

7/6/2016

ΧΑΤΖΗΑΡΑΠΗΣ
ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ
ΣΤΕΦΑΝΑΚΗΣ
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ
ΧΑΛΥΒΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΥΓΡΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ | ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	ΣΕΛ 3
ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΣΕΛ 3
<u>1) ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ</u>	ΣΕΛ 4
-1.1) ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ & ΧΑΛΥΒΑΣ	ΣΕΛ 4
-1.2) ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.....	ΣΕΛ 4
-1.3) ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.....	ΣΕΛ 9
-1.4) ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΟ.....	ΣΕΛ 10
-1.5) ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	ΣΕΛ 11
-1.6) ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....	ΣΕΛ 15
<u>2) STRESS.CORROSION.CRACKING</u>	ΣΕΛ 16
-2.1) S.C.C ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑΣ	ΣΕΛ 17
-2.2) ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΟΥ S.C.C. ΓΙΑ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	ΣΕΛ 23
<u>3) ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ</u>	ΣΕΛ 25
-3.1) ΟΡΙΟ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ.....	ΣΕΛ 29
-3.2) ΟΡΙΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	ΣΕΛ 29
-3.3) ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ.....	ΣΕΛ 29
-3.3) ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	ΣΕΛ 30
-3.4) ΟΡΙΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ.....	ΣΕΛ 30
<u>4) ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</u>	ΣΕΛ 30
<u>5) ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΙ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ</u>	ΣΕΛ 43
<u>6) ΠΗΓΕΣ</u>	ΣΕΛ 43

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διάβρωση του ενισχυμένου χάλυβα είναι μια από τις κυριότερες αιτίες που προκαλούν επιδείνωση των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος. Η διάβρωση θεωρείται πως ξεκινάει όταν η συγκέντρωση του χλωρίου , γύρω από την ενίσχυση , φθάσει σε ένα όριο όπου προκαλείται διάλυση της προστατευτικής μεμβράνης. Όταν η διάβρωση των χαλύβδινων ράβδων αναπτυχτεί σε μεγάλο βαθμό , δεν επηρεάζει μόνο την ικανότητα συντήρησης της κατασκευής με το να υπόκεινται σε θραύση , ή ακόμα και θρυμματίζοντας την επικάλυψη από τσιμέντο , αλλά έχει επίσης αντίκτυπο και στην ασφάλεια της κατασκευής με το να μειώνεται η αντοχή σε βάρος των μελών του σκυροδέματος. Γεγονός που θα πρέπει να ανησυχεί τους ιδιοκτήτες αλλά και τους χρήστες της κατασκευής. Η διάβρωση των οπλισμών του σκυροδέματος αποτελεί μια ηλεκτροχημική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει χημικές αντιδράσεις και ροή ρεύματος γεγονός που οδηγεί στον σχηματισμό ανόδων και καθόδων ταυτόχρονα στην ενισχυμένη επιφάνεια. Μια σειρά από μεταγενέστερες οξειδωτικές αντιδράσεις μετατρέπουν το υδροξείδιο του σιδήρου σε οξείδιο (σκουριά). Είναι φανερό πως αφού η διάβρωση της ενίσχυσης αρχίσει να μεταμορφώνει το μέταλλο σε σκουριά , αυτό θα πρέπει να επηρεάσει την συνολικό πλήθος των τάσεων που μπορούν να φέρουν οι διαβρωμένες χαλύβδινες ράβδοι. Η πλειοψηφία των προηγούμενων ερευνών επικεντρωνόταν κυρίως στους μηχανισμούς διάβρωσης και πως αυτή επηρέαζε τον δεσμό με το σκυρόδεμα, παρά την επίδραση της στις μηχανικές ιδιότητες της διαβρωμένης ενίσχυσης. Γενικά λίγη μελέτη έχει αποδοθεί στην συνολικό πλήθος των τάσεων που μπορεί να φέρει η διαβρωμένη ενίσχυση. Σε όλες τις αναγνωρισμένες πειραματικές έρευνες, είτε οι μπάρες ήταν γυμνές είτε εμποτισμένες σε τσιμέντο θεωρήθηκαν αποδεκτές ως δοκίμια.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

Στην εργασία αυτήν αναλύεται το πολύπλοκο φαινόμενο της διάβρωσης του οπλισμού των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της, καθόλη την διάρκεια του χρονικού περιθωρίου που αφέθηκαν να διαβρωθούν οι οπλισμοί αλλά επίσης αναλύεται και το φαινόμενο του STRESS - CORROSION CRACKING (S.C.C.) .Είναι σημαντικό να προσεγγιστεί το πρόβλημα της διάβρωσης από την θεωρητική του πλευρά , για αυτό καταγράφονται τα αίτια οι μηχανισμοί αλλά και ο συνέπειες του φαινομένου αυτού, αλλά και από την πειραματική του πλευρά όπου και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με την μορφή διαγραμμάτων και φωτογραφιών.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

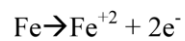
1.1) ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑΣ

Το σκυρόδεμα έχει καλή δύναμη συμπίεσης (π.χ. 17-70 MPa / 2.5-10 ksi), αλλά μικρή αντοχή σε εφελκυσμό (π.χ. 1-7 MPa / 0.2-1 ksi) και ως εκ τούτου χρειάζεται ένα ενσωματωμένο υλικό με καλή αντοχή εφελκυσμού (και κατά προτίμηση υψηλή ολκιμότητα) να δρα ως ενίσχυση και δημιουργήσει ένα σύνθετο υλικό με την κατάλληλη γενική απόδοση. Η χρήση του οπλισμού (rebar) είναι η πιο κοινή μέθοδος που δίνει αντοχή σε εφελκυσμό σε κατασκευές από σκυρόδεμα χωρίς απώλεια ιδιοτήτων (π.χ. υψηλή αντοχή σε συμπίεση, χαμηλό κόστος του υλικού, κλπ) του σκυροδέματος που ευνοείται στην ενισχυμένη κατασκευή. Η ράβδος χάλυβα πρέπει να έχει υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, όπως πρέπει να είναι σε θέση να κρατήσει τα φορτία που εφαρμόζονται στη δομή, με σημαντικό παράγοντα ασφάλειας. Από το 1880 τουλάχιστον, ο ανθρακούχος χάλυβας έχει χρησιμοποιηθεί ως το υλικό για οπλισμό σε κάθε είδους κατασκευαστικών έργων (π.χ. κτίρια, γέφυρες, δρόμοι, τα εμπόδια και πολλά άλλα κατασκευαστικά έργα). Η υψηλή αντοχή του σε εφελκυσμό (π.χ. 414 MPa / 60 ksi) και η καλή διαθεσιμότητα έπαιξαν σημαντικό ρόλο στο να γίνει ο ανθρακούχος χάλυβας επιλογή για την εφαρμογή Για προτεταμένο σκυρόδεμα, ακόμη μεγαλύτερη αντοχή του υλικού (π.χ. 1,86 GPa / 270 ksi) [6] είναι απαραίτητη για τα σκέλη. Το κράμα που χρησιμοποιείται είναι πάλι από ανθρακούχο χάλυβα, τυπικά ευτηκτικής σύνθεσης και κατεργασμένο στο πολύ κρύο.

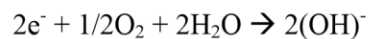
1.2) ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Τυπικά, η διάβρωση θεωρείται ότι είναι η επιδείνωση ενός μετάλλου, ως αποτέλεσμα της ηλεκτροχημικής αντίδρασης με το περιβάλλον (ηλεκτρολύτη). η διάβρωση απαιτεί τέσσερα συστατικά: η ανοδική αντίδραση (το οποίο είναι το πραγματικό γεγονός διάβρωση (διάλυση μετάλλων)), η καθοδική αντίδραση (η οποία καταναλώνει τα ηλεκτρόνια που παράγονται από την ανοδική αντίδραση), το μέσο (ηλεκτρολύτης), και μια ηλεκτρονική διαδρομή. Το ρόλο του ηλεκτρολύτη παίζει το σκυρόδεμα το οποίο είναι γεμάτο μικρούς πόρους που περιέχουν υγρασία ενώ η ράβδος του χάλυβα παρέχει την ηλεκτρική σύνδεση. Το φαινόμενο της ηλεκτρολύσεως μπορεί να διακριθεί σε δύο απλές διαδικασίες: της ανόδου και της καθόδου. Άνοδος δημιουργείται στην

περιοχή του χάλυβα όπου έχει καταστραφεί το προστατευτικό στρώμα οξειδίων έτσι ώστε τα άτομα του σιδήρου να μετατρέπονται σε ιόντα ,ελευθερώνοντας ηλεκτρόνια.



Τα ηλεκτρόνια λόγω διαφοράς δυναμικού που δημιουργείται κατευθύνονται προς την κάθοδο. Ως κάθοδος μπορεί να λειτουργήσει η περιοχή του χάλυβα που έχει νερό και οξυγόνο ανεξάρτητα αν έχει καταστραφεί το στρώμα οξειδίου, συνεπώς ολόκληρη η ράβδος. Εκεί αντιδρούν τα ηλεκτρόνια με το νερό και το οξυγόνο δίνοντας ιόντα υδροξυλίου.

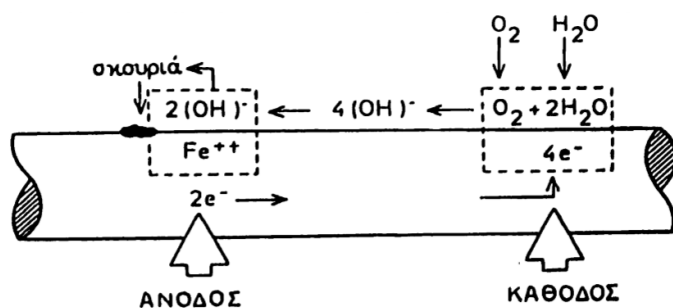


Τα ιόντα υδροξυλίου κινούνται μέσα στο νερό των πόρων, από την περιοχή της καθόδου προς την άνοδο, όπου θα ενωθούν με τα ιόντα του σιδήρου και θα σχηματίσουν σκουριά.



Μετά την παραπάνω αντίδραση είναι δυνατόν να σχηματιστούν, διάφορα οξειδία του σιδήρου ,π.χ. FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄. Συμπερασματικά, για τις αντιδράσεις οξειδώσεως έχουμε ότι οι ποσότητες νερού πριν και μετά παραμένουν σταθερές, το οξυγόνο είναι αυτό που καταναλώνεται για την διάβρωση του χάλυβα ,ενώ το νερό βοηθά την διαδικασία ηλεκτρολύσεως.

Σχήμα 2 :Απλοποιημένο προσομοίωμα της ηλεκτροχημικής διαδικασίας διαβρώσεως του σιδηροπλισμού



Σχήμα 2 :Απλοποιημένο προσομοίωμα της ηλεκτροχημικής διαδικασίας διαβρώσεως του σιδηροπλισμού

Το ποσοστό της ανοδικής αντίδρασης αυξάνετε εάν το δυναμικό του μετάλλου ως αναφορά στο μέσο (ηλεκτρολύτης) γίνεται πιο θετικό. Αντίθετα, ο ρυθμός της καθοδικής αντίδρασης αυξάνετε καθώς το δυναμικό γίνεται πιο αρνητικό. Κατά

συνέπεια, το σύστημα φθάνει σε μια σταθερή κατάσταση σε κάποιο ενδιάμεσο δυναμικό (το δυναμικό διάβρωσης) όπου το ποσοστό τόσο της ανοδικής αντίδρασης όσο και της καθοδικής αντίδρασης είναι οι ίδιες. Αυτή είναι η βάση της μικτής Θεωρία Δυναμικού. Υπό ορισμένες συνθήκες, ο ανθρακούχος χάλυβας σχηματίζει ένα ιδιαίτερα προστατευτικό στρώμα (ονομάζεται παθητική μεμβράνη) το οποίο παρέχει ένα φράγμα που εμποδίζει την ανοδική αντίδραση. Το Σχήμα 1 δείχνει ένα γενικό δυναμικό έναντι ανοδικού ρεύματος λογαριθμικό γράφημα πυκνότητας [9] για ένα μέταλλο που εμφανίζει παθητική συμπεριφορά. Η περιοχή σε κόκκινο κύκλο δείχνει την παθητική περιοχή. Σε δυναμικά χαμηλότερη από αυτή την παθητική περιοχή το μέταλλο διαβρώνεται. Αυτή είναι γνωστή ως η ενεργή κατάσταση (ανοδικό ρεύμα αυξάνεται η πυκνότητα εκθετικά με το δυναμικό). Όταν ένα κρίσιμο παθητικό δυναμικό έχει επιτευχθεί, Erpassive, (απεικονίζεται στο Σχήμα 1 ως διακεκομμένη γραμμή από την ανοδική καμπύλη προς τον άξονα γ) η μορφή της παθητικής μεμβράνης και ο ρυθμός ανοδικής αντίδρασης μειώνεται δραματικά. Για την περίπτωση που ένα μέταλλο εκτίθενται σε ένα οξειδωτικό είδος το σύστημα φθάνει σε μια σταθερή κατάσταση δυναμικού διάβρωσης και χαρακτηρίζεται ως Erpassive. Αυτό είναι το σημείο τομής μεταξύ της ανοδικής και της καθοδικής καμπύλης. Στο Σχήμα 1 Erpassive εμπίπτει στην παθητική περιοχή. Η σχετική πυκνότητα, γνωστή ως ipassive (υποδεικνύεται με μια διακεκομμένη γραμμή από την ανοδική καμπύλη προς τον άξονα x) είναι χαμηλή. Δεδομένου ότι η πυκνότητα του ρεύματος είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον ρυθμό διάβρωσης, ο ρυθμός διάβρωσης είναι επίσης χαμηλός για ένα μέταλλο σε μια παθητική κατάσταση. Αν η παθητική μεμβράνη σπάσει το μέταλλο παραμένει στην ενεργή κατάσταση πάνω από ένα ευρύ δυναμικό εύρος όπως υποδεικνύεται από τη διακεκομμένη γραμμή στο Σχήμα 1. Κατά συνέπεια, για την ενεργή κατάσταση, η τομή με την γραμμή καθοδικής αντίδραση λαμβάνει χώρα σε χαμηλότερο δυναμικό Eactive (υποδεικνύεται με μια διακεκομμένη γραμμή από την καθοδική καμπύλη προς τον άξονα γ) και τυπικά ένα πολύ υψηλότερης πυκνότητας ρεύμα iactive (υποδεικνύεται με μια διακεκομμένη γραμμή από την καθοδική καμπύλη προς τον άξονα x) σε σχέση με την παθητική περίπτωση. Επειδή μια πτώση του δυναμικού σχετίζεται με την αύξηση της τρέχοντος πυκνότητας, η μέτρηση του δυναμικού ενός μετάλλου μπορεί να είναι ένδειξη για την κατάσταση διάβρωσης του. Το Open Circuit Potential (OCP) ενός μετάλλου μπορεί να είναι μετρημένο. Μια ξαφνική και σημαντική μείωση του δυναμικού μπορεί να υποδεικνύει την έναρξη κατάρρευσης της παθητικής μεμβράνης. Αυτή η ένδειξη βλάβης της παθητικής μεμβράνης μπορεί να είναι ένα σύμπτωμα της διάβρωσης ή SCC επειδή περιλαμβάνει την κατάρρευση των παθητικών μεμβρανών.

