



**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΑΒΒΑ ΠΑΝΤΕΛΙΤΣΑ**

**ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΧΑΛΥΒΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΕ
ΘΑΛΑΣΣΙΝΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ - ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ
ΚΙΓΚΑΛΕΡΙΑΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΛΑΤΟΝΕΦΩΣΗΣ.**

ΙΩΑΝΝΙΝΑ, 2024

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση του Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών που απονέμει το Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Το Δίπλωμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Μ.Σ) απονέμεται από το Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (ΦΕΚ 1949/01.06.2018τ.Β').

Εγκρίθηκε την από την εξεταστική επιτροπή:

1. **Αγγελική Λεκάτου**, Καθηγήτρια του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, **Επιβλέπουσα**
2. **Συμεών Αγαθοπουλός**, Καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, **Μέλος της εξεταστικής επιτροπής**
3. **Μιχαήλ Καρακασίδης**, Καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, **Μέλος της εξεταστικής επιτροπής.**

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"

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Μεταλλουργίας του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Η παρουσία και η καθοδήγηση της επιβλέπουσας καθηγήτριας κ. **Αγγελικής Λεκάτου**, καθηγήτρια του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων ήταν εξαιρετικά σημαντική και την ευχαριστώ θερμά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Ευχαριστώ ιδιαίτερα τους κ. **Καράτζαλη Αλέξανδρο** καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, τον κ. **Γεωργάτη Μανώλη** Μεταλλουργό Μηχανικό, μέλος του Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και τον κ. **Κλεφτάκη Σπύρο** Μηχανικός Μεταλλείων - Μεταλλουργό μέλος του Ειδικού Τεχνικού Εργαστηριακού Προσωπικού του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για την βοήθεια τους όποια στιγμή την χρειάστηκα.

Ευχαριστώ τον Δρ. **Δημήτρη Σιούλα**, τον **Ηρακλή Μαύρο** και τον **Δημοσθένη Μανίτσα** για την άψογη συνεργασία μας στο εργαστήριο.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. **Αγαθόπουλο Συμεών** πρόεδρο του διατμηματικού Μεταπτυχιακού Χημείας και Τεχνολογία Υλικών και καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών για την καθοδήγηση και τη παρουσία του στην εξεταστική επιτροπή, καθώς επίσης και τον κ. **Καρακασίδη Μιχαήλ** καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών για την εμπιστοσύνη και τη παρουσία του στην εξεταστική επιτροπή. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. **Αυγερόπουλο Αποστόλη** καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών για την παρότρυνση του να συνεχίσω και να ολοκληρώσω το μεταπτυχιακό καθώς και τις συμβουλές του και τη καθοδήγησή του στη προσπάθεια αυτή.

Τέλος ευχαριστώ την γονεϊκή μου οικογένεια αλλά και την οικογένεια και τους δικούς μου ανθρώπους που πίστεψαν σε μένα και με στήριξαν σε αυτή μου την απόφαση και ας ήταν δύσκολο αρκετές φορές. Σας ευχαριστώ για όλα.

Ιωάννινα 2024
Σάββα Παντελίτσα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε μελέτη της συμπεριφοράς ως προς τη διάβρωση χαλύβων κιγκαλερίας, κοινών, ανοξείδωτων, με ή χωρίς επικαλύψεις σε περιβάλλον αλατονέφωσης. Έγινε επίσης, βιβλιογραφική έρευνα για τις τεχνικές προστασίας χαλύβων κατασκευής σε θαλασσινά περιβάλλοντα.

Στο κεφάλαιο 1 μελετήθηκε το φαινόμενο της διάβρωσης από ηλεκτροχημική και θερμοδυναμική σκοπιά. Αναφέρονται οι διάφορες μορφές διάβρωσης καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του φαινομένου. Στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται οι μέθοδοι προστασίας από τη διάβρωση. Γίνεται ταξινόμηση των κελιών διάβρωσης καθώς και τρόποι αποφυγής σχηματισμού γαλβανικού στοιχείου διάβρωσης. Στο κεφάλαιο 3 αναφέρονται τα είδη χάλυβα, οι τρόποι παρασκευής τους και οι μέθοδοι προστασίας τους. Στο κεφάλαιο 4 αναφέρεται ο τρόπος λειτουργίας του θαλάμου αλατονέφωσης και οι κατεργασίες και τα στοκαρίσματα των δειγμάτων που τοποθετήθηκαν στο θάλαμο αλατονέφωσης. Στο κεφάλαιο 5 δίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων και τα συμπεράσματα.

