



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΚΑΡΑΚΩΣΤΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΤΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ

ΤΙΤΛΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ
**ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ
ΦΕΡΟΝΤΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΚΤΙΡΙΟΥ ΥΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ
ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

ΙΩΑΝΝΙΝΑ, 2017

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην εξειδίκευση:

Μεταλλικά Υλικά

που απονέμει το Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Εγκρίθηκε τηναπό την εξεταστική επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΒΑΘΜΙΑΔΑ

1. Λεκάτου Αγγελική Καθηγήτρια του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων Επιβλέπων
2. Αγαθόπουλος Συμεών Αναπληρωτής καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
3. Καρατζαλης Αλέξανδρος Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

"Δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε κάτω από τους διεθνείς ηθικούς και ακαδημαϊκούς κανόνες δεοντολογίας και προστασίας της πνευματικής ιδιοκτησίας. Σύμφωνα με τους κανόνες αυτούς, δεν έχω προβεί σε ιδιοποίηση ξένου επιστημονικού έργου και έχω πλήρως αναφέρει τις πηγές που χρησιμοποίησα στην εργασία αυτή."

(Υπογραφή υποψηφίου)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Διπλωματική αυτή εργασία είναι αποτέλεσμα έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο χρονικό διάστημα 2017 στο Μεταπτυχιακό Τμήμα ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Η εκτέλεση των πειραμάτων έγινε στο εργαστήριο του Τμήματος Επιστήμης Υλικών το οποίο διέθετε όλη την απαραίτητη υλικοτεχνική υποδομή για τη πραγμάτωση της έρευνας.

Η εργασία εκπονήθηκε υπό τη στενή επίβλεψη και καθοδήγηση της Καθηγήτριας κ. Αγγελικής Λεκάτου πάνω στο θέμα: **Συμπεριφορά σε διάβρωση συνδέσμων μεταλλικών φερόντων οργανισμών κτιρίου υπό διαφορετική εντατική κατάσταση** της οποίας ένα κομμάτι είναι η παρούσα διπλωματική εργασία.

Την Ευχαριστώ ιδιαίτερα για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές και προτροπές της. Επίσης Ευχαριστώ τον Επίκουρο Καθηγητή Κον Καρατζάλη Αλέξανδρο που σε καθημερινή συνάντηση με το ύφος του μου έδινε κουράγιο να συνεχίσω και να ολοκληρώσω την παρούσα εργασία μου καθώς επίσης και τον Αναπληρωτή καθηγητή κων Αγαθόπουλο Συμεών που μου έκανε την τιμή να είναι μέλος της εξεταστικής επιτροπής.

Επίσης ευχαριστώ όλη την ομάδα του εργαστηρίου των μεταλλικών υλικών που η βοήθειά τους ήταν πολύτιμη και ιδιαίτερα τη συμβολή του μεταπτυχιακού φοιτητή κ. Πέτρογλου Δημήτριου ο οποίος στην μακρόχρονη και κοπιαστική διεκπεραίωση της εργασίας υπήρξε αναντικατάστατος αρωγός.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τους Διπλωματούχους Μεταλλειολόγους Μηχανικούς κων Γεωργάτη και Κων Κλεφτάκη για τη συνεχή υποστήριξή τους σε τεχνικής φύσεως θέματα του εργαστηρίου.

Τέλος, δεν θα παραλείψω να ευχαριστήσω και τους υποψήφιους διδάκτορες κα Τσούλη Σοφία τον Κων Καλατζή Κώστα και κα Πούλια Ανθή για την συμβολή τους στην επίλυση σε διάφορες απορίες καθώς επίσης και όλα τα μέλη της οικογένειάς μου για την ηθική συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Διπλωματική εργασία εκπονήθηκε πάνω στο θέμα: **Συμπεριφορά σε διάβρωση συνδέσμων μεταλλικών φερόντων οργανισμών κτιρίου υπό διαφορετική εντατική κατάσταση** και περιλαμβάνει δύο στάδια μελέτης και έρευνας.

Το πρώτο στάδιο είναι ο υπολογισμός της εντατικής κατάστασης των συνδέσμων μεταλλικού κτιρίου που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό πακέτο STATIK -5 το οποίο αποτελεί αντικείμενο πολιτικού μηχανικού. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει πειραματικές μετρήσεις στο εργαστήριο του Τμήματος Επιστήμης Υλικών και το οποίο αποτελεί αντικείμενο μηχανικού επιστήμης των υλικών.

Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει το θεωρητικό μέρος και αναφέρεται στο χάλυβα ως υλικό και γενικά για τη διάβρωση του.

Το δεύτερο μέρος αναφέρεται στην πειραματική διαδικασία υπολογισμού της μεταβολής της απώλειας μάζας των μεταλλικών συνδέσμων (μπουλόνια παξιμάδια), υπό φόρτιση και χωρίς φόρτιση, όπου χρησιμοποιήθηκε η επιταχυνθείσα διάβρωση αλατονέφωσης για 11 ημέρες. Στη συνέχεια τα δοκίμια εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον της ολικής εμβάπτισης σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3.5% κ.β. για συνολικό χρόνο 95 ημερών. Η μεθοδολογία ελέγχου περιλάμβανε την καθημερινή μέτρηση βάρους των δειγμάτων, την οπτική επίβλεψη καθώς και τη μέτρηση του PH.

Η συμπεριφορά σε διάβρωση μετρήθηκε μέσω της κατασκευής διαγραμμάτων απώλειας μάζας και μεταβολής του PH.

Επίσης στα δοκίμια έγινε εργαστηριακός έλεγχος σε θλίψη και μέσω της κατασκευής διαγραμμάτων παρατηρήθηκε η συμπεριφορά σε διάβρωση.

Τέλος για την ολοκλήρωση της εργασίας έγινε έλεγχος των δειγμάτων στο οπτικό μικροσκόπιο.

Το τρίτο μέρος περιλαμβάνει αποτελέσματα από όλη την πειραματική διαδικασία. Όλα τα ανωτέρω απεικονίζονται σε παρακάτω διαγράμματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να μελετηθεί η συμπεριφορά της διάβρωσης συνδέσμων (μπουλόνια παξιμάδια) μεταλλικών φερόντων οργανισμών κτιρίου υπό διαφορετική εντατική κατάσταση.

ABSTRACT

This essay focuses on the study of the corrosion behaviour of the joints of metal load bearing elements of structures under different intensive conditions.

At first, the calculation of the intensive state of the metal joints took place using the STATIK-5 software package. Moreover, experimental measurements were carried out in the Laboratory of Applied Metallurgy in the Department of Materials Science and Engineering at the University of Ioannina, combining that way Civil and Materials Engineering.

The first part includes the theoretical background of this study as far as steel and its corrosion performance it concerns.

The second part deals with the experimental procedure, including the results of the mass loss of the metal joints (bolts and nuts), before and after loading, during salt spraying for 11 days followed by totally immersion in 3.5 wt% sodium chloride solution for 95 days. The experimental procedure included mass loss recording, pH measurements, observation with naked eye and compression tests. Finally, the microstructure of some specimens was examined by optical microscopy.

In the third part all the experimental results are presented, including the related diagrams.

The purpose of this diploma thesis is to study the behavior of the corrosion of bolts of bolted nuts of metal-bearing building organisms under different intensive conditions.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πίνακας περιεχομένων

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ.....	1
ΤΙΤΛΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	1
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΦΕΡΟΝΤΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΚΤΙΡΙΟΥ ΥΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT.....	8
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	9
1. ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	11
1.1 Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΩΣ ΥΛΙΚΟ[1]	11
1.1.1 Σύσταση χάλυβα	11
1.1.2 Παρασκευή χάλυβα.....	12
1.1.3 Μέθοδοι μορφοποίησης των μετάλλων	13
1.1.4 Η μορφοποίηση χαλύβδινων διατομών για μεταλλικές κατασκευές.....	14
1.1.5 Κατηγορίες προϊόντων χάλυβα [2]	14
1.1.6 Δομικός χάλυβας [3].....	15
Ιδιότητες του υλικού	15
Απαιτήσεις ολκιμότητας	15
Αντοχή σε κρούση	16
1.1.7 Μέσα Σύνδεσης [4].....	17
1.1.8 Μεταλλικές συνδέσεις [5].....	18
1.1.9 Κατάταξη των συνδέσεων [6].....	20
1.1/10 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ [11]	21
1.1.10.1 ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΜΕΣΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ.....	21
1.1.10.2. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ.....	21
1.1.10.3 . ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ	22
1.1.10.4. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ	23
1.1.11 Οι συγκολλήσεις [6]	25
1.2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ [7].....	26
1.2.1 Η Διάβρωση[8]	26
1.2.2 ΜΟΡΦΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	27
1.2.2.1 Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση (General Corrosion)	27
1.2.2.2 Διάβρωση με βελονισμούς (Pitting Corrosion)	28
1.2.2.3 Διάβρωση χαραγής	30
1.2.2.4 Γαλβανική ή διμεταλλική διάβρωση	34
1.2.2.5 Περικρυσταλλική διάβρωση	37
1.2.2.6 Εκλεκτική προσβολή	37
1.2.2.7 Τύποι διάβρωσης που επηρεάζονται από μηχανικούς παράγοντες	37
1.2.2.8 Θερμογαλβανική διάβρωση.....	39
1.2.2.9 Βιολογική ή μικροβιολογική διάβρωση.....	40
1.2.2.10 Ατμοσφαιρική διάβρωση	40
1.2.2.11 Διάβρωση από ρεύματα διαφυγής.	41
1.2.3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	42

1.2.4. Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΜΙΚΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ.....	43
1.2.5 ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ WAGNER	45
Η ταχύτητα της διάβρωσης[17]	47
1.2.6 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	48
1.2.6.1 Η Προκατεργασία της Επιφάνειας.....	48
1.2.6.2. Η Επιψευδαργύρωση ή Γαλβανισμός.....	50
1.2.6.3. Η Βαφή με Οργανικές Επικαλύψεις ή Χρώματα.....	50
1.2.6.4 Η Επιλογή των Μέτρων Προστασίας	51
1.3 ΘΛΙΨΗ.....	52
1.3.1 Δοκιμή σε θλίψη[13].....	52
1.3.2 Το πείραμα μονοαξονικής θλίψης [14].....	54
1.3.3 Μέτρο ελαστικότητας [15]	58
1.4 ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ	60
1.4.1 Περιγραφή – Χρήση[18].....	60
2. ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	63
2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	63
2.2. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ.....	64
2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	69
2.3.1 ΥΛΙΚΑ - ΕΙΔΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	69
2.3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	71
2.3.2.1 Επιταχυνθείσα διάβρωση αλατονέφωσης (salt spray corrosion).....	72
2.3.2.2 Πειραματική διαδικασία σε διάβρωση σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3.5% κ.β.	73
2.3.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕ ΘΛΙΨΗ.	75
2.3.4 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ.....	77
3. ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	78
3.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕ ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	78
3.1.1 ΑΠΟ ΟΠΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	78
3.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΑΠΩΛΕΙΑ ΜΑΖΑΣ	80
3.1.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	81
3.2 ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕ ΘΛΙΨΗ.....	90
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΛΙΨΗΣ	94
3.3 ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕ ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ	95
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	104
ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΣ.....	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	109
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	114
ΤΕΥΧΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ.....	114

1. ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1 Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΩΣ ΥΛΙΚΟ[1]

1.1.1 Σύσταση χάλυβα

Χάλυβες καλούνται τα κράματα σιδήρου (Fe) και άνθρακα (C), με περιεκτικότητα σε άνθρακα κάτω του 1,8%. Στη σύνθεση των χαλύβων συνδυάζονται με το σίδηρο διάφορα στοιχεία σε ποσοστιαίες αναλογίες που δεν ξεπερνούν κατά κανόνα το 5%. Συστατικά στοιχεία κάθε χάλυβα αποτελούν ο άνθρακας, σε ποσοστά που κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 0,2% και 0,7%, και το πυρίτιο (Si), σε ποσοστό μεταξύ 0,1% και 0,7% και ενίοτε έως και 4% σε ειδικούς χάλυβες. Η αναλογία σε άνθρακα καθορίζει ουσιαστικώς τις ιδιότητες των διαφόρων χαλύβων. Όσο αυξάνεται το ποσοστό του άνθρακα στο κράμα αυξάνονται αναλόγως η σκληρότητα και η αντοχή του σε τάσεις εφελκυσμού, ενώ παραλλήλως μειώνονται η συνεκτικότητα και η πλαστιμότητα. Στην αντίθετη περίπτωση, μειώνοντας δηλαδή το ποσοστό του άνθρακα, αυξάνεται η καταλληλότητα προς συγκόλληση (Schweisseignung). Το μαγγάνιο (Mn) συμμετέχει σε ποσοστό 0,3% έως 0,8% αλλά και 12% και 15% σε χάλυβες πολύ μεγάλης σκληρότητας και αντοχής στη φθορά. Η παρουσία του ενισχύει την συγκολλησιμότητα του σιδήρου, η οποία δεν υφίσταται σε κράματα με περιεκτικότητα άνθρακα άνω του 0,15%. Στην σύσταση πολλών ειδικών χαλύβων συμμετέχουν το χρώμιο (Cr), το νικέλιο (Ni), το μολυβδαίνιο (Mo) και άλλα στοιχεία, ώστε να αποκτήσει το τελικό προϊόν τις ιδιαίτερες ιδιότητες που απαιτούνται σε κάθε περίπτωση.

Ο φωσφόρος (P), το θείο (S) και το οξυγόνο (O) αποτελούν επιβλαβή στοιχεία στη σύνθεση, τα οποία προσδίδουν αρνητικές ιδιότητες στον χάλυβα όπως ψαθυρότητα (φωσφόρος), μαλακτότητα (θείο), δημιουργία ανεπιθύμητων ασυνεχειών – φυσαλίδων – κατά την χύτευση (οξυγόνο). Για τον λόγο αυτό η περιεκτικότητα των στοιχείων αυτών στο χάλυβα πρέπει να κυμαίνεται σε ποσοστά κατά πολύ μικρότερα του 0,1%.

Με τις κατάλληλες αναλογίες των συστατικών στοιχείων στην χημική του σύσταση και σε συνδυασμό με μία ακριβή θερμική επεξεργασία, οι ιδιότητες του χάλυβα είναι δυνατόν να ρυθμιστούν με μεγάλη ακρίβεια, ώστε να εξυπηρετείται ο σκοπός της εκάστοτε χρήσης του.

Με βάση τη χρήση του χάλυβα μπορούμε να ξεχωρίσουμε ορισμένες γενικές κατηγορίες:

- Δομικός Χάλυβας
- Χάλυβας Οπλισμού
- Ανοξειδωτος Χάλυβας
- Χάλυβας εργαλείων
- Πυρίμαχος Χάλυβας
- Χάλυβας κοπής
- Χάλυβας απότμησης

- Απαραμόρφωτος Χάλυβας
- κ.α. ειδικοί χάλυβες

Για την Οικοδομική χρήση έχουν ιδιαίτερη σημασία οι χάλυβες οι οποίοι περιγράφονται στο ΕΛΟΤ EN 10025 «Προϊόντα μη κεκραμένων κατασκευαστικών χαλύβων θερμής έλασης – Τεχνικοί όροι παράδοσης», καθώς και οι ανοξειδωτοι χάλυβες και ορισμένοι χάλυβες για ήλους.

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες παράγονται από κράματα με περιεκτικότητα χρωμίου τουλάχιστον 12%. Πρόσθετα νικελίου ή μολυβδαινίου βελτιώνουν την ικανότητα αντίστασης στην διάβρωση. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι δεν υφίστανται χάλυβες οι οποίοι δεν διαβρώνονται. Υπάρχουν μόνον χάλυβες που υπό συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος δεν οξειδώνονται. Είναι λοιπόν απαραίτητο κατά την χρήση των ανοξειδωτων χαλύβων να επιλέγεται ο κατάλληλος για την εκάστοτε εφαρμογή.

Οι λεπτόκοκκοι χάλυβες παράγονται από χάλυβες χαμηλού κράματος και υψηλής αντοχής. Αυτοί οι χάλυβες είναι μικρής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Εκ του λόγου αυτού προκύπτει υψηλή καταλληλότητα συγκόλλησης.

1.1.2 Παρασκευή χάλυβα

Ο Χάλυβας παρασκευάζεται με εξανθράκωση του χυτοσιδήρου. Ταυτοχρόνως απομακρύνονται κατά το δυνατόν το θείο και ο φωσφόρος, στοιχεία τα οποία όπως προαναφέρθηκε είναι επιβλαβή, και ρυθμίζεται η περιεκτικότητα σε μαγγάνιο και πυρίτιο, στοιχεία τα οποία εμπεριέχονται στον ακατέργαστο σίδηρο. Οι παραπάνω ρύποι απομακρύνονται δια της καύσης με την πρόσδοση οξυγόνου. Η επιθυμητή χημική σύσταση του χάλυβα επιτυγχάνεται με την αποξείδωση και την προσθήκη ασβέστου για την δέσμευση του φωσφόρου.

Για την αποφυγή δημιουργίας φυσαλίδων, οι οποίες μπορούν να δημιουργηθούν κατά την χύτευση του ρευστού χάλυβα εξαιτίας υπολειμμάτων οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα, προστίθενται στο κράμα συμπληρωματικώς πυρίτιο, μαγγάνιο, ασβέστιο ή αλουμίνιο. Οι κατ' αυτόν τον τρόπο επεξεργασμένοι χάλυβες ονομάζονται ησυχασμένοι. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι δεν επηρεάζονται από την γήρανση και συγκολλούνται ιδιαιτέρως καλά.

Βάσει του τρόπου παρασκευής οι χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως:

- Ησυχασμένος χάλυβας
- Αφρίζων χάλυβας
- Χάλυβας τήξης
- Χάλυβας Χωνευτηρίου
- Κονιομεταλλουργικός Χάλυβας

1.1.3 Μέθοδοι μορφοποίησης των μετάλλων

Με τον όρο μορφοποίηση νοείται η πρόσδοση μορφής γενικά. Ο όρος διαμόρφωση σημαίνει την πρόσδοση μορφής με πλαστική παραμόρφωση. Η διαμόρφωση συχνά αναφέρεται με τον όρο «πλαστική διαμόρφωση».

Οι μέθοδοι μορφοποίησης των μετάλλων είναι βασικά τρεις:

- Η Χύτευση.
- Η διαμόρφωση με πλαστική παραμόρφωση.
- Η διαμόρφωση με αφαίρεση υλικού ή μηχανουργική κατεργασία.

Η χύτευση στηρίζεται στο χαμηλό σημείο τήξεως ορισμένων μετάλλων και στην ευχυτότητα δηλαδή την ιδιότητα που έχουν ορισμένα ρευστά μέταλλα να γεμίζουν με ακρίβεια όλες τις κοιλότητες ενός καλουπιού. Η χύτευση δεν εξασφαλίζει συχνά το επιθυμητό τελείωμα ενός αντικειμένου και απαιτεί πρόσθετη μηχανουργική επεξεργασία.

Η μηχανουργική κατεργασία επιτυγχάνει την μορφή ενός αντικειμένου με την αφαίρεση υλικού. Αν και από τεχνολογική άποψη έχει αυτοματοποιηθεί πλήρως για παραγωγή ακριβείας και εν σειρά όμως οδηγεί σε μεγάλες απώλειες μετάλλου και χάνει έδαφος. Διατηρεί όμως την σημασία της ως συμπληρωματική μέθοδος.

Η διαμόρφωση με πλαστική παραμόρφωση είναι ο πιο εκτεταμένος κλάδος της μορφοποίησης των μετάλλων. Η πλατιά εφαρμογή της οφείλεται στην μεγάλη έκταση της πλαστικής περιοχής των μετάλλων. Όταν εφαρμοσθούν τάσεις πέρα από το όριο ελαστικότητας, τα μέταλλα δεν θραύονται αλλά παραμορφώνονται πλαστικά. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που εκμεταλλεύονται αυτή την ιδιότητα. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να γίνουν εν θερμώ ή εν ψυχρώ, πράγμα που σημαίνει την κατεργασία πάνω ή κάτω από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του μετάλλου. Οι εν ψυχρώ τεχνικές δίδουν προϊόντα μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής αλλά και πιο εύθραυστα. Επίσης είναι πιο ευπρόσβλητα στην διάβρωση και στην προσβολή από φωτιά. Επομένως απαιτούν αποτελεσματικότερα μέτρα για την προστασία από διάβρωση και πυροπροστασία. Οι τεχνικές αυτές είναι:

- **Η έλαση**, όπου η διατομή ενός μεταλλικού τεμαχίου μειώνεται με πέρασμα ανάμεσα από δύο κυλίνδρους που στρέφονται κατ' αντίθετη φορά. Η έλαση είναι μια διεργασία εν ψυχρώ.
- **Η διέλαση**, όπου εκμεταλλευόμαστε τις ρεολογικές ιδιότητες του μετάλλου, δηλαδή την ικανότητα του να συμπεριφέρεται σε ορισμένη θερμοκρασιακή περιοχή σαν πλαστική μάζα. Το μέταλλο με την βοήθεια ενός εμβόλου αναγκάζεται να περάσει μέσα από οπή ορισμένου σχήματος, αποχτώντας την ανάλογη διατομή. Η διέλαση είναι μία κατεργασία εν θερμώ.
- **Η ολκή**, όπου εν θερμώ ή εν ψυχρώ επιτυγχάνονται μεγάλες μειώσεις διατομής με τράβηγμα μέσω μίας οπής (φιλιέρας). Είναι η μέθοδος της συρματοουργίας.
- **Η σφυρηλασία**, όπου η αποτύπωση επιτυγχάνεται με κρούση ή συμπίεση. Γενικά οι εφαρμοζόμενες δυνάμεις για την μορφοποίηση της μάζας του μετάλλου είναι διακοπτόμενες και όχι συνεχείς. Η σφυρηλασία μπορεί να γίνει εν ψυχρώ ή εν θερμώ.

Η πρώτη διαμόρφωση γίνεται αποκλειστικά με έλαση σε μεγάλες μεταλλουργικές μονάδες και οδηγεί σε ημιπροϊόντα τα οποία μπορεί και διοχετευθούν κατευθείαν στην κατανάλωση. Το μεγαλύτερο όμως μέρος των ημιπροϊόντων υφίσταται και δεύτερη κατεργασία διαμόρφωσης σε επιχειρήσεις κάθε είδους που ασχολούνται με τεχνικές

διαμόρφωσης με πλαστική παραμόρφωση καθώς και με θερμικές ή επιφανειακές διαδικασίες.

1.1.4 Η μορφοποίηση χαλύβδινων διατομών για μεταλλικές κατασκευές

Η μορφοποίηση του χάλυβα πραγματοποιείται με όλες τις προαναφερθείσες μεθόδους αλλά την κύρια θέση έχουν οι τεχνικές πλαστικής διαμόρφωσης. Αυτό οφείλεται σε μια σειρά πλεονεκτημάτων όπως:

- Οικονομία του υλικού. Οι τεχνικές πλαστικής διαμόρφωσης έχουν γενικά υψηλή απόδοση σε υλικό. Ιδιαίτερα η σφυρηλασία εν θερμώ λειτουργεί πρακτικά χωρίς τη δημιουργία αποκομμάτων (scraps).
- Υψηλή παραγωγικότητα. Τα μηχανήματα έχουν σχεδιασθεί για συνεχή παραγωγή.
- Απαιτούν σε ελάχιστες περιπτώσεις την επέμβαση μηχανουργικής επεξεργασίας.
- Εγγυώνται υψηλότερο βαθμό ασφαλείας, γιατί εξασφαλίζουν εσωτερική δομή του μετάλλου χωρίς εσωτερικά σφάλματα ή σε κάθε περίπτωση τα σφάλματα είναι ομοιομορφότερα και λεπτομερέστερα κατανεμημένα σε σύγκριση με τα χυτά.

Όσον αφορά τα προϊόντα χάλυβα που χρησιμοποιούνται στις μεταλλικές κατασκευές αυτά παλαιότερα κατασκευαζόταν με διέλαση. Ακόμη και σήμερα το μεγαλύτερο μέρος των μεταλλικών στοιχείων για την φέρουσα κατασκευή παράγεται με διέλαση. Οι πρόοδοι της κατασκευαστικής τεχνολογίας η βελτίωση των μεθόδων προστασίας από διάβρωση και πυροπροστασίας οδήγησαν στη μόρφωση και χρήση λεπτότοιχων διατομών ψυχράς ελάσεως. Το βασικότερο πλεονέκτημα της χρήσεως των λεπτότοιχων διατομών ψυχράς ελάσεως είναι η αυξημένη αντοχή με συνέπεια την μείωση του βάρους. Οι λεπτότοιχες διατομές ψυχράς ελάσεως χρησιμοποιούνται πλέον και ως φέροντα δομικά στοιχεία δευτερευούσης σημασίας αλλά και ως καλύψεις.

1.1.5 Κατηγορίες προϊόντων χάλυβα [2]

Τα προϊόντα χάλυβα που αφορούν την οικοδομική χρήση μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τη μορφή, τις διαστάσεις, τα βάρη και τις ανοχές ως ακολούθως:

Χάλυβας σε ράβδους:

Ράβδοι γωνιακής ισοσκελούς διατομής (γωνίες ισοσκελείς)

Ράβδοι γωνιακής ανισοσκελούς διατομής (γωνίες ανισοσκελείς)

Ράβδοι σχήματος T

Ράβδοι σχήματος U (UPN)

Ράβδοι τετραγωνικής διατομής (καρέ)

Ράβδοι ορθογωνικής διατομής (λάμες)

Ράβδοι κυκλικής διατομής (στρογγυλά)

Μορφοποιημένος χάλυβας:

Δοκοί διατομής U (UPN)

Δοκοί υψίκορμες (IPE)
Δοκοί πλατύπελμες ελαφρού τύπου HEA (IPBI)
Δοκοί πλατύπελμες βαρέως τύπου HEB (IPB)
Δοκοί πλατύπελμες ενισχυμένες τύπου HEM (IPBv)

Κοίλες διατομές:

Τετράγωνες κοίλες διατομές
Ορθογώνιες κοίλες διατομές
Κυκλικές κοίλες διατομές

Ελάσματα χάλυβα

Λαμαρίνες θερμής έλασης
Λαμαρίνες ψυχρής έλασης
Λαμαρίνες γαλβανιζέ
Λαμαρίνες χονδρές

Τραπεζοειδείς διατομές

Συρματόσχοινα

1.1.6 Δομικός χάλυβας [3]

Ιδιότητες του υλικού

(1) Οι ονομαστικές τιμές της αντοχής διαρροής f_y και της οριακής αντοχής f_u για δομικό χάλυβα πρέπει να λαμβάνονται

α) είτε υιοθετώντας τις τιμές $f_y = R_{eh}$ και $f_u = R_m$ απευθείας από το πρότυπο του προϊόντος

β) ή χρησιμοποιώντας την απλοποίηση που δίνεται στον Πίνακα 1.1

Απαιτήσεις ολκιμότητας

(1) Για τους χάλυβες απαιτείται μία ελάχιστη ολκιμότητα η οποία θα πρέπει να εκφράζεται υπό μορφή ορίων για:

- το λόγο f_u / f_y της προδιαγεγραμμένης ελάχιστης οριακής αντοχής σε εφελκυσμό f_u ως προς την προδιαγεγραμμένη ελάχιστη αντοχή διαρροής f_y
- την επιμήκυνση στην αστοχία με δοκίμιο μήκους $5,65 \sqrt{A_0}$ (όπου A_0 είναι η αρχική επιφάνεια της διατομής)
- την οριακή παραμόρφωση ϵ_u , όπου η ϵ_u αντιστοιχεί στην οριακή αντοχή f_u .

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Τα όρια του λόγου f_u / f_y , η επιμήκυνση στην αστοχία και η οριακή παραμόρφωση ϵ_u μπορούν να καθορίζονται στο Εθνικό Προσάρτημα. Συνιστώνται οι παρακάτω τιμές:

- $f_u / f_y \geq 1,15$

- επιμήκυνση στην αστοχία όχι μικρότερη από 15%
- $\epsilon_u \geq 15\epsilon_y$, όπου ϵ_y είναι η παραμόρφωση διαρροής ($\epsilon_y = f_y / E$).

(2) Για χάλυβα ο οποίος ανήκει σε μία από τις ποιότητες που περιλαμβάνονται στον Πίνακα 1.1 θα πρέπει να γίνεται δεκτό ότι ικανοποιούνται οι παραπάνω απαιτήσεις.

Αντοχή σε κρούση

(1) Το υλικό πρέπει να έχει ικανοποιητική αντοχή σε κρούση ώστε να αποφεύγεται ψαθυρή θραύση εφελκόμενων στοιχείων στη χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας που αναμένεται να παρουσιασθεί μέσα στην προβλεπόμενη διάρκεια ζωής της κατασκευής.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ Η χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας που πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό μπορεί να δίνεται στο Εθνικό Πρόσάρτημα.

Πίνακας 1.1: Ονομαστικές τιμές της αντοχής διαρροής f_y και της οριακής εφελκυστικής αντοχής f_u για εν θερμώ ελατούς χάλυβες

Πρότυπο και ποιότητα χάλυβα	Ονομαστικό πάχος του στοιχείου t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

1.1.7 Μέσα Σύνδεσης [4]

Από τα διάφορα στοιχεία κοίλες δοκούς, υψίκορμες ράβδους κ.λπ. μέσω συνδέσεων δημιουργούνται τα διάφορα τμήματα μιας μεταλλικής κατασκευής. Τα τμήματα αυτά επίσης με συνδέσεις οδηγούν στην ολοκληρωμένη κατασκευή. Στη γενική περίπτωση οι συνδέσεις μπορούν να διακριθούν σε λυόμενες (κοχλίες, αρθρώσεις) και σε μη λυόμενες ή μόνιμες (ήλοι, συγκολλήσεις). Επίσης μπορούν να διακριθούν σε δυναμικές όταν αναλαμβάνουν δυνάμεις αναπτυσσόμενες από την λειτουργία της κατασκευής και συνεκτικές εφόσον δεν αναλαμβάνουν δυνάμεις αλλά τοποθετούνται προκειμένου να εξασφαλίσουν την συνοχή της κατασκευής. Με βάση την αρχή λειτουργίας τους μπορούν ακόμη να διακριθούν σε βλητροειδή μέσα σύνδεσης και σε συγκολλήσεις.

Σε μία σύνδεση ο φορέας υφίσταται μια ξαφνική διακοπή της συνέχειας του και μέσω της σύνδεσης αποκαθίσταται η συνέχεια. Ο σχεδιασμός της σύνδεσης πρέπει να ελαχιστοποιεί της επιπτώσεις της διαταραχής αυτής. Επομένως ο σχεδιασμός μίας σύνδεσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη:

- Την κατά το δυνατόν ομαλή ροή δυνάμεων και τάσεων.
- Την ολκιμότητα του χάλυβα που διευκολύνει την κατανομή των εσωτερικών δυνάμεων μέσα στην σύνδεση. Γενικά οι παραμένουσες τάσεις, οι τάσεις σύσφιξης των μέσων σύνδεσης και οι τάσεις κατεργασίας μπορούν να παραληφθούν.
- Την ευκολία της κατασκευής στο εργοτάξιο.
- Την πρόβλεψη διακένων για την σύσφιξη των μέσων σύνδεσης ή των διαδικασιών συγκόλλησης.
- Την προστασία και συντήρηση της επισκευής.
- Την ανάγκη της επιθεώρησης της κατασκευής.

Οι συνδέσεις οφείλουν να εκπληρούν μια σειρά από απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις αυτές διακρίνονται σε δομικές και μη δομικές.

Οι δομικές απαιτήσεις είναι:

- Η αντοχή.
- Η ακαμψία.
- Η ικανότητα παραμόρφωσης.

Οι μη δομικές απαιτήσεις είναι:

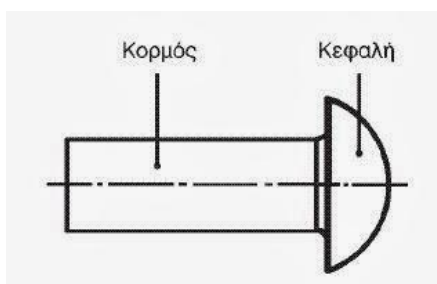
- Η οικονομία (κόστος εξοπλισμού, ειδικευμένης εργασίας και υλικών συμπεριλαμβανομένης και της ικανότητας αποσυναρμολόγησης)
- Η ανθεκτικότητα (η αποφυγή της φθοράς λόγω διάβρωσης ιδιαίτερα σε διαβρωτικό περιβάλλον).
- Η στεγανότητα.
- Η αισθητική.

Ο Ευρωκώδικας 3 προκειμένου για συνδέσεις που υπόκεινται σε κρούση ή ταλάντωση προβλέπει την χρήση προεντεταμένων κοχλιών ή κοχλιών με ασφάλειες σύσφιξης ή συγκολλήσεις. Επίσης όπου υπάρχει μία σύνδεση η οποία φορτίζεται σε διάτμηση υπόκειται σε αναστροφή της τάσης (εκτός από εκείνες τις τάσεις λόγω αποκλειστικά και μόνο του ανέμου) ή όπου για κάποιο ειδικό λόγο η ολίσθηση των κοχλιών δεν είναι αποδεκτή, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ή προεντεταμένοι κοχλίες ή εφαρμοσμένοι κοχλίες ή συγκολλήσεις.

1.1.8 Μεταλλικές συνδέσεις [5]

Οι συνδέσεις σε μια μεταλλική κατασκευή έχουν σκοπό τη συνένωση των διαφόρων μερών της και τη μεταβίβαση των αναπτυσσόμενων δυνάμεων μεταξύ των δομικών στοιχείων. Οι συνδέσεις αυτές γίνονται με : ήλωση, κοχλίωση, συγκόλληση. Διακρίνονται σε λυόμενες και μη λυόμενες-μόνιμες συνδέσεις. Στις λυόμενες ανήκουν οι κοχλιώσεις ενώ οι ηλώσεις και οι συγκολλήσεις αποτελούν μόνιμες συνδέσεις.

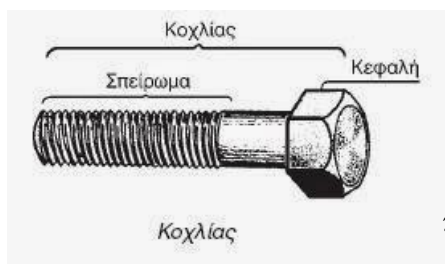
Ήλωση (riveting)



Με ήλωση συνδέονται χαλύβδινα τεμάχια που έχουν οπές στις αντίστοιχες θέσεις όπου τοποθετούνται ήλοι με μία κεφαλή, στο δε άλλο άκρο διαμορφώνεται κεφαλή με θέρμανση και (χειροκίνητη ή μηχανική) σφυρηλάτηση. Γενικά οι ηλώσεις απαιτούν πρόσθετα τεμάχια, όπως κομβοελάσματα, παρεμβλήματα και

λοιπά. Η εκτέλεση της ήλωσης απαιτεί πολλή εργασία και προκαλεί πολύ θόρυβο, για αυτό και σήμερα έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί. Άλλωστε για μικρό αριθμό τεμαχίων η κοχλίωση είναι οικονομικότερη λύση από την ήλωση.

Κοχλίωση (bolting)

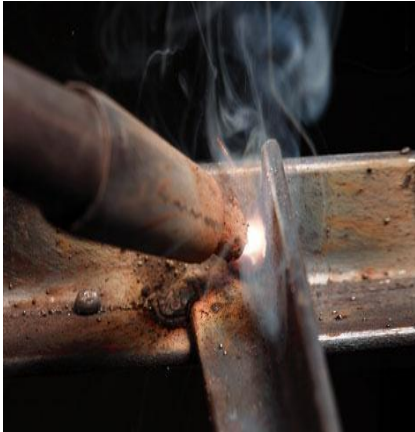


Η κοχλίωση είναι όμοια σύνδεση με την ήλωση με τη διαφορά ότι εδώ αντί ήλων χρησιμοποιούνται κοχλίες και έτσι η σύνδεση είναι απλή και λυόμενη, αρά παρουσιάζει και το πλεονέκτημα της ευχερούς αντικατάστασης μερών ή της επανάχρησης.

Η βιδωτή σύνδεση συνίσταται από το μπουλόνι(κοχλίας) και το παξιμάδι (περικόχλιο).

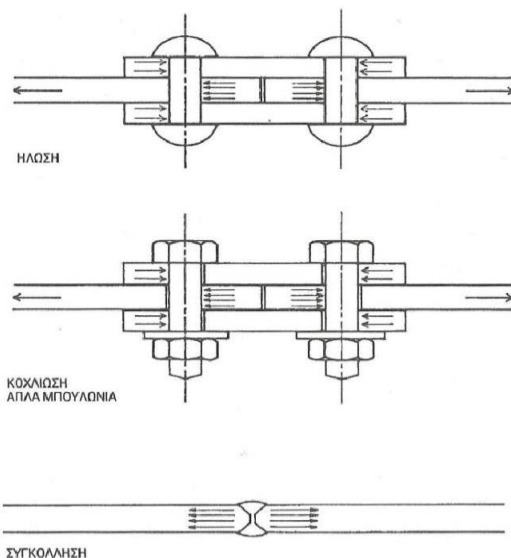
Γενικά προτιμάται η κοχλιωτή σύνδεση για συνδέσεις επιτόπου στο έργο γιατί η εργασία είναι πιο εύκολη και πιο γρήγορη παρά με ήλους ή συγκόλληση.

Συγκόλληση (weld)



Η συγκόλληση είναι μόνιμη σύνδεση με τη βοήθεια α) υψηλής θερμοκρασίας β) πίεσης γ) και των δύο. Πραγματοποιείται συνήθως με τη χρήση συγκολλητικού μέσου. Κατά κανόνα δεν απαιτεί τη χρήση πρόσθετων τεμαχίων, παρά μόνο για ενίσχυση. Είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σε εργοστασιακές μεταλλικές προκατασκευές. Η σύνδεση των

διάφορων τεμαχίων μεταξύ τους πραγματοποιείται με ραφές. Τα τεμάχια θερμαίνονται στη θέση της ραφής μέχρι να φτάσουμε στην θερμοκρασία τήξης. Το υλικό για την πλήρωση της ραφής προέρχεται από μεταλλική τηκόμενη ράβδο. Ανάλογα με τον τρόπο θέρμανσης υπάρχουν πολλοί τρόποι συγκόλλησης όπως η οξυγονοκόλληση (συγκόλληση με αέριο) και η ηλεκτροσυγκόλληση (συγκόλληση με βολταϊκό τόξο).



Εικόνα 1.1: Τρόποι μεταλλικών συνδέσεων με εμφανή τη μεταβίβαση των τάσεων

1.1.9 Κατάταξη των συνδέσεων [6]

Τα μηχανικά μέσα συνδέσεων μπορούν να διαιρεθούν σε:

ΚΟΧΛΙΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΑ: Πρόκειται για τους κλασσικούς κοχλίες. Για την χρήση τους απαιτείται η διάνοιξη οπής εκ των προτέρων. Οι κοχλίες μπορούν να έχουν σπείρωμα σε όλο τον κορμό ή όχι.

ΒΙΔΕΣ: Οι βίδες διακρίνονται στις κοινές βίδες χωρίς περικόχλιο, στις αυτοκοχλιούμενες και στις τρυπανόβιδες.

Στις κοινές βίδες χωρίς περικόχλιο απαιτείται η διάνοιξη οπής με διάμετρο ίση με αυτήν του πυρήνα του κοχλίου. Τότε κατά την κοχλίωση ή ελίκωση χαράσσει την άντυγα της οπής και επιτυγχάνεται η σύνδεση.

Στις αυτοκοχλιούμενες βίδες η λειτουργία βασίζεται στην παραπάνω αρχή. Οι βίδες αυτές φέρουν αιχμή οπότε η αρχική οπή είναι πολύ μικρότερη.

Στις τρυπανόβιδες δεν απαιτείται η διάνοιξη οπής. Οι βίδες αυτές έχουν αιχμή διαμορφωμένη σε τρυπάνι, ώστε να μπορούν μόνοι τους να διανοίξουν κατά την κοχλίωση την απαιτούμενη οπή.

ΤΥΦΛΟΙ ΗΛΟΙ ή ΠΡΙΤΣΙΝΙΑ: Χρησιμοποιούνται όταν η πρόσβαση στο σημείο συνδέσεως είναι εφικτή μόνο από την μία πλευρά. Και στους συνδέσμους αυτούς οι οπές πρέπει να διανοίγονται εκ των προτέρων με διάμετρο όση η διάμετρος του τυφλού ήλου.