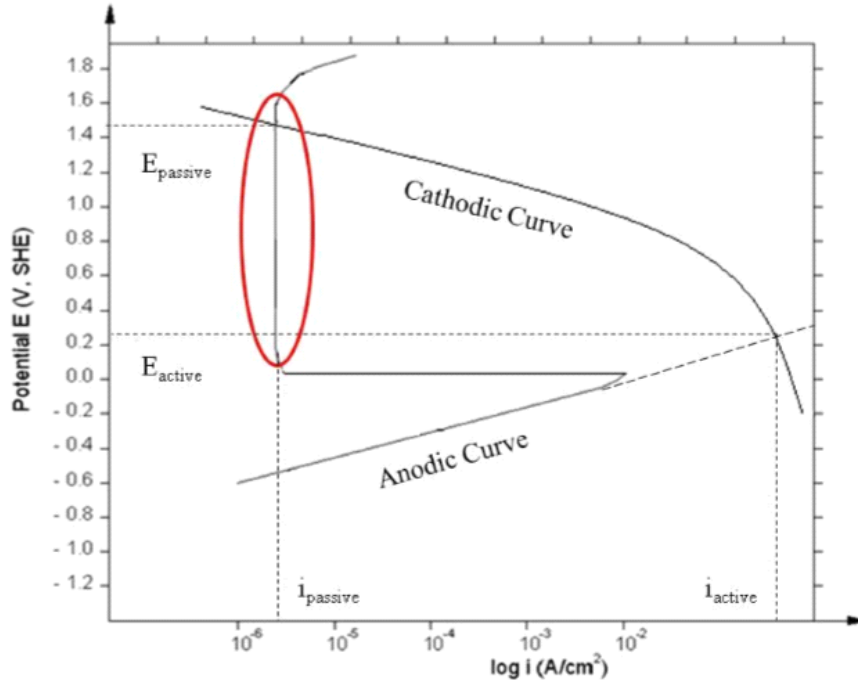


Figure 1 Potential versus Current Density for Anodic - Cathodic Reaction with Passivation

Θερμοδυναμικά μοντέλα, απεικονίζονται με τη μορφή διαγραμμάτων Pourbaix [11], όπου χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των περιοχών όπου οι παθητικές μεμβράνες από διαφορετικά υλικά είναι σταθερά. Αυτά τα διαγράμματα συσχετίζουν το ηλεκτρικό δυναμικό των μετάλλων με το pH του ηλεκτρολύτη. Στην περίπτωση του σιδήρου σε νερό στους 25 °C, διαφορετικά διαλυτά ή αδιάλυτα προϊόντα διάβρωσης παράγονται ανάλογα με το pH και το ηλεκτρικό δυναμικό. Διαλυτά προϊόντα για το σίδηρο περιλαμβάνουν Fe^{++} , Fe^{+++} , και $HFeO_2^-$. Αδιάλυτα προϊόντα για το σίδηρο περιλαμβάνουν $Fe(OH)_2$, Fe_2O_3 και Fe_3O_4 . Οι παθητικές, ανεπηρέαστες, και ενεργές περιοχές για το Fe (που εφαρμόζονται γενικά σε απλό ανθρακούχο χάλυβα η οποία είναι ως επί το πλείστον Fe) δείχνονται στο Σχήμα 2. Η παθητική περιοχή του διαγράμματος είναι όπου τα αδιάλυτα προϊόντα είναι επαρκώς προσκολλημένα και αδιαπέραστα και η διάβρωση του υποκείμενου μετάλλου ουσιαστικά καταπνίγεται.

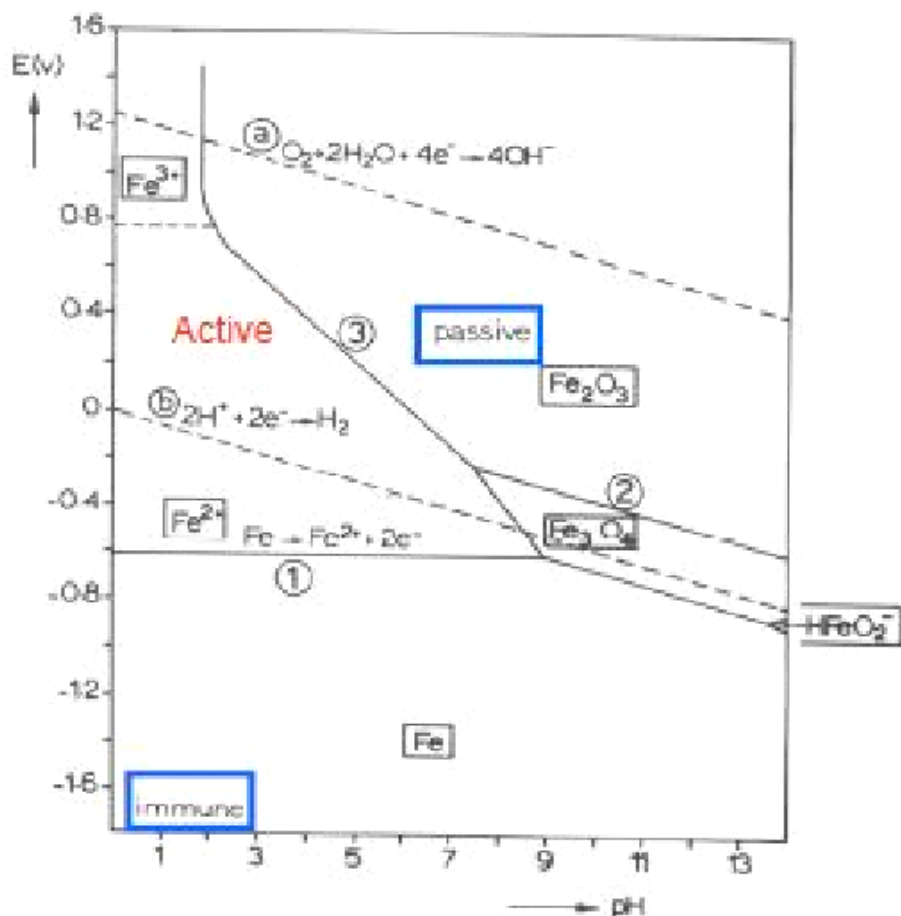


Figure 2 Pourbaix Diagram of Iron (Fe) [11]

1.3) ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Από καθαρά θεωρητική άποψη είναι δυνατός ο σχεδιασμός και η παραγωγή σκυροδέματος κατά τρόπον ώστε ο ενσωματωμένος χάλυβας να μην διαβρώνεται. Στην πράξη όμως, είτε λόγω κατασκευαστικών αναγκών οι οποίες επιβάλλουν διακλαδώσεις είτε λόγω αποκλίσεων από τις προδιαγραφές παρασκευής επιτρέπουν την δημιουργία διαύλων διεισδύσεως οξυγόνου και υγρασίας, δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις διάβρωσης του χάλυβα. Κατ' επέκταση το πρόβλημα της διάβρωσης είναι δυνατόν να καταλήξει ακόμη και στην αποκάλυψη του χάλυβα, την μείωση της μάζας του και τελικά την μείωση της αντοχής του συνθέτου συστήματος, σκυρόδεμα-σιδηροπλισμός. Τα προβλήματα αυτά επιτείνονται με την παρουσία ιόντων χλωρίου. Στον κατασκευαστικό τομέα, περισσότερη έμφαση δίνεται στις παραμέτρους αντοχής παρά στην διάρκεια ζωής. Σπάνια έρχονται στο φως ερωτήσεις για μια κατασκευαστική σχετικά με το πόση ζωή έχει και ακόμα σπανιότερα ακούμε απαντήσεις για τα ερωτήματα αυτά. Η διάχυτη ιδέα είναι πως ένα κτίριο ή μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα δε θα χρειασθεί, καλώς εχόντων των πραγμάτων, να επισκευασθεί ή να

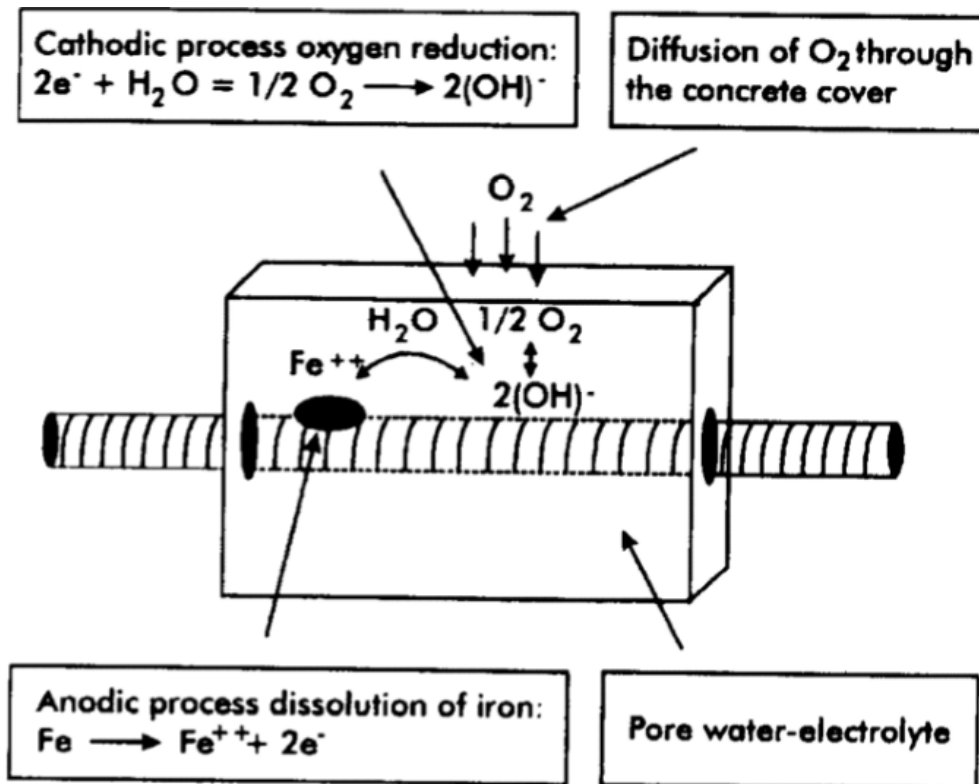
επιθεωρηθεί. Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα, όταν απαιτείται να γίνει έλεγχος ή επισκευή, τα πράγματα να γίνονται δύσκολα και το κόστος να είναι υψηλό, διότι δεν έχει προβλεφθεί, στην φάση του σχεδιασμού πρόσβαση ή επέμβαση σε δομικά στοιχεία. Υπήρξαν περιπτώσεις κατά τις οποίες προβλήματα διάβρωσης σε σπλισμένο σκυρόδεμα επέβαλαν την κατεδάφιση του κτηρίου λόγω του υψηλού κόστους αλλά και της δυσκολίας απομάκρυνσης των διαβρωμένων στοιχείων.

1.4)ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΣΙΔΗΡΟΠΛΙΣΜΟ

Η γενική διάβρωση η οποία εμφανίζεται ομοιόμορφα σε όλο το μήκος των ράβδων του σιδηρού σπλισμού έχει ως συνέπεια αφ' ενός την μείωση της διατομή του χάλυβα και αφ' ετέρου την δημιουργία ασυνεχειών στην επιφάνεια του χάλυβα. Το είδος αυτό της διάβρωσης μειώνει την αντοχή σε εφελκυσμό του χάλυβα ανάλογα με την μείωση της διατομής και μειώνει επίσης την αντίσταση του χάλυβα στην κόπωση.

1)Ομοιόμορφη διάβρωση: Συμβαίνει στις περιπτώσεις στις οποίες η ενανθράκωση του τσιμέντου φθάνει στο βάθος εκείνο στο οποίο ευρίσκονται οι χαλύβδινες ράβδοι και μικρές ποσότητες υγρασίας. Η φθορά που ακολουθεί φαίνεται στα δομικά στοιχεία ως μια λεπτή σχισμή παράλληλη προς την τοποθέτηση της ράβδου του χάλυβα. Το είδος αυτό είναι εύκολα ορατό και είναι έτσι δυνατόν να ληφθούν διορθωτικά μέτρα.

2)Τοπική διάβρωση: Αυτή συμβαίνει σε ορισμένες θέσεις και έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της διατομής ενώ η υπόλοιπη ράβδος μπορεί να μείνει ανέπαφη. Η περίπτωση αυτή είναι συνήθης σε περιπτώσεις τοπικά αυξημένης συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου. Επίσης σε περιπτώσεις προεκτάσεων ή συγκολλήσεων των ράβδων του σιδήρου εμφανίζεται το είδος αυτό της διάβρωσης. Οι συνέπειες είναι η τοπική μείωση της διατομής των ράβδων κι η μείωση της ικανότητας τους να φέρουν φορτίο. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η μείωση της διατομής οφείλεται στην τοπική διάβρωση η ράβδος του σιδήρου γίνεται πλέον εύθραυστη και είναι δυνατόν με τον τρόπο αυτό να μην υπάρχουν ορατές προειδοποιήσεις για την μείωση της αντοχής της κατασκευής. Σε άλλες περιπτώσεις πάλι, τοπικής διάβρωσης είναι δυνατόν να προκληθούν και ρηγματώσεις στο σκυρόδεμα.



1.4) ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

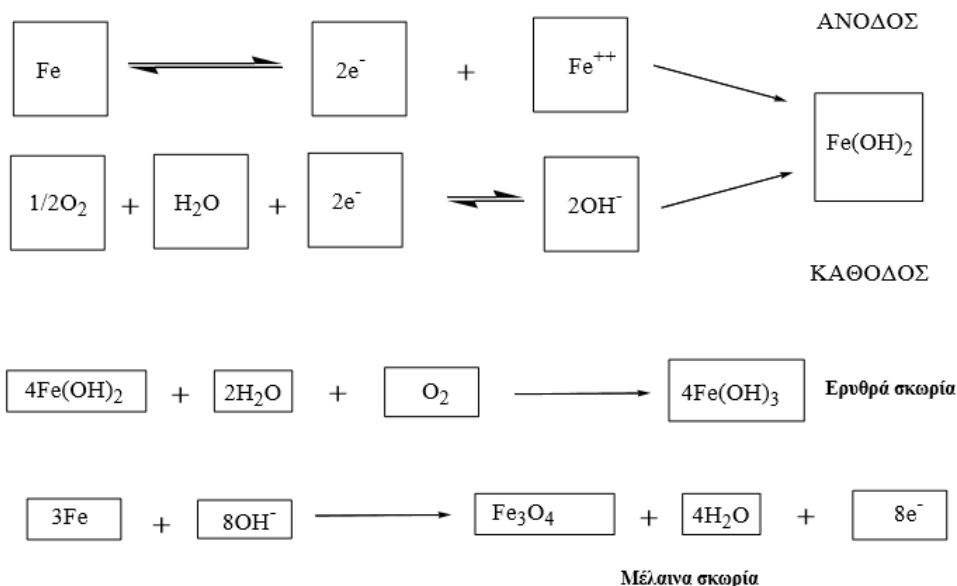
Η διάβρωση του χάλυβα συμβαίνει με διάφορους μηχανισμούς. Παρόλο ότι γενικά, η διάβρωση του χάλυβα οφείλεται στην οξείδωση του σιδήρου στο σκυρόδεμα η διάβρωση του χάλυβα οφείλεται κατά κύριο λόγο στην παρουσία διαφόρων ειδών ή ανομοιόμορφης σύστασης μετάλλων (ηλεκτροχημική διάβρωση).

Γενικά, η διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα ακολουθεί δύο γενικά σχήματα:

- Μείωση της αλκαλικότητας λόγω απελευθέρωσης αλκαλικών ειδών και συναφών αντιδράσεων στα ποζολανικά υλικά ή μερική εξουδετέρωση της αλκαλικότητας με διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα όξινα χημικά είδη.
- Ηλεκτροχημική δράση λόγω της παρουσίας ιόντων χλωρίου και οξυγόνου.

