



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΧΑΛΥΒΑ ΣΕ
ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΕΜΚ ΔΕ 2013 59

ΙΟΥΛΙΟΣ 2013

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΜΠΑΣΤΑ ΜΑΡΙΕΤΤΑ
ΜΠΑΤΖΙΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

Μπάστα Μ. –Μπατζιά Π. (2013).

Αξιολόγηση συμπεριφοράς χάλυβα σε διαβρωτικό περιβάλλον.

Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2013/59

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Basta M. – Batzia P. (2013).

Evaluation of behavior of steel in corrosive environments

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2013/59

Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

«Αξιολόγηση συμπεριφοράς χάλυβα σε διαβρωτικό περιβάλλον»

Μπάστα Μαριέττα - Μπατζιά Παναγιώτα
(Επιβλέπων: Γ. Ιωαννίδης, Συνεπιβλέπων: Ξ. Λιγνός)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του χάλυβα σε συνθήκες διαβρωτικού περιβάλλοντος. Αρχικά, γίνεται αναφορά στο φαινόμενο της διάβρωσης, τα είδη και τους μηχανισμούς της. Έπειτα αναφέρονται οι τρόποι εκτίμησης της διάβρωσης καθώς και οι τρόποι προστασίας από αυτήν. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η δόκιμη αλατονέφωσης, που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών του ΕΜΠ. Σε αυτή τη δοκιμή αξιολογήθηκε η διαβρωτική συμπεριφορά τριών διαφορετικών συστημάτων επικαλύψεων, αλκυδικό αστάρι και αλκυδική τελική επικάλυψη, εποξειδικό αστάρι (primer) και πολυουρεθάνη ως τελική επικάλυψη και εν ψυχρώ γαλβανισμός. Επιπλέον, έγινε αξιολόγηση μεταξύ ηλεκτροσυγκολλημένων δοκιμίων που είχαν εκτεθεί στο θάλαμο και άλλων, ομοίων, που δεν είχαν, με την πραγματοποίηση δοκιμής εφελκυσμού. Τέλος, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των δοκιμών και εν συνεχεία σχολιάστηκαν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω πειραματικές διαδικασίες.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2013/59

«Evaluation of behavior of steel in corrosive environments»

Basta Marietta –Batzia Panagiota
(Supervised by Ioannidis G. Co – supervised by Lignos X.)

ABSTRACT

This study aims to evaluate the behavior of steel under corrosive environments. Initially, presents the phenomenon of corrosion, its types and its mechanisms. Then, reports the ways of erosion assessment and the ways of erosion protection. Subsequently, describes the salt spray test, which conducted in the Institute of Steel Structures of NTUA. More specifically, this test evaluates the corrosive behavior of three different coating systems. Finally, an assessment was made between welded specimens exposed in the chamber and others unexposed, similar to the first ones, by performing tensile test.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους που με την πολύτιμη βοήθειά τους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Πρωτίστως, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Γ.Ιωαννίδη καθηγητή του Ε.Μ.Π που μας εμπιστεύτηκε αυτή τη διπλωματική εργασία. Επίσης, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον δρ. Ξ Λιγνό, μέλος Ε.Ε.ΔΙ.Π που χωρίς τη συνεχή βοήθειά του, τις εύστοχες παρατηρήσεις του και τις συμβουλές του δεν θα είχε ολοκληρωθεί η εργασία μας καθώς και τον Σ. Κατσατσίδα, εξωτερικός συνεργάτης του Ε.Μ.Π, του οποίου η συμβολή ήταν καθοριστική καθ'όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε τον κύριο Ε. Μπαδογιάννη, λέκτορας της σχολής Ε.Μ.Π, του οποίου η βοήθεια ήταν πολύτιμη ,αφού χωρίς αυτόν δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η ασφαλής ολοκλήρωση του πειράματός μας, καθώς και το διδακτικό και ερευνητικό προσωπικό του εργαστηρίου «Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας» της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για τη βοήθεια και την υλικοτεχνική υποστήριξη που μας παρείχαν για τη διεξαγωγή σημαντικού τμήματος του πειραματικού μέρους. Επίσης ευχαριστούμε το προσωπικό του Εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και ιδιαίτερα την κα Τσιούρβα Θ. Χημ. Μηχ., για τη πολύτιμη βοήθεια της κατά την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας.

Τέλος, οφείλουμε να ευχαριστήσουμε την εταιρεία «SOFMAN A.E.» για την ευγενική χορηγία, τόσο των ηλεκτροσυγκολλημένων δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν όσο και των επικαλύψεων που εφαρμόστηκαν στα δοκίμια, στο εργοστάσιο της. Εργαστήριο ναυπηγικής τεχνολογίας των ναυπηγών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ	8
ΣΗΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	15
ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	15
ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	16
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΝΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥ ΣΕ ΕΝΑ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	18
<i>ΑΔΡΑΝΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ</i>	18
<i>ΕΝΕΡΓΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ</i>	18
<i>ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ</i>	18
ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	19
ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	21
<i>ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑ WAGNER</i>	21
<i>ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ</i>	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	24
ΕΙΔΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	24
<i>ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ Ή ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ</i>	24
<i>ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΕΝΟΣ ΥΓΡΟΥ ΠΑΝΩ ΣΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ</i>	30
<i>ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΕΝΟΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ</i>	32
<i>ΘΕΡΜΟΓΑΛΒΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ</i>	33
<i>ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ Η ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ</i>	34
<i>ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ</i>	35
<i>ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΠΟ ΡΕΥΜΑΤΑ ΔΙΑΦΥΓΗΣ</i>	36
<i>ΠΕΡΙΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ</i>	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	37
ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	37
<i>ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ</i>	37
<i>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</i>	39
<i>ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ</i>	54
<i>ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΑ</i>	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	72
ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	72
<i>ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ</i>	72
<i>ΜΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ</i>	80
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	81
ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	81
<i>ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ</i>	81
<i>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</i>	81
<i>ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ NaCl</i>	87
<i>ΔΟΚΙΜΙΑ</i>	88
<i>ΔΟΚΙΜΙΑ ΚΥΡΙΩΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</i>	92
ΔΟΚΙΜΙΑ ΧΑΛΥΒΑ	92
<i>ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ</i>	95
<i>ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ</i>	97
<i>ΔΟΚΙΜΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ</i>	107
<i>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</i>	108
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	110
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	114
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	114
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	116

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που συναντάται στα έργα πολιτικού μηχανικού είναι η διάβρωση του χάλυβα, είτε όταν αυτός χρησιμοποιείται ως δομικό υλικό είτε ως οπλισμός. Η διάβρωση προκαλεί απομείωση στο πάχος της διατομής, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αντοχή του υλικού. Το παραπάνω φαινόμενο πολλές φορές δεν λαμβάνεται υπόψη τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην κατασκευή και συντήρηση των έργων, με αποτέλεσμα την πρόκληση απρόβλεπτων αστοχιών. Για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων κρίνεται απαραίτητο να επιλεγεί η κατάλληλη αντιδιαβρωτική προστασία, ώστε να μειωθεί ο ρυθμός διάβρωσης και κατ' επέκταση να αυξηθεί η διάρκεια ζωής της κατασκευής. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου γίνεται με βάση τη χρήση του υλικού, το περιβάλλον έκθεσής και το χρόνο ζωής του έργου.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Στην ιστορική εξέλιξη της διαπίστωσης, της ερμηνείας του φαινομένου της διάβρωσης και των προσπαθειών καταπολέμησής της ξεχωρίζουν πέντε βασικοί σταθμοί.

Ο πρώτος σταθμός αναφέρεται πριν περίπου 2000 χρόνια κατά την Μινωική εποχή. Κατά την εποχή αυτή γινόταν εκτεταμένη χρήση αντικειμένων από χαλκό, κάποια από τα οποία διασώζονται στο μουσείο του Ηρακλείου (Εικόνα 1-1). Είχε παρατηρηθεί τότε, ότι η επιφάνεια των χάλκινων αντικειμένων έχανε την στιλπνότητά της, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα από τη κατασκευή και χρήση τους. Αυτή ήταν, σύμφωνα με υποθέσεις, η πρώτη παρατήρηση για τη διάβρωση των μετάλλων, γιατί, όπως είναι γνωστό σήμερα, η απώλεια στιλπνότητας οφείλεται στη δημιουργία οξειδίων, υδροξειδίων ή και άλλων ενώσεων στην επιφάνεια των μετάλλων.

Ο δεύτερος σταθμός αναφέρεται μεταξύ του 100 και 200 μ.Χ. Ο Πλούταρχος μελέτησε λεπτομερειακά τις επιφανειακές αλλοιώσεις των βρούνζινων αγαλμάτων των Δελφών (Εικόνα 1-2). Έκανε τέτοιου βαθμού οξύτατες παρατηρήσεις για το φαινόμενο, ώστε κατάλαβε το πραγματικό του μηχανισμό, που μόλις το 1958 αποδείχθηκε θεωρητικά και πειραματικά από τον Wagner.

Μεταξύ δεύτερου και τρίτου σταθμού μεσολαβεί η αρχή για τη διαμόρφωση και η εξέλιξη της θεωρητικής Ηλεκτροχημείας.

Ο τρίτος σταθμός αναφέρεται στο 1900, όταν ο Planck με την Κβαντική θεωρία έφερε για πρώτη φορά στην Επιστήμη την έννοια του κβάντου ενέργειας. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, όπως η ύλη έτσι και η ενέργεια αποτελείται από ελάχιστα «πακέτα» ενέργειας, τα κβάντα, και διαδίδεται κατά ακέραια πολλαπλάσια τους. Έτσι η διάβρωση ερμηνεύεται σαν μεταφορά ενέργειας από ένα σημείο του μετάλλου σε ένα άλλο, προκειμένου να επέλθει ισορροπία του συστήματος. Συνειδητοποιήθηκε η ανάγκη προσφοράς ενέργειας για να πραγματοποιηθεί ένα μακροσκοπικό φαινόμενο, που το μικροσκοπικό βασικό φαινόμενό του απαιτεί κβάντα ενέργειας ϵ . Αυτό οδήγησε στη σκέψη ότι, για την πραγματοποίηση ενός φαινομένου δεν ενδιαφέρει η μορφή της ενέργειας που προσφέρεται, αλλά το μέγεθος του κβάντου της.

Ο τέταρτος σταθμός αναφέρεται στο χρονικό διάστημα 1926 έως 1936. Κατά την περίοδο αυτή διαμορφώθηκε η ερμηνεία της αυτοδιάχυσης σε στερεή κατάσταση των ιόντων ιοντικών στερεών και τέθηκαν οι βάσεις της θεωρίας της «Αταξίας των Στέρεων Σωμάτων», που διαμορφώθηκε από τον Frenkel και τους Wagner και Schottky. Με την ολοκλήρωση της θεωρίας αυτής οι επιστήμονες πεισθήκαν ότι πραγματοποιείται χημική αντίδραση, που σε αυτή παίρνει μέρος στερεό σώμα σε ψηλές, αλλά και σε συνηθισμένες θερμοκρασίες. Έτσι ο Hedvall άρχισε την ερμηνεία του φαινομένου της διάβρωσης με βάση τη θεωρία της Αταξίας.

Ο πέμπτος σταθμός αναφέρεται στο 1958, όταν ο Wagner ολοκλήρωσε, απόδειξε τη θεωρία της Αταξίας, διατύπωσε το μηχανισμό και έδωσε την ερμηνεία του φαινομένου της διάβρωσης.

Με την συμβολή ενός μεγάλου αριθμού επιστημόνων από το 1958 και μέχρι σήμερα, η περιοχή της Διάβρωσης και Προστασίας απ' αυτή πήρε τη σημερινή συνεχώς εξελίσσεται.



Εικόνα 1-1 «Φτερωτός χάλκινος Ταλώς, από Δίδραχμο Φαιστού 280 π.Χ.»



Εικόνα 1-2 «Μπρούντζινος Ηνίοχος από το Μουσείο των Δελφών»

ΣΗΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η σημασία του φαινομένου της διάβρωσης κατανοείται απ' τις επιπτώσεις που έχει ως συνέπεια, αλλά και την ένταση των προσπαθειών, που καταβάλλονται, για την καταπολέμησή της. Το πρόβλημα της διάβρωσης των μετάλλων είναι πολύ σημαντικό. Έχει υπολογισθεί ότι περίπου το 5% του εισοδήματος ενός εκβιομηχανισμένου κράτους διατίθεται στην πρόληψη της διάβρωσης και στη συντήρηση ή αντικατάσταση χαμένων προϊόντων ή μολυσμένων ως αποτέλεσμα μιας διαβρωτικής διαδικασίας. Θεωρείται επίσης ότι το 40% των μετάλλων και κραμάτων, που παράγονται παγκόσμια, καταστρέφεται κάθε χρόνο από τη διάβρωση.

Το κόστος της διάβρωσης είναι άμεσο και έμμεσο. Το άμεσο κόστος, αποτελείται από το κόστος του σχεδιασμού, της παραγωγής και της κατασκευής (επιλογή υλικών, επίστρωμα, στεγανωτικές ουσίες, αναστολείς, καθοδική προστασία) συμπεριλαμβανομένου του κόστους εργασίας και του εξοπλισμού και το κόστος της διαχείρισης (επιθεώρηση, αποκατάσταση, επισκευή). Το έμμεσο κόστος, περιλαμβάνει τις απώλειες στην παραγωγικότητα λόγω των διακοπών λειτουργίας, των καθυστερήσεων, των αποτυχιών, της προσφυγής στο δικαστήριο, και των φόρων του αυξημένου κόστους διάβρωσης.

Οικονομικές αναλύσεις του κύκλου ζωής σχετικά με το κόστος επισκευής μιας γέφυρας έδειξε ότι το κόστος της χαμένης παραγωγικότητας λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι 10 φορές μεγαλύτερο από το άμεσο κόστος επισκευής. Έχει εκτιμηθεί ότι τα έμμεσα κόστη διάβρωσης είναι τουλάχιστον το ίδιο μεγάλα με τα άμεσα κόστη.

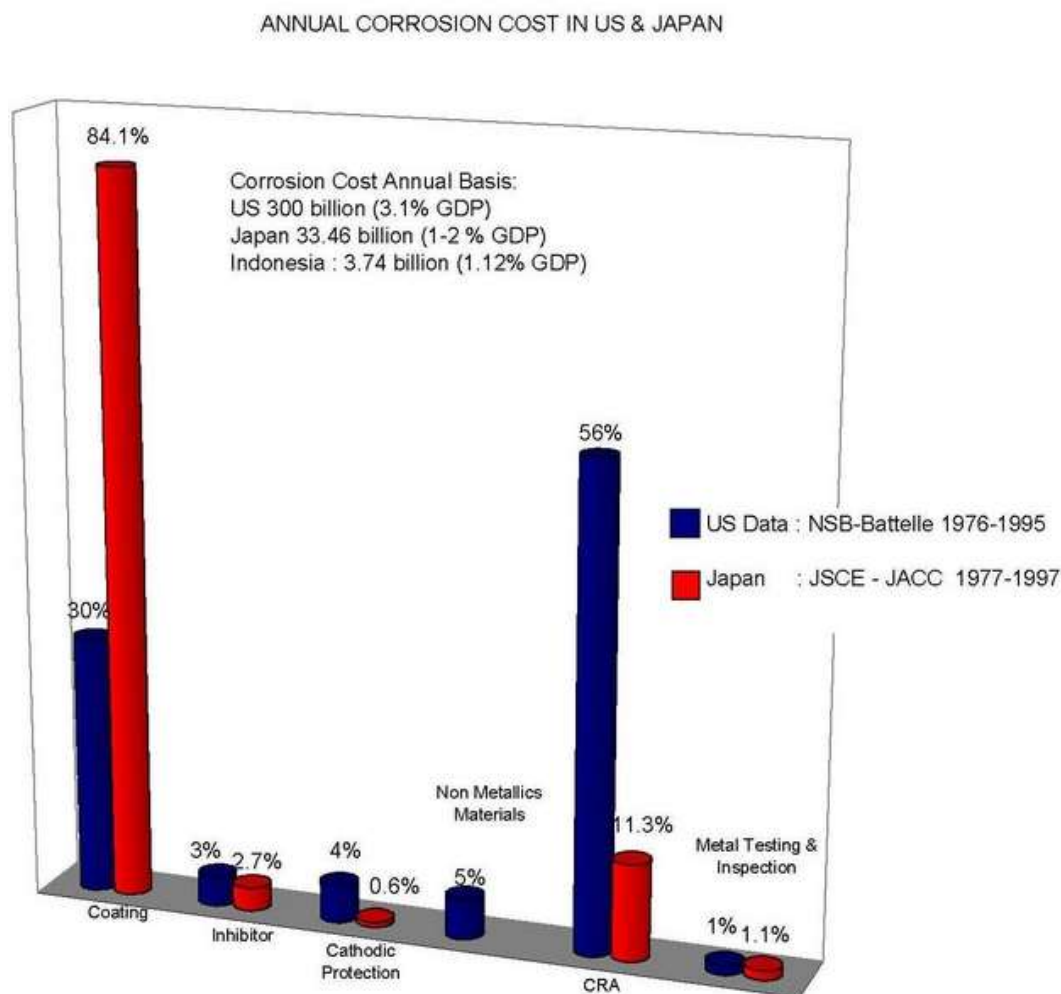
Συχνά παραδείγματα διάβρωσης είναι η διάβρωση οπλισμένου σκυροδέματος σε γέφυρες και αυτοκινητόδρομους, η καταστροφή μεταλλικών κατασκευών σε χημικά και πυρηνικά εργοστάσια. Επίσης, η διάβρωση εμφανίζεται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στους εναλλάκτες θερμότητας των ψυγείων, στη ναυπηγική βιομηχανία, στη βιομηχανία τροφίμων, στις μεταφορές, στην εξερεύνηση του διαστήματος, στα αμυντικά συστήματα.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα για την εκτίμηση του κόστους της διάβρωσης στην εθνική οικονομία είναι οι ακόλουθες:

1. Μέθοδος Uhlig, που εστιάζει στις επιπτώσεις στην παραγωγή
2. Μέθοδος Hoar, που εξετάζει κάθε βιομηχανικό τομέα λεπτομερώς και υπολογίζει το σύνολο από τις άμεσες απώλειες και τις δαπάνες για την πρόληψη της διάβρωσης
3. Μέθοδος In/Out, που συνυπολογίζει το έμμεσο κόστος της διάβρωσης και διαχωρίζει το κόστος διάβρωσης σε δύο κατηγορίες, στο άμεσο και το έμμεσο κόστος.

Το παρακάτω ραβδόγραμμα (Εικόνα 1-3) έχει βασιστεί στις μελέτες των εταιριών Battelle (1995) και CC Technologies (2002) για το κόστος της προστασίας από τη

διάβρωση στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία. Η εταιρία Battelle διαπίστωσε ότι οι περισσότερες δαπάνες στις ΗΠΑ οφείλονται στην εκτενή ανάπτυξη και εφαρμογή των ανθεκτικών στη διάβρωση κραμάτων (CRA) (56%) και των προστατευτικών επιστρωμάτων (30%). Η μέθοδος καθοδικής προστασίας που επιδρά σημαντικά στο σύστημα προστασίας και δρα συμπληρωματικά στο προστατευτικό επίστρωμα συμβάλει μόνο στο 4% του συνολικού κόστους της διάβρωσης. Σε ανάλογο βαθμό συμβάλλουν επίσης η εφαρμογή αναστολέων διάβρωσης και η χρήση αμέταλλων υλικών.



Εικόνα 1-3 «Ραβδόγραμμα ετήσιου κόστους της προστασίας από τη διάβρωση στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία.»

Σχετικά με το κόστος της διάβρωσης (μη συμπεριλαμβανομένου έμμεσου κόστους) στην Ιαπωνία, η έκθεση υπολόγισε ότι το 1977 ανερχόταν στο 1-2% του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος (ΑΕΠ). Το κόστος της διάβρωσης το 1997 υπολογίστηκε με τη μέθοδο Uhlig και τη μέθοδο Hoar. Το εκτιμώμενο κόστος συγκρίθηκε με το προηγούμενα στοιχεία που υπολογίστηκαν το 1977 με τις ίδιες μεθόδους. Εκτός από την ανωτέρω εκτίμηση πραγματοποιήθηκε και μια προκαταρκτική ανάλυση με τη μέθοδο In/Out για τον υπολογισμό του συνολικού

κόστους διάβρωσης συμπεριλαμβανομένων των άμεσων και έμμεσων δαπανών. Οι γενικές δαπάνες εκτιμώμενες με τις μεθόδους Uhlig και Hoar για το 1997 ήταν 3.938 δισεκατομμύριο γεν και 5.258 δισεκατομμύριο γεν, αντίστοιχα, τα οποία ήταν ισοδύναμα με το 0,77% και το 1,02% του ΑΕΠ της Ιαπωνίας. Το συνολικό κόστος συμπεριλαμβανομένων των άμεσων και έμμεσων δαπανών, υπολογιζόμενο με τη μέθοδο In/Out είναι πιθανό να ήταν περισσότερες από 2 φορές μεγαλύτερο από το άμεσο κόστος εκτιμώμενο με τη μέθοδο Uhlig.

Μια άλλη μελέτη με τίτλο «Οι δαπάνες για τη διάβρωση και οι προληπτικές στρατηγικές στις Ηνωμένες Πολιτείες» που δημοσιεύθηκε στις ΗΠΑ το 2002 από την Federal Highway Administration είχε σαν βασικό αντικείμενο τις άμεσες δαπάνες που συνδέθηκαν με τη διάβρωση των μετάλλων σχεδόν σε κάθε τομέα της αμερικανικής βιομηχανίας. Στη μελέτη αυτή, στο συνολικό κόστος συνυπολογίζεται το κόστος των μεθόδων προστασίας κατά της διάβρωσης αλλά και οι υπηρεσίες ερευνών και ενημέρωσης για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπισή της. Οι μέθοδοι ελέγχου της διάβρωσης που εξετάστηκαν περιλαμβάνουν τα προστατευτικά επιστρώματα, τα ανθεκτικά στη διάβρωση μέταλλα και τα κράματά τους, τους αναστολείς διάβρωσης, τα πολυμερή, την ανοδική και καθοδική προστασία, τις υπηρεσίες ελέγχου διάβρωσης καθώς και την έρευνα για τον περιορισμό της και τέλος την εκπαίδευση και την κατάρτιση πάνω σε σχετικά θέματα. Το συνολικό ετήσιο κόστος της διάβρωσης εκτιμώμενο με αυτήν την μέθοδο για το έτος 1998 ήταν \$121.41 δισεκατομμύρια (περίπου το 1,4 % του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος των ΗΠΑ). Τα παραπάνω συνοψίζονται στον Πίνακα 1-1

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ	
	(\$ x ΔΙΣ.)	(\$ x ΔΙΣ.)	(%)
Προστατευτικά επιστρώματα	40.2-174.2	107.2	88.3
Οργανικά επιστρώματα	1.4	1.4	1.2
Μεταλλικά επιστρώματα			
Μέταλλα & κράματα	7.7	7.7	6.3
Αναστολείς διάβρωσης	1.1	1.1	0.9
Πολυμερή	1.8	1.8	1.5
Ανοδική & καθοδική προστασία	0.73-1.22	0.98	0.8
Υπηρεσίες	1.2	1.2	1.0
Έρευνα	0.020	0.02	<0.1
Εκπαίδευση & κατάρτιση	0.01	0.01	<0.1
ΣΥΝΟΛΟ	\$54.16- \$188.65	\$121.41	100%

Πίνακας 1-1 « Κόστος ανάλογα την μέθοδο προστασίας»

Για την Ελλάδα δεν υπάρχει στατιστική οικονομικών επιπτώσεων του φαινομένου της διάβρωσης. Όμως οι επιπτώσεις αυτές είναι εξαιρετικά μεγάλες, σε πολλούς τομείς (μεταφορές, βιομηχανία, κατασκευές) και αυτό εξαιτίας των παραγόντων που ακολουθούν:

1. Η Ελλάδα βρίσκεται σε θαλασσινό περιβάλλον και έχει το μεγαλύτερο λόγο μήκους ακτών προς την επιφάνειά της, οι πόλεις της δεν απέχουν πολλά χιλιόμετρα από την θάλασσα και σε οποιοδήποτε σημείο της ανιχνεύεται στην ατμόσφαιρα χλωριούχο νάτριο, που μεταφέρεται με τους ανέμους με τη μορφή κολλοειδών διαστάσεων σταγονιδίων θαλασσινού νερού. Η διάβρωση από θαλασσινό νερό ή κοντά σε αυτό είναι ιδιαίτερα έντονη.
2. Τα περισσότερα εργοστάσιά της είναι κοντά στις ακτές, για να χρησιμοποιούν θαλάσσιες συγκοινωνίες και πολλές φορές θαλασσινό νερό, όχι επαρκώς επεξεργασμένο, για θέρμανση ή ψύξη και άλλες βοηθητικές λειτουργίες.
3. Η έκταση του εμπορικού ναυτικού στόλου εκτιμάται στο 11% της παγκόσμιας χωρητικότητας.
4. Σε θαλάσσιο κλίμα και μέσα σε θαλασσινό νερό η διάβρωση είναι πολύ μεγαλύτερη παρά έξω απ' αυτήν και μακριά από την θάλασσα.

5. Η ρύπανση της ατμόσφαιρας σε πολλές πόλεις της είναι μεγάλη.
6. Η προσπάθεια που καταβάλλεται για την καταπολέμηση της διάβρωσης είναι μικρή έως ασήμαντη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

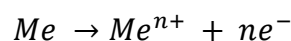
ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Έχουν δοθεί κατά καιρούς από διάφορους οργανισμούς, διαφορετικοί ορισμοί για τη διάβρωση. Ένας από τους πληρέστερους είναι αυτός ο οποίος προέκυψε από συζητήσεις στο πλαίσιο της Διεθνούς Επιτροπής Θαλάσσιας Διάβρωσης και Ρύπανσης των Υφάλων Κατασκευών και Διεθνών Συνεδρίων κατά το οποίο:

«Διάβρωση λέγεται κάθε αυθόρμητη, κατ' επέκταση εκβιασμένη, ηλεκτροχημικής, κατ' επέκταση χημικής, κατ' επέκταση μηχανικής, κατ' επέκταση βιολογικής φύσης αλλοίωση της επιφάνειας των μετάλλων και των κραμάτων που οδηγεί σε απώλεια υλικού».

Ο ίδιος ορισμός ισχύει, εκτός από τα μέταλλα και τα κράματα, και για οποιοδήποτε άλλο υλικό, με την παρατήρηση ότι σε αυτά υπερέχει η αλλοίωση φυσικής ή χημικής φύσης ως προς την ηλεκτροχημική (π.χ. πολυμερή) και μεγαλώνει η αλλοίωση βιολογικής φύσης (π.χ. ξύλο, πέτρα)

Σε κάθε περίπτωση η διάβρωση είναι ένα φαινόμενο θερμοδυναμικά αυθόρμητο, είτε πραγματοποιείται σε συνηθισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας είτε πραγματοποιείται με επιτάχυνση, εξαιτίας έντονου διαβρωτικού περιβάλλοντος (χημικές ουσίες, ψηλή θερμοκρασία, ραδιενέργεια, ανοδική ηλεκτρική φόρτιση κτλ.) που ο ορισμός αναφέρει ως εκβιασμένη. Το φαινόμενο της διάβρωσης είναι κυρίως ηλεκτροχημικό. Κατά τη διάβρωση το μεταλλικό υλικό υπό την επίδραση του περιβάλλοντος χάνει ηλεκτρόνια, τα οποία δεσμεύονται από το οξυγόνο του περιβάλλοντος. Υπάρχει δηλαδή αύξηση του σθένους του μετάλλου κατά την ηλεκτροχημική αντίδραση:



Το φαινόμενο είναι επιφανειακό, δηλαδή εντοπίζεται στην εκτεθειμένη προς το περιβάλλον επιφάνεια του μετάλλου. Ως επιφάνεια του μετάλλου δεν εννοείται μόνο η γεωμετρική, αλλά η πραγματική, που περιλαμβάνει και τις επιφανειακές ανωμαλίες, τους πόρους, τα ενεργά κέντρα καθώς επίσης και τους ενεργούς

δρόμους από αταξίες δομής. Μόνο μια τέτοια επιφάνεια είναι έδρα των φαινομένων της διάβρωσης και μόνο δια μέσου της διεπιφάνειας «πραγματική επιφάνεια σώματος-διαβρωτικό περιβάλλον» πραγματοποιείται μεταφορά μάζας και ενέργειας. Είναι δυνατό να σχηματίζονται στην επιφάνειά του ενώσεις με έντονη πρόσφυση σε αυτή, με αποτέλεσμα το συνολικό βάρος να παραμένει σταθερό ή ακόμα και να αυξάνει. Έτσι ως απώλεια υλικού εννοείται η απώλεια ως προς την αρχική μορφή του υλικού και όχι απαραίτητα η απώλεια μάζας του.

ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Κύρια χαρακτηριστικά του φαινομένου της διάβρωσης είναι η πολυπλοκότητα του και η συχνά μη προβλέψιμη φύση του, ο τοποχρονικός και τοποχημικός χαρακτήρας του, η ευαισθησία του στις διάφορες συνθήκες και στην εναλλαγή τους, η ποικιλία των μορφών του, που μαζί με την ποικιλία των μεθόδων προστασίας που υπάρχουν και με την ποικιλία των συνθηκών εφαρμογής τους καθιστούν κάθε περίπτωση διάβρωσης ιδιαίτερο πρόβλημα. Έτσι παλαιότερη πείρα από παραπλήσια ή και στην ίδια περίπτωση είναι απλώς υποβοηθητική. Δηλαδή για κάθε πρόβλημα χρειάζεται να εξαχθούν τα δεδομένα της διάβρωσης από το συνδυασμό των μακροσκοπικών παρατηρήσεων, των θερμοδυναμικών και των κινητικών δεδομένων. Εντούτοις, προκειμένου να προωθηθεί τόσο η θερμοδυναμική, όσο και η κινητική μελέτη του φαινομένου, αλλά και για να γίνουν πιο κατανοητά τα αποτελέσματα, οι αιτίες και οι μηχανισμοί του, στοιχεία και μακροσκοπικές παρατηρήσεις διάφορων περιπτώσεων διάβρωσης οδήγησαν σε συμπεράσματα που αφορούν τις συνθήκες που το επηρεάζουν. Αυτά είναι:

1. Οι τριεπιφάνειες μεγαλώνουν την διάβρωση π.χ. ίσαλος γραμμή πλοίου(χάλυβας- θαλασσινό νερό-αέρας)
2. Όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα του διαβρωτικού περιβάλλοντος (π.χ. θαλασσινό νερό) τόσο μεγαλύτερη είναι και η διάβρωση.
3. Κάθε ανομοιογένεια της επιφάνειας ενός μετάλλου ή κράματος αυξάνει την διάβρωση.
4. Εναλλαγή του διαβρωτικού περιβάλλοντος ή και των ιδιοτήτων (θερμοκρασία, αγωγιμότητα, pH, σύσταση) του ίδιου του περιβάλλοντος μεγαλώνουν τη διάβρωση. Τέτοια μπορεί να είναι η εναλλασσόμενη πλήρωση δεξαμενών με διαφορετικά υγρά, η εναλλασσόμενη διοχέτευση διαφορετικών υγρών μέσα από σωλήνες, η εναλλασσόμενη χρησιμοποίηση μηχανημάτων σε διαφορετικό διαβρωτικό περιβάλλον (μηχανήματα εκσκαφής βυθού θάλασσας, εξωλέμβιες μηχανές) μεταβαλλόμενες

κλιματολογικές συνθήκες κλπ. Οι εναλλαγές αυτές προκαλούν εντονότερες διαβρώσεις, από την παραμονή των υλικών σε σταθερές συνθήκες, έστω και περισσότερο διαβρωτικές.

5. Πλαστικές παραμορφώσεις ή πρόσθετες αταξίες δομής, που δημιουργήθηκαν με μηχανική ή θερμική κατεργασία, μεγαλώνουν τη διάβρωση.
6. Τα περιπατητικά ηλεκτρικά ρεύματα (δηλαδή τα ηλεκτρικά ρεύματα που κυκλοφορούν στο νερό, έξω από το υπάρχον κύκλωμα τους, λόγω διαφυγής) μεγαλώνουν τη διάβρωση, ιδιαίτερα στα σημεία που τα ηλεκτρόνια εγκαταλείπουν τις μεταλλικές επιφάνειες π.χ. έντονη διάβρωση εξωτερικών ελασμάτων του πλοίου κατά την αποκατάσταση εσωτερικών ελασμάτων δεξαμενών με χρήση ηλεκτροσυγκόλλησης.
7. Μακροσκοπικές (ύπαρξη προεξοχών) ή μικροσκοπικές γεωμετρικές ανωμαλίες (γεωμετρικά ενεργά κέντρα) διαβρώνονται γρηγορότερα.
8. Η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου είναι αποφασιστικός παράγοντας στην εξέλιξη της διάβρωσης. Αύξηση της περιεκτικότητας σε ένα διάλυμα αυξάνει συνήθως τη διαβρωτικότητα του διαλύματος. Επομένως νερό γλυκό ή θαλασσινό, που δεν έχει απαερωθεί, μεγαλώνει περισσότερο τη διάβρωση.
9. Όσο η θερμοκρασία αυξάνει τόσο η διάβρωση μεγαλώνει.
10. Όξινο διάλυμα μεγαλώνει τη διάβρωση. Αλκαλικό διάλυμα μικραίνει τη διάβρωση, μόνο αν συνυπάρχει υδρόλυση.
11. Αν δύο διαφορετικά μέταλλα ή ακόμη και τα ίδια (με διαφορετικό ποσοστό αταξιών δομής) ή κράματα (έστω και με τα ίδια συστατικά, αλλά διαφορετικής σύστασης ή δομής) βρίσκονται σε επαφή, τότε το ένα από αυτά διαβρώνεται περισσότερο (το ανοδικότερο από αυτά) και το άλλο λιγότερο απ' ό,τι αν βρισκόταν χωριστά στο ίδιο διαβρωτικό περιβάλλον, λόγω δημιουργίας γαλβανικού στοιχείου.
12. Όταν τα προϊόντα της διάβρωσης παραμένουν στην διαβρωμένη επιφάνεια προκαλείται διόγκωση που οδηγεί σε ρήξη των γύρω τους υλικών, για παράδειγμα μέταλλα ή κράματα εγκιβωτισμένα μέσα σε υλικά (π.χ. σκυρόδεμα).
13. Τα ιόντα μετάλλων μπορούν να διαχυθούν μέσα από αγώγιμο ή μη αγώγιμο επίστρωμα προς το διαβρωτικό περιβάλλον με αποτέλεσμα σχηματισμό προϊόντων διάβρωσης πάνω σε μεταλλικά ή μη καλυπτικά επιστρώματα του μετάλλου ή του κράματος, που παθαίνει διάβρωση, δηλαδή χωρίς άμεση επαφή με το διαβρωτικό περιβάλλον.

14. Η ταχύτητα με την οποία διέρχεται το νερό κατά μήκος μιας μεταλλικής επιφάνειας. Μάλιστα, όσο μεγαλύτερη είναι αυτή, αυξάνεται η επιφάνεια επαφής με οξυγόνο και κατά συνέπεια το μέγεθος της διάβρωσης.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΕΝΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥ ΣΕ ΕΝΑ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Όταν ένα μέταλλο βρεθεί σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον μπορεί να συμπεριφερθεί με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

ΑΔΡΑΝΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Συναντάται στα ευγενή μέταλλα (π.χ. χρυσός, ασήμι, πλατίνα). Η συμπεριφορά αυτή είναι αποτέλεσμα της θερμοδυναμικής σταθερότητας των μετάλλων σε αυτό το περιβάλλον δηλαδή η αντίδραση της διάβρωσης δεν πραγματοποιείται αυθόρμητα.

ΕΝΕΡΓΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Το μέταλλο διαβρώνεται. Η συμπεριφορά ενός μετάλλου σε ένα διάλυμα χαρακτηρίζεται ως ενεργή όταν το μέταλλο διαβρώνεται εντός του διαλύματος αυτού, δηλαδή διαλύεται μέσα στο διάλυμα και σχηματίζει διαλυτά μη προστατευτικά προϊόντα διάβρωσης. Τα προϊόντα αυτά δεν εμποδίζουν την συνέχιση της διάβρωσης και παρατηρείται μεγάλη απώλεια μάζας του υλικού.

ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Το μέταλλο διαβρώνεται με τη βύθιση του στο διάλυμα αλλά παράλληλα σχηματίζεται ένα αδιάλυτο προϊόν (ένα λεπτό προστατευτικό φιλμ) που δρα προστατευτικά και επιβραδύνει την αντίδραση της διάβρωσης οδηγώντας την σε χαμηλά επίπεδα. Η αντίσταση στη διάβρωση εξαρτάται από τη σταθερότητα του προστατευτικού στρώματος. Αν το στρώμα διαλυθεί στο διάλυμα ή παρουσιάσει ρωγμές σε κάποια σημεία τότε το μέταλλο μπορεί να αποκτήσει ενεργή συμπεριφορά. Μερικά μέταλλα που εμφανίζουν αυτή τη συμπεριφορά είναι ο σίδηρος, το χρώμιο, το τιτάνιο, το νικέλιο και κράματα τους.