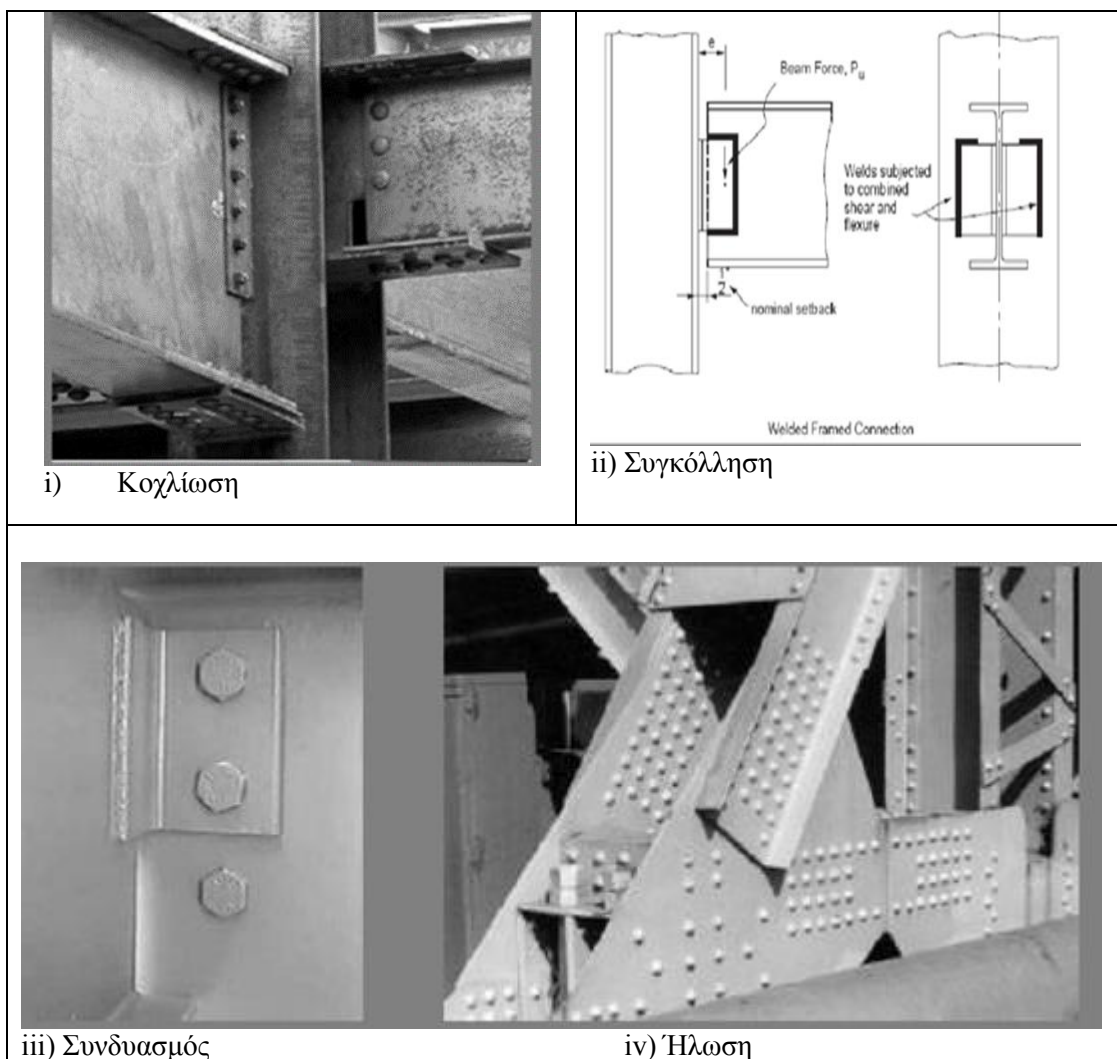
ΗΛΟΙ ΚΑΨΥΛΙΟΥ ή ΑΕΡΟΚΑΡΦΑ: Χρησιμοποιούνται μόνο για τον συνδυασμό λεπτού προς παχύ έλασμα ενώ απαγορεύεται η χρήση τους σε περίπτωση συνδέσεως λεπτού προς λεπτό έλασμα. Μπορούν να είναι με απλό ή διπλό δακτύλιο καθώς και με ενσωματωμένο ελαστομερές.

ΑΝΑΔΙΠΛΩΣΗ: Σπάνιος τρόπος σύνδεσης που χρησιμοποιείται μόνο σε μη φέρουσες κατασκευές. Πραγματοποιείται με χρήση ειδικής συσκευής.

1.1/10 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ [11]

1.1.10.1 ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΜΕΣΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

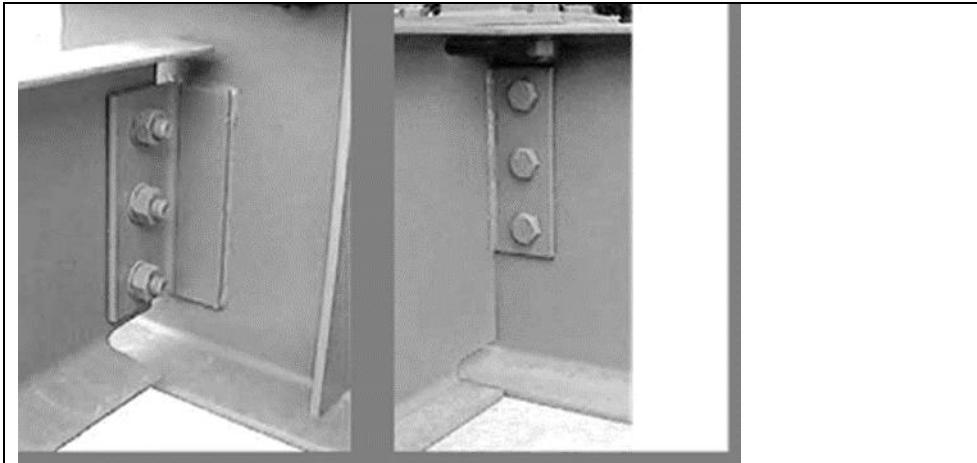
- i) Κοχλιώσεις (Bolted connections)
- ii) Συγκολλήσεις (Welded connections)
- iii) Συνδυασμός Κοχλιώσεων – Συγκολλήσεων (bolted–welded connections)
- iii) Ηλώσεις (Riveted connections)



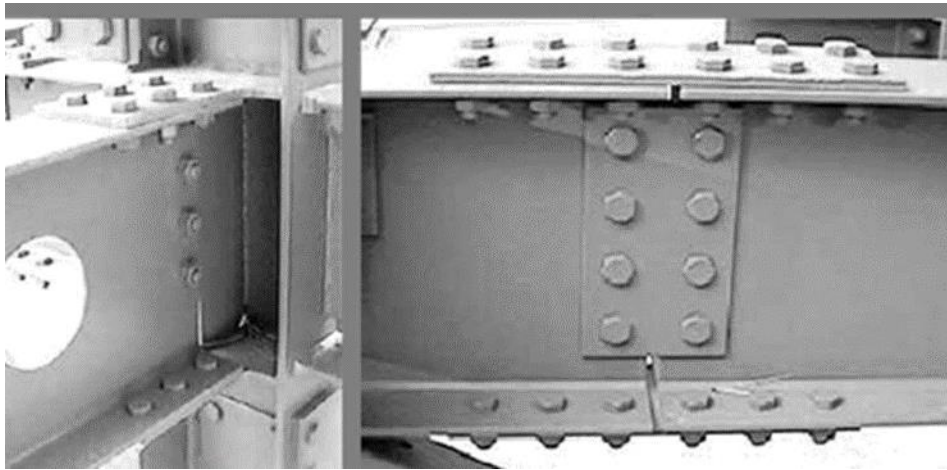
Εικόνα 1.2: Τρόποι συνδέσεων με βάση τα μέσα σύνδεσης

1.1.10.2. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

- i) Απλές Συνδέσεις - Παραλαβή Διατμητικών Δυνάμεων - Ημιάκαμπτες (Shear - semi rigid, simple)
- ii) ii) Συνδέσεις Παραλαβής Ροπής (Moment rigid connections)



i) Απλές συνδέσεις

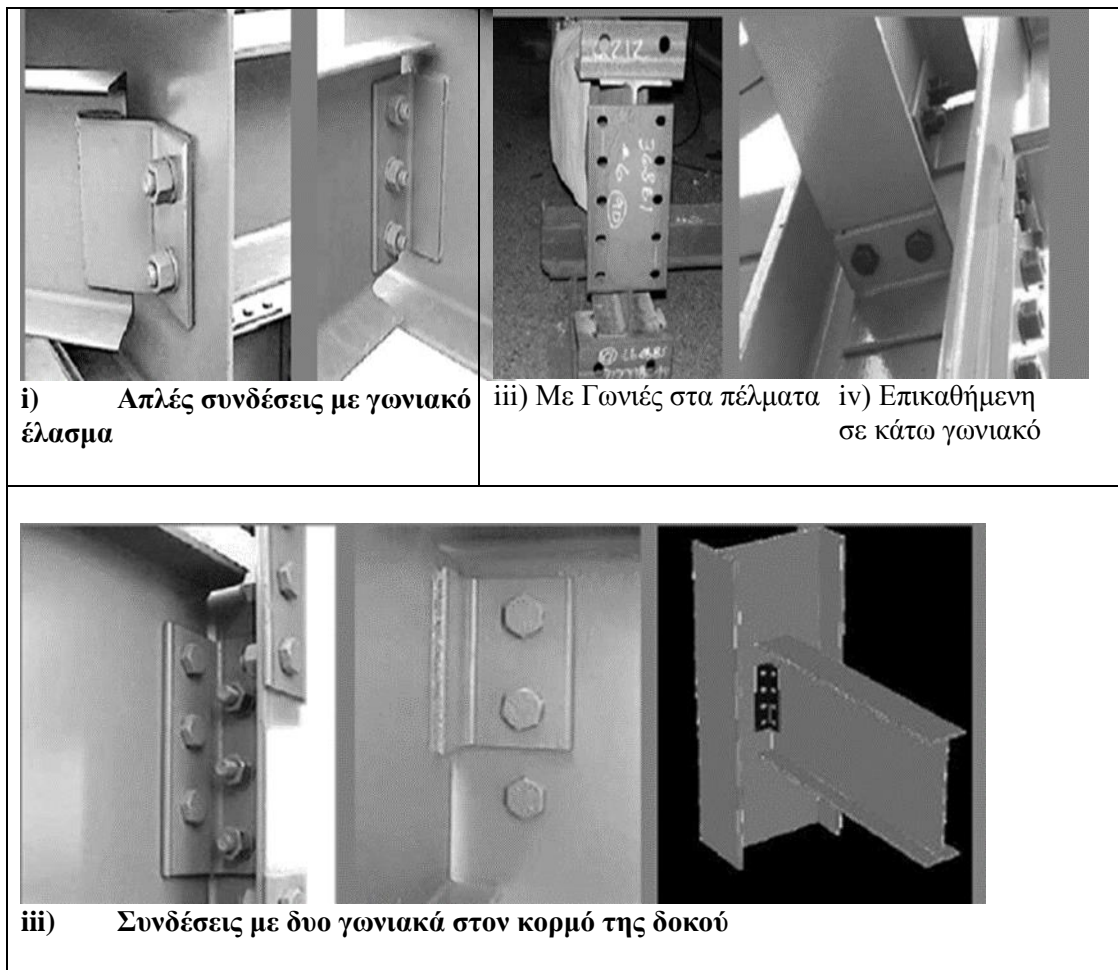


ii) Συνδέσεις Παραλαβής Ροπής (Moment rigid connections)

Εικόνα 1.3: Τρόποι συνδέσεων με βάση τις εσωτερικές δυνάμεις

1.1.10.3 . ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

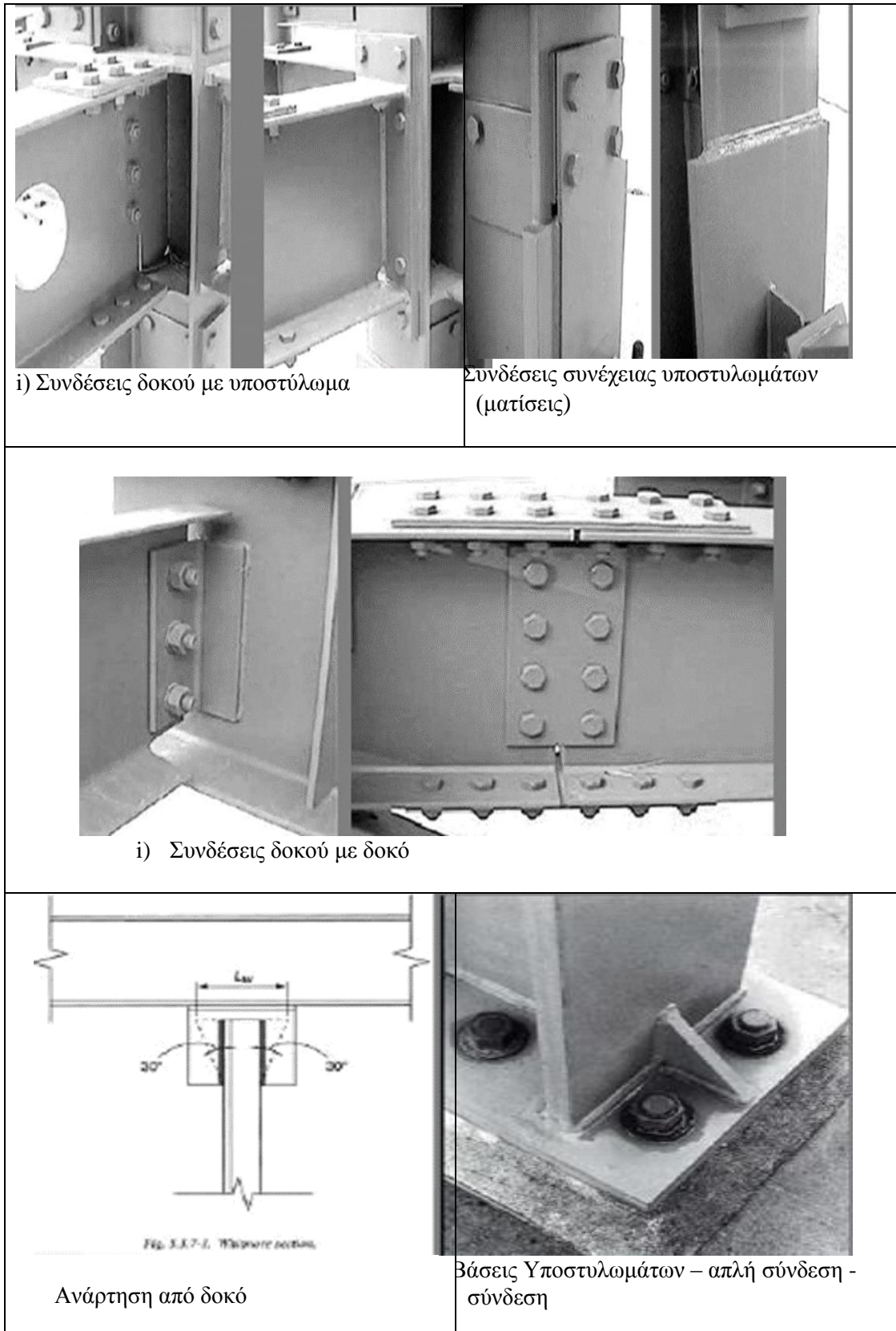
- i) Απλές Συνδέσεις με γωνιακό έλασμα (Singleplate-angle connections)
- ii) ii) Συνδέσεις με δύο γωνιακά στον κορμό της δοκού (double-web-angle connections)
- iii) iii) Συνδέσεις με γωνιές άνω και κάτω (Top-and seated-angle connections),
- iv) iv) Σύνδεση επικαθήμενης δοκού (Seated beam connections), etc.



Εικόνα 1.4: Τρόποι συνδέσεων με βάση τα στοιχεία σύνδεσης

1.1.10.4. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΩΝ ΜΕΛΩΝ

- i) Συνδέση δοκού με υποστύλωμα (Beam-to-column connections)
- ii) Σύνδεση συνέχειας υποστυλωμάτων (μάτιση) - (column-to-column - splice)
- iii) Σύνδεση δοκού με δοκό (beam-to-beam connections)
- iv) Αναρτήση (Hanger connections)
- v) Βάση υποστυλώματος (Column base plate, etc.)



Εικόνα 1.5: Τρόποι συνδέσεων με βάση το είδος των συνδεόμενων μελών

1.1.11 Οι συγκολλήσεις [6]

Οι συγκολλήσεις που χρησιμοποιούνται μπορούν να διακριθούν:

- Σημειακές συγκολλήσεις τόξου. Χρησιμοποιούνται μόνο για την παραλαβή διατμητικών τάσεων. Πρέπει να έχουν μία ενεργό διάμετρο όχι μικρότερη από 10 mm και επαρκείς ακραίες αποστάσεις. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για πάχη ελασμάτων πάνω από 4 mm.
- Εξώραφες συγκολλήσεις.
- Σημειακές συγκολλήσεις βολταϊκού τόξου ή ηλεκτροπόντες. Χρησιμοποιούνται μόνο για την παραλαβή διατμητικών τάσεων. Το πάχος του παχύτερου ελάσματος πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο με 4 mm και του λεπτότερου μικρότερο ή ίσο με 3 mm.

1.2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ [7]

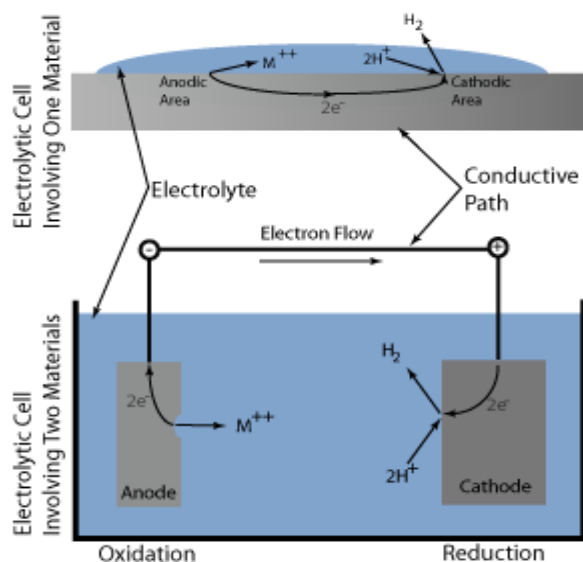
1.2.1 Η Διάβρωση[8]

Διάβρωση είναι κάθε αυθόρμητη ηλεκτροχημική ή χημική αλλοίωση της επιφάνειας των μετάλλων ή κραμάτων, η οποία οδηγεί σε απώλεια υλικού. Η διάβρωση οφείλεται στις ηλεκτροχημικές ή χημικές αντιδράσεις του μετάλλου ή του κράματος με το περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να λειτουργήσει. Το περιβάλλον μπορεί να είναι φυσικό π.χ. θάλασσα, ύπαιθρος ή τεχνητό π.χ. εργαστηριακοί ή βιομηχανικοί χώροι.

Σαν χημική διάβρωση θεωρείται η χημική αντίδραση του μετάλλου (ή κράματος) με στοιχεία του περιβάλλοντος (χωρίς να απαιτείται μεταφορά ηλεκτρονίων). Η ηλεκτροχημική διάβρωση είναι συνυφασμένη με τη μεταφορά ηλεκτρονίων και είναι η συνηθέστερη περίπτωση. Η διαδικασία της ηλεκτροχημικής διάβρωσης εξηγείται με την θεωρία των μικτών δυναμικών που εξηγείται στην συνέχεια.

Πριν την ανάπτυξη της θεωρίας των μικτών δυναμικών είναι σκόπιμο να εξετασθούν οι παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στην διάβρωση. Αυτό είναι σημαντικό διότι εάν ο σχεδιασμός μίας κατασκευής γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε οι παράγοντες που ευνοούν την διάβρωση να έχουν αποφευχθεί τότε η πιθανότητα αστοχίας της κατασκευής είναι μικρή.

Εικόνα 1.6: Σχηματική παράσταση διάβρωσης



1.2.2 ΜΟΡΦΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

1.2.2.1 Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση (General Corrosion)

Είναι το πιο κοινό είδος διάβρωσης. 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.



Εικόνα 1.7: Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση

Εμφανίζεται συνήθως όταν το μέταλλο είναι σε επαφή με οξύ ή διάλυμα, αλλά, και σε ξηρή ατμόσφαιρα (οξειδωση σε υψηλές θερμοκρασίες οπότε το προϊόν της διάβρωσης μπορεί να είναι είτε προστατευτικό είτε όχι. Από τεχνικής πλευράς αποτελεί το απλούστερο είδος διάβρωσης γιατί ο χρόνος ζωής των εγκαταστάσεων μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια με σχετικά απλές δοκιμές.

Ο χάλυβας που έχει οξειδωθεί στην ατμόσφαιρα και η διάβρωση των κραμάτων χαλκού στο νερό της θάλασσας είναι κοινά παραδείγματα όπου εμφανίζεται συνήθως η ομοιόμορφη διάβρωση. Ο χάλυβας, όταν βυθιστεί στο νερό της θάλασσας μπορεί να διαβρωθεί ομοιόμορφα αλλά, κάτω από ορισμένες περιστάσεις, είναι πιθανό να υποστεί ανομοιόμορφη διάβρωση.

Η απώλεια βάρους είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιημένη μέθοδος για τον προσδιορισμό του ποσοστού διάβρωσης των μετάλλων όταν έχουν υποστεί ομοιόμορφη διάβρωση. Σε αυτήν την μέθοδο, ένα δείγμα δοκιμής καθαρίζεται, ζυγίζεται, και μετριέται η επιφάνειά του. Έπειτα εκτίθεται για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, καθαρίζεται από τα προϊόντα διάβρωσης και ξαναζυγίζεται. Το ποσό απώλειας μετάλλου όπως μετριέται από την απώλεια βάρους χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η απώλεια στο πάχος του μετάλλου υποθέτοντας ότι η διάβρωση ήταν απολύτως ομοιόμορφη. Σε μερικές περιπτώσεις αυτό ελέγχεται περαιτέρω από



Εικόνα 1.8: Γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση

τις μετρήσεις πάχους. Πρέπει να αναφερθεί ότι αυτά τα ποσοστά υπολογίζονται συνήθως από την απώλεια βάρους παρά την απώλεια πάχους και ισχύουν μόνο εάν η διάβρωση ήταν ομοιόμορφη.

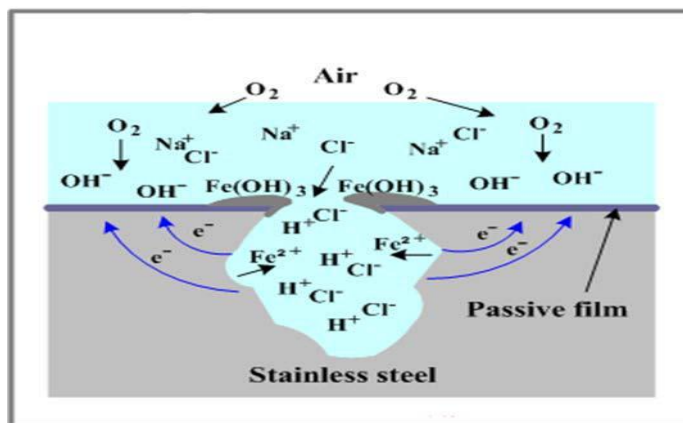
1.2.2.2 Διάβρωση με βελονισμούς (Pitting Corrosion)

Η διάβρωση με βελονισμούς είναι εξαιρετικά εντοπισμένη μορφή προσβολής που σχετίζεται με τον εκλεκτικό τοπικό σχηματισμό οπών, κρατήρων και εσοχών στο μέταλλο. Ως οπή χαρακτηρίζεται μία κοιλότητα με διάμετρο ανοίγματος περίπου ίση ή λίγο μικρότερη από το βάθος της. Μπορεί να είναι απομονωμένες ή τόσο κοντά που να ομοιάζουν με ομοιόμορφα διαβρωμένη επιφάνεια. Συνήθως αναπτύσσονται και μεγαλώνουν κατά τη διεύθυνση της βαρύτητας.

Αποτελεί μία από τις πιο καταστροφικές και ύπουλες μορφές διάβρωσης. Προκαλεί αστοχία εξοπλισμού λόγω διάτρησης σε συνδυασμό με πολύ μικρή απώλεια υλικού στο σύνολο της κατασκευής. Πολλές φορές είναι δύσκολη η ανίχνευση των οπών γιατί είναι μικρού μεγέθους και συχνά καλύπτονται από προϊόντα διάβρωσης. Δύσκολος είναι και ο εντοπισμός και η πρόβλεψη του φαινομένου ακόμα και με τη βοήθεια εργαστηριακών μετρήσεων αφού μερικές φορές οι οπές απαιτούν αρκετό χρονικό διάστημα ώστε να αναπτυχθούν και να γίνουν ορατές. Γι' αυτό το λόγο η υποεπιφανειακή βλάβη είναι συνήθως πιο σοβαρή απ' ό τι φαίνεται εξωτερικά.

Η διάβρωση με βελονισμούς μπορεί να θεωρηθεί ως το ενδιάμεσο στάδιο ανάμεσα στην ομοιόμορφη διάβρωση και στην πλήρη παθητικοποίηση όπου συντελείται μηδενική διάβρωση.

Η διάβρωση με βελονισμούς είναι ένα μοναδικό είδος ανοδικής αντίδρασης. Πρόκειται για διαδικασία αυτοκατάλυσης. Αυτό σημαίνει ότι οι διαδικασίες διάβρωσης σε μία οπή δημιουργούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις που είναι ταυτόχρονα και διεγερτικές για τη συνέχεια του φαινομένου. Η γρήγορη διάλυση μετάλλου μέσα στην οπή δημιουργεί περίσσεια θετικών ιόντων $[M^+]$ οπότε ανιόντα χλωρίου $[Cl^-]$ καταφθάνουν στην περιοχή ώστε να διατηρηθεί η ουδετερότητα στο φορτίο. Έτσι, αυξάνεται η συγκέντρωση σε MCl και ως αποτέλεσμα υδρόλυσης η συγκέντρωση σε κατιόντα υδρογόνου $[H^+]$. Τα ιόντα υδρογόνου και χλωρίου διεγείρουν τη διάλυση των περισσότερων μετάλλων και κραμάτων οπότε η διαδικασία της διάβρωσης επιταχύνεται με την πάροδο του χρόνου. Μέσα στην οπή δε συμβαίνει αναγωγή οξυγόνου, αφού η διαλυτότητα του οξυγόνου είναι σχεδόν μηδενική σε συγκεντρωμένα διαλύματα, οπότε η καθοδική αναγωγή του στη γειτονική της οπής επιφάνεια, τείνει να καταστείλει τη διάβρωση. Κατά μία έννοια λοιπόν, η οπή προστατεύει καθοδικά την υπόλοιπη επιφάνεια.



Εικόνα 1.9:Σήμα[12] και μηχανισμός Διάβρωσης με Βελονισμούς

Πρακτικά, οι περισσότερες αστοχίες λόγω διάβρωσης βελονισμού συμβαίνουν λόγω ύπαρξης χλωριόντων που είναι παρόντα σε διάφορους βαθμούς στα περισσότερα υγρά περιβάλλοντα. Επίσης, το φαινόμενο σχετίζεται με λιμνάζοντα νερά και με την ταχύτητα, αυξανόμενης ταχύτητας μειώνεται η επιθετικότητα του φαινομένου. Επιπλέον, τα κράματα ανοξείδωτων χαλύβων είναι τα πιο επιρρεπή σε αυτό το είδος διάβρωσης και γι' αυτό γίνονται διάφορες μελέτες για την αύξηση της αντοχής τους.

Για την εκτίμηση της πυκνότητας των βελονισμών, η επιφάνεια και το βάθος συγκρίνονται με πρότυπους πίνακες διάβρωσης με βελονισμούς. Σημαντική παράμετρος είναι το μέγιστο βάθος των βελονισμών αφού είναι προφανές ότι οι μετρήσεις απώλειας μάζας είναι ανεπαρκείς. Πολύ μικρή απώλεια μάζας που αντιστοιχεί σε λίγους βελονισμούς, μπορεί να προκαλέσει αστοχία εάν αυτοί διεισδύσουν σε όλο το πάχος του μετάλλου.

Προφυλάξεις από το φαινόμενο:

- Αναβάθμιση των υλικών κατασκευής, υπερκραμάτωση συγκολλήσεων και χρήση ανθεκτικών στη διάβρωση κραμάτων.
- Μείωση παραγόντων που αυξάνουν την επιθετικότητα του περιβάλλοντος όπως μείωση συγκέντρωσης χλωριόντων, θερμοκρασίας κ.λ.π.
- Προσοχή κατά το σχεδιασμό ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός λιμνάζοντων νερών
- Υλικά που εμφανίζουν τάση διάβρωσης με βελονισμούς κατά τα διάφορα τεστ, θα πρέπει να αποφεύγονται.

Η προσθήκη αναστολέων πολλές φορές είναι επιβοηθητική αλλά μπορεί να γίνει και επικίνδυνη εάν η επιθετικότητα του περιβάλλοντος δε σταματήσει τελείως.



Εικόνα 1.10: Διάβρωση με βελονισμούς

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.

1.2.2.3 Διάβρωση χαραγής

Πρόκειται για εντοπισμένη μορφή διάβρωσης λόγω εναπόθεσης λάσπης, σκόνης και βρωμιάς στη μεταλλική επιφάνεια ή λόγω ύπαρξης χαραγών, τρυπών και κοιλοτήτων μεταξύ στενά 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. 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.

Οι χαραγές μπορεί να δημιουργηθούν λόγω σχεδιασμού αλλά και λόγω ατελειών στις μεθόδους κατασκευής. Λόγω σχεδιασμού, υπάρχουν στις φλάντζες, στα παρεμβύσματα στεγανοποίησης, στις ροδέλες, κάτω από τα επιστρώματα και τη μόνωση και όπου υπάρχουν επιφάνειες πολύ κοντά προσαρμοσμένες.

Η αντίσταση σε αυτόν τον τύπο διάβρωσης ποικίλει από το ένα σύστημα κράματος – περιβάλλοντος στο άλλο. Αν και επηρεάζει και ενεργά και παθητικά μέταλλα, η διάβρωση είναι πιο σοβαρή στα παθητικά κράματα και ιδίως σε αυτά που ανήκουν στην κατηγορία των ανοξειδωτων χαλύβων. Κατάλυση του παθητικού στρώματος σε περιορισμένη γεωμετρία οδηγεί σε γρήγορη απώλεια μετάλλου σε αυτήν την περιοχή.

Διάφοροι αλληλοσυσχετιζόμενοι μεταλλουργικοί, γεωμετρικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως και οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις, επηρεάζουν και την έναρξη αλλά και τη διάδοση της χαραγής.

Παράγοντες	Τύπος
Γεωμετρικοί	Τύπος χαραγής
	Μέταλλο σε μέταλλο
	Αμέταλλο σε μέταλλο
	Άνοιγμα χαραμάδας
	Βάθος χαραγής
	Λόγος εξωτερικού προς εσωτερικού εμβαδού επιφανείας
Περιβαλλοντικοί	Διάλυμα
	PH
	Περιεχόμενο σε O ₂
	Επίπεδο χλωριώντων
	Θερμοκρασία
	Ταραχές
	Μαζική μεταφορά, μετανάστευση
	Διάχυση, μεταγωγή θερμότητας
	Διάλυμα στη χαραγή, ισοροπία ηλεκτρόλυσης
	Βιολογικές επιδράσεις
Ηλεκτροχημικής δράσης	Διάλυση μετάλλου
	Αναγωγή O ₂
	Οξείδωση H ₂
Μεταλλουργικοί	Σύνθεση κράματος
	Κύρια συστατικά
	Δευτερεύοντα συστατικά
	Ακαθαρσίες

Πίνακας 1.2: Παράγοντες που επηρεάζουν την έναρξη και διάδοση χαραγής

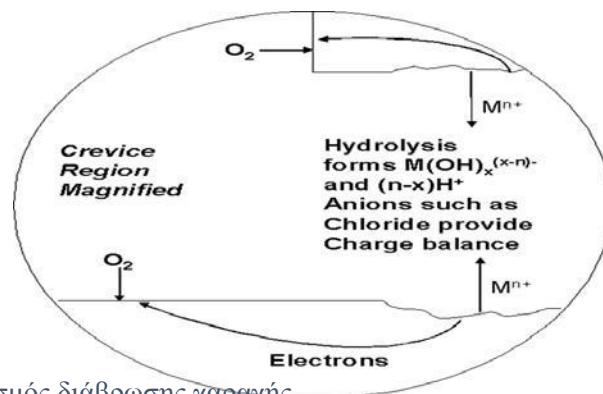
Ο μηχανισμός αυτού του είδους διάβρωσης είναι εξαιρετικά περίπλοκος. Αρχικά, κάνουμε την υπόθεση ότι ένα τμήμα κατασκευής, που αποτελείται από δύο λαμαρίνες του ίδιου μετάλλου M σταθερά προσκολλημένες, είναι βυθισμένο σε θαλασσινό νερό ($\text{PH}=7$), παρουσία οξυγόνου. Η συνολική διαδικασία περιλαμβάνει την οξείδωση του μετάλλου M και την αναγωγή του οξυγόνου στο υδροξείδιό του.

Αρχικά, οι αντιδράσεις αυτές συμβαίνουν ομοιόμορφα σε ολόκληρη την επιφάνεια, περιλαμβάνοντας και το εσωτερικό της χαραγής. Η ισορροπία στο φορτίο διατηρείται και στο μέταλλο και στο διάλυμα. Σύντομα, το οξυγόνο εντός της χαραγής εκλείπει λόγω της περιορισμένης μετάδοσης θερμότητας οπότε η αντίδραση αναγωγής σταματά. Κατ' αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται περίσσεια μεταλλικών κατιόντων που εξισορροπείται από τη μετανάστευση ιόντων χλωρίου. Τα ιόντα υδρολύονται στο νερό οπότε παράγεται υδροχλωρικό οξύ. Το οξύ διατηρεί το PH του διαλύματος μικρότερο του 2 στην περιοχή εντός της χαραμάδας ενώ εκτός διατηρείται ουδέτερη τιμή.



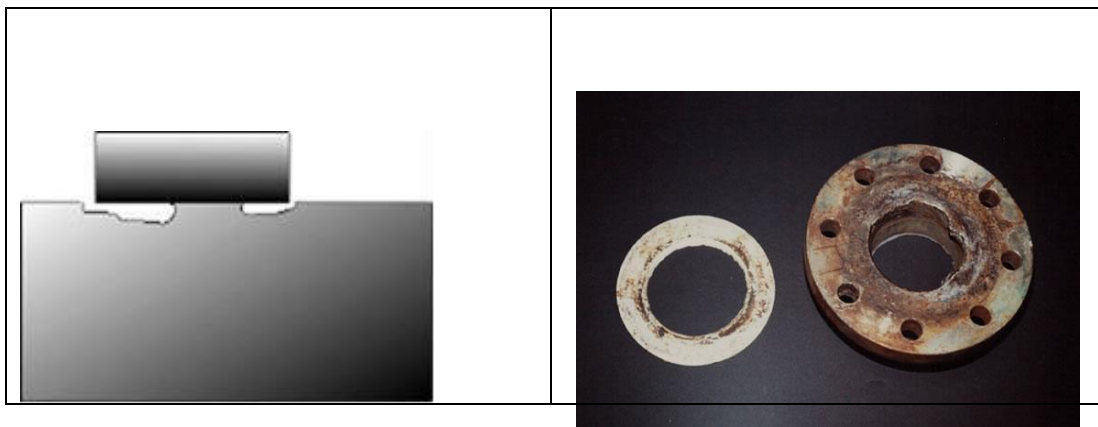
Εικόνα 1.11: Διάβρωση χαραγής

Ο πραγματικός μηχανισμός του φαινομένου όμως, είναι περιπλοκότερος από τον ενοποιημένο μηχανισμό που αναφέρθηκε παραπάνω. Το φαινόμενο είναι ισχυρά απρόβλεπτο λόγω των πολλών παραγόντων από τους οποίους επηρεάζεται. Γι' αυτό είναι σημαντικό να γίνει η αναγνώριση τους ώστε να δοθεί αξιόπιστος μηχανισμός. Η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων βοηθούν αρκετά προς αυτήν την κατεύθυνση.



Εικόνα 1.12: Μηχανισμός διάβρωσης χαραγής

Μια σχισμή ή μια προφυλαγμένη περιοχή μεταλλικής επιφάνειας μπορεί να αποτελέσει συχνά αιτία έντονης εντοπισμένης διάβρωσης εξαιτίας εμφάνισης διαφορετικής συγκέντρωσης μέσα και έξω από αυτή. 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 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 τη διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο διαφορετικών μετάλλων που εκτίθενται στο ίδιο περιβάλλον. Τα ποσοστά διάβρωσης επηρεάζονται από το λόγο επιφανειών ανόδων/καθόδων όπως γίνεται στη γαλβανική διάβρωση. Στη διάβρωση χαραγής, η αντίσταση του ηλεκτρολύτη στη ροή των ιόντων μπορεί επίσης να είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον περιορισμό της διάβρωσης.



Εικόνα 1.13: Διάβρωση χαραγής

Φαινόμενο που σχετίζεται με το είδος αυτό της διάβρωσης είναι ο διαφορικός αερισμός. Αυτή η μορφή διάβρωσης είναι συχνά η δυσκολότερη στο να αποφευχθεί κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και είναι επίσης μια από τις πιο κοινές αιτίες της αστοχίας του ναυτικού εξοπλισμού.

Προφυλάξεις από το φαινόμενο:

- Χρήση συγκολλημένων αρθρώσεων και όχι βιδωτών.
- Αεροστεγές σφράγισμα των χαραγών με χρήση αντιδιαβρωτικών υλικών
- Ελαχιστοποίηση αν δεν είναι δυνατή η εξάλειψη της διάβρωσης χαραγής στο στάδιο σχεδίασης.
- Ελαχιστοποίηση επαφής μετάλλων με πλαστικά, υφάσματα και βρωμιά.
- Ελαχιστοποίηση αιχμηρών γωνιών και σχισμών όπου βρωμιά μπορεί να κατακαθίσει.
- Σε κρίσιμες περιοχές, χρήση οξυγονοκολλημένων επιστρωμάτων από αντιδιαβρωτικά κράματα.

- Χρήση κραμάτων ανθεκτικών σε αυτό το είδος διάβρωσης. Τα κράματα αυτά θα υφίστανται τεστ για λειτουργία σε συγκεκριμένες συνθήκες.
- Απομάκρυνση ιζημάτων κατά καιρούς και επιθεώρηση εξοπλισμού .
- Εφαρμογή καθοδικής προστασίας στον ανοξείδωτο χάλυβα και εφαρμογή επικαλυπτικού.
- Διατήρηση υψηλής ταχύτητας, για θαλάσσια λειτουργία, ώστε να στερεά να μένουν σε απόσταση.

1.2.2.4 Γαλβανική ή διμεταλλική διάβρωση

Μεταξύ διαφορετικών μετάλλων, τα οποία είναι βυθισμένα σε διαβρωτικό ή αγώγιμο διάλυμα, συνήθως εμφανίζεται μια διαφορά δυναμικού. Όταν αυτά τα μέταλλα συνδέονται ηλεκτρικά τότε παρατηρείται ροή ηλεκτρονίων ανάμεσά τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας διάβρωσης του λιγότερο ανθεκτικού στη διάβρωση μετάλλου και την ελάττωση της ταχύτητας διάβρωσης του ανθεκτικότερου ή ευγενέστερου, σε σχέση φυσικά με την αντίστοιχη ταχύτητα ελλείψει ηλεκτρικής επαφής. Το λιγότερο ανθεκτικό μέταλλο γίνεται άνοδος και το περισσότερο ανθεκτικό κάθοδος και διαβρώνεται ελάχιστα η και καθόλου.



Εικόνα 1.14: Γαλβανική/διμεταλλική διάβρωση αρχικό/ προχωρημένο στάδιο

Επειδή σε πραγματικά προβλήματα διάβρωσης δεν υπάρχει ισορροπία των ιόντων των μετάλλων, δεν χρησιμοποιείται ο πίνακας πρότυπου δυναμικού ημιστοιχειών ως προς το πρότυπο ηλεκτρόδιο υδρογόνου αλλά ο πίνακας γαλβανικής σειράς μετάλλων και κραμάτων του εμπορίου στο θαλασσινό νερό. Ο πίνακας αναπτύχθηκε από την εταιρεία ‘International Nickel Company’ με τη διενέργεια πειραμάτων γαλβανικής διάβρωσης σε αμόλυντο θαλασσινό νερό. Ο πίνακας υποδεικνύει τη σχετική ανθεκτικότητα των μετάλλων στη διάβρωση και όχι το δυναμικό τους. Ιδανικά θα πρέπει να πραγματοποιηθούν αντίστοιχα πειράματα σε όλα τα πιθανά περιβάλλοντα και θερμοκρασίες.

Το δυναμικό που αναπτύσσεται στο γαλβανικό κελί μεταξύ των μετάλλων, μεταβάλλεται με την έλευση του χρόνου. Το αναπτυσσόμενο δυναμικό προκαλεί ροή ηλεκτρονίων προς το ανοδικό μέταλλο. Καθώς εξελίσσεται αυτό το φαινόμενο είναι πιθανή η συσσώρευση προϊόντων διάβρωσης είτε στην άνοδο, είτε στην κάθοδο είτε και στα δύο μέταλλα. Αυτή η συσσώρευση μειώνει την ταχύτητα εξέλιξης του φαινομένου.

Στη γαλβανική διάβρωση η πόλωση της καθοδικής αντίδρασης συνήθως κυριαρχεί. Αφού ο βαθμός καθοδικής πόλωσης και η αποτελεσματικότητά της μεταβάλλεται στα διάφορα μέταλλα και κράματα είναι απαραίτητη η γνώση των χαρακτηριστικών πόλωσης πριν γίνει η πρόβλεψη για το μέγεθος της γαλβανικής διάβρωσης για δεδομένο ζεύγος μετάλλων. Για παράδειγμα, το τιτάνιο είναι πολύ ευγενές στο θαλασσινό νερό οπότε, η γαλβανική διάβρωση μετάλλου λιγότερο ανθεκτικού στη διάβρωση στο νερό είναι συνήθως πολύ μικρότερη από την αναμενόμενη. Η αιτία είναι ότι το τιτάνιο πολώνεται καθοδικά στο νερό.