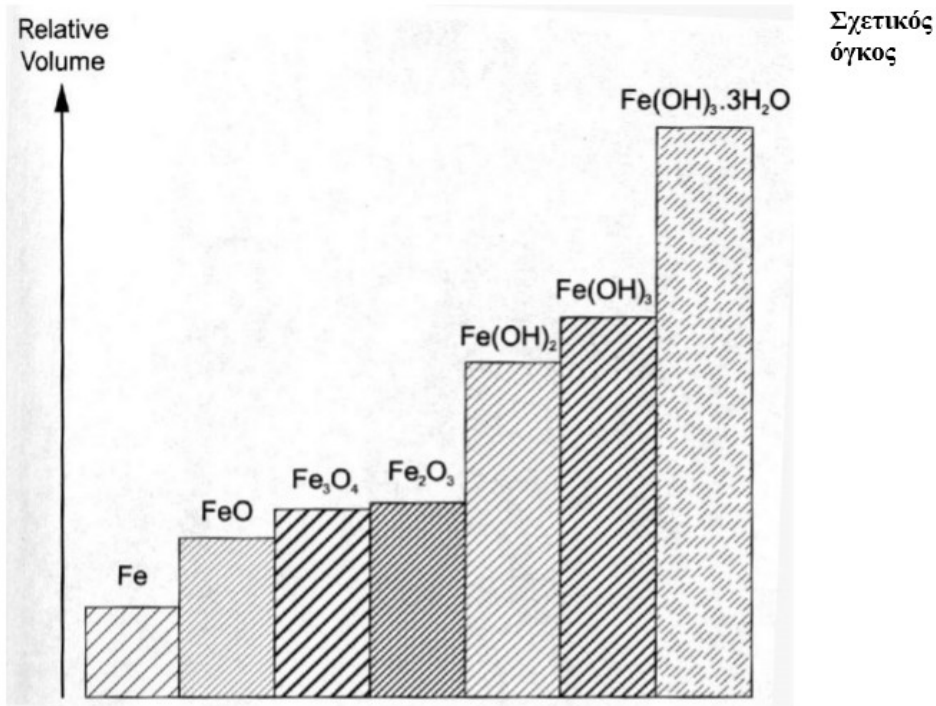
Από ηλεκτροχημική άποψη η διάβρωση είναι μια κλασική περίπτωση αντιδράσεως την οποία λαμβάνει χώρα μεταφορά φορτίου. Κάθε αντίδραση οξείδωσης είναι συζευγμένη με μια αντίδραση αναγωγής. Στην περίπτωση του χάλυβα έχουμε τόσο περιοχές στις οποίες λαμβάνει χώρα αποβολή ηλεκτρονίων ή οξείδωση (ανοδικές περιοχές) όσο και περιοχές όπου προσλαμβάνονται ηλεκτρόνια, γίνεται δηλαδή

αναγωγή (καθοδικές περιοχές). Παρουσία νερού και οξυγόνου στο χάλυβα έχουμε ροή ηλεκτρικού ρεύματος από τις ανοδικές προς τις καθοδικές περιοχές. Συνέπεια της ροής αυτής είναι η παραγωγή υδροξυλίων (OH^-) στην κάθοδο. Η επαφή των ανιόντων αυτών με το μέταλλο της καθόδου (σίδηρος) έχει ως συνέπεια τον σχηματισμό οξειδίων του σιδήρου σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:



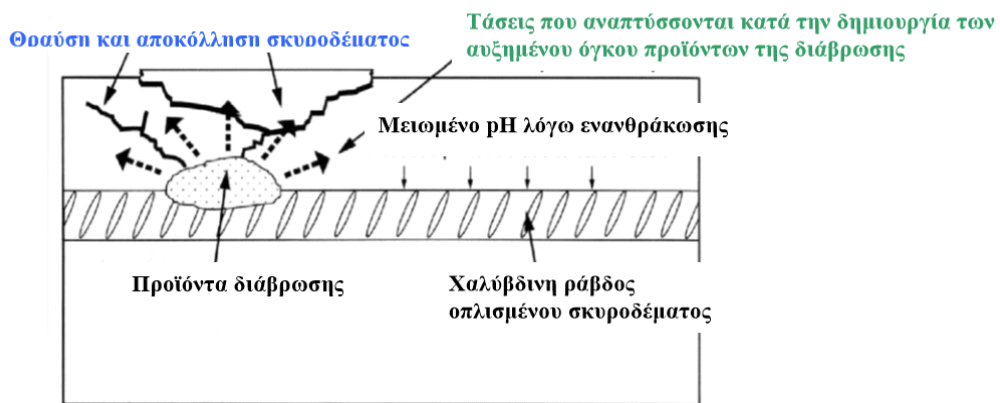
Σχήμα 1: Σειρά ηλεκτροχημικών αντιδράσεων οι οποίες περιγράφουν την δημιουργία της σκωρίας

Οποιαδήποτε μέθοδος προστασίας εφαρμόζεται θα πρέπει να περιλαμβάνει ενέργειες ή χημικά μέσα τα οποία να μετατοπίζουν τις αντιδράσεις του Σχ. 1 από τα δεξιά προς τα αριστερά. Εναλλακτικά, αναστολή των αντιδράσεων που οδηγούν στην διάβρωση είναι δυνατόν να επιτευχθεί με απομάκρυνση ενός των αντιδρώντων (αριστερό μέλος των αντιδράσεων). Τα προϊόντα της αντιδράσεως παρουσιάζουν σημαντική αύξηση όγκου με αποτέλεσμα ο σχηματισμός τους να έχει καταστροφικές επιπτώσεις στο σκυρόδεμα. Στο σχήμα 2, παρουσιάζεται η σχετική αύξηση του όγκου των διαφόρων οξειδίων του σιδήρου τα οποία είναι δυνατόν να σχηματισθούν από τις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις διάβρωσης του χάλυβα.



Σχήμα 2: Σχετικός όγκος οξειδίων του σιδήρου τα οποία σχηματίζονται στην επιφάνεια του χάλυβα όταν διαβρώνεται.

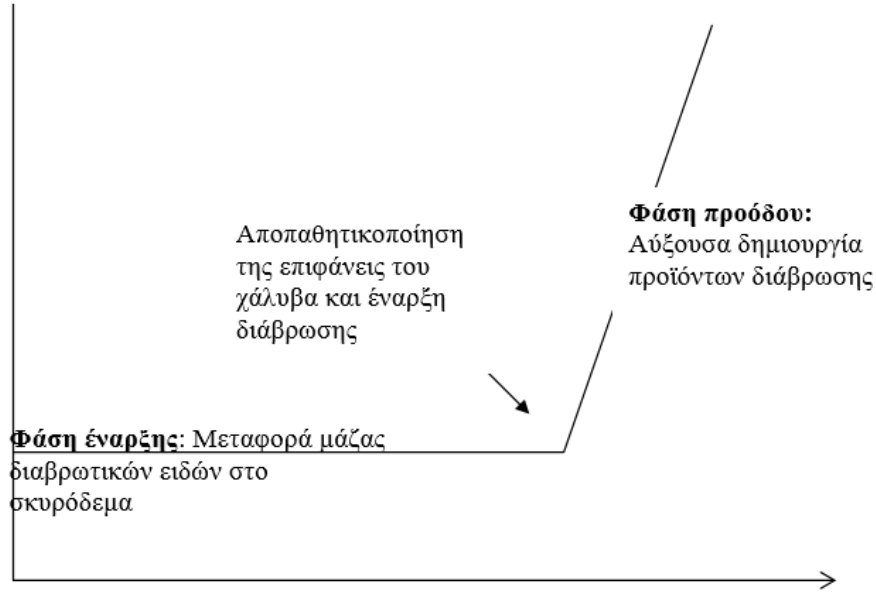
Η καταστροφή η οποία επέρχεται στο σκυρόδεμα συνεπεία της αυξήσεως του όγκου των προϊόντων διάβρωσης αποδίδεται σχηματικά στο σχήμα 3:



Σχήμα 3: Σχηματική απεικόνιση καταστροφής σκυροδέματος λόγω σχηματισμού προϊόντων διάβρωσης του χάλυβα

Πρόοδος διάβρωσης

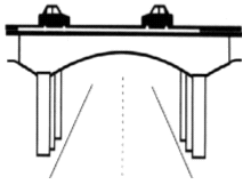
Αστοχία



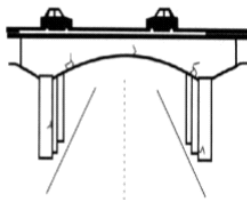
Σχήμα 4: Εξέλιξη της διάβρωσης του οπλισμένου σκυροδέματος

Χρόνος

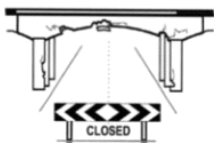
Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4, η εξέλιξη του φαινομένου της διάβρωσης του χάλυβα είναι δυνατόν να είναι ταχεία.



Στάδιο 1^ο: Δεν υφίσταται ορατή ζημία
Το περιβάλλον: Κυκλικές μεταβολές ψύξης-θέρμανσης
Ξήρανσης-εφύγρανσης
Καταπόνησης
Συνέπεια: σύνδεση μικρορωγμών-πόρων



Στάδιο 2^ο: Έναρξη και πρόοδος φθοράς
Το περιβάλλον: διείσδυση διαβρωτικών Χημικών ειδών, διείσδυση ύδατος
Συνέπειες: το σκυρόδεμα διογκώνεται λόγω της πίεσης η οποία αναπτύσσεται από την διάβρωση του χάλυβα, το νερό που παγώνει και από την χημική προσβολή Του σκυροδέματος.
Απώλεια αντοχής



**Σοβαρές ρηγματώσεις, απώλεια μάζας
Επικίνδυνη κατάσταση**

1.6) ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΗ-ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες υπάρχει υποψία διάβρωσης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, υπάρχει ανάγκη άμεσης διεξαγωγής ελέγχων προκειμένου να αποτραπούν υψηλά κόστη επισκευών ή και απρόβλεπτες καταστροφές. Ο έλεγχος είναι δυνατός λόγω της ηλεκτροχημικής φύσεως της διάβρωσης. Συγκεκριμένα είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις δυναμικών ημιστιχίων, μετρήσεις αντιστάσεως και μετρήσεις ρυθμού διάβρωσης. Η επισκευή η οποία μπορεί να γίνει με αποκοπή και αντικατάσταση των φθαρμένων μεταλλικών μερών δεν ενδείκνυται καθόσον επισκευές αυτού του είδους οδηγούν σε επιτάχυνση της διάβρωσης στα σημεία επαφής των νέων και κατά κανόνα διαφορετικών μετάλλων. Το πρόβλημα είναι οξύτερο παρουσία ιόντων χλωρίου. Η εφαρμογή επικαλύψεων είναι αποτελεσματική υπό την προϋπόθεση ότι τα επίπεδα συγκεντρώσεως του χλωρίου παραμένουν κάτω του ορίου έναρξης διάβρωσης στο βάθος στο οποίο βρίσκεται ο χάλυβας. Η χρήση της διεϊσδυσης σιλοξυσιλανίων έχει αποδειχθεί μερικώς επιτυχής καθόσον βοηθούν στην σφράγιση διαρροών υγρασίας. Οι ουσίες αυτές είναι άχρωμες και δεν επηρεάζουν την εξωτερική εμφάνιση. Οι ουσίες αυτές όμως δεν μπορούν να εφαρμοσθούν σε σκυρόδεμα στο οποίο η ενανθράκωση έχει προχωρήσει.

1.5.1) Ηλεκτροχημικές μέθοδοι προστασίας: Η μετακίνηση των φορτισμένων ιόντων μεταξύ ανοδικών και καθοδικών περιοχών του χάλυβα παρέχει την δυνατότητα αναστολής της διάβρωσης δια της μετατροπής όλης της χαλύβδινης ράβδου σε κάθοδο. Αυτό είναι δυνατόν να επιτευχθεί με την εγκατάσταση μιας εξωτερικής ανόδου είτε στην επιφάνεια είτε στο εσωτερικό του σκυροδέματος (εμφύτευση). Με την βοήθεια μιας πηγής τάσεως συνεχούς ρεύματος ρεύμα εξαναγκάζεται να περάσει μεταξύ ανόδου και του χάλυβα. Η διάταξη αυτή είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους, αναλόγως του επιδιωκόμενου στόχου: Καθοδική προστασία, ηλεκτροχημική απομάκρυνση των ιόντων χλωρίου ή "αφαλάτωση" και αποκατάσταση της αλκαλικότητας.

1.5.2)α Καθοδική προστασία: Στην διάταξη αυτή η πηγή και τα συστήματα ελέγχου είναι μόνιμα και χρησιμοποιούνται μια σειρά από ανόδους. Η καταστροφική ανοδική αντίδραση περιορίζεται σε μια άνοδο ανθεκτική στην διάβρωση και η ανώδυνη καθοδική αντίδραση γίνεται στην επιφάνεια του χάλυβα της ενίσχυσης του σκυροδέματος. Η διεργασία αυτή δημιουργεί πρόσθετα υδροξύλια, αντικαθιστά το παθητικό αλκαλικό επίστρωμα και απομακρύνει τα ιόντα του χλωρίου. Η καθοδική προστασία χρησιμοποιείται ευρύτατα σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα και στην συντήρηση ιστορικών μνημείων από τούβλα και πέτρα.

1.5.3)β Ηλεκτροχημική απομάκρυνση χλωρίου (αφαλάτωση): στην διεργασία αυτή χρησιμοποιείται θυσιαζόμενη άνοδος και τροφοδοτικό με δυνατότητα εφαρμογής τάσης 50 volts στην χαλύβδινη ράβδο ενίσχυσης. Το θετικό φορτίο απωθεί τα αρνητικά φορτισμένα ανιόντα χλωρίου και βοηθά στην αναδημιουργία του παθητικού στρώματος σε χρονικό διάστημα μεταξύ 4-6 βδομάδων. Η πρακτική αυτή παρόλο ότι είναι καθιερωμένη σε μικρότερο από την καθοδική προστασία έχει με επιτυχία εφαρμοσθεί σε πάνω από 50 κατασκευές στο Ηνωμένο βασίλειο, την Ευρώπη και την Βόρειο Αμερική.

1.5.4)γ Αποκατάσταση της αλκαλικότητας: Η διεργασία αυτή μοιάζει με την αντίστοιχη της αφαλάτωσης, σε ενανθρακωμένες όμως κατασκευές . Στηρίζεται στην αρχή, ότι τα ιόντα υδροξυλίου τα οποία δημιουργούνται στην κάθοδο αποκαθιστούν την αλκαλικότητα στο σκυρόδεμα από μέσα προς τα έξω. Συνδέεται με υγρή άνοδο η οποία περιέχει ανθρακικό ασβέστιο το οποίο μετατοπίζεται λόγω ηλεκτροσωμώσεως και αποκαθιστά την αλκαλικότητα από την επιφάνεια του χάλυβα προς την εξωτερική επιφάνεια. Θα πρέπει ωστόσο να σημειωθεί, ότι η εφαρμογή των τεχνικών αυτών προϋποθέτει την καταλληλότητα της κατασκευής και την διασφάλιση της συνέχειας μεταξύ του χάλυβα και της ανόδου καθώς και την κατάλληλη ποιότητα του σκυροδέματος.

1.5.5) Εφαρμογή αναστολέων διάβρωσης: Η εισαγωγή χημικών ενώσεων γνωστών ως αναστολέων της διάβρωσης σε ήδη σκληρυμένο σκυρόδεμα αποτελεί μια προοπτική για την αύξηση της ζωής των χαλύβων στο σκυρόδεμα. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου, εφ' όσον είναι επιτυχής, είναι η απλούστερη σε εφαρμογή και έχει τις ελάχιστες επεμβατικές απαιτήσεις.

2)STRESS - CORROSION CRACKING

STRESS - CORROSION CRACKING (S.C.C.) είναι ένας τύπος αστοχίας που παρουσιάζεται όταν ένα υλικό που είναι προδιαθέσιμο στις S.C.C. υποβάλλεται σε εφελκυστική παραμόρφωση και εκτίθεται σε ένα περιβάλλον που προκαλεί S.C.C. Σε μακροσκοπικό επίπεδο, S.C.C. Οι αποτυχίες εμφανίζονται να είναι ψαθυρές' δηλαδή, η συνήθη ολκιμότητα του υλικού (π.χ., όταν φορτίζεται στον αέρα) μειώνεται σημαντικά. Η εφελκυστική παραμόρφωση μπορεί να οφείλεται σε προϋπάρχουσες τάσεις ή σε εξωτερικές φορτίσεις ή και στα δύο. Το πλήθος των τάσεων που μπορεί να φέρει η εκάστοτε περίπτωση προκύπτουν από διαδικασίες κατασκευής, όπως παραμόρφωση (π.χ., που σχηματίζουν ένα σωλήνα) και συγκόλληση. Τα stress-corrosion cracks μπορεί

να είναι ενδοκρυσταλλικά ή διακρυσταλλικά, ή ένας συνδυασμός και των δύο. Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν τρία στάδια στο stress-corrosion cracking:

1. Δημιουργία του περιβάλλοντος που προκαλεί S.C.C. [3]
2. Έναρξη της S.C.C.
3. Διάδοση του S.C.C. μέχρι να προκύψει η αστοχία

Ανάλογα με τον συνδυασμό του περιβάλλοντος, του μετάλλου και την καταπόνηση που υφίσταται ο χρόνος έως την αστοχία μπορεί να κυμαίνεται από λεπτά έως πολλά χρόνια. Για το λόγο αυτό, η επιθεώρηση φορτισμένων μετάλλων που εκτίθενται σε ένα διαβρωτικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της συντήρησης είναι απαραίτητη, ώστε να καθοριστεί κατά πόσον έχουν δημιουργηθεί ρωγμές και να αναπτυχθούν διαδικασίες μετριάσμου πριν επέλθει αστοχία. Το Stress-corrosion cracking προκαλείται από την αλληλεπίδραση των Μεταλλουργικών, μηχανικών, και περιβαλλοντικών παραγόντων, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια πολλαπλότητα ελεγκτικών μέτρων S.C.C. που μπορούν να εφαρμοστούν. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των S.C.C. έχει οδηγήσει σε ένα πολύ μεγάλο αριθμό υποθέσεων, θεωριών, μοντέλων και διαμαχών σχετικά με τους μηχανισμούς με τους οποίους παρουσιάζεται η S.C.C.