Από την μελέτη διαφορετικών υποστρωμάτων, με διαφορετικές επιφανειακές κατεργασίες και επικαλύψεις, σε ένα έντονα διαβρωτικό περιβάλλον όπως αυτό του θαλάμου αλατονέφωσης καταλήξαμε ότι η κατάλληλη επιλογή υλικού, κατεργασίας και επίστρωσης είναι καθοριστικής σημασίας για τη πορεία της διάβρωσης.

Το μέταλλο που χρησιμοποιείται σαν υπόστρωμα σε κάθε εφαρμογή επιλέγεται σύμφωνα με τις μηχανικές του ιδιότητες και το σχέση ιδιότητες-κόστος. **Οι ανοξείδωτοι χάλυβες έχουν καλύτερη συμπεριφορά σε διαβρωτικό περιβάλλον από τους ανθρακούχους χάλυβες.** Η επιφανειακή κατεργασία και οι επικαλύψεις γίνονται με στόχο να βελτιώσουν τις ιδιότητές του και την αντίσταση του στη διάβρωση. Στα δείγματα που η επιφάνεια της επικάλυψης είχε φθορές τα σημεία αυτά έγιναν σημεία έναρξης της διάβρωσης άρα και η ποιότητα της επικάλυψης είναι πολύ σημαντική. Η καλή πρόσφυση και η ομοιόμορφη επιφάνεια βοηθούν στην αποφυγή σημείων έναρξης της διάβρωσης, για αυτό και η χαραγμένη επιφάνεια στα δείγματα παρουσίαζε νωρίτερα διάβρωση.

Ο ανοξείδωτος χάλυβας 304 με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη ή ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική επίπεδη παρουσιάζουν εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση στο θάλαμο αλατονέφωσης όπου παρέμειναν για 100 ημέρες. Τα δείγματα και μετά την παραμονή και την απομάκρυνση τους από το θάλαμο

δεν έχουν αλλάξει καθόλου. Ο ημιτραχύς ανοξείδωτος χάλυβας 304 παρουσιάζει επίσης εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση και οι ατέλειες στην επιφάνεια του δεν επηρέασαν την αντίσταση του ούτε κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης, ούτε μετά την απομάκρυνση του. Ο ανοξείδωτος χάλυβας 304 σε όλες τις περιπτώσεις παρουσίασε πολύ καλή αντίσταση στη διάβρωση, ενώ στις περιπτώσεις που το υπόστρωμα δέχθηκε κατεργασία διαμόρφωσης στους 1000°C, η οποία άφησε χαρακιές στα δείγματα, στο θάλαμο αλατονέφωσης λειτούργησαν ως σημεία έναρξης της διάβρωσης.

Ο Stainless Steel 304 παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερη συμπεριφορά στη διάβρωση έναντι του Stainless Steel 316 και πολύ καλύτερη αντίσταση σε σχέση με το St37 dcp σε πολλές διαφορετικές περιπτώσεις.

Συγκρίνοντας δείγματα με ίδιο υπόστρωμα, ίδια επιφανειακή κατεργασία και διαφορετικές επικαλύψεις προέκυψε ότι το Μίνιο σαν επικάλυψη συνήθως έχει χειρότερη αντίσταση στη διάβρωση από την επικάλυψη Gridox. Ακόμη φαίνεται πως η επικάλυψη με Alcea έχει καλύτερη αντίσταση στη διάβρωση σε σχέση με το Paramatti ή την ίδια προστασία. Τέλος η ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση σε συνδυασμό με την ηλεκτροστατική σφυρήλατη προσφέρει καλύτερη προστασία στη διάβρωση από την ηλεκτροστατική σφυρήλατη μόνο.

ABSTRACT

In this diploma thesis, the corrosion behavior of balustrade steels, common, stainless, with or without coatings in salt spray environment was studied. A literature research was also carried out on the protection techniques of structural steels in marine environments.