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Με τη θερμοδυναμική (μακροσκοπική) εξέταση του φαινομένου της διάβρωσης, καθορίζονται τα αίτια της διάβρωσης, οι συνθήκες πραγματοποίησης της, οι μακροσκοπικές συνθήκες που την επηρεάζουν και η ποσοτική ανταλλαγή ενέργειας που πραγματοποιείται κατά το φαινόμενο.

Τα μέταλλα βρίσκονται στη φύση με τη μορφή οξειδίων-ενώσεων (ορυκτά) με ελάχιστες εξαιρέσεις (χρυσός, λευκόχρυσος, υδράργυρος) και όχι ως στοιχεία. Από την ορυκτή τους μορφή τα μεταλλεύματα μετατρέπονται με μεθόδους της Εξαγωγικής Μεταλλουργίας σε μέταλλα.

Η μετατροπή αυτή δεν είναι διαδικασία αυθόρμητη, αλλά απαιτεί δαπάνη ενέργειας. Μέρος της ενέργειας αυτής με τη μορφή εντροπίας (ΔS) και ελεύθερης (ΔF) ενέργειας μένει στα μέταλλα που παρασκευάστηκαν και έτσι αποκτούν μεγαλύτερη εσωτερική ενέργεια ($\Delta U = \Delta F + T\Delta S$), από την εσωτερική ενέργεια του αρχικού μεταλλεύματος. Αυτό έχει ως συνέπεια τα μέταλλα να έχουν την προδιάθεση, σύμφωνα με τον 2ο νόμο της θερμοδυναμικής, προς αυθόρμητη ενεργειακή υποβάθμιση, με σχηματισμό των αρχικών ενεργειακά χαμηλής στάθμης μορφών τους.

Η προδιάθεση αυτή των μετάλλων για ενεργειακή υποβάθμιση γίνεται ελαττώνοντας, την ελεύθερη ενέργεια τους (F), ή την ελεύθερη ενθαλία τους (G), ή το χημικό δυναμικό τους (μ), και αυξάνοντας την εντροπία τους (S).

Σύμφωνα με τη θεωρία του Wagner ανάμεσα στο μέταλλο ή το κράμα και το διαβρωτικό περιβάλλον δημιουργείται αυθόρμητα δυναμικό γαλβανικού στοιχείου, με πόλους το μέταλλο ή το κράμα και το διαβρωτικό περιβάλλον και ηλεκτρολύτη τα προϊόντα διάβρωσης. Το μέταλλο ή κράμα αποτελεί τον αρνητικό πόλο (άνοδο), αφού σε αυτό γίνονται οξειδώσεις, και το διαβρωτικό περιβάλλον αποτελεί τον θετικό πόλο (κάθοδο) του γαλβανικού στοιχείου.

Τα δυναμικά που δημιουργούνται ανάμεσα στο μέταλλο και το διαβρωτικό περιβάλλον, αν μετρηθούν σε συνηθισμένη θερμοκρασία, χωρίς υγρασία και για μέταλλα που έχουν υποστεί ανόπτηση και ηλεκτρολυτική λείανση της επιφάνειάς τους (χωρίς αταξίες δομής) βρίσκεται ότι είναι μεταξύ 320-450 mV, ενώ για μέταλλα που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία (χωρίς ενεργά κέντρα δηλαδή) βρίσκεται μεταξύ 250-350 mV. Το δυναμικό διάβρωσης μεγαλώνει από τοπικά γαλβανικά στοιχεία, που δημιουργούνται στην επιφάνεια των μετάλλων ή των κραμάτων :

1. Από πρόσμιξη αγενέστερου μετάλλου
2. Από πρόσμιξη ευγενέστερου ή παθητικότερου μετάλλου ή από μη μεταλλική πρόσμιξη.
3. Από γεωμετρικές αταξίες δομής.
4. Από ενδόκοκες αταξίες δομής.

5. Από διαφορικό αερισμό (εύκολη ή όχι, πρόσβαση του διαλυμένου οξυγόνου).

Το ολικό δυναμικό, που δημιουργείται ανάμεσα στο μέταλλο ή κράμα και στο διαβρωτικό περιβάλλον και ενισχύεται με οποιοδήποτε από τους πιο πάνω τρόπους, λέγεται δυναμικό διάβρωσης.

Σύμφωνα με το κριτήριο της χημικής θερμοδυναμικής για την αυθόρμητη κατεύθυνση μιας φυσικής ή χημικής δράσης, η αρνητική τιμή του $\Delta\mu^{\circ}\text{ολ}$, δηλαδή του ολικού πρότυπου χημικού δυναμικού, αποδεικνύει ότι για όλα τα μέταλλα και τα κράματα υπάρχουν οι θερμοδυναμικά επιτρεπτές για την έναρξη της διάβρωσης σε συνηθισμένη θερμοκρασία, ή και κάτω από αυτή και χωρίς υγρασία. Η πραγματική θερμοκρασία έναρξης της διάβρωσης είναι υψηλότερη από τη θερμοδυναμικά επιτρεπτή λόγω των εμποδίων και των πεδύσεων, όπως η έλλειψη αντιστρεπτών ιοντικών αταξιών, με τις οποίες εξασφαλίζεται η συνέχιση της διάβρωσης.. Το $\Delta\mu^{\circ}\text{ολ}$ υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\Delta\mu^{\circ}\text{ολ} = -E_0 n e F'$$

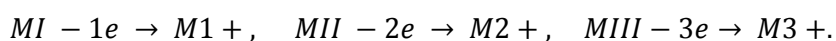
Όπου:

E_0 : το κανονικό δυναμικό ενός ημιστοιχείου, που αποτελείται από το μέταλλο και κανονικό διάλυμα ιόντων του σε θερμοκρασία 25 °C

n : αριθμός ηλεκτρονίων ανά γραμμοϊόν,

F' : σταθερά του Faraday ίση με 96500 Cb

Η τιμή του κανονικού ($C=1$, $t=25^{\circ}\text{C}$) δυναμικού των μετάλλων και των κραμάτων καθορίζει την προδιάθεσή τους για διάβρωση. Τα δυναμικά του πίνακα της ηλεκτροδιακής σειράς των μετάλλων είναι και τα δυναμικά διάβρωσής τους αφού σε αυτόν εξετάζεται η δράση :



Όσο μεγαλύτερη θετική τιμή έχουν τα δυναμικά αυτά ή όσο μικρότερη αρνητική (μικρότερη κατά απόλυτη τιμή), τόσο μεγαλύτερη η διάβρωση.

Σε περίπτωση που τα μέταλλα είναι εμβαπτισμένα σε διαφορετικής συγκέντρωσης διάλυμα, ή για θερμοκρασίες διαφορετικές από τους 25 °C, τότε το δυναμικό διάβρωσης υπολογίζεται από το νόμο του Nernst

$$E = E_0 - (RT/nF) \log (M +)$$

απ' όπου βγαίνει το συγκριτικό συμπέρασμα για τη μεγαλύτερη προδιάθεση για διάβρωση ανάμεσα στα δύο μέταλλα.

Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις διαβρωτικού περιβάλλοντος απαιτείται η μέτρηση του δυναμικού διάβρωσης, για τον καθορισμό της προδιάθεσης για διάβρωση των μετάλλων ή των κραμάτων. Η πρόβλεψη αυτή πρέπει να συνδυάζεται και με την τιμή της έντασης του ρεύματος διάβρωσης.

ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Σε αντίθεση με τη θερμοδυναμική εξέταση του φαινομένου της διάβρωσης που διερευνά το φαινόμενο μακροσκοπικά, η κινητική της διάβρωσης μελετά τον μικροσκοπικό μηχανισμό της, δηλαδή την ταχύτητα και τις συνθήκες που επηρεάζουν τη δημιουργία και την εξέλιξη του φαινομένου, γεγονός που συμβάλει αποφασιστικά στην αντιμετώπισή του. Με εξαίρεση τη σπηλαιώδη μηχανική διάβρωση και ορισμένες περιπτώσεις της ψαθυρής θραύσης από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση, όλα τα υπόλοιπα είδη διάβρωσης, ανεξάρτητα από το είδος του διαβρωτικού περιβάλλοντος, των δράσεων που πραγματοποιούνται και της κλίμακας της διάβρωσης, ανάγονται ποιοτικά στους δύο ακόλουθους μηχανισμούς:

1. Τον ηλεκτροχημικό μηχανισμό του Wagner
2. Τον χημικό μηχανισμό

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑ WAGNER

Μεταξύ όλων των μετάλλων ή των κραμάτων και οποιουδήποτε είδους διαβρωτικού περιβάλλοντος δημιουργείται δυναμικό γαλβανικού στοιχείου, με αρνητικό πόλο το μέταλλο ή το κράμα και θετικό πόλο το διαβρωτικό περιβάλλον. Η αποκατάσταση γαλβανικού στοιχείου, οδηγεί στην αρχή στην κάλυψη της επιφάνειας του μετάλλου με λιγομοριακό στρώμα προϊόντος αντίδρασης.

Το παραπάνω γαλβανικό στοιχείο που δημιουργείται ανάμεσα στο μέταλλο και το διαβρωτικό περιβάλλον είναι εσωτερικά βραχυκυκλωμένο στοιχείο και τα ιόντα του μετάλλου, ακολουθώντας τους νόμους των γαλβανικών στοιχείων, οδεύουν προς το διαβρωτικό περιβάλλον και σχηματίζοντα προϊόντα διάβρωσης, από τη διεπιφάνεια μετάλλου-προϊόντος διάβρωσης προς το διαβρωτικό περιβάλλον. Προς την ίδια κατεύθυνση οδεύει ισοδύναμος αριθμός ηλεκτρονίων. Επομένως, στο γαλβανικό αυτό στοιχείο μπορεί να εφαρμοστεί ο νόμος της ηλεκτρόλυσης του Faraday σύμφωνα με τον οποίο το βάρος του οξειδίου που εναποτίθεται (παράγεται) δίνεται από τη σχέση:

$$\beta = I t M / n_e F'$$

Όπου:

β : βάρος οξειδίου που παράγεται, [gr]

I : ένταση του ρεύματος, [A]

t : χρόνος, [sec]

M : μοριακό βάρος του οξειδίου

n_e : αριθμός ηλεκτρονίων ανά γραμμοίον

F' : σταθερά του Faraday ίση με 96500 Cb

Κατά το πρωταρχικό στάδιο, στην περίπτωση ομοιόμορφης διάβρωσης αρχικά καλύπτεται όλη η επιφάνεια από λιγομοριακό στρώμα προϊόντος διάβρωσης και μετά αρχίζει η αύξηση του πάχους του. Κατά το στάδιο αυτό και μέχρι πάχους 1000Å, η χρονική εξέλιξη του πάχους των προϊόντων της διάβρωσης δίνεται από τον τύπο:

$$Y^3 = Kt \text{ όπου,}$$

y : πάχος προϊόντος διάβρωσης,

K : σταθερά της ταχύτητας,

t : χρόνος.

Στην συνέχεια, μετά το στάδιο αυτό, έχουμε την παραβολή εξάνθησης :

$$Y^2 = Kt, \text{ για } Y > 1000\text{Å}$$

Η σχέση αυτή ισχύει στην περίπτωση που η συνοχή του υλικού είναι μικρή και η αραίωση του στο εσωτερικό, εξαιτίας της διάβρωσης, δημιουργεί αξονική τρύπα. Η δημιουργία αξονικής τρύπας είναι συνέπεια της αυτοδιάχυσης των ιόντων του μετάλλου και της διάχυσης τους μέσα από το οξείδιο προς το διαβρωτικό περιβάλλον με αποτέλεσμα την αραίωση του εσωτερικού του μετάλλου και τελικά τη δημιουργία αξονικής τρύπας.

Στην περίπτωση που η συνοχή του μετάλλου ή κράματος είναι πολύ μεγάλη, τότε δεν σχηματίζεται αξονική τρύπα, αλλά χωρίς να αλλάζει ο μικροσκοπικός μηχανισμός του φαινομένου. Η χρονική εξέλιξη του φαινομένου δίνεται από την πιο κάτω σχέση, την πρώτη εξίσωση διάχυσης του Fick και η οποία είναι σπανιότερη της παραβολής εξάνθησης:

$$y = Kt$$

Η σταθερά της ταχύτητας K , στις πιο πάνω εξισώσεις, δίνεται από την σχέση:

$$K = 2E_{\delta} \mu_{+}' \mu_{e}' u V_m / n_e F'$$

και εξαρτάται, επομένως και η ταχύτητα της αντίδρασης, από :

1. Το δυναμικό διάβρωσης (E_{δ}) .
2. Τους αριθμούς μεταφοράς των ιόντων του μετάλλου (μ_{+}'), και των ηλεκτρονίων (μ_{e}') στο προϊόν διάβρωσης.
3. Την ειδική αγωγιμότητα του διαβρωτικού περιβάλλοντος και του προϊόντος
4. Διάβρωσης (u), επομένως και την ένταση διάβρωσης.
5. Τον μοριακό όγκο του προϊόντος διάβρωσης (V_m) .
6. Το σθένος του μετάλλου (n_e) .
7. Τη θερμοκρασία κατά το νόμο Arrhenius που δίνεται από τη σχέση :

$$\log K = - (q^*/(2.3 R T)) + \log A$$

όπου:

$q^* = 18 \text{ Kcal/mol} = 76 \text{ KJ/mol}$, η ενέργεια ενεργοποίησης,

T : απόλυτη θερμοκρασία,
R : σταθερά των αερίων
A : σταθερά

Επισημαίνεται ότι το K αυξάνει με αύξηση της θερμοκρασίας, υπάρχουν όμως και ορισμένες περιπτώσεις όπου παρατηρείται ελάττωση με αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει γιατί, με την αύξηση της θερμοκρασίας ελαττώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου στο διάλυμα και αυτό υπερκαλύπτει την αύξηση του αριθμού των άτακτων ιόντων και της ευκινησίας τους.

8. Την καθαρότητα ή όχι και από την πίεση (συγκέντρωση) του οξυγόνου ή άλλου διαβρωτικού αερίου. Στην περίπτωση όπου δεν έχουμε πίεση μιας ατμόσφαιρας, αντί του E_s στην σχέση που δίνει την σταθερά ταχύτητας, K, χρησιμοποιώ την σχέση :

$$E_s + (0,059/4)\log Pa$$

όπου Pa: μερική πίεση αερίου, όταν είναι σε μίγμα (αέρας) ή η πίεση του αερίου, όταν είναι καθαρό.

9. Τον αριθμό και την ένταση των ενεργών κέντρων (αταξιών δομής). Ο μηχανισμός Wagner είναι πολύ γενικής ισχύος και ισχύει για όλες τις ηλεκτροχημικές και ορισμένες περιπτώσεις ηλεκτροχημικής και χημικής φύσης διαβρώσεις.

ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ

Ο μηχανισμός αυτός εμφανίζεται στην περίπτωση της ομοιόμορφης χημικής διαλυτικής προσβολής στερεών από υγρά. Στην εν λόγω περίπτωση ισχύει ο γενικός μηχανισμός των διαλύσεων σε υγρά, όπου το βραδύτερο στάδιο είναι, είτε η διάχυση σε διάλυμα των ιόντων, ή των μορίων του διαβρωτικού μέσου προς την επιφάνεια του μετάλλου, οπότε ισχύει μια από τις εξισώσεις του Fick (ευθύγραμμη ή παραβολική), είτε η διάχυση σε διάλυμα των προϊόντων της διάβρωσης προς το εσωτερικό του διαβρωτικού περιβάλλοντος, οπότε ισχύει η σχέση $y = e^{kt}$.

Η ενέργεια ενεργοποίησης και στις δύο περιπτώσεις είναι $Q=6$ kcal/mol και η σταθερά της ταχύτητας K, είναι συνάρτηση του συντελεστή διάχυσης και της προηγούμενης στοιβάδας.

Και στον μηχανισμό της χημικής διάλυσης, υπάρχει δυναμικό διάβρωσης του προσβαλλόμενου μετάλλου. Κατά συνέπεια συνυπάρχει σαν στάδιο η διάχυση των ιόντων του μετάλλου ή του κράματος σε στερεή κατάσταση, αλλά είναι ταχύτερη από την διάχυση των ιόντων στο διάλυμα, που είναι το βραδύτερο στάδιο της χημικής προσβολής. Επομένως στην περίπτωση αυτή, η τιμή του δυναμικού διάβρωσης δεν επηρεάζει το φαινόμενο με τον ίδιο τρόπο, που το επηρεάζει σε μια ηλεκτροχημική διάβρωση. Επηρεάζει όμως την διάχυση των ιόντων σε διάλυμα Έτσι, η καθαρά χημική προσβολή επηρεάζεται ακόμα και από το ηλεκτρικό ρεύμα.

Μάλιστα, αν η διάχυση των ιόντων στο διάλυμα γίνει, σκόπιμα ή αυθόρμητα, τόσο γρήγορη, ώστε η όδευση των ιόντων του μετάλλου σε στερεή κατάσταση να γίνει το βραδύτερο στάδιο, τότε η διάβρωση από καθαρά χημικής φύσης μετατρέπεται σε ηλεκτροχημικής φύσης.

Ο μηχανισμός χημικής διάλυσης ισχύει: για την ομοιόμορφη χημική προσβολή και για την διάβρωση με βελονισμούς, όταν αυτή εξελίσσεται σε χημική .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΔΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ Ή ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Είναι το πιο διαδεδομένο είδος διάβρωσης και αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη καταστροφή μετάλλου σε τόνους. Χαρακτηρίζεται γενικά από χημική ή ηλεκτροχημική δράση που προχωρά ομοιόμορφα στο σύνολο ή στο μεγαλύτερο μέρος της εκτεθειμένης επιφάνειας, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός ομοιόμορφου και περίπου ισοπαχούς στρώματος προϊόντος διάβρωσης ή μιας περίπου ομοιόμορφης διάλυσης της επιφάνειας. Τα προϊόντα διάβρωσης παραμένουν συνήθως πάνω στην ομοιόμορφα διαβρωμένη επιφάνεια αλλά μπορούν να αφαιρεθούν κάτω από την επίδραση της ταχύτητας, με μηχανική δράση ή άλλους μηχανισμούς. Χαρακτηριστική μορφή ομοιόμορφης διάβρωσης φαίνεται στην εικόνα 3-1.



Εικόνα 3-1 «Ομοιόμορφη διάβρωση»

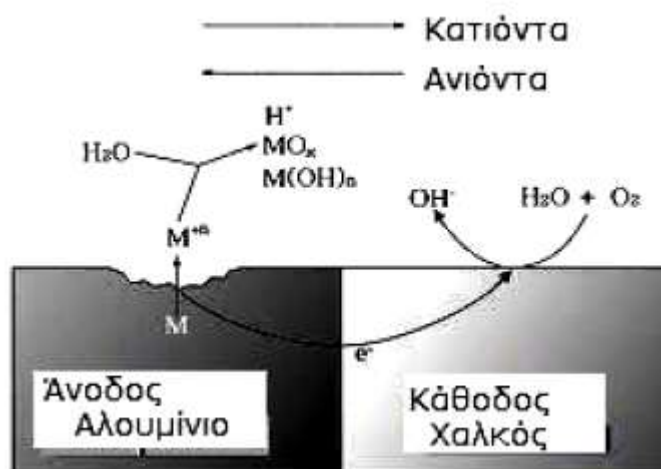
Αποτελεί αποδεκτό είδος διάβρωσης και όχι τόσο μεγάλου ενδιαφέροντος από τεχνικής πλευράς αφού η διάρκεια ζωής της κατασκευής μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια με απλά πειράματα εμβάπτισης. Αυτά τα πειράματα επιτρέπουν την επίβλεψη της απώλειας μάζας και επιτρέπουν τον υπολογισμό της σε συνάρτηση με το χρόνο. Όλα τα μέταλλα προσβάλλονται από αυτό το είδος διάβρωσης αν και τα μέταλλα που παθητικοποιούνται (ανοξειδωτος χάλυβας, κράματα νικελίου –

χρωμίου) είναι συνήθως επιρρεπή σε εντοπισμένες μορφές προσβολής. Παραδείγματα ομοιόμορφης διάβρωσης είναι η σκουριά στο χάλυβα, ο σχηματισμός πράσινης σκουριάς στο χαλκό και το μαύρισμα στο ασήμι.. Η ομοιόμορφη διάβρωση είναι συχνά αποτέλεσμα της έκθεσης στην ατμόσφαιρα ιδιαίτερα σε μολυσμένα βιομηχανικά περιβάλλοντα.

ΤΟΠΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

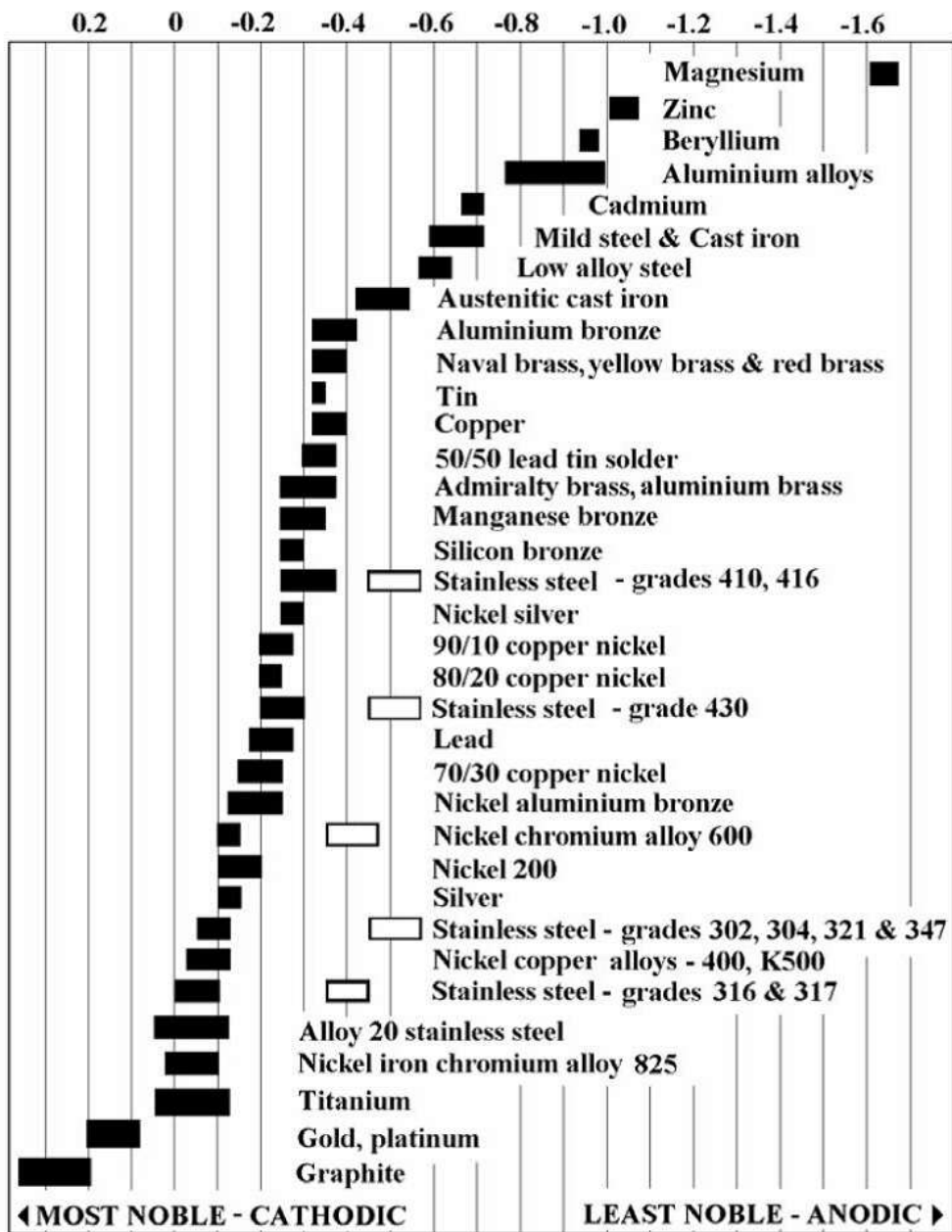
ΓΑΛΒΑΝΙΚΗ

Μεταξύ δύο ανόμοιων μετάλλων σε επαφή που βρίσκονται σε διαβρωτικό ή γενικά αγώγιμο περιβάλλον υφίσταται διαφορά δυναμικού που προκαλεί ροή ηλεκτρονίων στο σύστημα τους. Αυτό συνεπάγεται την αύξηση της ταχύτητας διάβρωσης του λιγότερο ανθεκτικού στη διάβρωση μετάλλου (άνοδος) και την ελάττωση της ταχύτητας διάβρωσης του περισσότερο ανθεκτικού (κάθοδος). Αυτή η μορφή διάβρωσης επιτίθεται συνήθως στις συνδέσεις των μετάλλων, ή στις περιοχές όπου ένα κατασκευαστικό μέταλλο διατρέχεται από άλλο (Εικόνα 3-2).



Εικόνα 3-2 «Γαλβανική/διμεταλλική διάβρωση»

Στην πράξη η γαλβανική ένωση μετάλλων σε ισορροπία με τα ιόντα τους είναι πολύ σπάνια. Τα περισσότερα υλικά αποτελούν γαλβανικά ζεύγη, μιας και αποτελούνται από ένα ή περισσότερα μεταλλικά κράματα. Για το λόγο πρέπει να γίνει μια ακριβέστερη πρόβλεψη της γαλβανικής σχέσης μεταξύ κραμάτων με την χρήση του πίνακα 3-1.



Πίνακας 3-1 « Γαλβανική σειρά μετάλλων σύμφωνα με το δυναμικό τους, που μετρείται με τυποποιημένο ηλεκτρόδιο καλομέλανα, Standard Calomel Electrodecalomel.»

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν αυτού του είδους τη διάβρωση είναι :

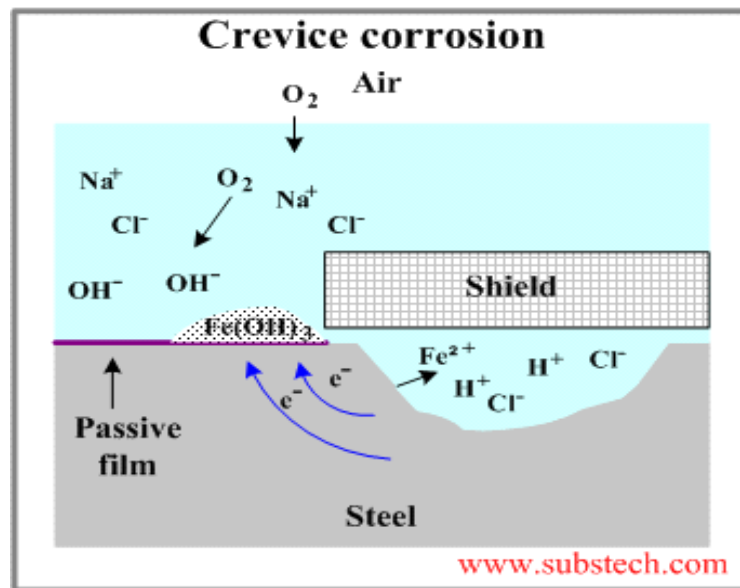
1. Η φύση και η διαβρωτικότητα του περιβάλλοντος
2. Η αγωγιμότητα του περιβάλλοντος : σε μεγάλες επιφάνειες σε επαφή με διάλυμα υψηλής αγωγιμότητας π.χ. θάλασσα, η προσβολή μπορεί να

επεκταθεί σε μεγάλη απόσταση από την επαφή και έτσι να γίνει λιγότερο επικίνδυνη, ενώ σε μαλακό νερό και σε ατμοσφαιρικές συνθήκες η προσβολή παρουσιάζεται κοντά στις συνδέσεις και είναι πιο επικίνδυνη γιατί φθάνει μέχρι και δημιουργία αυλακώσεων μεγάλου βάθους.

3. Ο λόγος ανοδικής προς καθοδική επιφάνεια, με δυσμενέστερη την περίπτωση μικρής ανόδου προς μεγάλη κάθοδο. Αν για παράδειγμα μια μικρή επιφάνεια ανόδου (το λιγότερο ευγενές μέταλλο, όπως το αλουμίνιο) ενώνεται με μια μεγάλη επιφάνεια καθόδου (το ευγενέστερο μέταλλο, όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας) θα οδηγήσει σε μια υψηλή πυκνότητα ρεύματος στο αλουμίνιο, και ως εκ τούτου ένα υψηλό ποσοστό διάβρωσης. Αντιθέτως εάν η επιφάνεια της ανόδου είναι μεγάλη έναντι αυτής της καθόδου αυτό ελαττώνει τη διαβρωτική επίδραση, στις περισσότερες περιπτώσεις μέχρι το σημείο που κανένα πρόβλημα δεν εμφανίζεται.
4. Η υγρασία, που είναι καθοριστικός παράγοντας εμφάνισης και εξέλιξης της γαλβανικής διάβρωσης

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΧΑΡΑΓΗΣ

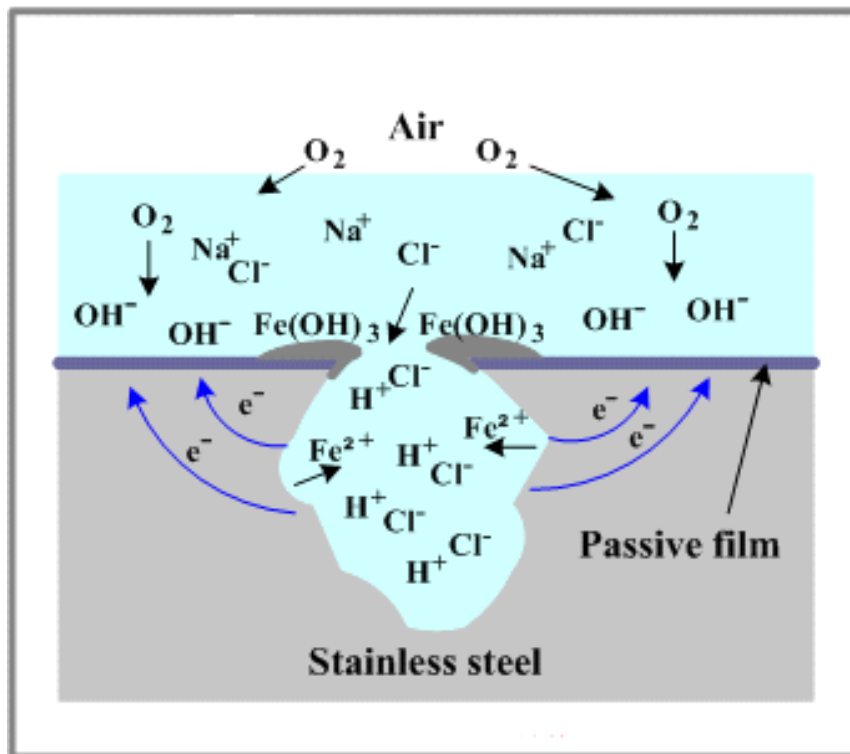
Πρόκειται για εντοπισμένη μορφή διάβρωσης λόγω εναπόθεσης λάσπης, σκόνης και βρωμιάς στη μεταλλική επιφάνεια ή λόγω ύπαρξης χαραγών, τρυπών και κοιλοτήτων μεταξύ δύο στενά προσκολλημένων επιφανειών. Οι προσκολλημένες αυτές επιφάνειες μπορεί να είναι είτε και οι δύο από μέταλλο, είτε η μία από μέταλλο και η άλλη από αμέταλλο. Οποιαδήποτε κατάσταση που δημιουργεί μια διαφορά στο περιβάλλον μεταξύ των περιοχών ενός μετάλλου μπορεί να προκαλέσει αυτό το είδος διάβρωσης. Ο βασικός μηχανισμός είναι ουσιαστικά ο ίδιος όπως στη γαλβανική διάβρωση αλλά στην περίπτωση της διάβρωσης σε σχισμές η κατευθυντήρια δύναμη είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των περιοχών του ίδιου του μετάλλου που εκτίθεται σε διαφορετικά περιβάλλοντα και όχι η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο διαφορετικών μετάλλων που εκτίθενται στο ίδιο περιβάλλον. Σημαντική συνθήκη για να συμβεί διάβρωση χαραγής είναι η ύπαρξη κελιού με κατά τόπους διαφορετική περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Στον ηλεκτρολύτη εντός της χαραγής, υπάρχει έλλειψη οξυγόνου, και στον ηλεκτρολύτη εκτός χαραγής, υπάρχει περίσσεια οξυγόνου. Το υλικό εντός της σχισμής λειτουργεί ως άνοδος και το εξωτερικό υλικό ως κάθοδος. Ο μηχανισμός φαίνεται στην εικόνα 3-3.



Εικόνα 3-3 «Διάβρωση χαραγής»

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕ ΒΕΛΟΝΙΣΜΟΥΣ

Η διάβρωση με βελονισμούς μπορεί να θεωρηθεί ως το ενδιάμεσο στάδιο ανάμεσα στην ομοιόμορφη διάβρωση και στην πλήρη παθητικοποίηση όπου συντελείται μηδενική διάβρωση. Σε αυτό το είδος διάβρωσης παρουσιάζεται εκλεκτικός τοπικός σχηματισμός προϊόντος διάβρωσης, ακόμα και όταν το μέταλλο ή κράμα έχει καλυφθεί με προστατευτικό επίστρωμα, ή εκλεκτική τοπική διάλυση της επιφάνειας. Η διάμετρος των βελονισμών μπορεί να ποικίλει, όμως γενικά έχουν σχετικά περιορισμένο μέγεθος. Οι βελονισμοί μπορεί να είναι απομονωμένοι μεταξύ τους ή να βρίσκονται σε τόσο κοντινές θέσεις ώστε να σχηματίζουν μια τραχιά επιφάνεια. Χαρακτηριστική μορφή διάβρωσης με βελονισμούς φαίνεται στην εικόνα 3-4.



Εικόνα 3-4 «Διάβρωση με βελονισμούς»

Το είδος αυτό της διάβρωσης είναι ένα από τα πιο καταστρεπτικά είδη γιατί προκαλεί καταστροφή των υλικών λόγω διάτρησης ακόμα και για πολύ μικρό εκατοστιαίο ποσοστό απώλειας βάρους της κατασκευής. Είναι συχνά δύσκολο να διακρίνουμε τους βελονισμούς είτε λόγω του μικρού τους μεγέθους είτε γιατί συχνά καλύπτονται από προϊόντα διάβρωσης. Το περιβάλλον που δημιουργεί κυρίως απώλειες από βελονισμούς είναι τα διαλύματα χλωριόντων.

Τα περισσότερο ευπαθή μέταλλα σε αυτό το είδος της διάβρωσης, είναι αυτά που προστατεύονται με λεπτά στρώματα οξειδίων, όπως ο χαλκός, ο ανοξείδωτος χάλυβας, το αλουμίνιο, το τιτάνιο και το μαγνήσιο. Μπορεί όμως να εμφανιστεί και στο κοινό χάλυβα, το σίδηρο, το μόλυβδο και πολλά άλλα μέταλλα.

ΕΚΛΕΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΒΟΛΗ

Εκλεκτική διάβρωση είναι η απομάκρυνση ενός μόνο στοιχείου από ετερογενές στερεό κράμα. Εμφανίζεται μόνο σε κράματα όπου δύο ή περισσότερα μέταλλα δημιουργούν στερεό διάλυμα. Κατά τη διαβρωτική διαδικασία διαλύεται μόνο το λιγότερο ευγενές μέταλλο ενώ το υπόλοιπο διατηρεί τη μεταλλική του μορφή αλλά με μεγάλη μείωση της μηχανικής του αντοχής. Η αντίσταση στη διάβρωση των κραμάτων εξαρτάται από τη σύνθεση τους και αυξάνει με τη

συγκέντρωση του ευγενέστερου συστατικού. Συνηθέστερη περίπτωση εκλεκτικής προσβολής είναι η αποψευδαργύρωση του ορείχαλκου (Εικόνα 3-5).



