαμο αλατονέφωσης καθαρίζοντας τα πλήρως πρώτα με νερό και σαπούνι για τα προϊόντα διάβρωσης και ύστερα με εμβάπτιση σε διάλυμα ακετόνης ώστε να απομακρυνθεί και το χρώμα. Αυτό έγινε για όλα τα δοκίμια όταν τα βγάζαμε από τον θάλαμο. Υπενθυμίζουμε ότι μετά από διαλογή περί των 40 δοκιμίων χάλυβα ΑΗ36 επιλέξαμε 10 δοκίμια όπου η επιφάνειά τους **δεν** είχε **προϊστορία διάβρωσης (ΟΜΑΔΑ Α)** και δέκα που είχαν **(ΟΜΑΔΑ Β)** αλλά εντός επιτρεπόμενων ορίων απώλειας υλικού.

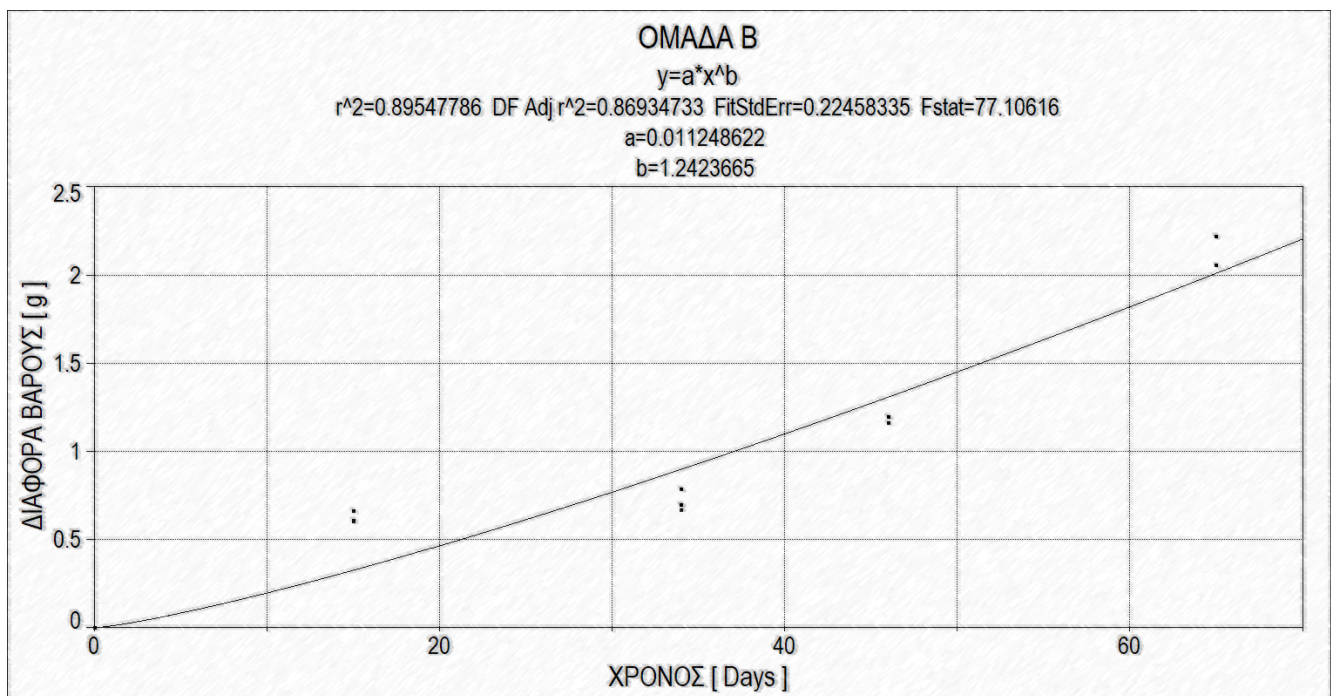
Για κάθε ομάδα τρία (3) δοκίμια αφέθηκαν για 15 ημέρες, τρία (3) για 34 ημέρες, δύο (2) για 46 ημέρες και δύο (2) για 65 ημέρες.