In Chapter 1, the phenomenon of corrosion was studied from an electrochemical and thermodynamic point of view. The various forms of erosion are mentioned as well as the factors that affect the speed of the phenomenon. Chapter 2 refers to methods of corrosion protection. There is a classification of corrosion cells and ways to avoid the formation of galvanic corrosion elements. Chapter 3 lists the types of steel, their methods of manufacture and their methods of protection. Chapter 4 describes the operation of the salt spray chamber, and the handling and storage of the specimens placed in the salt spray chamber. The results of the experiments and the conclusions are given in Chapter 5.

In the present work from the study of different substrates, with different surface treatments and coatings, in an intensely corrosive environment such as that of the salt mist chamber, we concluded that the appropriate choice of substrate, surface treatment and coating is decisive the course of corrosion.

The metal used as a substrate in each application is selected according to its mechanical properties and the properties-cost relationship. **Stainless steels have better behavior in corrosive environments than carbon steels.** Surface treatment and coatings are carried out to improve its properties and corrosion resistance. In the specimens where the surface of the coating was damaged, these points became the starting points of corrosion, so the quality of the coating is very important. Good adhesion and uniform surface help to avoid starting points of corrosion, which is why the etched surface on the specimens had previously eroded.

Stainless steel 304 with electrostatic zinc plating and electrostatic forged or electrostatic galvanized and electrostatic flat showed excellent corrosion resistance in the salt spray chamber where they remained for 100 days. The samples and after staying and removing them from the chamber have not changed at all. The semi-hard 304 stainless steel also exhibits excellent corrosion resistance, and the imperfections on its surface did not affect its resistance either during its stay in the salt spray chamber or after its removal. The 304 stainless steel in all cases showed incredibly good corrosion resistance, while in the cases

where the substrate underwent forming processing at 1000°C, which left scratches on the specimens, in the salt spray chamber served as starting points of corrosion.

Stainless Steel 304 exhibits slightly better corrosion behavior than Stainless Steel 316 and much better resistance than St37 dcp in many different situations.

Comparing samples with the same substrate, the same surface treatment and different coatings, it emerged that Minio as a coating usually has worse corrosion resistance than Gridox. It also appears that Alcea coating has better corrosion resistance than Paramatti or the same protection. Finally, electrostatic zinc plating in combination with electrostatic forging offers better protection against corrosion than electrostatic forging alone.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	II
ABSTRACT	IV
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	VI
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	VIII
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΔΙΑΒΡΩΣΗ	1
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	1
1.2 ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ[3,4]	1
1.3 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ[1,2,5,8,9]	7
1.4 ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ[7,9,10]	8
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	18
2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ[1,18,19,20]	18
2.2 ΑΠΟΦΥΓΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΓΑΛΒΑΝΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ [1,3,14]	19
2.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗ [18]	23
2.4 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ [18,25]	24
2.5 ΑΝΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ [3,18,26,27]	25
2.6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ [1]	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	29
ΧΑΛΥΒΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	29
3.1 ΧΑΛΥΒΕΣ [1,18,22,30,31,32,33]	29
3.2 ΤΥΠΟΙ ΧΑΛΥΒΑ [34,35,36]	29
3.3 ΜΙΚΡΟΔΟΜΗ ΧΑΛΥΒΑ [34,36,37,38].....	30
3.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ [41].....	42
3.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ [1,33,42,43]	43
3.6 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΧΑΛΥΒΑ [1,35,47,48,49,50].....	44
3.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ [35,36,40]	48
3.8 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ [1,19,21,22,23,32,39,40,44].....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	54

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	54
ΘΑΛΑΜΟΣ ΑΛΑΤΟΝΕΦΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	54
4.1 ΘΑΛΑΜΟΣ ΑΛΑΤΟΝΕΦΩΣΗΣ [7,54,55]	54
4.2 ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΑΛΑΤΟΝΕΦΩΣΗ	57
4.3 ΔΟΚΙΜΙΑ [57]	59
4.4 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ	62
4.5 ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	66
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	66
5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	66
5.2 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	126
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	163