Εικόνα 3-5 «Αποψευδαργύρωση του ορείχαλκου σε δείγμα σωλήνα εναλάκτη»

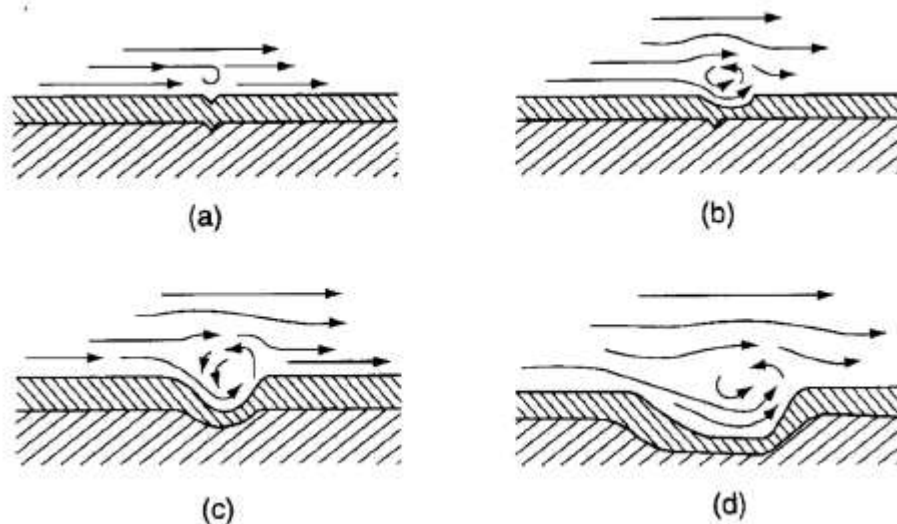
ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Στην πράξη υπάρχουν τύποι διάβρωσης που προκαλούνται από τη συντονισμένη δράση μηχανικών και χημικών παραγόντων. Ανάλογα με τη φύση των μηχανικών τάσεων που δρουν διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΕΝΟΣ ΥΓΡΟΥ ΠΑΝΩ ΣΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΕΚ ΤΡΙΒΗΣ Ή ΡΕΥΣΤΟΥ

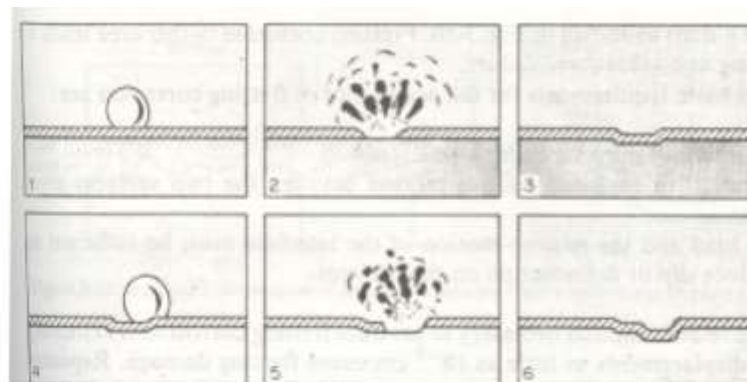
Πρόκειται για την αύξηση της ταχύτητας φθοράς ή προσβολής του μετάλλου λόγω της σχετικής κίνησης του υγρού διαβρωτικού μέσου και της μεταλλικής επιφάνειας. Η διάβρωση εκτριβής αντιμετωπίζεται με επιλογή κατάλληλων υλικών, εισαγωγή φίλτρων για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, πρόσδοση ομαλής εσωτερικής επιφάνειας των σωληνώσεων για εύκολη αποστράγγιση, αποφυγή διακοπτόμενης και τυρβώδους ροής, επικάλυψη με διαφόρων ειδών επιστρώματα και χρήση αναστολέων. Η σχηματική αναπαράσταση της διάβρωσης εκ τριβής απεικονίζεται στην εικόνα 3-6.



Εικόνα 3-6 «Σχηματική αναπαράσταση διάβρωσης εκτριβής»

ΣΠΗΛΛΙΩΔΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Οφείλεται στο σχηματισμό φυσαλίδων ατμού μέσα σε ρευστό που κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Οι φυσαλίδες σπάνε κοντά στη μεταλλική επιφάνεια προκαλώντας κύματα πρόσκρουσης σε αυτήν υψηλής πίεσης (εικόνα 3-7). Τα κύματα αυτά αντιστοιχούν σε τοπικές πιέσεις μέχρι 4000 atm με συνέπεια την τοπική καταστροφή της επιφάνειας και την επιτάχυνση της διάβρωσης. Συνέπεια είναι η επιτάχυνση της διάβρωσης, η οποία συνεχώς αυξάνεται διότι η ανώμαλη σπογγώδης επιφάνεια που δημιουργείται ευνοεί συνεχώς το σχηματισμό όλο και περισσότερων φυσαλίδων. Εμφανίζεται κυρίως σε υδραυλικές τουρμπίνες, προπέλες πλοίων, φτερωτές αντλιών και γενικά σε επιφάνειες που υφίστανται ταχεία ροή υγρών και μεταβολές πίεσης. Είναι πιο έντονο φαινόμενο σε νερό με άλατα από ότι σε μαλακό νερό.

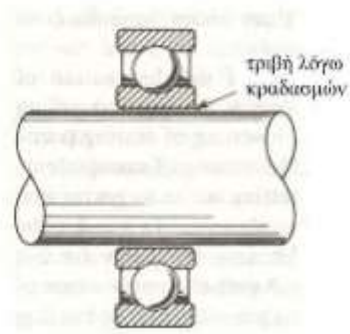


Εικόνα 3-7 «Σχηματική παρουσίαση των σταδίων της σπηλαιώδους διάβρωσης»

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΕΝΟΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΠΟ ΤΡΙΒΗ

Ως διάβρωση από τριβή ορίζεται η προσβολή που συμβαίνει στη διεπιφάνεια δύο σε επαφή επιφανειών, μία τουλάχιστον εκ των οποίων είναι μεταλλική, όταν υπό φορτίο υφίστανται ελαφριά σχετική ολίσθηση η μία προς την άλλη. (Εικόνα 3-8)

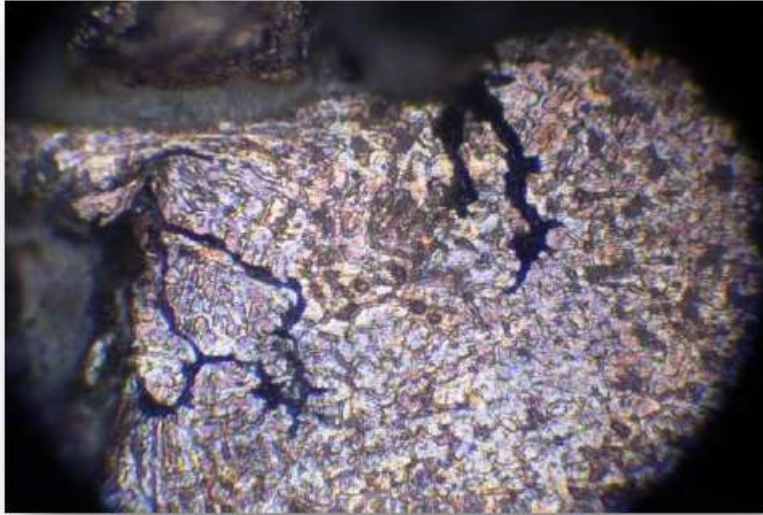


Εικόνα 3-8 «Παράδειγμα τυπικής διάβρωσης με τριβή»

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ

Είναι η συνδυασμένη δράση τοπικής διαβρωτικής προσβολής και εσωτερικών ή εξωτερικών εφελκυστικών τάσεων. Το αποτέλεσμα της είναι η δημιουργία λεπτών ρωγμών που προχωρούν στο εσωτερικό του μετάλλου κάθετα στη διεύθυνση της μηχανικής τάσης, ακολουθώντας περικρυσταλλικό ή ενδοκρυσταλλικό (ευθύ ή διακλαδιζόμενο) δρόμο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα 3-9.



Εικόνα 3-9 «Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση δείγματος σωλήνων εισαγωγής ατμού κράματος Cu-Ni όπως φαίνεται στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο»

ΒΛΑΒΗ ΑΠΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ

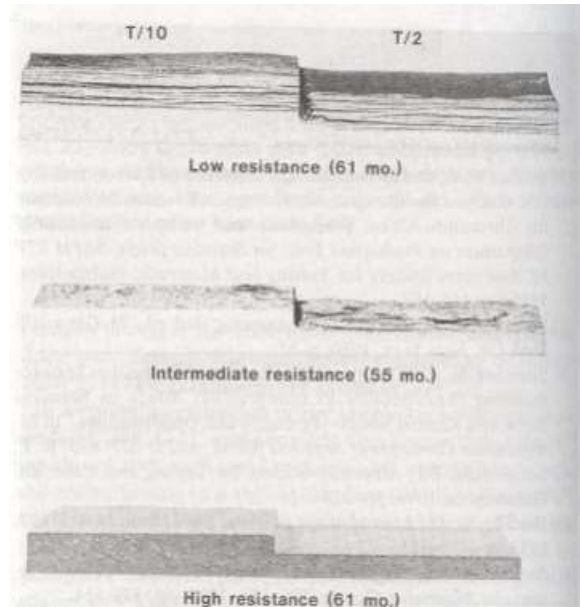
Προκαλείται από τη ρόφηση υδρογόνου από το μέταλλο χωρίς να υπάρχει δράση διάβρωσης στην επιφάνεια.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΟΠΩΣΗΣ

Είναι η συνδυασμένη δράση διαβρωτικής προσβολής και κυκλικών τάσεων δηλαδή γρήγορα εναλλασσομένων εφελκυστικών και θλιπτικών τάσεων. Η φθορά του υλικού είναι σχεδόν πάντοτε μεγαλύτερη από το άθροισμα της φθοράς από διάβρωση και της φθοράς από κόπωση αν δράσουν χωριστά.

ΘΕΡΜΟΓΑΛΒΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Είναι η διάβρωση που προκαλείται από την εμφάνιση διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ δύο τμημάτων της ίδιας κατασκευής. Προκαλείται διαφορετική πόλωση του μετάλλου, οπότε δημιουργούνται ανοδικές και καθοδικές περιοχές που οδηγούν σε τοπική προσβολή του θερμότερου τμήματος. (Εικόνα 3-10). Αντιμετωπίζεται με αποφυγή ανομοιόμορφης θέρμανσης ή ψύξης ή θέρμανση τμήματος κατασκευής, κατάλληλο σχεδιασμό για αποφυγή επαφής με υγρά από εξωτερική πηγή διαφορετικής θερμοκρασίας και εξασφάλιση της συνέχειας της μόνωσης ή της επένδυσης.



Εικόνα 3-10 « Τρεις βαθμίδες αντίδρασης της διάβρωσης που προκαλούνται από αλλαγή της θερμοκρασίας σε AA2024 κράμα για 61 και 55 μήνες αντίστοιχα.»

ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ Η ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Ως βιολογική διάβρωση ορίζεται η διάβρωση που ξεκινά ή επιταχύνεται από την παρουσία μικροοργανισμών (βακτηρίδια). Ποικιλίες των μικροοργανισμών αυτών αναπτύσσονται στο νερό, στο έδαφος, στα φυσικά προϊόντα πετρελαίου και στα διαλύματα πλύσης μεταλλευμάτων. Οι μικροοργανισμοί επηρεάζουν είτε άμεσα τις ανοδικές και καθοδικές δράσεις είτε με προσβολή των προστατευτικών επιστρωμάτων ή/και των αναστολέων είτε με παραγωγή διαβρωτικών ουσιών είτε με παραγωγή αποθέσεων με τη μορφή σωρών ή εξογκωμάτων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 3-11.



Εικόνα 3-11 «Βιολογική διάβρωση»

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Στην ατμοσφαιρική διάβρωση, ο ηλεκτρολύτης είναι υγρασία από την ομίχλη, τη δροσιά, το θαλασσινό νερό ή άλλες πηγές. Οι τρεις παράγοντες που έχουν την περισσότερη επιρροή στη διαβρωτική ικανότητα της ατμόσφαιρας είναι:

1. Το χρονικό διάστημα που οι επιφάνειες εκτίθενται στην υγρασία
2. Το ποσοστό χλωριδίου από τη θάλασσα που φθάνει στην επιφάνεια
3. Το ποσοστό των βιομηχανικών ρύπων (κυρίως οξέα) που φθάνουν στις επιφάνειες.

Σε όλα τα ατμοσφαιρικά περιβάλλοντα υπάρχει άφθονο οξυγόνο, κατά συνέπεια η διάβρωση των περισσότερων μετάλλων στα ατμοσφαιρικά περιβάλλοντα δεν περιορίζεται από το ποσό παρόντος οξυγόνου και μπορεί να προχωρήσει γρήγορα υπό την παρουσία του ηλεκτρολύτη. Γενικά, οι λιγότερο διαβρωτικές ατμόσφαιρες βρίσκονται στις ξηρές περιοχές (ερήμους) και οι πιο διαβρωτικές περιοχές είναι οι βιομηχανικές ή περιοχές κοντά σε ναυπηγεία. Η διαβρωτικότητα των υγρών τροπικών τοποθεσιών οφείλεται στην μεγάλης διάρκειας υγρασία και τις υψηλές θερμοκρασίες. Εντούτοις, οι τοπικοί παράγοντες και τα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού των κατασκευών έχουν συχνά τέτοια επιρροή στην εμφάνιση της διάβρωσης που υπερβαίνουν τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες.

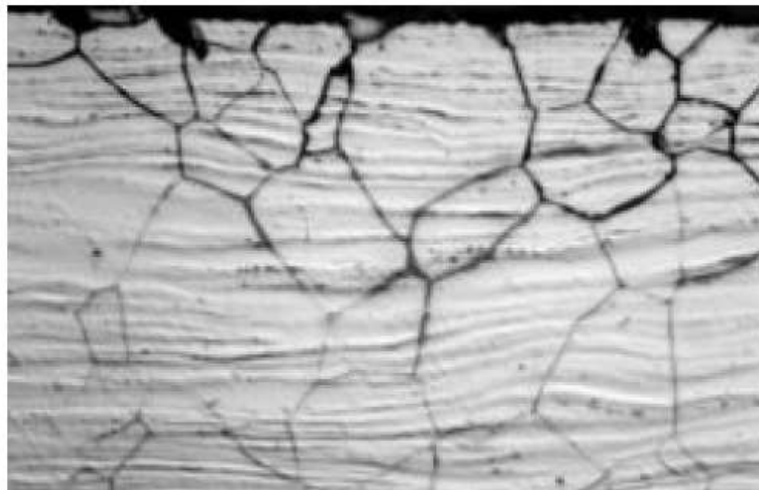
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΠΟ ΡΕΥΜΑΤΑ ΔΙΑΦΥΓΗΣ

Ρεύματα διαφυγής ονομάζονται τα συνεχή ρεύματα που ακολουθούν δρόμο διαφορετικό από τον προβλεπόμενο. Τα ρεύματα αυτά μπορεί να προέρχονται από σιδηρόδρομους, διατάξεις συγκολλήσεων, συστήματα γείωσης και καθοδικής προστασίας, κ.λπ. Η διάβρωση εμφανίζεται στα σημεία εξόδου των ρευμάτων από τις κατασκευές. Αντιμετωπίζεται με κατάλληλη σύνδεση διατάξεων, ηλεκτρική μόνωση, επιφανειακά επιστρώματα, καθοδική προστασία, χρήση μη αγώγιμων ρευστών και θυσιαζόμενων ανόδων.

ΠΕΡΙΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Το είδος αυτό της διάβρωσης εμφανίζεται στα περατωτικά όρια των μεταλλικών κόκκων όπου σχηματίζονται τοπικά γαλβανικά στοιχεία είτε λόγω υψηλότερης κρυσταλλικής ενέργειας των σημείων αυτών είτε λόγω συγκέντρωσης εκεί ακαθαρσιών και στοιχείων κραματοποίησης. Για τον έλεγχο της εμφάνισης του συγκεκριμένου είδους διάβρωσης απαιτείται συχνά η μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων. (Εικόνα 3-12)

Ειδική περίπτωση περικρυσταλλικής διάβρωσης αποτελεί η διάβρωση στη περιοχή των συγκολλήσεων των ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων. Αντιμετωπίζεται με θερμική κατεργασία έξω από τη ζώνη ευαισθητοποίησης, ελάττωση του περιεχόμενου άνθρακα κάτω από 0.03%, προσθήκη καρβιδίων Ta, Ti, Nb, κ.ά



Εικόνα 3-12 «Περικρυσταλλική διάβρωση ανοξειδωτου χάλυβα όπως παρατηρείται στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Η εφαρμογή μεθόδων προστασίας από την διάβρωση επιβάλλεται τόσο για οικονομικούς λόγους όσο και για την ενίσχυση της ασφάλειας κατασκευών και εξοπλισμών και τη διαφύλαξη της σπατάλης των πλουτοπαραγωγικών πηγών. Λόγω των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα και της ευκολίας στην μορφοποίηση, βαφή, ανακύκλωση καθώς και το χαμηλό του κόστος, χρησιμοποιείται κατά κόρον στις κατασκευές και τον βιομηχανικό εξοπλισμό. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της διάβρωσης:

- 1) Επιλογή του κατάλληλου κατασκευαστικού υλικού.
- 2) Κατάλληλος σχεδιασμός της εγκατάστασης και χρησιμοποίηση αυτής με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση.
- 3) Βελτίωση των συνθηκών του περιβάλλοντος.
- 4) Μέθοδοι μείωσης του δυναμικού διάβρωσης.
- 5) Μέθοδοι μείωσης της έντασης του ρεύματος διάβρωσης
- 6) Προσθήκη αναστολέων.
- 7) Συνδυασμός καθοδικής προστασίας και επιστρωμάτων.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΟΥ

ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΚΡΑΜΑΤΑ

Ο κυριότερος παράγοντας για την επιλογή ενός μετάλλου είναι η αντίστασή του στη διάβρωση. Η αντίσταση μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με προσθήκες ή και διεργασίες που τροποποιούν την σύστασή του (κραματοποίηση ή καθαρισμός), την δομή του (θερμική κατεργασία), ή τις εσωτερικές του τάσεις (θερμική κατεργασία ή κατεργασία διαμόρφωσης εν ψυχρώ). Ο σκοπός των προσθηκών είναι να παθητικοποιήσουν ή διευκολύνουν την παθητικοποίηση του μετάλλου και να μειώσουν τις κρυσταλλικές του ατέλειες. Η διαδικασία καθαρισμού, καθώς και οι θερμικές κατεργασίες επιλέγονται βάσει της φύσης του υλικού.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι ο ανοξείδωτος χάλυβας δεν είναι το πιο αντιδιαβρωτικό μέταλλο και δεν είναι ένα συγκεκριμένο κράμα. Ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι η γενική ονομασία μιας σειράς πάνω από τριάντα διαφορετικών κραμάτων που περιέχουν από 11.5 έως 30% χρώμιο (Cr) και από 0 έως 22% νικέλιο (Ni), μαζί με άλλες προσμίξεις. Έχει εκτεταμένες εφαρμογές στην προστασία της διάβρωσης, χωρίς όμως να αντιστέκεται σε όλα τα είδη της διάβρωσης. Στην πραγματικότητα, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, όπως σε περιβάλλοντα που περιέχουν χλώριο ή σε κατασκευές υπό ένταση, ο ανοξείδωτος χάλυβας είναι λιγότερο προστατευτικός από ότι στις συνηθισμένες κατασκευές από

κοινό χάλυβα. Τα ανοξειδωτα κράματα είναι πιο δεκτικά στην τοπική διάβρωση όπως στην περικρυσταλλική διάβρωση, στην διάβρωση με μηχανική καταπόνηση σε ψαθυρή θραύση και στην προσβολή με βελονισμούς, από ότι ο συνηθισμένος χάλυβας. Συχνά, η ποιότητα του χάλυβα ελέγχεται με έναν μαγνήτη. Αυτό βασίζεται στην διαπίστωση ότι οι μη-μαγνητικοί ανοξειδωτοι χάλυβες αντιπροσωπεύουν τα κατάλληλα κράματα, ενώ οι μαγνητικοί τα κατώτερα κράματα. Πράγμα χωρίς βάση, αφού δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ μαγνητικής ευπάθειας και διαβρωτικής προστασίας. Κάτω υπό ορισμένες συνθήκες, πολλοί από τους μαγνητικούς χάλυβες είναι ανώτεροι από ποικιλίες μη-μαγνητικών. Γενικά, ένας μεγάλος αριθμός διαβρωτικών επιπτώσεων μπορεί ευθέως να αποδοθεί στην χωρίς διακρίσεις επιλογή του ανοξειδωτου χάλυβα για κατασκευές, με δεδομένο ότι είναι ο "καλύτερος". Οι ανοξειδωτοι χάλυβες αντιπροσωπεύουν μια κλάση υλικών υψηλής προστασίας έναντι διαβρώσεως που σχετίζονται με το χαμηλό κόστος και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή. Στην επιλογή κραμάτων υπάρχουν διάφοροι "φυσικοί" συνδυασμοί διαβρωτικών μετάλλων, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τη μέγιστη ποσότητα για διαβρωτική προστασία για τη λιγότερη ποσότητα σε χρήματα. Μερικοί από αυτούς τους "φυσικούς" συνδυασμούς είναι οι παρακάτω:

1. Ανοξειδωτος χάλυβας-νιτρικό οξύ
2. Νικέλιο και κράματα νικελίου-καυστικό οξύ
3. Monel-υδροφθόριο
4. Hastelloys(chlorimets)- θερμό υδροχλωρικό οξύ
5. Μόλυβδος-διαλυμένο θειϊκό οξύ
6. Αλουμίνιο-όχι στάνταρ ατμοσφαιρική έκθεση
7. Κασσίτερος-αποσταγμένο νερό
8. Τιτάνιο-θερμά-ισχυρά οξειδωμένα διαλύματα
9. Ταντάλιο-απόλυτη προστασία
10. Χάλυβας-συμπυκνωμένο θειϊκό οξύ

Η παραπάνω λίστα δεν αντιπροσωπεύει τους μοναδικούς συνδυασμούς υλικών-διαβρωτικών. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι διαθέσιμα φθηνότερα υλικά ή υλικά με περισσότερα χαρακτηριστικά προστασίας.

Υπάρχουν μερικοί γενικοί, αλλά συνήθως ακριβείς, κανονισμοί οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προστασία των μετάλλων και των κραμάτων. Για αναγωγικά ή μη οξειδωμένα περιβάλλοντα, όπως χωρίς αέρα οξέα και υδάτινα διαλύματα, χρησιμοποιείται συνήθως το νικέλιο, ο χαλκός και τα κράματά τους. Για όξινες συνθήκες χρησιμοποιείται χρώμιο και αντίστοιχα κράματα. Για εξαιρετικά ισχυρές όξινες συνθήκες χρησιμοποιείται τιτάνιο και τα κράματά του, τα οποία έχουν δείξει "ανώτερη" προστασία.

ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΟΥ

Καλύτερη προστασία επιτυγχάνεται όταν ένα μέταλλο είναι καθαρό, χωρίς να περιέχει άλλα στοιχεία και ακαθαρσίες. Ανασταλτικός παράγοντας στην χρησιμοποίηση των καθαρών μετάλλων είναι ότι είναι συνήθως ακριβά, μαλακά και ευπαθή.

Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα καθαρού μετάλλου είναι το αλουμίνιο, το οποίο όμως δεν είναι ακριβό σε καθαρή μορφή (πάνω από 99.5% καθαρότητα). Τα καθαρά μέταλλα του εμπορίου χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο υπεροξειδίου του υδρογόνου, όπου παρουσία και άλλων στοιχείων μπορεί να προκαλέσουν την αποσύνθεση εξαιτίας των καταλυτικών επιπτώσεων. Σε άλλες περιπτώσεις, επέρχεται τοπική προσβολή του αλουμινίου λόγω του διαχωρισμού του ακάθαρτου σιδήρου στο κράμα.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ο σωστός σχεδιασμός αποτελεί το πρώτο και σημαντικό βήμα για την προστασία και τον έλεγχο της διάβρωσης. Στην πράξη βεβαία, δεν μπορεί να είναι απόλυτος καθώς παρουσιάζεται η τάση να συνδυάζεται το κόστος και η διαθεσιμότητα των υλικών. Παρόλα αυτά η διάβρωση δεν πρέπει να αγνοείται.

ΒΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Ο σχεδιασμός μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερα βήματα:

1. Καθορισμός της επιθυμητής λειτουργίας των επιμέρους τμημάτων της κατασκευής.
2. Αναγνώριση του περιβάλλοντος λειτουργίας
3. Επιλογή υλικού και κατασκευαστικές λεπτομέρειες
4. Επιθεώρηση και συνεχής παρακολούθηση

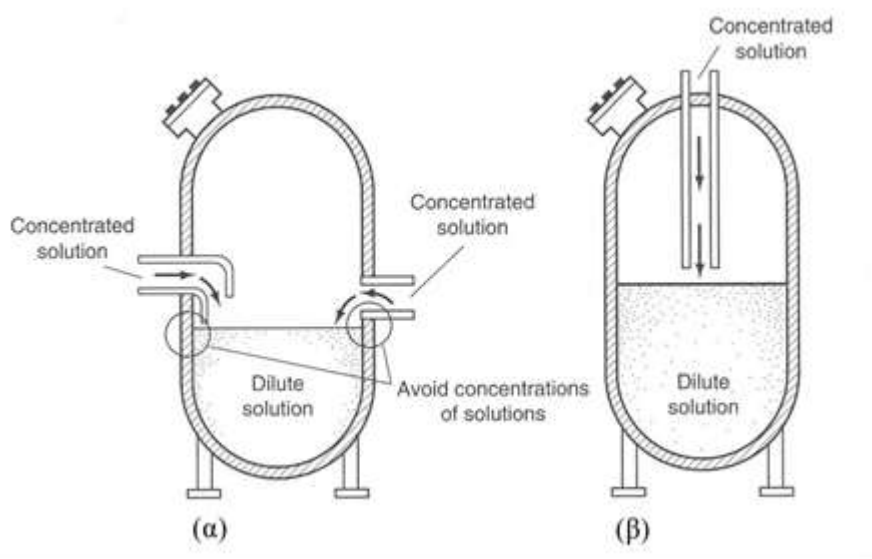
Στο πρώτο βήμα του σχεδιασμού καθορίζεται πως θα λειτουργεί το κάθε επιμέρους τμήμα της κατασκευής, δηλαδή πως θα επιτεθεί η επιθυμητή λειτουργία των τμημάτων της και ποιες θα είναι οι προτεραιότητες των ιδιοτήτων της. Στο δεύτερο βήμα, προσδιορίζονται οι ιδιότητες του περιβάλλοντος καθορίζοντας τη χημική του σύσταση, τη θερμοκρασία, τη ταχύτητα ροή του διαβρωτικού μέσου καθώς και τις καταπονήσεις που υφίσταται σε συνήθεις συνθήκες λειτουργίας. Στο τρίτο βήμα περιγράφεται μια επαναληπτική διαδικασία που σαν σκοπό έχει την επίτευξη των αντικειμενικών στόχων και των λειτουργιών που επιβάλλει ο σχεδιασμός. Έτσι, έχοντας καθοριστεί τα υλικά που πρέπει να χρησιμοποιηθούν

δίνονται συγκεκριμένες οδηγίες για τον συνδυασμό και την εφαρμογή της. Τέλος, στο τέταρτο βήμα εξασφαλίζεται ότι η στρατηγική που ακολουθεί ο σχεδιασμός για την καταπολέμηση της διάβρωσης εφαρμόζεται στην κατασκευή και λειτουργεί αποτελεσματικά κατά τη διάρκεια ζωής του έργου.

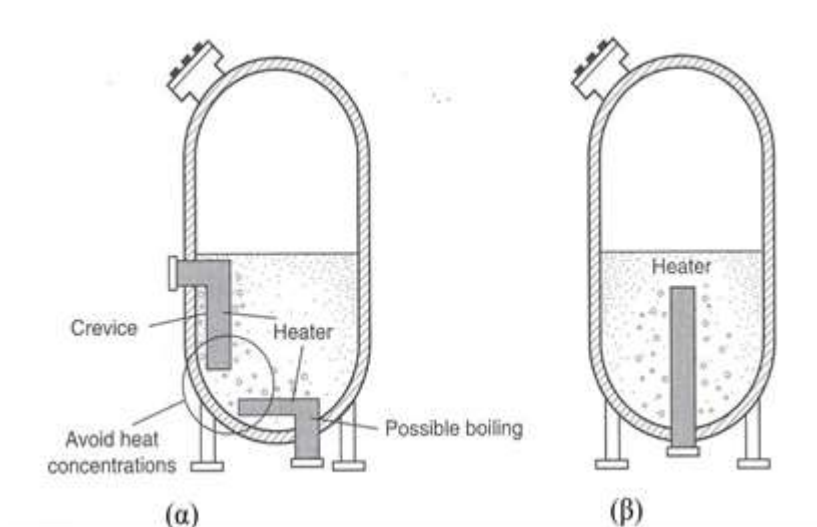
ΓΕΝΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ

Πρώτος στόχος του σχεδιασμού θα πρέπει να είναι η μείωση των ευπαθών σημείων της κατασκευής, δηλαδή των πιθανών σημείων όπου μπορεί να εμφανιστεί διάβρωση. Έτσι θα πρέπει να αποφεύγεται ο σχεδιασμός που ευνοεί τη συγκέντρωση διαβρωτικών μέσων σε μικρές περιοχές. Για παράδειγμα στο εσωτερικό δεξαμενών θα πρέπει να αποφεύγονται κοιλότητες συγκέντρωσης του διαλύματος που μπορεί να επιφέρουν διάβρωση. (Εικόνες 4-1, 4-2)

Επιπλέον, από το σχεδιασμό θα πρέπει να είναι δυνατή η πρόσβαση σε όλα τα τμήματα που απαρτίζουν την κατασκευή. Μέσω της συντήρησης και της επισκευής μειώνεται σημαντικά το κόστος λειτουργίας.



Εικόνα 4-1 «Ανεπαρκής (α) και καλός (β) σχεδιασμός για δοχεία που χρησιμοποιούνται για ανάμιξη πυκνών και αραιών διαλυμάτων.»



Εικόνα 4-2 «Ανεπαρκής (α) και καλός (β) σχεδιασμός για δοχεία θέρμανσης διαλυμάτων. Κακός σχεδιασμός έχει αποτέλεσμα θερμά σημεία (περιοχή σε κύκλο) που εγκλωβίζονται και βράζουν στην περιοχή των τοιχωμάτων του δοχείου.»

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΥΝ ΤΟ ΡΥΘΜΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Οι λεπτομέρειες που συμπεριλαμβάνονται στο σχεδιασμό κατά την προσπάθεια ελέγχου της διάβρωσης είναι οι εξής:

- 1) Τοποθεσία της κατασκευής
- 2) Περιβάλλον της κατασκευής
- 3) Επιμέρους στοιχεία της κατασκευής
- 4) Κίνηση του διαβρωτικού περιβάλλοντος
- 5) Μόνωση
- 6) Εντατική κατάσταση
- 7) Σχεδιαστικές λεπτομέρειες των επιφανειών

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ

Η έκθεση στον άνεμο και στα σωματίδια που περιέχει, μπορεί να οδηγήσουν σε υποβάθμιση της κατασκευής, καθώς η ατμοσφαιρική διάβρωση μπορεί να είναι έντονη, ανάλογα με την θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, τη βροχόπτωση και την μόλυνση του περιβάλλοντος.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ένας από τους παράγοντες που συχνά δεν λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό είναι η επίδραση του άμεσου περιβάλλοντος. Για παράδειγμα σε μια βιομηχανία παραγωγής σωλήνων στη Δ. Βιρτζίνια η οποία ειδικεύονταν σε εξαρτήματα μπρούτζου, παρουσιάστηκε αστοχία των προϊόντων λόγω διάβρωσης

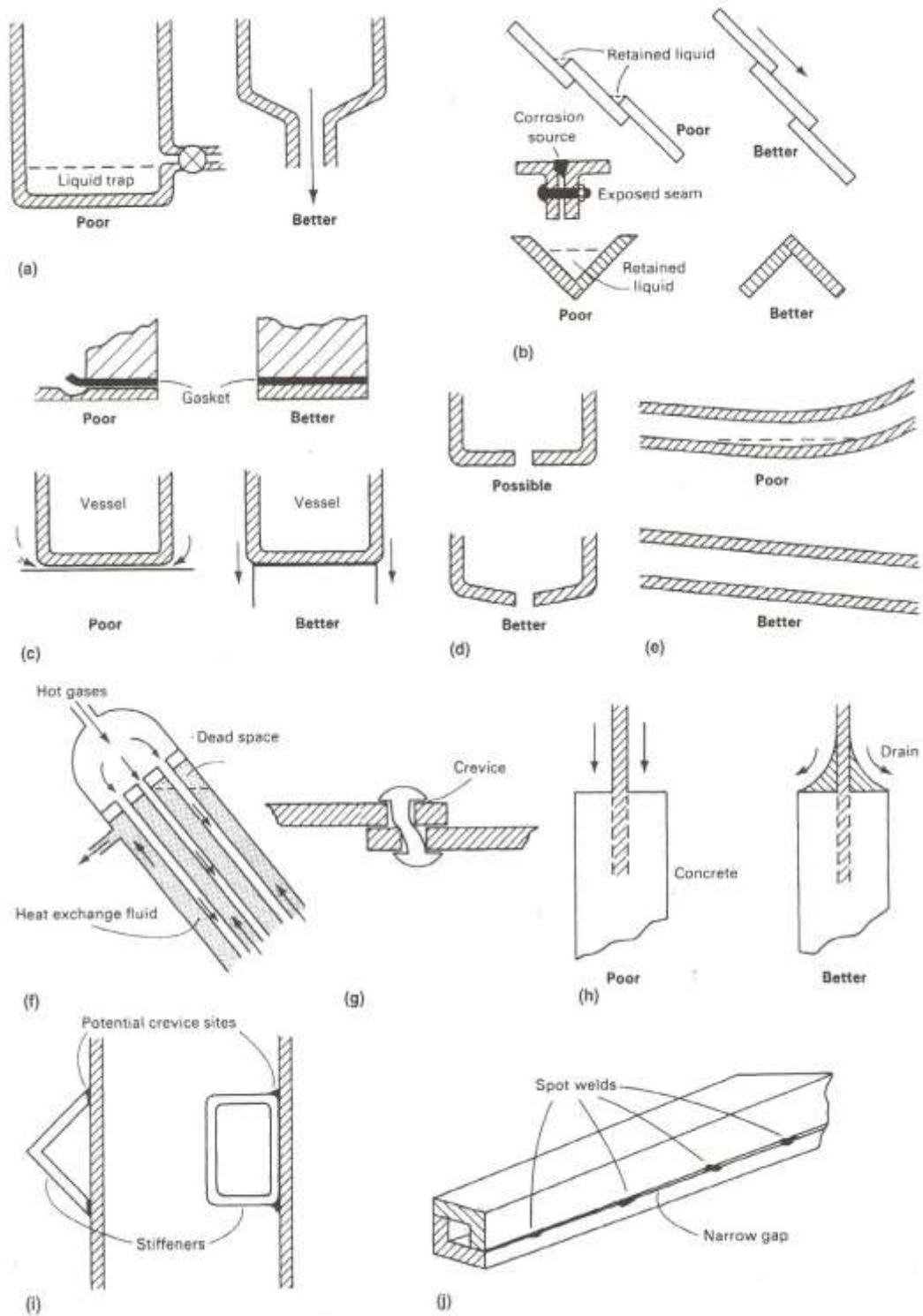
από μηχανική καταπόνηση, καθώς οι εγκαταστάσεις της βιομηχανίας βρίσκονταν κοντά σε εργοστάσιο που απελευθέρωνε ποσότητες μονοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα.