2.1 S.C.C ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑΣ

Όταν ο ήπιος χάλυβας παραμορφώνεται εφελκυστικά σε επίπεδα κοντά ή πέρα από το όριο ελαστικότητας και εκτίθεται ταυτόχρονα σε ζεστά συμπυκνωμένα αλκάλια

TABLE 8.1. Some Alloy–Environment S.C.C. Systems

Metal	Environment
Mild steel	NO_3^- , OH^-
High-strength steels ^a	H_2O
Stainless steels, austenitic	Cl^- , OH^- , Br^-
α -Brass	NH_3 , amines
Titanium alloys	
8% Al, 1% Mo, 1% V	Cl^- , Br^- , I^-
Aluminum alloys	H_2O , NaCl solutions
Zirconium alloys	Cl^-
Magnesium alloys	Cl^-
<40 at.% Au–Cu	FeCl_3 , aqua regia

^a>180,000 psi (>1240 MPa) yield strength or approximately >Rockwell C 40 hardness value. Includes high-strength martensitic and precipitation-hardening stainless steels.

ή ζεστά συμπυκνωμένα διαλύματα νιτρικού (όπως βρασμένο κατά 60% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 3\% \text{NH}_4\text{NO}_3$), σπάει κατά μήκος ενδοκρυσταλλικών μονοπατιών από S.C.C. Το S.C.C. παρατηρήθηκε πρακτικά πρώτα σε καθηλωμένους ατμολέβητες. Οι φορτίσεις στα πριτσίνια ξεπερνούσαν πάντα το ελαστικό όριο και έτσι τα εισαγόμενα νερά στους λέβητες εμπλουτίζονταν με αλκάλια για την ελαχιστοποίηση της διάβρωσης. Οι ρωγμές ανάμεσα στα καρφιά και στις πλάκες του λέβητα επέτρεπαν στο νερό να συγκεντρώνεται εκεί , μέχρι η συγκέντρωση των αλκαλίων να προκαλέσει S.C.C , με μερικές φορές να συνοδεύεται από έκρηξη του λέβητα. Επειδή τα αλκάλια είχαν αναγνωριστεί ως μία από τις αιτίες, οι αποτυχίες αυτού του είδους ονομάστηκαν αρχικά καυστική ευθραυστότητα. Με την έλευση των συγκολλημένων λεβήτων και με βελτιωμένη επεξεργασία των νερών του λέβητα , το φαινόμενο S.C.C. των λεβήτων έχει γίνει λιγότερο συχνό. Η εμφάνιση του δεν έχει εξαλειφθεί εντελώς, επειδή σημαντικά ποσά φορτίσεων, για παράδειγμα, μπορεί να αναπτυχθούν σε συγκολλημένα τμήματα των λεβήτων ή σε δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση συμπυκνωμένων αλκαλίων. Η παρουσία πυριτικών αλάτων σε αλκαλικό νερό του λέβητα πάνω από 225 ° C επιταχύνει το S.C.C., ενώ σε χαμηλότερες θερμοκρασίες τα πυριτικά άλατα μπορεί δρουν ως αναστολείς . Εργαστηριακές δοκιμές σε 50% βρασμένο NaOH έχουν δείξει ότι σε ατμοσφαιρική πίεση, 0,2 - 1 .0% PbO , KMnO_4 , Na_2CrO_4 , or NaNO_3 αυτά τα στοιχεία αποτελούν επίσης επιταχυντές [4]. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις που είναι κοινές σε συνθήκες λέβητα, νιτρικά άλατα προστίθενται σε ποσότητες ισοδύναμες με 20 - 40% NaOH αλκαλικότητας δρουν ως αναστολείς της S.C.C. και χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό στην πράξη. Από την άλλη πλευρά, η προσθήκη 2% NaOH σε ζέοντα διαλύματα νιτρικού μπορεί να αναστείλει ραγίσματα . Σε αντίθεση με τις αποτυχίες στις χημικές και πυρινοχημικές βιομηχανίες στο χειρισμό νιτρικών διαλυμάτων, ο φορτισμένος χάλυβας μπορεί επίσης να παρουσιάσει αστοχία σε επαφή με τα νιτρικά άλατα σε θερμοκρασία δωματίου. Τέτοια αποτυχία συνέβη, για παράδειγμα, στα χαλύβδινα καλώδια με 0,7% C της γέφυρας Πόρτσμουθ, στο Οχάιο, μετά από 12 χρόνια στην υπηρεσία. Τα καλώδια παρουσίασαν ρηγματώσεις στις βάσεις τους όπου βρόχινο νερό , που θεωρητικά περιείχε ίχνη νιτρικού αμμωνίου από την ατμόσφαιρα , είχε συσσωρευτεί και συμπυκνωθεί. Μεταγενέστερες δοκιμές που διεξήχθησαν στο Εθνικό Γραφείο Προτύπων των ΗΠΑ (τώρα το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας) έδειξαν ότι τα δείγματα των καλωδίων παρουσίασαν αστοχία σε εφελκυστική παραμόρφωση μέσα σε τριάμισι με ενιάμιση μήνες ενώ ήταν βυθισμένα σε 0,01 N NH_4NO_3 ή σε NaNO_2 σε θερμοκρασία δωματίου. Δεν εμφανίστηκαν ρωγμές εμφανίστηκαν μετά από παρόμοιες δοκιμές σε αποσταγμένο νερό, ή σε 0,01 N διαλύματα $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NaNO_2 , ή σε NaOH . Υπήρχαν λοιπόν αποδεικτικά στοιχεία σε αυτή την περίπτωση ότι τα χαλύβδινα καλώδια ήταν ασυνήθιστα ευαίσθητα σε S.C.C. Το φαινόμενο S.C.C επίσης

παρουσιάζεται όταν το μέταλλο είναι σε επαφή με άνυδρη υγρή αμμωνία σε θερμοκρασία δωματίου - όπως για παράδειγμα, σε κατεργασία κεφαλών εν ψυχρώ και στις συγκολλημένες επιφάνειες των δεξαμενών χάλυβα που χρησιμοποιούνταν για την αποθήκευση υγροποιημένων αερίων. Οι ρωγμές μπορεί να είναι ενδοκρυσταλλικές αλλά μπορούν επίσης να είναι και διακρυσταλλικές. Η αστοχία μπορεί να αποφευχθεί με βαφή για απομάκρυνση των τάσεων του χάλυβα, με την αποφυγή της μόλυνσης του αέρα με NH_3 , ή με την προσθήκη περίπου 0,2% H_2O , το οποίο δρα ως ένας αναστολέας. Ενδοκρυσταλλικές ρωγμές του χάλυβα έχει επίσης αναφερθεί σε επαφή με $\text{SbCl}_3 + \text{HCl} + \text{AlCl}_3$ σε διαλύτη υδρογονάνθρακα. Διακρυσταλλικό S.C.C. αναφέρθηκε σε θερμοκρασία δωματίου κατά την έκθεση του 0.1- 0.2 0% C χάλυβα σε ένα υδατικό μίγμα διοξειδίου του άνθρακα και μονοξειδίου του άνθρακα στα 100 psi. Με Καθοδική πόλωση στο τελευταίο διάλυμα αποτράπηκε η αστοχία. Εκρήξεις έχουν αναφερθεί στις οποίες εμπλέκονται ρωγμές σε χαλύβδινες δεξαμενές που περιέχουν πεπιεσμένο φωταέριο. Οι αποτυχίες σε πιέσεις κάτω από το όριο ελαστικότητας ήταν διακρυσταλλικές και είχαν εντοπιστεί σε μικρές ποσότητες HCN που περιέχεται στο αέριο. Το πρόβλημα λύθηκε με την αφαίρεση των ιχνών HCN και της υγρασίας από το αέριο. Χαλύβδινοι αγωγοί που βρίσκονταν υπογείως και μεταδίδουν πετρέλαιο και φυσικό αέριο και που λειτουργούν σε υψηλές εσωτερικές πιέσεις έχουν αναφερθεί σε αποτυχία από S.C.C. Τόσο διακρυσταλλικά και ενδοκρυσταλλικά S.C.C. έχουν αναφερθεί για υπόγειους αγωγούς. Με βάση τις δοκιμές σε βραστό διάλυμα νιτρικού, βρέθηκε ότι ο βαριά κατεργασμένος εν ψυχρώ χάλυβας (0.06% C, 0.001% N) είναι ανθεκτικός σε S.C.C (εικόνα 8.3). Κατά μήκος αυτών των γραμμών, αναγνωρίζεται στην πράξη ότι χαλύβδινα σύρματα από ψυχρή έλαση είναι πιο ανθεκτικά στην S.C.C. από ό, τι είναι ελαιόβαπτα σύρματα έχοντας ίσες μηχανικές ιδιότητες. Βαφή μαλακών χαλύβων ψυχρής έλασης στους 600 ° C (1110 ° F) για μισή ώρα, στους 445 ° C (830 ° F) για 48 ώρες, ή σε χαμηλότερες θερμοκρασίες για αντίστοιχα μεγαλύτερους χρόνους προκαλεί πάλι ευαισθησία. Ως εκ τούτου, ο πλαστικά παραμορφωμένος χάλυβας, απαλλαγμένος από τάσεις στην περιοχή από 400- 650 ° C (μεταξύ 750 και 1 200 ° F) και στη συνέχεια φορτισμένος, είναι περισσότερο παρά λιγότερο ευαίσθητος ως αποτέλεσμα της θερμικής επεξεργασίας. Μαλακός χάλυβας αποσβεσμένος στους 900 - 950 ° C (1650 - 1740 ° F) είναι ευαίσθητος, αλλά μπορεί να γίνει ανθεκτικός από επαναφορά στους 250 ° C (480 ° F) για 1 2 ώρες, ή στους 200 (σχήμα 8.3) ° C (390 ° F) για 48 ώρες, ακόμα και αν ο χάλυβας εκτεθεί σε νιτρικά είναι ιδιαίτερα φορτισμένος μετά τη θερμική επεξεργασία. Αυτή η ανθεκτική κατάσταση, ωστόσο, είναι προσωρινή για περαιτέρω θέρμανση (σε μη τεταμένη κατάσταση) στους 445 ° C (830 ° F) για 70 ώρες ή στους 550 ° C (1020 ° F) για 3 ώρες, καθώς επίσης και για αντίστοιχα μικρότερους χρόνους σε υψηλότερες θερμοκρασίες, ο χάλυβας καθίσταται ευαίσθητος ξανά και παραμένει ευαίσθητος.

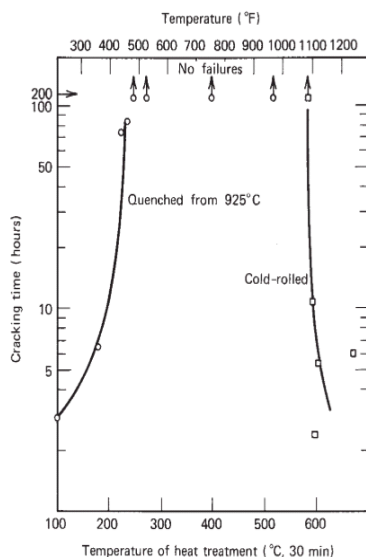


Figure 8.3. Effect of heat treatment of mild steel after quenching or cold rolling (70% reduction of thickness) on resistance to stress-corrosion cracking in boiling nitrate solution

Τα συνολικά στοιχεία δείχνουν ότι τα όρια των κόκκων γίνονται οι οδηγοί για τον σχηματισμό σκασιμάτων μόνο όταν άτομα άνθρακα (ή αζώτου) (όχι Fe_3C) διαχωρίζονται στις περιοχές των ορίων των κόκκων. Ο Καθαρός σίδηρος είναι απρόσβλητος από S.C.C. Σίδηρος (> 0.002% C) ή μαλακός χάλυβας (0,06% C) κατεσταλμένος από τους περίπου 925 ° C περιέχει μία επαρκής συγκέντρωση ατόμων άνθρακα κατά μήκος των ορίων των κόκκων για να προκληθεί ευαισθησία. Χαμηλή - θέρμανση θερμοκρασίας (π.χ. 250 ° C για 12 ώρες) πυρήνων με τυχαία καρβίδια του σιδήρου, που "κλέβουν" τα όρια των κόκκων του άνθρακα, αντιπροσωπεύοντας αύξηση της αντίστασης ή της εξαίρεσης. Μεγαλύτερη θέρμανση σε υψηλότερες θερμοκρασίες (π.χ., 70 ώρες στους 445 ° C) επιτρέπει την αργή κίνηση των ατελειών του πλέγματος εντός των κόκκων για να μεταναστεύσουν προς τα όρια τους, που μεταφέρουν άτομα άνθρακα μαζί τους, και έτσι ο χάλυβας γίνεται και πάλι ευαίσθητος. Η εργασία εν ψυχρώ, από την άλλη πλευρά, παράγει ανοσία καταστρέφοντας συνεχής προδιαθέσεις δημιουργίας μονοματιών στα όρια των κόκκων, και, πιο σημαντικό, με τη δημιουργία ατελειών που έχουν υψηλή προτίμηση για τον άνθρακα και καταστρέφουν οποιαδήποτε συνεχή μονοπάτια κατά μήκος των οποίων άτομα άνθρακα έχουν την τάση να διαχωρίζονται.

Διορθωτικά μέτρα για την αποφυγή S.C.C. από χάλυβα σε διαλύματα νιτρικού περιλαμβάνουν τα εξής:

- **Εκτεταμένη εργασία εν ψυχρώ:** Ψυχρή έλαση με > 50% μείωση του πάχους προσδίδει σχετική ανοσία σε έναν φορτισμένο μαλακό χάλυβα σε βραστό διάλυμα νιτρικού. Η ανθεκτικότητα αυτή του χάλυβα προβλέπεται να διαρκεί για χιλιάδες ώρες σε χαμηλές θερμοκρασίες [π.χ., 100 - 200 ° C (200 - 400 ° F)]
- **Βαφή:** Μαλακός χάλυβας όπου ψύχεται αργά στους 900 - 950 ° C (1650 - 1740 ° F), ή σβήνεται από αυτό το εύρος θερμοκρασίας και στη συνέχεια μετριάζεται σε περίπου 250 ° C (480 ° F) για 12 ώρες, ή σε υψηλότερες θερμοκρασίες για μικρότερους χρόνους, είναι ανθεκτικός. Αυτή η αντίσταση είναι προσωρινή και μικρή - ζούσαν (200 ώρες) σε θερμοκρασίες της τάξης των 400 ° C (750 ° F), αλλά προβλέπεται να ανέλθει στην τάξη μεγέθους χιλιάδων ωρών στους 300 ° C (570 ° F) ή χαμηλότερα.
- **Σφυρηλασία ή αμμοβολή :** Συμπιεστικές τάσεις παράγονται στην επιφάνεια του μετάλλου που είναι αποτελεσματικές για την αποφυγή ζημιών, εφόσον τα συμπιεστικά στρώματα είναι συνεχή, παραμένουν άθικτα, και δεν διαλύονται από τη διάβρωση.
- **Καθοδική προστασία:** Ο Schroeder και ο Berk διαπίστωσαν ότι καθοδική πόλωση του φορτισμένου χάλυβα σε ζεστό υδροξείδιο του νατρίου - διάλυμα πυριτικού νατρίου σε μεγάλο βαθμό μπορεί να καθυστερήσει ή να αποτρέψει ρωγμές. Ο Parkins παρατήρησε παρόμοια προστασία σε ζεστό διάλυμα νιτρικών. Ο Bohnenkamp ανέφερε μέγιστη ευαισθησία των διαφόρων χαλύβων άνθρακα (0,003 - 0,11% C) σε 33% NaOH θερμαινόμενοι στους 120 ° C στα - 0,66 έως - 0,75 V (SHE) με την σειρά μεγέθους - από - μεγαλύτερης διάρκειας ζωής σε δυναμικά στα 0,1 V είτε ευγενή ή ενεργά σε αυτή την περιοχή. Τόσο η ανοδική αλλά και η καθοδική προστασία βρέθηκαν να είναι αποτελεσματικές.
- **Ειδικά κράματα:** Χάλυβες που περιέχουν μικρές προσθήκες κράματος αλουμινίου, τιτανίου, ή νιοβίου συν ταντάλιο, τα οποία αντιδρούν κατά προτίμηση με άνθρακα και άζωτο, εμφανίζουν βελτιωμένη αντοχή στην S.C.C., αλλά δεν έχουν ανοσία. Κραματοποιημένες προσθήκες της τάξεως του <2% Ni αυξάνουν την ευαισθησία του χάλυβα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα σε νιτρικά > 1% Cr ή Mo επέρχεται μείωση της ευαισθησίας. Χάλυβες που έχουν αφεθεί να κρυσώσουν σε φούρνους (περλιτικοί) > 0,2% C είναι ανθεκτικοί .
- **Αναστολείς:** Το Νιτρικό νάτριο έχει ήδη αναφερθεί ως ένας πρακτικός αναστολέας για το χάλυβα που εκτίθενται σε ύδατα λεβήτων. Ακατέρηστο εκχύλισμα από δέντρο quebracho και τα σουλφιδικά υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται επίσης. Ιόντα ρυθμιστικού διαλύματος, όπως PO_4^{-3} , είναι

χρήσιμα επειδή αποφεύγουν υψηλές συγκεντρώσεις OH⁻ σε συμπυκνωμένο νερό του λέβητα. Σε επιταχυνόμενες δοκιμές, η προσθήκη 3% NaCl ή 2% οξικού νατρίου σε βρασμό 60% Ca (NO₃)₂ + 3% NH₄ NO₃, στους 108 ° C βρέθηκε να αναστέλλει ρωγμές σε μαλακό χάλυβα.