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 1.1 Γαλβανικό κελί Daniell.....	2
Πίνακας 1.2 Γαλβανική σειρά αντιδραστικότητας μεταλλικών υλικών σε θαλασσινό νερό.....	6
Σχήμα 1.2 Απεικόνιση διαφόρων μορφών διάβρωσης.....	9
Πίνακας 1.3 Μετατροπή μονάδων.....	11
Σχήμα 1.3 Περικρυσταλλική διάβρωση ανοξείδωτου χάλυβα όπως παρατηρείται στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο.	13
Σχήμα 1.4 Διάφορες μορφές διάβρωσης οπών.....	14
Σχήμα 1.5 Μηχανισμός σχηματισμού οπής.....	15
Σχήμα 1.6 Μηχανική διάβρωση λόγω ροής	17
Σχήμα 2.1 Επιμετάλλωση ενός μετάλλου (Me) με χαλκό σε λουτρό θειικού χαλκού.....	22
Σχήμα 2.2 Καμπύλη ποτενσιοδυναμικής ανοδικής πόλωσης.....	26
Σχήμα 3.1 Διάγραμμα σιδήρου άνθρακα.....	31
Σχήμα 3.2 Μικροδομή ωστενίτη.	33
Σχήμα 3.3 Μικροδομή φερρίτη.	34
Σχήμα 3.4 Μικροδομή περλίτη.....	35
Σχήμα 3.5 Μικροδομή μαρτενσίτη.....	36
Σχήμα 3.6 Μικροδομές φάσεων	37
Σχήμα 3.8 Παραγωγή τελικών προϊόντων χάλυβα.....	43
Σχήμα 3.9 Διάγραμμα φάσεων χάλυβα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.....	45
Σχήμα 4.2 Φωτογραφία της συσκευής αλατονέφωσης του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.	56
Εικόνα 5.1 Δοκίμιο 1: St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Μίνιο. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 7η ημέρα (δ) 13η ημέρα (ε) 20η ημέρα και (στ) 31η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	67
Εικόνα 5.2 Δοκίμιο 1*: St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 5η ημέρα (δ) 9η ημέρα (ε) 13η ημέρα και (στ) 20η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.....	68

Εικόνα 5.3	Δοκίμιο 2 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 5η ημέρα (δ) 9η ημέρα (ε) 13η ημέρα και (ζ) 20η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	70
Εικόνα 5.4	Δοκίμιο 2* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 5η ημέρα (δ) 9η ημέρα (ε) 13η ημέρα και (ζ) 20η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	72
Εικόνα 5.5	Δοκίμιο 3 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 15η ημέρα (δ) 34η ημέρα (ε) 58η ημέρα και (στ) 75η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	74
Εικόνα 5.6	Δοκίμιο 3* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 15η ημέρα (δ) 34η ημέρα (ε) 58η ημέρα και (στ) 75η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	76
Εικόνα 5.7	Δοκίμιο 4 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Μίνιο. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 5η ημέρα (δ) 10η ημέρα (ε) 15η ημέρα και (στ) 20η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	78
Εικόνα 5.8	Δοκίμιο 4* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 7η ημέρα (δ) 13η ημέρα (ε) 20η ημέρα και (ζ) 31η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	80
Εικόνα 5.9	Δοκίμιο 5 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι	

με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 15η ημέρα (δ) 34η ημέρα (ε) 58η ημέρα και (στ) 75η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	82
Εικόνα 5.10 Δοκίμιο 5* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 15η ημέρα (δ) 34η ημέρα (ε) 58η ημέρα και (στ) 75η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	84
Εικόνα 5.11 Δοκίμιο 7 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 6η ημέρα (γ) 10η ημέρα (δ) 14η ημέρα (ε) 18η ημέρα και (στ) 21η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	86
Εικόνα 5.12 Δοκίμιο 7* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 6η ημέρα (γ) 10η ημέρα (δ) 14η ημέρα (ε) 18η ημέρα και (στ) 21η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	88
Εικόνα 5.13 Δοκίμιο 8 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 6η ημέρα (γ) 16η ημέρα (δ) 35η ημέρα (ε) 59η ημέρα και (στ) 76η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	90
Εικόνα 5.14 Δοκίμιο 8* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 6η ημέρα (γ) 16η ημέρα (δ) 35η ημέρα (ε) 59η ημέρα και (στ) 76η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	92
Εικόνα 5.15 Δοκίμιο 10 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Μίνιο. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 10η	