ΣΧΗΜΑ

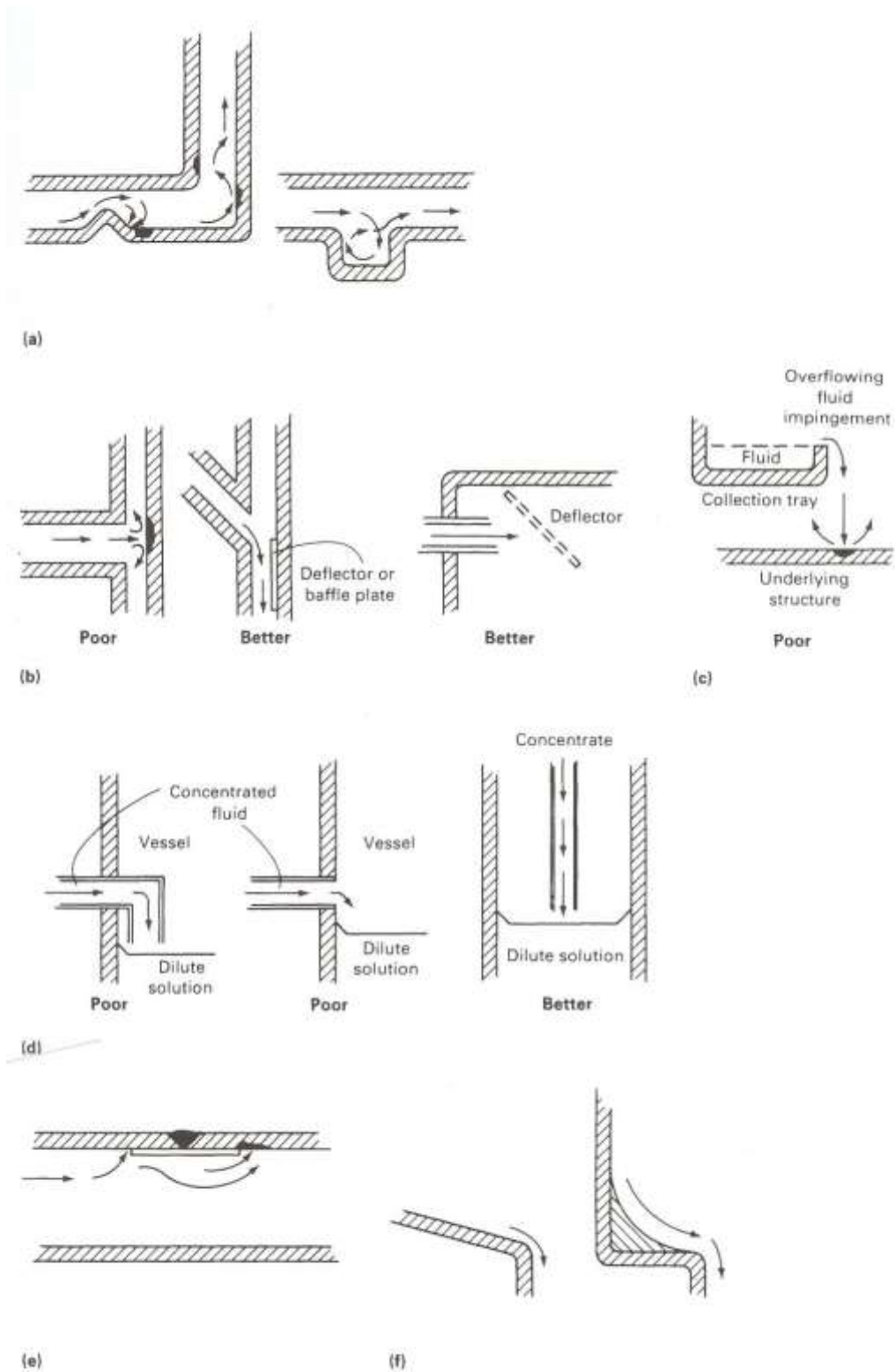
Η γεωμετρική μορφή είναι πολύ βασική. Ο κύριος στόχος του σχεδιασμού είναι η αποφυγή καταστάσεων που επιδεινώνουν την διάβρωση. Τέτοια παραδείγματα φαίνονται στην εικόνα 4-3

ΚΙΝΗΣΗ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ

Η έντονη κίνηση του διαβρωτικού μέσου θα πρέπει να αποφεύγεται, καθώς οδηγεί στην καταστροφή του υλικού. Ο ρυθμός και ο βαθμός της προσβολής εξαρτάται από την φύση του υλικού, την σκληρότητά του και την ένταση του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Γι' αυτό το λόγο συνιστάται να αποφεύγεται η εφαρμογή γεωμετρίας των στοιχείων της κατασκευής, που επιτρέπει την τοπική κατακράτηση υγρών ή την δημιουργία αναταραχών στην ροή. Τοπικές λεπτομέρειες, όπου η γεωμετρία επηρεάζει την ροή του διαβρωτικού μέσου, παρουσιάζονται στην εικόνα 4-4



Εικόνα 4-4 «Παραδείγματα πως ο σχεδιασμός και η συναρμολόγηση επηρεάζουν την τοπική διάβρωση δημιουργώντας ρωγμές και παγίδες όπου συγκεντρώνονται διαβρωτικά υγρά.»



Εικόνα 4-4 « Επηρεασμός του σχεδιασμού στην ροή.»

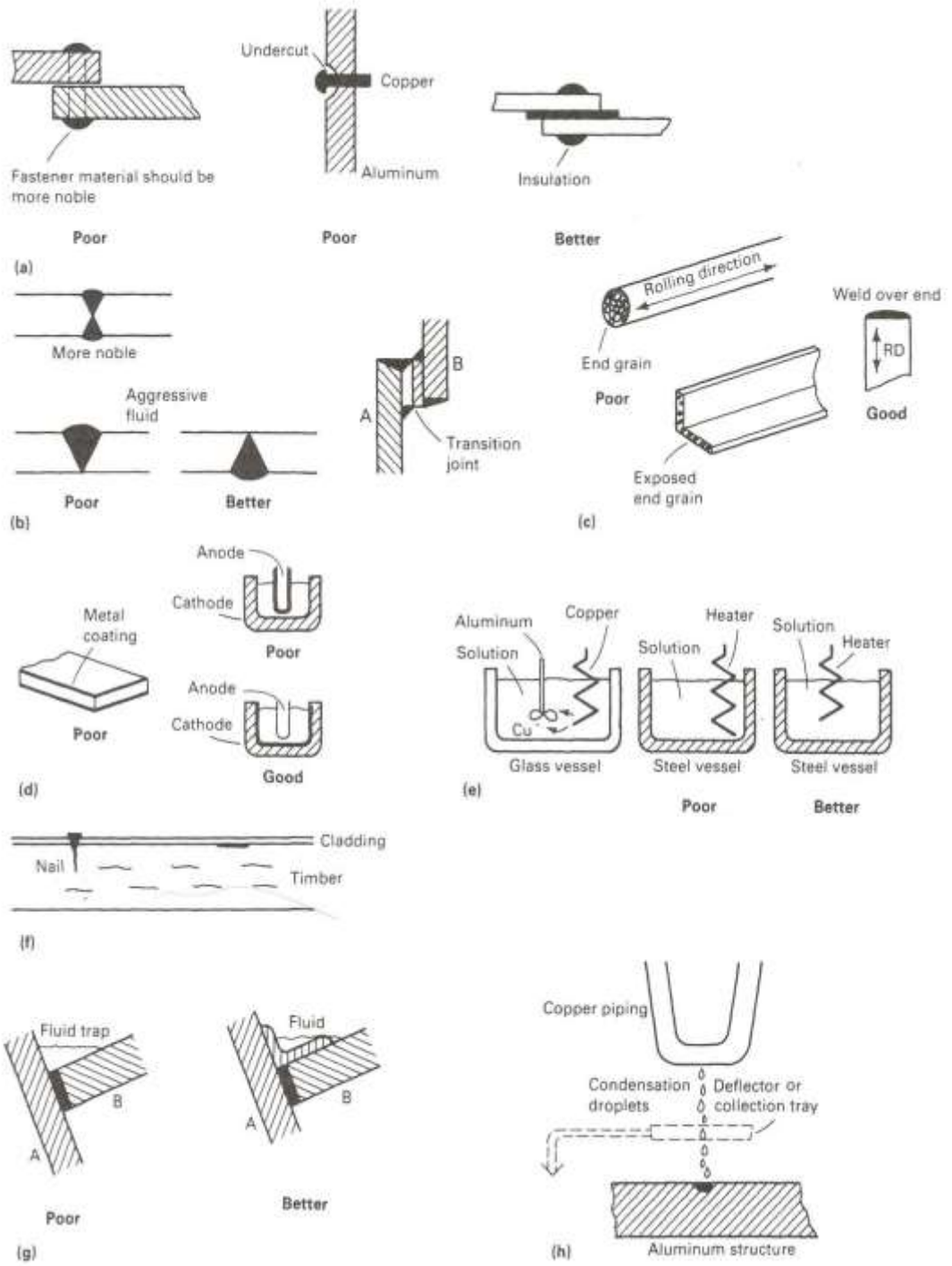
ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ

Σε πολλούς τύπους εγκαταστάσεων είναι συχνά αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικών. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα υλικά τα οποία προβλέπεται κατά τον σχεδιασμό να είναι απομονωμένα έρχονται τελικά

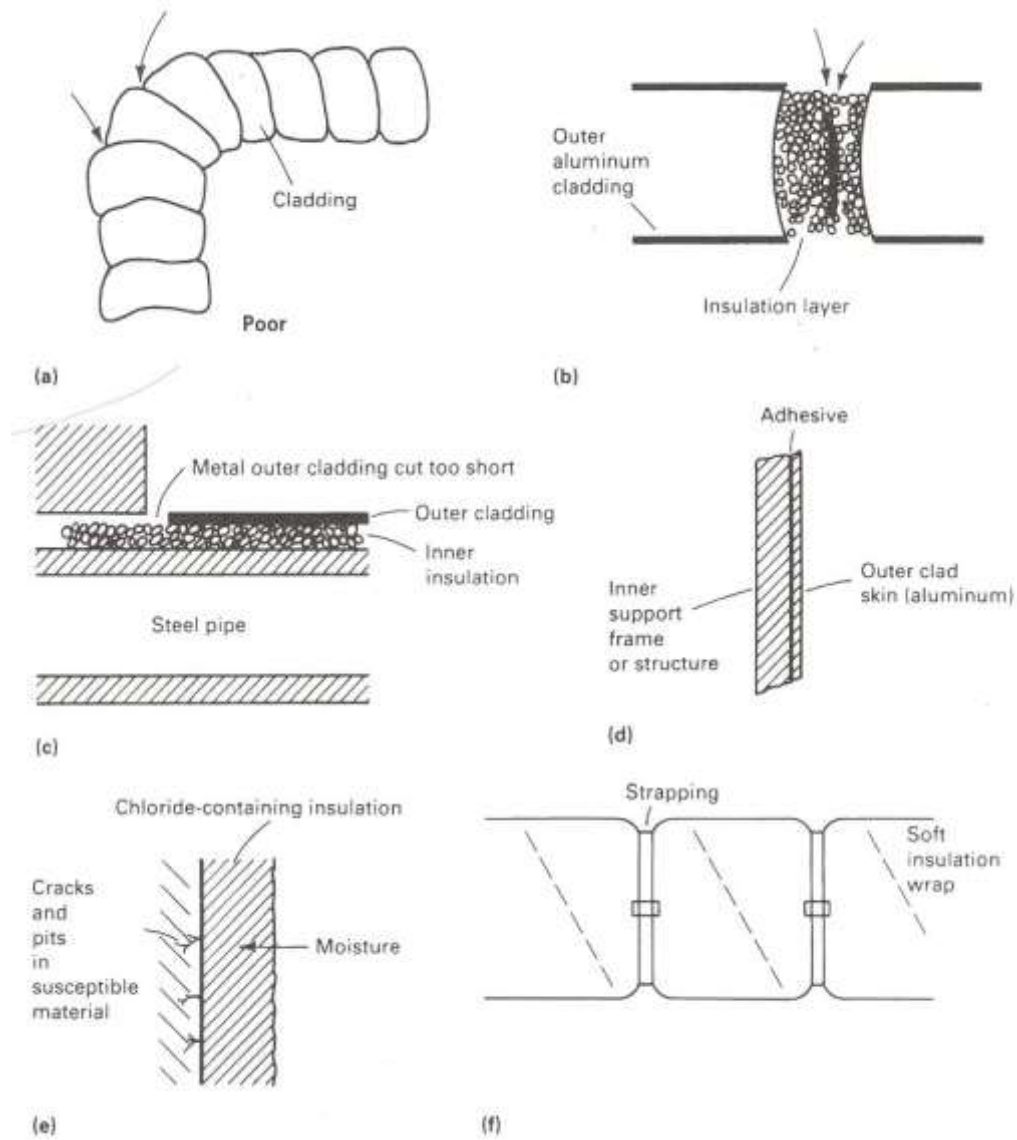
σε επαφή, όπως στην περίπτωση που παρουσιάζεται στην εικόνα 4-5 . Η άμεση επαφή διαφορετικών μετάλλων μπορεί να καταστεί ιδιαίτερα επιβλαβής, καθώς εισάγει την πιθανότητα προσβολής και υποβάθμισης των χρησιμοποιούμενων υλικών από γαλβανική διάβρωση, με την εμφάνιση τοπικού χαρακτήρα ανοδικών περιοχών, όπου παρατηρείται απώλεια υλικού. Έτσι σε περιπτώσεις όπου ηλεκτροχημικά ασύμβατα μέταλλα βρίσκονται σε επαφή, απαιτείται η χρήση ενός ευγενέστερου υλικού στην διαμόρφωση της ενώσεως.

ΜΟΝΩΣΗ

Τα σημεία εφαρμογής της μονώσεως αντιπροσωπεύουν μια περιοχή πιθανής εμφάνισης διαβρώσεως, παρότι τα προβλήματα που εμφανίζονται συνήθως είναι αποτέλεσμα κακής εφαρμογής του σχεδιασμού στην πράξη . Οι χρησιμοποιούμενοι τύποι μονώσεων ποικίλουν στις ιδιότητες και την παρεχόμενη προστασία σε μεγάλο βαθμό, κάτι που σημαίνει πως απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για να εξασφαλιστεί η καταλληλότητα του τελικώς εφαρμοζόμενου υλικού. Συχνότερα προβλήματα διαβρωτικού χαρακτήρα, είναι η ανάπτυξη ρωγμώδους διάβρωσης, και η εμφάνιση βελονισμών. Βασική αιτία για την προκαλούμενη υποβάθμιση του υλικού είναι η χρήση υπερβολικά λεπτής επίστρωσης μονωτικού υλικού, ή η εφαρμογή της μονώσεως με λάθος τρόπο. Στην εικόνα 4-6 παρουσιάζονται τυπικές μέθοδοι βελτίωσης του σχεδιασμού και της τεχνικής εγκατάστασης της μονώσεως στις προστατευόμενες μεταλλικές επιφάνειες



Εικόνα 4-5 «Σχεδιαστικές λεπτομέρειες που μπορούν να επηρεαστούν από την γαλβανική διάβρωση.»



Εικόνα 4-6 «6 Προβλήματα διάβρωσης που σχετίζονται με εσφαλμένη χρήση μόνωσης και επικάλυψης.»

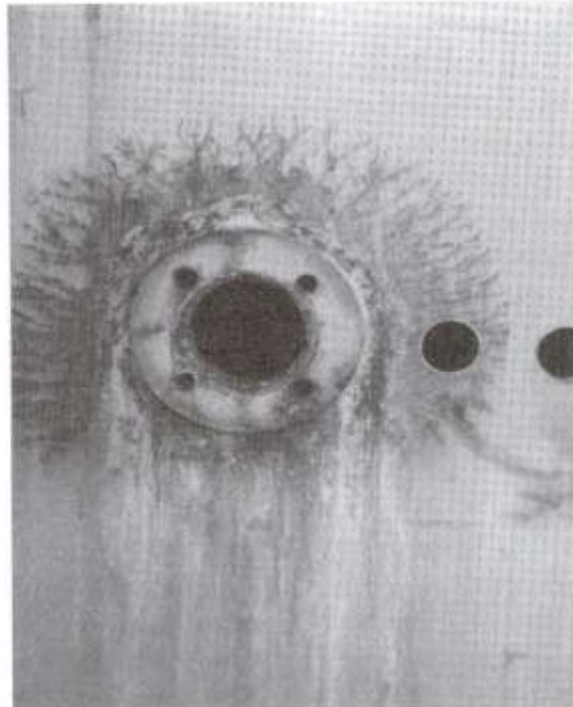
Πίνακας 4.1 Οδηγός για την προστασία του ανοξειδωτού χάλυβα από διάβρωση λόγω μηχανικής καταπόνησης σε θερμά διαλύματα.

Αίτιο	Προστατευτική μέθοδος	Σχόλια	Αποτίμηση
Ανοξειδωτος χάλυβας	Αλλαγή σε προστασία από διάβρωση λόγω μηχανικής καταπόνησης	Εναλλακτικά χρήση ανοξειδωτου χάλυβα με περιεκτικότητα άνω του 30% σε Ni που έχει σαν συνέπεια αύξηση του κόστους.	Επιπλέον κόστος σε σχέση με άλλες μεθόδους προστασία δεν κάνει την επιλογή σοφή
Ελατή ένταση	Θερμική επεξεργασία	Σκλήρυνση του μετάλλου στους 955°C με ακόλουθη μείωση της θερμοκρασίας με χρήση ύδατος είναι δυνατόν να προκαλέσει ανωμαλίες στο μεταλλικό κρυσταλλικό πλέγμα.	Γενικά δεν είναι πρακτικό για δοχεία και αγωγούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μικρά ατομικά συστατικά
	Χτύπημα με σφυρί	Η σφυρηλάτηση της επιφάνειας του μετάλλου αποδεικνύεται ικανοποιητική μέθοδος προστασίας από διάβρωση λόγω μηχανικής καταπόνησης.	Μπορεί να εκτιμηθεί αλλά είναι πιο ζημιογόνος και πιο δύσκολη να επιτευχθεί από άλλες προστατευτικές μεθόδους
Χλωρίδια	Μετακίνηση ή απομάκρυνση ιόντων Cl	Λόγω της παρουσίας τους σε μεγάλη κλίμακα τα διαλυτά χλωρίδια των αλάτων, είναι δύσκολο να απομακρυνθούν πλήρως.	μη πρακτική
	Χρήση επιστρώματος στον ανοξειδωτο χάλυβα	Η χρήση προστατευτικής επιστρώσεως ανοξειδωτου χάλυβα, είναι δυνατόν να συμβάλει στην απομόνωση της μεταλλικής επιφάνειας από την δράση των Cl ⁻	είναι πρακτική και έχει αποδειχθεί ως προστατευτική μέθοδος
Νερό	Βελτίωση της μόνωσης από νερό για να αποφευχθεί η είσοδος του νερού.	Κανένας τύπος επιστρώσεων δεν είναι δυνατόν να απομονώσει πλήρως την μεταλλική επιφάνεια από την δράση του νερού και του ατμοσφαιρικού αέρα.	Μη πρακτική για να έχει αποτέλεσμα την μη εισροή νερού
	Χρήση επιστρώματος στον ανοξειδωτο χάλυβα	Ένα επιλεγμένο με προσοχή σύστημα επιστρώσεων, είναι δυνατόν να παρέχει μακροχρόνια προστασία σε ανοξειδωτους χάλυβες.	Είναι πρακτική και έχει αποδειχθεί ως προστατευτική μέθοδος περιορισμένη χρήση αλλά επιτυχής

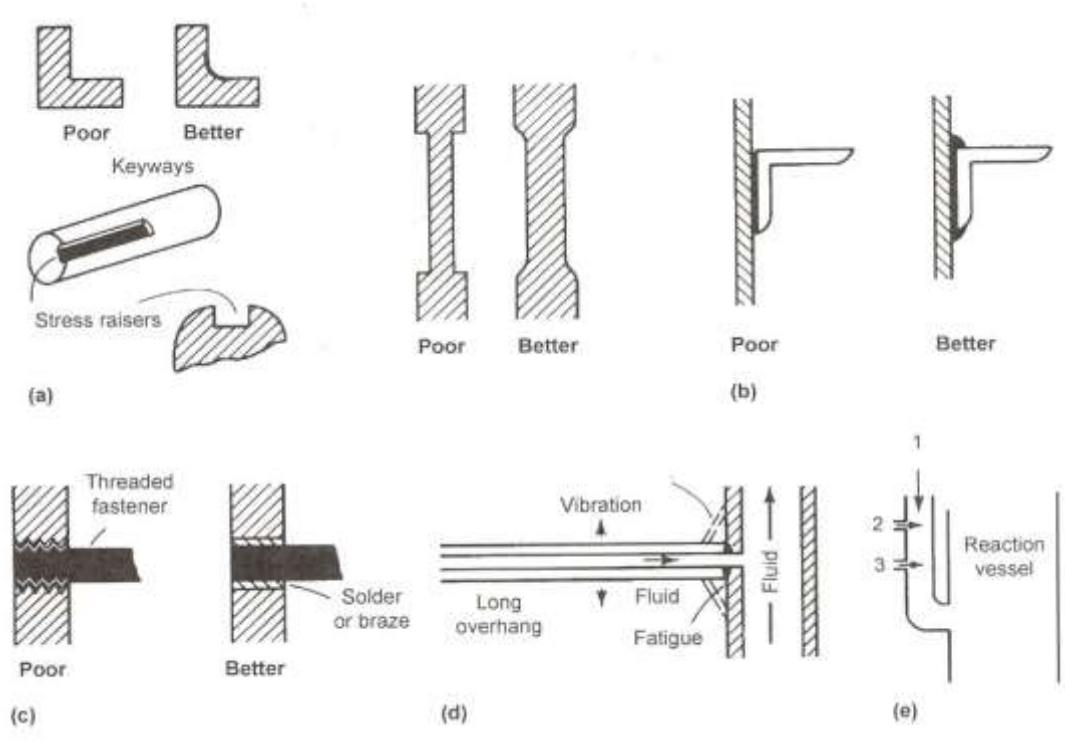
Πηγή: *Corrosion –Understanding the basics, A.S.M (2000)*

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ

Εξετάζοντας την επίδραση της μηχανικής καταπόνησης, γίνεται εμφανές πως η επικινδυνότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών που τείνουν να προκαλέσουν διάλυση του μετάλλου απαιτούν αυξημένη προσοχή, στην περίπτωση που η προστατευόμενη κατασκευή υποβάλλεται σε ασυνήθιστα υψηλές τιμές εξωτερικής έντασης. Σε τέτοιες συνθήκες, το υλικό είναι δυνατόν να παρουσιάσει καταστροφική αστοχία, που σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να προβλεφθεί (Εικόνα 4-7) . Στην εικόνα 4-8 παρουσιάζονται κατασκευαστικές λεπτομέρειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μείωση της επιβαλλόμενης έντασης σε διάφορα σημεία της κατασκευής.



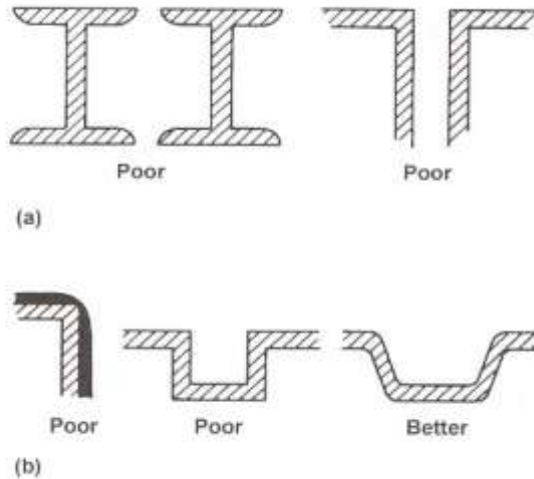
Εικόνα 4-7 «Χλωρική διάβρωση λόγω μηχανικής καταπόνησης σε ανοξείδωτο χάλυβα τύπου 304 σε δοχείο μετά από συγκόλληση μιας νέας φλάντζας σύνδεσης.»



Εικόνα 4-8 « Σχεδιαστικές λεπτομέρειες που μειώνουν την τοπική εντατική συγκέντρωση.»

ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Η διάβρωση είναι επιφανειακό φαινόμενο που παρουσιάζεται σε υλικά τα οποία είτε έχουν υποστεί ανεπαρκή επεξεργασία πριν την εφαρμογή τους στην κατασκευή, είτε παρουσιάζουν αιχμές ή ατέλειες και ασυνέχειες μετά την επεξεργασία τους. Στην εικόνα 4-9 παρουσιάζονται κατασκευαστικές λεπτομέρειες των οποίων η εφαρμογή έχει σαν αποτέλεσμα την αδυναμία επαρκούς εφαρμογής επιφανειακής προστασίας.



Εικόνα 4-9 « Επιρροές του σχεδιασμού στον καθαρισμό ή την βαφή.»

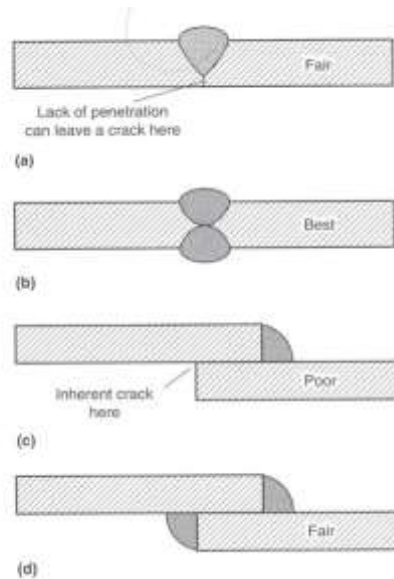
ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Οι τύποι διάβρωσης που μπορεί να αντιμετωπίσει σε μεγάλο βαθμό ο σχεδιασμός είναι η χαραγής διάβρωση, η διάβρωση λόγω μηχανικής καταπόνησης και η γαλβανική διάβρωση. Για τον λόγο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθούν συγκεκριμένες λύσεις που προτείνονται κατά τον σχεδιασμό για κάθε μια από αυτές τις μορφές διάβρωσης.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΧΑΡΑΓΗΣ

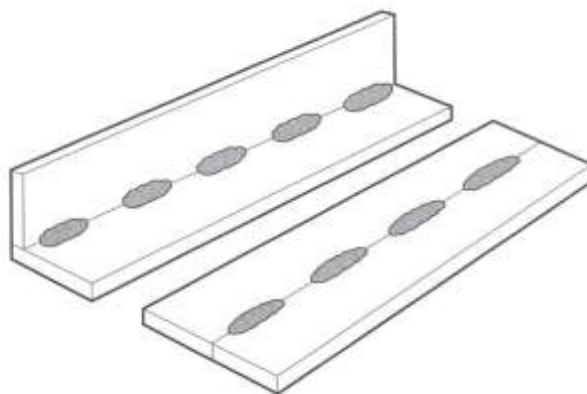
Από την οπτική γωνία του σχεδιασμού, οι λύσεις που προτείνονται ακολουθούν την λογική της μείωσης ή της πλήρους αποφυγής παρουσίας επιφανειακών ρωγμών. Έτσι προτείνονται τα ακόλουθα μέσα που πρέπει να συμπεριληφθούν κατά τον σχεδιασμό.

- 1) Επιφανειακή κάλυψη όλων των ατελειών με ηλεκτροσυγκολλήσεις.
- 2) Βελτίωση της εφαρμογής των επί μέρους τμημάτων στις συνδέσεις.
- 3) Επιφανειακή κάλυψη των ρωγμών με πλαστικά ή με άλλα ελαστομερή υλικά που παρουσιάζουν μικρό πορώδες.
- 4) Πιθανή αλλαγή των εφαρμοζόμενων κατασκευαστικών λεπτομερειών είναι δυνατόν να εξαλείψει τις Μικρορωγμές.
- 5) Εφαρμογή διπλών ενώσεων όπως φαίνεται στην εικόνα 4-10



Εικόνα 4-10 «Επιρροή της γεωμετρίας της συγκόλλησης στην ευπάθεια στην ρωγμώδη διάβρωση.»

- 6) Όταν χρησιμοποιούνται ενώσεις όπως αυτές που παρουσιάζονται στο ίδιο σχήμα θα πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα αντικατάστασης τους από τον σχεδιασμό.
- 7) Σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται συνεχείς κολλήσεις όπως φαίνεται στην εικόνα 4-11.
- 8) Πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικός σχεδιασμός των στηρίξεων δεξαμενών
- 9) Να μην γίνεται τοποθέτηση υλικών που απορροφούν νερό κοντά σε μεταλλικές επιφάνειες.

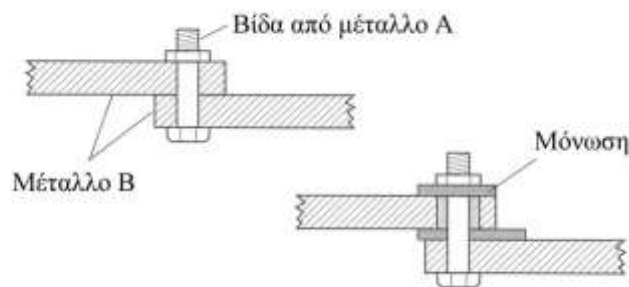


Εικόνα 4-11 «Διακεκομμένη συγκόλληση όπως φαίνεται στο σχήμα δεν αποτελούν καλό σχεδιασμό στην διάβρωση λόγω της ήδη υπάρχουσας σχισμής.»

ΓΑΛΒΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Στις περιπτώσεις που είναι εμφανής η πιθανότητα ανάπτυξης διάβρωσης λόγω δημιουργίας γαλβανικών στοιχείων, είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό τα ακόλουθα μέτρα.

- 1) Χρήση του πίνακα γαλβανικών στοιχείων ώστε να επιλέγονται κατάλληλα ζεύγη υλικών.
- 2) Αποφυγή δημιουργίας γαλβανικών περιοχών όπου η ανοδική περιοχή έχει πολύ μεγάλη επιφάνεια σε σχέση με την καθοδική, καθώς κάτι τέτοιο έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολύ μεγάλων ρυθμών διάβρωσης.
- 3) Απομόνωση ασύμβατων υλικών όπως παρουσιάζονται στην εικόνα 4-12.



Εικόνα 4-12 «Χρήση της εγκατάστασης για την αποφυγή γαλβανικής διάβρωσης.

- 4) Εφαρμογή προστατευτικής επίστρωσης βαφής τόσο στις ανοδικές όσο και στις καθοδικές περιοχές του γαλβανικού στοιχείου.
- 5) Τοποθέτηση μιας ενδιάμεσης μεταλλικής στρώσης ηλεκτραρνητικότερης από τα μέταλλα του γαλβανικού ζεύγους το οποίο δρα προστατευτικά και υφίσταται διάβρωση προστατεύοντας τα μέταλλα της κατασκευής.

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η διάβρωση λόγω μηχανικής φθοράς σχετίζεται με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και με τις ιδιομορφίες του σχεδιασμού. Έτσι, διαταραχές της ροής του διαβρωτικού μέσου καθώς και παρουσία σε αυτό στερεών σωματιδίων αυξημένης σκληρότητας αποδεικνύεται επιβλαβής. Για τον λόγο αυτό, όταν κρίνεται οικονομικά εφικτό, είναι δυνατόν να προβλέπεται η παρουσία φίλτρων κατακράτησης των σωματιδίων, που συμβάλλοντας σημαντικά στην προστασία των μεταλλικών επιφανειών.

Σε συστήματα σωληνώσεων η επιθυμητή προστασία είναι δυνατόν να επιτευχθεί με αύξηση της εφαρμοζόμενης διαμέτρου, κάτι που συνεπάγεται και μείωση των ταχυτήτων σχεδιασμού και μείωση του κινδύνου φθοράς λόγω υδραυλικού πλήγματος, όπως και την μείωση της προκαλούμενης στο εσωτερικό των σωληνώσεων φθοράς λόγω τριβής.

Εφόσον η διάβρωση λόγω μηχανικής φθοράς αποτελεί μια τοπική μορφή

προσβολής είναι σκόπιμο τα σημεία που καθίστανται δεκτικά στην διάβρωση να σχεδιάζονται έτσι ώστε να είναι εύκολη και πρακτική η αντικατάστασή τους.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΛΟΓΩ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις έτσι και στην διάβρωση λόγω μηχανικής κόπωσης, ο ελλιπής σχεδιασμός είναι ένας επιπλέον παράγοντας που επιτρέπει να δημιουργείται πρόσφορο έδαφος ώστε να αναπτυχθεί το φαινόμενο και να υποβαθμίσει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της κατασκευής. Γενικά λοιπόν το σκεπτικό της εφαρμογής του σχεδιασμού είναι πως θα πρέπει να αποφεύγονται κατά το δυνατόν συγκεντρώσεις τάσεων σε απομονωμένα στοιχεία. Εκείνο που αποκτά μεγάλη σημασία είναι ο εντοπισμός των ευαίσθητων περιοχών και η αναγνώριση του προβλήματος ώστε να δοθούν άλλες κατευθύνσεις στον σχεδιασμό. Έτσι θα πρέπει να αποφεύγονται :

- 1) Τραχιές επιφάνειες που επιτρέπουν την εμφάνιση τοπικά αυξημένης έντασης
- 2) Δημιουργία παραμενουσών τάσεων που έχουν σαν αποτέλεσμα την μείωση της πραγματικής αντοχής
- 3) Μικρορωγμές
- 4) Μεταλλουργικές ασυνέχειες των επιφανειών

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ένας άλλος τρόπος που χρησιμοποιείται για την μείωση του ρυθμού διάβρωσης είναι η αλλαγή των περιβαλλοντικών συνθηκών. Τοπικές αλλαγές που είναι δυνατόν να επιφέρουμε στο μέσο είναι :

- 1) Μείωση της θερμοκρασίας
- 2) Μείωση της ταχύτητας ροής του διαβρωτικού μέσου
- 3) Απομάκρυνση ποσότητας του διαλυμένου στο διαβρωτικό μέσο οξυγόνου
- 4) Αλλαγή της συγκέντρωσης

Σε πολλές περιπτώσεις οι αλλαγές αυτές μπορούν να μειώσουν σημαντικά τον ρυθμό διάβρωσης, αλλά θα πρέπει να γίνονται προσεκτικά καθώς τα αποτελέσματα που μπορούν να επιφέρουν εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιομορφίες του συστήματος εφαρμογής

ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Η μείωση της θερμοκρασίας όπως έχει αναφερθεί συνήθως προκαλεί μείωση του ρυθμού διάβρωσης. Πάντως σε κάποιες περιπτώσεις πιθανές θερμοκρασιακές μεταβολές επιφέρουν πολύ μικρές μεταβολές στον ρυθμό διάβρωσης ενώ το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι δυνατόν να απαιτεί αύξηση της θερμοκρασίας. Ο μηχανισμός με τον οποίο η μεταβολή της θερμοκρασίας ενεργεί στον ρυθμό διάβρωσης είναι ο ακόλουθος: καθώς το νερό φθάνει στο σημείο βρασμού μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου.

ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΡΟΗΣ

Η μείωση της ταχύτητας ροής του διαβρωτικού μέσου είναι μια μέθοδος που βρίσκει μεγάλη πρακτική εφαρμογή. Γενικά η μεγάλη ταχύτητα ροής του διαβρωτικού μέσου αυξάνει τον ρυθμό διάβρωσης, αν και υπάρχουν ορισμένες σημαντικές εξαιρέσεις. Μέταλλα ή κράματα τα οποία παθητικοποιούνται, όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας, παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή στην διάβρωση σε ρέοντα διαλύματα, παρά σε αδρανή-στάσιμα.

ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Η αφαίρεση οξυγόνου είναι μια παλιά τεχνική ελέγχου του ρυθμού διάβρωσης. Η σύγχρονη πρακτική εφαρμογή της μεθόδου γίνεται με επεξεργασία σε κενό αέρος είτε με ψεκασμό αερίων, ή με την χρήση συλλέκτη οξυγόνου. Το υδροχλωρικό οξύ το οποίο μπορεί να έλθει σε επαφή με τον χάλυβα κατά την διάρκεια της παραγωγής ή της αποθήκευσής του, περιέχει χλωριούχο σίδηρο, ένα επιπλέον οξειδωτικό μέσο το οποίο διαβρώνει με μεγάλο ρυθμό τα κράματα του νικελίου και του μολύβδου. Παρότι η αφαίρεση του οξυγόνου χρησιμοποιείται αρκετά, δεν θα πρέπει να γίνεται εφαρμογή της μεθόδου σε ενεργά παθητικοποιημένα μέταλλα ή κράματα καθώς τα υλικά αυτά απαιτούν την παρουσία οξυγόνου για να σχηματίσουν και να διατηρήσουν τα προστατευτικά επιστρώματα στην επιφάνεια τους.

ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ

Η μείωση της συγκέντρωσης του διαβρωτικού μέσου είναι αποτελεσματική και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που η παρουσία του μέσου είναι τυχαία. Για παράδειγμα η διάβρωση στους ψύκτες των πυρηνικών αντιδραστήρων αντιμετωπίζεται με την εξάλειψη των ιόντων χλωρίου που συσσωρεύονται σε αυτές τις περιοχές.

ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΕΣ

Οι επιβραδυντές είναι χημικές ουσίες ή συνδυασμός συστατικών τα οποία με την παρουσία τους αποτρέπουν ή απλά επιβραδύνουν την δράση του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Οι επιβραδυντές έχουν ευρεία χρήση όταν το περιβάλλον του μετάλλου (διάλυμα) είναι απομονωμένο και με καλή κυκλοφορία του διαβρωτικού μέσου, έτσι ώστε να μπορεί να διασφαλίζεται η απαιτούμενη συγκέντρωση σε κάθε περίπτωση. Τέτοιες συνθήκες εφαρμογής μπορούν να βρεθούν για παράδειγμα σε συστήματα κυκλοφορίας νερού, σε συστήματα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή και την διύλιση πετρελαίου.

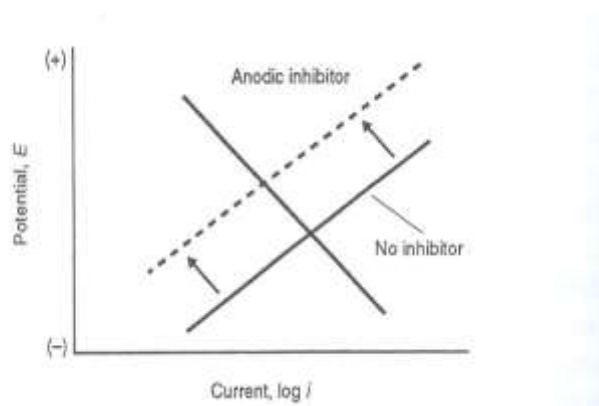
Η χρήση των επιβραδυντών σε πρακτικές εφαρμογές θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή καθώς αν και τα συστατικά αυτά σε ορισμένους τύπους συνθηκών εμποδίζουν την διάβρωση σε ορισμένους τύπους μετάλλου, είναι δυνατόν να προκαλέσουν αντίθετα αποτελέσματα για άλλους τύπους μετάλλων ή κραμάτων.

Οι επιβραδυντές μπορεί να έχουν οργανική ή ανόργανη φύση ενώ στο σύνολο τους είναι σχεδόν υδατοδιαλυτοί. Ανάλογα με τον τρόπο δράσης του ανασταλτικού συστατικού, ως προς την διάβρωση, οι αναστολείς είναι σκόπιμο να καταταγούν σε :

- 1) Ανοδικούς-Καθοδικούς
- 2) Ωμικούς-Μέσω καθίζησης
- 3) Υδατικούς

ΑΝΟΔΙΚΟΙ ΑΝΑΣΤΟΛΕΙΣ

Λειτουργούν επιλεκτικά δρώντας στις ανοδικές περιοχές της μεταλλικής επιφάνειας όπως παρουσιάζεται σχηματικά στην εικόνα 4-13.