Αφού πλέον είχαν καθαριστεί και τα τελευταία δοκίμια είχαμε και όλες τις διαφορές βαρών. Είχαμε τις μετρήσεις βαρών τους μετά την ψηγματοβολή και τελικώς μετά το πέρας της επιταχυνόμενης γήρανσής τους στον θάλαμο αλατονέφωσης και τον πλήρη καθαρισμό τους.

Παραθέτουμε τους πίνακες αρχικών και τελικών βαρών καθώς και τα διαγράμματα που έγιναν στο Tablecurve2D αναδεικνύοντας και την εξέλιξη του φαινομένου. Τα δεδομένα μας (απώλεια βάρους προσεγγίζονται από συνάρτηση εκθετικής μορφής $a \cdot x^b$, όπου ο συντελεστής a δείχνει την αρχική προσβολή των δοκιμίων και η μεταβλητή x είναι ο χρόνος παραμονής τους στο θάλαμο της αλατονέφωσης. Η καμπύλη $y = a \cdot x^b$ μας δείχνει ουσιαστικά την εξέλιξη του ρυθμού διάβρωσης ως προς το χρόνο που συνεχίζουν να προσβάλλονται υπό αυτές τις συνθήκες. Έγινε φανερό επίσης ότι οι συμπεριφορές των δύο ομάδων είναι παραπλήσιες επιβεβαιώνοντας έτσι την αρχική μας πρόβλεψη και τον σκοπό της πειραματικής αυτής διαδικασίας.

ΟΜΑΔΑ Β (ΜΕ ΠΡΟΪΣΤΟΡΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ)			
ΗΜΕΡΕΣ (DAYS)	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ [g]	ΤΕΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ [g]	ΔΙΑΦΟΡΑ ΒΑΡΟΥΣ [g]
15	173.4243	172.8211	0.6032
15	172.2654	171.6573	0.6081
15	175.1062	174.4441	0.6621
34	179.8389	179.1675	0.6714
34	180.4092	179.7092	0.7
34	177.5531	176.7665	0.7866
46	172.7713	171.6061	1.1652
46	175.3365	174.1713	1.2001
65	174.6834	172.6232	2.0602
65	168.2742	166.0526	2.2216

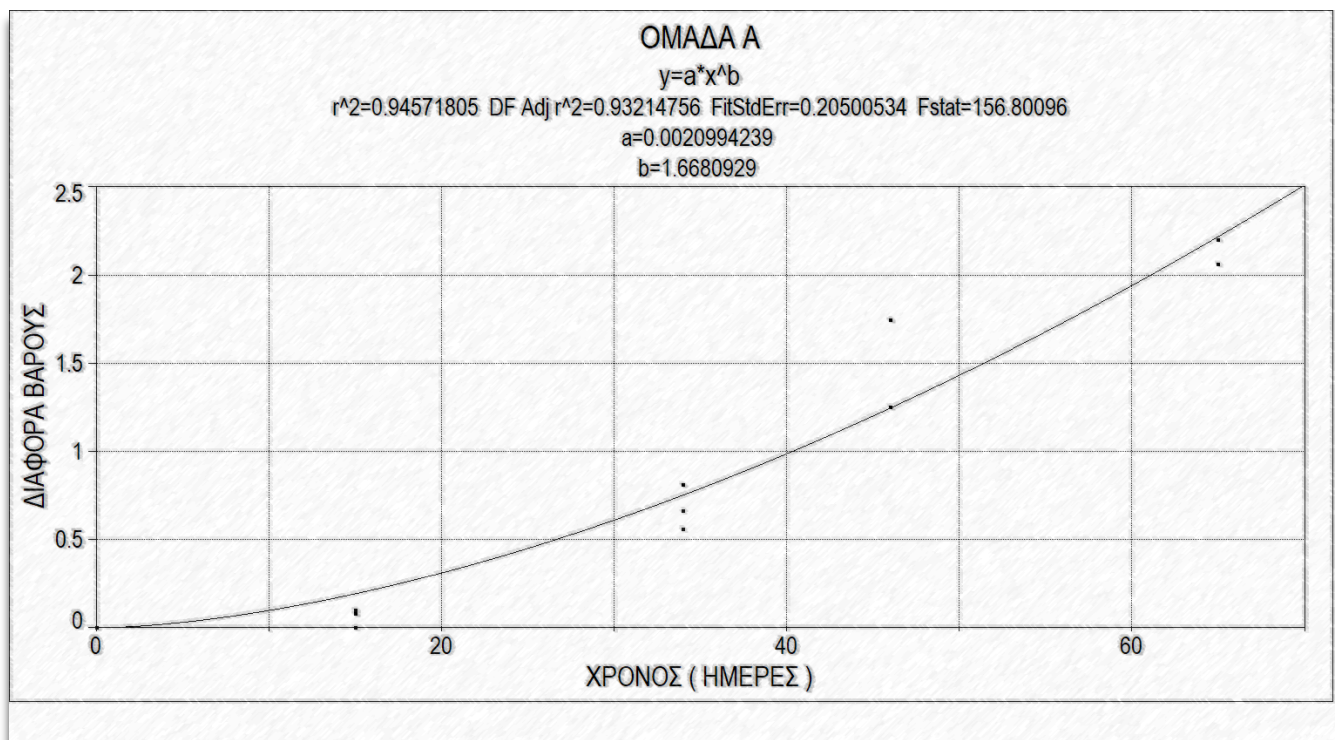
Πίνακας 5.8-α : Ανάλυση βαρών ομάδας Β (με προΐστορία διάβρωσης)