ημέρα (γ) 25η ημέρα (δ) 41η ημέρα (ε) 61η ημέρα και (στ) 87η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	94
Εικόνα 5.16 Δοκίμιο 10* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Gridox. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 10η ημέρα (γ) 21η ημέρα (δ) 35η ημέρα (ε) 59η ημέρα και (στ) 76η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	96
Εικόνα 5.17 Δοκίμιο 11 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή, Gridox και Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 10η ημέρα (γ) 25η ημέρα (δ) 41η ημέρα (ε) 64η ημέρα και (στ) 87η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	98
Εικόνα 5.18 Δοκίμιο 11* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή, Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 10η ημέρα (γ) 25η ημέρα (δ) 41η ημέρα (ε) 64η ημέρα και (στ) 87η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	100
Εικόνα 5.19 Δοκίμιο 12 το οποίο είναι Stainless Steel 316 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	102
Εικόνα 5.20 Δοκίμιο 13 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	104
Εικόνα 5.21 Δοκίμιο 13* το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	106

Εικόνα 5.22 Δοκίμιο 14 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και σφυρηλάτηση. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.....	107
Εικόνα 5.23 Δοκίμιο 14 *το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και επίπεδη. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	108
Εικόνα 5.24 Δοκίμιο 15 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Σιδηρόστοκο & Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	110
Εικόνα 5.25 Δοκίμιο 21 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και ημιτραχύς. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	111
Εικόνα 5.26 Δοκίμιο 22 το οποίο είναι St37 με καλαμίνα χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 15η ημέρα (δ) 39η ημέρα (ε) 50η ημέρα και (στ) 67η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	113
Εικόνα 5.27 Δοκίμιο 23 το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	115
Εικόνα 5.28 Δοκίμιο 24 το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη πολυεστερικό στόκο, Gridox και	

Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.....	117
Εικόνα 5.29 Δοκίμιο 25 το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Αρμόκολλα, Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	119
Εικόνα 5.30 Δοκίμιο 26 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και ηλεκτροστατική σφυρηλάτηση. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 6η ημέρα (γ) 16η ημέρα (δ) 35η ημέρα (ε) 52η ημέρα και (στ) 76η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	121
Εικόνα 5.31 Δοκίμιο 26* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και σφυρηλάτηση. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 11η ημέρα (γ) 25η ημέρα (δ) 41η ημέρα (ε) 64η ημέρα και (στ) 87η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	123
Εικόνα 5.32 Δοκίμιο 27 το οποίο είναι Αλουμίνιο ανοδιωμένο χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και χωρίς καμία επίστρωση. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 17η ημέρα (δ) 40η ημέρα (ε) 58η ημέρα και (στ) 86η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης	125
Εικόνα 5.33: Σύγκριση του δείγματος 1 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Μίνιο και του δείγματος 1* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.....	128
Εικόνα 5.34: Σύγκριση του δείγματος 2 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και του δείγματος 2* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.....	129

Εικόνα 5.35: Σύγκριση του δείγματος 3 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea και του δείγματος 3* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	130
Εικόνα 5.36: Σύγκριση του δείγματος 4 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Μίνιο και του δείγματος 4* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	131
Εικόνα 5.37: Σύγκριση του δείγματος 5 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea και του δείγματος 5* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	132
Εικόνα 5.38: Σύγκριση του δείγματος 7 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και του δείγματος 7* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti στις 21 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	133
Εικόνα 5.39: Σύγκριση του δείγματος 8 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτής και Alcea και του δείγματος 8* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτής και Paramatti στις 76 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	134
Εικόνα 5.40: Σύγκριση του δείγματος 10 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτής και Μίνιο και του δείγματος 10* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτής και Gridox στις 76 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης..	135
Εικόνα 5.41: Σύγκριση του δείγματος 11 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτής, Gridox και Alcea και του δείγματος 11* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτής, Gridox και Paramatti στις 87 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	136
Εικόνα 5.42: Σύγκριση του δείγματος 13 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Paramatti και του δείγματος 13* Stainless	

Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.137

Εικόνα 5.43: Σύγκριση του δείγματος 14 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη και του δείγματος 14* Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική επίπεδη στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. 138

Εικόνα 5.44: Σύγκριση του δείγματος 26 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με ηλεκτροστατική σφυρήλατη και του δείγματος 26* Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. 139