Noble or cathodic	Platinum	
	Gold	
	Graphite (Carbon) (non-metal)	
	Titanium	
	Silver	
	Stainless steel (Type 304)	PASSIVE
	Stainless steel (Type 430)	PASSIVE
	Nickel	PASSIVE
	Silver solders (70% Ag 30% Cu)	
	Monel	
	Bronze	
	Copper	
	Brasses	
	Nickel	
	Tin	
	Lead	
	Lead-tin solders	
	Stainless steel (Type 304; 18% Cr 10% Ni)	ACTIVE
	Stainless steel (Type 430; 18% Cr)	ACTIVE
	Cast iron	
	Mild steel	
	Duralumin (Al with 4½% Cu)	
	Cadmium	
	Aluminium (commercial)	
	Zinc	
Active or anodic	Magnesium	

Πίνακας 1.3: Γαλβανικής Σειράς σε Θαλασσινό Νερό Κατά International Nickel Co

Διάφοροι περιβαλλοντικοί παράγοντες επιδρούν στο φαινόμενο. Για παράδειγμα, γαλβανική διάβρωση δε συμβαίνει όταν υπάρχει πλήρης απουσία υγρασίας αφού δεν υπάρχει ηλεκτρολύτης διαμέσου του οποίου μεταφέρεται το ρεύμα. Στην πράξη, το φαινόμενο επιταχύνεται στην περίπτωση στην περιοχή σύνδεσης των μετάλλων και εξασθενεί όσο απομακρυνόμαστε από αυτό. Επίσης, άλλος σημαντικό παράγοντα αποτελεί ο λόγος ανοδικής προς καθοδικής επιφάνειας με δυσμενέστερη την περίπτωση μικρής ανόδου προς μεγάλη κάθοδο.

Ένα αξίωμα σχετικό με τη γαλβανική διάβρωση είναι το εξής: εάν ένα από τα δύο μέταλλα που είναι σε επαφή πρέπει να βαφεί, αυτό είναι το ευγενέστερο ή ανθεκτικότερο στη διάβρωση. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της εκτιθέμενης επιφάνειας της καθόδου.

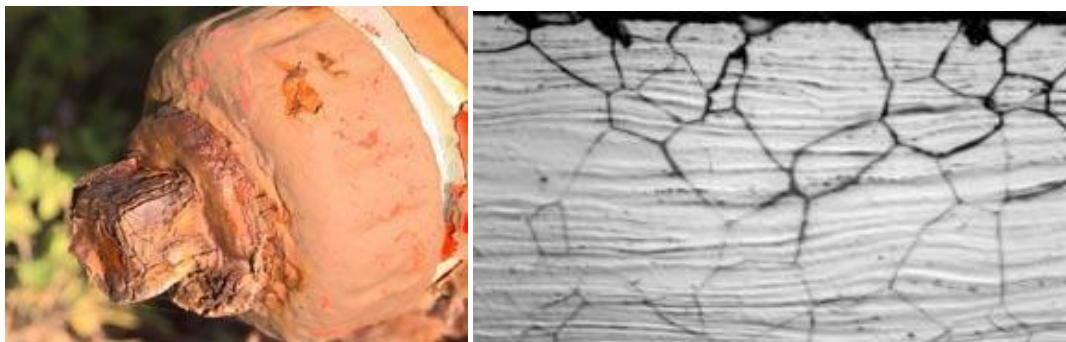
Προφυλάξεις από το φαινόμενο:

- Επιλογή μετάλλων κοντά στον πίνακα γαλβανικής σειράς
- Αποφυγή ανεπιθύμητου λόγου ανόδου προς καθόδου
- Απομόνωση όταν είναι δυνατό των διαφορετικών μετάλλων
- Εφαρμογή προστατευτικών επιστρωμάτων με προσοχή και κατάλληλη συντήρησή τους ειδικά στο ανοδικό μέταλλο.
 - Προσθήκη αναστολέων, όπου αυτό είναι δυνατό, ώστε να μειωθεί η επιθετικότητα του περιβάλλοντος
 - Αποφυγή σπειρωτών ενώσεων για μέταλλα που βρίσκονται μακριά στον πίνακα γαλβανικής σειράς
 - Τα ανοδικά μέρη της κατασκευής πρέπει να σχεδιάζονται είτε παχύτερα, είτε ευκόλως αντικαταστάσιμα.
 - Χρήση τρίτου μετάλλου ανοδικότερου των άλλων δύο
- Μία ευεργετική εφαρμογή της γαλβανικής διάβρωσης είναι η μέθοδος της καθοδικής προστασίας. Στην ουσία μετατρέπεται το προς προστασία μέταλλο σε κάθοδο. Για παράδειγμα, με την επικάλυψη χάλυβα με βαφή που περιέχει ψευδάργυρο, ο ψευδάργυρος λειτουργεί ως θυσιαζόμενη άνοδος. Εάν όμως χρησιμοποιηθεί βαφή τιτανίου, στην περίπτωση διάρρηξης του στρώματος βαφής, η διάβρωση του χάλυβα θα επιταχυνθεί.



Εικόνα 1.15: Γαλβανική διάβρωση (χάλυβας, χαλκός)

1.2.2.5 Περικρυσταλλική διάβρωση



Εικόνα 1.16: (α) Περικρυσταλλική διάβρωση, (β) ανοξειδωτου χάλυβα όπως παρατηρείται στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο.

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.

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

1.2.2.6 Εκλεκτική προσβολή

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.

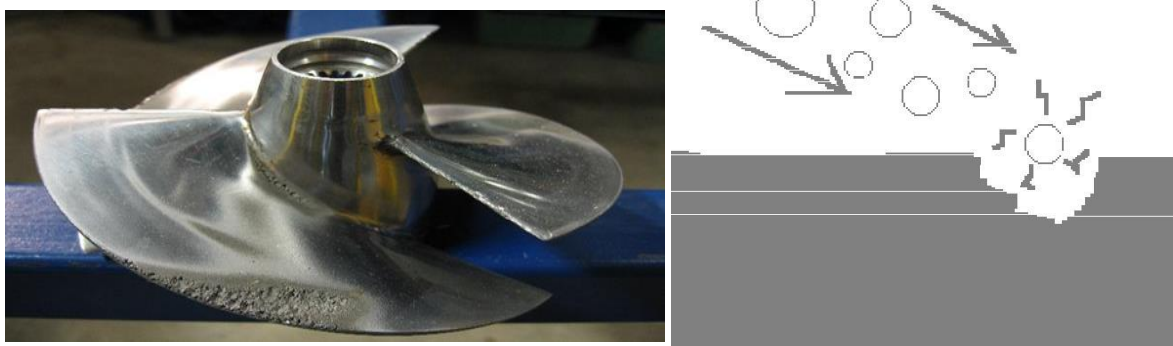
1.2.2.7 Τύποι διάβρωσης που επηρεάζονται από μηχανικούς παράγοντες

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:

Μηχανική δράση ενός υγρού πάνω στο μέταλλο:

α) Διάβρωση εκτριβής ή ρευστού: 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.

β) Σπηλαιώδης διάβρωση: 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 1.17: Σπηλαιώδης διάβρωση

Μηχανική δράση ενός στερεού σώματος στο μέταλλο

Διάβρωση από τριβή: 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 ή μία προς την άλλη.

Μηχανικές δυνάμεις μέσα στο μέταλλο

α) Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση: 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

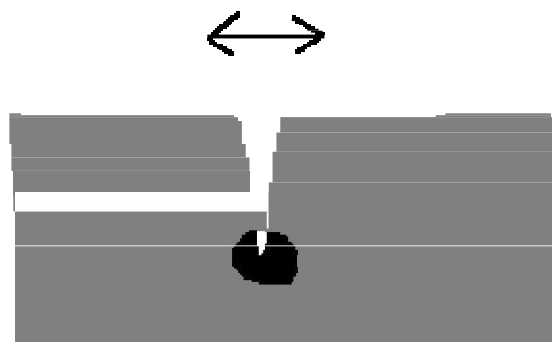
του μετάλλου κάθετα στη διεύθυνση της μηχανικής τάσης, ακολουθώντας περικρυσταλλικό ή ενδοκρυσταλλικό (ευθύ ή διακλαδιζόμενο) δρόμο



Εικόνα 1.19: Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση

β) Βλάβη από υδρογόνο: Προκαλείται από τη ρόφιση υδρογόνου από το μέταλλο χωρίς να υπάρχει δράση διάβρωσης στην επιφάνεια.

γ) Διάβρωση κόπωσης: Είναι η συνδυασμένη δράση διαβρωτικής προσβολής και κυκλικών τάσεων δηλ. γρήγορα εναλλασσόμενων εφελκυστικών και θλιπτικών τάσεων.



Εικόνα 1.19: Διάβρωση κόπωσης

1.2.2.8 Θερμογαλβανική διάβρωση.

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. 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.

1.2.2.9 Βιολογική ή μικροβιολογική διάβρωση.

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.



Εικόνα 1.20:Βακτηριακή διάβρωση

1.2.2.10 Ατμοσφαιρική διάβρωση

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



Εικόνα 1.21 :Ατμοσφαιρική διάβρωση

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.

1.2.2.11 Διάβρωση από ρεύματα διαφυγής.

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.λ.π. 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.

1.2.3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η διάβρωση δεν εξελίσσεται σε όλες τις περιπτώσεις με την ίδια ταχύτητα. Υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες, που ευνοούν την ταχύτερη εξέλιξη της. Η γνώση των παραγόντων αυτών είναι πολύ σημαντική διότι η αποφυγή τους οδηγεί στην σημαντική μείωση της διάβρωσης.

- Η παρουσία υγρασίας στην ατμοσφαιρική διάβρωση. Είναι γενικά γνωστό ότι στην ξηρή ατμόσφαιρα η διάβρωση των μετάλλων ή κραμάτων έχει πολύ μικρή εξέλιξη. Αντίθετα παρουσία υγρασίας η ταχύτητά της αυξάνει σημαντικά. Από την άποψη της ατμοσφαιρικής διάβρωσης το σημαντικό μέγεθος είναι η σχετική υγρασία. Για τον χάλυβα είναι η ταχύτερη αύξηση της διάβρωσης πραγματοποιείται πάνω από 60 % υγρασία.

- Η θερμοκρασία. Η αύξηση της θερμοκρασίας γενικά αυξάνει την ταχύτητα της διάβρωσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 βαθμούς αυξάνει στο διπλάσιο την ταχύτητα διάβρωσης. Η επίδραση αυτή οφείλεται στην γενική αύξηση της κινητικότητας των ατόμων και μορίων με την αύξηση της θερμοκρασίας.

- Η τριεπιφάνεια. Γενικά η ύπαρξη τριεπιφάνειας επιτείνει την διάβρωση. Αυτό παρατηρείται στην τριεπιφάνεια νερού-αέρα-μέταλλου, χάλυβα-σκυροδέματος-αέρα κ.λ.π.

- Η τιμή του pH. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του pH τόσο μεγαλύτερη είναι η διάβρωση. Η διάβρωση του χάλυβα είναι μικρή σε pH 7 ή μεγαλύτερο ενώ σε μικρότερα pH η διάβρωση λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές και για pH μικρότερο από 4,5 η ταχύτητα διάβρωσης είναι μεγάλη. Για την πλήρη εκτίμηση του γεγονότος αυτού πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το pH της βροχής σήμερα στην κεντρική Ευρώπη έχει την τιμή 4,5 και σε βιομηχανικές περιοχές (τοπικά) έχει ακόμη την τιμή 2,5 (φαινόμενο της όξινης βροχής). Η όξινη βροχή έχει προκαλέσει σημαντική αύξηση της διάβρωσης των μεταλλικών κατασκευών, αλλά και των κατασκευών από σκυρόδεμα. Τελικά η βροχή πέφτει στο έδαφος, οπότε τα χαρακτηριστικά του εδάφους (τουλάχιστον τα επιφανειακά) μεταβάλλονται με άμεση συνέπεια την αύξηση της διάβρωσης.

- Οι μηχανικές τάσεις. Η ύπαρξη των μηχανικών τάσεων αυξάνει γενικά την ταχύτητα της διάβρωσης. Κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να προκαλέσει και την θραύση του μεταλλικού στοιχείου (διάβρωση με μηχανική καταπόνηση που οδηγεί σε ψαθυρή θραύση).

- Οι μηχανικές ανωμαλίες στην επιφάνεια της μεταλλικής κατασκευής. Γενικά προεξοχές, γωνίες, τσακίσματα υφίστανται μεγαλύτερη διάβρωση από τα γειτονικά σημεία. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει τα κομμάτια των μεταλλικών κατασκευών θα πρέπει να έχουν το κατάλληλοι σχήμα..

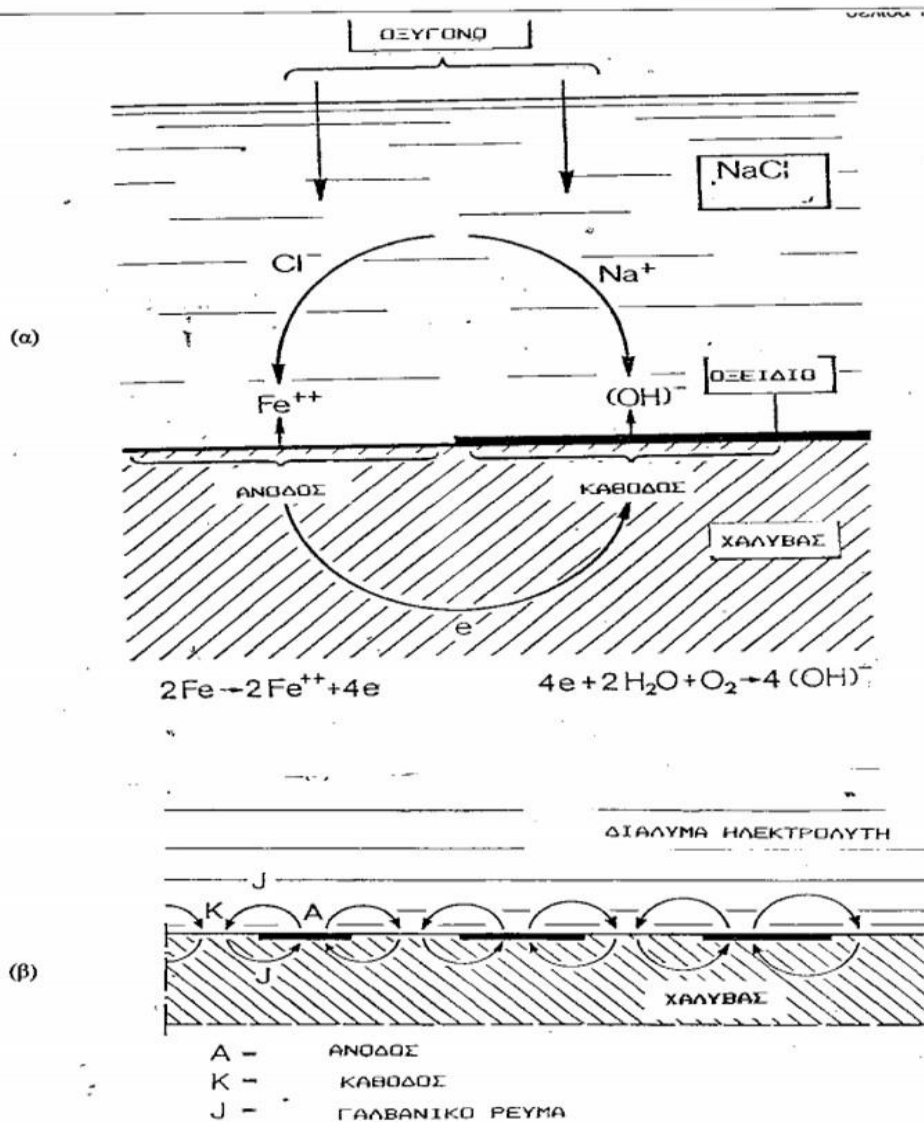
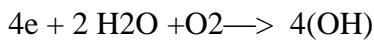
- Τα διαφεύγοντα ρεύματα. Έχει παρατηρηθεί ότι η ύπαρξη διαφυγόντων ρευμάτων αυξάνει γενικά την διάβρωση. Καταρχήν το συνεχές ρεύμα προκαλεί αύξηση της διάβρωσης ενώ το εναλλασσόμενο όχι. Όμως συχνά τα προϊόντα της διάβρωσης είναι ημιαγωγοί και προκαλούν μερική ανόρθωση του ρεύματος με συνέπεια την αύξηση της διάβρωσης.

1.2.4. Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΜΙΚΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ

Η θεωρία των μικτών δυναμικών δίνει μία εξήγηση της διάβρωσης των μετάλλων ή κραμάτων με ένα παραστατικό τρόπο. Η όλη διαδικασία εμφανίζεται στο σχήμα 1. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή ένα τμήμα της επιφάνειας του μετάλλου ή κράματος λειτουργεί σαν άνοδος ενώ ένα άλλο τμήμα λειτουργεί σαν κάθοδος. Εφόσον εξετάζουμε την διάβρωση του χάλυβα, ή δράση στην άνοδο θα είναι η ανοδική διάλυση του σιδήρου:



Σε μία διπλανή περιοχή, η οποία συμπεριφέρεται σαν κάθοδος το οξυγόνο, που προέρχεται από την διάχυση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας, μετατρέπεται σε υδροξύλιο κατά την αντίδραση:



Σχήμα 1 Η διάβρωση του χάλυβα σύμφωνα με την θεωρία των μικτών δυναμικών.

Τα αναγκαία για την αντίδραση αυτή ηλεκτρόνια προέρχονται από την μετακίνηση των 4 ηλεκτρονίων της ανοδικής διάλυσης των δύο ατόμων του σιδήρου μέσω του μετάλλου. Με τον τρόπο αυτό συνεχίζεται η διάλυση του σιδήρου στην άνοδο ενώ συνεχώς παράγεται ποσότητα υδροξυλίων στην κάθοδο. Η θεωρία αυτή εξηγεί γιατί μπορεί ένα χαλυβδόφυλλο να τρυπήσει σε ένα ορισμένο σημείο ενώ η γειτονική του περιοχή να είναι σχεδόν άθικτη.

Φυσικά στην επιφάνεια ενός χαλυβδόφυλλου δεν υπάρχει μόνο μία άνοδος και μία κάθοδος αλλά πολλές, όπως δείχνει το σχήμα 1β.

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται όπου υπάρχει υγρό διαβρωτικό περιβάλλον, ακόμη και σε μία σταγόνα θαλασσινού νερού πάνω στην επιφάνεια χάλυβα όπως δείχνει το σχήμα 2 ή κάτω από την σκουριά στην περίπτωση της ατμοσφαιρικής διάβρωσης όπως δείχνει το σχήμα 3. Στο σχήμα 2 στην σταγόνα του θαλασσινού νερού έχει προστεθεί δείκτης φαινολοφθαλείνη, η οποία με το ερυθρό της χρώμα δείχνει τον σχηματισμό υδροξυλίων και σιδηροκυανιούχο κάλιο του οποίου ο γαλάζιος χρωματισμός δείχνει την διάλυση του σιδήρου και κατά συνέπεια τον σχηματισμό ιόντων σιδήρου. Μετά την πάροδο μικρού χρόνου από την εναπόθεση της σταγόνας στην επιφάνεια του χαλυβδόφυλλου αρχίζει το εσωτερικό τμήμα της σταγόνας να χρωματίζεται μπλε ενώ το εξωτερικό κόκκινο. Αυτό εξηγείται με την διάλυση του σιδήρου στο εσωτερικό της σταγόνας ενώ στο εξωτερικό τμήμα της σταγόνας επέρχεται κόκκινη χρώση λόγω του σχηματισμού του υδροξυλίου. Στο εσωτερικό του χαλυβδόφυλλου υπάρχει μετατόπιση ηλεκτρονίων από την άνοδο (κέντρο της σταγόνας) στην κάθοδο (περιφέρεια της σταγόνας). Η όλη διαδικασία επεξηγείτε πλήρως από την θεωρία των μικτών δυναμικών.

Στο σχήμα 3 εικονίζεται η διαδικασία διάβρωσης στην περιοχή κάτω από μία ήδη σχηματισμένη ποσότητα σκουριάς. Στον πυθμένα της σκουριάς, μέσα στους πόρους υπάρχει ποσότητα νερού (από τις ώρες χαμηλής θερμοκρασίας της ημέρας) έστω και εάν η σχετική υγρασία είναι χαμηλή. Στον πυθμένα ο σίδηρος διαλύεται ανοδικά ενώ στην περιφέρεια της κοιλότητας σχηματίζονται υδροξύλια. Η παρουσία θεικών ιόντων, από τον ρύπο του διοξειδίου του θείου, διευκολύνει την ανοδική διάλυση με σχηματισμό θεικού σιδήρου σαν ενδιάμεσο προϊόν. Στην συνέχεια σχηματίζεται υδροξείδιο του σιδήρου ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), υδρόξυ οξείδιο του σιδήρου (FeOOH) και τελικά οξείδιο του σιδήρου. Η διαδικασία της διάβρωσης συνοδεύεται με μετακίνηση ηλεκτρονίων από την άνοδο στην κάθοδο.

Η ύπαρξη ανόδου-καθόδου δημιουργεί ένα δυναμικό γαλβανικού στοιχείου που συχνά αποκαλείται δυναμικό διάβρωσης. Η ύπαρξη του δυναμικού αυτού, που στην ουσία είναι η κινητήρια δύναμη της διάβρωσης δίνει σε αυτήν τον ηλεκτροχημικό χαρακτήρα και υποδεικνύει τρόπους προστασίας όπως η καθοδική προστασία. Ακόμη πρέπει να σημειωθεί το γεγονός ότι η διάβρωση ενός ατόμου σιδήρου συνοδεύεται από μετακίνηση δύο ηλεκτρονίων. Επομένως το ποσόν της σχηματιζόμενης σκουριάς και η ποσότητα των ηλεκτρονίων δηλαδή το ηλεκτρικό φορτίο αποτελούν ευθέως ανάλογα μεγέθη. Εάν διαιρέσουμε με τον χρόνο προκύπτει ότι η ποσότητα των προϊόντων διάβρωσης προς τον χρόνο που σχηματίστηκαν είναι ανάλογο μέγεθος με το φορτίο δια του χρόνου δηλαδή την ένταση του ρεύματος του γαλβανικού στοιχείου. Όλα αυτά εκφράζονται με τον γνωστό νόμο του Faraday. Σύμφωνα με αυτόν το ποσόν της σχηματιζόμενης σκουριάς σε γραμμάρια β είναι ίσον με :

$$\beta = I \cdot t \cdot M / n \cdot F$$

όπου I = ένταση του ρεύματος

M = μοριακό βάρος προϊόντος διάβρωσης

n = αριθμός ανταλλασσομένων ηλεκτρονίων

F = σταθερά του Faraday.

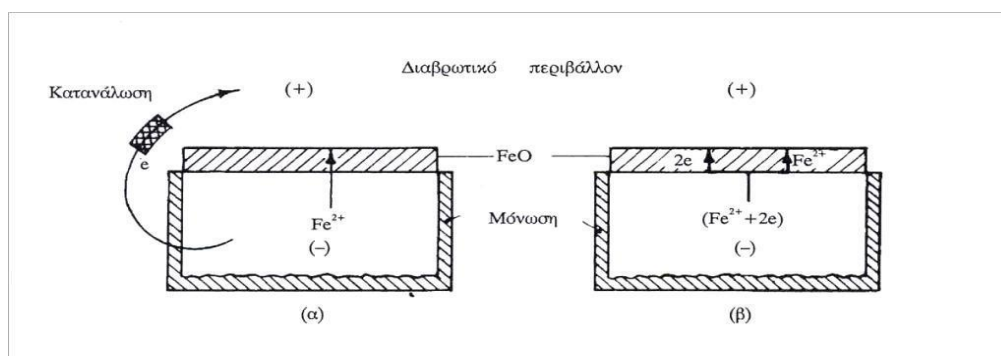
Ακόμη το δυναμικό και η ένταση του ρεύματος συνδέονται με τον νόμο του ohm:

$$V = I.R$$

Επομένως η ένταση του ρεύματος θα είναι μεγαλύτερη όσο το δυναμικό είναι μεγαλύτερο. Αντίθετα όσο η αντίσταση στην ροή των ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη τόσο η ένταση του ρεύματος διάβρωσης θα είναι μικρότερη. Όμως η ροή των ηλεκτρονίων θα πρέπει να συσχετισθεί με την κίνηση των ιόντων στο διαβρωτικό περιβάλλον, μια και οι αποδέκτες των ηλεκτρονίων είναι τα ιόντα (σιδήρου και υδροξυλίου στην περίπτωση του χάλυβα). Συνεπώς η παρεμπόδιση της μετακίνησης των ιόντων στο διαβρωτικό περιβάλλον έχει επιβραδυντική επίδραση στην διάβρωση. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την δυνατότητα μετακίνησης των ιόντων και συνήθως αυξάνει την διαλυτότητα των προϊόντων της διάβρωσης. Για τους λόγους αυτούς η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα της διάβρωσης.

1.2.5 ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ WAGNER

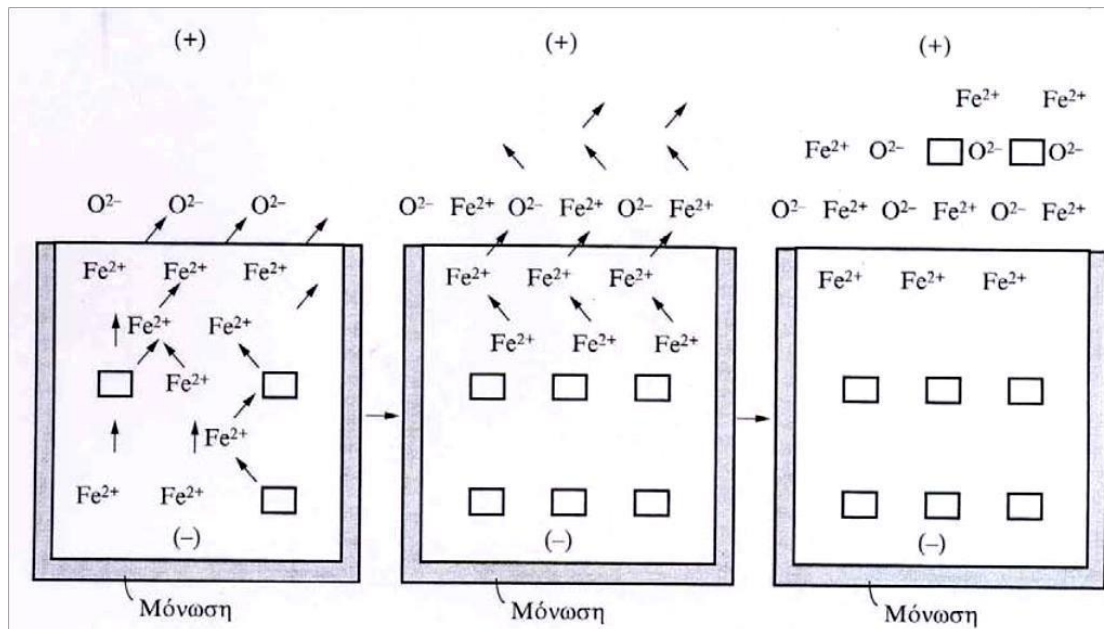
[16] Όπως προαναφέραμε μεταξύ του μετάλλου και του διαβρωτικού περιβάλλοντος δημιουργείται γαλβανικό στοιχείο, με το μέταλλο να αποτελεί την άνοδο, το περιβάλλον την κάθοδο και ηλεκτρολύτη το προϊόν της διάβρωσης. Το δυναμικό του γαλβανικού αυτού στοιχείου επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρονίων από τον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



Εικόνα 1.22: Όδευση ηλεκτρονίων σε εσωτερικά βραχυκυκλωμένο γαλβανικό στοιχείο

Αριθμός μεταλλικών ιόντων στο μέταλλο και στο προϊόν διάβρωσης μετατοπίζεται σε παραπλεγματικές άτακτες θέσεις. Τα θετικά ιόντα σε άτακτες θέσεις είναι ευκίνητα και υπακούοντας στους νόμους των γαλβανικών στοιχείων, που επιβάλλει την κίνηση των θετικών ιόντων προς τον θετικό πόλο, διαχέονται προς το διαβρωτικό περιβάλλον μέσα από τις άτακτες θέσεις του οξειδίου και στην επιφάνειά

του δομούν νέο οξείδιο. Επομένως κατά τη διάβρωση δημιουργείται ένα εσωτερικά βραχυκυκλωμένο γαλβανικό στοιχείο, κι αυτό επειδή δεν υπάρχει εξωτερική κατανάλωση τα ηλεκτρόνια οδεύουν προς το θετικό πόλο εσωτερικά.



Εικόνα 1.23:: Κατά Wagner μηχανισμός αύξησης του πάχους του προϊόντος διάβρωσης.

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

$$y^3 = Kt$$

όπου y : το πάχος των προϊόντων της διάβρωσης, K : σταθερή της ταχύτητας

και t : χρόνος.

Για πάχος πάνω από 1000 Å ισχύει η σχέση:

$$y^2 = Kt \quad (3.2)$$

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

Η σταθερά της ταχύτητας δίνεται από τη σχέση:

$$K = \frac{2 \cdot E_d \cdot \mu'_+ \cdot \mu'_e \cdot u \cdot VM}{ne \cdot F'} \quad (3.3)$$

όπου E_d το δυναμικό διάβρωσης, μ'_+ ο αριθμός μεταφοράς ιόντων του μετάλλου, με ο αριθμός μεταφοράς ηλεκτρονίων, u η ολική ειδική αγωγιμότητα, VM ο μοριακός

όγκος του οξειδίου, η ο αριθμός ηλεκτρονίων που ανταλλάσσονται ανά γραμμοϊόν ηλεκτρονίων και η σταθερά $F' = 96500 \text{ Cb}$.

Η ταχύτητα της διάβρωσης[17]

1. Η ταχύτητα της διάβρωσης r_1 δίνεται από το λόγο της μεταβολής του πάχους dh του διαβρωμένου τμήματος του μεταλλικού αντικειμένου προς το χρονικό διάστημα dt στο οποίο αυτή επιτυγχάνεται.

$$r_1 = dh / dt$$

2. Η ταχύτητα της διάβρωσης r_2 δίνεται από το λόγο της απώλειας της μάζας dm του διαβρωμένου μεταλλικού αντικειμένου προς το χρονικό διάστημα dt στο οποίο αυτή επιτυγχάνεται.

$$r_2 = dm / dt$$

Για μικρά πάχη ομοιόμορφα διαβρωμένου μεταλλικού αντικειμένου ισχύει κατά προσέγγιση η ακόλουθη σχέση:

$$m = \rho \cdot S \cdot h$$

όπου:

m = η μάζα του διαβρωμένου τμήματος του μεταλλικού αντικειμένου

ρ = η πυκνότητα του μεταλλικού αντικειμένου

S = η επιφάνεια διάβρωσης του μεταλλικού αντικειμένου

h = το πάχος του διαβρωμένου τμήματος του μεταλλικού αντικειμένου

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

$$r_2 = dm / dt = \rho \cdot S \cdot (dh / dt) = \rho \cdot S \cdot r_1$$

Η ταχύτητα της διάβρωσης θα δίνεται από την ακόλουθη γενική σχέση:

$$r = dy / dt$$

όπου r = η ταχύτητα της διάβρωσης του μεταλλικού αντικειμένου

dy = η μεταβολή της μάζας ή του πάχους του διαβρωμένου τμήματος του μεταλλικού αντικειμένου

dt = το χρονικό διάστημα εντός του οποίου επήλθε η μεταβολή dy

Δεν υπάρχει ένας γενικός νόμος που να δίνει τη ταχύτητα της διάβρωσης όλων των μετάλλων συναρτήσει του χρόνου. Σε μερικές περιπτώσεις η ταχύτητα διάβρωσης παραμένει σταθερή, σε άλλες μειώνεται και σε άλλες αυξάνει συναρτήσει του χρόνου.

Εάν είναι γνωστή η ταχύτητα $r(t)$ της διάβρωσης ενός μεταλλικού αντικειμένου συναρτήσει του χρόνου, τότε προκύπτει η σχέση $dy = r(t) \cdot dt$, η οποία με ολοκλήρωση, για y από 0 έως y και για t από 0 έως t , δίνει μια σχέση της μορφής $y = y(t)$.

Η σχέση αυτή δείχνει το πόσο έχει προωθηθεί η διάβρωση του μεταλλικού αντικειμένου από το χρόνο έναρξης μέχρι τη χρονική στιγμή t . Αντίστροφα, αν είναι γνωστή η σχέση $y = y(t)$, τότε με βάση τη σχέση $r = dy / dt$ μπορεί να προσδιοριστεί η ταχύτητα της διάβρωσης.

Η μορφή του μαθηματικού μοντέλου $y = y(t)$ εξαρτάται από τη φύση του μεταλλικού αντικειμένου και από τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο βρίσκεται.

1.2.6 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

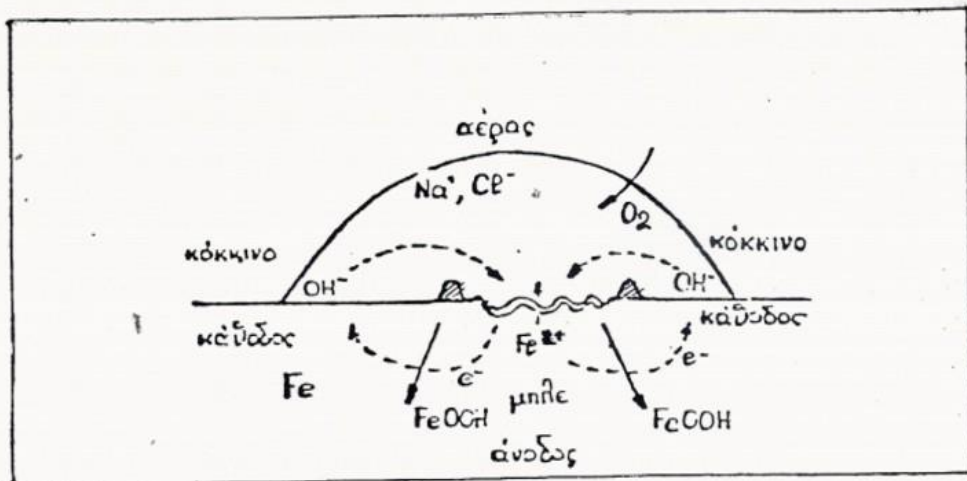
Η αντιδιαβρωτική προστασία μιας μεταλλικής κατασκευής αρχίζει από τον σχεδιασμό της. Ο σχεδιασμός πρέπει να φροντίζει ώστε οι παράγοντες που ευνοούν την διάβρωση να έχουν ελαχιστοποιηθεί. Πολλές φορές όμως αυτό δεν αρκεί. Επομένως πρέπει να ληφθούν μέτρα αντιδιαβρωτικής προστασίας. Τα μέτρα της αντιδιαβρωτικής προστασίας εξαρτώνται από το είδος του μετάλλου ή κράματος και το περιβάλλον του. Στην περίπτωση των μεταλλικών κατασκευών κτιρίων τα μέταλλα είναι χάλυβας, αλουμίνιο κατά κύριο λόγο και χαλκός. Το περιβάλλον είναι το ατμοσφαιρικό (φυσικό ή τεχνητό). Τα μέτρα προστασίας τα οποία λαμβάνονται σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η επικάλυψη με ανόργανες ή οργανικές επικαλύψεις.

Όσον αφορά το αλουμίνιο η αντιδιαβρωτική του προστασία εξειδικεύεται με την μέθοδο της ανοδικής οξείδωσης (ανόργανη επικάλυψη) ή με την μέθοδο της ηλεκτροστατικής βαφής (οργανική επικάλυψη).

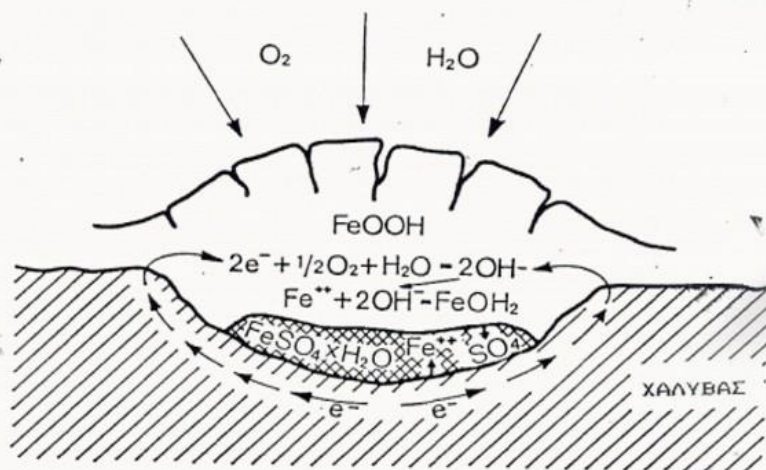
Όσον αφορά τον χάλυβα δύο είναι οι συνηθισμένοι μέθοδοι προστασίας. Η πρώτη μέθοδος είναι η ανόργανη επικάλυψη με ψευδάργυρο. Η δεύτερη είναι η μέθοδος των οργανικών επικαλύψεων (βερνίκια ή χρώματα). Δεν αποκλείεται όμως και ο συνδυασμός των δύο αυτών μεθόδων. Δηλαδή να προηγηθεί επιψευδαργύρωση και να ακολουθήσει η επικάλυψη με οργανικές επικαλύψεις. Και στις δύο περιπτώσεις πριν την εφαρμογή των επιστρωμάτων (οργανικών ή ανόργανων) πρέπει απαραίτητως να έχει προηγηθεί η προκατεργασία της επιφάνειας του χάλυβα ώστε αυτός να μην έχει οξείδια, λίπη, λάδια ή άλλες ουσίες οι οποίες παρεμποδίζουν την επικάλυψη.

1.2.6.1 Η Προκατεργασία της Επιφάνειας

Οι επιφάνειες του χάλυβα που πρόκειται να προστατευθούν πρέπει να έχουν καθαρισθεί επιμελώς από οξείδια, λίπη, έλαια, παλαιότερες βαφές και γενικά από κάθε ουσία η οποία μπορεί να ελαττώσει την συνάφεια του χάλυβα με την αντιδιαβρωτική επικάλυψη.



Σχήμα 2. Η διάβρωση του χάλυβα σε μία σταγόνα διαλύματος NaCl. (δείκτης Ferroxyl)



Σχήμα 3 Η ατμοσφαιρική διάβρωση του χάλυβα κάτω από ήδη σχηματισμένη σκουριά.

Ο καθαρισμός της επιφάνειας μπορεί να γίνει με μηχανικό (συρματόβουρτσες, δίσκοι με γυαλόχαρτα, αμμοβολή) ή με χημικό τρόπο. Ο χημικός τρόπος περιλαμβάνει τον εμβαπτισμό του μετάλλου ή κράματος σε κατάλληλο λουτρό ή λουτρά ώστε η επιφάνεια να καθαρισθεί πλήρως.

Συνήθως για μικρές επιφάνειες ο καθαρισμός γίνεται με μηχανικό τρόπο (συρματόβουρτσες, γυαλόχαρτα) ενώ για μεγάλες επιφάνειες γίνεται αμμοβολή. Η αμμοβολή γίνεται με εκτόξευση ειδικών άμμων στην επιφάνεια του μετάλλου με την βοήθεια πεπιεσμένου αέρα και ειδικών επιστομιών. Ανάλογα την κοκκομετρία της άμμου επιτυγχάνεται διαφορετικό αποτέλεσμα. Η όλη διαδικασία της αμμοβολής χαρακτηρίζεται από σημαντικά προβλήματα υγιεινής και ασφάλειας αλλά και από προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος. Για τον λόγο αυτό πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένα συνεργεία.

Ο χημικός καθαρισμός της επιφάνειας γίνεται με εμβάπτιση σε ειδικά λουτρά συνήθως από οξέα (υδροχλωρικό οξύ) όπου το χαλύβδινο στοιχείο παραμένει κάποιο χρονικό διάστημα που εξαρτάται από το απαιτούμενο βάθος καθαρισμού. Δεν αποκλείεται η εμβάπτιση και σε δεύτερο λουτρό ανάλογα το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα.

Μια ενδιαφέρουσα παραλλαγή είναι η εμβάπτιση σε διάλυμα φωσφορικού οξέος όπου πραγματοποιείται η λεγόμενη φωσφάτωση, κατά την οποία η επιφάνεια του χάλυβα καλύπτεται από λεπτό στρώμα φωσφορικών ενώσεων. Το λεπτό αυτό στρώμα συνεισφέρει σημαντικά στην πολύ καλή συνάφεια χάλυβα και επιστρώματος.

Η επιφάνεια του χάλυβα μετά τον καθαρισμό είναι ευαίσθητη στην διάβρωση. Για τον λόγο αυτό μετά τον καθαρισμό σε σύντομο χρονικό διάστημα πρέπει να ακολουθήσει η επιψευδαργύρωση ή η κάλυψη με κάποιο οργανικό επίστρωμα. Πολλές φορές μετά τον καθαρισμό εφαρμόζεται ένα πρώτο χέρι χρώματος (αστάρι) που προστατεύει ικανοποιητικά τον χάλυβα για τον χρόνο αποθήκευσης μέχρι την τοποθέτηση του και στην συνέχεια μετά την τοποθέτηση εφαρμόζονται ακόμη δύο χέρια χρώματος.