Οι διάφορες προσεγγίσεις ελέγχου του S.C.C. παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.2 . Η εξάρτηση της S.C.C. για τη μεταλλουργία, μηχανική, και περιβαλλοντικές μεταβλητές μας οδηγεί σε τρεις κύριους άξονες ελέγχου S.C.C. :

-Μεταλλουργικά: Χρήση κράματος ανθεκτικού σε S.C.C

-Μηχανικά : Μείωση των εφαρμοσμένων τάσεων ή / και ξεπυρώνοντας αργά για την μείωση του υπολειπόμενων φορτίσεων.

-Περιβαντολογικά: Αλλαγή του περιβάλλοντος ή εξάλειψη της επαφής του περιβάλλοντος με την επιφάνεια του μετάλλου με τη χρήση ενός επιχρίσματος : προσθήκη ηλεκτροχημικής προστασίας (ανοδικής ή καθοδικής ανάλογα με το σύστημα).

TABLE 8.2. Stress-Corrosion Cracking Control Measures [22]

Mechanical	Metallurgical	Environmental
Avoid stress concentrators	Change alloy composition	Modify the environment
Relieve residual stresses	Change alloy structure	Apply anodic or cathodic protection
Introduce surface compressive stresses	Use metallic or conversion coating	Add inhibitor
Reduce operating stresses		Use organic coating
Design for nondestructive inspection		Modify temperature

2.2) ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΟΥ S.C.C ΓΙΑ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Τα επιζήμια ανιόντα δεν έχουν σαφή σχέση με τα γενικά ποσοστά διάβρωσης των μετάλλων που επηρεάζουν. χλωριούχα ιόντα, αλλά όχι το νιτρικό ιόντα, προκαλούν S.C.C. 18 - 8 ωστενιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες (που περιέχει 74% Fe), αλλά η αντίθετη κατάσταση ισχύει και για μαλακό χάλυβα. Η ανάγκη για μια τάση εφελκυσμού απεικονίζεται από την ευαισθησία 70% Cu - 30% Zn ορείχαλκο σε περικρυσταλλική διάβρωση (που δεν απαιτούν τάση) σε μια ποικιλία από ηλεκτρολύτες, όπως αραιό H₂SO₄, Fe₂(SO₄)₃, ή BiCl₃ διάλυμα. Η πολύ ταχύτερη S.C.C., η οποία είναι συνήθως επίσης περικρυσταλλική, λαμβάνει χώρα με την παρουσία NH₃ ή αμίνες. Επιπλέον, μια ακατάλληλη θερμικά επεξεργασμένη 18- 8 από ανοξειδωτο χάλυβα (π.χ., ευαισθητοποιημένα στους 650 ° C για 1 ώρα) αποτυγχάνει μεταξύ των κόκκων σε μια ευρεία ποικιλία των ηλεκτρολυτών ανεξάρτητα από το αν φορτίζεται αλλά η ίδια θερμική - επεξεργασία χάλυβα τόνισε στην ένταση και τοποθετήθηκαν σε ένα ζέον διάλυμα χλωριούχου μαγνησίου αποτυγχάνει μεταξύ των κόκκων με S.C.C. παρόλο που δημιουργούνται μονοπάτια της διάβρωσης κατά μήκος των ορίων των κόκκων

Ακολουθούν πέντε χαρακτηριστικά της S.C.C .:

- Ιδιαιτερότητα των βλαβερών χημικών περιβαλλόντων - δεν είναι όλα τα περιβάλλοντα που προκαλούν διάβρωση προκαλούν επίσης S.C.C.
- Γενική αντίσταση ή ανοσία όλων των καθαρών μετάλλων. Για πολλά χρόνια, έγινε κατανοητό ότι τα καθαρά μέταλλα δεν έχουν υποστεί S.C.C. . Ωστόσο, S.C.C. καθαρού χαλκού υπό επιθετική εργαστηριακές συνθήκες έχει αναφερθεί. Καθαρά κράματα, όπως Cu - Zn, Cu - Au, και Mg - Al, από την άλλη πλευρά, είναι ευαίσθητα.
- Η επιτυχής χρήση της καθοδικής πόλωσης για να αποφύγετε την έναρξη S.C.C.
- Ανασταλτική επίδραση των διαφόρων ξένων ανιόντων προστίθεται σε καταστροφικές περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, 2% NaNO₃, ή 1% οξικό νάτριο, ή 3,5% NaI προστίθεται στο διάλυμα χλωριούχου μαγνησίου που βράζει στους 130 ° C (33 g / 100 ml) αναστέλλει S.C.C. του 18 - 8 ανοξειδωτο χάλυβα (> 200 h). Ομοίως, Cl⁻ ή οξικά αναστέλλουν S.C.C. από μαλακό χάλυβα σε βραστό νιτρικά, και SO₄²⁻ ή NO₃⁻ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναστέλλουν μία κράμα τιτανίου (8% Al, 1% Mo, 1% V) που διαφορετικά ρωγμές σε διάλυμα 3,5% NaCl σε θερμοκρασία δωματίου.
- Μια σημαντική επίπτωση της μεταλλουργική δομή, για παράδειγμα, φερριτικούς ανοξειδωτους χάλυβες (σώμα - με επίκεντρο κυβικά) είναι πολύ πιο

ανθεκτικά σε Cl - από ό, τι είναι ωστενιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες (πρόσωπο - με επίκεντρο κυβικά). Επίσης, β και γ ορείχαλκο (> 40% Zn) μπορεί να ραγίσει σε νερό μόνο, αλλά α ορείχαλκος (70% Cu, 30% Zn) αποτυγχάνει σε NH₃ ή μια αμίνη. Οποιοδήποτε μέταλλο με μεγάλου μεγέθους κόκκου, αν η αποτυχία είναι ενδοκρυσταλλική - ή διακρυσταλλική, είναι πιο επιρρεπής σε S.C.C. από το ίδιο μέταλλο με μικρού μεγέθους κόκκου.

Πολλά μοντέλα έχουν προταθεί για να εξηγήσουν τους μηχανισμούς S.C.C. σε ατομικό επίπεδο, αλλά καθένα από αυτά τα μοντέλα έχει τους δικούς της περιορισμούς κατά τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει S.C.C. σε έναν περιορισμένο αριθμό μεταλλικού περιβάλλοντος συστημάτων. Παρά την απουσία ενός αποδεκτού γενικευμένου μοντέλου S.C.C., είναι μερικά μοντέλα που συνοψίζονται στις ακόλουθες παραγράφους.

1) Ηλεκτροχημική Διάλυση

Ηλεκτροχημική διάλυση είναι η βάση για το μοντέλο ρήξης μεμβράνης, που ονομάζεται επίσης μοντέλο διάλυσης ολίσθησης. Το 1940, ο Dix πρότεινε ότι τα γαλβανικά στοιχεία που έχει δημιουργηθεί μεταξύ του μετάλλου και της ανοδικής πορείας συστάθηκε με ετερογενείς φάσεις (π.χ., CuAl₂ καταβυθισμένο από 4% Cu - ένα κράμα Al) κατά μήκος των ορίων των κόκκων ή κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης. Όταν το κράμα, καταπονείται σε εφελκυσμό, εκτίθεται σε διαβρωτικά περιβάλλοντα, η επακόλουθη εντοπισμένη ηλεκτροχημική διάλυση του μετάλλου ανοίγει μια ρωγμή; Επιπλέον, η εφαρμοζόμενη πίεση θραύει αποτελεσματικά εύθραυστες μεμβράνες οξειδίου στο άκρο της ρωγμής, εκθέτοντας έτσι φρέσκο ανοδικό υλικό στο διαβρωτικό μέσο. Στήριξη του μηχανισμού αυτού ήταν μια μετρημένη δυναμικό του μετάλλου στα όρια των κόκκων που ήταν αρνητικό, ή ενεργό, στο δυναμικό των κόκκων. Επιπλέον, καθοδική πόλωση εμπόδισε S.C.C. Το μοντέλο ρήξης μεμβράνης χρησιμοποιήθηκε για να εξηγήσει διακρυσταλλική S.C.C. του χαλκού στο 1M NaNO₂ διάλυμα

2) Επαγόμενη μεμβράνη διάσπασης

Το μοντέλο επαγόμενης μεμβράνης διάσπασης της S.C.C. βασίζεται στα εξής πέντε βήματα:

- Ένα λεπτό μορφής επιφανειακό στρώμα στην επιφάνεια.
- Ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα δημιουργείται στην επιφάνεια.

- Η εύθραυστη ρωγμή διασχίζει την μεμβράνη διεπαφής του μεταλλικού υποστρώματος με μικρή απώλεια στην ταχύτητα.
- Η εύθραυστη ρωγμή συνεχίζει να διαδίδεται στο μεταλλικό υπόστρωμα.
- Μετά από αυτό το ρωγμή γίνεται αμβλύ και σταματά να αυξάνεται, αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Αυτό το μοντέλο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει τις σημάνσεις σύλληψης ρωγμών και τις έδρες διάσπασης επί της επιφανείας του κατάγματος, καθώς επίσης και την ασυνεχή φύση της διάδοσης ρωγμών, αν και απαιτείται περισσότερη έρευνα στην μεμβράνη επιφάνειας και ψαθυρή θραύση πριν από αυτό το μοντέλο μπορεί να αξιολογηθεί διεξοδικά.

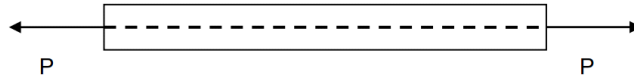
3)ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.

Οι υποστηρικτές αυτού του μοντέλου αιτιολογούν ότι παρόμοιες διαδικασίες θραύσεων συμβαίνουν σε ψαθυροποίηση λόγω εισροής υδρογόνου σε τηγμένο μέταλλο, και S.C.C., με χημειοπροσρόφησης διευκολύνει τη δημιουργία πυρήνων των εξαρθρώσεων στο άκρο ρωγμής και την προώθηση των διατμητικών διαδικασιών που οδηγούν σε ψαθυρή δια σχισμού θραύση .

3)ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Το πείραμα του εφελκυσμού αποτελεί ίσως την σπουδαιότερη πειραματική διαδικασία μέτρησης της μηχανικής συμπεριφοράς των υλικών σε αξονικά φορτία. Η αρχή λειτουργίας των πειραμάτων εφελκυσμού στηρίζεται στην επιβολή δύο δυνάμεων, ίδιου μέτρου, ίδιας διεύθυνσης και αντίθετης φοράς, κατά τον κεντροβαρικό διαμήκη άξονα ενός υλικού (πχ κράμα Αλουμινίου 2024), με σημεία εφαρμογής τα άκρα του (σχήμα 1).



Σχήμα 1 : Επιβολή εφελκυστικών φορτίων σε δοκίμιο Al2024.

Οι επιβαλλόμενες αξονικές δυνάμεις, τείνουν να επιμηκύνουν το δοκίμιο με αποτέλεσμα, εάν οι επιβαλλόμενες δυνάμεις ξεπεράσουν μια κρίσιμη τιμή, η παραμόρφωση του δοκιμίου θα είναι μόνιμη (πλαστική παραμόρφωση). Σε πακτωμένο δοκίμιο αλουμινίου, υπό θερμοκρασία περιβάλλοντος 25oC, επιβάλλεται αξονικό φορτίο P, στο ελεύθερο άκρο του. Το αρχικό μήκος του δοκιμίου είναι L_0 και η διατομή του είναι τετραγωνική $A \text{ m}^2$. Υπό την επίδραση της ανωτέρω δύναμης, παρατηρείται μία παραμόρφωση του δοκιμίου κατά ΔL . Ο Hooke, μελετώντας το ανωτέρω πείραμα, διαπίστωσε ότι ο παράγοντας $(P/\Delta L)$ παραμένει σταθερός, όταν μεταβληθεί το επιβαλλόμενο φορτίο. Βάσει της ανωτέρω παρατήρησης, ο Hooke διατύπωσε τον γενικευμένο νόμο της ελαστικότητας βάσει του οποίου:

$$\frac{E \times A \times \Delta L}{L_0} = P \quad (1)$$

Όπου E: Μέτρο Ελαστικότητας ή μέτρο Young N/m^2

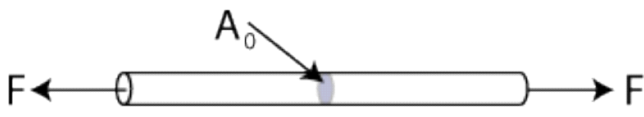
A: Διατομή υλικού m^2

ΔL : διαμήκης παραμόρφωση δοκιμίου m

L_0 : αρχικό μήκος δοκιμίου m

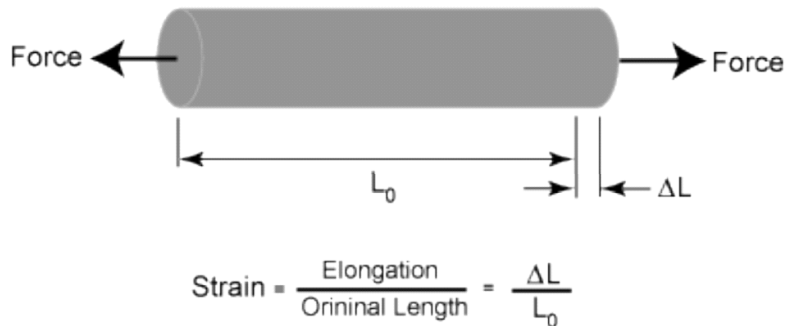
P : επιβαλλόμενη, κάθετη στη διατομή, δύναμη N

Στην επιστήμη της Αντοχής των Υλικών η έννοια της δύναμης και της επιμήκυνσης που προκαλεί σε ένα στερεό δεν είναι μονοσήμαντες. Προκειμένου να ορισθούν τα πραγματικά μεγέθη της καταπόνησης, ορίζεται το μέγεθος της μηχανικής τάσης ως το πηλίκο της επιβαλλόμενης δύναμης σε ένα δοκίμιο προς την διατομή αυτού. Εφόσον η επιβαλλόμενη δύναμη F σε ένα δοκίμιο εφαρμόζεται κάθετα στην διατομή του δοκιμίου (A_0), τότε η εν λόγω μηχανική τάση ονομάζεται ορθή και συμβολίζεται με το σύμβολο σ (stress). (σχήμα 2)


$$\text{Stress, } \sigma = \frac{\text{Force}}{\text{Cross-Sectional Area}} = \frac{F}{A_0}$$

Σχήμα 2. Ορισμός ορθής μηχανικής τάσης σ .

Σε ένα δοκίμιο αρχικού μήκους L_0 , το οποίο υπό την επίδραση δύναμης F εμφανίζει επιμήκυνση ΔL , ορίζεται το μέγεθος ϵ (σχήμα 2) το οποίο καλείται ανηγμένη παραμόρφωση (strain), ή αλλιώς παραμόρφωση.



Σχήμα 2. Ορισμός ανηγμένης παραμόρφωσης ϵ .