Εικόνα 5.45: Σύγκριση του δείγματος 5* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti και του δείγματος 13* Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti για τις 75 και 100 ημέρες αντίστοιχα παραμονής τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. 140

Εικόνα 5.46: Σύγκριση του δείγματος 3* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti και του δείγματος 22 St37 με καλαμίνια χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti για τις 75 και 67 ημέρες αντίστοιχα παραμονής τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. 141

Εικόνα 5.47: Σύγκριση του δείγματος 7* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti και του δείγματος 13 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti για τις 21 και 31 ημέρες αντίστοιχα παραμονής τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. 142

Εικόνα 5.48: Σύγκριση του δείγματος 12 Stainless Steel 316 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti και του δείγματος 13 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με

επίστρωση Paramatti για τις 100 ημέρες παραμονής τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. 143

Εικόνα 5.49: Σύγκριση του δείγματος 14 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη και του δείγματος 26* Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη για τις 100 και 76 ημέρες αντίστοιχα παραμονής τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. 144

Εικόνα 5.50: Σύγκριση του δείγματος 1 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Μίνιο και του δείγματος 1* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Του δείγματος 4 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Μίνιο και του δείγματος 4* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Και του δείγματος 10 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτής και Μίνιο και του δείγματος 10* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτής και Gridox στις 76 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. 145

Εικόνα 5.51: Σύγκριση του δείγματος 2 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και του δείγματος 2* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Του δείγματος 5 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox με Alcea και του δείγματος 5* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox με Paramatti στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Και του δείγματος 7 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και του δείγματος 7* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti στις 21 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. 147

Εικόνα 5.52: Σύγκριση του δείγματος 3 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea και του δείγματος 3* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Του δείγματος 8 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτή με Alcea και του δείγματος 8* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτής με Paramatti στις 76 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Και του δείγματος 11 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτή, Gridox και Alcea και του δείγματος 11* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτή, Gridox και Paramatti στις 87 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	149
Εικόνα 5.53: Σύγκριση του δείγματος 14 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη και του δείγματος 14* Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική επίπεδη στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	151
Εικόνα 5.54: Σύγκριση του δείγματος 13 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Paramatti και του δείγματος 13* Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	150
Εικόνα 5.55: Σύγκριση του δείγματος 26 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με ηλεκτροστατική σφυρήλατη και του δείγματος 26* Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	152
Εικόνα 5.56: Σύγκριση του δείγματος 1 St37 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Μίνιο και του δείγματος 4 St37 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Μίνιο στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	153

Εικόνα 5.57: Σύγκριση του δείγματος 1* St37 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και του δείγματος 4* St37 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	154
Εικόνα 5.58: Σύγκριση δείγματος 3 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea και του δείγματος 5 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	155
Εικόνα 5.59: Σύγκριση δείγματος 3* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti και του δείγματος 5* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	156
Εικόνα 5.60: Σύγκριση δείγματος 2 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και του δείγματος 7 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Alcea στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	157
Εικόνα 5.61: Σύγκριση δείγματος 2* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Paramatti και του δείγματος 7* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Paramatti στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	158
Εικόνα 5.62: Σύγκριση δείγματος 13* Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti και του δείγματος 23 Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.	159

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΔΙΑΒΡΩΣΗ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Με τον όρο διάβρωση ορίζεται η καταστροφή ή η υποβάθμιση ενός υλικού εξαιτίας της αλληλεπίδρασης του με το περιβάλλον. Μπορεί να εμφανιστεί ως αύξηση ή μείωση του βάρους και περιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού. Ο ορισμός αυτός αναφέρεται σε όλα τα υλικά, στην πράξη όμως το φαινόμενο αυτό είναι συνδεδεμένο περισσότερο με τα μεταλλικά υλικά. Τα μέταλλα είναι θερμοδυναμικά ασταθή, μετά την επεξεργασία που δέχονται, και χωρίς εξωτερική δύναμη να επιστρέψουν στην κατάσταση όπως τα συναντούμε στη φύση δηλ. οξειδία, σουλφίδια κ.α. Τα ευγενή μέταλλα όπως ο χρυσός και η πλατίνα αποτελούν εξαίρεση σε αυτό το κανόνα γιατί είναι θερμοδυναμικά σταθερά και έτσι δεν διαβρώνονται και αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται ως πολύτιμα μέταλλα.