1.2.6.2. Η Επιψευδαργύρωση ή Γαλβανισμός

Η επιψευδαργύρωση ή γαλβανισμός γίνεται μετά τον καθαρισμό της επιφάνειας του χάλυβα με εμβάπτιση σε λουτρό λειωμένου ψευδαργύρου (θερμοκρασία υψηλότερη από τους 520 °C. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα (πάχους 5-15 μm) από κράμα σιδήρου-ψευδαργύρου πάνω από το οποίο σχηματίζεται στρώμα καθαρού ψευδαργύρου. Ανάλογα τον χρόνο εμβάπτισης μεταβάλλεται και το πάχος του στρώματος ψευδαργύρου.

Γενικά το πάχος του ψευδαργύρου δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 80 μm ενώ για διαβρωτικότερα περιβάλλοντα μπορεί να φθάσει τα 180 μm.

Εκτός της εν θερμώ επιψευδαργύρωσης ή γαλβανισμού υπάρχει η μέθοδος της επικάλυψης της επιφάνειας του χάλυβα με εξάχνωση ψευδαργύρου υπό κενό. Στην μέθοδο αυτή ο χάλυβας δεν θερμαίνεται.

Πολλές φορές ο χάλυβας καλύπτεται μετά τον καθαρισμό με χρώμα (αστάρι) που περιέχει σκόνη ψευδαργύρου. Η μέθοδος αυτή συχνά ονομάζεται «ψυχρό γαλβάνισμα». Στην πραγματικότητα όμως η μέθοδος αυτή συμπεριλαμβάνεται στην μέθοδο με οργανικές επικαλύψεις.

1.2.6.3. Η Βαφή με Οργανικές Επικαλύψεις ή Χρώματα

Εναλλακτική λύση στην επιψευδαργύρωση ή γαλβανισμό αποτελεί η βαφή με οργανικές επικαλύψεις ή χρώματα. Βασικά η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός χεριού από χρώμα που ονομάζεται αστάρι ή πράϊμερ. Στην συνέχεια εφαρμόζονται δύο χέρια χρώματος. Όπως ήδη έχει λεχθεί μπορεί το αστάρι να έχει εφαρμοσθεί στο εργοστάσιο των χαλύβδινων εξαρτημάτων και τα υπόλοιπα δύο χέρια χρώματος μπορούν να γίνουν στο εργοτάξιο. Ακόμη υπενθυμίζεται ότι η κάλυψη με αστάρι που περιέχει σκόνη ψευδαργύρου στην πράξη ονομάζεται «ψυχρό γαλβάνισμα». Και αυτό το αστάρι πρέπει να καλυφθεί με δύο χέρια χρώματος.

Τονίζεται ότι συχνά τα χρώματα απαιτείται να καλύψουν τόσο την αντιδιαβρωτική προστασία όσο και την καλή αισθητική εμφάνιση. Στην περίπτωση αυτή η επιλογή των χρωμάτων πρέπει να είναι ιδιαίτερα επιμελημένη.

Ακόμη πρέπει να λεχθεί ότι τα χρώματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Τα χρώματα ενός συστατικού
- Τα χρώματα δύο συστατικών.

Τα χρώματα ενός συστατικού ευρίσκονται σε ένα μόνο δοχείο. Κατά την εφαρμογή τους μπορεί να αραιωθούν από κατάλληλο διαλυτικό. Ο σχηματισμός του στερεού στρώματος χρώματος πραγματοποιείται με εξάτμιση των διαλυτικών. Αντίθετα τα χρώματα δύο συστατικών ευρίσκονται σε δύο δοχεία. Το ένα περιέχει το κάθε αυτό χρώμα και το δεύτερο το σκληρυντή. Για να εφαρμοσθεί το χρώμα απαιτείται ανάμιξη και των δύο δοχείων. Το χρώμα χωρίς το σκληρυντή δεν στεγνώνει. Μόλις τα δύο δοχεία αναμιχθούν το χρώμα πρέπει να χρησιμοποιηθεί εντός ορισμένου χρόνου, ο οποίος ανέρχεται στις 6 ώρες για τους 25 °C. Υψηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν τον χρόνο ενώ χαμηλότερες των αυξάνουν. Ο σχηματισμός του στερεού στρώματος του χρώματος πραγματοποιείται με χημική αντίδραση.

Μεταξύ των δύο κατηγοριών χρωμάτων υπάρχει σημαντική διαφορά ως προς την αντοχή στην διάβρωση και στην αντοχή σε επιδράσεις διαβρωτικών χημικών. Η αντοχή των χρωμάτων δύο συστατικών είναι σαφώς καλύτερη και πρέπει να προτιμώνται σε περιπτώσεις έντονου διαβρωτικού περιβάλλοντος.

1.2.6.4 Η Επιλογή των Μέτρων Προστασίας

Προκειμένου να επιτευχθεί ο προβλεπόμενος χρόνος ζωής της κατασκευής πρέπει να γίνει μια σωστή επιλογή των μέτρων προστασίας. Η επιλογή των μέτρων προστασίας πρέπει να ακολουθεί τους ακόλουθους κανόνες:

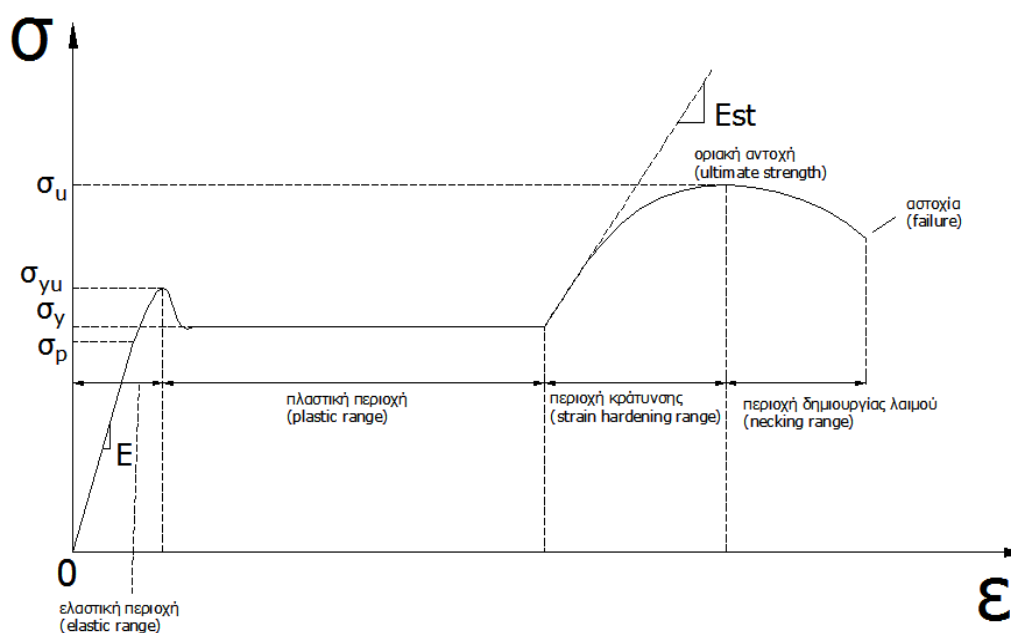
- Η επιψευδαργύρωση παρουσιάζει καλή συμπεριφορά σε ατμοσφαιρική διάβρωση. Σε υγρές κλιματολογικές συνθήκες πρέπει να προτιμάται η διπλή επιψευδαργύρωση.
- Σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα πρέπει να προτιμάται η μέθοδος των οργανικών επικαλύψεων.
- Σε ιδιαίτερα έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα .η όταν συνυπάρχουν και ατμοί οργανικών ενώσεων πρέπει να προτιμώνται χρώματα δύο συστατικών.

Πρέπει ακόμη να λεχθεί ότι η μέθοδος της αντιδιαβρωτικής προστασίας με οργανικές επικαλύψεις συνδυάζεται επιτυχώς με την πυροπροστασία με διογκούμενα χρώματα

1.3 ΘΛΙΨΗ

1.3.1 Δοκιμή σε θλίψη[13]

Η χρησιμοποίηση των υλικών στις διάφορες κατασκευές προϋποθέτει τη γνώση της συμπεριφοράς τους σε εφελκυσμό - θλίψη. Για την πληρέστερη κατανόηση της συμπεριφοράς των υλικών σε εφελκυσμό, απαιτείται η εκτέλεση ενός πρότυπου πειράματος εφελκυσμού μέχρι τη θραύση του δοκιμίου (που συνήθως έχει κυκλική διατομή), η σχεδίαση της καμπύλης μεταβολής της τάσης σ σε συνάρτηση με την ανηγμένη επιμήκυνση ϵ και ακολούθως η εξαγωγή συμπερασμάτων από την καμπύλη αυτή.

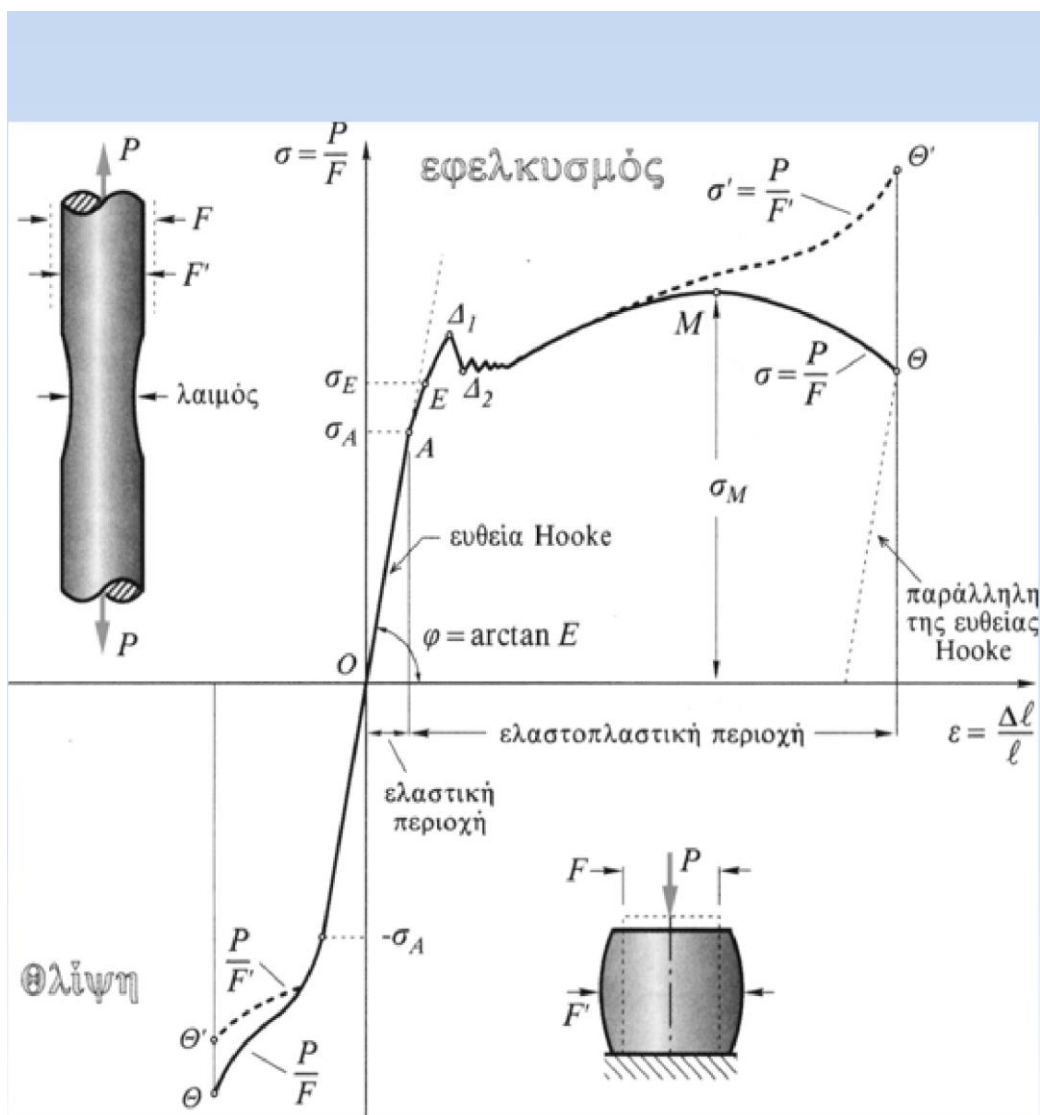


Σχηματική αναπαράσταση της καμπύλης τάσεων-ανηγμένων παραμορφώσεων του δομικού χάλυβα

Σχήμα 1.4: Σχηματική παράσταση τάσεων – παραμορφώσεων

Η δοκιμή σε θλίψη χρησιμεύει για τον καθορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών τιμών σε θλιπτική φόρτιση. Σε μία μηχανή δοκιμών γενικής χρήσεως φορτίζεται ένα δοκίμιο με μία θλιπτική δύναμη F , η οποία αυξάνεται σιγά-σιγά, έως ότου αυτό εμφανίσει ρωγμές χρησιμοποιούνται κυλινδρικά δοκίμια με διάμετρο 10 mm έως 30 mm, ενώ το ύψος είναι ίσο με το 1,5 της διαμέτρου. Ανάλογα με το υλικό, η μορφή των θλιπτικών δοκιμίων στο τέλος της δοκιμής είναι διαφορετική. Τα σκληρά - ψαθυρά υλικά, π.χ. ο χυτοσίδηρος ή ο βαμμένος χάλυβας, θραύονται σε πολλά μεγάλα κομμάτια. Τα συνεκτικά υλικά, π.χ. άβαφος χάλυβας παραμορφώνονται παίρνοντας μία βαρελοειδή μορφή, η οποία παρουσιάζει ρωγμές κατά τη φορά της δυνάμεως. Η μέγιστη πραγματοποιούμενη τάση στο δοκίμιο θλίψεως λέγεται αντοχή σε θλίψη σ_{dB} . Αυτή υπολογίζεται από τη μέγιστη θλιπτική δύναμη F_m και την αρχική διατομή S_0 του δοκιμίου.

$$\sigma_{dB} = F_m / S_0$$



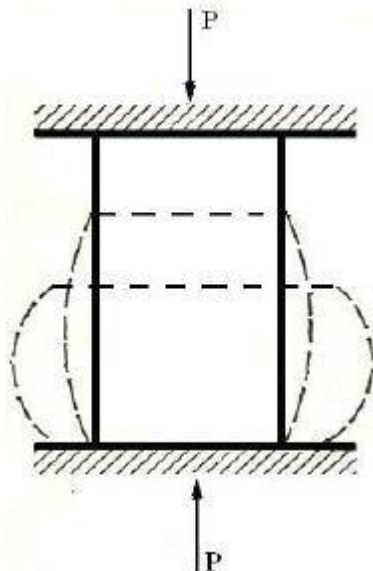
Σχήμα 1.5: Σχηματική παράσταση τάσεων – παραμορφώσεων (εφέλκυσμός-θλίψη)

Το διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων όταν το δοκίμιο καταπονείται σε θλίψη είναι αντίστοιχο με εκείνο του εφέλκυσμού. Υπάρχει διαφορά μετά το σημείο M , αφού τότε το δοκίμιο που καταπονείται θλιπτικά δεν εμφανίζει λαιμό αλλά η διατομή του αυξάνει συνεχώς και μάλιστα στα όλκιμα υλικά, όσο κι αν αυξηθεί το φορτίο, δεν επέρχεται θραύση με τη φυσική έννοια του όρου. Έτσι, το όριο θραύσης για θλίψη ενός όλκιμου είναι η τιμή της τάσης εκείνης που προκαλεί παραμόρφωση (επιβράχυνση) του ύψους του δοκίμιου κατά 30% του αρχικού του μήκους, (δηλαδή $\varepsilon = -0.3$).

Η βαρελοειδής μορφή που αποκτά το δοκίμιο κατά την δοκιμασία οφείλεται στην ανάπτυξη δυνάμεων τριβής κάθετα στην διεύθυνση φόρτισης.

1.3.2 Το πείραμα μονοαξονικής θλίψης [14]

Το πείραμα της μονοαξονικής θλίψεως (compression test) αποτελεί μια δοκιμή κατά την οποία το δοκίμιο φορτίζεται υπό την επίδραση δυο δυνάμεων, ίσου μέτρου, ίδιας διεύθυνσεως, αντίθετης όμως φοράς, τέτοιας ώστε να προκαλείται συμπίεση του υλικού.



Σχήμα 1.6: Σχηματική παράσταση πειράματος μονοαξονικής θλίψης.

Δεδομένης της ακριβώς αντίθετης διαδικασίας (κατ' αποτέλεσμα) από την αντίστοιχη του εφελκυσμού, τα διαγράμματα δύναμης-παραμόρφωσης ή ορθής τάσεως- ανηγμένης παραμορφώσεως εΐθισται να σχεδιάζονται στο 3ο τεταρτημόριο όπου τα αντίστοιχα μεγέθη έχουν αρνητικά πρόσημα, σε σχέση με τα αντίστοιχα του εφελκυσμού.

Όπως και σε κάθε περίπτωση αξονικής καταπόνησης ενός υλικού, όταν η επιβαλλόμενη τάση είναι μικρότερη από την τάση ελαστικότητας (young stress) που αντιστοιχεί στο όριο ελαστικότητας του υλικού, το υλικό παραμορφώνεται ελαστικά, υπό θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Στην περίπτωση της ελαστικής παραμόρφωσης (βράχυνσης) και μέχρι το όριο αναλογίας του διαγράμματος σ - ϵ , ισχύει ο νόμος του Hooke για τις ορθές μηχανικές τάσεις, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι παραδοχές ισχύος του Νόμου του Hooke για τις ορθές μηχανικές τάσεις μπορούν να συμπυκνωθούν στις ακόλουθες:

Η επιβαλλόμενη δύναμη δρα στη διεύθυνση του κύριου άξονα της ράβδου και το σημείο εφαρμογής της είναι το κέντρο βάρους της διατομής.

Ο κύριος άξονας της ράβδου είναι απολύτως ευθύγραμμος.

Οι αναπτυσσόμενες ορθές τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα στη διατομή.

Στα θλιβόμενα μέρη δεν υπάρχει κίνδυνος λυγισμού.

Όλες οι κατά μήκος ίνες της ράβδου επιμηκύνονται ή συμπιέζονται ακριβώς το ίδιο.

Οι διατομές που αρχικά είναι επίπεδες και κάθετες στον άξονα της ράβδου, παραμένουν έτσι και μετά την παραμόρφωση.

Οι αναπτυσσόμενες ορθές τάσεις είναι πάντα μικρότερες από την τάση αναλογίας σ_A του υλικού.

Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται τα βασικότερα πρότυπα κατά ASTM σχετικά με τα πειράματα θλίψεως.

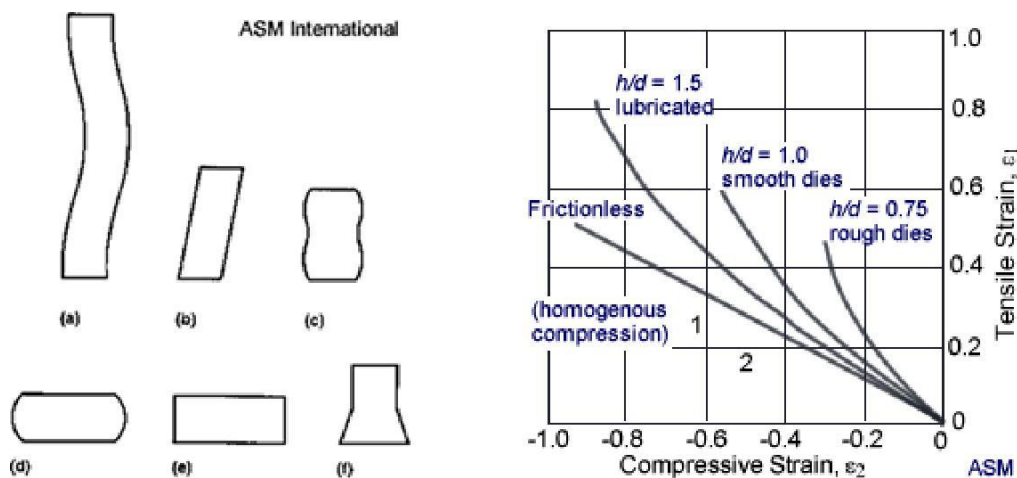
Standard Description

ASTM 574	Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials – Slab, Bonded, and Urethane Foams
ASTM D773	Standard Test Method for Compressive (Crushing) Strength of Fired Whiteware Materials
ASTM D575	Standard Test Methods for Rubber Properties in Compression
ASTM D695	Standard Test Method for Compressive Properties of Plastics
ASTM F-3	Standard Test Method for Compressibility and Recovery of Gasket Material

***Σημαντική παρατήρηση για τις δοκιμές θλίψεως αποτελεί το γεγονός ότι γενικά αποφεύγεται η χρήση δοκιμίων με μεγάλη αναλογία μήκους/ διαμέτρου (L/D), προς αποφυγή φαινομένων λυγισμού. Γενικά, για τα δοκίμια που πρόκειται να υποβληθούν σε δοκιμή θλίψεως ισχύουν οι εξής περιορισμοί στο λόγο L/D :

$$2 \leq \frac{L}{D} \leq 4 \text{ για όλκιμα υλικά}$$

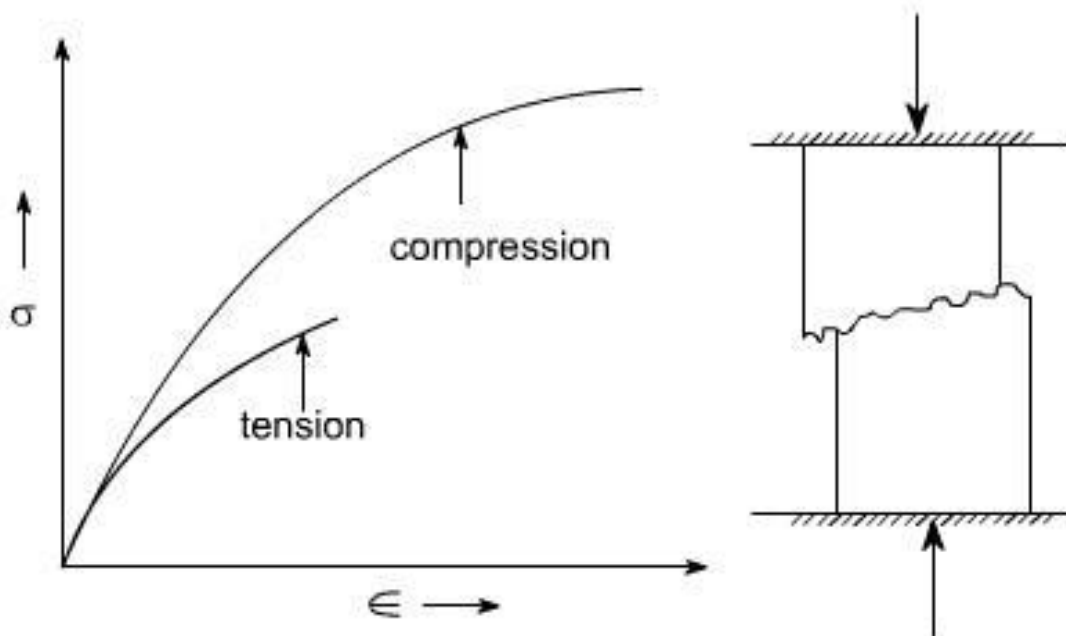
$$2 \leq \frac{L}{D} \leq 4 \text{ για ψαθυρά υλικά}$$



Σχήμα 1.7: Σχηματική παράσταση τύπων παραμόρφωσης υπό θλιπτικές τάσεις καθώς και συγκριτικού διαγράμματος σ - ϵ για διάφορους τύπους L/D.

(α) Λυγισμός, όταν $L / D > 5$. (β) Διάτμηση, όταν $L / D > 2,5$. (γ) Διπλό τοίχωμα βαρελοειδής, όταν $L / D > 2.0$ και υπάρχει τριβή στις επιφάνειες επαφής.

- (δ) Βαρελοειδής , όταν $L / D < 2,0$ και υπάρχει τριβή στις επιφάνειες επαφής.
 (ε) Ομοιογενής συμπίεση, όταν $L / D < 2,0$ και δεν υπάρχει τριβή στις επιφάνειες επαφής. (στ) Μη συμπίεστική αστάθεια λόγω μαλακώματος υλικού .

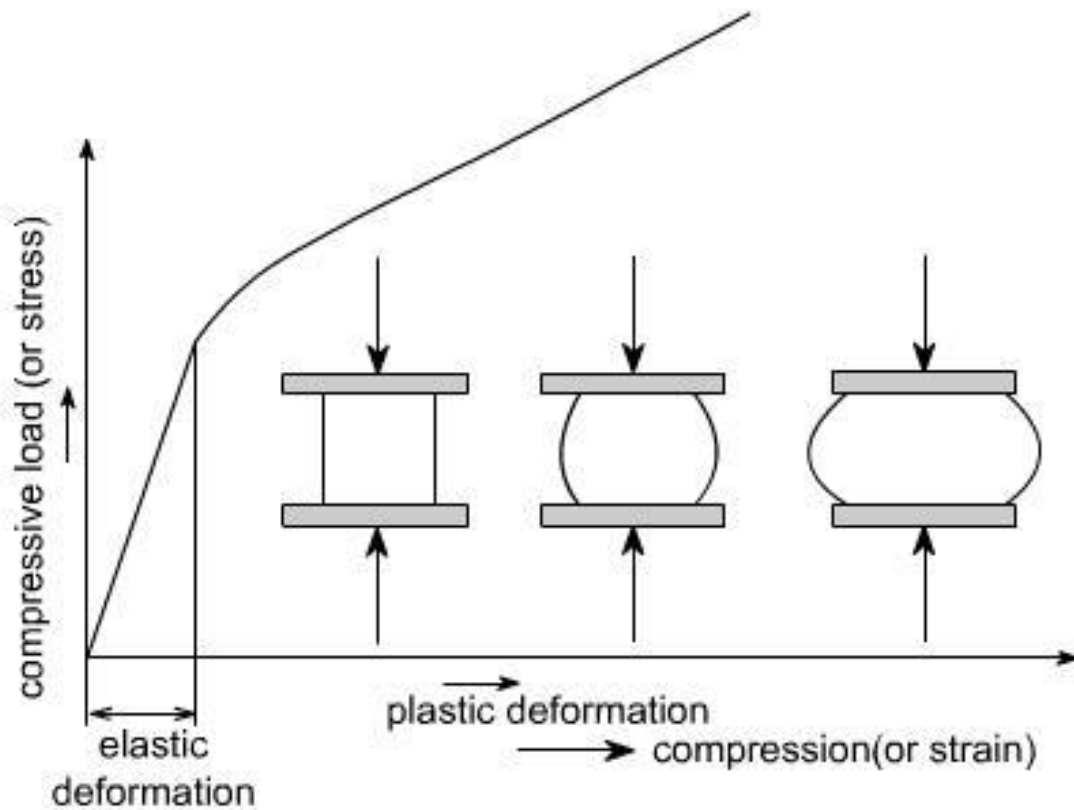


Σχήμα 1.8: Διάγραμμα τάσης- ανηγμένης παραμόρφωσης για ψαθυρό υλικό, (υπό θερμοκρασία περιβάλλοντος), υποβαλλόμενο σε δοκιμή εφελκυσμού (tension) και θλίψεως (compression)

Στο σχήμα 1.8 απεικονίζεται η μηχανική συμπεριφορά ενός ψαθυρού υλικού (σε κανονική θερμοκρασία) κατά την δοκιμή του μονοαξονικού εφελκυσμού και της μονοαξονικής θλίψεως. Όπως παρατηρείται, το μέτρο του Young παραμένει σταθερό (ως φυσική ιδιότητα) ενώ το αξιοσημείωτο είναι ότι στην περίπτωση της θλιπτικής καταπόνησης το ψαθυρό υλικό εμφανίζει μία "παραμόρφωση", η οποία και προηγείται της θραύσεως του, πράγμα που σε καμία περίπτωση δεν εμφανίζεται στην περίπτωση της εφελκυστικής δοκιμής.

Μια επίσης πολύ σημαντική παρατήρηση που προκύπτει από το ανωτέρω διάγραμμα είναι το γεγονός ότι το ψαθυρό υλικό εμφανίζει μεγαλύτερη μέγιστη αντοχή σε θλίψη από την αντίστοιχη σε εφελκυσμό.

*Στο ανωτέρω διάγραμμα, οι ρυθμοί ανηγμένης παραμόρφωσης ήταν οι ίδιοι και για τα δύο πειράματα.

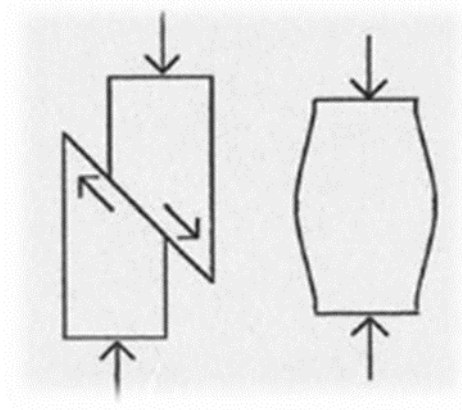


Σχήμα 1.9: Διάγραμμα τάσης- ανηγμένης παραμόρφωσης για όλκιμο, (υπό θερμοκρασία περιβάλλοντος), υποβαλλόμενο σε δοκιμή θλίψεως (compression).

Στο σχήμα 1.9 παρουσιάζεται το διάγραμμα τάσεων – ανηγμένων παραμορφώσεων όλκιμου δοκιμίου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, το οποίο υποβάλλεται σε δοκιμή μονοαξονικής θλίψεως. Είναι πολύ σημαντικό να τονισθεί ότι κατά την εν λόγω πειραματική διαδικασία το όλκιμο δοκίμιο εμφανίζει μια βράχυνση με παράλληλη πλευρική διόγκωση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται βαρελοποίηση (barreling) και ουσιαστικά αποτελεί το τελικό σημείο του πειράματος. Δηλαδή, το πείραμα της μονοαξονικής θλίψεως όλκιμου υλικού δεν θεωρείται περατωθέν με την θραύση του δοκιμίου (όπως στον εφελκυσμό), αλλά με την εμφάνιση της πλευρικής διόγκωσης του δοκιμίου σε ποσοστό υποβιβασμού του αρχικού του μήκους, περίπου 30%.

*Γενικά, τα ψαθυρά υλικά έχουν μεγαλύτερες τιμές αντοχής σε θλιπτικά φορτία σε σχέση με τα αντίστοιχα εφελκυστικά, υπό τις ίδιες συνθήκες φόρτισης.

** Τα ψαθυρά υλικά έχουν μεγαλύτερη αντοχή σε θλιπτικά φορτία σε σχέση με τα όλκιμα, υπό τις ίδιες συνθήκες φόρτισης. Γενικά για τα ψαθυρά υλικά, ο τρόπος θραύσης των σε θλιπτικές καταπονήσεις γίνεται δια σχισμού κατά το μέγιστο διατμητικό επίπεδο (σχήμα 3). Στο σχήμα 5 δίδεται η μορφή θραύσης του ψαθυρού και του όλκιμου δοκιμίου υπό θλιπτικά φορτία.



Σχήμα 1.10.: Θραύση υπό διατμητικό επίπεδο και θραύση με βαρελοποίηση.

1.3.3 Μέτρο ελαστικότητας [15]

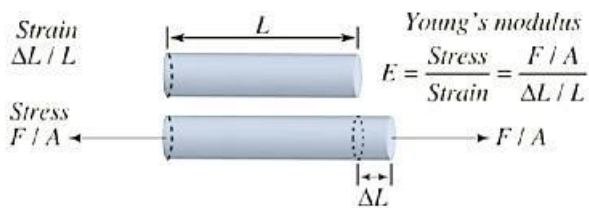
Στο ερώτημα τώρα είναι πώς συσχετίζεται η τάση με την παραμόρφωση, όταν το υλικό βρίσκεται εντός της γραμμικής ελαστικής περιοχής. Η συσχέτιση αυτή γίνεται μέσω του νόμου του Hooke, που γενικότερα είναι γνωστός σαν *νόμος γραμμικής ελαστικότητας*. Έτσι η ορθή τάση σ συνδέεται με την ορθή παραμόρφωση ε μέσω της γραμμικής σχέσης:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Η σταθερά αναλογίας, E , είναι μία από τις βασικότερες μηχανικές ιδιότητες των υλικών και ονομάζεται *μέτρο Young* (Young's modulus) ή *μέτρο ελαστικότητας* (elasticity modulus) σε εφελκυσμό και θλίψη. Το μέτρο ελαστικότητας ενός υλικού, σαν φυσική έννοια, εκφράζει την *αντίσταση που προβάλλει το υλικό σε ελαστική παραμόρφωση* και εξαρτάται άμεσα από την *ισχύ των χημικών δεσμών* μεταξύ των ατόμων του υλικού. Έτσι, υλικά που σχηματίζουν ισχυρούς χημικούς δεσμούς, όπως τα μέταλλα (μεταλλικοί δεσμοί) και τα κεραμικά (ομοιοπολικοί ή ετεροπολικοί δεσμοί), χαρακτηρίζονται από υψηλό μέτρο ελαστικότητας. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται σχετικά μεγάλες τάσεις για να παραχθεί σχετικά μικρή ελαστική παραμόρφωση. Αντίθετα, υλικά όπως τα πολυμερή και τα ελαστομερή, των οποίων οι μοριακές αλυσίδες συγκρατούνται μεταξύ τους με ασθενείς χημικούς δεσμούς (π.χ. Van der Waals), χαρακτηρίζονται από χαμηλό μέτρο ελαστικότητας, που σημαίνει ότι

σχετικά μικρές τάσεις μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες ελαστικές παραμορφώσεις. Το μέτρο ελαστικότητας ενός υλικού εξαρτάται επίσης από την θερμοκρασία. Επειδή όσο αυξάνεται η θερμοκρασία τα άτομα των υλικών γίνονται πιο κινητικά, αυτό έχει σαν συνέπεια την χαλάρωση της ισχύος των χημικών δεσμών που τα συγκρατούν στις θέσεις ισορροπίας τους, με αποτέλεσμα να μειώνεται και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού.

Γραφικά, το μέτρο ελαστικότητας είναι η κλίση της καμπύλης $\sigma - \epsilon$ στο αρχικό ευθύγραμμο τμήμα της. Ως φυσική σημασία για το μέτρο ελαστικότητας μπορούμε να αναφέρουμε ότι αποτελεί ένα μέτρο της “δυσκολίας” (ή της “ευκολίας”) με την οποία κάθε υλικό παραμορφώνεται (σε εφελκυσμό ή θλίψη) όταν φορτίζεται. Το E έχει μονάδες τάσης και γενικά λαμβάνει μεγάλες τιμές, δεδομένου ότι το ϵ είναι μικρό. Ενδεικτικές τιμές μέτρων ελαστικότητας είναι 200 GPa για το χάλυβα, 30 GPa για το σκυρόδεμα και 10 GPa για το ξύλο.

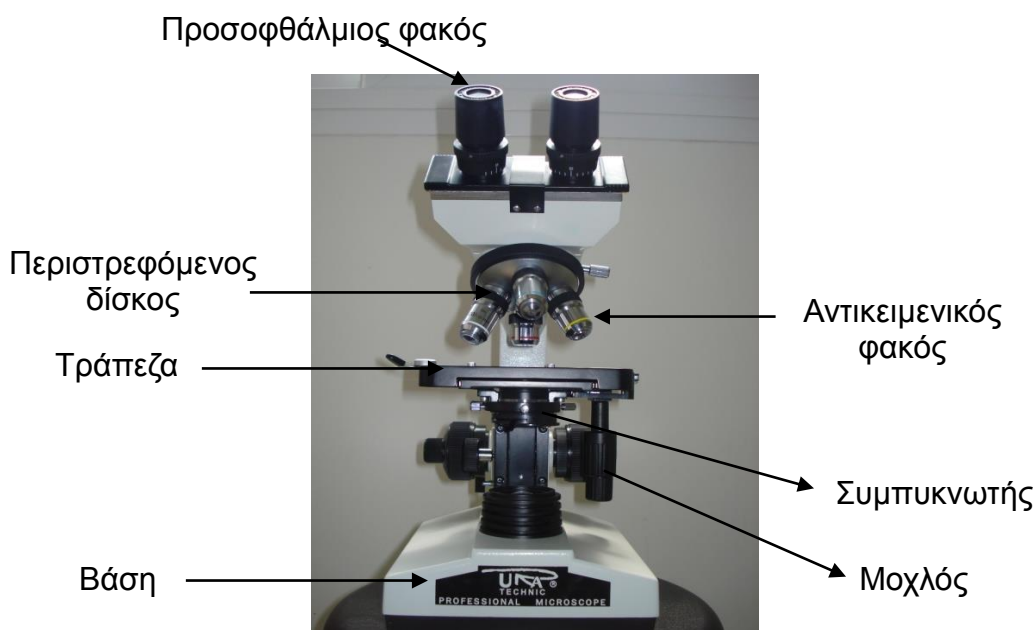


Σχήμα 1.11: Σχηματική επεξήγηση μέτρου Ελαστικότητας

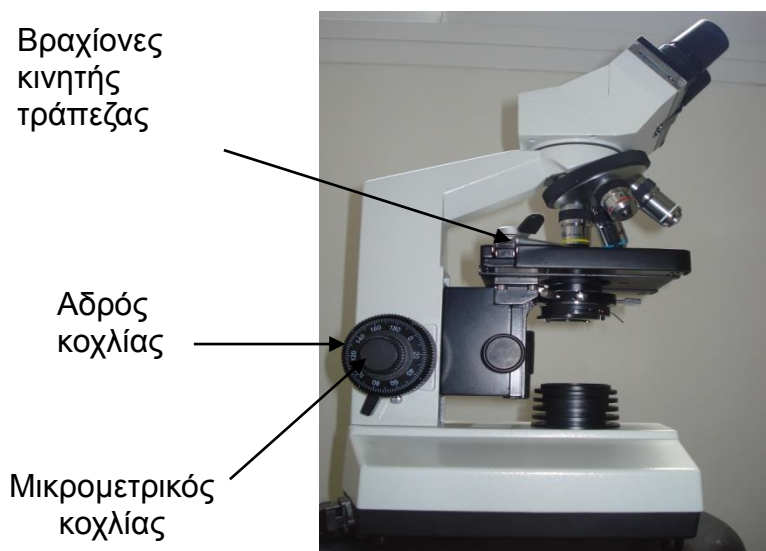
1.4 ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

1.4.1 Περιγραφή – Χρήση[18]

Το μικροσκόπιο είναι μια διάταξη φακών με την οποία επιτυγχάνεται η μεγέθυνση διαφόρων αντικειμένων. Το οπτικό μικροσκόπιο είναι χρήσιμο όταν εξετάζουμε αντικείμενα με διαστάσεις από $1000\mu\text{m}$ – $0,1\mu\text{m}$. Τα τμήματα του σύνθετου οπτικού μικροσκοπίου περιγράφονται παρακάτω και παρουσιάζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 1.20 και 1.21.



Εικόνα 1.20: Τα τμήματα ενός σύνθετου οπτικού μικροσκοπίου



Εικόνα 1.21: Τα τμήματα ενός σύνθετου οπτικού μικροσκοπίου

Από τι εξαρτάται η καλή μικροσκόπηση
Η καλή μικροσκόπηση εξαρτάται από 3 πράγματα:

1 Διακριτική ικανότητα: είναι η ικανότητα του μικροσκοπίου να δείχνει δύο πολύ κοντινά σημεία ως δύο καθαρά ξεχωριστά σημεία. Στα εκπαιδευτικά μικροσκόπια αυτή η ικανότητα είναι περίπου $0,5\mu\text{m}$.

2 Μεγέθυνση: συνήθως είναι μέχρι 1000X. Έχει αποδειχθεί ότι η διακριτική ικανότητα δεν αυξάνεται (δηλαδή δεν μειώνεται το διακριτικό όριο) όταν η ολική μεγέθυνση ξεπερνά το αριθμητικό άνοιγμα του αντικειμενικού φακού πάνω από 1000 φορές.

3 Αντίθεση: βασίζεται στη διαφορετική απορρόφηση του φωτός από τα διάφορα μέρη του αντικειμένου. Ενισχύεται με τη χρήση χρωστικών.

Θεωρητικό υπόβαθρο

Αρχή λειτουργίας του σύνθετου οπτικού μικροσκοπίου. Το μικροσκόπιο αποτελείται από ένα οπτικό σύστημα (Εικόνα 1), δηλαδή ένα σύστημα από φακούς κατάλληλα διευθετημένους, μέσω του οποίου ο παρατηρητής βλέπει ένα μεγεθυσμένο είδωλο του αντικειμένου που θέλει να μελετήσει. Το οπτικό σύστημα αποτελείται από δύο συγκλίνοντα ομοαξονικά συστήματα φακών, τον αντικειμενικό και τον προσοφθάλμιο φακό. Ο πρώτος τοποθετείται πάνω από το αντικείμενο και δίνει είδωλο πραγματικό και ανεστραμμένο. Ο δεύτερος είναι ο φακός μέσα από τον οποίο ο παρατηρητής βλέπει το αντικείμενο και χρησιμεύει για να μεγεθύνει την εικόνα που δίνει ο αντικειμενικός φακός. Το φως παράγεται από μια φωτεινή πηγή (λυχνία) και εστιάζεται στο ύψος του αντικειμένου με τη βοήθεια ενός συμπυκνωτή φακού.