Εικόνα 5.8-α : Καμπύλη διάβρωσης ομάδας Β (με προΐστορία διάβρωσης)

ΟΜΑΔΑ Α (ΧΩΡΙΣ ΠΡΟΪΣΤΟΡΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ)			
ΗΜΕΡΕΣ (DAYS)	ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ [g]	ΤΕΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ [g]	ΔΙΑΦΟΡΑ ΒΑΡΟΥΣ [g]
15	162.1708	162.1672	0.0035
15	165.2145	165.1322	0.0823
15	177.893	177.7938	0.0992
34	178.7462	178.1839	0.5623
34	168.4379	167.7726	0.6653
34	172.8926	172.0802	0.8124
46	180.1199	178.8690	1.2509
46	161.7105	159.9642	1.7463
65	166.669	164.6054	2.0636
65	167.821	165.6210	2.2

Πίνακας 5.8-β : Ανάλυση βαρών ομάδας Α (χωρίς προΐστορία διάβρωσης)



Εικόνα 5.8-β : Καμπύλη διάβρωσης ομάδας Α (χωρίς προΐστορία διάβρωσης)

Όλα τα δοκίμια είχαν παραχθεί με τη μέθοδο της υδροκοπής έχοντας έτσι μεγάλη ακρίβεια διαστάσεων η οποία ήταν 61 x 61 x 6 [mm].

Επίσης παραθέτουμε και τις φωτογραφίες των δοκιμών :

Για την ομάδα Β :



Εικόνα 5.8-γ : Έκθεση 15 ημερών



Εικόνα 5.8-δ : Έκθεση 34 ημερών



Εικόνα 5.8-ε : Έκθεση 46 ημερών



Εικόνα 5.8-στ : Έκθεση 65 ημερών

Για την ομάδα Α :