Εικόνα 4-13 Ανοδικές και καθοδικές καμπύλες πολικότητας που δείχνουν την επίδραση ενός ανοδικού αναστολέα.

ΚΑΘΟΔΙΚΟΙ

Μειώνουν την διάβρωση επιβραδύνοντας τον ρυθμό διάβρωσης του ηλεκτροχημικού συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την καθίζηση του επιβραδυντή στις καθοδικές περιοχές της μεταλλικής επιφάνειας.

ΩΜΙΚΟΙ

Δρουν ανασταλτικά περιορίζοντας την κινητικότητα των ιόντων μεταξύ ανοδικών και καθοδικών περιοχών της μεταλλικής επιφάνειας.

ΜΕΣΩ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ

Δρουν σχηματίζοντας μέσω καθίζησης ένα προστατευτικό επίστρωμα στην επιφάνεια του μετάλλου.

ΥΔΑΤΙΚΟΙ

Απορροφώνται από τις μεταλλικές επιφάνειες εξουδετερώνοντας την επίδραση της υγρασίας ενώ συμβάλλουν στην δημιουργία ενός προστατευτικού φιλμ πάνω στην μεταλλική επιφάνεια. Οι υδατικοί επιβραδυντές παρέχουν πολλαπλή προστασία στο μέταλλο ενώ η χρήση τους απαιτεί πολύ μεγάλη προσοχή καθώς είναι αποτελεσματική σε συγκεκριμένους τύπους μετάλλων.

ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΑ

ΓΕΝΙΚΑ

Η χρήση επιστρώσεων είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την αντιμετώπιση της διάβρωσης. Συναντώνται σε διάφορες εφαρμογές αναλόγως των ιδιομορφιών και των απαιτήσεων που θέτει ο σχεδιασμός οργανικές επιστρώσεις, μεταλλικές ή αμέταλλες επιστρώσεις. Τέτοια υλικά μπορούν να χρησιμοποιούνται και σε συνδυασμό με τοποθέτησή τους σε διαδοχικά στρώματα ώστε να καλύπτεται η απαίτηση σε αντιδιαβρωτική προστασία. Η χρήση των επιλεγόμενων σε κάθε περίπτωση υλικών θα πρέπει να παρέχει πολλαπλή λειτουργία προσδίδοντας στην τελική επένδυση επαρκή αντίσταση σε συγκρούσεις με την επιφάνεια που προστατεύεται, ηλεκτρική γόμωση κτλ.

Οι επιστρώσεις που χρησιμοποιούνται μπορεί να παρέχουν την προστασία στο μεταλλικό υπόστρωμα μέσω τριών βασικών μηχανισμών:

- 1) Προστασία με εξωτερική επικάλυψη
- 2) Χημική αναστολή
- 3) Γαλβανική προστασία (Θυσιαστική προστασία)

Η προστασία με εξωτερική επικάλυψη επιτυγχάνεται με την πλήρη απομόνωση του μεταλλικού υποστρώματος από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η χημική αναστολή γίνεται δυνατή με την χρήση συγκεκριμένων συστατικών στην βαφή. Η θυσιαστική προστασία μπορεί να επιτευχθεί όταν ως επίστρωση χρησιμοποιείται ένα πιο ενεργό μέταλλο (ηλεκτραρνητικότερο) με αποτέλεσμα να προστατεύεται η μεταλλική επιφάνεια που έχει στο δημιουργούμενο γαλβανικό ζεύγος τον ρόλο της καθόδου.

ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ

Η αντιδιαβρωτική προστασία μέσω οργανικών επιστρώσεων επιτυγχάνεται είτε με τον μηχανισμό προστασίας, με εξωτερική επικάλυψη είτε μέσω χημικής αναστολής. Σημειώνουμε πως οι όροι οργανικές επιστρώσεις και βαφές χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την ομάδα επιστρώσεων με οργανική βάση. Ο μηχανισμός προστασίας με εξωτερική επικάλυψη επιτυγχάνεται στην περίπτωση των οργανικών επιστρώσεων με την απομόνωση της μεταλλικής επιφάνειας από την υγρασία, από αέρια και από ιόντα που είναι δυνατόν να προκαλέσουν την προσβολή.

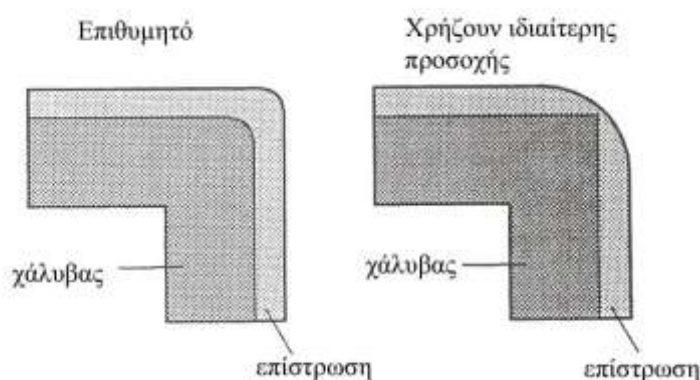
Η προστασία του μετάλλου με χημική αναστολή επιτυγχάνεται με την τροποποίηση που υφίσταται το διαβρωτικό περιβάλλον και πιο συγκεκριμένα το διαβρωτικό περιβάλλον υδάτινης φύσης, που βρίσκεται σε άμεση επαφή με μεταλλική μάζα. Μάλιστα κάποιοι τύποι οργανικών επιστρώσεων περιλαμβάνουν σωματίδια ενεργού μετάλλου ώστε να προσδίδεται και μερική "θυσιαστική" προστασία. Γενικότερα μπορούμε να πούμε πως σκοπός της οργανικής επίστρωσης είναι να βοηθήσει στην ανάπτυξη, και την διατήρηση ενός προστατευτικού επιστρώματος στην επιφάνεια του μετάλλου.

Ένα σύστημα οργανικών επιστρώσεων μπορεί να αποτελείται από πολλαπλές επιστρώσεις ή ακόμα και από πολλαπλά συστατικά σε κάθε επίστρωση. Τελικά το επιθυμητό σύστημα που θα επιλεγεί θα πρέπει να παρέχει, χημική αντίσταση, χαμηλό βαθμό διαπερατότητας από την υγρασία, προσαρμοστικότητα, αντοχή σε συγκρούσεις με σωματίδια, εύκολη εφαρμογή στην μεταλλική επιφάνεια, αντοχή και σχετικά χαμηλό κόστος. Η διαδικασία εφαρμογής της οργανικής επίστρωσης χωρίζεται στα εξής βήματα :

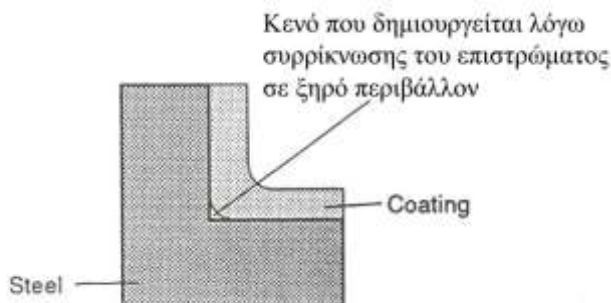
- 1) Σχεδιασμός και επιλογή υλικών
- 2) Προετοιμασία επιφανειών
- 3) Εφαρμογή Επιστρώσεων
- 4) Επιθεώρηση
- 5) Διασφάλιση Ποιότητας-Ασφάλειας

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΩΝ

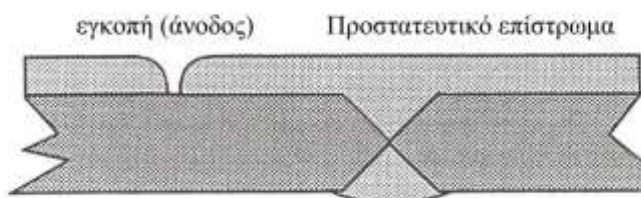
Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος επιστρώσεων εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων που πρέπει να συμπεριληφθούν κατά την φάση του σχεδιασμού. Έτσι είναι πολύ σημαντική η ευκολία στην πρόσβαση της επιφάνειας του μετάλλου, ώστε να καθίσταται εφικτή η απαιτούμενη προετοιμασία και η σωστή εφαρμογή των επιστρώσεων. Πρέπει επίσης να αποφεύγονται αιχμές και γωνίες ενώ η επιφάνεια του μετάλλου θα πρέπει να είναι απολύτως λεία. Παραδείγματα εφαρμογής κατάλληλου σχεδιασμού φαίνονται στις εικόνες 4-14, 4-15 και 4-16.



Εικόνα 4-14 «Λεπτή επίστρωση στις εξωτερικές αιχμηρές γωνίες»



Εικόνα 4-15 «Φτωχή επίστρωση περιοχής αιχμηρής εσωτερικής γωνίας.»



Εικόνα 4-17 «Επιστρώματα σε ανόμοια μέταλλα»

Οι σημαντικότεροι παράγοντες σχεδιασμού που θα πρέπει να τυγχάνουν προσοχής από τον μελετητή είναι :

- 1) Αντίσταση στις συνθήκες του περιβάλλοντος
- 2) Εμφάνιση
- 3) Ασφάλεια
- 4) Προετοιμασία επιφάνειας
- 5) Ορθή εφαρμογή (Έμπειρο Προσωπικό)
- 6) Ιδιομορφίες Υποστρώματος
- 7) Διαθέσιμος Σχεδιασμός
- 8) Διάρκεια Ζωής
- 9) Κόστος
- 10) Βαθμός πρόσβασης για μελλοντικές επισκευές
- 11) Συνέπειες Αστοχίας

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η επιλογή του τύπου της επίστρωσης που θα χρησιμοποιηθεί είναι εκείνη που καθορίζει τον τύπο της προετοιμασίας της μεταλλικής επιφάνειας, ώστε να γίνει καλή εφαρμογή του επιστρώματος. Έτσι για παράδειγμα σε περίπτωση εφαρμογής επιστρώσεων Zn απαιτείται πολύ καλή προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας, όπως για παράδειγμα με αμμοβολή, ενώ κάποιο τύποι επιστρώσεων μπορούν να τοποθετηθούν και απευθείας σε διαβρωμένες επιφάνειες χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα.

Συνήθως, απαιτείται κάποια προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας πριν την εφαρμογή της επίστρωσης. Έτσι οι επιφάνειες θα πρέπει να τραχύνονται σε κάποιο βαθμό για να είναι δυνατόν να αναπτύσσεται συνάφεια και ικανοποιητική μηχανική αντοχή δηλαδή να υπάρχει μεγάλος βαθμός πρόσφυσης στην επιφανειακή στρώση υλικού.

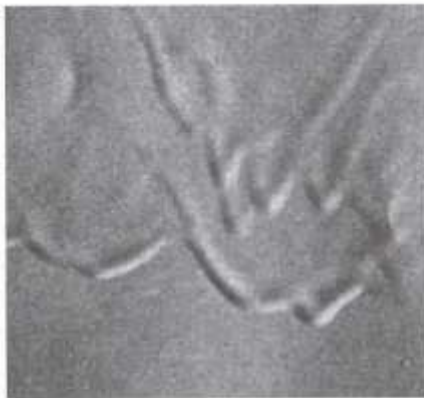
Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, εκτός από τον βαθμό τραχύτητας, είναι η καθαρότητα της επιφάνειας. Όπου τυγχάνουν εφαρμογής βαφές παρουσία οξειδίων, αλάτων, λιπών, παλαιών βαφών, συνήθως καταστρέφονται και η προστασία αστοχεί σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα.

Ανάλογες επιπτώσεις έχει και η μη επαρκής λείανση της μεταλλικής επιφάνειας καθώς και χαραγές ή αιχμές που καθιστούν την προστατευτική επίστρωση ευαίσθητη και περιορίζουν το πάχος του επιστρώματος προκαλώντας αστοχία.

Οι βασικές μέθοδοι επιφανειακής προετοιμασίας είναι :

- 1) Πλύση με χημικά διαλύματα
- 2) Πλύση με ατμό

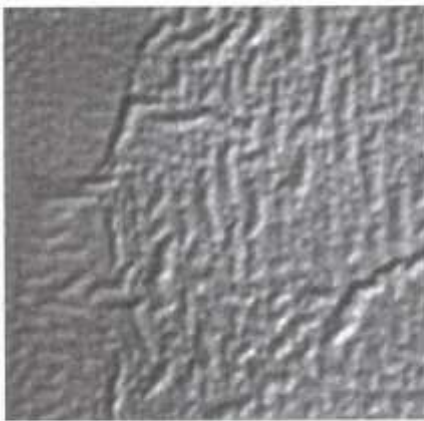
- 3) Καθαρισμός με εργαλεία χειρός
- 4) Εκτόξευση νερού



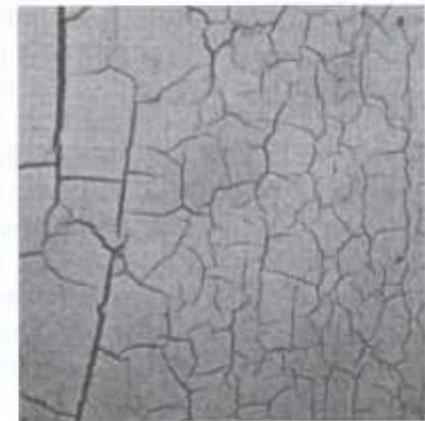
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Εικόνα 4-17 «Παραδείγματα συχνών ατελειών βαψίματος.

ΒΑΦΕΣ

Παρά την σημασία των επιστρώσεων όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα οργανικά υλικά στην χρήση των επιστρώσεων, σε ατμοσφαιρικές συνθήκες αλλά και σε συνθήκες εμβαπτισμένων σε διαλύματα επιφανειών είναι οι βαφές δηλαδή επιστρώσεις που τυγχάνουν εφαρμογής σε υγρή μορφή με χρήση ψήκτρας, ρολού ή εκνέφωσης. Οι οργανικές επιστρώσεις σε υγρή μορφή όπως οι βαφές έχουν τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά: τη ρητίνη, τον διαλύτη, τα συστατικά βαφής και διάφορα άλλα ειδικών χρήσεων χαρακτηριστικά.

Οι διαλύτες μπορεί να είναι είτε οργανικής φύσης είτε υδάτινοι, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που περιορίζουν όσο αυξάνονται οι απαιτήσεις σε προστασία την χρήση οργανικών διαλυτών. Τα συστατικά βαφής προστίθενται ώστε να προσδοθούν στην βαφή ιδιότητες όπως η αντίσταση σε οξείδια, προσθήκη χρώματος, και αυξημένες αντοχές σε ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Τέλος διάφορα ειδικά συστατικά προστίθενται, όπως συστατικά που επιτυγχάνουν γρήγορη ξήρανση της βαφής, έλεγχο ροής, μεγάλη διαλυτότητα και άλλα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Πολλές φορές υβρίδια οργανικών βαφών χρησιμοποιούνται ώστε να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές ιδιότητες. Για παράδειγμα ένα ακρυλικό μονομερές ή πολυμερές μπορεί να συνδυαστεί με κάθε σχεδόν τύπο διαλύτη για να παραχθεί βαφή με ιδιότητες μεταξύ του ακρυλικού και του αρχικού πολυμερούς.

Ο ρυθμός με τον οποίο το μέταλλο, που αν και προστατεύεται από βαφές είναι δυνατόν να διαβρώνεται, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1,3 nm/year. Για μεγαλύτερο ρυθμό διάβρωσης οι βαφές δεν είναι κατάλληλες προς χρήση, και θα πρέπει να επιλέγονται εναλλακτικοί τύποι αντιδιαβρωτικής προστασίας.

ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ

Μέταλλα ή και σε ορισμένες περιπτώσεις κράματα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στην προστασία με τις εξής μεθόδους :

- 1) Ηλεκτρική επιμετάλλωση
- 2) Μη Ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση
- 3) Με εμβάπτιση σε τήγμα του μετάλλου
- 4) Με θερμό ψεκασμό
- 5) Με επικάλυψη
- 6) Με συγκόλληση
- 7) Με προσθήκη ιόντων
- 8) Με επεξεργασία laser

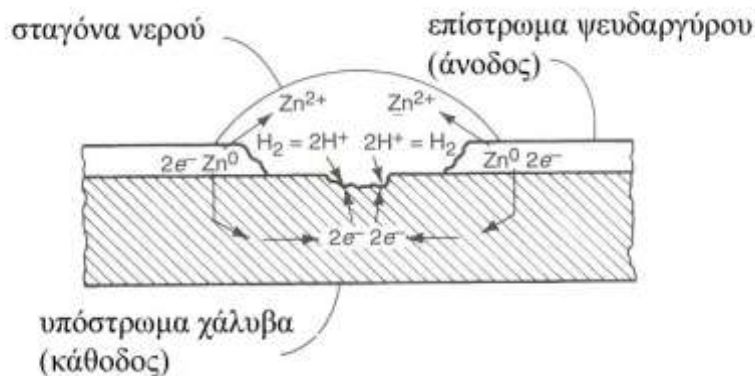
Το εύρος του πάχους της προστατευτικής στρώσης μπορεί να κυμαίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών μεταξύ του 1μm και 70 μm . Ο τύπος της μεταλλικής επίστρωσης μπορεί να είναι ανοδικός ή καθοδικός. Μια ευγενής επίστρωση που είναι δυνατόν να χρησιμοποιείται μπορεί να είναι πιο ανθεκτική στην διάβρωση από το μεταλλικό υπόστρωμα το οποίο και προστατεύεται σε μεγάλο βαθμό αν η επίστρωση παρουσιάζει πολύ μικρή διαπερατότητα (πορώδες). Κατά την χρήση ενός θυσιαστικού υποστρώματος, το οποίο είναι πιο ενεργό από την κύρια μάζα του μετάλλου, η προστασία επιτυγχάνεται τόσο με την καθοδική προστασία του υποστρώματος σε περιοχές αιχμών ή ατελειών της επιφάνειας όσο και με την απομόνωση του μετάλλου από τις εξωτερικές συνθήκες. Η χρήση μεταλλικών επιστρώσεων είναι πολύ διαδεδομένη και στην περίπτωση του χάλυβα.

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΗ ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΗ

Η δημιουργία της προστατευτικής επίστρωσης γίνεται σε αυτήν την περίπτωση με την επικάλυψη ενός σταθερού μεταλλικού μανδύα στην επιθυμητή επιφάνεια με την χρήση ενός ηλεκτροδίου. Η επίστρωση αυτή μπορεί να έχει διαφορετικές ιδιότητες και διαστάσεις από την κυρίως μεταλλική μάζα. Αυτός ο τύπος προστασίας μπορεί να εφαρμόζεται για λόγους αισθητικής, προστασίας, αντίστασης στην διάβρωση, προστασίας από χημική προσβολή, αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις. Ο μηχανισμός δράσης του ηλεκτρολυτικού στρώματος προστασίας είναι ο ακόλουθος. Το υπόστρωμα προστατεύεται καθοδικά καθώς η επίστρωση δρα θυσιαστικά και διαβρώνεται όπως στην περίπτωση επιστρώσεων ψευδαργύρου και καδμίου σε χάλυβα. Επίσης το μέταλλο προστατεύεται με απομόνωση του από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και κατά συνέπεια παρουσιάζει αυξημένη διάρκεια ζωής.

ΘΥΣΙΑΣΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ

Αποθέσεις ψευδαργύρου και καδμίου προστατεύουν τον χάλυβα σε περιοχές της επιφάνειάς του όπου εμφανίζονται πόροι και άλλες ασυνέχειες υλικού μέσω καθοδικής θυσιαστικής προστασίας, μιας και ο ψευδάργυρος (Zn) είναι υλικό ηλεκτραρνητικότερο του χάλυβα. Υπό τις ίδιες συνθήκες το κάδμιο είναι ευγενέστερο του χάλυβα αλλά σε εξωτερικές συνθήκες που κάνουν την εμφάνιση τους στην πράξη το κάδμιο είναι δυνατόν να δράσει ανοδικά, προστατεύοντας χαλύβδινες μεταλλικές επιφάνειες. Στο σχήμα φαίνεται η γαλβανική προστασία που προσφέρεται από ένα περίβλημα Zn σε μεταλλική επιφάνεια χάλυβα εικόνα 4-18.



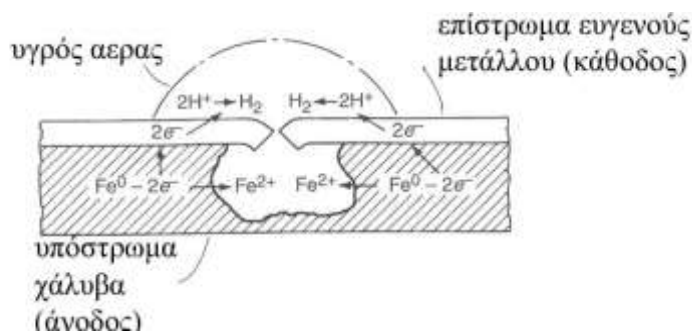
Εικόνα 4-18 «Αρχές και μηχανισμός της γαλβανικής προστασίας με επίστρωση ενός υποστρώματος. Γαλβανική προστασία υποστρώματος χάλυβα με επίστρωση ψευδαργύρου. Η διάβρωση του υποστρώματος είναι ελαφριά και εμφανίζεται σε μικρή απόσταση από τον ψευδάργυρο.»

ΕΥΓΕΝΗ ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΑ

Αρκετά μέταλλα που συχνά χρησιμοποιούνται ως προστασία είναι ηλεκτραρνητικότερα του χάλυβα. Έτσι η δράση τους περιορίζεται σε όρους απομόνωσης της προστατευόμενης επιφάνειας από το περιβάλλον. Έτσι για να είναι επιτυχής η χρήση τους θα πρέπει να εξασφαλίζεται η απουσία πόρων και τοπικών συνεχιών και ελαττωμάτων, για αυτό και συνήθως χρησιμοποιούνται πάχη επιστρώσεων της τάξης των 25μm ή και μεγαλύτερα.

ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

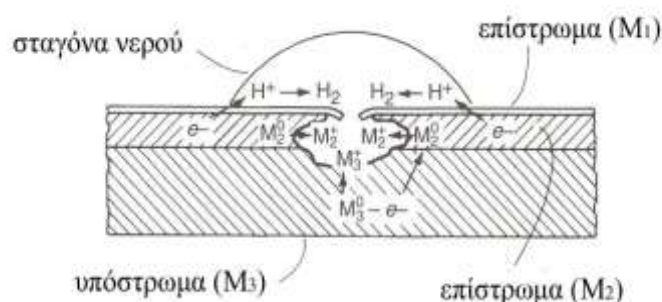
Γενικά οι ηλεκτρολυτικές επιστρώσεις που δεν θα παρουσιάζουν καμιάς μορφής επιφανειακό ελάττωμα είναι εξαιρετικά δύσκολο να βρεθούν στην αγορά. Έτσι οι αναπτυσσόμενοι βελονισμοί σχηματίζουν ατέλειες στην επιφάνεια του προστατευτικού μανδύα με αποτέλεσμα να γίνεται διαπερατός από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η διάβρωση και η εξάπλωση της στο εσωτερικό τέτοιων επιφανειών παρουσιάζεται στην εικόνα 4-19.



Εικόνα 4-19 « Δημιουργία κρατήρα σε υπόστρωμα χάλυβα κάτω από την επίδραση επιστρώματος ευγενούς μετάλλου, π.χ. παθητικό χρώμιο ή χαλκός. Η διάβρωση προχωρά κάτω από το ευγενή μέταλλο και οι άκρες λυγίζουν σχηματίζοντας μια διαβρωτική εσοχή.»

Όπως φαίνεται στο σχήμα ένας μικρός κρατήρας αναπτύσσεται στο μεταλλικό υπόστρωμα και καθώς μεγαλώνει η ακτίνα μεταξύ των ανοδικότερων περιοχών ο κρατήρας λειτουργεί ανοδικά επιταχύνοντας τον ρυθμό διάβρωσης. Η ροή ηλεκτρονίων από την μάζα του κυρίων μετάλλου προς την επίστρωση, ενώ τα ιόντα υδρογόνου που δέχονται τα προσφερόμενα ηλεκτρόνια και παρουσία διαλυμένου υδρογόνου σχηματίζουν νερό.

Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε μια ενδιάμεση στρώση ευγενέστερη του υποστρώματος αλλά λιγότερο ευγενή από την εξωτερική επίστρωση, ενώ η λειτουργία του νέου συστήματος παρουσιάζεται στην εικόνα 4-20.



Εικόνα 4-20 « Σχηματισμός διαβρωτικής σχισμής μεταξύ υποστρώματος και διπλού επίστρωμα ευγενούς μετάλλου»

ΕΠΙΜΕΤΑΛΛΩΣΗ

Προστατευτικές στρώσεις τέτοιου τύπου μπορούν να παραχθούν μέσω της αυτοκαταλυτικής χημικής αναγωγής των ιόντων νικελίου, σε υδατικό διάλυμα. Είναι δυνατόν να δημιουργηθούν δύο τύποι επιστρώσεων με αυτό τον τρόπο, επιστρώσεις νικελίου - φωσφόρου και νικελίου - βορίου.

ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ - ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Οι επιστρώσεις νικελίου φωσφόρου μπορούν να χωριστούν σε χαμηλής περιεκτικότητας σε φώσφορο (1-4 % κ.β.) σε μέσης περιεκτικότητας (5-8% κ.β.) και σε υψηλής περιεκτικότητας σε φώσφορο (9-12% κ.β.) Αυτός ο τύπος περιβλημάτων παρέχει πολύ καλή προστασία έναντι διάβρωσης σε πλήθος πιθανών συνθηκών περιβάλλοντος, ενώ η ποιότητα της προστασίας είναι ανάλογη του ποσοστού της παρουσίας φωσφόρου. Ένας πρακτικός οδηγός για την χρήση τέτοιου τύπου επιστρώσεων μπορεί να βρεθεί στο περιοδικό *Materials performance* (σελ 65-70) July 1990.

ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ - ΒΟΡΙΟΥ

Περιέχουν συνήθως βόριο σε ποσοστό 5% και παρουσιάζουν εξαιρετική αντίσταση σε φθορές λόγω μηχανικών καταπονήσεων, έχοντας όμως μειωμένη αντίσταση σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον. Επιπλέον παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένο κόστος σε σχέση με τις επιστρώσεις νικελίου- φωσφόρου.

ΕΜΒΑΠΤΙΣΗ ΣΕ ΤΗΓΜΑ

Η εφαρμογή της προστατευτικής επίστρωσης με αυτήν την μέθοδο γίνεται με εμβάπτιση του μετάλλου σε τήγμα του μετάλλου που θα χρησιμοποιηθεί ως προστασία. Η μέθοδος αυτή έχει πρακτική εφαρμογή σε πλήθος μετάλλων ενώ είναι συνήθης στην περίπτωση του χάλυβα.

Η εμβάπτιση σε τήγμα του μετάλλου προστασίας παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως της δυνατότητας πλήρωσης των κενών και των ασυνεχειών της επιφάνειας του μετάλλου, ενώ με χρήση μέσου πάχους επιστρώσεως εμφανίζει καλής ποιότητας προστασία έναντι διάβρωσης. Πάντως η μέθοδος παρουσιάζει δυο ιδιομορφίες που περιορίζουν την χρήση της:

- I. το μέταλλο του μανδύα να τήκεται σε λογικά χαμηλές θερμοκρασίες
- II. κατά την εφαρμογή το υπό προστασία μέταλλο δεν θα πρέπει να εμφανίζει αλλοίωση των ιδιοτήτων του.

ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ

Η εμβάπτιση του χάλυβα σε διάλυμα ψευδαργύρου που λέγεται και γαλβανισμός αποτελεί την πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδο προστασίας του χάλυβα με μεταλλικές επιστρώσεις, σε ποσοστό 85% κ.β. Λόγω της μακράς εμπειρίας στην χρήση τέτοιων επιστρώσεων (100 τουλάχιστον έτη) ο γαλβανισμός έχει μελετηθεί σε πλήθος διαβρωτικών περιβαλλοντικών συνθηκών και για επιστρώσεις πάχους από 19μm έως 100μm, ανάλογα με την φύση της πρακτικής εφαρμογής.

Έτσι η λειτουργία του Zn κατά την προστασία του χάλυβα είναι η ακόλουθη :

1. Δημιουργεί ένα προστατευτικό στρώμα στην επιφάνεια του χάλυβα που δρα απομονώνοντας την επιφάνεια του μετάλλου
2. Σε σημεία κενών του περιβλήματος, όπως σε χαραγές ή αμυχές ο ψευδάργυρος δρα θυσιαστικά προσφέροντας γαλβανική προστασία
3. Σε περίπτωση διάλυσης του ψευδαργύρου, χλωρίδια του Zn που δημιουργούνται, μπορούν να αναπτυχθούν στις καθοδικές περιοχές του

εκτεθειμένου χάλυβα, σχηματίζοντας έναν δευτερεύοντα μανδύα προστασίας.

ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ-ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Σε αυτό τον τύπο επιστρώσεων περιλαμβάνονται τα κράματα Zn-Al και Zn-Al. Τα πρώτα κράματα παρουσιάζονται ανθεκτικότερα σε διάβρωση από ότι ίσου πάχους προστασία με γαλβανισμό, ενώ η σύγκρισή τους με επιστρώσεις ψευδαργύρου για διάφορους τύπους περιβαλλοντικών συνθηκών παρουσιάζεται στον πίνακα 4-2

	<u>Χρόνια μέχρι την πρώτη σκουριά</u>			
	<u>Zn</u>	<u>Zn-4Al</u>	<u>Zn-7Al</u>	<u>Zn-55Al</u>
Μεγάλου μεγέθους μαρίνα: 25μ από τον ωκεανό	4	9	9	15
Μέτριου μεγέθους μαρίνα: 250μ από τον ωκεανό	16	15	14	25
αγροτική περιοχή	14	14	14	25
Εργοστασιακή περιοχή	10	10	9	25

Πηγή: *Corrosion – Understanding the basics, A.S.M (2000)*

Πίνακας 4-1 « Ζωή επιστρωμάτων θερμού ψευδαργύρου και κραμάτων ψευδαργύρου»

ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ AL

Δύο τύποι επιστρώσεων αλουμινίου χρησιμοποιούνται ανάλογα με την περίπτωση. Ο Πρώτος τύπος είναι μικρού πάχους κράμα αλουμινίου-πυριτίου που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν ευπλασία του υλικού και υψηλή αντοχή σε μεγάλες θερμοκρασίες. Ο δεύτερος τύπος επιστρώσεων αυτού του τύπου απαιτεί μεγαλύτερο πάχος (30-50 μm) και εφαρμόζεται με εμβάπτιση σε υγρό τήγμα του υλικού, ενώ η χρήση του προτιμάται συνήθως σε εφαρμογές όπως οι στέγες, και τα σιλό λόγω της μεγάλης απόδοσης που παρουσιάζει σε ατμοσφαιρική διάβρωση.

ΕΠΙΣΤΡΩΣΕΙΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ

Γενικά κατά την κατασκευή επιστρώσεων μολύβδου προστίθεται στο τήγμα του υλικού προστασίας 3-15% Sn το οποίο εξυπηρετεί στην ύγρανση του υποστρώματος του χάλυβα. Οι επιστρώσεις μολύβδου έχουν μεγάλη ιστορία στην χρήση τους χάρη στην ευπλασία τους. Επιπλέον ο πολύ μικρός ρυθμός διάβρωσης

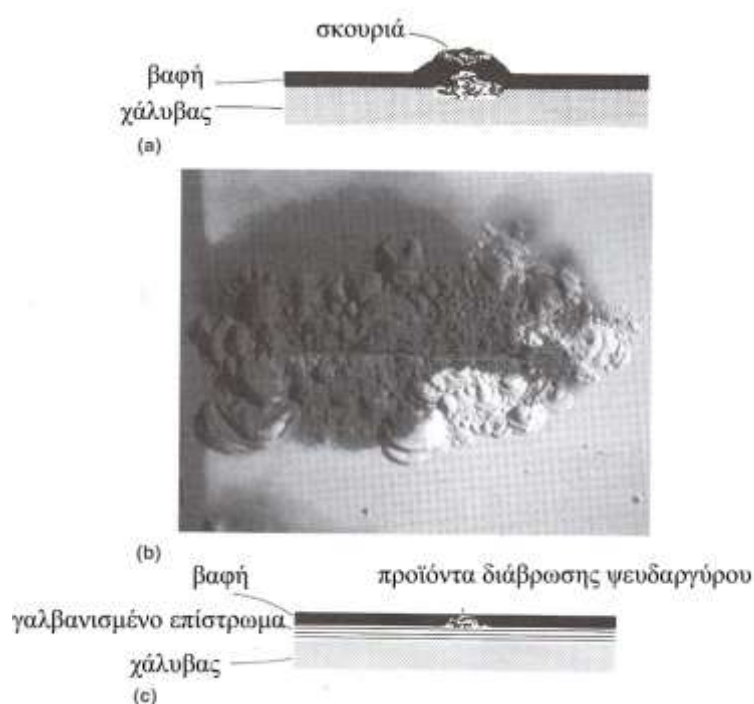
του μολύβδου, του επιτρέπει να δρα απομονώνοντας το μέταλλο που προστατεύεται από το εξωτερικό περιβάλλον. Μειονέκτημα αυτού του τύπου επιστρώσεων αποτελεί ο μεγάλος βαθμός αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που παρουσιάζει, γι' αυτό και τα τελευταία χρόνια έχει απαγορευτεί η χρήση του.

ΒΑΦΕΣ ΚΑΙ ΓΑΛΒΑΝΙΣΜΟΣ

Η συνδυασμένη χρήση γαλβανισμού και βαφών για την προστασία μεταλλικών επιφανειών έχει σαν αποτέλεσμα την πολύ μεγάλη αύξηση της αντοχής, ενώ η επίστρωση Zn είναι πολύ καλή βάση πάνω στην οποία μπορούμε να εφαρμόσουμε ένα ή και πολλαπλά στρώματα βαφών. Επιγραμματικά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει αυτή η μέθοδος είναι :

1. Ο χρόνος ζωής του γαλβανισμού επιμηκύνεται από την βαφή
2. Η θυσιαστική προστασία και η απομόνωση από τις εξωτερικές συνθήκες του μετάλλου συνεχίζει να λειτουργεί παρά οποιαδήποτε πιθανή αστοχία της επίστρωσης βαφής
3. Η βαφή παρουσιάζει καλή εφαρμογή και αντοχή χάρη της στρώσης Zn
4. Η επιφανειακή προετοιμασία για την εφαρμογή της βαφής γίνεται πολύ ευκολότερη

Η μη χρησιμοποίηση ειδικού ασαριού έχει ως αποτέλεσμα το ξεφλούδισμα της εξωτερικής επίστρωσης. Σύγκριση της προστασίας με βαφή και προστασίας με συνδυασμένη χρήση βαφής και γαλβανισμού παρουσιάζεται στην εικόνα 4-22.



Εικόνα 4-22 « Μηχανισμός της διάβρωσης για βαμμένο χάλυβα και βαμμένο γαλβανισμένο χάλυβα »

ΨΕΚΑΣΜΟΣ ΜΕ ΘΕΡΜΟ ΤΗΓΜΑ

Η διαδικασία ψεκασμού με θερμό τήγμα προς παρασκευή επικάλυψης αποτελείται από ένα πλήθος διαδικασιών που έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα την δημιουργία ενός λεπτού επιστρώματος προστασίας με την απόθεση σωματιδίων υλικού στο υπόστρωμα που προστατεύεται. Η αρχική μορφή των σωματιδίων του υλικού που χρησιμοποιείται είναι σε σκόνη, η οποία τροφοδοτείται από μονάδα ψεκασμού όπου και θερμαίνεται. Καθώς τα σωματίδια έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια του μετάλλου γίνονται επίπεδα και καλύπτουν τα ελαττώματα της εφαρμοζόμενης επιφάνειας ενώ στην συνέχεια καθώς ψύχονται αποκτούν συνάφεια.

Οι δεσμοί συνάφειας που αποκτούν τα σωματίδια με την επιφάνεια του μετάλλου είναι κυρίως μηχανικοί, ενώ εξελιγμένες μονάδες ψεκασμού που θερμαίνουν το υλικό σε μεγάλες θερμοκρασίες παρέχουν και μεταλλουργική ένωση του επιστρώματος με την επιφάνεια επαφής. Τύποι υλικών ανάλογα με την περίπτωση της πραγματοποιούμενης προστασίας παρουσιάζονται στο πίνακα 4-3.