Η διακριτική ικανότητα είναι η "ικανότητα" του μικροσκοπίου να δείχνει δύο πολύ κοντινά σημεία ως δύο καθαρά ξεχωριστά σημεία. Η διακριτική ικανότητα (d) ενός οπτικού συστήματος δίνεται από το τύπο: $d=0,61 (\lambda/\eta\mu\alpha *n)$, όπου d είναι η διακριτική ικανότητα, $0,61$ ένας σταθερός αριθμός, λ το μήκος κύματος του φωτός (ή της ακτινοβολίας) που χρησιμοποιούμε, n ο δείκτης διάθλασης του μέσου μεταξύ παρασκευάσματος και φακού και α το μισό της γωνίας του φωτεινού κώνου που δέχεται ο φακός.

Η μεγέθυνση δείχνει πόσες φορές μπορεί το μικροσκόπιο να μεγεθύνει το είδωλο του αντικειμένου. Η μεγέθυνση ενός οπτικού μικροσκοπίου δίνεται από το τύπο $M=m_1*m_2$ όπου m_1 και m_2 είναι οι μεγεθύνσεις των δυο φακών, δηλαδή του προσοφθάλμιου και του αντικειμενικού. Τα μέρη του αντικειμένου γίνονται διακριτά (και επομένως ορατά), όταν υπάρχει επαρκής αντίθεση μεταξύ τους.

[19]Περιγραφή του Μικροσκοπίου Τα τμήματα του σύνθετου οπτικού μικροσκοπίου περιγράφονται παρακάτω και παρουσιάζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 1 και 2. Εικόνα 2. Τα τμήματα ενός σύνθετου οπτικού μικροσκοπίου.

Σύστημα φωτισμού. Χρησιμεύει στο να φωτίζει το αντικείμενο. Στα περισσότερα μικροσκόπια σήμερα υπάρχει ρεοστάτης για τη ρύθμιση της έντασης του φωτός.

Διάφραγμα (ίριδα). Το διάφραγμα δεν ελέγχει τη διαύγεια του φωτισμού, αλλά δημιουργεί αντίθεση (κοντράστ) λόγω διάθλασης του φωτός που διέρχεται μέσα από το παρασκεύασμα.

Συμπυκνωτής φακός. Σκοπός του εξαρτήματος αυτού είναι η εστίαση της φωτεινής πηγής στο επίπεδο του παρασκευάσματος. Η κακή ρύθμιση του συμπυκνωτή έχει σαν αποτέλεσμα τον κατά πολύ περιορισμό της διακριτικής ικανότητας του οργάνου.

Τράπεζα . Τοποθετούμε πάνω σ' αυτήν το παρασκεύασμα. Περιλαμβάνει ειδικούς βραχίονες για τη στήριξη της αντικειμενοφόρου και κοχλίες για την μετακίνηση της αντικειμενοφόρου πλάκας.

Αντικειμενικοί φακοί (4X, 10X, 40X, 100X). Μεγεθύνουν και αναλύουν το είδωλο του αντικειμένου. Είναι προσαρμοσμένοι σε περιστρεφόμενη βάση, ώστε ο χρήστης να τους αλλάζει εύκολα.

Προσοφθάλμιος φακός (10X). Ρόλος του είναι η μεγέθυνση του ειδώλου του αντικειμένου. Κοχλίες εστίασης. Είναι δύο: ο μακρομετρικός για την ανεύρεση του αντικειμένου και ο μικρομετρικός για την βελτίωση της εικόνας.

Κοχλίας εστίασης (μεγάλος εξωτερικός για αδρή και μικρός στο κέντρο για λεπτή εστίαση). Η κλίμακα που είναι χαραγμένη στο μικρομετρικό κοχλία εστίασης μας δείχνει την κατακόρυφη μετακίνηση του αντικειμενικού φακού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του ύψους (βάθους) ενός παρασκευάσματος.

2. ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το αντικείμενο αυτής της παρούσας διπλωματικής είναι να μελετηθεί η συμπεριφορά της διάβρωσης συνδέσμων (μπουλόνια παξιμάδια) μεταλλικών φερόντων οργανισμών κτιρίου υπό διαφορετική εντατική κατάσταση.

Για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών έγινε επίλυση του μεταλλικού κτιρίου με το λογισμικό πρόγραμμα STATIK 5 το οποίο αποτελεί αντικείμενο πολιτικού μηχανικού.

Στη συνέχεια διερευνήθηκε η μεταβολή της απώλειας μάζας των μεταλλικών συνδέσμων (μπουλόνια παξιμάδια), υπό φόρτιση και χωρίς φόρτιση, όπου χρησιμοποιήθηκε η επιταχυνθείσα διάβρωση αλατονέφωσης για 11 ημέρες. Στη συνέχεια τα δοκίμια εκτέθηκαν στο διαβρωτικό περιβάλλον της ολικής εμβάπτισης σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3.5% κ.β. για συνολικό χρόνο 95 ημερών. Η μεθοδολογία ελέγχου περιελάμβανε την καθημερινή μέτρηση βάρους των δειγμάτων, την οπτική επίβλεψη καθώς και τη μέτρηση του PH.

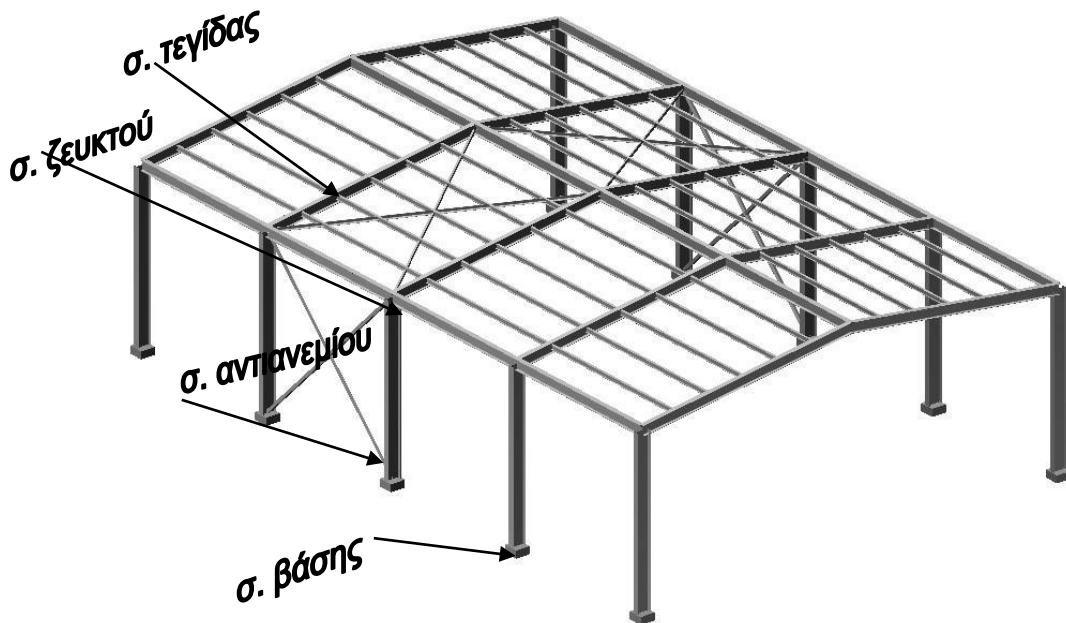
Η συμπεριφορά σε διάβρωση μετρήθηκε μέσω της κατασκευής διαγραμμάτων απώλειας μάζας και μεταβολής του PH.

Επίσης στα δοκίμια έγινε εργαστηριακός έλεγχος σε θλίψη και μέσω της κατασκευής διαγραμμάτων παρατηρήθηκε η συμπεριφορά σε διάβρωση.

Τέλος για την ολοκλήρωση της εργασίας έγινε έλεγχος των δειγμάτων στο οπτικό μικροσκόπιο.

Όλα τα ανωτέρω απεικονίζονται σε παρακάτω διαγράμματα

2.2. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ



Εικόνα 2.1 : Τρισδιάστατη απεικόνιση φορέα μεταλλικού κτιρίου

Για την στατική επίλυση του μεταλλικού κτιρίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα επίλυσης STATIK 5 το οποίο η επίλυση του φορέα βασίζεται στη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων.

Η στατική επίλυση του μεταλλικού κτιρίου έγινε σύμφωνα με τον ισχύοντα Ευρωκώδικα 3 και λήφθηκαν για την επίλυση όλοι οι συνδυασμοί φορτίσεων. Για κάθε συνδυασμό φόρτισης πήραμε τα εντατικά μεγέθη από τις περιβάλλουσες

Παραδοχές

Δομικός χάλυβας: FeE235

Μέτρο Ελαστικότητας: $E=210$ [kN/mm²]

Μέτρο Διάτμησης : $G=81$ [kN/mm²]

Πυκνότητα : $\rho= 8$ tn/m³

Υπολογισμός ανηγμένης φασματικής επιτάχυνσης

Κατηγορία εδάφους:	$k = B$	
Ανηγμένη εδαφική επιτάχυνση:	$ag = 0.24$	
Συντελεστής σπουδαιότητας:	$\gamma I = 1.00$	
Συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς:	$q_x = 1.50$	$q_y = 1.50$
Συντελεστής θεμελίωσης:	$\theta = 1.0$	
Ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης:	$\xi = 4 \%$	
Διαστάσεις κτιρίου:	$L_x = 0.00 \text{ [m]}$	$H_x \text{ [m]} = 0.00 \text{ [m]}$
		$H_y \text{ [m]} = 0.00 \text{ [m]}$
	$L_y = 0.00 \text{ [m]}$	$T_x \text{ [sec]} = 0.01 \text{ [sec]}$
Ιδιοπερίοδος:		$T_y \text{ [sec]} = 0.01 \text{ [sec]}$
Ανηγμένη φασματική επιτάχυνση:	$e_x = R_d(T_x)/g = 0.253$	$e_y = R_d(T_y)/g = 0.253$

Πίνακας 2.1 :Συνοπτικά τα αποτελέσματα που έχουμε λάβει από την επίλυση και τις περιβάλλουσες για κάθε συνδυασμό :

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	N_x min/ N_x max [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	T_x [kNM]	M_y [kNM]	M_z [kNM]
ΒΑΣΗ S3	N	-64.97	-0.03	-38.17	0,00	74.10	0.04
		32.40	-0.05	-0.39	0,00	0.87	0.07
ANT S7	N	-33.46	0,04	0.12	0.00	-0.02	-0.08
		39.65	0,02	0.10	0.00	-0.03	-0.06
ΖΕΥΚ S3	N	-62.14	-0.03	-38.17	0.00	-97.68	-0.08
		2.92	-0.19	5.55	0.00	-0.14	-0.31
ΤΕΓ S20	N	-7.26	0.02	0.79	0.00	-0.62	-0.04
		4.65	-0.01	-0.24	0.00	0.13	0.02
ΒΑΣΗ	V_y	-39.63	-0.62	-20.07	0.00	34.49	0.92
		-7.37	17.24	-6.33	0.00	23.26	-12.91
ANT	V_y	5.13	-0.04	0.12	0.00	-0.08	0.04
		-11.66	0.12	0.05	0.00	0.09	-0.26
ΖΕΥΚ	V_y	-17.35	-9.86	-14.11	0.00	-25.13	-8.08
		-5.26	0.21	2.89	0.00	-6.67	0.37
ΤΕΓ	V_y	-0.81	-0.62	3.28	0.00	-2.80	0.42
		0.38	0.65	3.30	0.00	-2.76	-0.49

ΒΑΣΗ	Vz	-64.97 0.00	-0.03 0.00	-38.17 0.00	0.00 0.00	74.10 0.00	0.04 0.00
ΑΝΤ	Vz	0.00 30.05	0.00 0.00	0.00 0.15	0.00 0.00	0.00 -0.08	0.00 -0.02
ΖΕΥΚ	Vz	-61.44 2.92	-0.03 -0.19	-38.17 5.55	0.00 0.00	-97.68 -0.14	-0.08 -0.31
ΤΕΓ	Vz	-7.19 -0.34	0.01 0.03	-0.27 5.35	0.00 0.00	0.28 -4.51	-0.03 -0.05
ΒΑΣΗ	Tx	0.30 -40.84	-0.19 -0.62	-16.13 -25.86	0.00 0.00	14.24 54.50	0.54 0.92
ΑΝΤ	Tx	5.13 -11.66	-0.04 0.12	0.12 0.05	0.00 0.00	-0.08 0.09	0.04 -0.26
ΖΕΥΚ	Tx	2.92 -38.22	-0.19 -0.01	5.55 -25.67	0.00 0.00	-0.14 -61.45	-0.31 -0.49
ΤΕΓ	Tx	-0.34 -5.60	0.03 0.02	5.35 -0.25	0.00 0.00	-4.51 0.17	-0.05 -0.04
ΒΑΣΗ	My	0.00 -43.45	0.00 0.17	0.00 -33.76	0.00 0.00	0.00 80.17	0.00 -0.25
ΑΝΤ	My	5.13 -11.66	-0.04 0.12	0.12 0.05	0.00 0.00	-0.08 0.09	0.04 -0.26
	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	Nx min/ Nx max [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	T x [kNM]	M y [kNM]	M z [kNM]
ΖΕΥΚ	My	-61.44 0.00	-0.03 0.00	-38.17 0.00	0.00 0.00	-97.68 0.00	-0.08 0.00
ΤΕΓ	My	-0.34 -7.19	0.03 0.01	5.35 -0.27	0.00 0.00	-4.51 0.28	-0.05 -0.03
ΒΑΣΗ	Mz	-7.37 -39.63	17.24 -0.62	-6.33 -20.07	0.00 0.00	23.26 34.49	-12.91 0.92
ΑΝΤ	Mz	-11.66 5.13	0.12 -0.04	0.05 0.12	0.00 0.00	0.09 -0.08	-0.26 0.04
ΖΕΥΚ	Mz	-17.35 -40.09	-9.86 -0.03	-14.11 -27.45	0.00 0.00	-25.13 -65.79	-8.08 0.38
ΤΕΓ	Mz	0.38 -0.81	0.65 -0.62	3.30 3.28	0.00 0.00	-2.76 -2.80	-0.49 0.42

Συνοπτικά έχουμε για κάθε σημείο του κάθε μέλους που έχουμε πάρει συνδέσμους προκειμένου να μελετήσουμε όλα τα εντατικά μεγέθη και για όλους τους συνδυασμούς φορτίσεων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3:

	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ	Nx min/ Nx max	Vy	Vz	T x	M y	M z
--	---------------	-------------------------	----	----	-----	-----	-----

	ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	Nx max [kN]	[kN]	[kN]	[kNM]	[kNM]	[kNM]
ΒΑΣΗ S3	N	-64.97	-0.03	-38.17	0,00	74.10	0.04
		32.40	-0.05	-0.39	0,00	0.87	0.07
ΒΑΣΗ	Vy	-39.63	-0.62	-20.07	0.00	34.49	0.92
		-7.37	17.24	-6.33	0.00	23.26	-12.91
ΒΑΣΗ	Vz	-64.97	-0.03	-38.17	0.00	74.10	0.04
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ΒΑΣΗ	Tx	0.30	-0.19	-16.13	0.00	14.24	0.54
		-40.84	-0.62	-25.86	0.00	54.50	0.92
ΒΑΣΗ	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		-43.45	0.17	-33.76	0.00	80.17	-0.25
ΒΑΣΗ	Mz	-7.37	17.24	-6.33	0.00	23.26	-12.91
		-39.63	-0.62	-20.07	0.00	34.49	0.92

	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	Nx min/ Nx max [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	T x [kNM]	M y [kNM]	M z [kNM]
ANT S7	N	-33.46	0,04	0.12	0.00	-0.02	-0.08
		39.65	0,02	0.10	0.00	-0.03	-0.06
ANT	Vy	5.13	-0.04	0.12	0.00	-0.08	0.04
		-11.66	0.12	0.05	0.00	0.09	-0.26
ANT	Vz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		30.05	0.00	0.15	0.00	-0.08	-0.02
ANT	Tx	5.13	-0.04	0.12	0.00	-0.08	0.04
		-11.66	0.12	0.05	0.00	0.09	-0.26
ANT	My	5.13	-0.04	0.12	0.00	-0.08	0.04
		-11.66	0.12	0.05	0.00	0.09	-0.26
ANT	Mz	-11.66	0.12	0.05	0.00	0.09	-0.26
		5.13	-0.04	0.12	0.00	-0.08	0.04

	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	Nx min/ Nx max [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	T x [kNM]	M y [kNM]	M z [kNM]
ZEYK S3	N	-62.14	-0.03	-38.17	0.00	-97.68	-0.08
		2.92	-0.19	5.55	0.00	-0.14	-0.31
ZEYK	Vy	-17.35	-9.86	-14.11	0.00	-25.13	-8.08
		-5.26	0.21	2.89	0.00	-6.67	0.37
ZEYK	Vz	-61.44	-0.03	-38.17	0.00	-97.68	-0.08

		2.92	-0.19	5.55	0.00	-0.14	-0.31
ZEYK	T_x	2.92	-0.19	5.55	0.00	-0.14	-0.31
		-38.22	-0.01	-25.67	0.00	-61.45	-0.49
ZEYK	M_y	-61.44	-0.03	-38.17	0.00	-97.68	-0.08
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZEYK	M_z	-17.35	-9.86	-14.11	0.00	-25.13	-8.08
		-40.09	-0.03	-27.45	0.00	-65.79	0.38

	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	N_x min/ N_x max [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	T_x [kNM]	M_y [kNM]	M_z [kNM]
ΤΕΓ S20	N	-7.26 4.65	0.02 -0.01	0.79 -0.24	0.00 0.00	-0.62 0.13	-0.04 0.02
ΤΕΓ	V_y	-0.81 0.38	-0.62 0.65	3.28 3.30	0.00 0.00	-2.80 -2.76	0.42 -0.49
ΤΕΓ	V_z	-7.19 -0.34	0.01 0.03		0.00 0.00	0.28 -4.51	-0.03 -0.05
ΤΕΓ	T_x	-0.34 -5.60	0.03 0.02	5.35 -0.25	0.00 0.00	-4.51 0.17	-0.05 -0.04
ΤΕΓ	M_y	-0.34 -7.19	0.03 0.01	5.35 -0.27	0.00 0.00	-4.51 0.28	-0.05 -0.03
ΤΕΓ	M_z	0.38 -0.81	0.65 -0.62	3.30 3.28	0.00 0.00	-2.76 -2.80	-0.49 0.42

Πίνακας 2.2 : Τα max εντατικά μεγέθη για κάθε σύνδεσμο :

	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	N_x min/ N_x max [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	T_x [kNM]	M_y [kNM]	M_z [kNM]
ΒΑΣΗ S3	N, V_y, V_z,/ T_x, M_y, M_z	-64.97 32.40	-0.03 -0.05	-38.17 -0.39	0,00 0,00	0.00 80.17	0.92 -12.91
ΑΝΤ S7	N, V_y, V_z,/ T_x, M_y, M_z	-33.46 39.65	-0.04 0.12	0.12 0.10	0.00 0.00	0.08 0.09	0.04 -0.26
ZEYK S3	N, V_y, V_z,/ T_x, M_y, M_z	-62.14 2.92	-9.86 0.21	-38.17 5.55	0.00 0.00	-97.68 -0.14	-8.08 0.37
ΤΕΓ S20	N, V_y, V_z,/ T_x, M_y, M_z	-7.26 4.65	-0.62 0.65	-0.27 5.35	0.00 0.00	-4.51 0.28	0.42 -0.49

2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

2.3.1 ΥΛΙΚΑ - ΕΙΔΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Υλικά: Ποιότητα δομικού χάλυβα **S235**, $f_y=235\text{MPa}=23,5\text{kN/cm}^2$
 $f_u=360\text{MPa}=36,0\text{kN/cm}^2$, $E=210000\text{MPa}=21000\text{kN/cm}^2$

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να μελετηθεί η συμπεριφορά της διάβρωσης συνδέσμων μεταλλικών φερόντων οργανισμών κτιρίου υπό διαφορετική εντατική κατάσταση ελήφθησαν από μεταλλικό κτίριο το οποίο κατασκευάστηκε προ 15 ετών, φαίνονται στις παρακάτω εικόνες και ήταν :

- 4 Σύνδεσμοι τεγίδας (μπουλόνια) διατομής D16/25
- 4 Σύνδεσμοι αντιανεμίου (μπουλόνια) διατομής D16/50
- 4 Σύνδεσμοι ζευκτού (μπουλόνια) διατομής D16/50
- 4 Σύνδεσμοι βάσης (Παξιμάδια) διατομής $\Phi 26$



Εικόνα 2.2 : Σύνδεση ζευκτού (Σύνδεσμοι στύλου – δοκού)



Εικόνα 2.3: Σύνδεση στύλου στη βάση Σύνδεσμος



Μπουλόνι αντιανεμίου D16/50

Εικόνα 2.4 : Σύνδεση αντιανεμίου Σύνδεσμος



Μπουλόνι τεγίδας D16/25

Εικόνα 2.5 : Σύνδεση τεγίδας Σύνδεσμος

2.3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 8 δοκίμια :

α. 4 σύνδεσμοι που είχαν υποστεί εντατική κατάσταση - φόρτιση (1 σύνδεσμος τεγίδας , 1 σύνδεσμος αντιανεμίου ,1 σύνδεσμος ζευκτού και 1 σύνδεσμος βάσης),

β. 4 σύνδεσμοι που δεν είχαν υποστεί εντατική κατάσταση –χωρίς φόρτιση (1 σύνδεσμος τεγίδας , 1 σύνδεσμος αντιανεμίου ,1 σύνδεσμος ζευκτού και 1 σύνδεσμος βάσης)



Εικόνα 2.6: Σύνδεσμοι δοκίμια

2.3.2.1 Επιταχυνθείσα διάβρωση αλατονέφωσης (salt spray corrosion)

Οι εργαστηριακές δοκιμές επιταχυνθείσας διάβρωσης αλατονέφωσης πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM B117 [58]. Σύμφωνα με την προδιαγραφή αυτή τα υπό εξέταση δοκίμια τοποθετούνται σε ένα θάλαμο του οποίου η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στους $35 \pm 1.1 - 1.7$ °C. Στον θάλαμο αυτό δημιουργείται τεχνητά, μέσω θέρμανσης και ψεκασμού, ένα νέφος από διάλυμα χλωριούχου νατρίου (NaCl) με περιεκτικότητα $3,5 \pm 0,1$ % κατά μάζα σε απεσταγμένο νερό. Η παραγωγή του νέφους γίνεται με βαλβίδες ψεκασμού σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση (10-25 psi). Πριν την έκθεση των δοκιμίων στο θάλαμο αλατονέφωσης, η επιφάνεια τους υποβλήθηκε σε καθαρισμό με απεσταγμένο νερό για την απαλοιφή τυχόν σκουπιδιών που παρέμειναν.

Τα δοκίμια, αφού παρέμεναν στο θάλαμο αλατονέφωσης για 24 ώρες, απομακρύνονταν από αυτόν, ξεπλένονταν προκειμένου να φύγουν τα άλατα και καθαρίζονταν τα προσκολλημένα προϊόντα υπολείμματα αλατιού με απεσταγμένο νερό υπό πίεση. Στη συνέχεια γίνονταν οπτικός έλεγχος, φωτογράφιση και μετρούνταν η μεταβολή του βάρους για 11 ημέρες.

Θάλαμος πειραμάτων αλατονέφωσης

Το σημαντικότερο τμήμα της συσκευής αλατονέφωσης είναι ο θάλαμος στον οποίο τοποθετούνται τα προς εξέταση υλικά. Ο θάλαμος αυτός έχει ορθογωνική διατομή και το μέγεθός του διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή. Είναι κατασκευασμένος συνήθως από πλαστικό ή από μέταλλο επικαλυμμένο με πλαστικό και στο επάνω μέρος του κλείνει με κατάλληλο κινητό κάλυμμα. Το κάλυμμα αυτό 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, πράγμα που θα μπορούσε να προκαλέσει σοβαρές ζημιές σε άλλες συσκευές του εργαστηρίου. Για να αποφευχθούν επίσης ζημιές λόγω διάβρωσης της ίδιας της συσκευής κανένα μεταλλικό τμήμα της δεν εκτίθεται στο θάλαμο των πειραμάτων. Πέρα από τα προηγούμενα, ο θάλαμος πειραμάτων είναι εφοδιασμένος με:

α) Κατάλληλα στηρίγματα για την τοποθέτηση των δοκιμίων, όπως ράβδους στις οποίες αυτά μπορούν να αναρτηθούν ή βάσεις διαφορετικού σχήματος ανάλογα με τη γεωμετρία του κάθε δοκιμίου.

β) Μια οπή στον πυθμένα από την οποία γίνεται η εκκένωση του νερού που συσσωρεύεται από την υγροποίηση των υδρατμών και τη συνένωση σταγονιδίων του διαβρωτικού μέσου κατά τη λειτουργία του.

γ) Μια οπή εξόδου του αέρα που χρησιμοποιείται για την εκνέφωση του διαβρωτικού μέσου, ώστε η πίεση μέσα στο θάλαμο να είναι ίδια με την ατμοσφαιρική.

δ) Κατάλληλη διάταξη για τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του. Για το σκοπό αυτό το πλευρικό τοίχωμά του είναι διπλό. Η θερμοκρασία ελέγχεται είτε με την τοποθέτηση ηλεκτρικής αντίστασης στο διάκενο του πλευρικού τοιχώματος, είτε με την κυκλοφορία ενός ρευστού (συνήθως νερό) στον ίδιο χώρο.

Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου για την εργαστηριακή προσομοίωση της διάβρωσης γίνεται κυρίως εμπειρικά. Μια επιταχυνθείσα δοκιμή διάβρωσης μπορεί να

χαρακτηριστεί ως αξιόπιστη όταν επιταχύνει κατά το ίδιο ποσοστό όλες τις διεργασίες οι οποίες υποβαθμίζουν το υλικό, πράγμα το οποίο συμβαίνει σπάνια [20].



Εικόνα 2.7: Συσκευή αλατονέφωσης

2.3.2.2 Πειραματική διαδικασία σε διάβρωση σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3.5% κ.β.

Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε 2 δοχεία σε διαβρωτικό περιβάλλον ολικής εμβάπτισης σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3.5% κ.β. μετά την παρέλευση των 11 ημερών. Η ίδια διαδικασία γίνονταν σε καθημερινή βάση, δηλαδή ξεπλένονταν προκειμένου να φύγουν τα άλατα και καθαρίζονταν τα προσκολλημένα προϊόντα υπολείμματα αλατιού με απεσταγμένο νερό υπό πίεση στη συνέχεια γίνονταν οπτικός έλεγχος, φωτογράφιση και μετρούσαν η μεταβολή του βάρους για 95

ημέρες. Επιπλέον σε αυτή την περίπτωση μετρήθηκε καθημερινά το PH στα παραπάνω διαλύματα.



Εικόνα 2.8: Δοκίμια σε 3,5% κ.β. NaCl 15 ημερών (υπό και χωρίς φόρτιση)

2.3.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕ ΘΛΙΨΗ.

Αφού ελήφθησαν τμήματα των δοκιμίων όπως φαίνεται στη εικόνα έγινε η κατάλληλη προεργασία για τον έλεγχο σε θλίψη (κοπή με μικροτόμο ώστε όλες οι πλευρές των δειγμάτων να είναι παράλληλες).



Εικόνα 2.9: θέσεις λήψεων δοκιμίων για έλεγχο θλίψης

Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 16 δοκίμια :

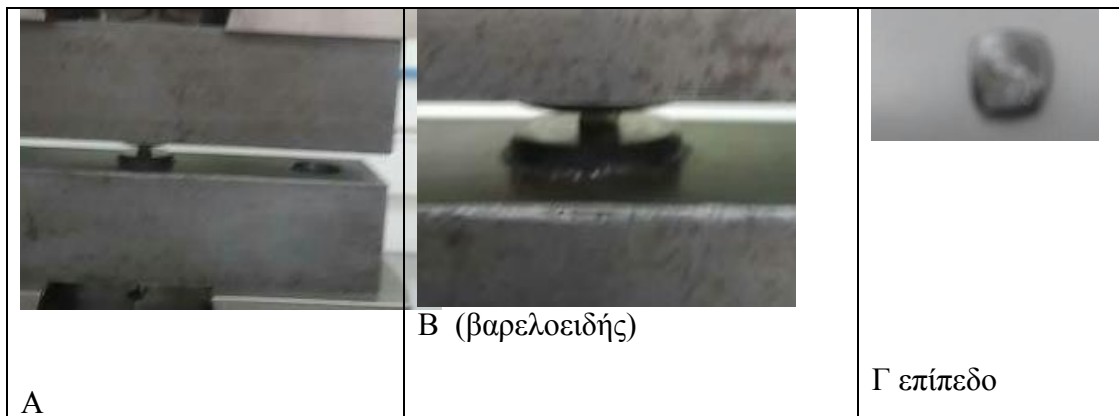
α. 4 σύνδεσμοι που είχαν υποστεί διάβρωση υπό εντατική κατάσταση - φόρτιση (1 σύνδεσμος τεγίδας , 1 σύνδεσμος αντιανεμίου ,1 σύνδεσμος ζευκτού και 1 σύνδεσμος βάσης),

β. 4 σύνδεσμοι που είχαν υποστεί διάβρωση χωρίς εντατική κατάσταση –χωρίς φόρτιση (1 σύνδεσμος τεγίδας , 1 σύνδεσμος αντιανεμίου ,1 σύνδεσμος ζευκτού και 1 σύνδεσμος βάσης)

γ. 4 σύνδεσμοι που δεν είχαν υποστεί διάβρωση υπό εντατική κατάσταση - φόρτιση (1 σύνδεσμος τεγίδας , 1 σύνδεσμος αντιανεμίου ,1 σύνδεσμος ζευκτού και 1 σύνδεσμος βάσης) και

δ. 4 σύνδεσμοι που δεν είχαν υποστεί διάβρωση χωρίς εντατική κατάσταση - χωρίς φόρτιση (1 σύνδεσμος τεγίδας , 1 σύνδεσμος αντιανεμίου ,1 σύνδεσμος ζευκτού και 1 σύνδεσμος βάσης).

Από κάθε δοκίμιο και για κάθε περίπτωση φόρτισης και διάβρωσης (16 συνολικά) έγινε εργαστηριακός έλεγχος των δοκιμίων σε θλίψη αφού προηγουμένως είχαν υποστεί την κατάλληλη προεργασία.



Εικόνα 2.10: Δοκίμια σε διαδικασία δοκιμής σε θλίψη

2.3.4 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Η πειραματική διαδικασία περιλάμβανε τον οπτικό έλεγχο όλων των δοκιμίων, συνολικά 16 δοκίμια για όλες τις περιπτώσεις φόρτισης και χωρίς φόρτιση, στο οπτικό μικροσκόπιο και λήφθηκαν οπτικές απεικονίσεις σε μεγέθυνσή 100 φορές.

Ελήφθησαν οπτικές απεικονίσεις σε κάποια δείγματα που παρουσίαζαν ενδιαφέρον για εξέταση στις άκρες και στο κέντρο των δοκιμίων.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται πιο κάτω.

3. ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

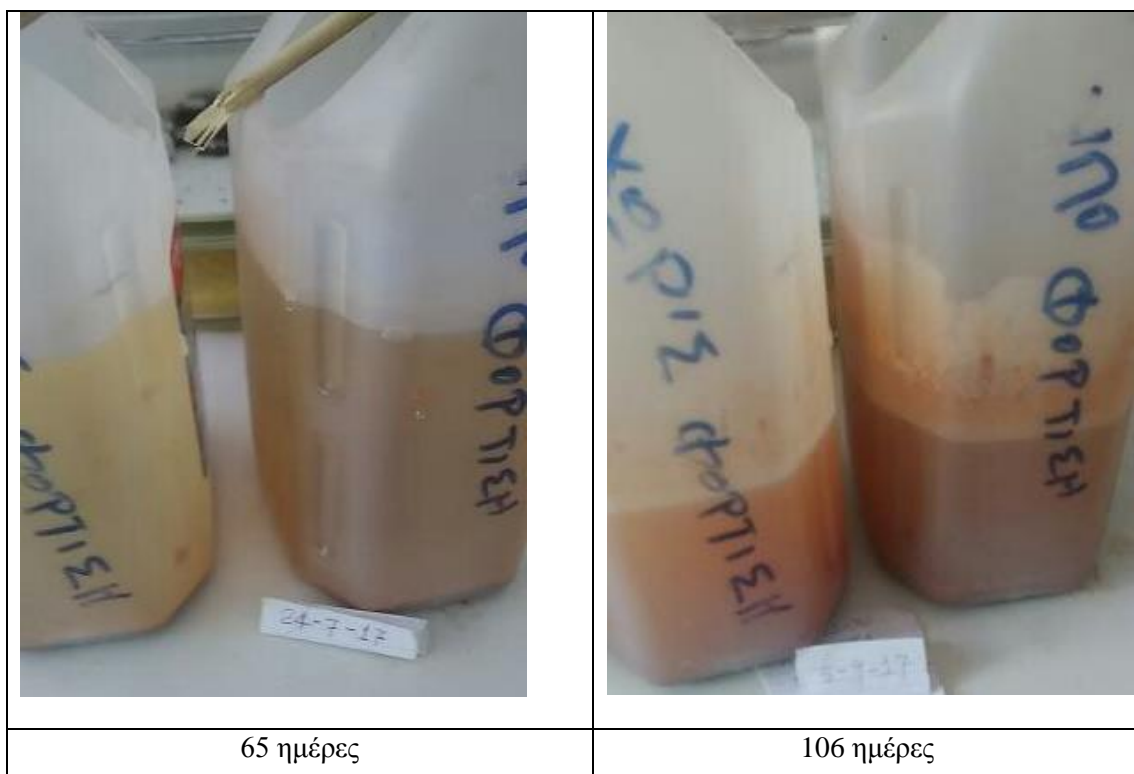
3.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

3.1.1 ΑΠΟ ΟΠΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Παρακάτω βλέπουμε οπτικά τις όψεις κατά τη διαδικασία σε διάβρωση σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3.5% κ.β.



Εικόνα 3.1 : Δοκίμια σε 3,5% κ.β. NaCl 15 ημερών (υπό και χωρίς φόρτιση)



Εικόνα 3.2 : Δοκίμια σε 3,5% NaCl κ.β. 65 κ 106 ημερών (υπό και χωρίς φόρτιση)

Από τον οπτικό έλεγχο παρατηρούμε ότι οι υπό φόρτιση σύνδεσμοι που τοποθετήθηκαν σε διαβρωτικό περιβάλλον ολικής εμβάπτισης σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3.5% κ.β. έχουν πιο έντονο χρώμα (σκούρο) που σημαίνει ότι έχουμε μεγαλύτερη απώλεια μάζας από τους χωρίς φόρτιση συνδέσμους.

Επίσης παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερο διάστημα σε ημέρες, είναι σε διαβρωτικό περιβάλλον ολικής εμβάπτισης σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3.5% κ.β., τόσο το χρώμα γίνεται πιο έντονο (σκούρο).

3.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΑΠΩΛΕΙΑ ΜΑΖΑΣ

ΥΠΟΛΟΓΙΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΜΑΖΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Από την συνολική διαδικασία σε διάβρωση υπολογίσθηκαν η απώλεια μάζας του κάθε δοκιμίου και η διαφορά των μαζών αυτών που είναι τα παρακάτω:

ΥΠΟ ΕΝΤΑΣΗ

ΑΝΤΙΑΝΕΜΙΟ		ΒΑΣΗ		ΖΕΥΚΤΟ		ΤΕΓΙΔΑ	
ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ
140,9485	140,5248	138,7902	137,6108	145,2496	145,4033	98,919	98,644
ΔΜ	0,4237		1,1794		-0,1537		0,275
ΔΜ ΟΛΙΚΑ			1,7244 gr				

ΧΩΡΙΣ ΕΝΤΑΣΗ

ΑΝΤΙΑΝΕΜΙΟ		ΒΑΣΗ		ΖΕΥΚΤΟ		ΤΕΓΙΔΑ	
ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ
131,6157	131,0187	138,926	138,5287	147,4377	147,0462	109,9729	109,8179
	0,597		0,3973		0,3915		0,155
ΔΜ ΟΛΙΚΑ			1,5408 gr				

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι η απώλεια μάζας των συνδέσμων που βρίσκονται υπό ένταση είναι μεγαλύτερη από τους συνδέσμους που δεν έχουν υποστεί κάποια εντατική κατάσταση. Συγκεκριμένα για δοκίμια ίδιας μάζας και ίδιας επιφάνειας που έχουν υποστεί διάβρωση η διάβρωση των υπό ένταση συνδέσμων είναι 1,7244 γραμμάρια και των αφόρτιστων συνδέσμων είναι 1,5408 γραμμάρια δηλαδή είναι περίπου κατά 11% μεγαλύτερη.

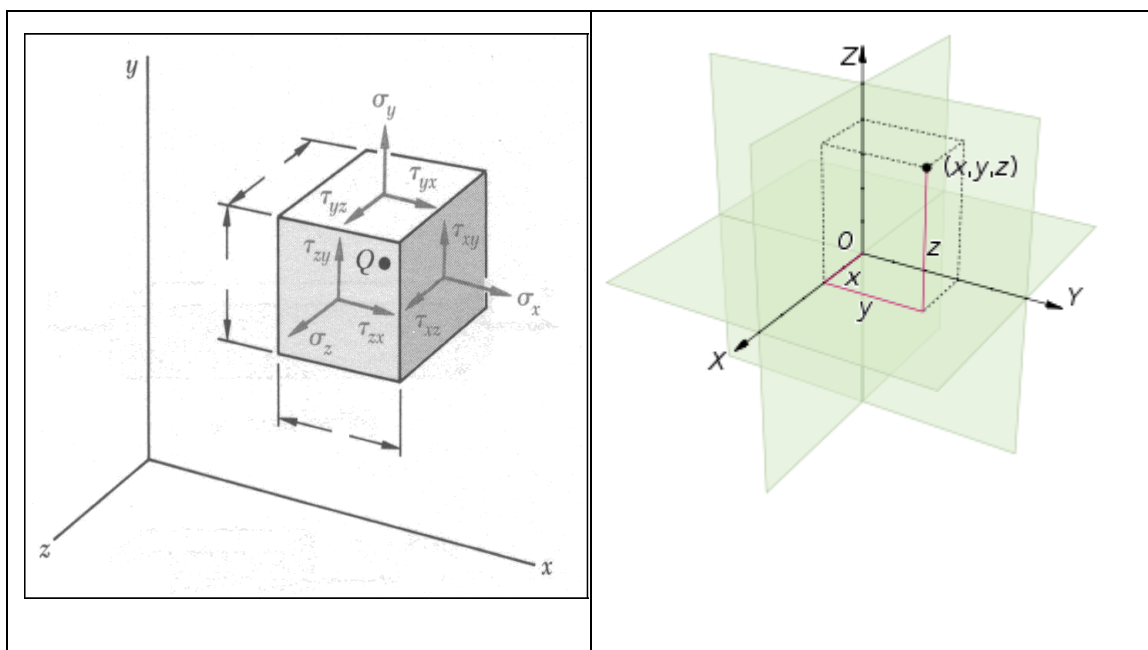
3.1.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Για κάθε σύνδεσμο κατασκευάστηκε το διάγραμμα διαφοράς μάζας (%) συναρτήσει του χρόνου που υπέστησαν διάβρωση και το PH του υδατικού διαλύματος χλωριούχου νατρίου 3.5% κ.β.