Εικόνα 5.8-ζ : Έκθεση 15 ημερών



Εικόνα 5.8-η : Έκθεση 34 ημερών



Εικόνα 5.8-θ : Έκθεση 46 ημερών

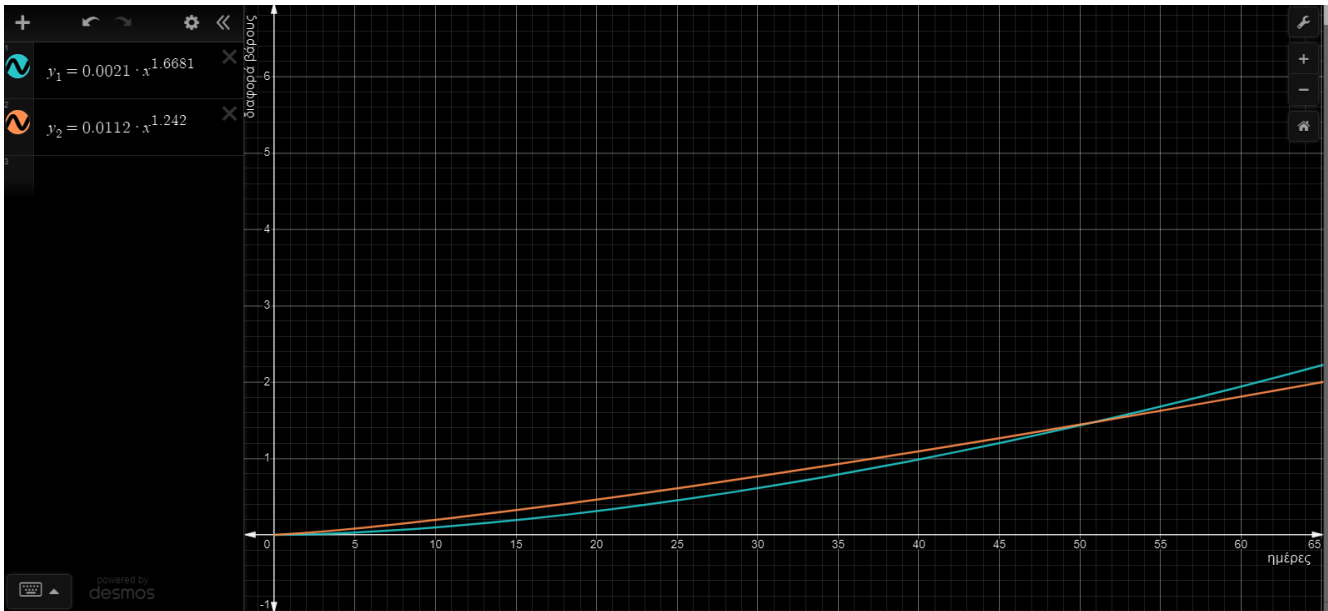


Εικόνα 5.8-ι : Έκθεση 65 ημερών

Σε όλα τα δοκίμια δείχνουμε τη μία πλευρά που είναι η περισσότερο προσβεβλημένη από την οξείδωση. Τα δοκίμια παρ' όλο που ήταν μαρκαρισμένα-αριθμημένα με μολύβι αυτό χάθηκε μέσα στο έντονο διαβρωτικό περιβάλλον του θαλάμου και της τεράστιας υγρασίας που επικρατεί εκεί. Αυτό βέβαια δεν επηρέασε καθόλου την σωστή εκτέλεση των περαιτέρω μετρήσεων μας καθώς τα αριθμημένα δοκίμια είχαν ζυγιστεί πριν την ψηγματοβολή και είχαν τοποθετηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στο θάλαμο, οπότε μετά αριθμήθηκαν εκ νέου όπως και πριν. Αυτό γιατί το κάθε δοκίμιο θα έβγαινε σε συγκεκριμένες ημερομηνίες και κάθε φορά γνωρίζαμε και είχαμε προγραμματίσει ποιο θα βγει πότε και από ποια θέση, ώστε να γνωρίζουμε ακριβώς ποιο είναι.