Βάσει των δύο ορισμών των μεγεθών ορθής τάσεως και ανηγμένης παραμορφώσεως, ο γενικευμένος νόμος του Hooke (1), εμφανίζεται με τη μορφή της σχέσεως (2), η οποία και αποτελεί το Νόμο του Hooke για τις ορθές μηχανικές τάσεις.

$$\sigma = E * \epsilon \quad (2)$$

Όπου :

σ : ορθή μηχανική τάση N/m²

E: Μέτρο Ελαστικότητας ή μέτρο Young N/m²

ϵ : ανηγμένη παραμόρφωση

Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται στις δοκιμές του μονοαξονικού εφελκυσμού είναι είτε κυκλικής διατομής, είτε ελάσματα με τυποποιημένες διαστάσεις, παραλληλεπίπεδης διατομής (σχήμα 3,4). Η επιμήκυνση του δοκιμίου, μετριέται στο κεντρικό τμήμα του δοκιμίου, το οποίο καλείται και ωφέλιμο μήκος (gauge length) και είναι πάντοτε μικρότερο από το συνολικό τμήμα του δοκιμίου, δεδομένου ότι τα άκρα του δοκιμίου βρίσκονται συγκρατημένα εντός των σιαγόνων – αρπαγών του οργάνου (σχήμα 5). Οι μηχανές εφελκυσμού συνήθως πραγματοποιούν τις δοκιμές σε κατακόρυφη θέση, κατά την οποία το δοκίμιο τοποθετείται εντός των αρπαγών, όπου η κάτω αρπάγη παραμένει ακίνητη, ενώ η άνω αρπάγη κινείται κατακόρυφα προς τα πάνω, ανάλογα με την επιλεγμένο ρυθμό κίνησης. Ο ρυθμός ανόδου της άνω αρπάγης και η ταυτόχρονη επιβολή δύναμης συγκράτησης του δοκιμίου εντός αυτής μπορεί να είναι:

A) ρυθμός παραμόρφωσης $\dot{\epsilon}$ (strain rate) sec⁻¹

b) Ρυθμός δύναμης N/sec

c) Ταχύτητα παραμόρφωσης mm/sec

3.1 ΌΡΙΟ ΑΝΑΛΟΓΙΑΣ (PROPORTIONAL LIMIT)

Αποτελεί την οριακή τάση, πάνω από την οποία η ανηγμένη παραμόρφωση παύει να είναι ανάλογη της αντίστοιχης τάσης. Συμβολίζεται με RA. Στην περιοχή αναλογίας ισχύει ο νόμος του Hooke για τις ορθές μηχανικές τάσεις :

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Το E είναι χαρακτηριστική σταθερά του υλικού και ονομάζεται μέτρο Ελαστικότητας ή μέτρο του Young.

3.2 ΌΡΙΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ELASTIC LIMIT)

Το όριο ελαστικότητας (σημείο E) είναι η μέγιστη τάση στην οποία μπορεί να υποβληθεί ένα υλικό χωρίς να υποστεί μόνιμη (πλαστική) παραμόρφωση. Το όριο ελαστικότητας συμβολίζεται με τον όρο Re. Το όριο ελαστικότητας ορίζεται ως η τάση που προκαλεί μόνιμη παραμόρφωση ίση με το 0,0001% ή 0,03% και σημειώνεται ως δείκτης. Πχ Re0.03=32kP/mm² σημαίνει ότι μια τάση 32kP/mm² προκάλεσε μόνιμη παραμόρφωση 0,03% του ωφέλιμου μήκους του δοκιμίου (gauge length).

*Το όριο ελαστικότητας είναι το μοναδικό σημείο στο τμήμα της ελαστικής περιοχής που πάντοτε υπάρχει, ανεξάρτητα αν υπάρχει ή όχι περιοχή που να υπακούει στο νόμο του Hooke.

**Πάντοτε το όριο ελαστικότητας ταυτίζεται ή είναι μεγαλύτερο του ορίου αναλογίας του υλικού.

3.3 ΌΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ (YIELD POINT)

Το όριο διαρροής είναι η τάση πέραν της οποίας η υφιστάμενη παραμόρφωση του δοκιμίου είναι μόνιμη. Σε ορισμένα υλικά, όπως οι χάλυβες το φαινόμενο της

διαρροής του υλικού φαίνεται αρκετά παράδοξο, δεδομένου ότι το υλικό συνεχίζει να παραμορφώνεται χωρίς την αύξηση της επιβαλλόμενης τάσης.

3.4) ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΜΕΤΡΟ YOUNG) Το μέτρο του Young υπολογίζεται πειραματικά με την κλίση του ευθύγραμμου τμήματος μέχρι το όριο αναλογίας. Είναι δηλαδή το πηλίκο ($E = \text{τάση αναλογίας} / \text{ανηγμένη παραμόρφωση}$) και αποδίδει την ευκολία με την οποία ένα υλικό παραμορφώνεται εντός της ελαστικής του περιοχής.

*** Το μέτρο ελαστικότητας των υλικών αποτελεί φυσική ιδιότητα τους και γι' αυτό δεν μεταβάλλεται ανάλογα με τις πειραματικές συνθήκες.

3.5) ΟΡΙΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ (UTS – ULTIMATE TENSILE STRENGTH)

Αντιστοιχεί στο ανώτατο σημείο της καμπύλης του εφελκυσμού (σημείο S) και είναι γνωστό και ως όριο θραύσης του υλικού. Πρόκειται για την μέγιστη τάση του διαγράμματος και συμβολίζεται με το R_m . Κατά τη διάρκεια του πειράματος του εφελκυσμού, ο όγκος του δοκιμίου παραμένει σταθερός, $V = S_0 * L_0 = S * L$, κάθε επιμήκυνση συνοδεύεται από τη μείωση της διατομής του δοκιμίου, διατηρώντας σταθερό τον όγκο του.

4) ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

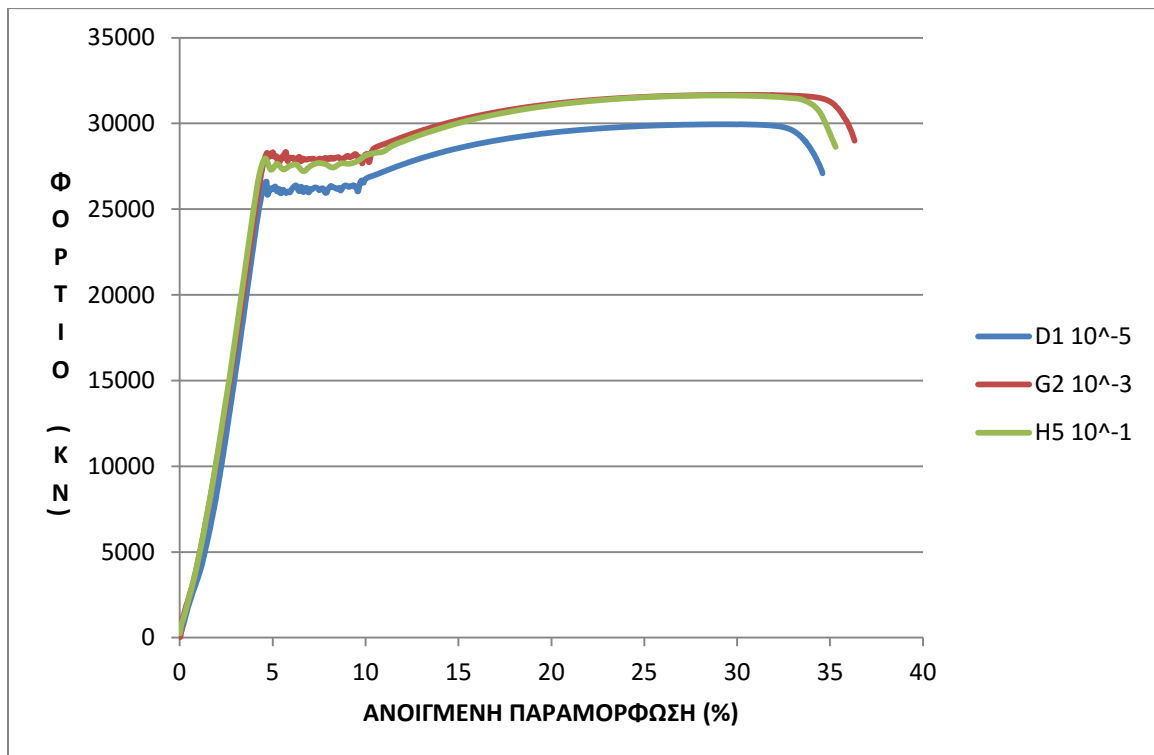
Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τουλάχιστον 15 ράβδοι χάλυβα. Οι μπάρες τοποθετήθηκαν σε 3 αντιδραστήρια και αφέθηκαν να διαβρωθούν σε υγρό περιβάλλον. Τα αντιδραστήρια έφεραν μείγμα αλατόνευρου με αναλογία 11:1 λίτρων απιονισμένου νερού- αλατιού 17,01 mol/l. Οι ράβδοι αφέθηκαν να διαβρωθούν με αεροστεγώς κλεισμένο το 75% του σώματος τους να βρίσκεται σε επαφή με τον υγρό διαβρωτή. Το μέγιστο χρονικό διάστημα το οποίο αφέθηκαν οι χαλύβδινες ράβδοι στα αντιδραστήρια είναι 8 μήνες. Με σκοπό να μπορούμε να μελετήσουμε την διάβρωση σε κάθε στάδιο της μερικές ράβδοι συλλέχτηκαν σε συγκεκριμένους μήνες ($1^{ος}$, $3^{ος}$, $5^{ος}$, $6^{ος}$ & $8^{ος}$) διάβρωσης και νέες εισάγονταν στα αντιδραστήρια.

Στην συνέχεια οι ράβδοι οι οποίες συλλέγονταν από τα αντιδραστήρια στεγνώνονταν και τοποθετούνταν στις ειδικές αρπαγές της μηχανής, οι οποίες συσφίγγονταν σε βαθμό όπου η ράβδος να μην έχει περιθώριο κίνησης ώστε να αποφευχθούν τυχόν

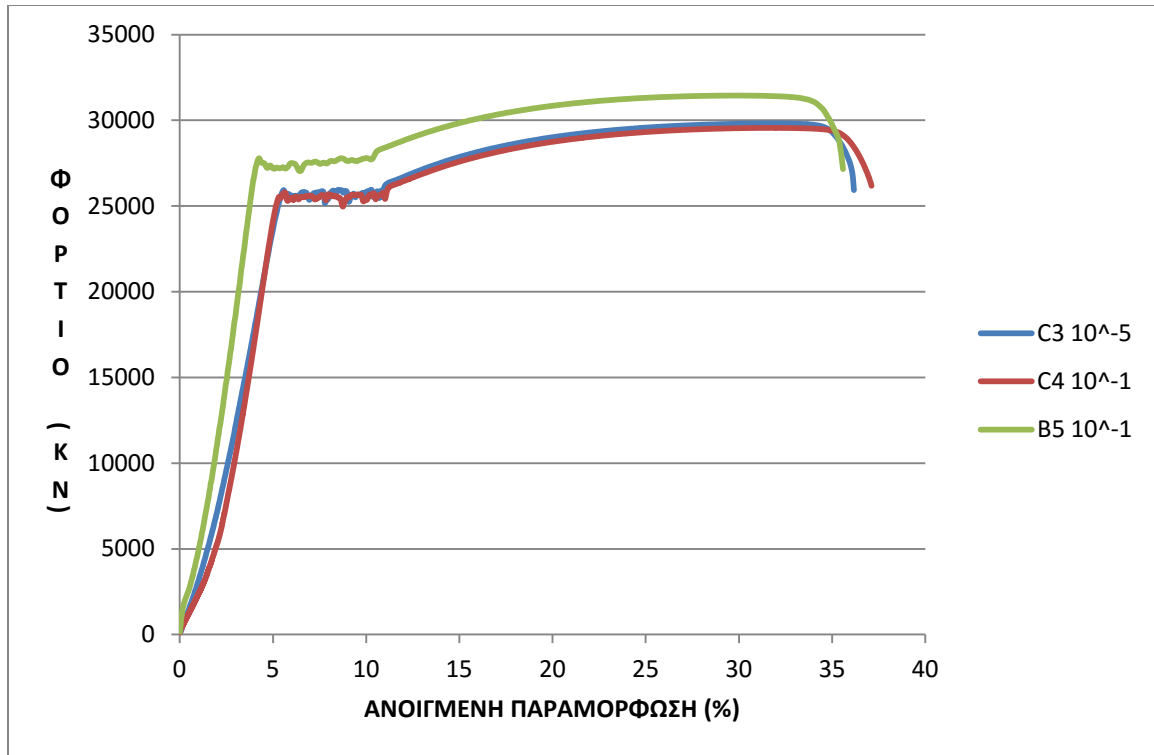
γλιστρήματα κατά την διεξαγωγή του πειράματος. Έπειτα υποβάλλονταν σε αξονικό εφελκυσμό μέχρι το σημείο θραύσης τους. Ο ρυθμός φόρτισης (strain rate) ήταν σταθερός στα 10^{-1} , 10^{-3} , 10^{-5} sec^{-1} . Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε είναι Το μηχάνημα πολλαπλών πειραμάτων galdabini quasas 100.

Παρακάτω διατίθενται τα διαγράμματα εφελκυσμού:

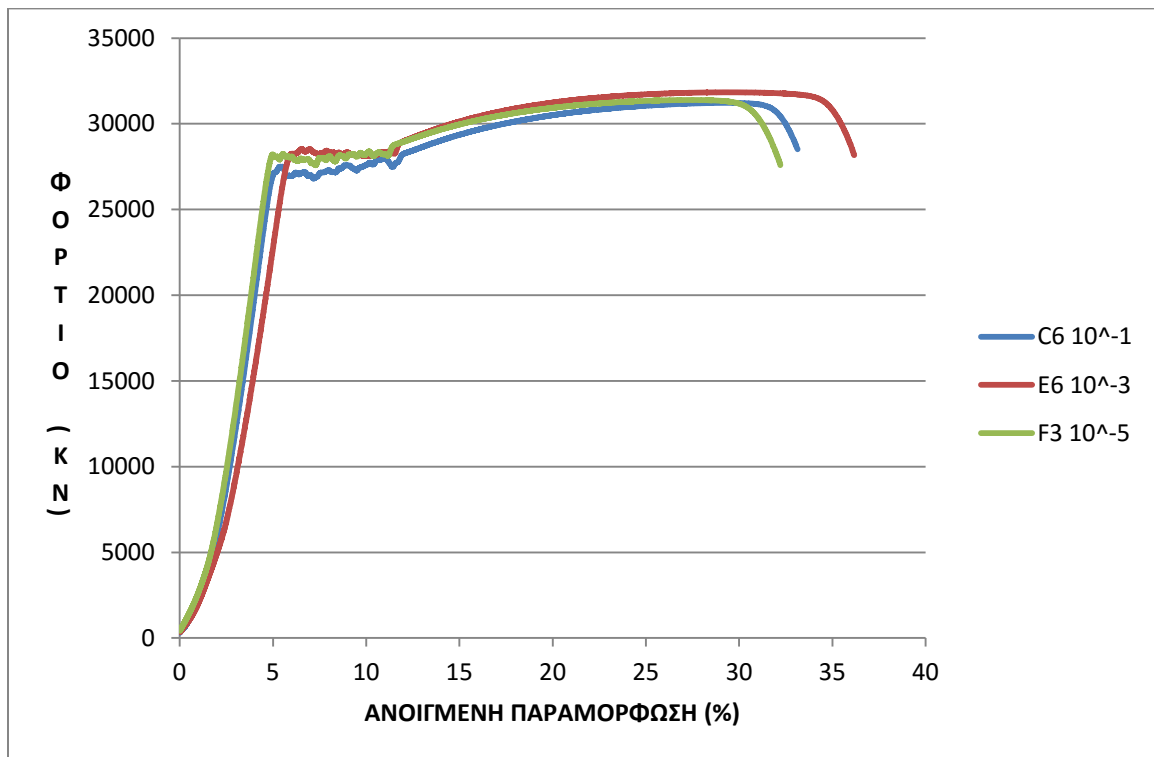
Διάγραμμα εφελκυσμού μη διαβρωμένων ράβδων.