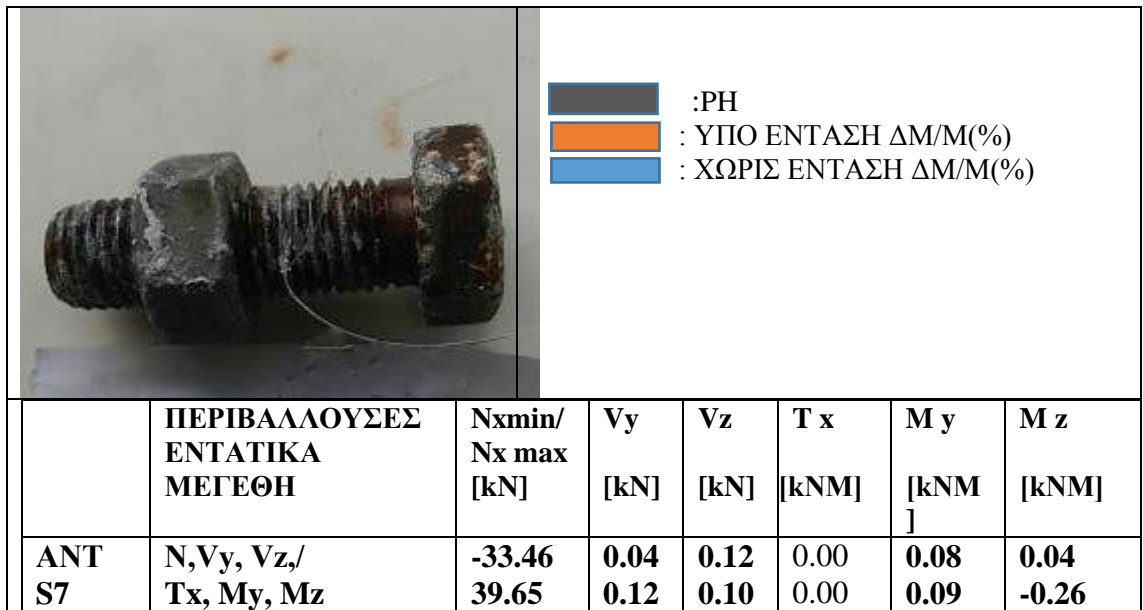
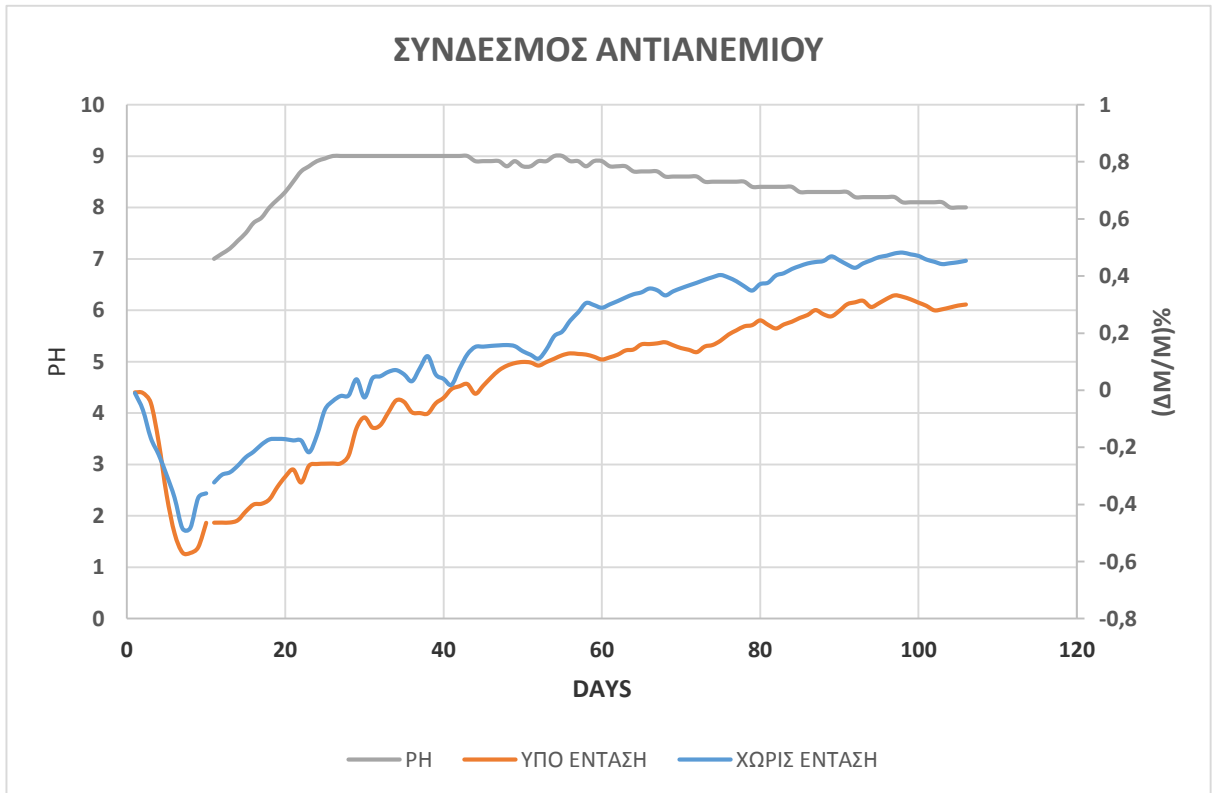
Τα εντατικά μεγέθη που υπολογίστηκαν αναφέρονται στα σημεία των κόμβων και για την κατανόηση των αποτελεσμάτων λαμβάνουν ως άξονα των x - x - το άξονα του μέλους όπως φαίνεται στο παρακάτω τρισσορθογώνιο σύστημα αξόνων .

Επισημαίνεται ότι στον κόμβο σύνδεσης στύλου- ζευκτού ο αριθμός των συνδέσμων (μπουλονιών) είναι 8 και τα εντατικά μεγέθη καθενός από αυτού υπολογίζεται διαιρώντας την εντατική κατάσταση με τον αριθμό 8.

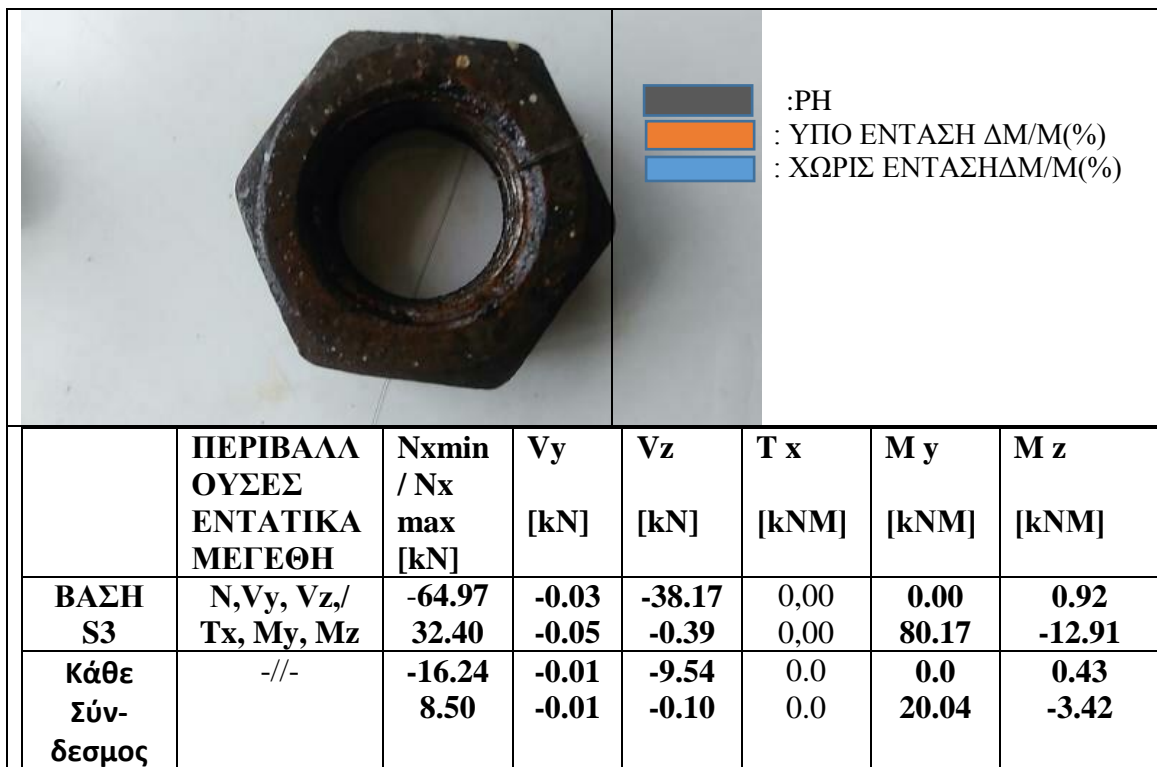
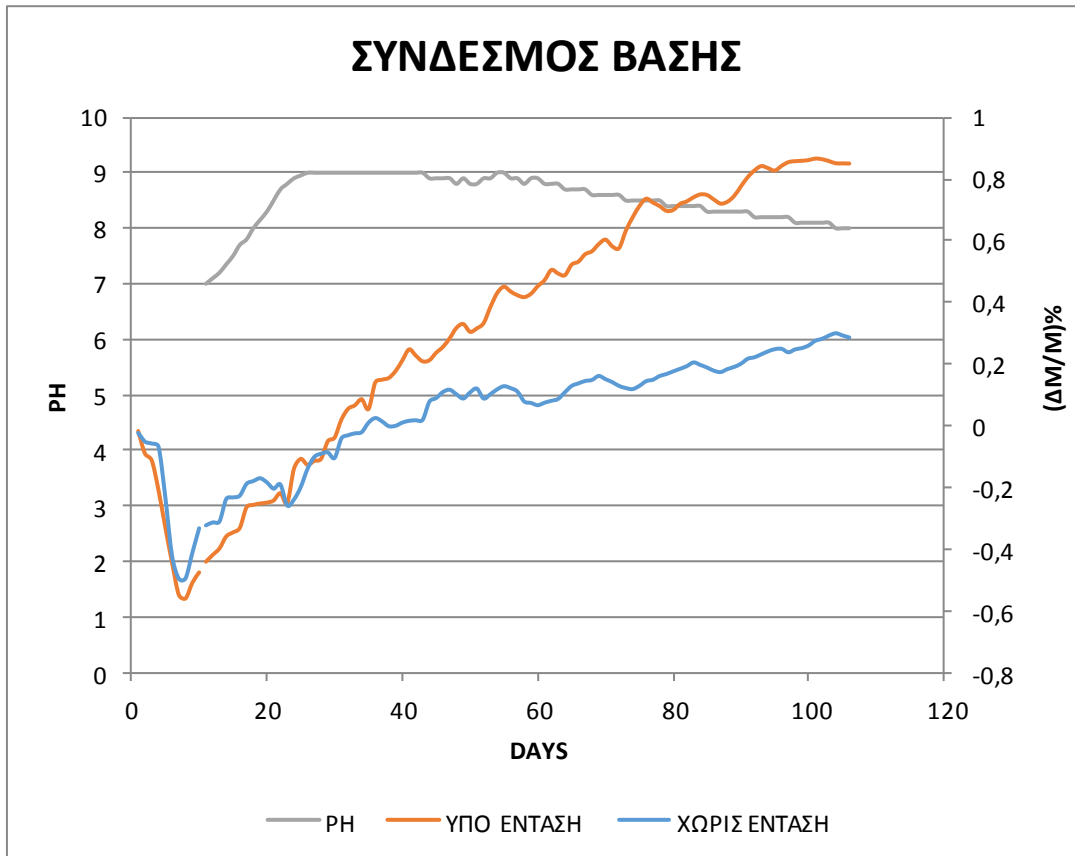
Όμοια στον κόμβο σύνδεσης στύλου στη βάση ο αριθμός των συνδέσμων (παξιμάδια) σύνδεσης είναι 4 και τα εντατικά μεγέθη καθενός από αυτού υπολογίζεται διαιρώντας την εντατική κατάσταση με τον αριθμό 4.



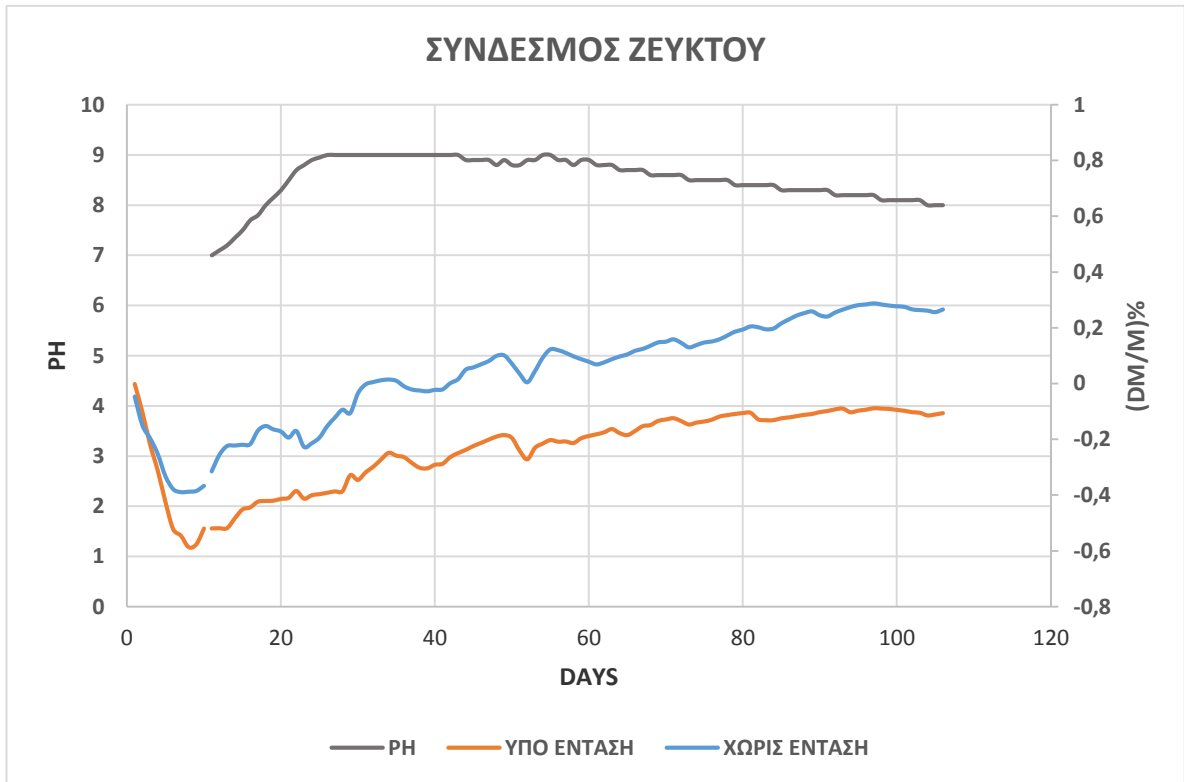
Σχήμα 3.1 Τρισσορθογώνιο σύστημα αξόνων .




Εικόνα 3.3: Γράφημα συνδέσμου αντιανεμίου με τα εντατικά μεγέθη



Εικόνα 3.4 : Γράφημα συνδέσμου βάσης με τα εντατικά μεγέθη

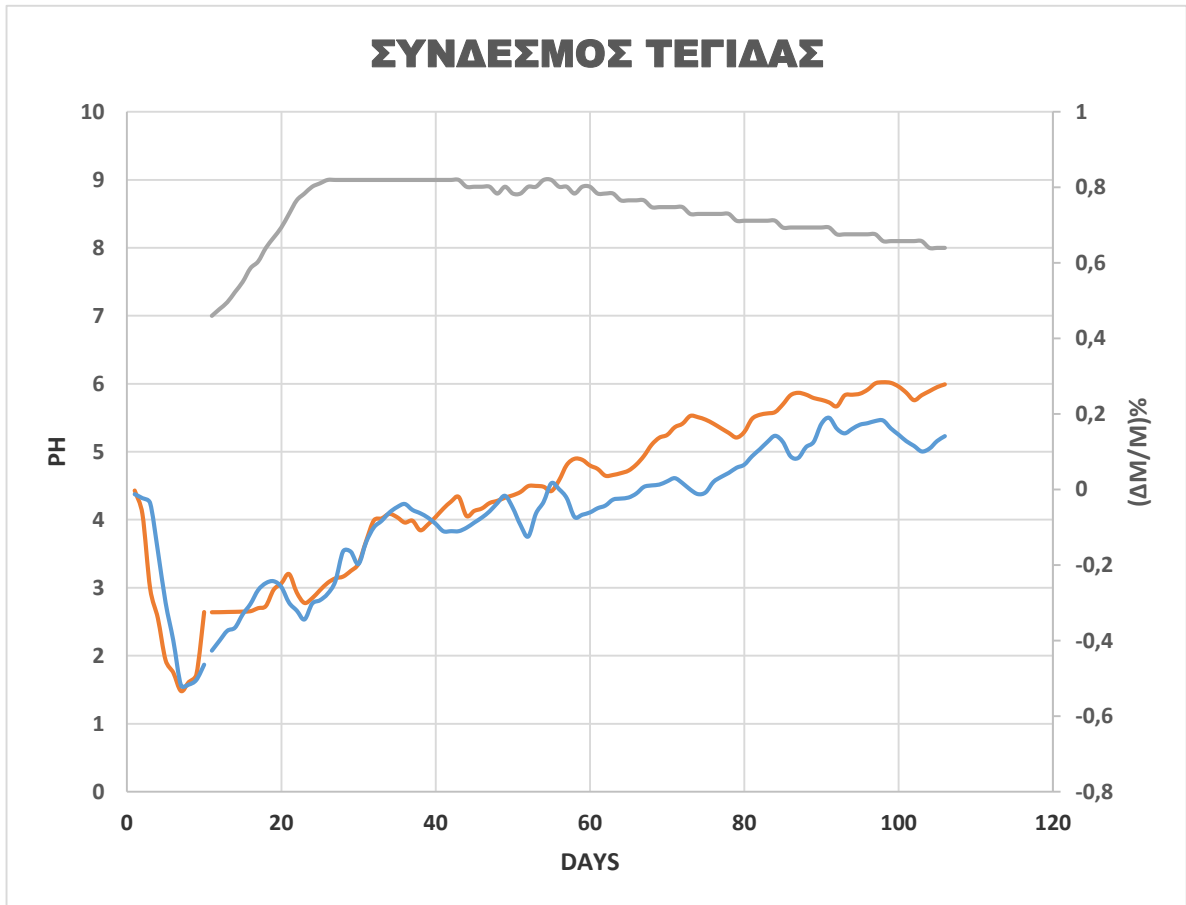





:PH
 : ΥΠΟ ΕΝΤΑΣΗ ΔΜ/Μ(%)
 : ΧΩΡΙΣ ΕΝΤΑΣΗ ΔΜ/Μ(%)

	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣ ΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	N _{xmin} / N _{x max} [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	T _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
ΖΕΥΚ S3	N, V_y, V_z,/ T_x, M_y, M_z	-62.14 2.92	9.86 0.21	38.17 5.55	0.00 0.00	-97.68 -0.14	-8.08 0.37
Κάθε σύνδεσμος	-//-	-7,77 0,365	1,23 0,03	4,77 0,6	0,0 0,0	-12,21 -0,02	-1,01 0,05

Εικόνα 3.5 : Γράφημα συνδέσμου ζευκτού με τα εντατικά μεγέθη

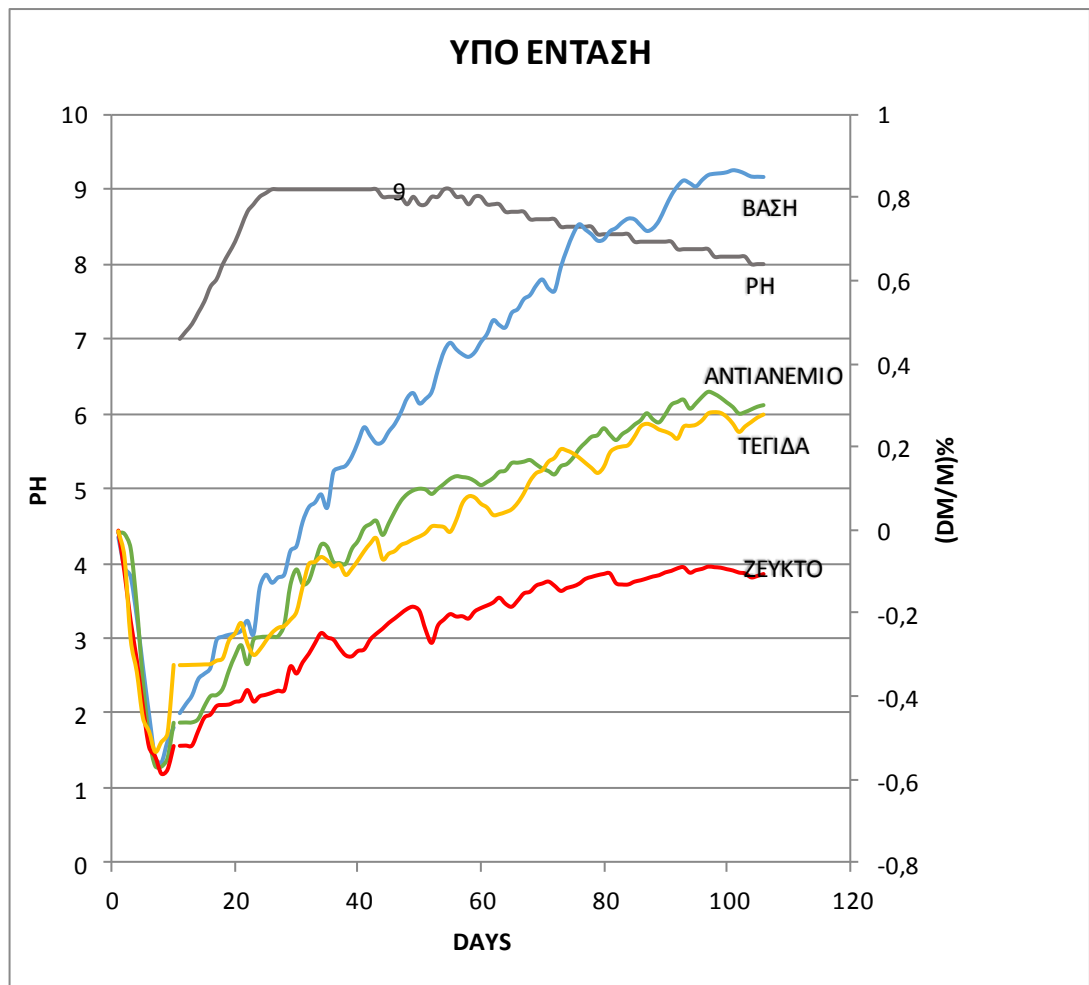




- :PH
- : ΥΠΟ ΕΝΤΑΣΗ ΔΜ/Μ(%)
- : ΧΩΡΙΣ ΕΝΤΑΣΗ ΔΜ/Μ(%)

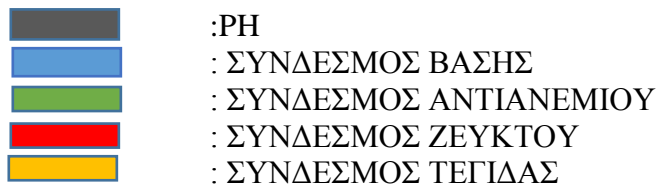
	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	N _x min/ N _x max [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	T _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
ΤΕΓ S20	N, V_y, V_z,/ T_x, M_y, M_z	-7.26 4.65	- 0.62 0.65	- 0.27 5.35	0.00 0.00	-4.51 0.28	0.42 -0.49

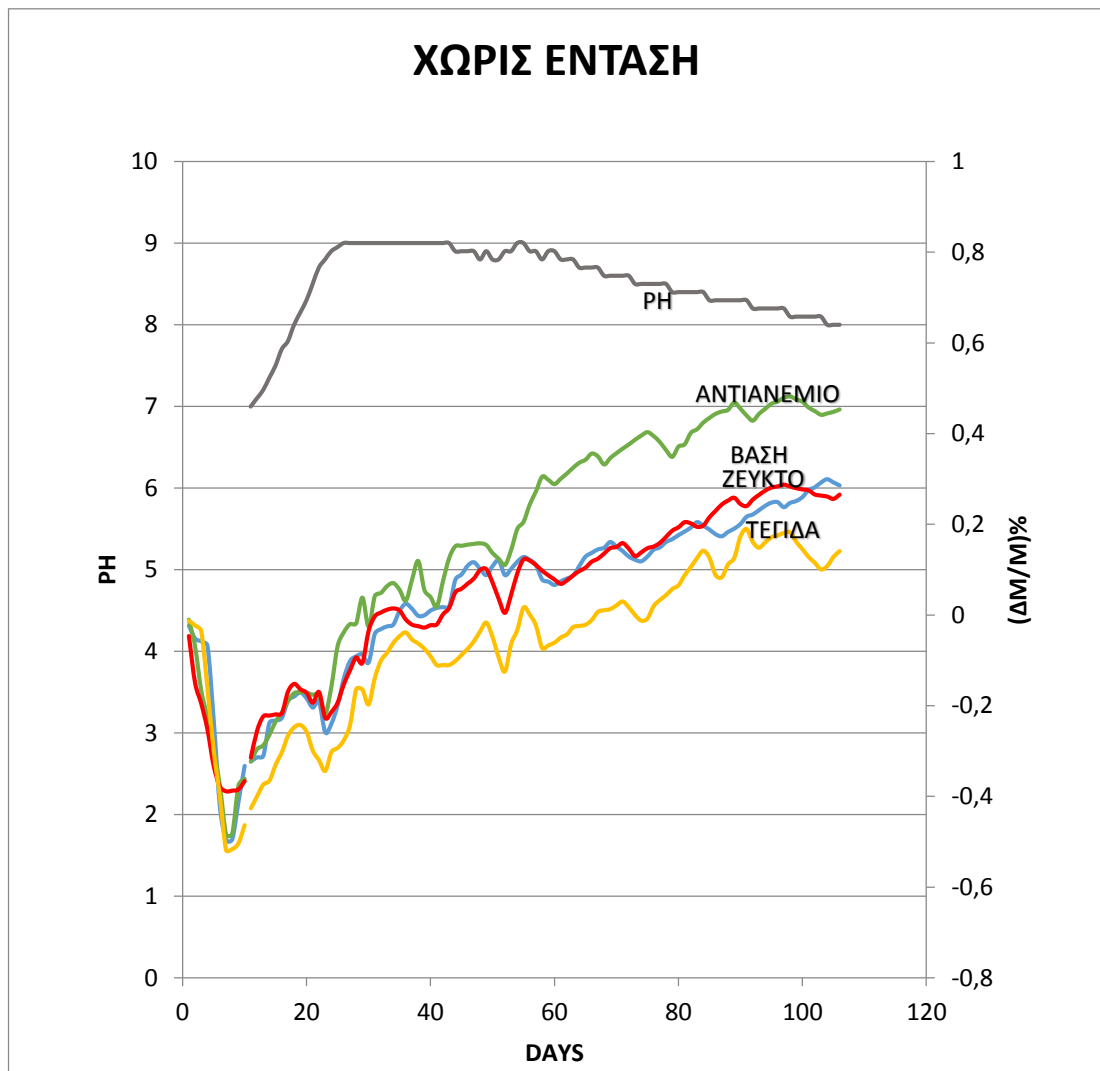
Εικόνα 3.6 : Γράφημα συνδέσμου τεγίδας με τα εντατικά μεγέθη



Εικόνα 3.7 : Γράφημα συνδέσμων υπό ένταση

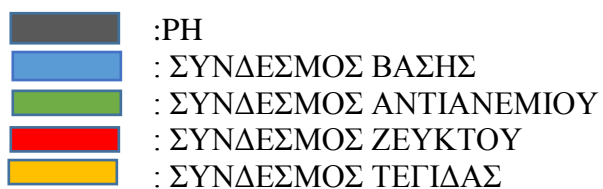
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΥΠΟ ΕΝΤΑΣΗ ΣΕ ΟΞΕΙΔΩΣΗ





Εικόνα 3.8: Γράφημα συνδέσμων χωρίς ένταση

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΧΩΡΙΣ ΕΝΤΑΣΗ ΣΕ ΟΞΕΙΔΩΣΗ



Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμαι τα εξής:

Μεταβολή του PH

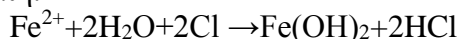
Κατά την πειραματική διαδικασία σε διάβρωση σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3.5% κ.β. το PH και στα δύο διαλύματα είχε την ίδια μεταβολή .

Στην αρχή για κάποιο διάστημα αυξανόταν από PH 7 σε PH 9 κατόπιν σταθεροποιήθηκε για κάποιο χρονικό διάστημα στο PH 9 και τέλος ακολούθησε πτωτική πορεία και να φθάσει σε PH 8 για όσο χρονικό διάστημα έγινε η πειραματική διαδικασία.

Τούτο εξηγείται με το μηχανισμό διάβρωσης οπών.

[21] Η διάβρωση οπών συμβαίνει κυρίως υπό την παρουσία ουδέτερων ή όξινων διαλυμάτων, τα οποία περιέχουν χλωριόντα ή ιόντα άλλων αλογόνων (π.χ. εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, χημική βιομηχανία, βιομηχανία χαρτιού, διυλιστήρια).

Στο θαλάσσιο νερό ή σε λευκαντικά υγρά, όπου η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι μειωμένη σε σχέση με την ατμόσφαιρα, τα χλωρίδια προσβάλλουν το παθητικό φιλμ με μεγαλύτερη ταχύτητα από την ταχύτητα ανάπλασης του. Η διάβρωση οπών μπορεί να ξεκινήσει από θέσεις της επιφάνειας όπου υπάρχουν μεταλλικά εγκλείσματα (π.χ. σουλφίδια), μικροχαραγές ή επιθέσεις σκουριάς, κλπ. Όταν το μέταλλο διαβρωθεί στην οπή, χλωριόντα μετακινούνται μέσα στην οπή για να εξισορροπήσουν το θετικό φορτίο των μεταλλικών ιόντων. Ακολουθεί υδρόλυση Fe^{2+} , που οδηγεί σε τοπική μείωση του PH μέσα στην οπή.



Το διάλυμα HCl επιταχύνει την ανοδική διάλυση, η οποία προκαλεί επιπλέον συγκέντρωση Cl^- στην οπή. Το εσωτερικό της οπής πολώνεται ανοδικά μέσω σχηματισμού γαλβανικών ζευγών με τις εξωτερικές, παράπλευρες της οπής, παθητικές επιφάνειες. Έτσι, το περιβάλλον μέσα στην αναπτυσσόμενη οπή γίνεται πιο διαβρωτικό και η ανάπλαση του παθητικού οξειδίου γίνεται πιο δύσκολη. Σαν αποτέλεσμα, στη διάβρωση οπών συχνά συμβαίνει με ταχύ ρυθμό. Οι οπές συχνά εμφανίζονται μικρές στη μεταλλική επιφάνεια, αλλά μπορεί να συνεχίζουν μεγαλύτερες στο εσωτερικό του μετάλλου. Επειδή οι οπές στην επιφάνεια του μετάλλου μπορεί να καλύπτονται από προϊόντα διάβρωσης, πολλές φορές, η διάβρωση οπών δεν γίνεται αντιληπτή παρά μόνον όταν το μέταλλο τρυπήσει.

[22] Το PH ενός διαλύματος είναι ο αρνητικός λογάριθμος της μοριακής συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου: $PH = -\log[H^+]$.

Υψηλότερο PH συνεπάγεται λιγότερα ελεύθερα ιόντα υδρογόνου. Μεταβολή του PH κατά μία μονάδα συνεπάγεται μεταβολή της συγκέντρωσης των H^+ κατά δέκα φορές. Η κλιμακα του PH παίρνει τιμές από 0 έως 14. Διάλυμα με $PH=7$ θεωρείται ουδέτερο. Διαλύματα με $PH < 7$ θεωρούνται όξινα ενώ διαλύματα με $PH > 7$ θεωρούνται βασικά.

Στη μελέτη του Han [23], το PH σε τύπο ρωγμών μειώθηκε με την αύξηση της ρωγμής: όσο χαμηλότερος ήταν ο λόγος τάσης και η συχνότητα, τόσο χαμηλότερο ήταν το PH στην τοπική λύση.

1. Συμπεριφορά σε Διάβρωση των συνδέσμων

Από την εικόνα 3.3 όπου έχουμε το γράφημα συνδέσμου αντιανεμίου παρατηρούμε ότι στον σύνδεσμο (μπουλόνι) ασκείται κυρίως μία κάθετη αξονική δύναμη με αποτέλεσμα να προκαλεί σε αυτό διατμητικές τάσεις.

Επίσης από την εικόνα 3.4 όπου έχουμε το γράφημα συνδέσμου βάσης παρατηρούμε ότι στον σύνδεσμο, που στην προκειμένη περίπτωση είναι η ντίζα, ασκείται κυρίως μία κάθετη αξονική δύναμη N και στρεπτικές ροπές M_y κ M_Z και αυτές μεταβιβάζονται στο σύνδεσμο βάσης (παξιμάδι) και να προκαλούν στον σύνδεσμο βάσης (παξιμάδι) μεγαλύτερη απώλεια μάζας (%) στο υπό φόρτιση δοκίμιο.

Από την εικόνα 3.5 όπου έχουμε το γράφημα συνδέσμου ζευκτού παρατηρούμε ότι στον σύνδεσμο (μπουλόνι) ασκείται κυρίως μία κάθετη αξονική δύναμη καθώς και στρεπτικές ροπές με συνακόλουθο να δέχεται αυτός εφελκυστικές τάσεις και τέμνουσες δυνάμεις, οι οποίες είναι μικρές λόγω των πολλών αριθμών συνδέσμων ζευκτού (8).

Από την εικόνα 3.6 όπου έχουμε το γράφημα συνδέσμου τεγίδας παρατηρούμε ότι στον σύνδεσμο (μπουλόνι) ασκούνται κυρίως μία κάθετη αξονική δύναμη καθώς και στρεπτικές ροπές που είναι πολύ μικρές με συνακόλουθο να δέχεται αυτός ελάχιστες καμπτικές τάσεις και τέμνουσες δυνάμεις που είναι πολύ μικρές.

Από την στατική επίλυση του μεταλλικού κτηρίου διαπιστώνουμε για τα εντατικά μεγέθη τα παρακάτω:

Μεγαλύτερη αξονική δύναμη N_x με μηδενικές ροπές M_y κ M_Z παραλαμβάνει ο σύνδεσμος του αντιανεμίου.

Μεγαλύτερες ροπές M_y κ M_Z σε συνδυασμό με αξονική N_x και τέμνουσα V_z δέχεται ο σύνδεσμος της βάσης.

Από την εικόνα 3.7 όπου έχουμε το γράφημα όλων των συνδέσμων υπό ένταση παρατηρούμε ότι στον σύνδεσμο βάσης (παξιμάδι) που υπόκειται σε μεγάλες τάσεις και καμπτικές ροπές M_y κ M_Z παρατηρείται η απώλεια μάζας (%) να είναι μεγαλύτερη από τους υπόλοιπους συνδέσμους.

Επίσης παρατηρούμε ότι στον σύνδεσμο ζευκτού (μπουλόνι) που δέχεται συνδυασμό φορτίσεων από δυνάμεις N_x , τέμνουσες δυνάμεις V_y και V_z και ροπών M_y κ M_Z στην αρχή έχουμε αύξηση μάζας πολύ μεγάλη στο υπό ένταση σύνδεσμο άρα μεγάλη διάβρωση στην συνέχεια η απώλεια μάζας (%) ακολουθεί τον ίδιο ρυθμό διάβρωσης.

Στον σύνδεσμο τεγίδας (μπουλόνι) που δέχεται συνδυασμό φορτίσεων από δυνάμεις N_x , τέμνουσες δυνάμεις V_y και V_z και ροπών M_y κ M_Z που είναι όμως μικρές η απώλεια μάζας (%) είναι μεγαλύτερη από τον χωρίς ένταση σύνδεσμο

Τούτο θεωρώ συμβαίνει διότι οι υπάρχουσες εφελκυστικές τάσεις παραλαμβάνονται από μεγάλο αριθμό μπουλονιών (8) με αποτέλεσμα να κατανέμονται σε αυτούς και να μειώνονται τα εντατικά μεγέθη.

Σε σύγκριση του συνδέσμου του ζευκτού και του αντιανεμίου που υπόκεινται σε εφελκυστικές τάσεις μεγαλύτερη απώλεια μάζας (%) είναι του συνδέσμου αντιανεμίου (μπουλόνι) που δέχεται μεγαλύτερες τάσεις. Η ίδια περίπου απώλεια μάζας με του αντιανεμίου παρατηρείται και στην τεγίδα υπό φόρτιση.

Από την εικόνα 3.8 όπου έχουμε το γράφημα όλων των συνδέσμων χωρίς ένταση παρατηρούμε ότι όλοι οι σύνδεσμοι έχουν περίπου την ίδια συμπεριφορά δηλαδή η απώλεια μάζας (%) να μην έχει αισθητή διαφορά μεταξύ των.

Συμπέρασμα:

Όπου οι τάση και οι ροπές είναι μεγάλες, στους συνδέσμους υπό ένταση, η απώλεια βάρους είναι μεγαλύτερη.

Στις μεγαλύτερες τάσεις χάνει πιο πολύ βάρος το υπό ένταση δοκίμιο

Στις μικρότερες τάσεις των υπό ένταση η απώλεια μάζας είναι μικρότερη.

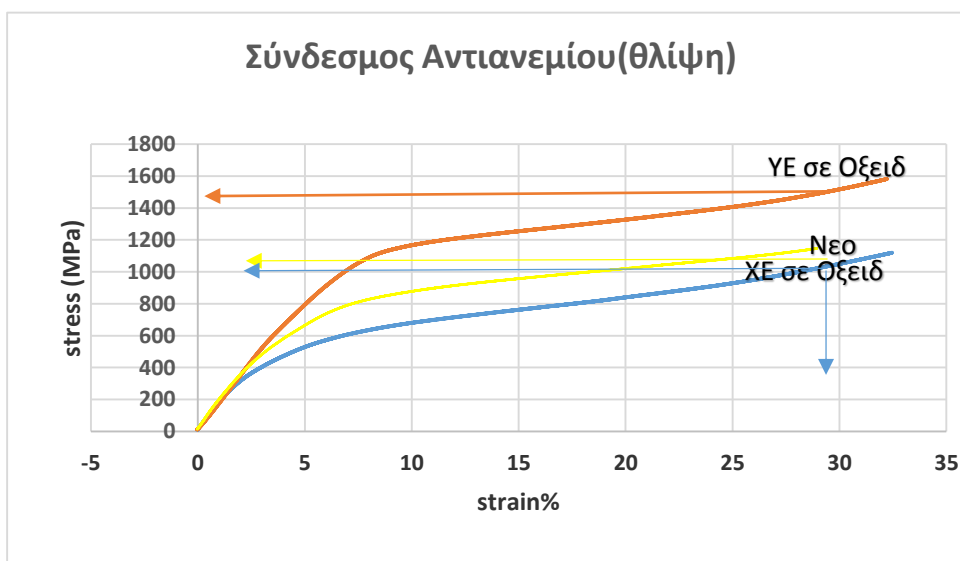
Όπου οι τάσεις από τις δυνάμεις V_y και V_z είναι μικρές τα υλικά συμπεριφέρονται τα ίδια ως προς την απώλεια βάρους.

Όπου υπάρχουν ροπές My κ MZ τα υλικά συμπεριφέρονται τα ίδια ως προς την απώλεια βάρους.