Το φαινόμενο της διάβρωσης το συναντάμε και σε όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες υλικών όπως πολυμερή, ελαστομερή, ξύλο, μη μεταλλικά υλικά σε πολύ μικρότερο βαθμό. Ένα παράδειγμα διάβρωση μη μεταλλικών υλικών είναι η διάβρωση ενός μαρμάρινου αγάλματος από το νερό της βροχής, μικροποσότητες οξέων που βρίσκονται στη βροχή αντιδρούν με ενώσεις στην επιφάνεια του μαρμάρου και προκαλούν τη φθορά.

Όλα τα περιβάλλοντα είναι διαβρωτικά. Ο ατμοσφαιρικός αέρας, αέρια όπως το SO_2 , το γλυκό και αλμυρό νερό, αμμωνία και αέριοι ρύποι, ανόργανα οξέα όπως υδροχλωρικό, νιτρικό και θειικό οξύ, ή και οργανικά όπως ακετονικό ή φορμικό οξύ. Γενικά τα ανόργανα περιβάλλοντα είναι πιο διαβρωτικά από τα οργανικά.[1,2]

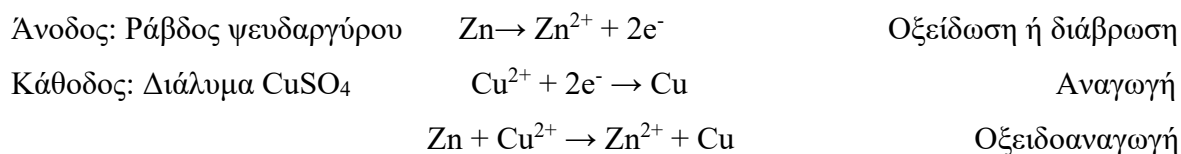
1.2 ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ[3,4]

Η βάση της επιστήμης της διάβρωσης είναι η ηλεκτροχημεία. Για να συμβεί η επιφανειακή κατεργασία της διάβρωσης πρέπει να συμβούν ταυτόχρονα αντιδράσεις οξειδωσης και αναγωγής. Η περιοχή όπου το υλικό οξειδώνεται ορίζεται ως άνοδος και η περιοχή όπου το υλικό ανάγεται ορίζεται ως κάθοδος.

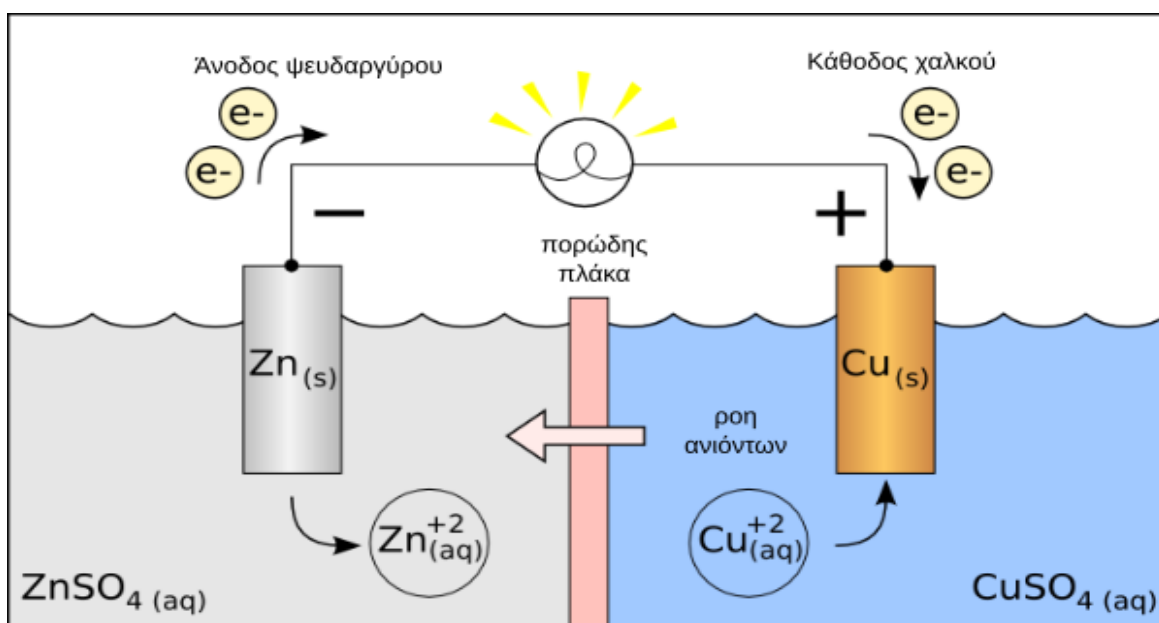
Ένα παράδειγμα ταυτόχρονης οξειδωσης και αναγωγής σε δύο διαφορετικές επιφάνειες είναι η μπαταρία. Το ηλεκτροχημικό κελί είναι είτε γαλβανικό κελί, όπου μια θερμοδυναμικά αυθόρμητη οξειδωαναγωγική αντίδραση παράγει ηλεκτρικό ρεύμα, είτε ηλεκτρολυτικό κελί όπου ηλεκτρικό ρεύμα χρησιμοποιείται για την οδήγηση μιας χημικής αντίδρασης που είναι η διάσπαση του ηλεκτρολύτη.