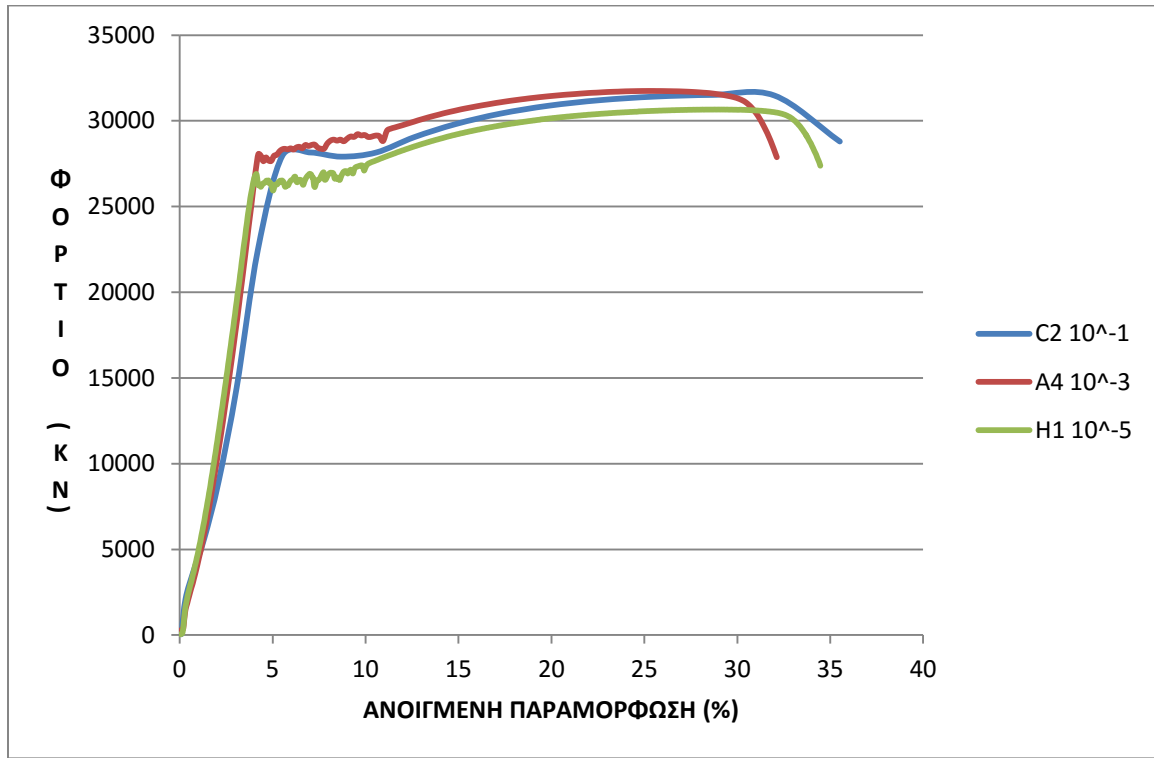
Διάγραμμα εφελκυσμού για 1 μήνα διάβρωσης



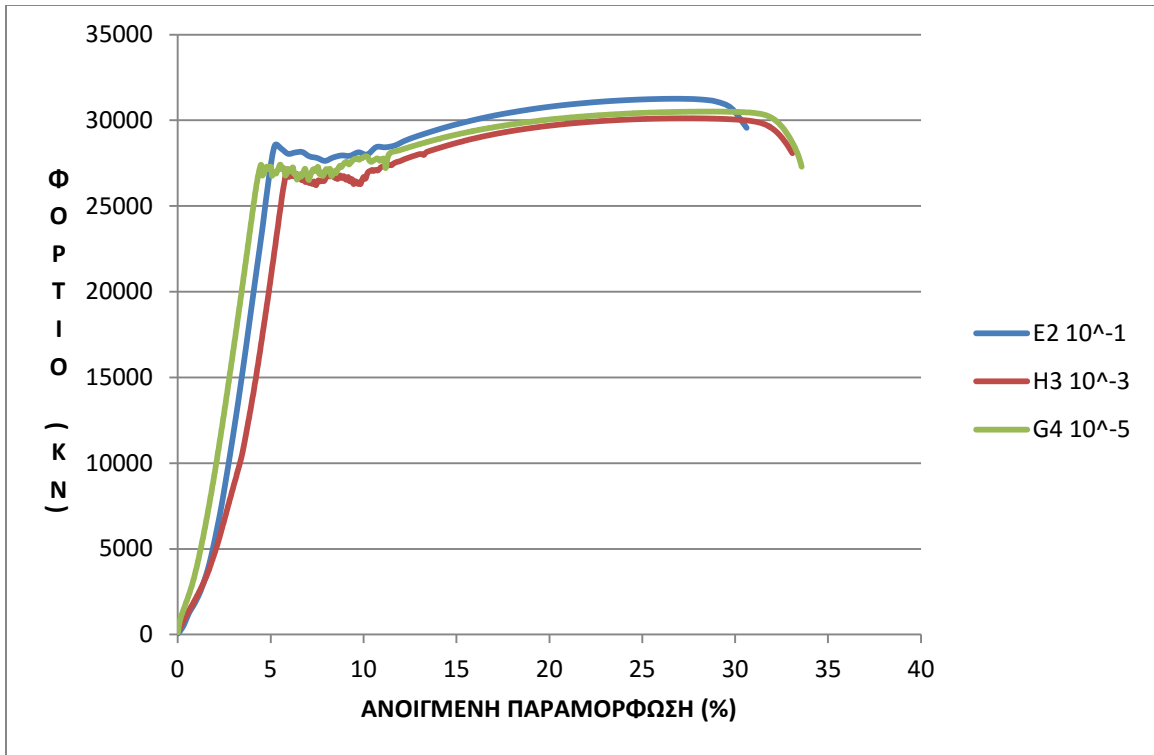
Διάγραμμα εφελκυσμού για 3 μήνες διάβρωσης



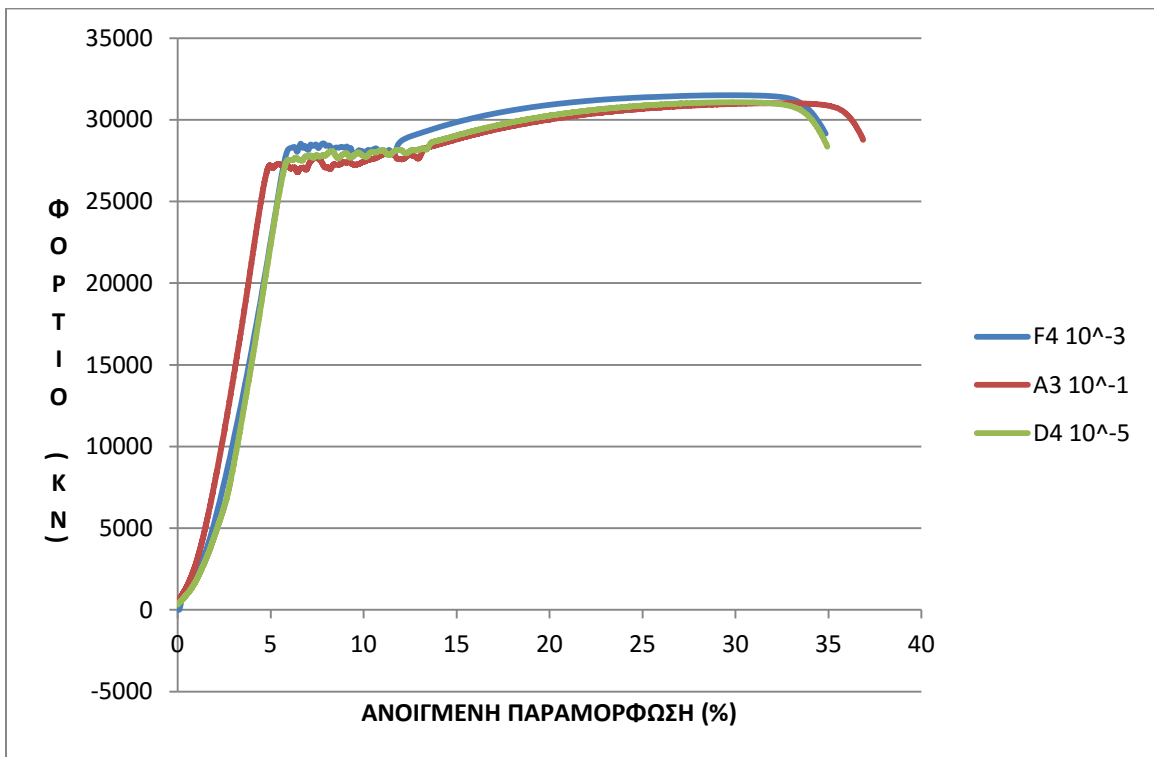
Διάγραμμα εφελκυσμού για 5 μήνες διάβρωσης



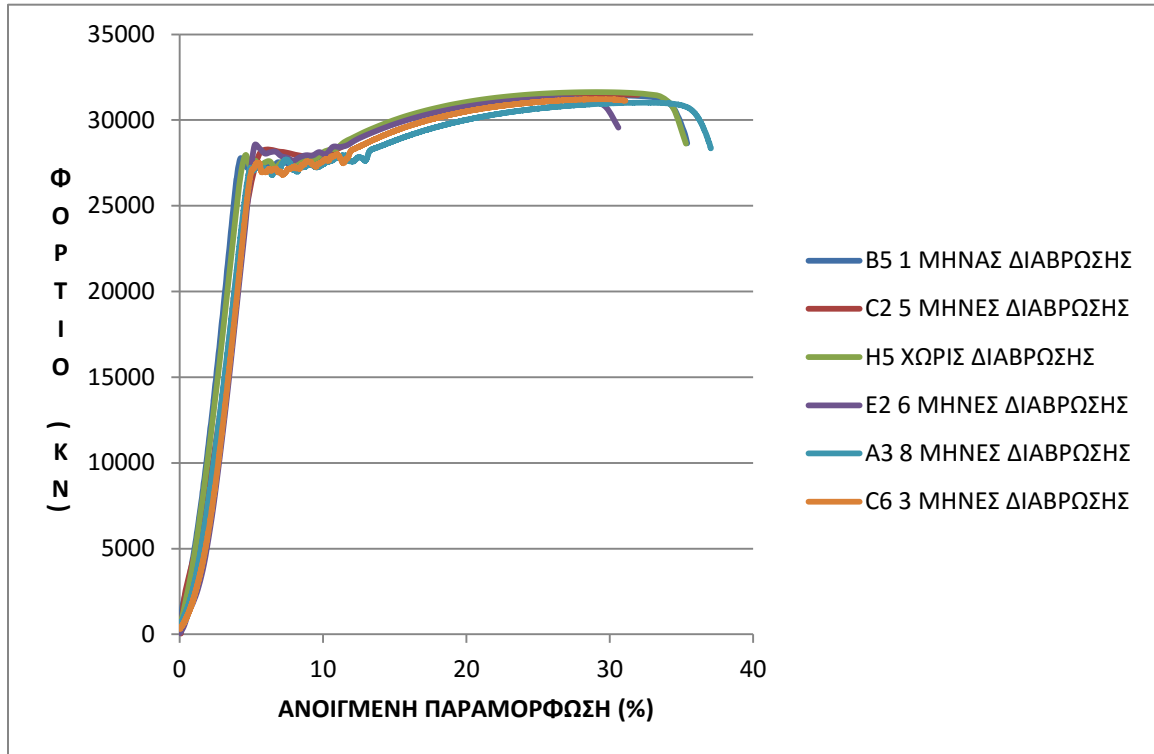
Διάγραμμα εφελκυσμού για 6 μήνες διάβρωσης



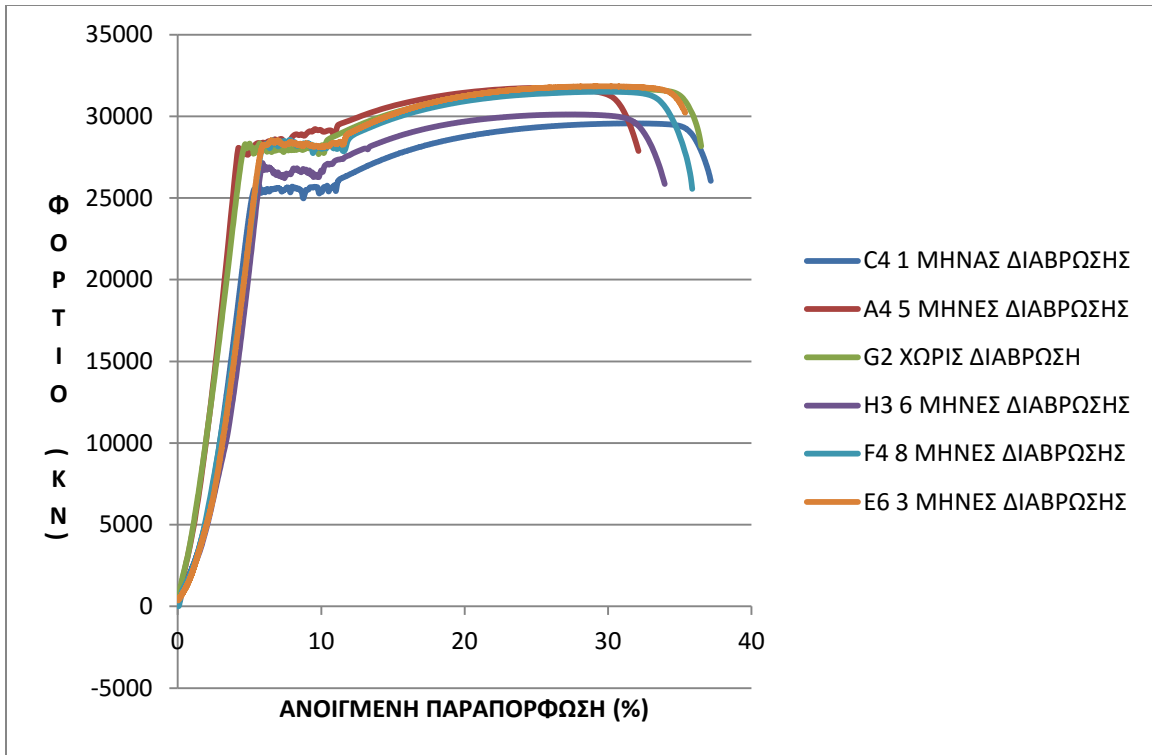
Διάγραμμα εφελκυσμού για 8 μήνες διάβρωσης



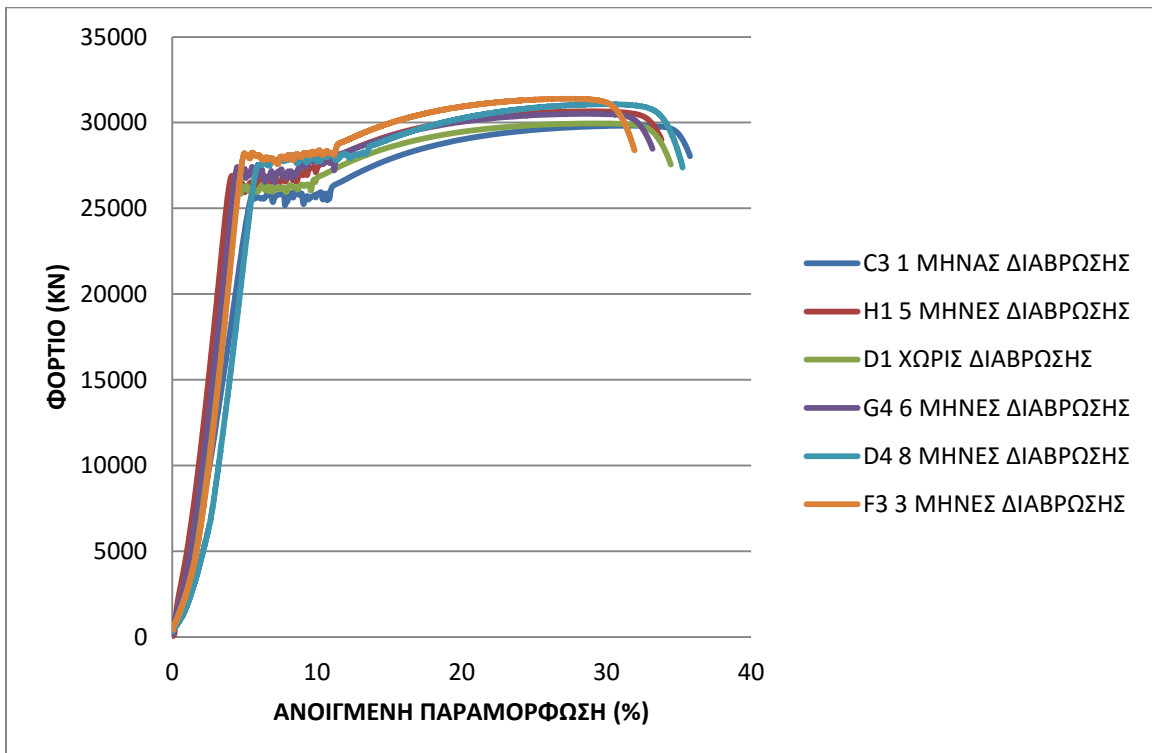
Διάγραμμα εφελκυσμού που παρουσιάζει όλους τους μήνες διάβρωσης για strain rate 10^{-1}