3.2 ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Από την δοκιμή σε θλίψη που έγινε στο εργαστήριο πήραμε τα παρακάτω διαγράμματα :

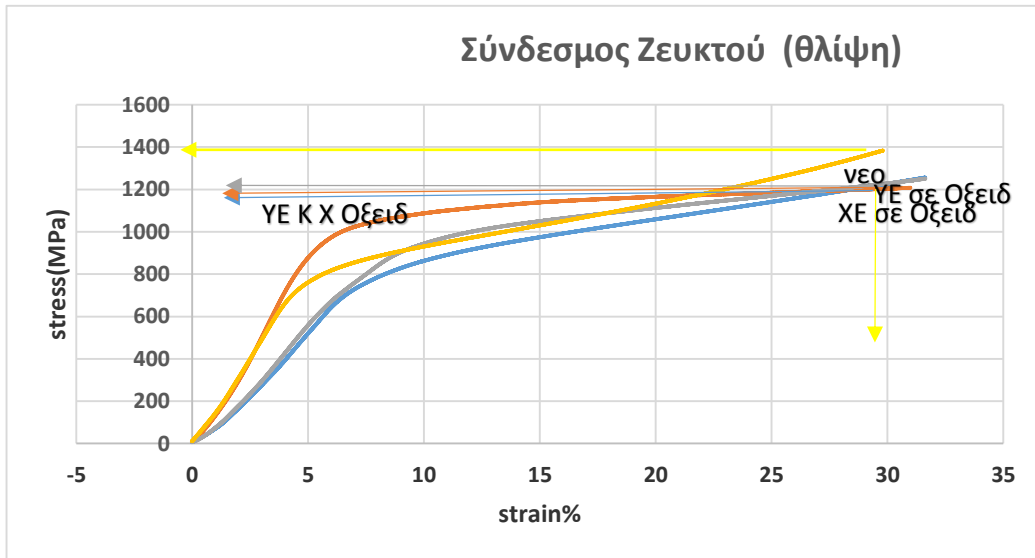
Εικόνα 3.9 Γράφημα συνδέσμου θλίψης αντιανεμιού



Πίνακας 3.1: Ιδιότητες δοκιμών Συνδέσμου Αντιανεμιού κατά τις δοκιμές θλίψης

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΑΝΤΙΑΝΕΜΙΟΥ			
	Υπό Ένταση σε Οξείδωση	Υπό Ένταση χωρίς Οξείδωση	Χωρίς Ένταση σε Οξείδωση	Νέο
Ύψος (mm)	5.37		5.49	5.12
Μήκος (mm)	3.64		4.19	3.31
Πλάτος (mm)	3.56		4.29	2.96
Εμβαδό διατομής (mm ²)	12.95		17.97	9.79
Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)	160.0		140.0	155.55
Τάση σε Παραμόρφωση 30% (MPa)	1.480,00		1020.0	1150.0
Μαχ Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)	160.0			
Μαχ Τάση σε Παραμόρφωση 30%	1.480,00			

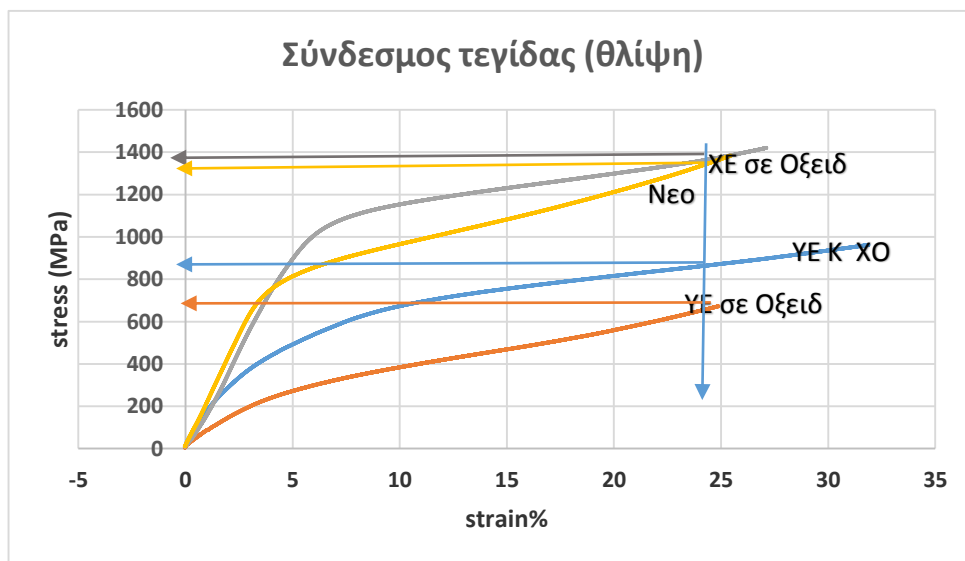
Εικόνα 3.10 Γράφημα συνδέσμου θλίψης ζευκτού



Πίνακας 3.2: Ιδιότητες δοκιμίων Συνδέσμου Ζευκτού κατά τις δοκιμές θλίψης

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΖΕΥΚΤΟΥ			
	Υπό Ένταση σε Οξείδωση	Υπό Ένταση χωρίς Οξείδωση	Χωρίς Ένταση σε Οξείδωση	Νέο
Ύψος (mm)	5.77	6.84	6.18	5.20
Μήκος (mm)	3.98	4.05	4.14	3.44
Πλάτος (mm)	3.03	4.08	4.36	3.49
Εμβαδό διατομής (mm ²)	12.05	16.52	18.05	12.00
Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)	116.0	177.08	110.0	175.0
Τάση σε Παραμόρφωση 30% (MPa)	1180.0	1220.0	1170.0	1400.0
Μαx Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)		177.08		
Μαx Τάση σε Παραμόρφωση 30%				1400.0

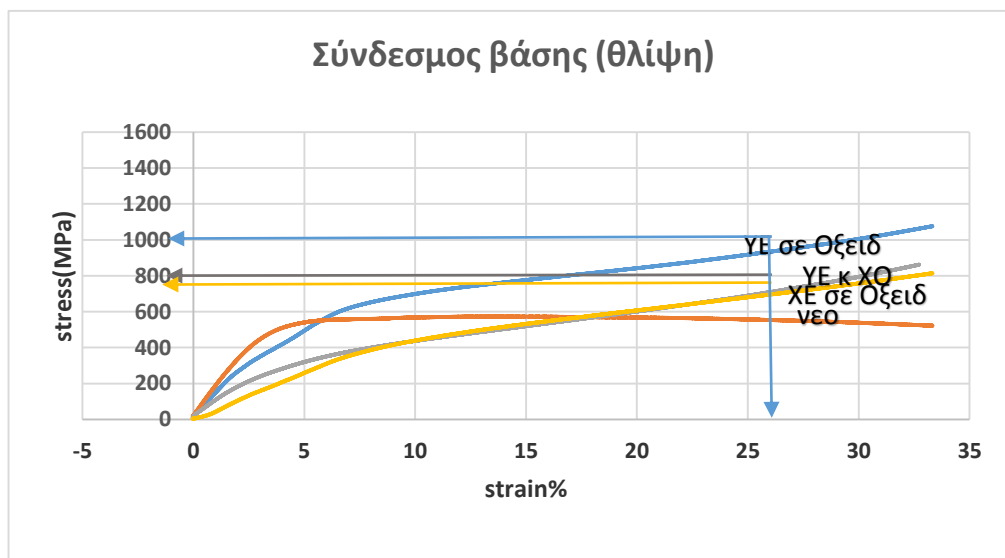
Εικόνα 3.11 Γράφημα συνδέσμου θλίψης τεγίδας



Πίνακας 3.3: Ιδιότητες δοκιμίων Συνδέσμου Τεγίδας κατά τις δοκιμές θλίψης

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΤΕΓΙΔΑΣ			
	Υπό Ένταση σε Οξείδωση	Υπό Ένταση χωρίς Οξείδωση	Χωρίς Ένταση σε Οξείδωση	Νέο
Ύψος (mm)	5.45	6.8	5.50	5.20
Μήκος (mm)	3.63	4.05	3.32	3.44
Πλάτος (mm)	3.54	3.89	3.82	3.49
Εμβαδό διατομής (mm ²)	12.85	15.75	12.68	5.20
Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)	80.0	133.33	180.0	180.0
Τάση σε Παραμόρφωση 25% (MPa)	680.0	880.0	1370.0	1320.0
Max Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)			180.0	180.0
Max Τάση σε Παραμόρφωση 25%			1370.0	

Εικόνα 3.12 Γράφημα συνδέσμου θλίψης βάσης



Πίνακας 3.4: Ιδιότητες δοκιμίων Συνδέσμου Βάσης κατά τις δοκιμές θλίψης

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΒΑΣΗΣ			
	Υπό Ένταση σε Οξειδωση	Υπό Ένταση χωρίς Οξειδωση	Χωρίς Ένταση σε Οξειδωση	Νέο
Ύψος (mm)	5.10	5.47	5.45	6.45
Μήκος (mm)	3.44	3.40	4.05	3.30
Πλάτος (mm)	3.44	3.29	4.20	2.97
Εμβαδό διατομής (mm ²)	11.83	11.18	17.01	9.80
Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)	100.0	90.0	60.0	182.0
Τάση σε Παραμόρφωση 30% (MPa)	1000.0	800.0	780.0	
Μαx Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)				182.0
Μαx Τάση σε Παραμόρφωση 30%	1000.0			

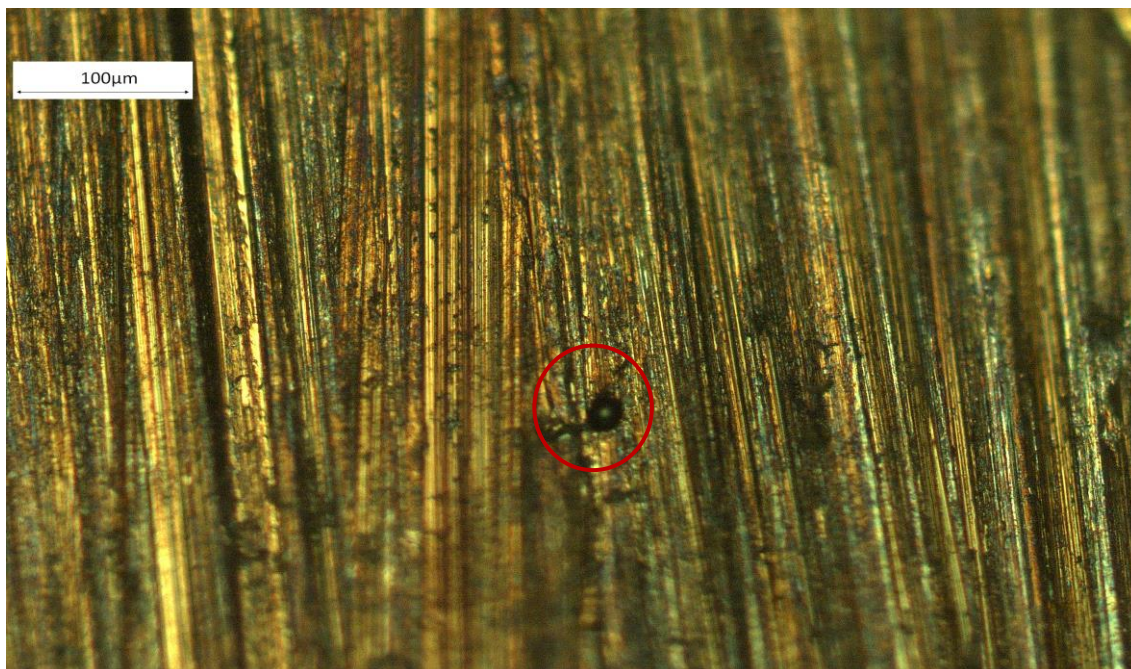
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΛΙΨΗΣ

Από τα παραπάνω διαγράμματα θλίψης παρατηρούμαι:

- i). Τη μεγαλύτερη τάση σε παραμόρφωση παίρνουμε, από το δοκίμιο του αντιανεμίου που έχει υποστεί ένταση και οξείδωση. Σε αυτό το μέλος του αντιανεμίου έχουμε αξονική δύναμη και καταπονεί το σύνδεσμο με εφελκυσμό.
- ii). Το μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας παίρνουμε, κατά τη δοκιμή θλίψης, από δοκίμιο το νέο που δεν έχει υποστεί καμία φόρτιση και χωρίς οξείδωση. Σε αυτό το μέλος του νέου δεν έχουμε καμία εντατική κατάσταση.
- iii). Παρατηρούμαι ότι σε συνδέσμους που έχουν υποστεί κάποια εντατική κατάσταση το μέτρο ελαστικότητας μειώνεται.

3.3 ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕ ΟΠΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

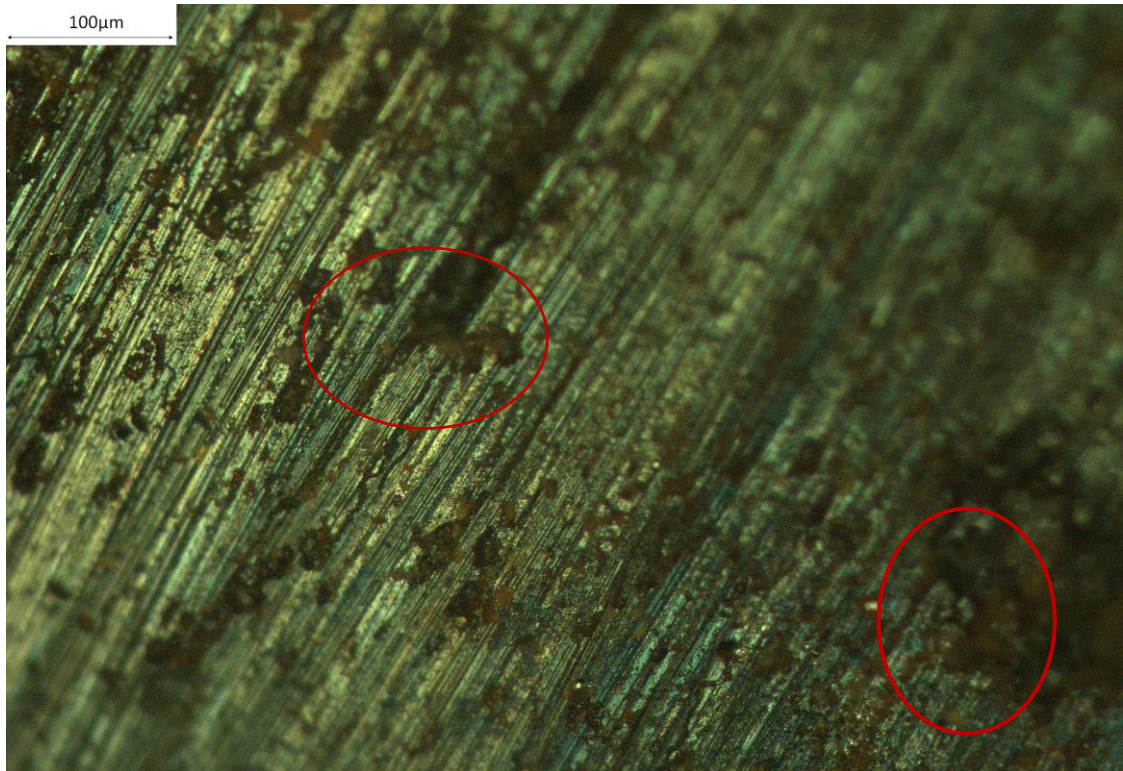
Από την πειραματική διαδικασία στο οπτικό μικροσκόπιο που έγινε στο εργαστήριο πήραμε τις παρακάτω απεικονίσεις :



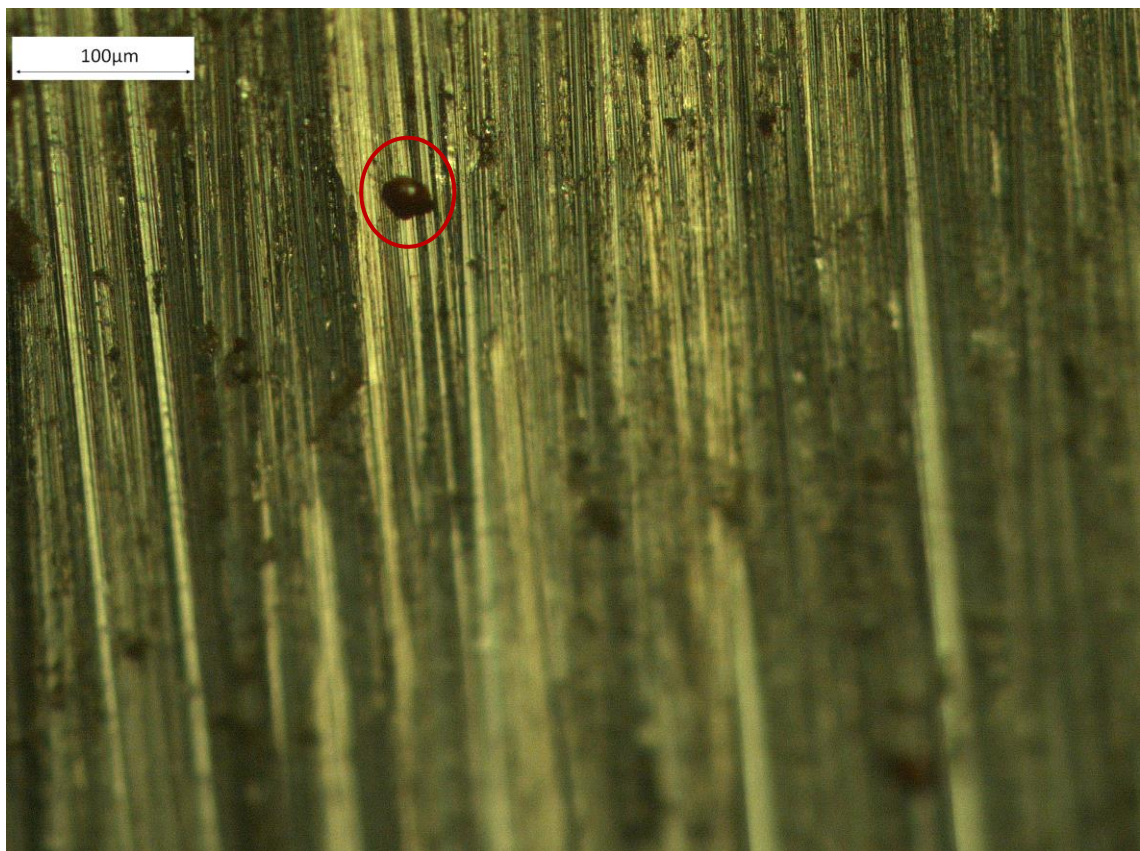
Εικόνα 3.8: Σύνδεσμος αντιανεμίου ΥΕ χωρίς Οξείδωση



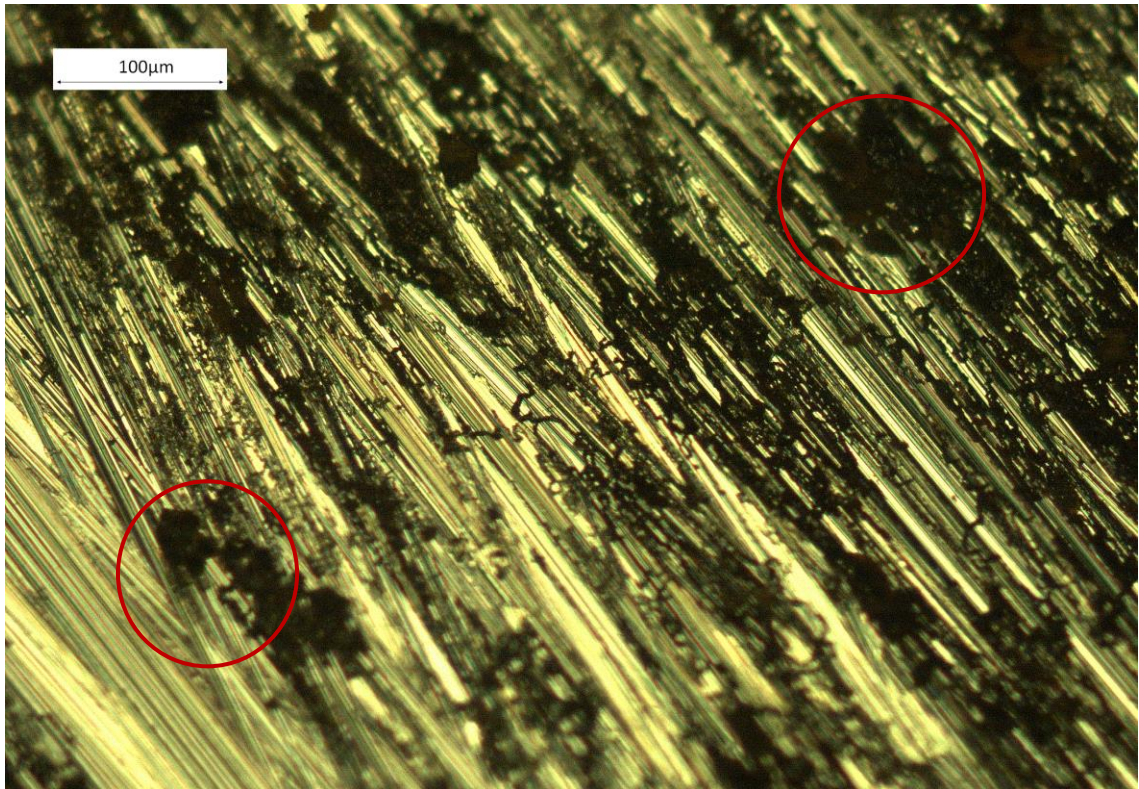
Εικόνα 3.9: Σύνδεσμος αντιανεμίου στην άκρη ΥΕ σε Οξείδωση



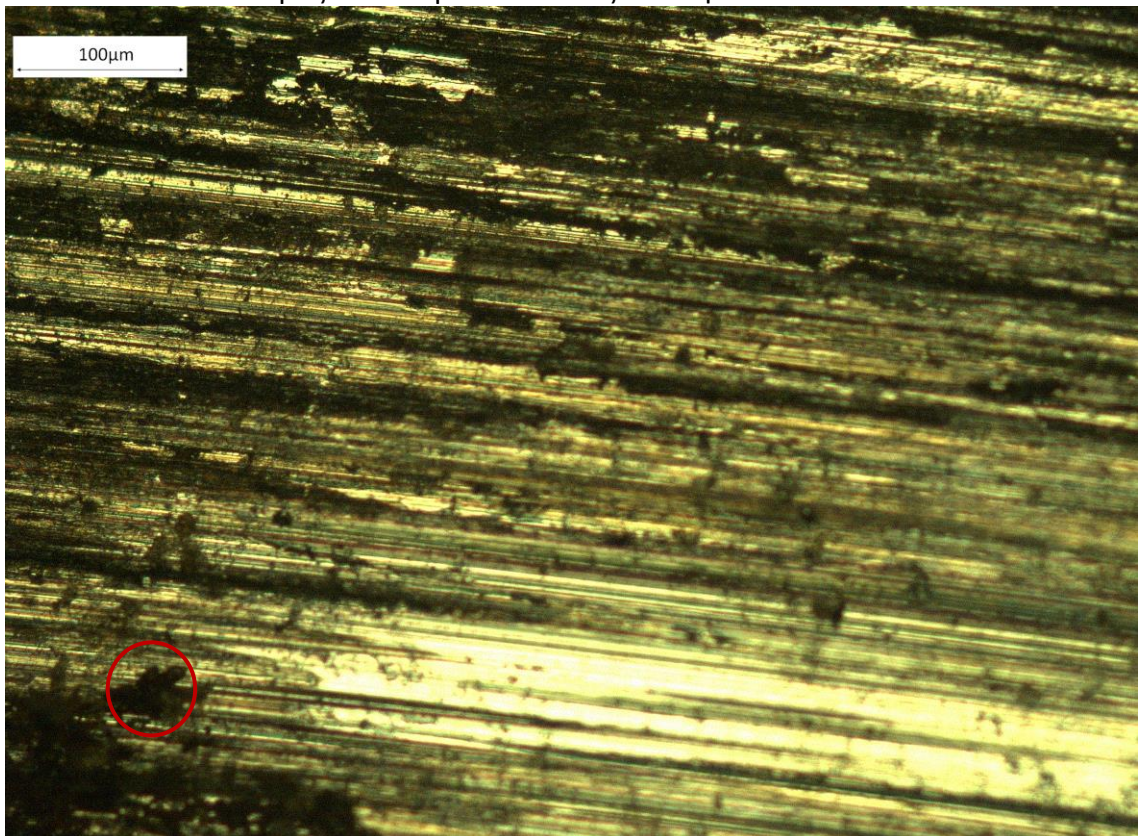
Εικόνα 3.10: Σύνδεσμος αντιανεμίου στο κέντρο ΥΕ σε Οξείδωση



Εικόνα 3.11: Σύνδεσμος αντιανεμίου νέο



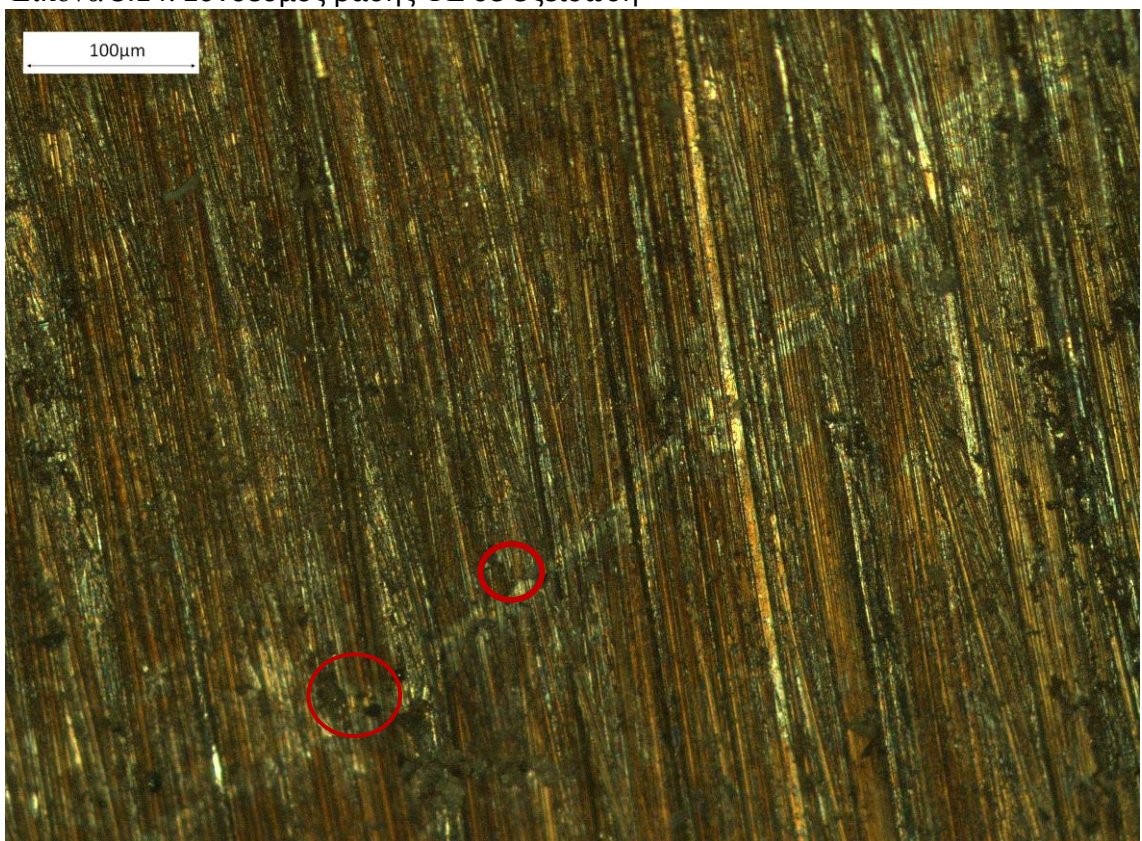
Εικόνα 3.12: Σύνδεσμος αντιανεμίου ΧΕ σε Οξείδωση



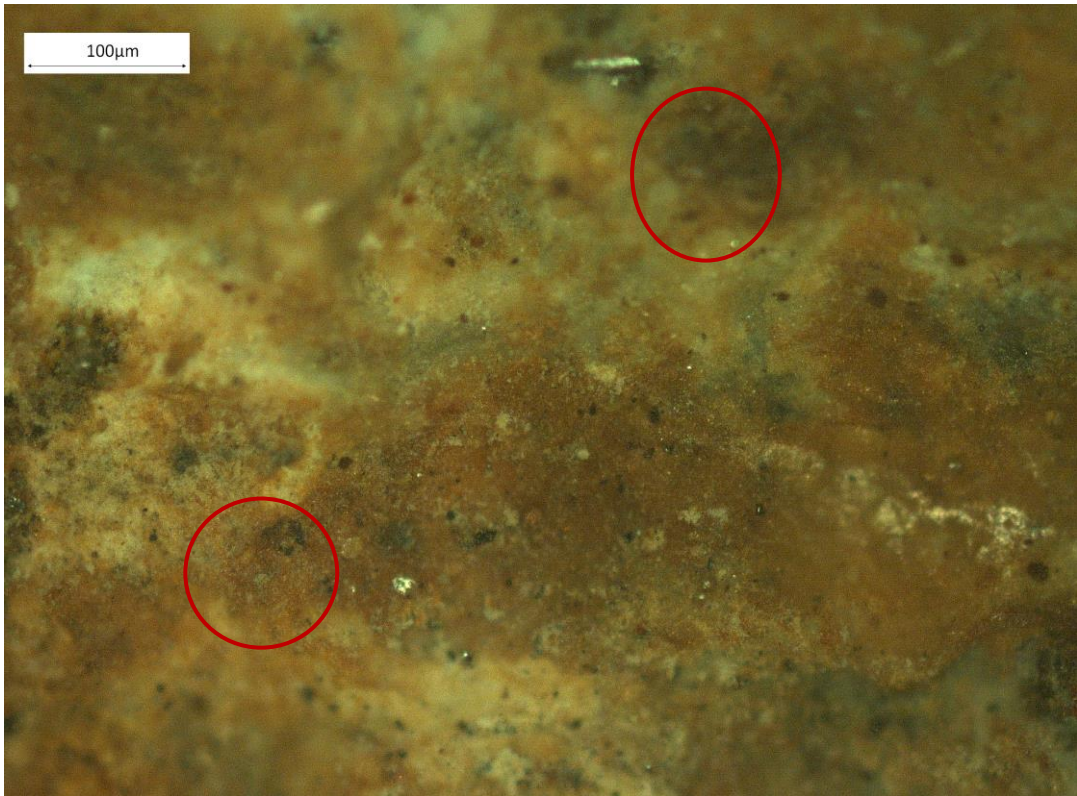
Εικόνα 3.13: Σύνδεσμος βάσης νέο



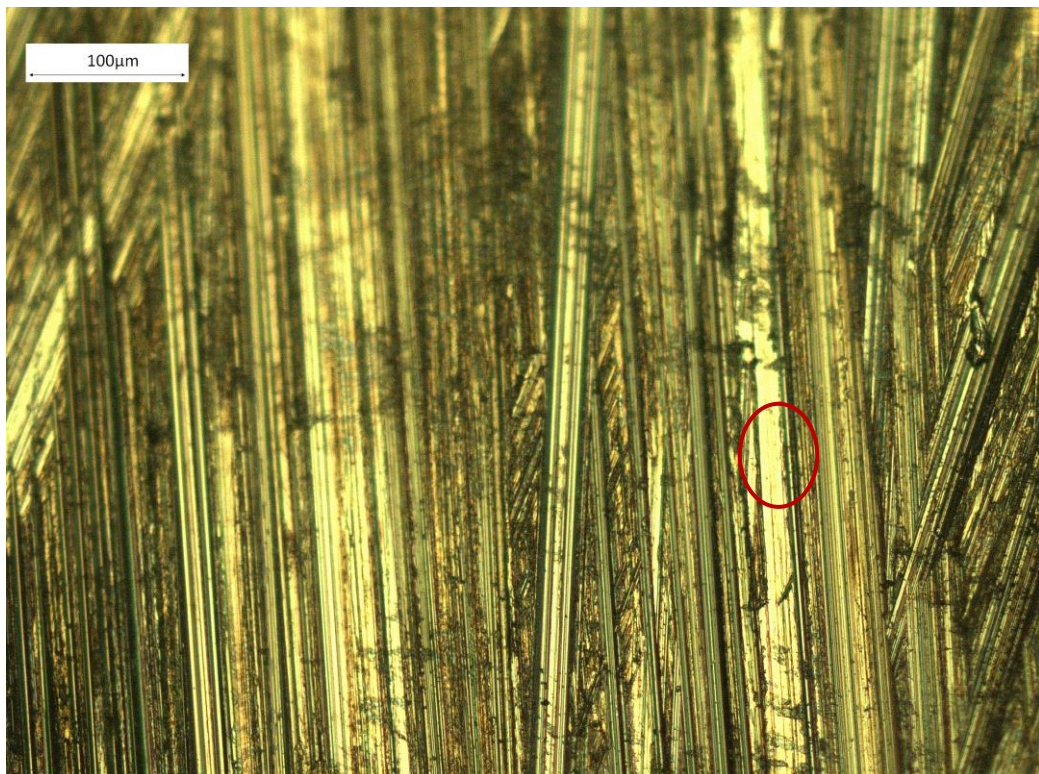
Εικόνα 3.14: Σύνδεσμος βάσης ΥΕ σε Οξείδωση



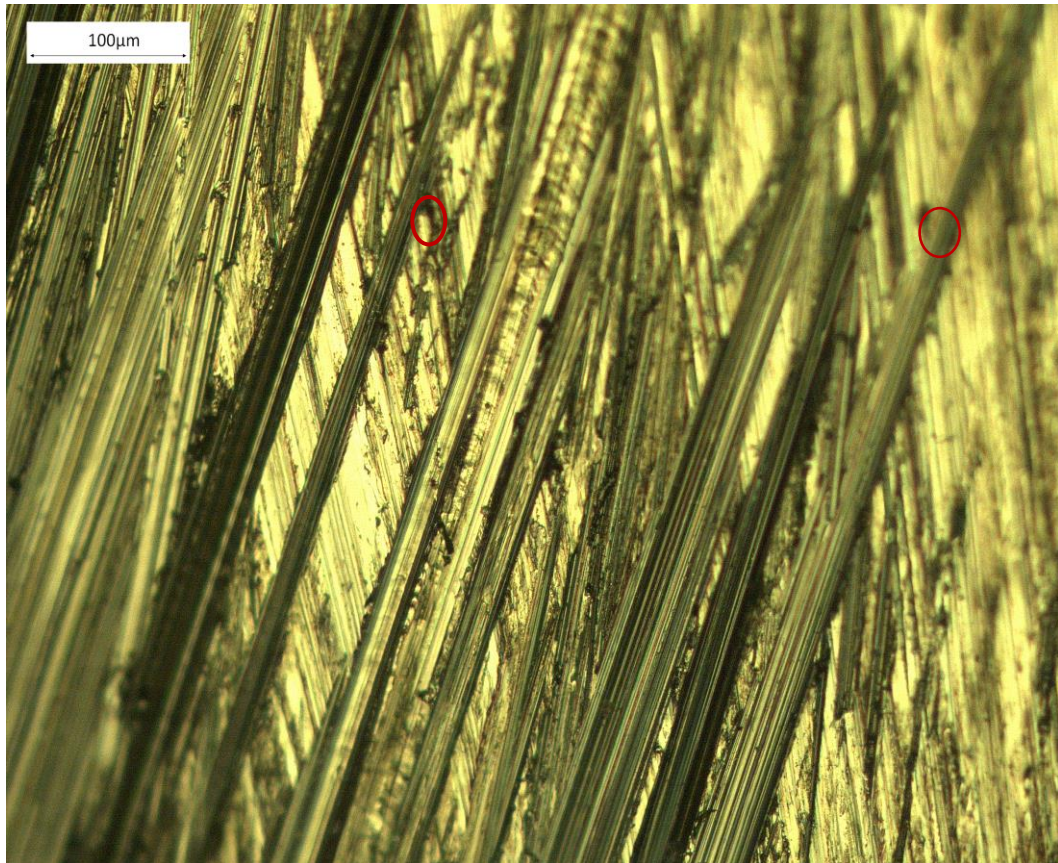
Εικόνα 3.15: Σύνδεσμος βάσης ΥΕ χωρίς Οξείδωση



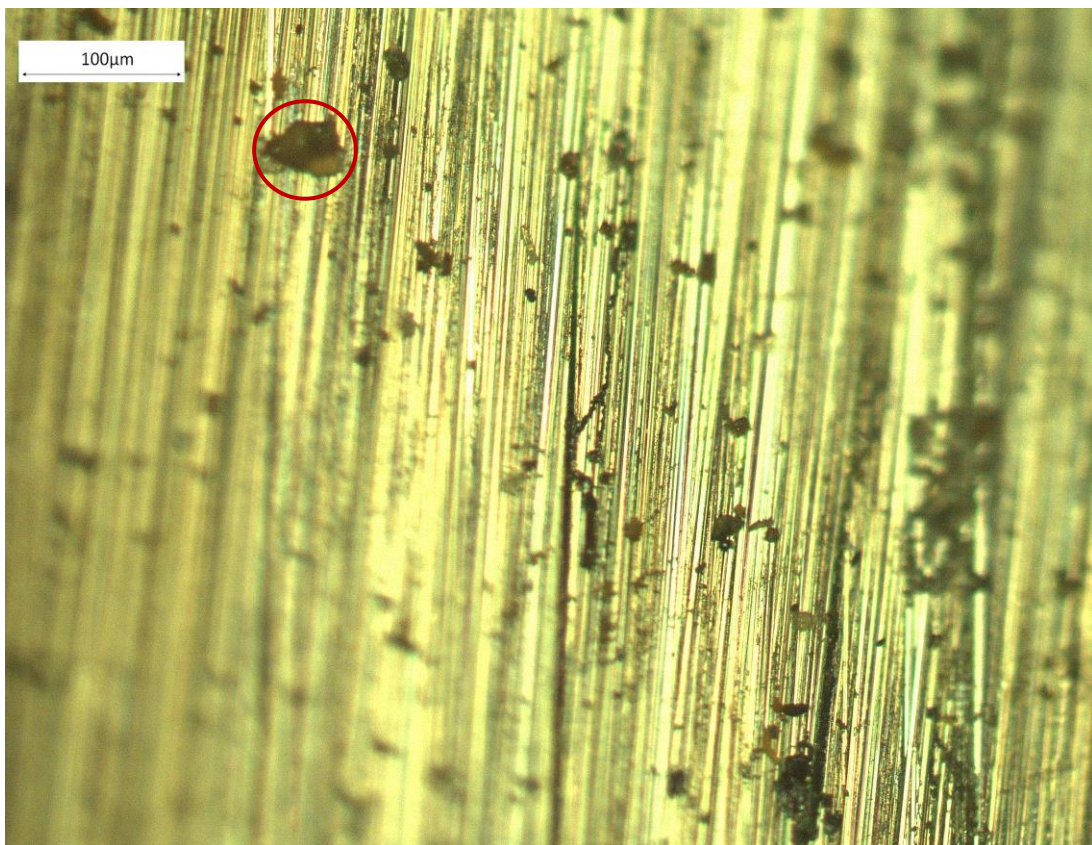
Εικόνα 3.16: Σύνδεσμος βάσης ΧΕ σε Οξείδωση



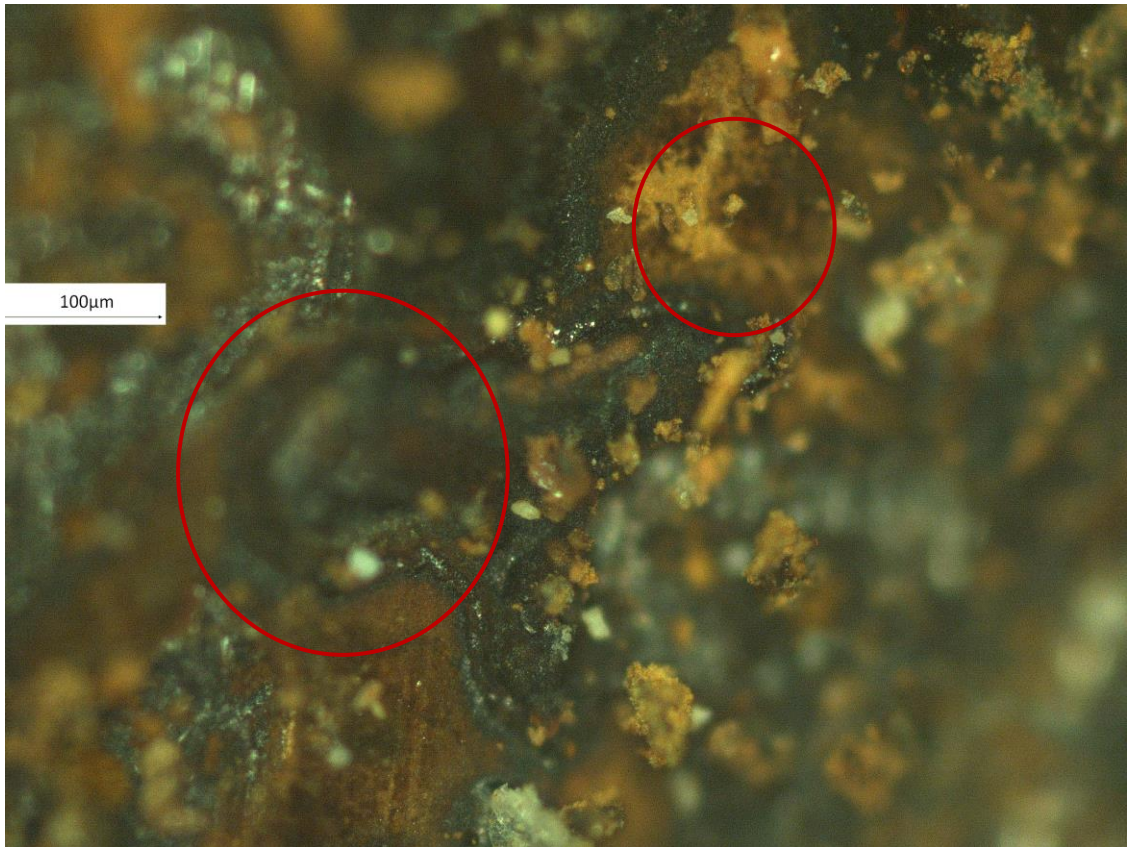
Εικόνα 3.17: Σύνδεσμος ζευκτού νέο



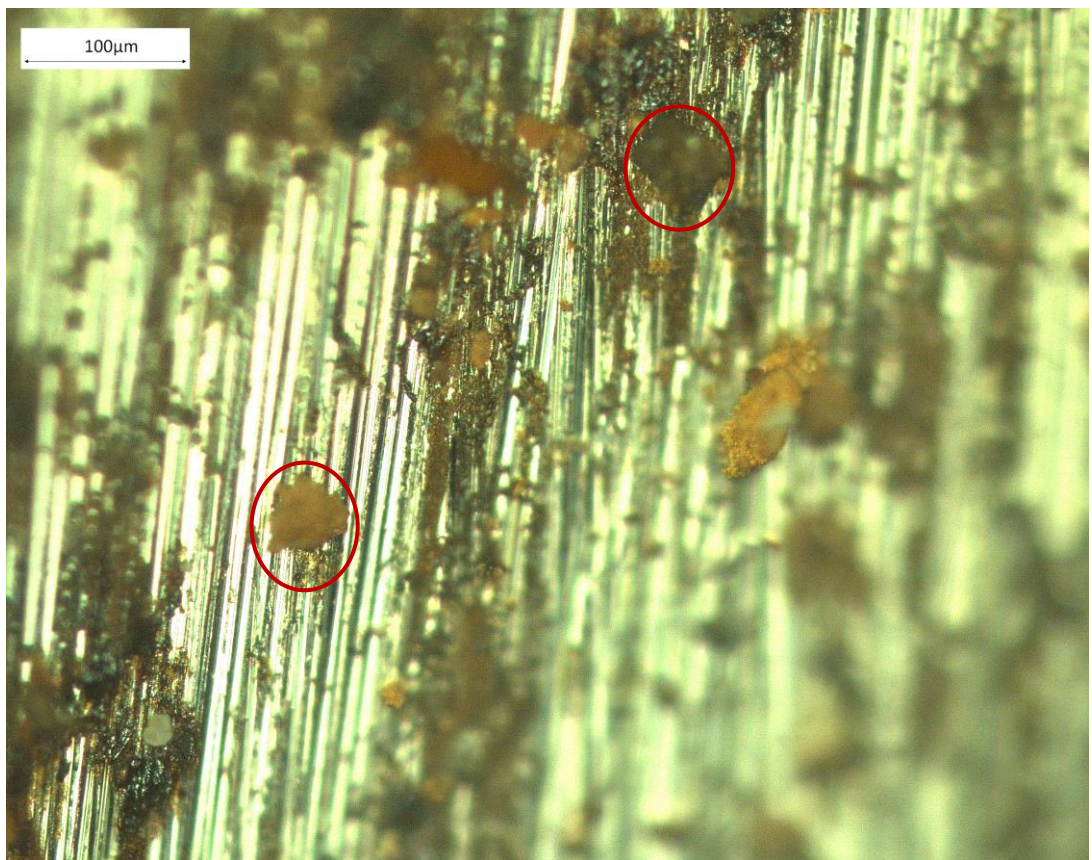
Εικόνα 3.18: Σύνδεσμος ζευκτού ΥΕ χωρίς ΟΞΕΙΔΩΣΗ