Εφαρμογές	Εργαλεία με θερμαντικά σπρέι
Τμήματα σωλήνων για αγωγούς θαλασσινού νερού	κράμα 625 (Ni-22Cr-9Mo-5Fe-4Nb) or Al
αγωγοί άντλησης πετρελαίου	Al και κράματα Al
Γέφυρες	Zn, Zn-Al, ή Al
Εργοστάσια κατασκευής γεφυρών	Zn, Zn-Al, ή Al
Δεξαμενές αποθήκευσης χημικών και νερού	κράμα 625, Al, Zn και υψηλά κράματα Cr/Ni
Κολώνες μεταφοράς ρεύματος	85% Zn-15% Al
Αντλία ψύξης νερού	Al
Γέφυρες από μπετόν	Zn ή Zn-Al
Σκέπαστρα	Zn-Al
Τελεφερίκ	Zn
Κάγκελα	Zn

Πηγή: *Corrosion –Understanding the basics, A.S.M (2000)*

Πίνακας 4-3 «Τυπικές εφαρμογές διαβρωτικής αντίστασης σε θερμαντικά σπρέι»

ΜΕΤΑΛΛΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ

Οι επιστρώσεις με μέταλλα επικάλυψης αποτελούνται από πολλαπλές στρώσεις υλικού που διατίθενται σε διάφορες μορφές ώστε να καλύπτεται το

μεγάλο εύρος των πρακτικών εφαρμογών. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4-23 μέταλλα διατιθέμενα σε ευρεία χρήση στο εμπόριο συνδυάζονται ανάλογα με την περίπτωση και τις ειδικές ανάγκες προστασίας.

	Aluminum	Carbon steel	Copper	Nickel	Magnesium	Austenitic stainless steel	Brass/bronze
Aluminum	○	○	○	●	●	○	●
Nickel	●	○	○	●	●	○	○
Copper	○	○	●	○	●	○	●
Carbon steel	○	○	○	○	●	○	○
Ferritic stainless steel	○	○	○	○	●	●	○
Martensitic stainless steel	●	●	●	●	●	●	●
Austenitic stainless steel	○	○	○	○	●	●	●
Invar	○	○	○	○	●	●	○
Titanium	○	○	○	○	●	●	●

○ Εμπορικά
● Απαιτούν επεξεργασία

Εικόνα 4-23 « Μέταλλα διατιθέμενα σε ευρεία χρήση στο εμπόριο »

Τα συστήματα προστασίας με επιστρώσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τον τρόπο της λειτουργίας τους σε :

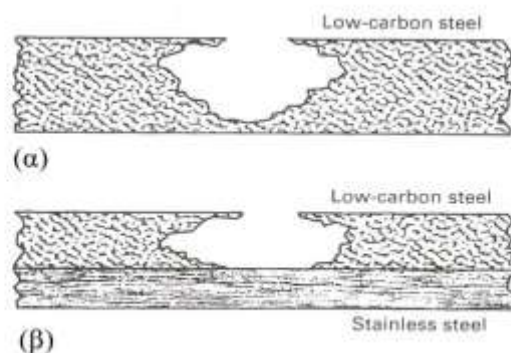
- Συστήματα ευγενών μετάλλων
- Συστήματα εξωτερικής απομόνωσης
- Θυσιαστικά
- Μεταβατικά

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΥΓΕΝΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Είναι υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται σε μέταλλα χαμηλού κόστους που πρέπει να προστατευθούν. Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται το αλουμίνιο ως υπόστρωμα και προσφέρεται γενικά ικανοποιητική αντιδιαβρωτική προστασία

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ

Ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων μετάλλων που σχηματίζουν την επίστρωση παρουσιάζει πολύ συχνή χρήση. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4-24 οι χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα παρουσιάζουν αυξημένη ευαισθησία στην ανάπτυξη τοπικής διάβρωσης σε περιβάλλον όπου προσφέρονται ιόντα Cl⁻.



Εικόνα 4-24 «Συστήματα εξωτερικής απομόνωσης διάβρωσης. (α) Συμπαγής ανθρακούχος χάλυβας. (β) Σύνθεση ανθρακούχου χάλυβα με ανοξείδωτο χάλυβα.

ΘΥΣΙΑΣΤΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Τέτοια μέταλλα όπως το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος, το αλουμίνιο, βρίσκονται στην ενεργό περιοχή των γαλβανικών στρώσεων και έτσι χρησιμοποιούνται ευρέως για αντιδιαβρωτική προστασία. Η χρήση ανοξείδωτου χάλυβα ως εξωτερικού περιβλήματος παρουσιάζει πολύ καλή απόδοση έναντι διάβρωσης, ενώ συνδυάζει και καλές μηχανικές ιδιότητες με καλή εξωτερική εμφάνιση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Ένα χρήσιμο εργαλείο που συμβάλλει στην εκτίμηση της διάβρωσης είναι οι δοκιμές διάβρωσης. Ο γενικότερος τρόπος που χρησιμοποιείται για την ταξινόμησή τους βασίζεται στην κλίμακα εφαρμογής τους που αποτελείται από τις εξής κατηγορίες:

1. Δοκιμές εργοστασίου
2. Δοκιμές πεδίου
3. Εργαστηριακές δοκιμές

Πιο αναλυτικά, στις δοκιμές εργοστασίου τα δοκίμια ενσωματώνονται στην υπό έλεγχο εγκατάσταση. Έτσι μπορούν να αξιολογηθούν τα χρησιμοποιούμενα υλικά και οι μέθοδοι προστασίας στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, χωρίς όμως να δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της δοκιμής λόγω των συνθηκών περιβάλλοντος. Στις δοκιμές πεδίου, ένας αριθμός πιστών αντιγράφων διαφόρων ειδών δοκιμών εκτίθεται σε όμοιες συνθήκες περιβάλλοντος με αυτές της πράξης. Σε αυτή την κατηγορία δοκιμών υπάρχει έλεγχος των συνθηκών περιβάλλοντος, συμβάλλοντας έτσι στην αξιολόγηση των υλικών και των μεθόδων προστασίας με μεγαλύτερη ακρίβεια απ' ό,τι στις δοκιμές εργοστασίου. Τέλος, στις εργαστηριακές δοκιμές οι συνθήκες είναι αυστηρά καθορισμένες και ελεγχόμενες, αλλά συνήθως διαφορετικές από αυτές της πράξης και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τις επιταχυνόμενες και στις μη επιταχυνόμενες.

ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Σε αυτού του είδους τις δοκιμές ενισχύεται ένας οι περισσότεροι διαβρωτικοί παράγοντες, ώστε η διαβρωτική δράση να προχωρήσει γρηγορότερα. Είναι δοκιμές απαραίτητες για την μελέτη της επίδρασης διαφόρων μεταβλητών στην διαδικασία της διάβρωσης, αλλά και για μετρήσεις ρουτίνας. Οι κυριότερες από τις επιταχυνόμενες δοκιμές είναι οι ακόλουθες:

- i. Ηλεκτροχημικές μέθοδοι
- ii. Δοκιμές γήρανσης

ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι ηλεκτροχημικές μέθοδοι βασίζονται στην ηλεκτροχημική φύση της διάβρωσης και μετρούν τις ηλεκτρικές ιδιότητες της ηλεκτρισμένης διπλοστοιβάδας

(δηλαδή της διεπιφάνειας μετάλλου-διαλύματος) τόσο για τη διερεύνηση του μηχανισμού διάβρωσης όσο και για τη παρακολούθηση και τον έλεγχο του στην πράξη.

Τα πλεονεκτήματα αυτών των μεθόδων είναι :

1. Επιτρέπουν την μέτρηση της ταχύτητας διάβρωσης με γρήγορο και όχι καταστρεπτικό τρόπο
2. Σε ιδανικές συνθήκες εφαρμογής μετρούν με μεγάλη ακρίβεια πολύ χαμηλές ταχύτητες διάβρωσης
3. Χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ταχύτητας διάβρωσης κατασκευών που δεν μπορούν να μελετηθούν με πειράματα απώλειας βάρους (π.χ. Θαμμένοι σωλήνες)
4. Επιτρέπουν την μελέτη του μηχανισμού δράσης της διάβρωσης.

Ενώ, μειονέκτημα τους είναι ότι οι μετρήσεις έχουν μικρή χρονική διάρκεια γενικά και έτσι δεν λαμβάνουν υπόψη τους τις πιθανές επιδράσεις μακράς διάρκειας (π.χ. σχηματισμός προστατευτικών αποθεμάτων).

Οι ηλεκτροχημικές μέθοδοι με την μεγαλύτερη εφαρμογή είναι οι παρακάτω:

- i. Δυναμικό διάβρωσης και η χρονική εξέλιξη του
- ii. Καμπύλες πόλωσης
- iii. Κουλομετρία
- iv. Ηλεκτροχημική Φασματοσκοπία Σύνθετης Αντίστασης

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΚΑΙ Η ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ

Το δυναμικό διάβρωσης ή το δυναμικό ανοιχτού κυκλώματος προσδιορίζεται από το άθροισμα των συνολικών ηλεκτροχημικών δράσεων οξείδωσης και αναγωγής σαν αποτέλεσμα της διαδικασίας της διάβρωσης. Είναι μια ποιοτική μέθοδος, μη καταστροφική που δείχνει την προδιάθεση για διάβρωση, όχι όμως και την ταχύτητα της.

Για τον προσδιορισμό του μετράται η διαφορά δυναμικού του μετάλλου ως προς ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς (κορεσμένου καλομέλανα, Ag/AgCl), με απλό ή ψηφιακό βολτόμετρο. Η μέτρηση του δυναμικού διάβρωσης παρέχει διάφορες πληροφορίες, όπως για το ποιο μέταλλο θα είναι ανοδικό στην περίπτωση γαλβανικής σύνδεσης, ή για την επίδραση μικροσκοπικών ετερογενειών στο μέταλλο (μέτρηση Ecorr σε ορισμένες περιοχές της μεταλλικής επιφάνειας με μικροηλεκτρόδια), ή για τις πιθανές θέσεις των ανοδικών περιοχών π.χ. σε ένα θαμμένο σωλήνα.

Το δυναμικό διάβρωσης εξαρτάται από τον τύπο του μετάλλου, από το είδος και τις συνθήκες περιβάλλοντος έκθεσης (υγρασία, pH, συγκέντρωση

αλάτων), τη διαθεσιμότητα σε οξυγόνο, τα επαγόμενα ρεύματα και από τη θερμοκρασία.

Δίνει πληροφορίες για την σχετική τάση διάβρωσης μεταξύ διαφόρων μετάλλων, ενώ η χρονική εξέλιξη του αποκαλύπτει την προδιάθεση είτε μειωμένης διάβρωσης (π.χ. σχηματισμός προστατευτικού οξειδίου) όταν μετατοπίζεται ηλεκτροθετικά, είτε αυξημένης διάβρωσης όταν μετατοπίζεται ηλεκτροαρνητικά με την πάροδο του χρόνου μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη διάβρωση έχει το μέταλλο που δυναμικό διάβρωσης του παραμένει σταθερότερο σε σταθερές συνθήκες.

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΠΟΛΩΣΗΣ

Οι καμπύλες πόλωσης είναι καμπύλες δυναμικού σε συνάρτηση με το ρεύμα διάβρωσης $E = f(I)$ ή καμπύλες ρεύματος σε συνάρτηση με το δυναμικό $I = f(E)$. Οι καμπύλες πόλωσης γράφονται με τρεις τρόπους: εντασιοστατικά, δυναμοστατικά, δυναμοδυναμικά. Στον εντασιοστατικό τρόπο, ένα ορισμένο ποσό ρεύματος περνάει από ένα βοηθητικό ηλεκτρόδιο στο ηλεκτρόδιο εργασίας και μετράται το δυναμικό του ηλεκτροδίου εργασίας ως προς κάποιο ηλεκτρόδιο αναφοράς. Στον δυναμοστατικό, εφαρμόζεται ένα σταθερό δυναμικό μεταξύ ηλεκτροδίου εργασίας και ηλεκτροδίου αναφοράς και μετράται η μεταβολή της έντασης του ρεύματος. Τέλος στον δυναμοδυναμικό, το δυναμικό του ηλεκτροδίου μεταβάλλεται συνεχώς και καταγράφεται το αντίστοιχο ρεύμα.

Από μία καμπύλη πόλωσης μπορούν να ληφθούν σημαντικές πληροφορίες για κάποιο μέταλλο (παθητικό ή ενεργό). Όταν πρόκειται για παθητικό μέταλλο μπορεί μέσω της καμπύλης να προσδιοριστεί η δυνατότητα του μετάλλου να παθητικοποιηθεί αυθόρμητα σε ορισμένο περιβάλλον. Ακόμη, μπορεί να οριοποιηθεί η περιοχή του δυναμικού, στην οποία το δοκίμιο παραμένει παθητικό και να προσδιοριστεί η ταχύτητα διάβρωσης (ρεύμα διάβρωσης) στην περιοχή αυτή, καθώς επίσης και η πιθανότητα έντονων βελονισμών στην υπερπαθητική περιοχή. Ενώ στην περίπτωση ενός ενεργού μετάλλου, μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα διάβρωσης καθώς και η αντοχή στη διάβρωση μέσω σύγκρισης διαφόρων γυμνών ή επικαλυμμένων δοκιμίων.

Πιο συγκεκριμένα για τη μέτρηση των απόλυτων ταχυτήτων διάβρωσης χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές λήψης των καμπυλών πόλωσης: η τεχνική της γραμμικής πόλωσης και η τεχνική προεκβολής του Tafel.

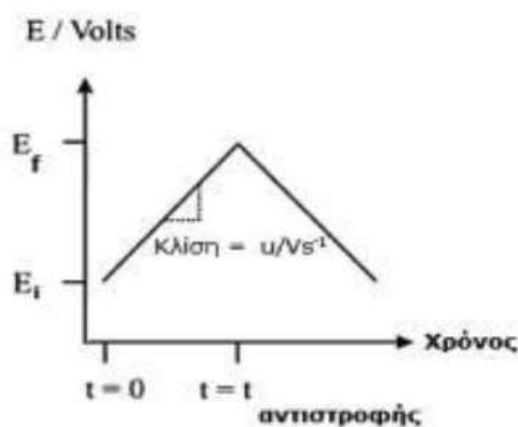
ΚΥΚΛΙΚΗ ΒΟΛΤΑΜΕΤΡΙΑ

Η κυκλική βολταμετρία αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη ηλεκτροαναλυτική τεχνική για τη μελέτη οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να ελεγχθεί αν μια αντίδραση είναι αντιστρεπτή ή όχι, να προσδιοριστεί η προσρόφηση/εναπόθεση ουσιών στην επιφάνεια ηλεκτροδίων και να μελετηθούν τα ανώτατα κατελιημμένα (HOMO) και κατώτατα μη κατελιημμένα

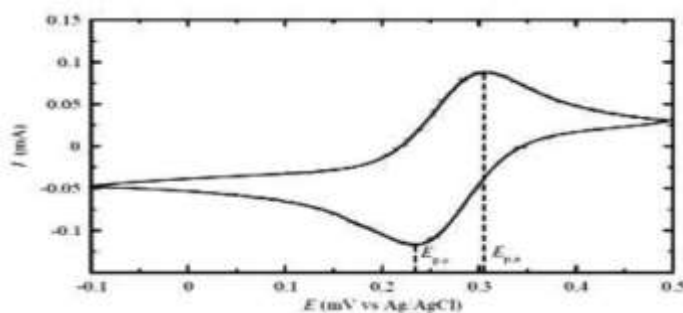
(LUMO) μοριακά τροχιακά οργανικών μορίων (πολυμερών, οργανομεταλλικών συμπλόκων κ.α.) από τα δυναμικά οξειδωσης και αναγωγής αντίστοιχα.

Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές, για τον ακριβή προσδιορισμό των τιμών των κινητικών παραμέτρων, όπως π.χ. ο αριθμός των ανταλλασσόμενων ηλεκτρονίων και ο συντελεστής διάχυσης σε υγρή ή στερεή κατάσταση.

Η διαδικασία που ακολουθείται σε αυτή την τεχνική έχει τα εξής βήματα. Αρχικά, επιβάλλεται στο ακίνητο ηλεκτρόδιο εργασίας ενός ηλεκτρολυτικού κελιού και χωρίς ανάδευση του ηλεκτρολύτη, μια χρονικά μεταβαλλόμενη με το χρόνο τάση $E = E_i \pm u \cdot t$, (Εικόνα 5-1), ξεκινώντας από μια αρχική τιμή E_i , που συνήθως είναι η τάση ισορροπίας, μέχρι κάποια τελική τάση E_f με μια ταχύτητα u . Στη συνέχεια αντιστρέφεται η φορά της σάρωσης και συνήθως με την ίδια ταχύτητα επαναφέρεται η τιμή του επιβαλλόμενου δυναμικού στην αρχική τιμή E_i . Οι ταχύτητες σάρωσης της τάσης κυμαίνονται από λίγα mV/s μέχρι μερικές εκατοντάδες V/s. Όσο είναι δυνατόν, αποφεύγεται η παρουσία πολύ μεγάλων ταχυτήτων, γιατί ευθύνονται για τη δημιουργία προβλημάτων όπως π.χ. η αύξηση της επίδρασης της φόρτισης της διπλοστοιβάδας και της πτώσης τάσης. Κατά τη διάρκεια της σάρωσης του δυναμικού καταγράφεται η ένταση του ρεύματος (Εικόνα 5-2) σαν συνάρτηση του επιβαλλόμενου δυναμικού, επομένως και του χρόνου.



Εικόνα 5-1 « Μορφή του επιβαλλόμενου δυναμικού στο ηλ. εργασίας συναρτήσει του χρόνου »



Εικόνα 5-1 «Πειραματική εξάρτηση του ρεύματος από το δυναμικό κατά την κυκλική σάρωση»]

Παρατηρείται στην εικόνα 5-2 ότι στην περίπτωση ενός νερνοστιανού συστήματος κατά την καθοδική και ανοδική σάρωση καταγράφονται συμμετρικές καμπύλες, η κάθε μια από τις οποίες παρουσιάζει μέγιστο(ελάχιστο) σε συγκεκριμένες τιμές δυναμικού, $E_{p,a}$ και $E_{p,c}$. Μπορεί να δειχθεί ότι για το νερνοστιανό σύστημα ισχύει(στους 25°C):

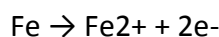
$$\Delta E_p = E_{p,a} - E_{p,c} = 58/n \text{ mV} \quad (1)$$

καθώς επίσης ότι το πρότυπο δυναμικό του συστήματος δίνεται από τη σχέση:

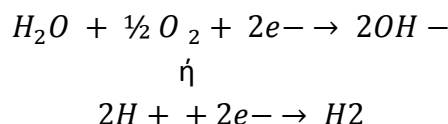
$$E^0 = \frac{E_{p,a} + E_{p,c}}{2} \quad (2)$$

ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Ένα μέταλλο το οποίο διαβρώνεται ισοδυναμεί με ένα κύκλωμα ή ένα κελί στο οποίο η μεταφορά της ενέργειας πραγματοποιείται κατά την παραγωγή των προϊόντων διάβρωσης. Ο ρυθμός διάβρωσης είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με ακρίβεια από τη μέτρηση της διαλυμένης ποσότητας του μετάλλου το οποίο καταναλώνεται στο μετασχηματισμό του σε οξείδιο (σκουριά). Αυτό μπορεί να γίνει άμεσα μετρώντας την πυκνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο δημιουργείται από την ανοδική αντίδραση του σιδήρου:



και καταναλώνεται από την καθοδική αντίδραση:



Από την εξίσωση Faraday για το ρυθμό της αντίδρασης:

$$R_F = \frac{i_{\text{corr}} A_{\text{Me}}}{zF}$$

Όπου: A_{Me} : το ατομικό βάρος του μετάλλου,
 i_{corr} : η πυκνότητα του ρεύματος διάβρωσης (A/m^2),
 z : ο αριθμός των ανταλλασσόμενων ηλεκτρονίων
 F : η σταθερά Faraday.

Διαιρώντας τον ρυθμό της αντίδρασης με την πυκνότητα του μετάλλου ρ , προκύπτει ο ρυθμός διάβρωσης ως:

$$\text{Ρυθμός διάβρωσης} = \frac{i_{\text{corr}} A_{\text{Me}}}{zF\rho}$$

Ο προσδιορισμός της πυκνότητας του ρεύματος διάβρωσης μπορεί να γίνει με διάφορες ηλεκτροχημικές μεθόδους, η μέθοδος που χρησιμοποιείται πιο συχνότερα είναι η τεχνική της Γραμμικής Πόλωσης (Linear Polarization Technique).

ΜΕΘΟΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Η ηλεκτρική αντίσταση είναι η ικανότητα ενός κυκλώματος να αντιστέκεται στη ροή του ρεύματος. Εκφράζεται από το νόμο του Ohm: $R = \frac{V}{I}$. Αυτή η σχέση περιορίζεται σε κύκλωμα ενός στοιχείου, δηλαδή στην αντίσταση. Στην πραγματικότητα τα περισσότερα συστήματα παρουσιάζουν πολυπλοκότερη συμπεριφορά, επομένως αντί για την απλή περίπτωση της αντίστασης χρησιμοποιείται η εμπέδηση Z ή αλλιώς, σύνθετη αντίσταση. Η εμπέδηση αποτελεί ένα μέτρο της τάσης του κυκλώματος να αντιστέκεται στη ροή ενός εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος.

Η ηλεκτροχημική φασματοσκοπία σύνθετης αντίστασης αποτελεί τα τελευταία χρόνια μια από τις πλέον αξιόπιστες μη καταστροφικές μεθόδους μελέτης ηλεκτροχημικών φαινομένων. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε μεγάλη ποικιλία συστημάτων γιατί επιπλέον είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε μικρές μεταβολές του υπό εξέταση συστήματος και παρέχει, σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους, τη δυνατότητα απομόνωσης και κατά συνέπεια επιμέρους προσδιορισμού της συνεισφοράς των μεμονωμένων παραγόντων που επηρεάζουν ένα σύστημα κατά τη διάρκεια της εξέλιξης των διαφόρων φαινομένων. Συγκεκριμένα, σε αντίθεση με τις ηλεκτροχημικές μεθόδους συνεχούς ρεύματος, πλεονεκτεί στο ότι η αντίσταση πόλωσης που σχετίζεται με το ποσοστό διάβρωσης μπορεί να διαχωρίζεται από την αντίσταση της διηλεκτρικής επικάλυψης (resistance of the dielectric coating).

ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ

Με τη πραγματοποίηση δοκιμών επιταχυνόμενης ή τεχνητής γήρανσης σε συνδυασμό με τη χρήση κατάλληλου εργαστηριακού εξοπλισμού κατέστη δυνατή η προσομοίωση της υποβάθμισης που πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της έκθεσης σε πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος. Η γήρανση αυτή καλείται «επιταχυνόμενη» γιατί φαινόμενα όπως ακτινοβολία, υγρασία, θερμότητα είναι μεγαλύτερα είτε σε διάρκεια είτε σε ένταση από τα αντίστοιχα σε συνθήκες περιβάλλοντος. Το αποτέλεσμα μιας τέτοιας δοκιμής είναι η γρηγορότερη φθορά και υποβάθμιση της επικάλυψης σε σχέση με την έκθεση σε φυσικό περιβάλλον.

Πλεονεκτήματα της επιταχυνόμενης γήρανσης είναι τα ακόλουθα. Αρχικά, δίνεται η δυνατότητα αναπαραγωγής δεδομένων συνθηκών σε καθημερινή βάση και σύγκριση μεταξύ εργαστηρίων. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της είναι διαθέσιμα σε σύντομο χρονικό διάστημα σε σχέση με τη φυσική. Έτσι, εξοικονομείται χρόνος

που αντιστοιχεί σε μείωση των δαπανών για τη δημιουργία νέων προϊόντων.

Ενώ, μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι πρώτα απ' όλα, εγκυμονεί ο κίνδυνος επιθετικών τεχνητών συνθηκών, οι οποίες ενδέχεται να μην αντιστοιχούν στην πραγματικότητα και έτσι να προκύπτουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων της δοκιμής σε σχέση με αυτά που θα προέκυπταν από φυσική γήρανση. Δεύτερον, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την επιταχυνόμενη γήρανση δεν είναι πάντα δυνατόν να αναπαραχθούν. Τρίτον, κάθε συσκευή τεχνητής γήρανσης έχει περιοχές λειτουργίας όπου η έκθεση είναι εντονότερη, έτσι υπάρχουν επιδράσεις άνισης έκθεσης και γι' αυτό συνιστώνται διαδικασίες χειροκίνητης περιστροφής στα δείγματα. Τέλος, η απόδοση μιας συσκευής τεχνητής γήρανσης επηρεάζεται και από τις συνθήκες που την περιβάλλουν. Οι συνθήκες περιβάλλοντος δεν καθορίζονται από τα πρότυπα της ASTM ή του ISO όμως δίνονται οδηγίες από τους κατασκευαστές. Στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται μια αεριζόμενη περιοχή ώστε να διατηρούνται ή να επιτευχθούν οι μεταβολές θερμοκρασίας μέσα στη συσκευή.

Οι δοκιμές επιταχυνόμενης γήρανσης πραγματοποιούνται κυρίως σε θαλάμους αλατονέφωσης.

ΘΑΛΑΜΟΣ ΑΛΑΤΟΝΕΦΩΣΗΣ

Η ανάγκη εργαστηριακής μελέτης των φαινομένων που σχετίζονται με τη διάβρωση των μεταλλικών υλικών έχει οδηγήσει στις διενέργειες διαφόρων εργαστηριακών μεθόδων επιταχυνθείσας διάβρωσης με σκοπό την πρόκληση διάβρωσης σε σύντομο χρονικό διάστημα. Οι μέθοδοι αυτοί χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανάπτυξη και βελτίωση προϊόντων ως προ της συμπεριφορά τους σε διάβρωση, τη συγκριτική μελέτη της επίδοσης υλικών υπό συγκεκριμένες συνθήκες και για συγκεκριμένους μηχανισμούς διάβρωσης, τη μελέτη των μηχανισμών διάβρωσης των υλικών και τον έλεγχο της αντιδιαβρωτικής προστασίας διαφόρων επικαλύψεων ή άλλων μεθόδων προστασίας. Οι δοκιμές πραγματοποιούνται βάσει κάποιου διεθνούς προτύπου και επιδιώκεται η σύγκριση της συμπεριφοράς των μετάλλων και των εκάστοτε επικαλύψεων. Στην επιστημονική κοινότητα γίνονται εκτεταμένες συζητήσεις σχετικά με την αξία των δοκιμών αυτών. Σε κάθε περίπτωση, είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται με ακρίβεια οι διαδικασίες που περιγράφονται στα πρότυπα καθώς και η αποτίμηση των αποτελεσμάτων. Με αυτόν το τρόπο, τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα και κατάλληλα για τη σύγκριση της σχετικής συμπεριφοράς των υλικών ή των επιστρωμάτων.

Η δοκιμή της αλατονέφωσης χρησιμοποιείται ευρέως και ως εργαλείο για την εκτίμηση του πάχους και του πορώδους μεταλλικών και μη, προστατευτικών επικαλύψεων επιτυχώς. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ως εργαστηριακή δοκιμή

επιταχυνόμενης διάβρωσης για την προσομοίωση της επίδρασης της θαλάσσιας ατμόσφαιρας σε διάφορα μέταλλα, με ή χωρίς επικαλύψεις.

Οι πιο κοινά αποδεκτές μέθοδοι εφαρμογής δοκιμών αλατονέφωσης περιγράφονται με ακρίβεια στα πρότυπα:

- ISO 9227:2007 «Corrosion tests in artificial atmospheres — Salt spray tests»
- ASTM B117 «Standard method of salt spray (FOG) testing»
- B368 «Standard test method for copper-accelerated acetic- salt spray (FOG) testing»
- ASTM G 85 «Standard practice for modified salt spray (FOG) testing»

Επίσης, υπάρχουν δοκιμές διάβρωσης, στις οποίες εφαρμόζονται συνθήκες υψηλής υγρασίας, με χρήση απιονισμένου νερού ως συστατικό της διάβρωσης και παραλείπεται η χρήση άλατος. Πρότυπα που αναφέρονται σε αυτού του είδους τα πειράματα είναι:

- ASTM D1735 « Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings Using Water Fog Apparatus»
- ASTM D2247, «Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings in 100% Relative Humidity»
- ASTM G 60 «Standard Practice for Conducting Cyclic Humidity Exposures»

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΑΛΑΤΟΝΕΦΩΣΗΣ

Οι δοκιμές αλατονέφωσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Δοκιμές σε στατικές συνθήκες
2. Δοκιμές σε κυκλικές συνθήκες

ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στις στατικές δοκιμές, παράμετροι όπως θερμοκρασία, πυκνότητα νέφους, επίπεδο υγρασίας, pH και συγκέντρωση του ηλεκτρολυτικού διαλύματος, παραμένουν σταθερές σε όλη τη διάρκεια της δοκιμής. Οι δοκιμές μπορεί να διαρκούν 24 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα για όλο το διάστημα έκθεσης. Έπειτα από το καθορισμένο διάστημα ψεκασμού, τα δοκίμια απομακρύνονται από το θάλαμο για μελέτη και ανάλυση. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι τα αποτελέσματα δοκιμών αλατονέφωσης σε στατικές συνθήκες δεν ανταποκρίνονται πλήρως στα φαινόμενα διάβρωσης που παρατηρούνται στο περιβάλλον λειτουργίας.

ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στις κυκλικές δοκιμές, τα δοκίμια υποβάλλονται σε επαναλαμβανόμενη σειρά βημάτων συγκεκριμένου χρόνου, διαφορετικής ατμόσφαιρας, έως ότου ολοκληρωθεί ο προκαθορισμένος χρόνος έκθεσης ή αριθμός κύκλων. Ένα πλήρες σύνολο βημάτων συνιστά έναν κύκλο. Τα βήματα, περιλαμβάνουν διαφορετικές θερμοκρασίες, μεταβαλλόμενα επίπεδα σχετικής υγρασίας RH (20 -100%) και διάφορα διαβρωτικά συστατικά (ρυπαντές, ηλεκτρολύτες).

Δεδομένου ότι στο περιβάλλον λειτουργίας ενός υλικού περιλαμβάνονται συνήθως υγρές και ξηρές συνθήκες, επιδιώκεται οι εργαστηριακές δοκιμές να προσομοιάζουν τις φυσικές κυκλικές συνθήκες. Έτσι, κατά τις κυκλικές δοκιμές προκαλείται διάβρωση των υλικών κατά τρόπο που ανταποκρίνεται πιο κοντά στο περιβάλλον λειτουργίας. Σε αυτού του είδους τις δοκιμές, τα δοκίμια εκτίθενται σε διαφορετικό περιβάλλον για επαναλαμβανόμενους κύκλους. Οι απλοί κύκλοι αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες συνθήκες αλατονέφωσης και ξήρανσης, ενώ υπάρχουν και μέθοδοι που περιλαμβάνουν κύκλους πολλών βημάτων, όπως υγρασία ή συμπύκνωση μαζί με αλατονέφωση και ξήρανση.

Τα πρότυπα που καθορίζουν με ακρίβεια τις συνθήκες της πειραματικής διαδικασίας για τις κυκλικές δοκιμές διάβρωσης σε θάλαμο αλατονέφωσης είναι:

1. ASTM G85 “Standard practice for modified salt spray (FOG) testing”
2. ISO 14993 (2001) “ Corrosion of metals and alloys – Accelerated testing involving cyclic exposure to salt mist, “dry” and “wet” conditions”

ΜΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Ως μη επιταχυνόμενη δοκιμή πεδίου μπορεί να θεωρηθεί η έκθεση δοκιμίων στο περιβάλλον που εξετάζεται.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Στο εργαστήριο επιδιώχθηκε να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του χάλυβα σε συνθήκες διαβρωτικού περιβάλλοντος, με δοκιμή συνεχής αλατονέφωσης σε σταθερή θερμοκρασία ψεκασμού 45 °C ενώ θαλάμου 35° C και pH μεταξύ των τιμών 6.5 - 7.2. Για την αντιδιαβρωτική προστασία χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά συστήματα βαφών και αξιολογήθηκε η αποτελεσματικότητά τους.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε έγινε σύμφωνα με το πρότυπο ISO 9227:2006 και πραγματοποιήθηκε στο μοντέλου HZ-2001A «Programmable salt spray test machine», της εταιρείας «Heng Zhun Instrument Co. LTD».

Η μηχανή αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- I. Θάλαμος πειραμάτων
- II. Σύστημα παρακολούθησης των συνθηκών εντός του θαλάμου
- III. Σύστημα αποθήκευσης, παραγωγής και τροφοδοσίας οξειδωτικού μέσου.

ΘΑΛΑΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το μέρος της μηχανής γίνεται η τοποθέτηση των προς εξέταση δοκιμίων. Είναι κατασκευασμένος από πλαστικό ώστε να μην επηρεάζει την πειραματική διαδικασία. Από το ίδιο υλικό είναι κατασκευασμένες οι βάσεις που στηρίζονται τα δοκίμια, ενώ οι βοηθητικές ράβδοι που ακουμπούν είναι γυάλινες. Ο θάλαμος κλείνει με κατάλληλο κινητό κάλυμμα πνευματικά υποβοηθούμενο, το οποίο εφαρμόζει αεροστεγώς με εμβάπτιση του χείλους του σε αυλάκι με νερό (water-seal) που διατρέχει όλη την περίμετρο του θαλάμου. Το σφράγισμα του σκεπάσματος είναι αναγκαίο για την αποφυγή διαρροών του διαβρωτικού μέσου στο περιβάλλον της συσκευής. Η οροφή της μηχανής είναι κατάλληλα σχεδιασμένη,

ώστε να αποφεύγεται η πτώση των σταγονιδίων του διαλύματος στα δοκίμια.

Η ύπαρξη δύο οπών στο πίσω τοίχωμα του θαλάμου εξυπηρετεί την έξοδο του αέρα που χρησιμοποιείται για την εκνέφωση του διαβρωτικού μέσου. Ο ατμός που απελευθερώνεται από τη μηχανή υφίσταται επεξεργασία απομάστευσης πριν αφεθεί στην ατμόσφαιρα.

Τέλος, στον πυθμένα του θαλάμου υπάρχουν αντιστάσεις ώστε να ελέγχεται και να διατηρείται η θερμοκρασία του στους 35 °C.

Στο «Πίνακα 6-1» παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μηχανής.

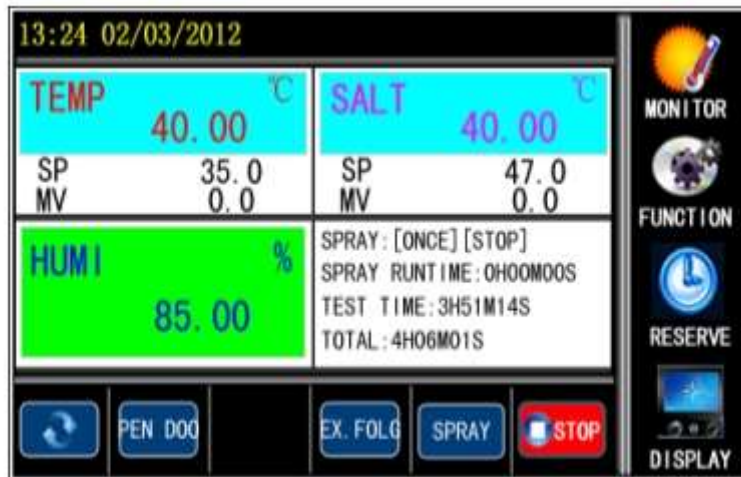
Technical Parameters:

Model	HZ-2001C	HZ-2001B	HZ-2001A
Inside box size(cm)	60x45x40	90x60x50	120x80x50
Outside box size(cm)	107x60x118	141x88x128	190x110x140
Testing room temperature	Salt test (NSS ACSS)35±1 degree / Corrosion Test (CASS)50±1 degree		
Pressure barrel temperature	Salt test (NSS ACSS)47±1 degree / Corrosion Test (CASS)63±1 degree		
Brine temperature	35±1 degree or 50±1 degree		
Testing room Capacity	108L	270L	480L
Brine tank capacity	15L	25L	40L
Salt concentration	The concentration of sodium chloride 5% or the 5% concentration of sodium chloride add 0.26g per liter of copper chloride (CuCl ₂ 2H ₂ O)		
Air pressure	1.00±0.01kgf/cm ²		
Spray volume	1.0~2.0ml/80cm ² /h (working at least 16 hours, and then take the average)		
Testing room relative humidity	85% above		
PH	6.5~7.2 3.0~3.2		
Spray form	Programmable spray (Including continuous and intermittent spray)		
Power	AC220V1Φ10A	AC220V1Φ15A	AC220V1Φ20A

Πίνακας 6-1 «Τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανής, μοντέλο HZ-2001A»

ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΘΑΛΑΜΟΥ.

Το σύστημα παρακολούθησης των συνθηκών του θαλάμου επιτρέπει την συνεχή παρατήρηση των συνθηκών όπως θερμοκρασία του αλατονέφους, καθώς και θερμοκρασία και ποσοστό υγρασίας εντός του.