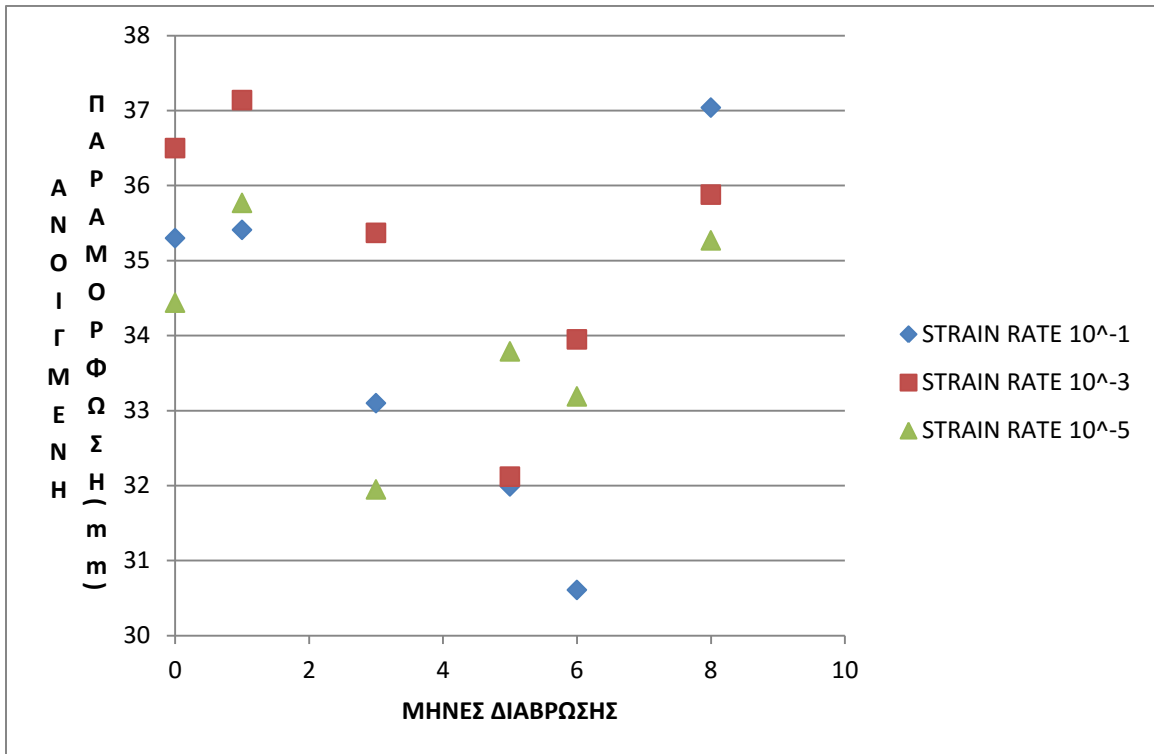
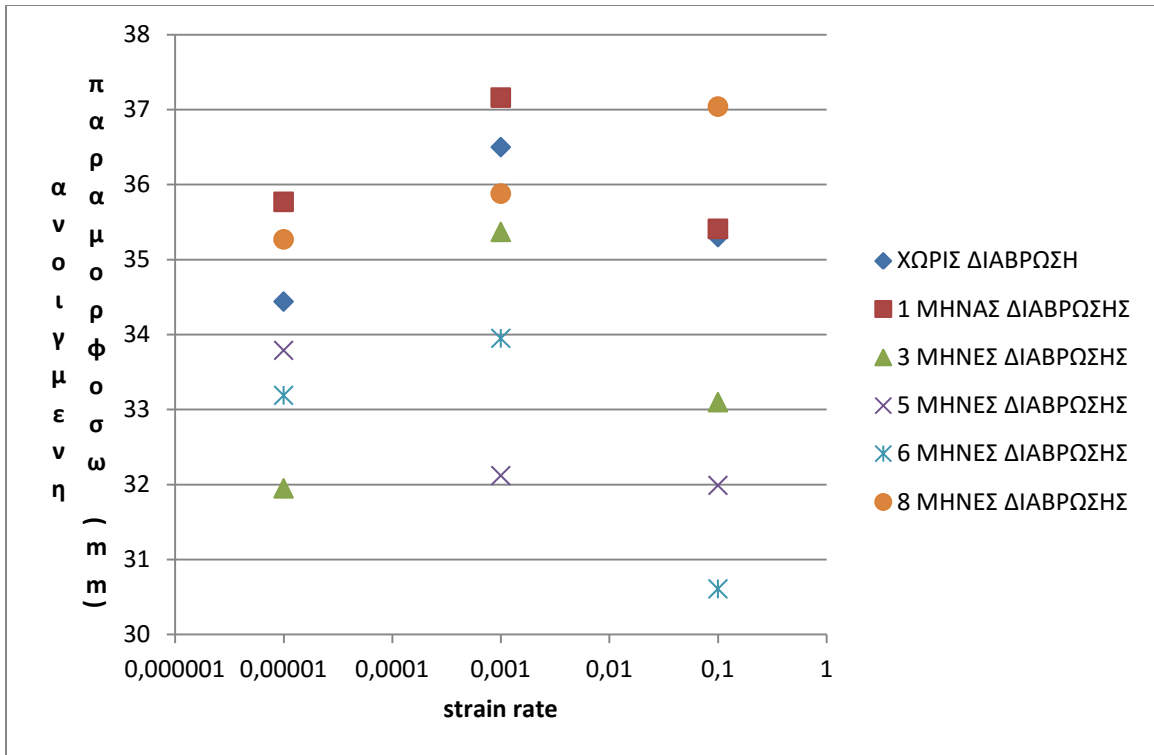


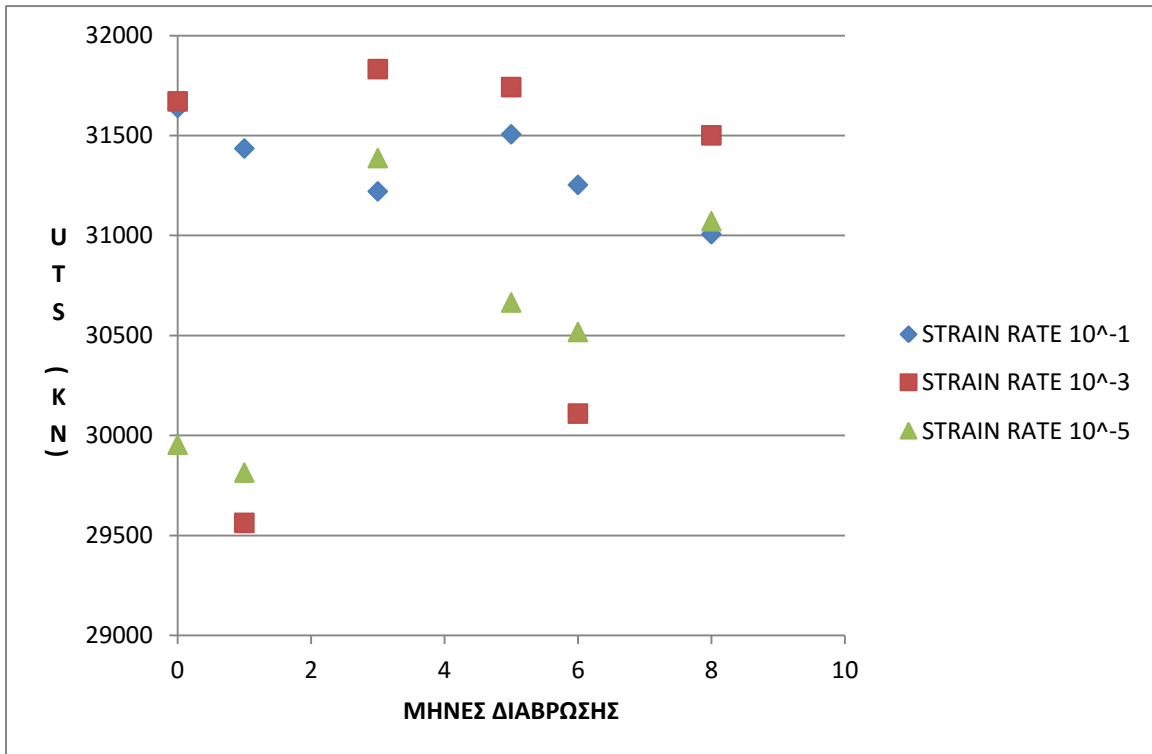
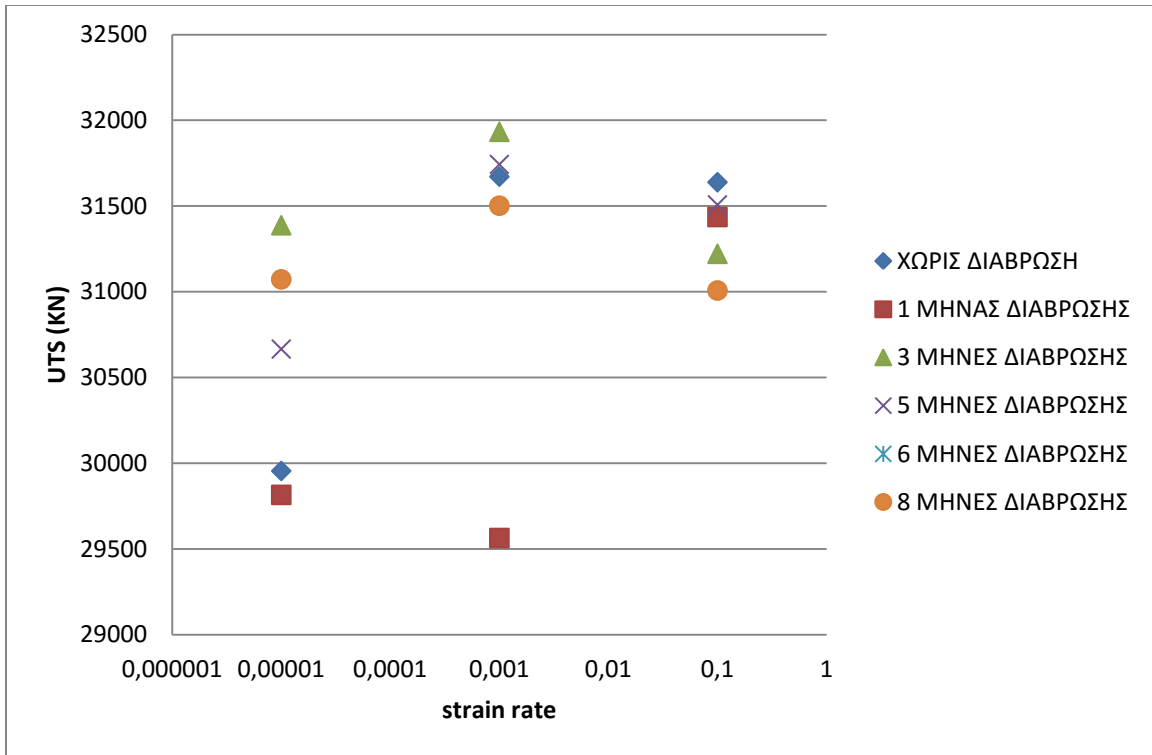
Διάγραμμα εφελκυσμού που παρουσιάζει όλους τους μήνες διάβρωσης για strain rate 10^{-3} .



Διάγραμμα εφελκυσμού που παρουσιάζει όλους τους μήνες διάβρωσης για strain rate 10^{-5} .







ΘΡΑΥΣΤΟΓΡΑΦΙΕΣ:

Στις φωτογραφίες που ακολουθούν διαφαίνονται οι επιφάνειες θραύσης δοκιμών μετά από μηχανική μονοαξονική καταπόνηση υπό διάφορες διαβρωτικές συνθήκες.

ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗ:



(ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ.1)



(ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ.2)

Στην φωτογραφία (1) απεικονίζεται επιφάνεια θραύσης μη διαβρωμένου δοκιμίου υπό συνθήκες φόρτισης 10^{-5} . Στην φωτογραφία αυτή είναι εμφανές το έντονο ανάγλυφο της επιφάνειας (τρισδιάστατη μορφή).Όπως φαίνεται και στην φωτογραφία (2), η οποία προέρχεται από το ίδιο δοκίμιο και τις ίδιες συνθήκες, είναι εμφανές ο όγκιμος χαρακτήρας του υλικού από τις έντονα ανάγλυφες επιφάνειες για γεγονός που συμφωνεί με την χημική σύσταση του υλικού.

3ΜΗΝΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ:



(ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ.3)



(ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ.4)

Οι φωτογραφίες (3) & (4) αντιστοιχούν σε διαβρωμένα δοκίμια υπό τις συνθήκες διάβρωσης 3 μηνών και συνθήκες φόρτισης 10^{-1} & 10^{-5} αντίστοιχα. Οι επιφάνειες θραύσης των 2 δοκιμίων εμφανίζουν έντονο ανάγλυφο και πιθανά σημεία διάβρωσης. Στην φωτογραφία (3) είναι εμφανές ότι ο ψαθυρός χαρακτήρας της θραύσης είναι εντονότερος (λείες περιοχές) γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στον υψηλότερο ρυθμό ανοιγμένης παραμόρφωσης, ο οποίος ενισχύει το φαινόμενο της ενδοτράχυνσης και κατ' επέκταση το φαινόμενο της ψαθυροποίησης του υλικού.

8ΜΗΝΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ:



(ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ.5)



(ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ.6)

Οι φωτογραφίες (5) & (6) οι οποίες αντιστοιχούν σε επιφάνειες θραύσης υπό διάβρωση 8 μηνών δεικνύουν το εντονότερο φαινόμενο φθοράς από διάβρωση σε σχέση με τις 2 προηγούμενες φωτογραφίες (3&4) . Και στις 2 φωτογραφίες αυτές είναι εμφανής η

αύξηση του ψαθυρού χαρακτήρα του υλικού σε σχέση με τις προηγούμενες , γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην έντονη διάβρωση που υπέστη το υλικό η οποία σε συνδυασμό με τους υψηλούς ρυθμούς καταπόνησης συντέλεσε στην μείωση της ολκιμότητας του υλικού και κατ' επέκταση στην αυξημένη ενδοτράχυνση- μειωμένη ολκιμότητα του υλικού.

5)ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΙ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

Όπως φαίνεται από τις θραυστογραφίες στους 8 μήνες διάβρωσης σε σχέση με τα δοκίμια που διαβρώθηκαν για λιγότερους μήνες (δοκίμια 3 μηνών) και τα δοκίμια χωρίς διάβρωση , διαφαίνεται η αύξηση του ψαθυρού χαρακτήρα του υλικού αντίστοιχα. Παράλληλα με την αύξηση του ρυθμού φόρτισης και με την διάβρωση επήλθε μείωση της ολκιμότητας γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα διαγράμματα με σταθερό τον ρυθμό φόρτισης (strain rate) στα 10^{-1} & 10^3 όπου φαίνεται πως τα δοκίμια των 8 μηνών διάβρωσης χρειάστηκαν λιγότερο φορτίο από αυτά που δεν είχαν διαβρωθεί. Τέλος αξίζει να επισημανθεί η διαφορά στο χρώμα των δοκιμίων λόγω της διάβρωσης που έχουν υποστεί. Όσο πιο μεγάλη διάβρωση έχει υποστεί η ράβδος τόσο πιο πολύ σκουραίνει το χρώμα της.

6)ΠΗΓΕΣ:

- ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΥΛΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΑ: ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι.ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

-ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ & ΤΡΟΠΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ :
ΔΗΜΑΔΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ,ΚΑΤΣΕΝΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

-ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ : ΛΗΔΑ ΓΚΙΒΑΛΟΥ , ΜΑΡΙΑ
ΕΛΕΝΗ ΜΙΤΖΗΘΡΑ

- STRESS CORROSION CRACKING EVALUATION OF CANDIDATE HIGH STRENGTH
STAINLESS STEELS FOR PRESTRESSED CONCRETE: JOSEPH ROGELIO FERNANDEZ
UNIVERSITY OF SOUTH FLORIDA

- STUDY OF THE BEHAVIOR OF CORRODED STEEL BAR AND CONVENIENT METHOD OF
REPAIRING: NIHAL ABDELHAMID TAHA MOHAMMED MORSY

-CORROSION AND CORROSION CONTROL An Introduction to Corrosion Science and
Engineering FOURTH EDITION

R. Winston Revie Senior Research Scientist CANMET Materials Technology Laboratory
Natural Resources Canada

Herbert H. Uhlig Former Professor Emeritus Department of Materials Science and
Engineering Massachusetts Institute of Technology