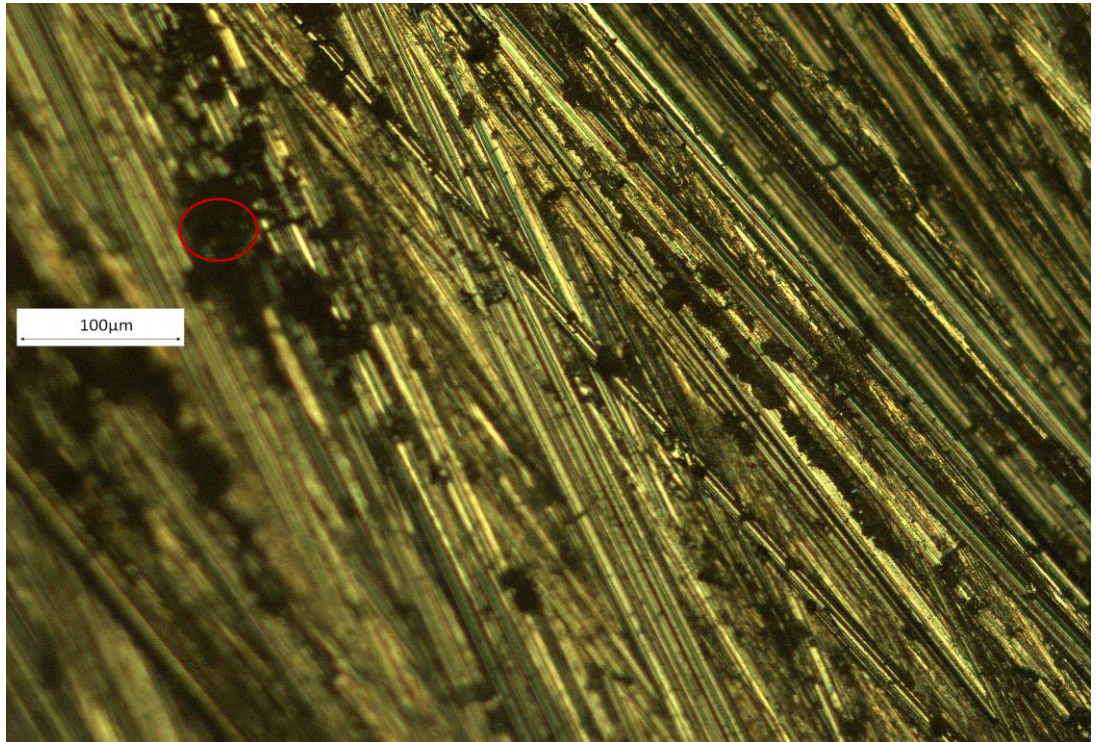
Εικόνα 3.19: Σύνδεσμος ζευκτού στην άκρη ΧΕ σε ΟΞΕΙΔΩΣΗ



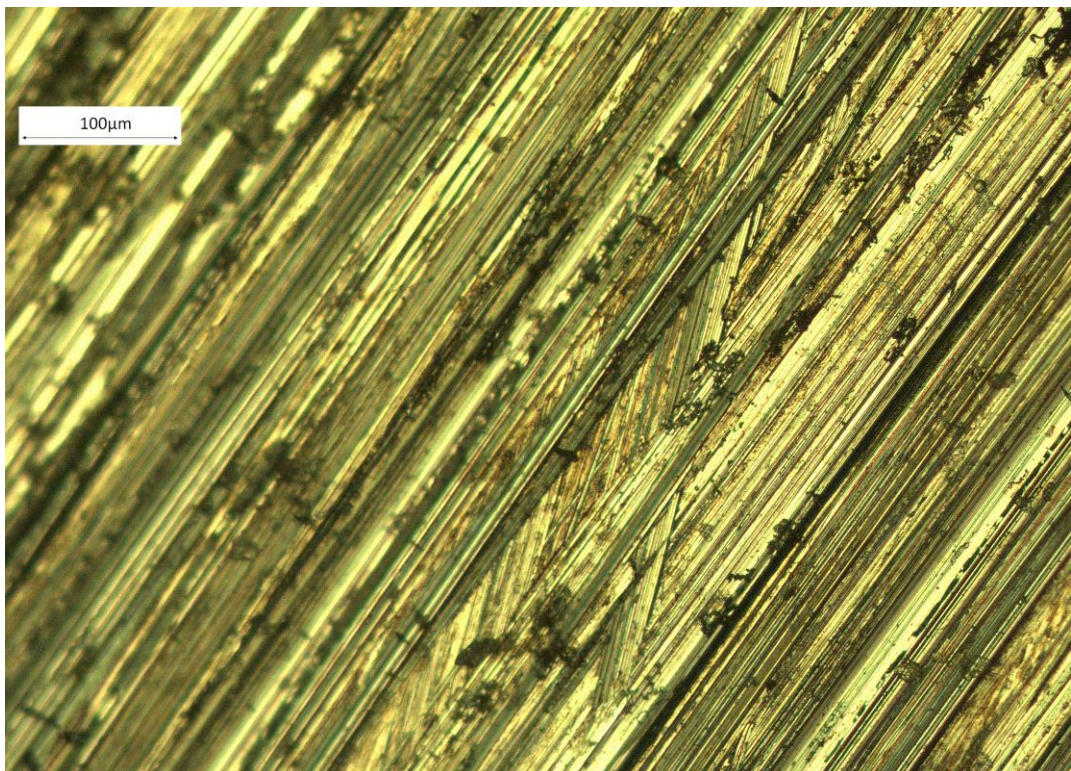
Εικόνα 3.19: Σύνδεσμος ζευκτού στην άκρη ΥΕ σε ΟΞΕΙΔΩΣΗ



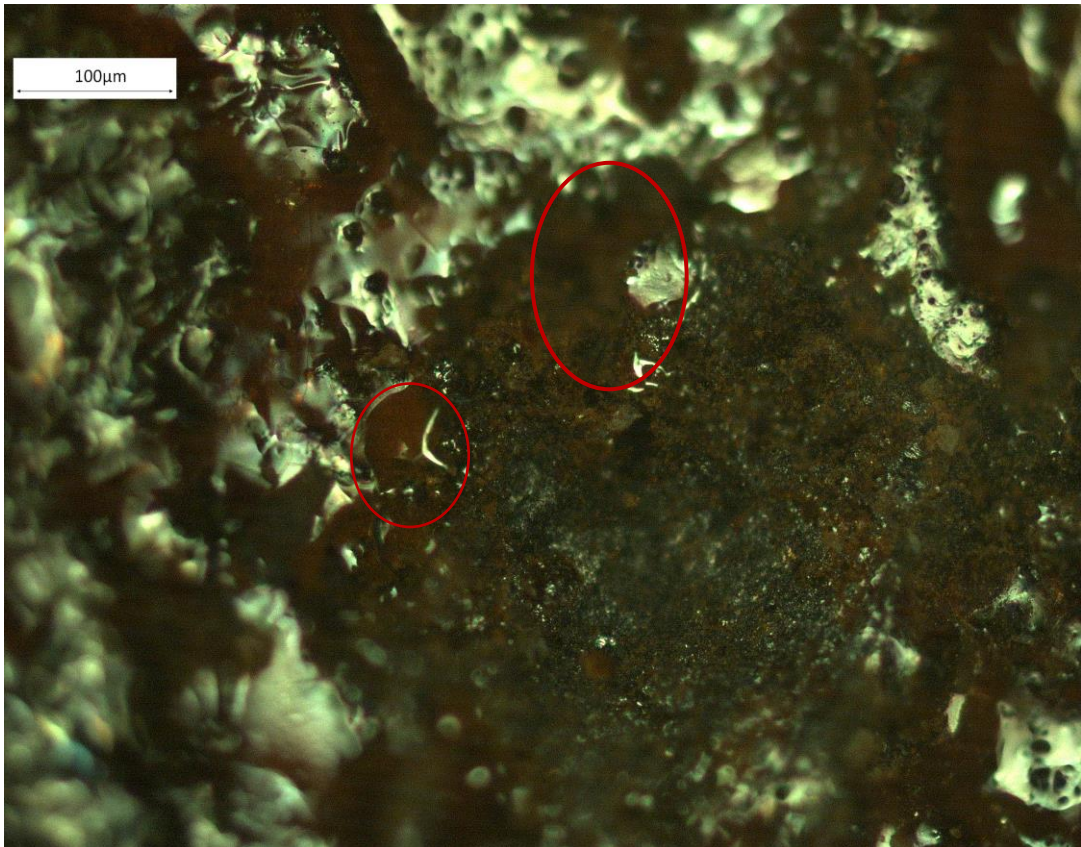
Εικόνα 3.19: Σύνδεσμος ζευκτού στο κέντρο ΥΕ σε ΟΞΕΙΔΩΣΗ



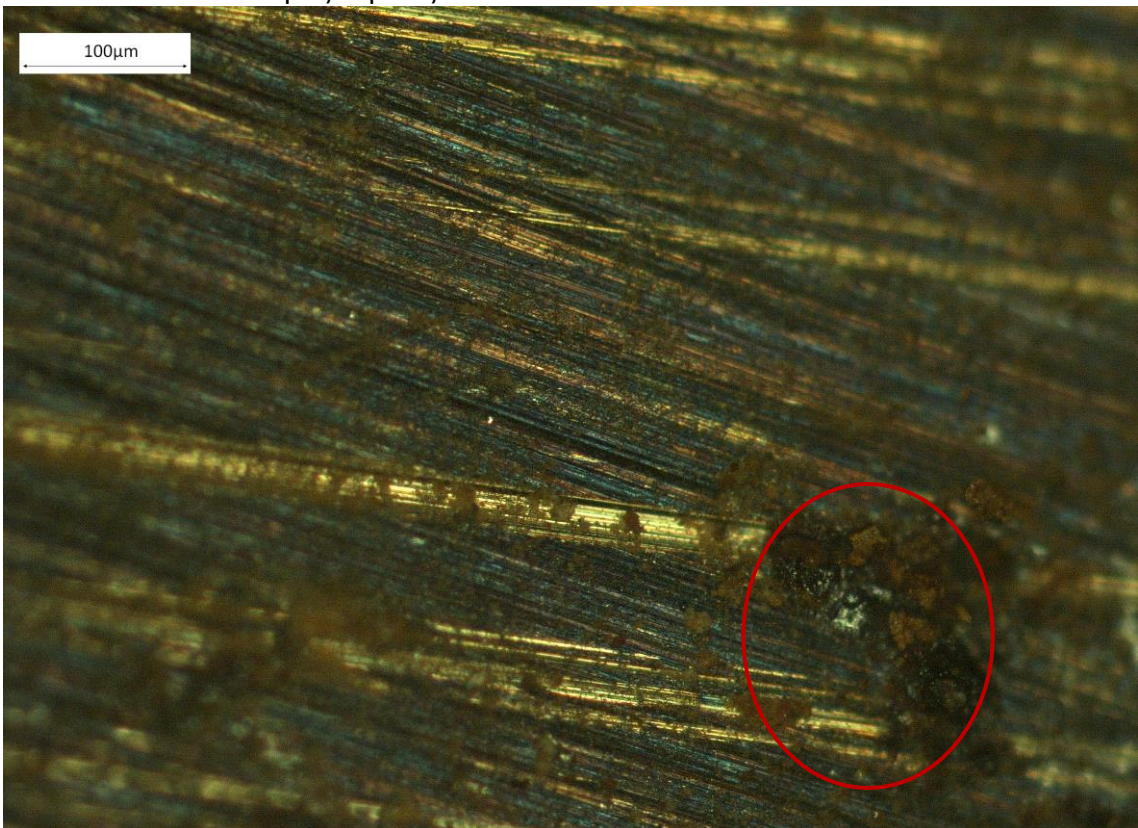
Εικόνα 3.20: Σύνδεσμος τεγίδας νέο



Εικόνα 3.21: Σύνδεσμος τεγίδας ΥΕ χωρίς ΟΞΕΙΔΩΣΗ



Εικόνα 3.22: Σύνδεσμος τεγίδας ΥΕ σε ΟΞΕΙΔΩΣΗ



Εικόνα 3.23: Σύνδεσμος τεγίδας ΧΕ σε ΟΞΕΙΔΩΣΗ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τον οπτικό έλεγχο στο μικροσκόπιο διαπιστώνουμε:

1. Οι σύνδεσμοι οι οποίοι έχουν υποστεί διάβρωση έχουν αρχίσει να διαβρώνονται με το μηχανισμό διάβρωσης οπών.
Η διάβρωση οπών συμβαίνει κυρίως υπό την παρουσία ουδέτερων ή όξινων διαλυμάτων, τα οποία περιέχουν χλωριόντα ή ιόντα άλλων αλογόνων (π.χ. εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, χημική βιομηχανία, βιομηχανία χαρτιού, διυλιστήρια). Στο θαλάσσιο νερό ή σε λευκαντικά υγρά, όπου η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι μειωμένη σε σχέση με την ατμόσφαιρα, τα χλωρίδια προσβάλλουν το παθητικό φίλμ με μεγαλύτερη ταχύτητα από την ταχύτητα ανάπλασης του. Η διάβρωση οπών μπορεί να ξεκινήσει από θέσεις της επιφάνειας όπου υπάρχουν μεταλλικά εγκλείσματα (π.χ. σουλφίδια), μικροχαραγές ή επιθέσεις σκουριάς, κλπ
2. Οι σύνδεσμοι οι οποίοι έχουν υποστεί διάβρωση σε διάλυμα χλωριούχου νατρίου 3.5% κ.β. διαβρώνονται πιο γρήγορα στην άκρη από ότι στο μέσο του συνδέσμου.
3. Ο ρυθμός διάβρωσης των συνδέσμων είναι μεγαλύτερος στα υπό ένταση δοκίμια από ότι στα χωρίς φόρτιση δοκίμια.
4. Σε όλα τα δοκίμια ο μηχανισμός διάβρωσης διαπιστώνουμε ότι διαβρώνονται με το μηχανισμό διάβρωσης οπών.

Σύμφωνα με τους R. Case, J. Harris, J. Daniels, M. Achour [24] ο ανθρακούχος χάλυβας είναι επιρρεπής σε σκασίματα που εκτίθενται σε ήπια ξινή θαλάσσια ύδατα, η ευαισθησία αυξάνει με το δυναμικό οξειδώσεως (ORP) του περιβάλλοντος θαλάσσιου ύδατος.

[25] Τάσεις και διαβρωτικές επιδράσεις. Αν μια φυσιολογική προστατευτική μεμβράνη που επικαλύπτει μια μεταλλική επιφάνεια διαταράσσεται από πλαστική παραμόρφωση στο υποκείμενο μέταλλο τότε το αντιδρών μέταλλο μπορεί να έρθει σε επαφή με ένα επιθετικό περιβάλλον και η διάβρωση, με τη μία ή την άλλη μορφή, θα αρχίσει. Οι περιπτώσεις ρωγμών διάβρωσης λόγω τάσεων που αναφέρθηκαν νωρίτερα είναι παραδείγματα διάβρωσης που προκύπτουν από τη συνδυασμένη δράση της τάσης και ενός αντιδραστικού περιβάλλοντος επί των μετάλλων, αλλά αυτή η συνδυασμένη δράση μπορεί να λάβει άλλες μορφές. Έτσι, αν η διαβρωτική αντίδραση δεν είναι επαρκώς εντοπισμένη για να διατηρήσει τη γεωμετρία της ρωγμής, καθώς ο ρυθμός επίθεσης είναι ουσιαστικά ο ίδιος στην κατεύθυνση βάθους και πλάτους, τότε θα προκύψουν κοιλότητες ή σχισμές, αντί ρωγμών. Εναλλακτικά, εάν εφαρμόζεται τάση με κυκλικό τρόπο, έτσι ώστε να προκύψει ρήξη σε προστατευτική μεμβράνη, διάβρωση και αναμόρφωση μιας μεμβράνης με επαναλαμβανόμενο τρόπο, τότε μπορεί να προκύψει αστοχία με κόπωση διάβρωσης. Ο τελευταίος είναι ένας από τους συνηθέστερους τρόπους υλικής αποτυχίας, που συνεπάγεται την έναρξη και την ανάπτυξη της ρωγμής υπό την επίδραση μιας επανειλημμένως εφαρμοζόμενης τάσης κατάλληλου πλάτους και

συχνότητας, όπως με την κόπωση απουσία οποιασδήποτε περιβαλλοντικής αλληλεπίδρασης, αλλά με την έναρξη της ρωγμής και / ή τα στάδια διάδοσης που διευκολύνεται από τη διάβρωση. Από την τεχνική άποψη, οι σημαντικότερες επιδράσεις των διαβρωτικών αντιδράσεων είναι ότι, συγκριτικά, μειώνουν τις ελάχιστες τάσεις πάνω από τις οποίες συμβαίνει μια τέτοια αστοχία και συνήθως αυξάνουν την ταχύτητα της ρωγμής, η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα μια μειωμένη ζωή για τα συστατικά.

[26] Σύμφωνα με το άρθρο του Yidong Xu, «Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η στατική φόρτιση επηρεάζει τα χαρακτηριστικά διάβρωσης . Η τοπική συγκέντρωση πίεσης σε διαβρωμένο οπλισμό που προκαλείται από την τάση εφελκυσμού, οδηγεί το μοτίβο της διάβρωσης στο να είναι πιο ακανόνιστο. Η ορθογωνική δοκιμή προκύπτει από προσομοιώσεις πεπερασμένων στοιχείων, που δείχνουν ότι το σχήμα του λάκκου και το βάθος του λάκκου είναι οι δύο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά εφελκυσμού του οπλισμού.

[27] Ο Cobo διεξήγαγε ένα πείραμα πάνω στις μηχανικές ιδιότητες του ενισχυμένου οξειδώσεως υψηλής αντοχής B500SD. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η επιμήκυνση των ράβδων μειώνεται και ο λόγος μεταξύ της μέγιστης εφελκυστικής τάσης και του ελαστικού ορίου αυξάνεται καθώς ο βαθμός διάβρωσης εξελίσσεται. [28] Ο Zhang διεξήγαγε μια πειραματική μελέτη σχετικά με τη στατική συμπεριφορά εφελκυσμού και κόπωσης του διαβρωμένου οπλισμού. Σε σύγκριση με τη συμπεριφορά εφελκυσμού, η συμπεριφορά κόπωσης του διαβρωμένου οπλισμού επηρεάστηκε περισσότερο από τη διάβρωση.

[29] Τα στατιστικά αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η τάση εφελκυσμού μπορεί να καταστήσει πιο περίπλοκη τη διαμόρφωση της κοιλότητας διάβρωσης. Η συζευγμένη δράση της ενανθράκωσης και της στατικής φόρτισης επηρεάζει την κατανομή των σχημάτων διάβρωσης. Πράγματι, προηγούμενα έργα έχουν επίσης δείξει ότι η ευαισθησία και η πιθανότητα θραύσης του ανοξειδώτου χάλυβα εξαρτώνται από τον τύπο του φορτίου και το επίπεδο της εφαρμοζόμενης τάσης [30,31]. Λόγω της τοπικής συγκέντρωσης τάσης σε διαβρωμένο οπλισμό που προκαλείται από τάση εφελκυσμού, οι λάκκοι διάβρωσης αυξάνονται κατά μήκος του προτιμώμενου προσανατολισμού, γεγονός που καθιστά το διάγραμμα της κοιλότητας διάβρωσης πιο ακανόνιστο.

Στη μελέτη Llorca [32], η πειραματικά μετρούμενη επίδραση της πίεσης τάσης στο κατώφλι κόπωσης στα σύρματα από χάλυβα ελαστικοειδούς χάλυβα ψυχρής έλξης. Η πρακτική δείχνει ότι η κατάσταση λειτουργίας του συρματόσχοινου από χαλυβουργείο έχει μεγάλη επίδραση στη ζωή του. Για παράδειγμα, η υψηλή υγρασία και ο ψεκασμός

νερού μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση στην επιφάνεια του χαλύβδινου σύρματος. Η κόπωση διάβρωσης μπορεί εύκολα να συμβεί υπό την κοινή επίδραση σύνθετων εξωτερικών καταπονήσεων, οι οποίες θα μειώσουν τη διάρκεια ζωής του χαλύβδινου σύρματος.

Όπως παρουσιάζεται στη μελέτη του Lin [33], η αντοχή στην κούραση υψηλού κύκλου του ελαφρού σιδήρου με αντοχή στη φθορά μειώθηκε δραματικά από τα δεδομένα υδατικά μέσα, ιδιαίτερα, σε μεγαλύτερο βαθμό με μείωση της τιμής του PH. Επιπλέον, ο λόγος τάσεων [34,35,36] και η συχνότητα φόρτισης [36,37] είναι οι δύο κύριες καταστάσεις καταπόνησης που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής των μεταλλικών υλικών στη διάβρωση. Όπως φαίνεται στη μελέτη του Han [35], η αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης ρωγμών θα προκληθεί τόσο από τη μείωση της συχνότητας όσο και από την αύξηση του λόγου τάσεων.

Μηχανισμός κόπωσης διάβρωσης

Ο ρυθμός έναρξης και διάδοσης της ρωγμής αυξήθηκε σημαντικά με την αύξηση των εφαρμοζόμενων τάσεων, οι οποίες ήταν οι ταχύτερες σε όξινο διάλυμα. Σύμφωνα με τη μελέτη της Ford [38], σχηματίστηκε γαλβανικό κύτταρο μεταξύ της ζώνης παραμόρφωσης (περιοχή άνοδος) και της μη-παραμορφωμένης περιοχής του μετάλλου (περιοχή κάθοδος), ενώ η ρωγμή διάβρωσης κόπωσης σχηματίστηκε με διάλυση της περιοχής ανόδου. Η περιοχή της ανόδου θα γινόταν μεγαλύτερη κάτω από το μεγάλο φορτίο φόρτισης, το οποίο προκάλεσε ταχύτερη ταχύτητα διάλυσης της περιοχής ανόδου. Η διάρκεια ζωής των μετάλλων στη διάβρωση σχετίζεται κυρίως με την περίοδο σχηματισμού και την περίοδο επέκτασης της ρωγμής κόπωσης διάβρωσης.

[39] Στην περίπτωση των κυκλικών φορτίων, το φαινόμενο της διάβρωσης μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της αντοχής στην κόπωση, κυρίως σε περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις τάσεων.

[40] Τα χλωρίδια στην ατμόσφαιρα μπορούν σίγουρα να αυξήσουν τον ρυθμό διάβρωσης, όπως στην περίπτωση των θαλάσσιων περιβαλλόντων, όπου το κρίσιμο επίπεδο υγρασίας είναι περίπου 30-40%. Η κύρια επίδραση των χλωριδίων είναι να αποφευχθεί ο σχηματισμός προστατευτικών φιλμ οξειδίου στην μεταλλική επιφάνεια, αυξάνοντας έτσι τη συνολική ταχύτητα διάβρωσης.

[41] Σε έρευνα που επικεντρώνεται στην ατμοσφαιρική διάβρωση μεταλλικών κατασκευών σε εξωτερικές ατμόσφαιρες, γεγονός που αντιπροσωπεύει μία από τις πιο σοβαρές μορφές διάβρωσης, με αποτέλεσμα τεράστιες απώλειες οικονομικής και

δομικής απόδοσης παρουσιάζεται μια έκθεση για τα μοντέλα διάβρωσης που είναι διαθέσιμα τόσο στη βιβλιογραφία όσο και στα διεθνή πρότυπα.

Η μελέτη έδειξε ότι το μεγαλύτερο μέρος των μοντέλων διάβρωσης βαθμονομείται με βάση τα τοπικά δεδομένα έκθεσης σε δοκιμές πεδίου. Δεδομένου ότι οι εμπειρικοί συντελεστές που χαρακτηρίζουν κάθε μοντέλο επηρεάζονται έντονα από τη θέση έκθεσης, την κατάσταση και τη διάρκεια, τέτοια μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Μόνο πρόσφατα, προτάθηκαν γενικές συνθέσεις με σκοπό την εξασφάλιση της απώλειας πάχους για διαφορετικές περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Τα πρότυπα μοντέλα διάβρωσης που είναι διαθέσιμα στη βιβλιογραφία έχουν συγκριθεί με το βάθος διάβρωσης που λαμβάνεται υπόψη από τα πρότυπα, επιλέγοντας τις διαφορετικές παραμέτρους επηρεασμού προκειμένου να προσομοιωθούν παρόμοιες κατηγορίες περιβαλλοντικής διαβρωτικότητας.

Η σύγκριση που πραγματοποιήθηκε με πρότυπες διατάξεις έδειξε μεγάλη διάχυση του προβλεπόμενου βάθους διάβρωσης. Ειδικότερα, όσον αφορά τον ανθρακούχο χάλυβα, έχει αποδειχθεί ότι τα πρότυπα υποτιμούν την σπουδαιότητα της απώλειας πάχους.

Φυσικά, η διασπορά των αποτελεσμάτων επηρεάζει την αξιοπιστία των μοντέλων και την αξία των σχετικών παραγόντων ασφαλείας σε μια διαδικασία σχεδιασμού ανθεκτικότητας.

Παράλληλα, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με την εξέλιξη της διάβρωσης με την πάροδο του χρόνου, μια πλήρως πιθανολογική προσέγγιση στη μοντελοποίηση της διάβρωσης αποτελεί ένα περαιτέρω βήμα αυτής της μελέτης. Αφού τα μοντέλα υποβάθμισης θα είναι καλύτερα βαθμονομημένα και επικυρωμένα, θα ήταν δυνατόν να αναβαθμιστεί η συνηθισμένη μηχανική σχεδίαση με σχεδιασμό απόδοσης που βασίζεται στην αντοχή καθορίζοντας τους συντελεστές ασφαλείας της διάρκειας ζωής που σχετίζονται με τη χαρακτηριστική διάρκεια ζωής τόσο για τη λειτουργικότητα όσο και για τις τελικές οριακές καταστάσεις.

Ο Ανώτατος Δομικός Μηχανικός του BSBG, Mohamed Basheer Bava, έχει γράψει έναν σε βάθος οδηγό για την αντιδιαβρωτική προστασία του δομικού χάλυβα.[42]

Σε εξωτερικό ή υγρό περιβάλλον, ο σχεδιασμός μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη διάβρωση των χαλύβδινων δομών. Σε ξηρούς θερμαινόμενους εσωτερικούς

χώρους, δεν απαιτούνται ειδικές προφυλάξεις. Επομένως, η πρόληψη της διάβρωσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού ενός έργου.

Τα κύρια σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι:

Ενσωμάτωση υγρασίας και ακαθαρσιών

- Αποφύγετε τη δημιουργία κοιλοτήτων και ρωγμών, κλπ.
- Οι συγκολλημένοι σύνδεσμοι είναι προτιμότεροι από τους αρθρωτούς συνδέσμους.
- Οι αρθρώσεις πρέπει να αποφεύγονται ή να σφραγίζονται όπου είναι δυνατόν.
- Οι επιφάνειες επικάλυψης HSFSG θα πρέπει να σφραγίζονται με άκρα μετά τη σύνδεση.
- Παρέχετε τρύπες αποστράγγισης για νερό, όπου χρειάζεται.
- Τα τμήματα του κιβωτίου σφραγίδας, εκτός εάν είναι γαλβανισμένα εν θερμώ.
- Παρέχετε ελεύθερη κυκλοφορία αέρα γύρω από τη δομή.

Επαφή με άλλα υλικά

- Αποφύγετε, όπου είναι εφικτό, διμεταλλικές συνδέσεις ή αν είναι απαραίτητο, μονώστε τις επιφάνειες επαφής.
- Παρέχετε επαρκές βάθος κάλυψης και σωστή ποιότητα του σκυροδέματος.
- Ξεχωρίστε το χάλυβα και την ξυλεία χρησιμοποιώντας επιχρίσματα ή πλαστικά φύλλα.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΣ

Μελλοντικά μπορεί να γίνει έλεγχος και να μελετηθεί η συμπεριφορά σε διάβρωση των μεταλλικών συνδέσμων στα παρακάτω ζητήματα:

Έλεγχος μηχανικών ιδιοτήτων

Έλεγχος σκληρότητας

Οπτικός έλεγχος με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο SEM.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/METAL_KATASK/me1_2t.htm Ο ΧΑΛΥΒΑΣ ΩΣ ΥΛΙΚΟ ανακτήθηκε Οκτώβριο 2017

[2]http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/METAL_KATASK/me2_1.htm ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΧΑΛΥΒΑ ανακτήθηκε Οκτώβριο 2017

[3] Ευρωκώδικας 3 : Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα EN 1993-1-1:2005 παράγραφος 3.2 σελ.20

[4]http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/METAL_KATASK/me2_7t.htm ΜΕΣΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ανακτήθηκε Οκτώβριο 2017

[5] <https://constructopia.files.wordpress.com/2014/05/> ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ανακτήθηκε Οκτώβριο 2017. Πηγές • Κτιριακές Κατασκευές, Heinrich Schmitt - Andreas Heene, Μετάφραση του Δ. Μαλασπίνα, Εκδόσεις Μ. Γιούρδας, Αθήνα, 2014 • Οικοδομική Τεχνολογία, Άγγελος Ι. Ζαχαριάδης, University Studio Press, Θεσσαλονίκη 2004 • <http://stoixeiainanonepal.blogspot.gr/>

[6]http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/METAL_KATASK/me2_7t.htm ανακτήθηκε Οκτώβριο 2017

[7]http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/METAL_KATASK/me4_2t.htm ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ανακτήθηκε Οκτώβριο 2017

[8]http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/METAL_KATASK/me4_2t.htm ανακτήθηκε Οκτώβριο 2017

[9] Ιωσηφίδου Αθηνά ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΧΑΛΥΒΩΝ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΙΚΟ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΕΙ ΠΙΓΜΕΝΤΟ ΑΠΟ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ. ΕΜΠ 2009

[10] <https://www.corrosion-doctors.org>

[11] Μεταλλικοί Φορείς -Μέρος 2^ο Συνδέσεις και Κόμβοι των Μεταλλικών Φορέων Δημήτρης Αντωνίου, Αρχιτέκτων ΕΜΠ, ΜΑ., ΜΡΕ., Επίκουρος καθηγητής Οικοδομικού Σχεδιασμού – Τμήμα Αρχιτεκτόνων Παν. Πατρών . Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από <http://docplayer.gr/12389190-Metallikoi-foreis-meros-2o-syndeseis-kai-komvoi-ton-metallikon-foreon.html>

[12] HILTI Corrosion handbook ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από https://www.hilti.pt/medias/sys_master/h34/h30/9157274632222/Hilti_Corrosion-Handbook_EN.pdf

[13] Σημειώσεις τεχνική μηχανική ΙΙ-Θ Βασικές Έννοιες Διαγράμματα σ-ε από Δρ. Μηχ. Μηχ. Α. Τσουκνίδας ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ . Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από <http://docplayer.gr/34589843-Dr-mih-mih-a-tsoyknidas-shima-1.html>

[14] Κωνσταντίνος Ι.Γιαννακόπουλος. Δρ. Σημειώσεις Πειραματικής Αντοχής Υλικών ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΣΤΕΦ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 ΑΠΟ <http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/MECH104>

[15] Αθ. Χ. Τριανταφύλλου. Σημειώσεις μηχανική των υλικών κεφ.2 αξονική καταπόνηση Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CIV1514>

[16] ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ Θ. ΤΗΛΙΓΑΔΗΣ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ, ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΧΡΟΝΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥ-ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από http://dSPACE.lib.ntua.gr/dSPACE2/bitstream/handle/123456789/6972/tiligadise_marine.pdf?sequence=3

[17] ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Γ. ΦΟΥΝΤΟΥΚΙΔΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΔΡ. ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΛΟΓΟΣ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από <https://ikaros.teipir.gr/phyche/Subjects/Foudoukidis/2012/kef9.ppt>

[18] Σημειώσεις οπτικό μικροσκόπιο κεφ 7^ο .Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από <http://www.physics.ntua.gr/~cchrist/SIMEIOSEIS/TECH.PEIR.FYS.2004.PDF/TECH.PEIR.FYS.2004.KEF.07.pdf>

[19] Δρ. Μ. Μαβίδης Σημειώσεις Εργαστήριο Βιολογίας – Τμήμα Διατροφής Διαιτολογίας ΤΕΙ Λάρισας, Μικροσκοπία Ι Εξοικείωση με το σύνθετο οπτικό μικροσκόπιο. Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από <https://e-class.teilar.gr/modules/document/file.php/DIET146>

[20] Johnson B. W., McIntype R. Analysis of test methods for UV durability predictions of polymer coatings. Progress in Organic Coatings 1996; 27:95- 106.

[21] ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΛΕΚΑΤΟΥ Καθηγήτρια του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Η διάβρωση και προστασία των μετάλλων με απλά λόγια 3.3.2 Διάβρωση οπών σελ. 158

[22] ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΛΕΚΑΤΟΥ Καθηγήτρια του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Η διάβρωση και προστασία των μετάλλων με απλά λόγια. 2.6 ΡΗ και διάβρωση σελ. 94

[23] Han E.H., Han K.Y., Zheng Y.L., Ke W. Effects of stress ratio and frequency on corrosion fatigue crack growth mechanism in low alloy steels. Acta Metall. Sin. 1993;6:373–378.

[24] R. Case ,J. Harris, J. Daniels, M. Achour Electrochemical Evaluation of Pitting Corrosion of Carbon Steel Pipelines Exposed to Slightly Sour Seawater Service .. Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από http://www.academia.edu/32398360/In_situ_Electrochemical_Evaluation_of_Pitting_Corrosion_of_Carbon_Steel_Pipelines_Exposed_to_Slightly_Sour_Seawater_Service

[25] Corrosion Control in Engineering Design Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από <https://www.pdfsearch.io/document/Pitting+corrosion>

[26] Yidong Xu Raman Singh, Academic Editor and Peter J. Uggowitzer, Academic Editor **The Corrosion Characteristics and Tensile Behavior of Reinforcement under Coupled Carbonation and Static Loading** Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5458806/>

[27] Cobo A., Moreno E., Canovas M. Mechanical properties variation of B500SD high ductility reinforcement regarding its corrosion degree. Mater. Constr.

[28] Zhang W., Song X., Gu X., Li S. Tensile and fatigue behavior of corroded rebars. Constr. Build. Mater. 2012;34:409–417. doi: 10.1016/j.conbuildmat

[29] Yidong Xu **The Corrosion Characteristics and Tensile Behavior of Reinforcement under Coupled Carbonation and Static Loading** Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5458806/>

[30]. Ortega N., Aveldaño R. Analysis of concrete beams during the corrosion process on reinforcement under tensile stress. Open Constr. Build. Technol. J. 2008;2:243–250. doi: 10.2174/1874836800802010243. [[Cross Ref](#)]

[31]. Mancini G., Tondolo F., Iuliano L., Minetola P. Local reinforcing bar damage in r.c. members due to accelerated corrosion and loading. Constr. Build. Mater. 2014;69:116–123. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.011. [[Cross Ref](#)]

[32] Llorca J., Sanchez-Galvez V. Fatigue threshold determination in high strength cold drawn eutectoid steel wires. Eng. Fract. Mech. 1987;26:869–882. doi: 10.1016/0013-7944(87)90035-X. [[Cross Ref](#)] Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από

[33] Lin C.K., Yang C.H., Wang J.H. Corrosion fatigue of austempered ductile iron. J. Mater. Sci. 2003;38:1667–1672. doi: 10.1023/A:1023211323116. [[Cross Ref](#)]

[34]. Jones W.J.D., Blackie A.P. Effect of stress ratio on the cyclic tension corrosion fatigue life of notched steel BS970:976M33 in sea water with cathodic protection. Int. J. Fatigue. 1989;11:417–422. doi: 10.1016/0142-1123(89)90180-1. [[Cross Ref](#)]

[35] Han E.H., Han K.Y., Zheng Y.L., Ke W. Effects of stress ratio and frequency on corrosion fatigue crack growth mechanism in low alloy steels. Acta Metall. Sin. 1993;6:373–378.

[36] Weng L., Zhang J., Kalnaus S., Feng M., Jiang Y. Corrosion fatigue crack growth of AISI 4340 steel. Int. J. Fatigue. 2013;48:156–164. doi: 10.1016/j.ijfatigue.2012.10.015. [[Cross Ref](#)]

[37] Samusawa I., Shiotani K., Kami C. The influence of cyclic load on environmentally assisted cracking of carbon steel in simulated fuel grade ethanol. Corros. Sci. 2016;108:76–84. doi: 10.1016/j.corsci.2016.02.039. [[Cross Ref](#)]

[38] Ford F.P. Quantitative Examination of slip-dissolution and hydrogen-embrittlement theories of cracking in aluminium alloys. *Met. Sci.* 1978;12:326–334. doi: 10.1179/msc.1978.12.7.326. [[Cross Ref](#)]

[39] Landolfo, R.; Di Lorenzo, G.; Guerrieri, M.R. Modelling of the damage induced by atmospheric corrosion on 19th century iron structures. In Proceedings of the Italian National Conference on Corrosion and Protection, Senigallia (Ancona), Italy, 25 June–1 July 2005. Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από www.mdpi.com/journal/sustainability, Article Modeling of Metal Structure Corrosion Damage: A State of the Art Report

[40] Chandler, K. *Marine and Offshore Corrosion*; Butterworths: London, UK; Boston, USA, 1985. Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από www.mdpi.com/journal/sustainability, Article Modeling of Metal Structure Corrosion Damage: A State of the Art Report

[41] Raffaele Landolfo *, Lucrezia Cascini and Francesco Portioli. Article Modeling of Metal Structure Corrosion Damage: A State of the Art Report. Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από www.mdpi.com/journal/sustainability.

[42] Mohamed Basheer Bava , BSBG Senior Structural Engineer CORROSION PROTECTION OF STRUCTURAL STEEL 31 / 08 / 2016. Ανακτήθηκε ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2017 από <http://bsbg ltd.com/blog/a-guide-to-the-corrosion-protection-of-structural-steel-2/>

Βιβλία

- Giedion, Sigfried, *Space, Time and Architecture*, Cambridge: Harvard University Press, 1959
- Κωνσταντινίδης, Δημήτριος, *Παραδόσεις Ιστορίας τής Αρχιτεκτονικής*, Μέρος Δεύτερον, Τεύχος Δεύτερον, Ιστορική Ελλάς, Αρχαία Εποχή, Αθήνα: Εθνικόν Μετσόβιον Πολυτεχνείον, 1973
- Μιχάλτσος, Γεώργιος, *Ελαφρές Μεταλλικές Κατασκευές*, Β' Έκδοση, Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2004.
- Ruf, J., *Korrosion Schutz durch Lacke + Pigmente*, Berlin: Verlag W.A.Colomb, 1982
- Raeburn, Michael, *Architecture of the Western World*, New York: Rizzoli International Publications, 1985
- Riese, W. A., *Metall-Lacke*, Berlin: Verlag W. A. Colomb, 1986
- Salvadori, Mario και Heller, Robert, *Structure in Architecture*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1975
- Schultiz, H. C., Sobek, W., Habermann, K. J., *Stahlbau Atlas*, München: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH, 1999
- Sembach, Klaus Juergen, *Jugendstil*, Köln: Benedikt Taschen Verlag, 1990
- Σκουλικίδη, Θ.Ν., *Εφηρμοσμένη Ηλεκτροχημεία Α. Διάβρωση και Προστασία*, Αθήνα, 1978
- Spaeth, David, *Mies van der Rohe*, New York: Rizzoli Int. Publications, 1985
- Τεχνική Οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2451/86, *Εγκαταστάσεις σε κτήρια: Μόνιμα πυροσβεστικά συστήματα με νερό*, Δ' έκδοση, Αθήνα: 2000

- AISC, *Designing with Structural Steel. A Guide for Architects*, YSA, 2002.
-

Άρθρα σε περιοδικές εκδόσεις

- Mirambell, E., *Structural damage in Steel construction: regulatory aspects*, Prog. Struct. Engng. Mater, 2004, 6, 56-68.
- Friedrich, S., *Korrosionsverhalten wetterfester Baustähle unter Berücksichtigung konstruktionsbedingter Spalte*, Materials and Corrosion, 2004, 55 No3, 203-212.

Εγχειρίδια Εργοστασίων

- HILTI, Firmen Prospect.
- RAUTARUUKKI, Fire resistance design, Firmen Prospect
- AKZO NOBEL, Protective Coatings, Firmen Prospect.
- TROPLAST, Roofing Sheet, Firmen Prospect.
- BEMOSYSTEMS, Creative sectional design, Firmen Prospect.

DRUCKFARBEN AG, Protective Coatings, Firmen Prospect

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΤΕΥΧΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