5.8.1 ΤΕΛΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

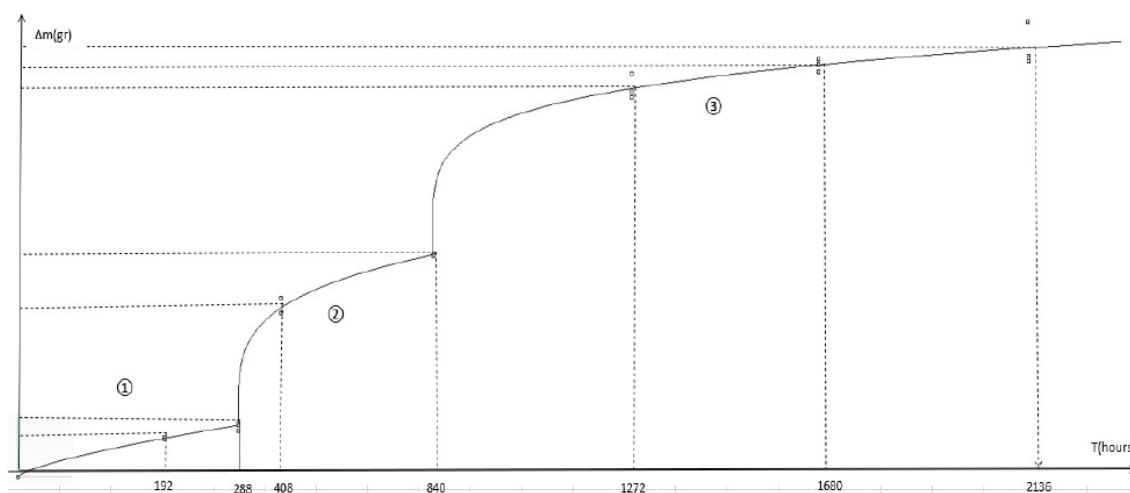
Παρακάτω παρατίθεται ένα ενιαίο διάγραμμα για τις δυο καμπύλες διάβρωσης που είχαμε λάβει μέσω του προγράμματος Tablecurve2d. Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Desmos Graphing Calculator για να παρουσιαστούν οι προσεγγιστικές καμπύλες διάβρωσης σε ένα κοινό διάγραμμα. Η μπλε καμπύλη $y_1=0.0021*x^{1.6681}$ είναι η καμπύλη διάβρωσης που αντιστοιχεί στην ομάδα Α (χωρίς προϊστορία διάβρωσης) ενώ η κόκκινη καμπύλη $y_2=0.0112*x^{1.242}$ στην ομάδα Β (με προϊστορία διάβρωσης)



Εικόνα 5.8.1-α : Ενιαίο διάγραμμα καμπυλών διάβρωσης, y_1 ομάδα A (χωρίς προϊστορία -μπλε), y_2 ομάδα B (με προϊστορία-κόκκινη)

Στην συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα για την καμπύλη διάβρωσης με την πρότερη διάβρωση που είχαν υποστεί τα δοκίμια της ομάδας B, πριν αυτά χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία δηλαδή. Να σημειωθεί επίσης ότι, τα δοκίμια της ομάδας B είχαν υποστεί διάβρωση αντίστοιχη σε θάλαμο αλατωνέφωσης χωρίς προστασία όμως.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6



Εικόνα 5.8.1-β Προσεγγιστική συνένωση καμπυλών διάβρωσης που είχαν υποστεί τα δοκίμια της ομάδας Β, παλαιότερα χωρίς να προστατευθούν.

Εδώ σε αντίθεση με τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν από τα υπό προστασία δοκίμια της παρούσας εργασίας όπου οι καμπύλες τους στρέφουν τα κοίλα προς τα άνω, η καμπύλη στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω, δηλαδή παρουσιάζει ταχύτερο ρυθμό διάβρωσης για το διάστημα των πρώτων 30-40 ημερών στο θάλαμο της αλατονεφέωσης, που εξηγείται από την έλλειψη προστασίας τους.

Από τη σύγκριση των δύο καμπυλών γ_1 (Ομάδα Α, χωρίς προϊστορία) και γ_2 (Ομάδα Β, με προϊστορία) φαίνεται ότι και οι δύο καταστάσεις των επιφανειών πριν τη βαφή τους, με ή χωρίς προϊστορία διάβρωσης δηλαδή, δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα τα αποτελέσματα. Οι αντίστοιχες απώλειες βαρών είναι πολύ κοντά αριθμητικά καταλήγοντας έτσι στο συμπέρασμα ότι η επιφάνεια δεν θυμάται την προϊστορία της, εφόσον έχει γίνει η σωστή προετοιμασία.

[ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ]

1. Σούρσος Δημήτριος, «Μελέτη αντοχής σε διάβρωση ναυπηγικού χάλυβα σε συνθήκες μεταφοράς μεταλλεύματος», Διπλωματική εργασία , επιβλέπουσα καθηγήτρια : Π. Βασιλείου, Αθήνα 2018