Εικόνα 6-1 «Οθόνη μηχανής αλατονέφωσης- Εσωτερικές συνθήκες θαλάμου»

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ, ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει δύο δεξαμενές, χωρητικότητας 8 L η καθεμία, στις οποίες είναι αποθηκευμένο το διαβρωτικό μέσο, στο εν λόγω πείραμα διάλυμα NaCl σύμφωνα με το ISO 9227. Από την κάθε δεξαμενή το διάλυμα οδηγείται σε κατάλληλο ακροφύσιο τύπου venturi τοποθετημένο μέσα στο θάλαμο των πειραμάτων μαζί με προθερμασμένο αέρα που προέρχεται από τον υγροποιητή. Με άλλα λόγια, το μηχάνημα ψεκασμού περιλαμβάνει ένα σύστημα παροχής καθαρού αέρα, ελεγχόμενης πίεσης και υγρασίας, ένα δοχείου που περιέχει το διάλυμα που χρησιμοποιείται στο ψεκασμό και δύο ψεκαστήρες. Ο πεπιεσμένος αέρας που χρησιμοποιείται από τους ψεκαστήρες υφίσταται καθαρισμό, έτσι ώστε να απομακρύνονται όλα τα ίχνη λαδιού ή στερεάς ύλης. Οι ψεκαστήρες κατά τη διάρκεια του πειράματος λειτουργούσαν υπό πίεση 70kPa. Για να αποφευχθεί η εξάτμιση του νερού από τα σταγονίδια, ο αέρας υγροποιείται πριν εισέλθει στον ψεκαστήρα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διόδευση του αέρα μέσω ενός πύργου με ζεστό απιονισμένο νερό σε θερμοκρασία 10 °C μεγαλύτερη από αυτή του θαλάμου. Η κατάλληλη θερμοκρασία εξαρτάται από την πίεση που χρησιμοποιείται και τον τύπο του ψεκαστήρα και πρέπει να προσαρμόζεται έτσι ώστε ο βαθμός της συλλογής και η συγκέντρωση του συλλεγόμενου υγρού να είναι εντός των καθορισμένων ορίων. Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε η θερμοκρασία ήταν σταθερή στους 45 °C και ο ρυθμός συλλογής στραγγιδίων ήταν στον αριστερό συλλέκτη 1,5 mm/h και στον δεξή 2 mm/h, δηλαδή εντός των ορίων σύμφωνα με το ISO 9227, Πίνακες 6-2, 6-3 . Οι ψεκαστήρες είναι κατασκευασμένοι από αδρανή υλικά.

Η συλλογή των στραγγιδίων γίνεται με δύο εξαρτήματα συλλογής, τα οποία αποτελούνται από χοάνες φτιαγμένες από αδρανή υλικά. Οι χοάνες καταλήγουν σε

ογκομετρικούς κυλίνδρους. Κατάλληλη διάσταση διαμέτρου θεωρούνται τα 100 mm, ώστε να ανταποκρίνονται σε μια επιφάνεια συλλογής προσεγγιστικά 80 cm². Τα εξάρτημα συλλογής είναι τοποθετημένα κοντά στον ψεκαστήρα, με τρόπο ώστε να συλλέγουν μόνο νέφος και όχι το υγρό που θα πέφτει από τα δοκίμια ή άλλα μέλη του θαλάμου.

Table 2 — Operating conditions

Test method Item	Neutral salt spray (NSS)	Acetic acid salt spray (AASS)	Copper-accelerated acetic acid salt spray (CASS)
Temperature	35 °C ± 2 °C	35 °C ± 2 °C	50 °C ± 2 °C
Average collection rate for a horizontal collecting area of 80 cm ²	1,5 ml/h ± 0,5 ml/h		
Concentration of sodium chloride (collected solution)	50 g/l ± 5 g/l		
pH (collected solution)	6,5 to 7,2	3,1 to 3,3	3,1 to 3,3

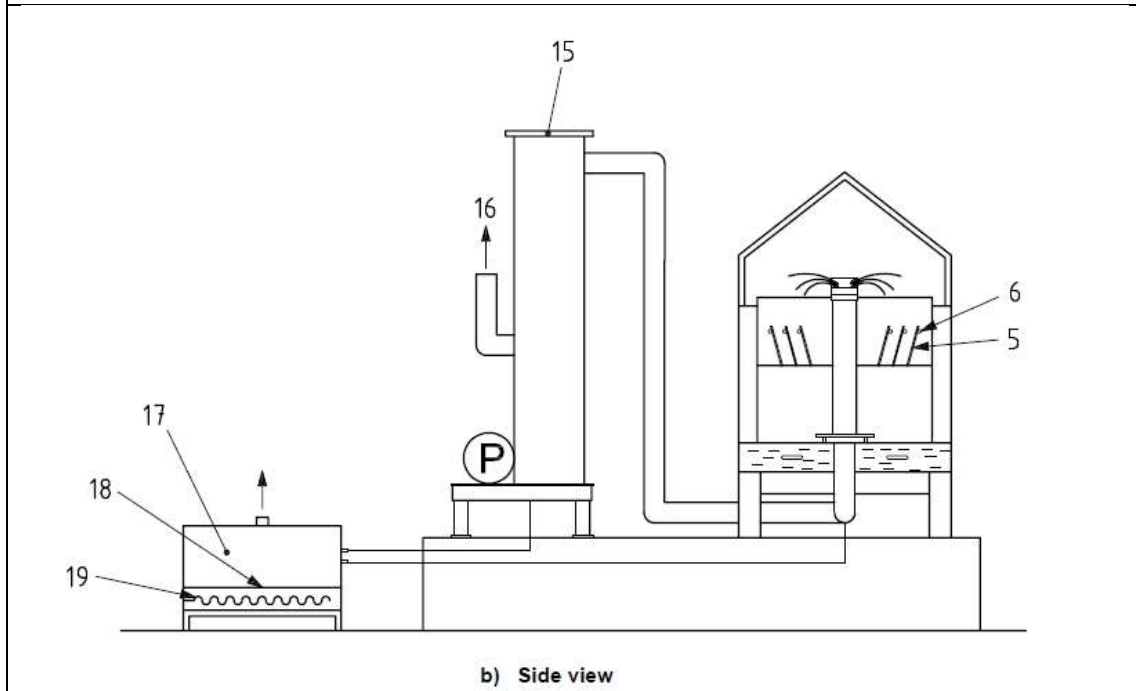
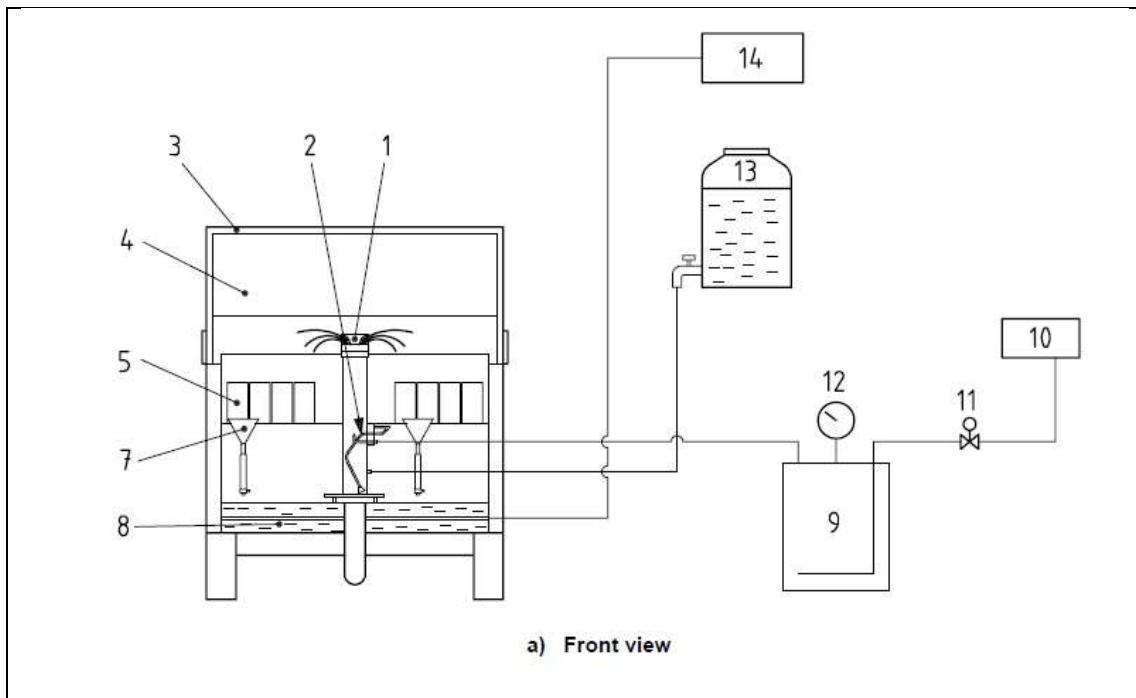
Πίνακας 6-2 «Συνθήκες λειτουργίας της μηχανής»

Table 1 — Guiding values for the temperature of the hot water in the saturation tower

Atomizing over-pressure	Guiding values for temperature, °C, of the hot water in the saturation tower when performing the different salt spray tests	
	Neutral salt spray (NSS) and acetic acid salt spray (AASS)	Copper-accelerated acetic acid salt spray (CASS)
kPa		
70	45	61
84	46	63
98	48	64
112	49	66
126	50	67
140	52	69

Πίνακας 6-3 « Οδηγός επιλογής θερμοκρασίας στην διάταξη ψεκασμού»

Στον Πίνακα 6-4 παρατίθεται προτεινόμενο σκαρίφημα για μηχανή αλατονέφωσης σύμφωνα με το «ISO 9227 : 2006, Παράρτημα Α» και στις Εικόνες 6-2, 6-3 παρουσιάζεται η μηχανή αλατονέφωσης που χρησιμοποιήθηκε κατά την πειραματική διαδικασία.

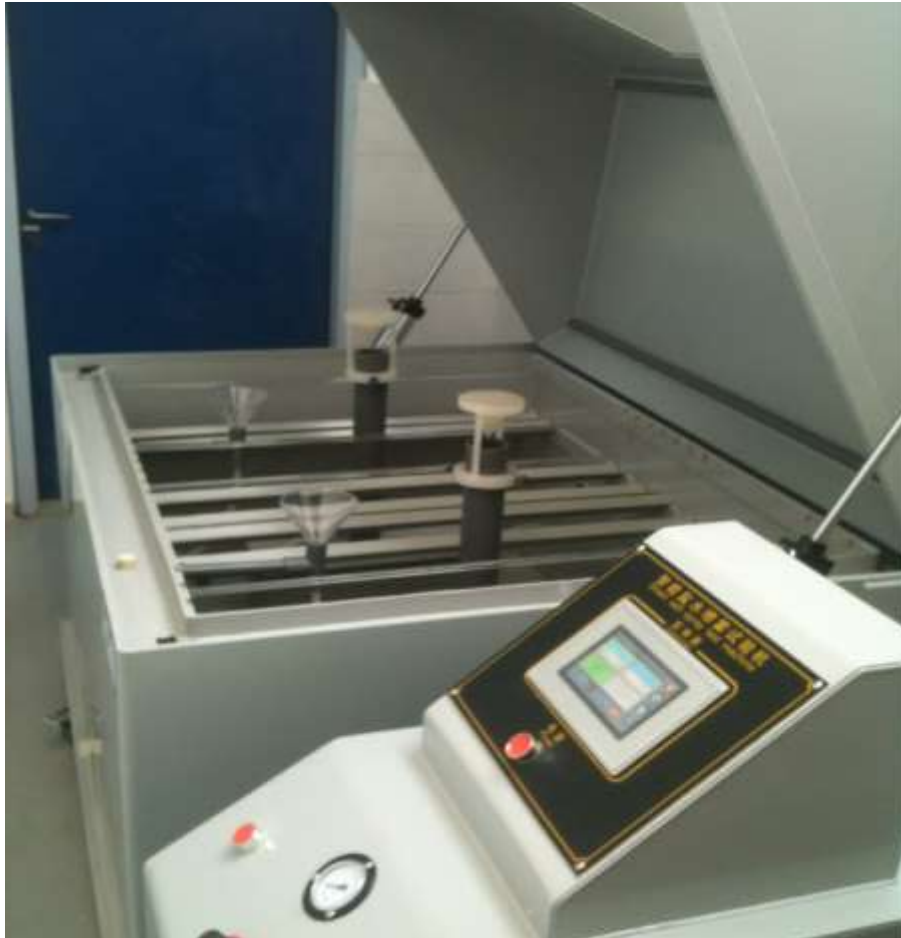


Πίνακας 6-4 «Προτεινόμενο σχέδιο μηχανής αλατονέφωσης σύμφωνα με το ISO 9227:2006»

1	Ψεκαστήρας	11	Ηλεκτ/τική Βαλβίδα
2	Διάταξη ψεκασμού	12	Μανόμετρο
3	Οροφή	13	Δεξαμενή Διαλύματος
4	Θάλαμος Δοκιμής	14	Έλεγχος θερμοκρασίας
5	Δοκίμια	15	Επεξεργαστής αερίων
6	Στηρίξεις Δοκιμίων	16	Έξοδος αέρα στο περιβάλλον
7	Συλλέκτες αλατονέφους	17	Διαχείριση Αποστράγγισης
8	Θάλαμος	18	Θήκη για το άλας
9	Αέρας Εμποτισμού	19	Αντιστάσεις
10	Αεροσυμπιεστής		



Εικόνα 6-2 "Θάλαμος αλατονέφωσης"



Εικόνα 6-3 «Μηχανή αλατονέφωσης»

ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ NaCl

Για την παρασκευή διαλύματος NaCl διαλύθηκε σε απιονισμένο νερό, με αγωγιμότητα μικρότερη από $20\mu\text{S}/\text{cm}$ στους $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, ποσότητα NaCl, ώστε να έχει το τελικό διάλυμα συγκέντρωση 50 g/l . Το απιονισμένο νερό παρασκευάστηκε στο χώρο του εργαστηρίου με τη χρήση μηχανής απιονισμού με ζάλιο (Εικόνα 6-4). Το NaCl περιείχε λιγότερο από 0,001% κλάσμα μάζας χαλκού (Cu) και λιγότερο από 0,001% κλάσμα μάζας Νικελίου (Ni), όπως προσδιορίζεται από φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης ή κάποια άλλη αναλυτική μέθοδο παρόμοιας ευαισθησίας. Επίσης περιείχε λιγότερο από 0,1% κλάσμα μάζας ιωδιούχου νατρίου καθώς επίσης λιγότερο από 0,5% κλάσμα μάζας των συνολικά υπολογισμένων ακαθαρσιών για ξηρό αλάτι. Όσον αφορά το pH για το NSS test, ρυθμίστηκε ώστε το pH του διαλύματος που συλλέγεται από το θάλαμο να είναι μεταξύ του 6,5-7,2 στους $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ο έλεγχος του pH έγινε με τη χρήση ηλεκτρομετρικών μετρήσεων (Εικόνα 6-5). Τυχόν διορθώσεις έγιναν με τη προσθήκη διαλυμάτων υδροχλωρικού οξέως, υδροξειδίου του νατρίου ή διττανθρακικού νατρίου. Πιθανές αλλαγές στο pH που θα ευθύνονταν στην πτώση διοξειδίου του άνθρακα στο διάλυμα κατά το ψεκασμό, αποφευχθήκαν μειώνοντας τη

περιεκτικότητα του διαλύματος σε διοξείδιο του άνθρακα. Αυτό επιτεύχθηκε με τη θέρμανση του διαλύματος σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 35 °C πριν τη τοποθέτησή του στη μηχανή. Μετά τη παρασκευή του διαλύματος, όταν αυτό κρίθηκε απαραίτητο, χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα ώστε να απομακρυνθούν τυχόν στερεές ύλες που θα μπορούσαν να φράξουν τα ανοίγματα των ψεκαστήρων.



Εικόνα 6-4 «Μηχάνημα απιονισμού»



Εικόνα 6-5 «Πεχάμετρο

»

ΔΟΚΙΜΙΑ

ΔΟΚΙΜΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Στο εν λόγω πρότυπο (ISO 9227) συνίσταται, αρχικά η τοποθέτηση για 48 ώρες 4 δοκιμών χάλυβα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, διαστάσεων 100 x 70 x 1 mm και 4 δοκιμών ψευδαργύρου ίδιων διαστάσεων στη μηχανή αλατονέφωσης ώστε να γίνει έλεγχος της διαβρωσιμότητας του θαλάμου. Πριν τη τοποθέτησή τους τα δοκίμια καθαρίστηκαν ώστε να απομακρυνθούν υπολείμματα βρωμιάς , λαδιού ή ξένης ύλης, η ύπαρξη των οποίων θα επηρέαζε τα αποτελέσματα των δοκιμών. Ο καθαρισμός έγινε αποφεύγοντας τη χρήση αποξεστικών ή ακατάλληλων διαλυτών, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιά στην επιφάνεια των δοκιμών. Οι οργανικοί διαλύτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι αρχικά αιθανόλη και έπειτα ακετόνη σε συνδυασμό με μια μαλακή βούρτσα. Ο καθαρισμός έγινε σε ένα δοχείο γεμάτο με διαλύτη και ακολούθως τα δοκίμια αφέθηκαν να στεγνώσουν. Μετά τον καθαρισμό τα δοκίμια ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας 3 δεκαδικών ψηφίων (Εικόνα 6-6) και ονοματίστηκαν τοποθετώντας σε κάθε δοκίμιο μια ετικέτα στην οποία αναγράφονταν το είδος του

δοκιμίου και ο χρόνος παραμονής τους στο θάλαμο.

Τέλος, τοποθετήθηκε στη μια επιφάνεια κάθε δοκιμίου, τόσο ψευδαργύρου όσο και χάλυβα, μονωτική ταινία ώστε να αποφευχθεί η επαφή της επιφάνειας αυτής με το αλατονέφος, και τοποθετήθηκαν στον θάλαμο. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν ομοιόμορφα στο χώρο του θαλάμου, με τη μη προστατευμένη πλευρά προς τα πάνω με κλίση $15^{\circ} - 25^{\circ}$ από το κάθετο επίπεδο. Τα εξαρτήματα που έρχονταν σε επαφή με τα δοκίμια είναι κατασκευασμένα από αδρανή υλικά, γυαλί και πλαστικό.

Μετά από 20 ώρες συνεχούς ψεκασμού μετρήθηκαν τα στραγγίδια των συλλεκτών της μηχανής και παρατηρήθηκε υπέρβαση των ορίων τους (1 ml/h -2 ml/h) στον αριστερό συλλέκτη. Πιο συγκεκριμένα στον αριστερό συλλέκτη μετρήθηκαν 2.6 ml/h (52 ml στις 20 ώρες) και στο δεξί 1,7 ml/h. Για τη διόρθωση αυτής της απόκλισης μειώθηκε η πίεση ψεκασμού από 13,05 psi σε 10,15 psi και μεταβλήθηκε η απόσταση του αριστερού διαχυτή του ψεκαστήρα από τη βάση του από 7 cm σε 5,5, ενώ ο δεξής παρέμεινε αμετάβλητος. Ύστερα από 9 ώρες έγινε επανέλεγχος των στραγγιδίων και διαπιστώθηκε ότι στο αριστερό συλλέκτη ο ρυθμός συλλογής ήταν 1,56 ml/h (14 ml - 9 h) ενώ στο δεξί ο ρυθμός ήταν 0,44 ml/h (4 ml - 9 h). Για να μειωθεί η διαφορά μεταξύ των δύο συλλεκτών αυξήθηκε η απόσταση του διαχυτή του αριστερού ψεκαστήρα από την βάση του από 5,5 cm σε 8,5 cm, ενώ το δεξί δεν μεταβλήθηκε. Η μέτρηση που σημειώθηκε μετά το πέρας των 48 ωρών ψεκασμού ήταν μέσα στα επιτρεπτά όρια (αριστερός 1,93 ml/h και δεξής 1,73 ml/h). Όσον αφορά το pH των στραγγιδίων ήταν 6,7 , δηλαδή εντός των επιτρεπτών ορίων (6,5 - 7,2).



Εικόνα 6-6 «Ζυγός»



Εικόνα 6-7 «Δοκίμια αναφοράς πριν τη τοποθέτησή τους στον θάλαμο αλατονέφωσης»

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ

Στο τέλος του τεστ, αμέσως μετά την εξαγωγή των δοκιμίων από το θάλαμο απομακρύνθηκε το προστατευτικό κάλυμμα και τα προϊόντα της διάβρωσης. Τα προϊόντα της διάβρωσης απομακρύνθηκαν με τη χρήση χημικών διαδικασιών. Τα δοκίμια βυθίστηκαν σε ένα χημικό διαλύτη ειδικά σχεδιασμένο να αφαιρεί τα προϊόντα διάβρωσης, προκαλώντας την λιγότερο δυνατή διάλυση του βασικού μετάλλου. Σύμφωνα με το ISO 8407:2009 παράρτημα A, στην περίπτωση του χάλυβα πραγματοποιήθηκε βύθιση διάρκειας 10 λεπτών σε διάλυμα που παρασκευάστηκε με τη χρήση 1000 ml αποσταγμένου νερού, 500 ml υδροχλωρικού οξέως ($\rho = 1,19 \text{ g/ml}$) και 3,5 g εξαμεθυλενοτετραμίνης στους $20 \text{ }^\circ\text{C}$ - $25 \text{ }^\circ\text{C}$, ενώ στην περίπτωση του ψευδαργύρου έγινε βύθιση των δοκιμίων, για 5 λεπτά, σε διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου, σύστασης 100g NH_4Cl ανά λίτρο απιονισμένου νερού, στους $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Μετά το τέλος κάθε βύθισης έγινε καθαρισμός των δοκιμίων σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με νερό βρύσης βουρτσίζοντάς τα ελαφρά. Έπειτα ξεπλύθηκαν με ακετόνη, αφέθηκαν να στεγνώσουν και ζυγίστηκαν με ακρίβεια 1 mg. Η προσδιορισθείσα τιμή της απώλειας μάζας διαιρέθηκε με το εμβαδόν της επιφάνειας έκθεσης των δοκιμίων αναφοράς, για να γίνει η αναγωγή της σε m^2 .

Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν μη διαβρωμένα δοκίμια ελέγχου, τα οποία είχαν τα ίδια χημικά, μεταλλουργικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά με αυτά των δοκιμίων αναφοράς, καθαρίστηκαν με τον ίδιο τρόπο με αυτά της αναφοράς, ώστε να προσδιοριστούν τυχόν απώλεια υλικού που θα προκαλούσε ο καθαρισμός. Ο προσδιορισμός της απώλειας πραγματοποιήθηκε ζυγίζοντας τα δοκίμια ελέγχου πριν και μετά τον καθαρισμό, με ακρίβεια 3 δεκαδικών ψηφίων, και συγκρίνοντας

τα αποτελέσματα μέτρησης. Η διαδικασία αυτή έδειξε ότι η απώλεια μάζας εξαιτίας του καθαρισμού ήταν της τάξης 0,0387 % (Πινάκας 6-4). Η απώλεια μάζας των δοκιμών ελέγχου αντανακλά την απώλεια μάζας των δοκιμών αναφοράς η τάξη της οποίας είναι πολύ μικρή

Η αξιολόγηση της μηχανής γενικά κρίνεται ικανοποιητική όταν η απώλεια μάζας κάθε δοκιμίου αναφοράς είναι μεταξύ των $50 \text{ g/m}^2 - 90 \text{ g/m}^2$ για διάρκεια έκθεσης 48 ωρών, ενώ στην περίπτωση του ψευδαργύρου είναι μεταξύ των $25 \text{ g/m}^2 - 75 \text{ g/m}^2$ για την ίδια χρονική διάρκεια έκθεσης. Στην δική μας περίπτωση τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 6-5.



Εικόνα 6-8 «Διαλύματα καθαρισμού δοκιμών χάλυβα και ψευδαργύρου»

ΔΟΚΙΜΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ														
Ωρες [h]	Κωδικός δοκιμίου	Ημερομηνία- Ωρα εισαγωγής -	Αρχικά [g]		Με οξείδια [g]		Καθαρισμένα [g]		Διαφορά βάρους [g]		Απώλεια μάζας [g/m ²]		[g/m ²]	
48	PRST-48-1	2/6/2013 -	13:26	79,93	79,908	81,78	81,796	79,17	79,15	0,76	0,758	108,5714	108,2857	50-90
	PRST-48-2			77,74	77,727	79,72	79,687	76,94	76,938	0,8	0,789	114,2857	112,7143	
	PRST-48-3			79,23	79,213	81,22	81,187	78,51	78,526	0,72	0,687	102,8571	98,14286	
	PRST-48-4			79,86	79,859	81,83	81,803	79,13	79,114	0,73	0,745	104,2857	106,4286	
	PRZN-48-1	4/6/2013	13:26	72,48	72,454	74,2	74,116	72,33	72,307	0,15	0,147	21,42857	21	25 - 75
	PRZN-48-2			74,47	74,44	76,24	76,217	74,34	74,316	0,13	0,124	18,57143	17,71429	
	PRZN-48-3			72,82	72,806	74,63	74,603	72,67	72,643	0,15	0,163	21,42857	23,28571	
	PRZN-48-4			73,48	73,469	75,29	75,266	73,32	73,289	0,16	0,18	22,85714	25,71429	

Πίνακας 6-4 «Απώλεια μάζας δοκιμών αναφοράς χάλυβα - ψευδαργύρου»



Εικόνα 6-9 «Δοκίμια ψευδαργύρου και χάλυβα μετά την εξαγωγή από το θάλαμο»

Δοκίμιο	Αρχικό βάρος [g]	Τελικό βάρος [g]	Διαφορά βάρους [g]	Απώλεια [%]	Μέση Απώλεια [%]
RST-1	79,7555	79,7272	0,0283	0,0355	0,0387
RST-2	76,9822	76,9424	0,0398	0,0517	
RST-3	79,9775	79,9543	0,0232	0,0290	

Πίνακας 6-5 «Απώλεια μάζας δοκιμαστικών δοκιμών χάλυβα»

ΔΟΚΙΜΙΑ ΚΥΡΙΩΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Για το κυρίως μέρος του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 72 δοκίμια χάλυβα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, 15 δοκίμια καθαρού ψευδαργύρου και 3 δοκίμια χάλυβα ηλεκτροσυγκολλημένα S 235.

ΔΟΚΙΜΙΑ ΧΑΛΥΒΑ

Τα δοκίμια του χάλυβα είχαν όλα διαστάσεις 100 x 150 x 1 mm, και χωρίστηκαν ανάλογα με την διάρκεια παραμονής τους στη μηχανή αλατονέφωσης και το σύστημα βαφών που χρησιμοποιήθηκε για την επικάλυψή τους. Οι χρόνοι έκθεσης των δοκιμών ήταν 48 h, 96 h, 168 h, 240 h, 480 h και 720 h. Σε κάθε

χρονικό διάστημα από τα αναφερόμενα τοποθετήθηκαν 3 δοκίμια χάλυβα από κάθε ένα σύστημα βαφών επιπλέον, τοποθετήθηκαν 3 δοκίμια χάλυβα χωρίς επικάλυψη σε όλα τα διαστήματα εκτός από αυτό των 48 ωρών. Τα συστήματα βαφών που χρησιμοποιήθηκαν είναι :

1. Αλκυδικό αστάρι (primer) και αλκυδική τελική επικάλυψη (A1.03).
2. Εποξειδικό αστάρι (primer) και Πολυουρεθάνη ως τελική επικάλυψη (A1.15).
3. Εν ψυχρώ γαλβανισμός.

Η επιλογή των παραπάνω συστημάτων έγινε με βάση τα παρακάτω κριτήρια. Το πρώτο σύστημα αποτελείται από βαφές που συναντώνται εύκολα στην αγορά σε πολύ προσιτή τιμή, το δεύτερο χρησιμοποιείται ευρέως στο χώρο των μεταλλικών κατασκευών και το τρίτο έχει παρατηρηθεί ότι χρησιμοποιείται ευρέως σε εκ των υστέρων επισκευές εν θερμώ γαλβανισμένων μεταλλικών κατασκευών, πιο συγκεκριμένα στις ηλεκτροσυγκολλήσεις.

Η επιλογή του πάχους βαφής του κάθε συστήματος έγινε σύμφωνα με το ISO 12944.05 και τον Πινάκα 6-6. Η τοποθέτηση των τριών δοκιμών χωρίς επικάλυψη έγινε για την αξιολόγηση των συνθηκών πραγματοποίησης του πειράματος.

Table A.1 — Paint systems for low-alloy carbon steel for corrosivity categories C2, C3, C4, C5-I, C5-M

Substrate: Low-alloy carbon steel																							
Surface preparation: For Sa 2½, from rust grade A, B or C only (see ISO 8501-1)																							
System No.	Priming coat(s)				Subsequent coat(s)	Paint system		Expected durability (see 5.5 and ISO 12944-1)										Corresponding systems in Table					
	Binder ^d	Type of primer ^a	No. of coats	NDFT μm ^b		Binder	No. of coats	NDFT μm ^b	C2		C3		C4		C5-I		C5-M		A.2	A.3	A.4	A.5 (I)	A.5 (M)
									L	M	H	L	M	H	L	M	H	L					
A1.01	AK, AY	Misc.	1-2	100	—	1-2	100												A2.04				
A1.02	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 ^e	—	1	60												A2.08	A3.10			
A1.03	AK	Misc.	1-2	80	AK	2-3	120												A2.02	A3.01			
A1.04	AK	Misc.	1-2	80	AK	2-4	160												A2.03	A3.02			
A1.05	AK	Misc.	1-2	80	AK	3-5	200													A3.03	A4.01		
A1.06	EP	Misc.	1	160	AY	2	200														A4.06		
A1.07	AK, AY, CR ^c , PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	2-4	160												A2.03	A3.05			
A1.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 ^e	AY, CR, PVC	2-3	160													A3.12	A4.10		
A1.09	AK, AY, CR ^c , PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	3-5	200													A3.04	A4.02		
A1.10	EP, PUR	Misc.	1-2	120	AY, CR, PVC	3-4	200													A3.06	A4.04		
A1.11	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 ^e	AY, CR, PVC	2-4	200													A4.06	A5I.01		
A1.12	AK, AY, CR ^c , PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	3-5	240													A3.13	A4.11		
A1.13	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 ^e	AY, CR, PVC	3-4	240														A4.03	A4.05	
A1.14	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 ^e	AY, CR, PVC	4-5	320														A4.12		
A1.15	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	2-3	120														A5I.06		
A1.16	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	2-4	160													A2.06	A3.07		
A1.17	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 ^e	EP, PUR	2-3	160													A2.07	A3.08		
A1.18	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	3-5	200														A3.11	A4.13	
A1.19	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 ^e	EP, PUR	3-4	200														A3.09		
																						A4.14	

© ISO 2007 — All rights reserved

Πίνακας 6-6 « Συστήματα βαφής »



Εικόνα 6-10 «Διαδικασία βαψίματος δοκιμών στο εργοστάσιο»



Εικόνα 6-11 «Διαδικασία βαψίματος δοκιμών στο εργοστάσιο»

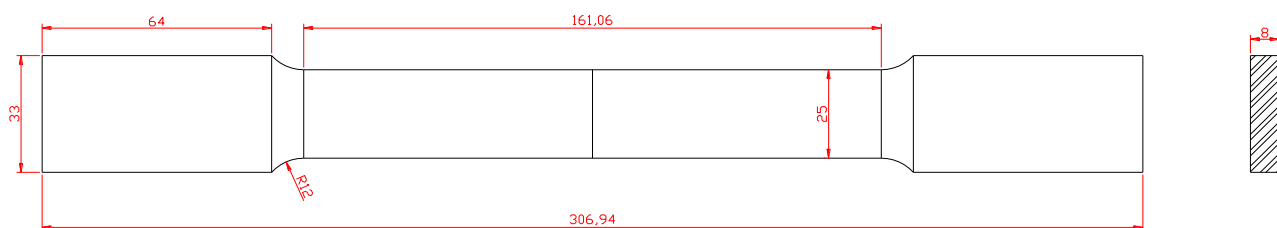
ΔΟΚΙΜΙΑ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ

Τα δοκίμια του ψευδαργύρου είχαν όλα διαστάσεις 100 x 150 x 1 mm, και χωρίστηκαν ανάλογα με την διάρκεια παραμονής τους στην μηχανή αλατονέφωσης. Οι χρόνοι έκθεσης των δοκιμών ήταν 96 h, 168 h, 240 h, 480 h και 720 h. Σε κάθε χρονικό διάστημα από τα αναφερόμενα τοποθετήθηκαν 3 δοκίμια ψευδαργύρου

χωρίς επικάλυψη. Η τοποθέτηση τους έγινε για την αξιολόγηση των συνθηκών πραγματοποίησης του πειράματος.

ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ

Τα ηλεκτροσυγκολλημένα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν είχαν διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα 6-1 και χωρίστηκαν ανάλογα την διάρκεια παραμονής τους στην μηχανή αλατονέφωσης. Ο χρόνος έκθεσης των δοκιμών ήταν 720 h. Μετά την εξαγωγή τους από το θάλαμο υποβλήθηκαν σε δοκιμή εφελκυσμού. Ο σκοπός συμμετοχής τους στη πειραματική διαδικασία ήταν η διερεύνηση της συμπεριφοράς των συγκολλήσεων σε διαβρωτικό περιβάλλον.



Σχήμα 6-1 «Διαστάσεις ηλεκτροσυγκολλημένων δοκιμών»

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ

Τα δοκίμια πριν τη τοποθέτησή τους στο θάλαμο της μηχανής, για την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, ανάλογα με το είδος του δοκιμίου, αρχικά καθαρίστηκαν, έπειτα ζυγίστηκαν, βάφτηκαν, χαράχτηκαν, ονοματίστηκαν, ξανά ζυγίστηκαν και τέλος τοποθετήθηκαν στο θάλαμο.

ΔΟΚΙΜΙΑ ΧΑΛΥΒΑ

Όλα τα δοκίμια καθαρίστηκαν ώστε να απομακρυνθούν υπολείμματα βρωμιάς, λαδιού ή ξένης ύλης, η ύπαρξη των οποίων θα επηρέαζε τα αποτελέσματα των δοκιμών. Ο καθαρισμός έγινε αποφεύγοντας τη χρήση αποξεστικών ή ακατάλληλων διαλυτών, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιά στην επιφάνεια των δοκιμών. Οι οργανικοί διαλύτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι αρχικά αιθανόλη και έπειτα ακετόνη σε συνδυασμό με μια μαλακή βούρτσα. Ο καθαρισμός έγινε σε ένα δοχείο γεμάτο με διαλύτη και ακολούθως τα δοκίμια αφέθηκαν να στεγνώσουν. Μετά τον καθαρισμό τα δοκίμια ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας 3 δεκαδικών ψηφίων και ονοματίστηκαν.

Έπειτα με τη βοήθεια του συνεργείου της εταιρείας "SOFMAN A.E", 19 από τα δοκίμια βάφτηκαν με το πρώτο σύστημα βαφών (A1.03 ISO 12944.05), 19 με το δεύτερο σύστημα (A1.15 ISO 12944.05) και 19 με το τρίτο (εν ψυχρώ γαλβανισμός).

Η διαδικασία του βαψίματος έγινε σε τρία στάδια, αρχικά πραγματοποιήθηκε η επικάλυψη με το ανάλογο primer και αφότου στέγνωσε ακολούθησαν δύο επιστρώσεις με τις τελικές βαφές. Στα δοκίμια του εν ψυχρώ γαλβανισμού περάστηκαν δυο επιστρώσεις και αφέθηκαν να στεγνώσουν καλά. Αφότου στέγνωσαν μετρήθηκε το πάχος τους με τη χρήση ηλεκτρονικού παχυμέτρου.(Εικόνα 6-12)

Στη συνέχεια, τα δοκίμια χαραχτηκαν σύμφωνα με το ISO 17872 : 2007. Η χάραξη έγινε με τη χρήση ειδικού εργαλείου με αιχμηρή μύτη σε σχήμα X και σε απόσταση 25 mm από κάθε άκρο.

Τέλος, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν ομοιόμορφα στο χώρο του θαλάμου, με κλίση 25° από το κάθετο επίπεδο, μαζί με τα δοκίμια του χάλυβα που δεν βάφτηκαν, στα οποία ακολουθήθηκαν οι διαδικασίες του καθαρισμού, ζυγίσματος και ονοματολογίας όπως περιγράφονται παραπάνω.



Εικόνα 6-12 «Ηλεκτρονικό παχύμετρο επικαλύψεων»

ΔΟΚΙΜΙΑ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον καθαρισμό των δοκιμίων ψευδαργύρου είναι η ίδια με αυτή των δοκιμίων του χάλυβα. Όλα τα δοκίμια καθαρίστηκαν ώστε να απομακρυνθούν υπολείμματα βρωμιάς, λαδιού ή ξένης ύλης, η ύπαρξη των οποίων θα επηρέαζε τα αποτελέσματα των δοκιμών. Ο καθαρισμός έγινε αποφεύγοντας τη χρήση αποξεστικών ή ακατάλληλων διαλυτών, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιά στην επιφάνεια των δοκιμίων. Οι οργανικοί διαλύτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι αρχικά αιθανόλη και έπειτα ακετόνη σε συνδυασμό με μια μαλακή βούρτσα. Ο καθαρισμός έγινε σε ένα δοχείο γεμάτο με διαλύτη και ακολούθως τα δοκίμια αφέθηκαν να στεγνώσουν.

Μετά τον καθαρισμό τα δοκίμια ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας 3 δεκαδικών ψηφίων, ονοματίστηκαν και τοποθετήθηκαν ομοιόμορφα στο θάλαμο.

ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον καθαρισμό των ηλεκτροσυγκολλημένων δοκιμίων χάλυβα πριν την τοποθέτησή τους στον θάλαμο είναι η ίδια με αυτή που περιγράφεται παραπάνω.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ

Μετά το πέρας κάθε καθορισμένης διάρκειας, όπως ορίστηκε παραπάνω, έγινε εξαγωγή των δοκιμίων από το θάλαμο και ανάλογα το σύστημα βαφής του κάθε δοκιμίου ακολουθήθηκε η κατάλληλη διαδικασία.

ΑΛΚΥΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Στα δοκίμια αυτού του συστήματος πραγματοποιήθηκε αρχικά αφαίρεση των οξειδίων με τοποθέτηση τους σε κατάλληλο σκεύος που περιείχε διάλυμα που παρασκευάστηκε με τη χρήση 1000 ml αποσταγμένου νερού, 500 ml υδροχλωρικού οξέως ($\rho = 1,19 \text{ g/ml}$) και 3,5 g εξαμεθυλενοτετραμίνης στους $25 \text{ }^\circ\text{C}$ για διάρκεια 10 λεπτών. Μετά, έγινε αφαίρεση της επικάλυψης τους με εμβάπτιση σε διάλυμα μεθυλαιθυλκετόνης για 20 λεπτά. Έπειτα ξεπλύθηκαν με νερό και ακολούθως με ακετόνη ώστε να απομακρυνθούν υπολείμματα βαφής. Στη συνέχεια, απομακρύνθηκαν τα προϊόντα της διάβρωσης με εκ νέου εμβάπτιση τους στο διάλυμα του οργανικού διαλύτη που αναφέρεται πιο πάνω για διάρκεια 10 λεπτών. Ύστερα, ξεπλύθηκαν με νερό ώστε να απομακρυνθεί το οξύ και ακολούθως με ακετόνη. Τέλος, τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους $70 \text{ }^\circ\text{C}$ για 15 λεπτά και ζυγίστηκαν.



Εικόνα 6-13 «Διαδικασία καθαρισμού δοκιμίων»

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ EN ΨΥΧΡΩ ΓΑΛΒΑΝΙΣΜΟΥ

Στα δοκίμια αυτού του συστήματος πραγματοποιήθηκε αρχικά αφαίρεση των οξειδίων με τοποθέτηση τους σε κατάλληλο σκεύος που περιείχε διάλυμα που παρασκευάστηκε με τη χρήση 1000 ml αποσταγμένου νερού, 500 ml υδροχλωρικού οξέως ($\rho = 1,19 \text{ g/ml}$) και 3,5 g εξαμεθυλενοτετραμίνης στους $25 \text{ }^\circ\text{C}$ για διάρκεια 10 λεπτών. Μετά, έγινε αφαίρεση της επικάλυψης τους με εμβάπτιση σε διάλυμα ακετόνης για 10 λεπτά. Έπειτα ξεπλύθηκαν με νερό και ακολούθως με ακετόνη ώστε να απομακρυνθούν υπολείμματα βαφής. Στη συνέχεια, απομακρύνθηκαν τα προϊόντα της διάβρωσης με εκ νέου εμβάπτιση τους στο διάλυμα του οργανικού διαλύτη που αναφέρεται πιο πάνω για διάρκεια 10 λεπτών. Ύστερα, ξεπλύθηκαν με νερό ώστε να απομακρυνθεί το οξύ και ακολούθως με ακετόνη. Τέλος, τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους $70 \text{ }^\circ\text{C}$ για 15 λεπτά και ζυγίστηκαν.



Εικόνα 6-14 «Διαδικασία καθαρισμού δοκιμίων»

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΟ-ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗ

Στα δοκίμια αυτού του συστήματος, πραγματοποιήθηκε αφαίρεση των προϊόντων της οξείδωσης με τη χρήση του οργανικού διαλύτη που αναφέρεται στα προηγούμενα συστήματα και ακολουθώντας την ίδια διαδικασία. Σε αυτή τη περίπτωση έγινε προσπάθεια να αφαιρεθεί η επικάλυψη των δοκιμίων και διαπιστώθηκε ότι δεν ήταν δυνατή χωρίς τη χρήση μηχανικών μέσων. Επειδή η χρήση τέτοιων μεθόδων θα προκαλούσαν επιπλέον απώλεια μετάλλου, με συνέπεια να μην υπάρχουν αξιόπιστα αποτελέσματα, επιλέχθηκε να μην γίνει αφαίρεση της επικάλυψης. Μετά την εξαγωγή τους από το διάλυμα ξεπλύθηκαν με νερό ώστε να απομακρυνθεί το οξύ και ακολούθως με ακετόνη. Τέλος, τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους $70 \text{ }^\circ\text{C}$ για 15 λεπτά και ζυγίστηκαν.



Εικόνα 6-15 «Διαδικασία καθαρισμού δοκιμίων»

ΧΑΛΥΒΑΣ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ

Στα συγκεκριμένα δοκίμια αφαιρέθηκαν τα προϊόντα της διάβρωσης με τη χρήση του διαλύματος υδροχλωρικού οξέος και εξαμεθυλενοτετραμίνης. Το δοκίμιο τοποθετήθηκαν στο διάλυμα για χρονική διάρκεια 10 λεπτών. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτήθηκε επανάληψη του κύκλου καθαρισμού. Αφότου αφαιρέθηκαν όλα τα οξειδία ξεπλύθηκαν αρχικά με νερό και ύστερα με ακετόνη και τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 70 °C για 15 λεπτά και ζυγίστηκαν.



Εικόνα 6-16 « Διαδικασία καθαρισμού δοκιμίων»

ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ

Στα δοκίμια του ψευδαργύρου έγινε αφαίρεση των οξειδίων με βύθιση τους, για 5 λεπτά, σε διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου, σύστασης 100g NH₄Cl ανά λίτρο

απιονισμένου νερού, στους 70 °C. Μετά το τέλος κάθε βύθισης έγινε καθαρισμός των δοκιμίων σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με νερό βρύσης και ακολούθως με ακετόνη βουρτσίζοντάς τα ελαφρά. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 70 °C για 15 λεπτά και ζυγίστηκαν.



Εικόνα 6-17 « Διαδικασία καθαρισμού δοκιμίων»

ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΑ

Στα συγκολλημένα δοκίμια ακολουθήθηκε η διαδικασία καθαρισμού από τα προϊόντα της διάβρωσης με τη χρήση διαλύματος υδροχλωρικού οξέος και εξαμεθυλενοτετραμίνης. Τα δοκίμια βυθίστηκαν σε κατάλληλο σκεύος και παρέμειναν σε αυτό για 60 λεπτά ώστε να απομακρυνθούν τα οξείδια. Μετά την εξαγωγή τους από το διάλυμα ξεπλύθηκαν με νερό ώστε να απομακρυνθεί το οξύ και ακολούθως με ακετόνη. Τέλος, τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 70 °C για 15 λεπτά και ζυγίστηκαν.





Εικόνα 6-18 «Διαδικασία καθαρισμού δοκιμίων»

Ο καθαρισμός όλων των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο «Ανόργανης και Αναλυτικής χημείας» της σχολής των Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Καθώς στο εργαστήριο μεταλλικών κατασκευών δεν υπήρχαν οι κατάλληλες υποδομές για ασφαλή διεξαγωγή των διαδικασιών του καθαρισμού (π.χ. απαγωγός).

Στις εικόνες 6-19 έως 6-24 παρουσιάζονται συγκριτικά τα συστήματα βαφών για κάθε χρονική διάρκεια:



Εικόνα 6-19 «48 h έκθεσης. Σύστημα αλκυδικό –εποξειδικό- γαλβανισμένο»



Εικόνα 6-20 «96 h έκθεσης. Σύστημα: αλκυδικό – εποξειδικό- γαλβανισμένο»



Εικόνα 6-21 «168 h έκθεσης. Σύστημα: αλκυδικό – εποξειδικό- γαλβανισμένο»



Εικόνα 6-22 «240 h έκθεσης. Σύστημα: αλκυδικό- εποξειδικό -γαλβανισμένο»



Εικόνα 6-23 «480 h έκθεσης. Σύστημα: αλκυδικό- εποξειδικό- γαλβανισμένο»



Εικόνα 6-24 «720 h έκθεσης. Σύστημα: αλκυδικό –εποξειδικό- γαλβανισμένο»

Στις εικόνες 6-25 έως 6-27 παρουσιάζονται δοκίμια που έχουν επικαλυφθεί με το ίδιο σύστημα βαφών για όλες τις ώρες έκθεσης.





Εικόνα 6-25 «αλκυδικό σύστημα βαφής για έκθεση :48 96 168 240 480 720 h.»





Εικόνα 6-26 «εποξειδικό σύστημα βαφής για:48 96 168 240 480 720 h»





Εικόνα 6-27 « δοκίμια εν ψυχρώ γαλβανισμού για :48 96 168 240 480 720»

ΔΟΚΙΜΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

Η δοκιμή του εφελκυσμού είναι η συνηθέστερη μηχανική δοκιμή. Συνίσταται στην υποβολή δοκιμίου, του προς χαρακτηρισμό υλικού, σε εφελκυστική καταπόνηση κατά τη διάρκεια της οποίας καταγράφεται η προκαλούμενη επιμήκυνση Δl και το επιβαλλόμενο φορτίο.

Εφελκυσμός ονομάζεται η καταπόνηση δοκιμίου, όταν οι εφαρμοζόμενες δυνάμεις F , που είναι ίσες και αντίθετες, ενεργούν κατά μήκος του άξονα του δοκιμίου, τείνουν δε να αυξήσουν το μήκος του.

Η συσκευή εφελκυσμού είναι κατασκευασμένη έτσι ώστε, να προκαλεί την επιμήκυνση του υλικού με έναν σταθερό ρυθμό, να μετράει το φορτίο που εφαρμόζεται στο υλικό, καθώς επίσης και τις προκαλούμενες επιμηκύνσεις (με τη βοήθεια του επιμηκυνσιόμετρου). Η δοκιμασία εφελκυσμού διαρκεί μικρό χρονικό διάστημα και είναι καταστρεπτική, εφόσον το υλικό παραμορφώνεται μόνιμα και σπάει. Το εφαρμοζόμενο φορτίο και η αντίστοιχη επιμήκυνση καταγράφονται και σχεδιάζεται η λεγόμενη καμπύλη τάσης εφελκυσμού-παραμόρφωσης. Τα δοκίμια εφελκυσμού είναι συνήθως ράβδοι κυκλικής διατομής ή ελάσματα κατάλληλα διαμορφωμένα. Η επιμήκυνση μετράται στο κεντρικό τμήμα του δοκιμίου που έχει σταθερή διατομή, ανάμεσα σε δύο χαραγές αναφοράς, που καθορίζουν το ωφέλιμο μήκος του δοκιμίου. Τα άκρα του δοκιμίου, με τα οποία θα συγκρατηθεί στις αρπάγες της μηχανής εφελκυσμού, έχουν ισχυρότερη διατομή.

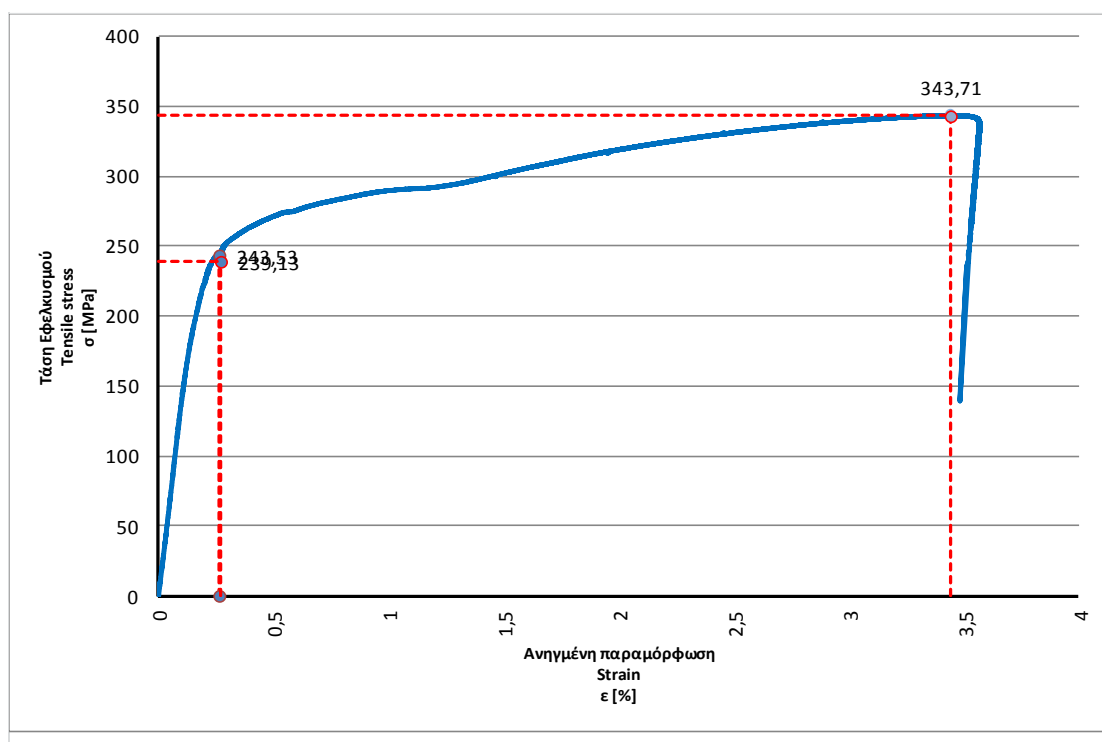
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Για τη πραγματοποίηση της δοκιμής εφελκυσμού χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Instron 300 LX του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών του Τομέα Δομοστατικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η μηχανή αυτή έχει δυνατότητες εφαρμογής φορτίου εφελκυσμού 300kN. Έχει το πλεονέκτημα της υδραυλικής ρύθμισης ύψους μεταξύ των δύο της στελεχών.

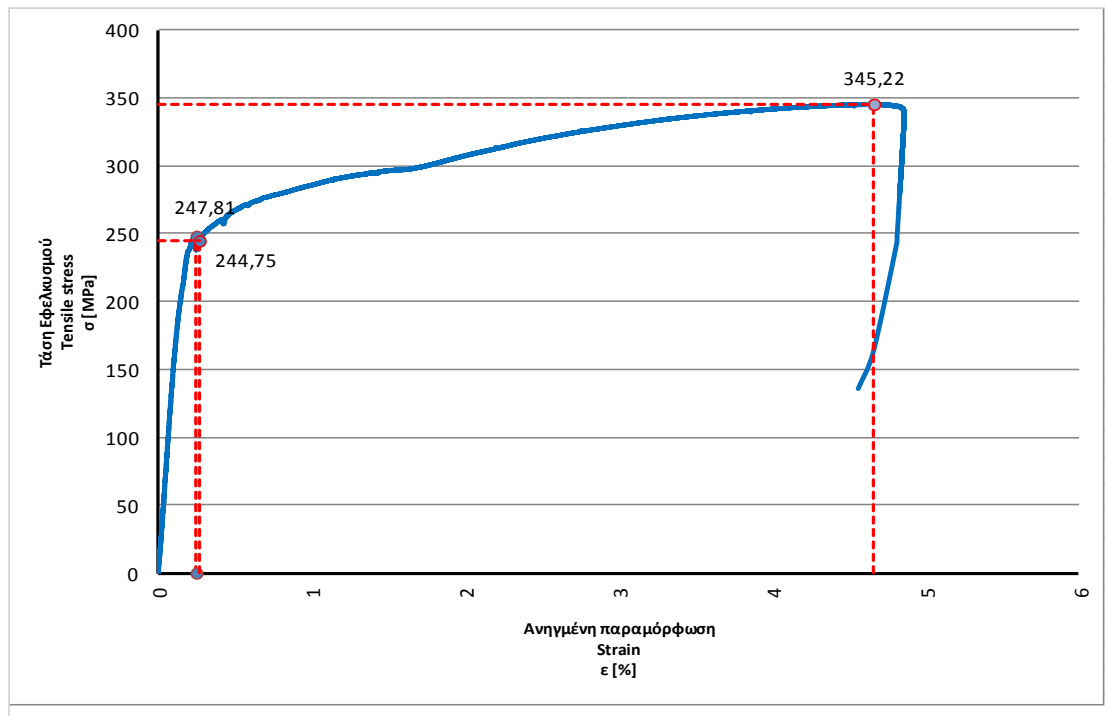
Η συλλογή των αποτελεσμάτων έγινε με τη χρήση του λογισμικού Bluehill® 3, που είναι η πιο πρόσφατη έκδοση του λογισμικού Bluehill Instron. Η μέτρηση των παραμορφώσεων πραγματοποιήθηκε με επιμηκυνσιομετρό της Instron 2630-113 Η απόσταση αναφοράς για το όργανο ήταν 50mm ενώ οι ταχύτητες επιβολής μετατοπίσεων ήταν 3 mm/min.

Οι μετρήσεις των διαστάσεων του δοκιμίου έγιναν με το παχύμετρο της εταιρείας «FACOM 816» ακρίβειας 0,05

Ακολουθως παρατίθενται δύο διαγράμματα τάσεων –ανηγμένων παραμορφώσεων ενός μη διαβρωμένου δοκιμίου και ενός διαβρωμένου.



Διάγραμμα 6-1 «Τάση – Ανηγμένη παραμόρφωση. Μη διαβρωμένο δοκίμιο»



Διάγραμμα 6-2 «Τάση – Ανηγμένη παραμόρφωση. Διαβρωμένο δοκίμιο»



Εικόνα 6-28 «Συγκόλληση πριν και μετά τη διάβρωση. Σημείο θραύσης μη διαβρωμένου και διαβρωμένου δοκίμιου.»

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για τον προσδιορισμό της απώλειας μάζας λόγω διάβρωσης των δοκιμών του χάλυβα και του ψευδάργυρου χωρίς επικάλυψη, καθώς και τα δοκίμια του χάλυβα που είχαν βαφτεί με το αλκυδικό σύστημα, και εκείνα που είχαν υποστεί εν ψυχρώ γαλβανισμό ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία.

Αρχικά μετρήθηκε το βάρος των δοκιμών πριν βαφτούν και από αυτό αφαιρέθηκε το βάρος των δοκιμών μετά την απομάκρυνση των προϊόντων της διάβρωσης και των επικαλύψεων (όπου υπήρχαν). Αυτή η διαφορά βάρους φανερώνει την απώλεια μάζας λόγω διάβρωσης και διαιρώντας την με το αρχικό βάρος του δοκιμίου υπολογίζεται το ποσοστό της απώλειας μάζας του.

Για τον προσδιορισμό της απώλειας μάζας των δοκιμών που είχαν βαφτεί με το σύστημα της πολουουρεθάνης, μετρήθηκε αρχικά το βάρος των δοκιμών με επικάλυψη πριν την είσοδό τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. Έπειτα, από αυτό το βάρος αφαιρέθηκε το βάρος των δοκιμών απαλλαγμένο από τα προϊόντα της διάβρωσης. Η διαφορά αυτή φανερώνει την απώλεια μάζας των δοκιμών λόγω διάβρωσης και διαιρώντας την με το αρχικό βάρος του δοκιμίου υπολογίζεται το ποσοστό της απώλειας μάζας του.

$$\text{Απώλεια μάζας} = B_{\alpha\rho\chi} - B_{\tau\epsilon\lambda}$$

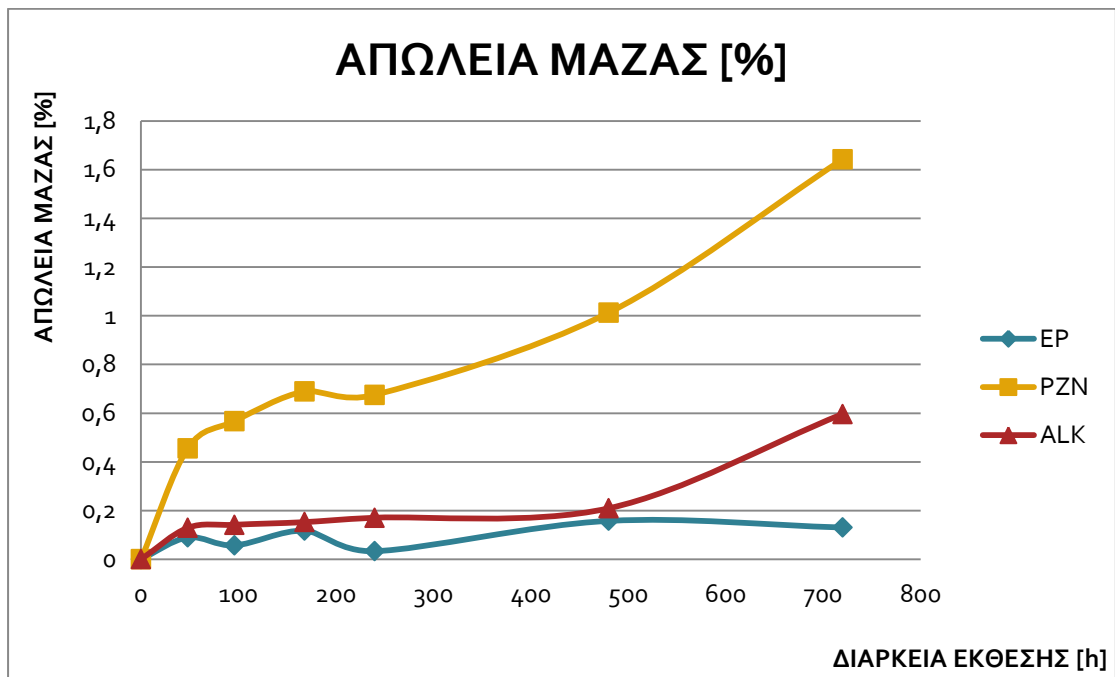
$$\text{Απώλεια μάζας [\%]} = \frac{\Delta B}{B_{\alpha\rho\chi}} 100\%$$

Ακολούθως παρουσιάζονται ο πίνακας με τις μετρήσεις πριν και μετά τη δοκιμή καθώς και τα διαγράμματα Απώλειας μάζας [%] – χρόνου έκθεσης [h].

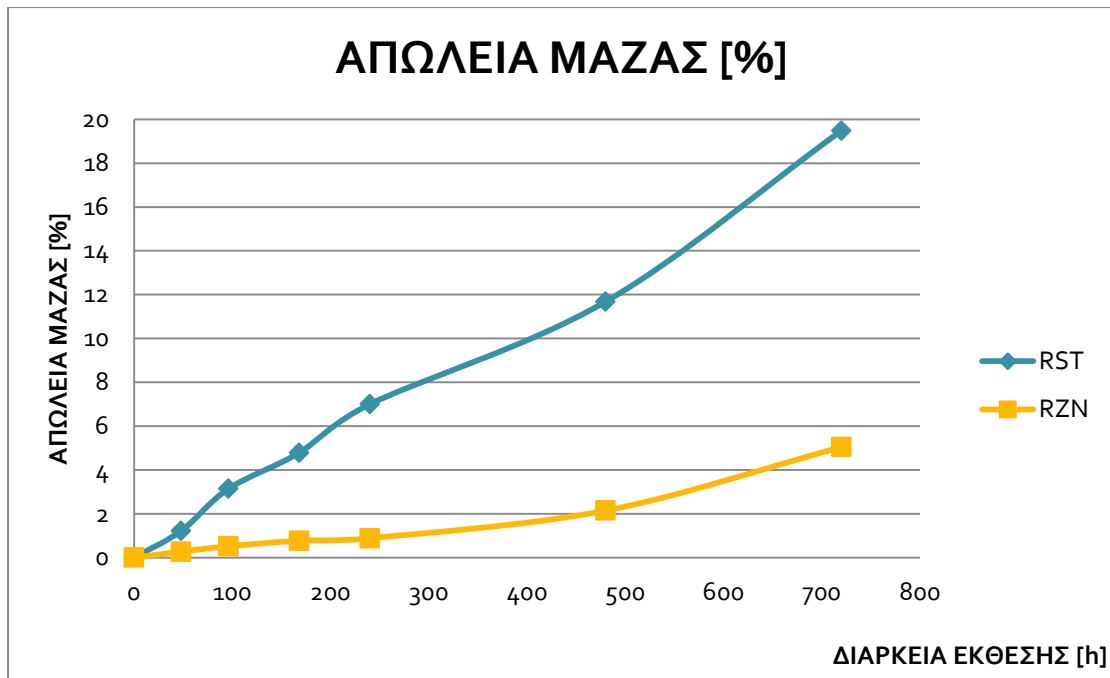
Ώρες [h]	Κωδικός δοκιμίου	Ημερομηνία τοποθέτησης-εξαγωγής		Βάρος αρχικό [g]	Βάρος τελικό [g]	Διαφορά Βάρους [g]	Συνολική απώλεια [%]
48	EP-48-1	25/6/2013	27/6/2013	132,5800	132,4900	0,0900	0,068
	EP-48-2			127,8000	127,090	0,7100	0,556
	EP-48-3			129,0400	128,6100	0,4300	0,333
	PZN-48-1			118,4700	117,7800	0,6900	0,582
	PZN-48-2			119,0200	118,3900	0,6300	0,529
	PZN-48-3			118,7300	118,1400	0,5900	0,497
	ALK-48-1			129,8100	128,8000	1,0100	0,778
	ALK-48-2			132,1500	131,0000	1,1500	0,870
	ALK-48-3			129,7000	128,6800	1,0200	0,786
96	EP-96-1	20/6/2013	25/6/2013	128,1500	127,400	0,7500	0,585
	EP-96-2			125,4800	124,840	0,6400	0,510
	EP-96-3			131,1800	130,6800	0,5000	0,381
	PZN-96-1			117,8400	116,5600	1,2800	1,086
	PZN-96-2			119,0000	117,7300	1,2700	1,067
	PZN-96-3			115,8600	114,6300	1,2300	1,062
	ALK-96-1			131,1800	130,0300	1,1500	0,877
	ALK-96-2			130,1000	129,0700	1,0300	0,792
	ALK-96-3			129,3600	128,3100	1,0500	0,812
	RST-96-1			114,5900	110,0500	4,5400	3,962
	RST-96-2			115,7600	111,7300	4,0300	3,481
	RST-96-3			114,2400	110,4760	3,7640	3,295
	RZN-96-1			106,0700	105,1100	0,9600	0,905
	RZN-96-2			107,1100	106,1000	1,0100	0,943
RZN-96-3	105,1300	104,2700	0,8600	0,818			
168	EP-168-1	11/6/2013	20/6/2013	127,6300	127,0100	0,6200	0,486
	EP-168-2			128,3500	127,6100	0,7400	0,577
	EP-168-3			128,3900	127,6500	0,7400	0,576
	PZN-168-1			118,8100	117,5500	1,2600	1,061
	PZN-168-2			118,6200	116,8600	1,7600	1,484
	PZN-168-3			117,3300	115,9800	1,3500	1,151
	ALK-168-1			127,3200	125,5000	1,8200	1,429
	ALK-168-2			129,0000	127,1600	1,8400	1,426
	ALK-168-3			130,1300	128,3500	1,7800	1,368
	RST-168-1			111,8600	104,7100	7,1500	6,392
	RST-168-2			113,6300	107,3700	6,2600	5,509
	RST-168-3			116,2500	109,8600	6,3900	5,497
	RZN-168-1			104,1800	102,1000	2,0800	1,997
	RZN-168-2			105,2500	103,2600	1,9900	1,891
	RZN-168-3			107,1100	105,0800	2,0300	1,895

240	EP-240-1	27/6/2013	7/7/2013	131,7800	129,7700	2,0100	1,525
	EP-240-2			129,7700	129,0700	0,7000	0,539
	EP-240-3			129,4000	128,7300	0,6700	0,518
	PZN-240-1			117,3400	116,1200	1,2200	1,040
	PZN-240-2			118,5600	117,3400	1,2200	1,029
	PZN-240-3			118,4600	117,1900	1,2700	1,072
	ALK-240-1			129,0100	127,3500	1,6600	1,287
	ALK-240-2			127,4200	125,9300	1,4900	1,169
	ALK-240-3			129,4100	127,9700	1,4400	1,113
	RST-240-1			114,7900	106,1600	8,6300	7,518
	RST-240-2			114,3900	107,0400	7,3500	6,425
	RST-240-3			113,3600	104,1900	9,1700	8,089
	RZN-240-1			107,2600	105,6000	1,6600	1,548
	RZN-240-2			106,0400	104,9500	1,0900	1,028
	RZN-240-3			107,4600	106,1600	1,3000	1,210
480	EP-480-1	11/6/2013	1/7/2013	131,2500	130,3300	0,9200	0,701
	EP-480-2			130,2800	129,4600	0,8200	0,629
	EP-480-3			129,2800	128,4370	0,8430	0,652
	PZN-480-1			119,2800	118,2600	1,0200	0,855
	PZN-480-2			114,6900	113,9600	0,7300	0,636
	PZN-480-3			118,0500	117,1200	0,9300	0,788
	ALK-480-1			130,1700	129,1300	1,0400	0,799
	ALK-480-2			131,4400	129,8500	1,5900	1,210
	ALK-480-3			130,9700	130,3200	0,6500	0,496
	RST-480-1			115,1200	100,7000	14,4200	12,526
	RST-480-2			116,2200	101,2600	14,9600	12,872
	RST-480-3			111,6000	97,6000	14,0000	12,545
	RZN-480-1			105,9800	103,1000	2,8800	2,717
	RZN-480-2			106,5800	103,2600	3,3200	3,115
	RZN-480-3			102,5200	98,2300	4,2900	4,185

720	EP-720-1	11/6/2013	14/7/2013	132,3800	126,8200	5,5600	4,200
	EP-720-2			132,0200	124,9600	7,0600	5,348
	EP-720-3			129,6800	125,8000	3,8800	2,992
	PZN-720-1			118,1800	113,7800	4,4000	3,723
	PZN-720-2			113,8800	112,5800	1,3000	1,142
	PZN-720-3			119,4000	112,5200	6,8800	5,762
	ALK-720-1			129,5100	115,3600	14,1500	10,926
	ALK-720-2			128,6700	114,0900	14,5800	11,331
	ALK-720-3			127,9200	112,5000	15,4200	12,054
	RST-720-1			116,6900	86,7000	29,9900	25,701
	RST-720-2			112,9300	89,3200	23,6100	20,907
	RST-720-3			114,9400	86,8000	28,1400	24,482
	RZN-720-1			105,3200	101,0600	4,2600	4,045
	RZN-720-2			106,7800	99,6300	7,1500	6,696
	RZN-720-3			106,3300	102,3600	3,9700	3,734
	WEL-720-1			521,6600	503,8100	17,8500	3,422
	WEL-720-2			508,4200	489,9200	18,5000	3,639
WEL-720-3	508,3400	489,4600	18,8800	3,714			



Διάγραμμα 6-3 «Απώλεια μάζας – Διάρκεια έκθεσης. EP: εποξειδικό – πολυουρεθάνη. ALK: αλκυδικό-αλκυδικό. PZN: εν ψυχρώ γαλβανισμός»



Διάγραμμα 6-4 «Απώλεια μάζα-Διάρκεια έκθεσης. RST: γυμνός χάλυβας. RZN: γυμνός ψευδάργυρος»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκρίνοντας, την απώλεια μάζας για τα τρία συστήματα επικαλύψεων που χρησιμοποιήθηκαν για την αντιδιαβρωτική προστασία καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα. Το σύστημα εποξειδικό-πολυουρεθάνη πλεονεκτεί έναντι των δύο άλλων λόγω της μεγάλης μηχανικής του αντοχής και της αντοχής σε έκθεση σε ακτινοβολία UV, αλλά από άποψη αντιδιαβρωτικής προστασίας παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά με το σύστημα αλκυδικό –αλκυδικό. Τα δύο αυτά συστήματα είχαν απώλεια μάζας της τάξης του 0,2 % το πρώτο και 0,6% το δεύτερο ενώ για το σύστημα του εν ψυχρώ γαλβανισμού η απώλεια μάζας ήταν 1,6 %. Από οικονομικής σκοπιάς το σύστημα βαφής εποξειδικό –πολυουρεθάνης έχει τετραπλάσια τιμή από το σύστημα αλκυδικό –αλκυδικό, ενώ το σύστημα του εν ψυχρώ γαλβανισμού έχει πέντε φορές μεγαλύτερη τιμή από αυτό του εποξειδικού –πολυουρεθάνης. Τέλος, παρατηρήθηκε καλύτερη πρόσφυση της βαφής στα δοκίμια του συστήματος αλκυδικό –αλκυδικό σε σχέση με αυτά του συστήματος εποξειδικό-πολυουρεθάνης, στα δοκίμια του οποίου έγινε αποκόλληση της βαφής σε πολλά σημεία.

Οι δοκιμές εφελκυσμού στις οποίες υποβλήθηκαν τα ηλεκτροσυγκολλημένα δοκίμια, τόσο τα διαβρωμένα όσο και τα μη διαβρωμένα, έδειξαν θραύση και των δύο ειδών δοκιμίων μακριά από την ηλεκτροσυγκόλληση. Στα

ηλεκτροσυγκολλημένα δοκίμια παρατηρήθηκε αυξημένη διάβρωση στην θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη, γεγονός αναμενόμενο καθώς στη περιοχή αυτή υπάρχουν συγκεντρωμένες παραμένουσες τάσεις από την ηλεκτροσυγκόλληση, ωστόσο και στην περίπτωση αυτή τα δοκίμια έσπασαν μακριά από την συγκόλληση γιατί η απομείωση της διατομής λόγω διάβρωσης ήταν πολύ μικρή σε σχέση με τις διαστάσεις του δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Ν. Κουλουμπή, «Διάβρωση και Προστασία», Ε.Μ.Π, Αθήνα 2010
2. Ν. Κουλουμπή, « Χρώματα GRAFFITI – Καθαρισμός-Αντι-graffiti Προστατευτικά Επιστρώματα», Αθήνα 2004
3. Λιγνός Ξ –Κατσασιδής Σ ,Αντιδιαβρωτική προστασία μεταλλικών κατασκευών ,2011(περιοδικό κτίριο)
4. Ματζούκης Κωνσταντίνος, διπλωματική εργασία με τίτλο <<Μηχανικές ιδιότητες χάλυβα ΑΗ36 πριν και μετά από έκθεση σε διαβρωτικό περιβάλλον>>. Ε.Μ.Π 2009
5. Παπαδόπουλος Μιχαήλ, διπλωματική εργασία με τίτλο <<Μηχανική συμπεριφορά διαβρωμένων χαλύβων οπλισμένου σκυροδέματος>>. Ε.Μ.Π 2007
6. Σκουλικίδης Θ.-Θ Βασιλείου .Π, <<Διάβρωση και προστασία υλικών >> εκδόσεις Συμέων 2000
7. Σκουλικίδης Θ, «Διάβρωση και Συντήρηση των Δομικών Υλικών των Μνημείων», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης , (ΠΕΚ), 2000
8. Χρυσουλάκης .Γ-Παντελής. Δ, <<Επιστήμη και τεχνολογία των μεταλλικών υλικών,>> εκδόσεις Παπασωτηρίου 1996
9. Υφαντής. Δ , Υλικά <<Διάβρωση και Προστασία>> εκδόσεις Ε.Μ.Π 2003
10. 4 55th Annual Meeting of International Society of Electrochemistry, 19-24 September 4,Thessaloniki, Greece (ομιλία)
11. A.S.T.M (199500
12. Corrosion –Understanding the basics, A.S.M (2000)]
13. M. G. Fontana, «Corrosion Engineering», McGraw-Hill, New York 1978
14. Lederer, Department of the Navy, Port Hueneme, CA»
15. E. Mattsson, «Basic Corrosion Technology for Scientists and Engineers», Ellis Horwood ltd, England 1989
16. C. K. Nmai, «Multi – Functional organic corrosion inhibitor», Cement & Concrete Composites Vol 26 2004
17. N. Perez, «Electrochemistry and Corrosion Science», Kluwer Academic Publishers, Boston 2004

18. R.W. Revie, H. H. Uhlig, «Corrosion and corrosion control: An Introduction to corrosion science and engineering», John Wiley & Sons, Inc., 4th edition, N.Jersey 2008
19. J. C. Scully, «The fundamentals of corrosion», 3rd edition, Pergamon Press, 1990
20. K.R.Trethewey and J.Champerlain, «Corrosion for Science and Engineering», Longman 2nd Edition, London 1998
21. N. Perez, «Electrochemistry and Corrosion Science», Kluwer Academic Publishers, Boston 2004
22. <https://en.wikipedia.org/wiki/Talos>
23. http://www.greececulture.net/portal.php?param=athens_acropolis_akropolis_knossos_vergina_delphi_epidayros_epidavros_herodeion_herodion_mycenae_mycenae&action=visit_travel_culture_history_tour_trip_greecesites&language=el&category=3&page=0
24. http://www.nims.go.jp/mits/corrosion/Corrosion_Cost.htm
25. <http://integrityengineering.wordpress.com/2008/05/01/economic-perspective-of-iron-rusts-and-scales/>
26. <http://www.fhwa.dot.gov/>
27. <http://users.ntua.gr/antkar/EDUCATION/interface/node3.html>