1.2.1 Γαλβανικό κελί Daniell

Ένα παράδειγμα γαλβανικού κελιού είναι το κελί Daniell που εφευρέθηκε από τον Βρετανό χημικό John Daniell το 1836. Οι αντιδράσεις που συμβαίνουν είναι οι εξής:



Ο Daniell διαχωρίζοντας τα αντιδρώντα στην αντίδραση οξειδοαναγωγής κατάφερε να παράξει ηλεκτρικό ρεύμα από τα ηλεκτρόνια που μεταφέρονται από τον μεταλλικό ψευδάργυρο στα ιόντα του χαλκού. Το κελί του Daniell αποτελείται από ένα ηλεκτρόδιο χαλκού μέσα σε ένα υδατικό διάλυμα CuSO_4 και από ένα ηλεκτρόδιο ψευδαργύρου μέσα σε ένα υδατικό διάλυμα ZnSO_4 . Το γαλβανικό κελί του Daniell δίνεται στο Σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1 Γαλβανικό κελί Daniell [3]

Γενικά σε ένα γαλβανικό κελί οι άνοδοι και οι κάθοδοι μπορεί να σχηματίζονται ή να συνυπάρχουν στο ίδιο μέταλλο λόγω τοπικών διαφορών στη μικροδομή του μετάλλου, στον ηλεκτρολύτη ή στις ασκούμενες τάσεις. Το φαινόμενο της διάβρωσης δεν χρειάζεται παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και αυτή είναι η αντίθεση των γαλβανικών κελιών με τα ηλεκτρολυτικά κελιά τα οποία παρέχουν ηλεκτρικό ρεύμα με τη βοήθεια μιας πηγής

ρεύματος που μετατρέπεται σε χημική ενέργεια η ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρεται και διασπάται ο ηλεκτρολύτης. [1,3,4]

Στα γαλβανικά κελιά που τα ημιστοιχεία των κελιών χωρίζονται από πορώδεις μεμβράνες τα δύο διαλύματα πρέπει να βρίσκονται σε επαφή για να κλείνει το κύκλωμα, όμως η ανάμιξη διαφορετικών ιόντων στη διεπιφάνεια επηρεάζει την διαφορά δυναμικού μεταξύ των ημιστοιχείων και έτσι στο εργαστήριο χρησιμοποιείται γέφυρα άλατος που συνδέει τα ημιστοιχεία και κλείνει το κύκλωμα. Η γέφυρα άλατος είναι καμπυλωτός σωλήνας από πηκτό άγαρ με πυκνό υδατικό διάλυμα άλατος και έτσι επιτρέπει τη ροή ιόντων και είναι περιττή όταν τα δύο ηλεκτρόδια έχουν κοινό ηλεκτρολύτη.

Όταν ένα μέταλλο τοποθετηθεί σε έναν ηλεκτρολύτη, ανάμεσα στο μέταλλο και τον ηλεκτρολύτη αναπτύσσεται μια διαφορά δυναμικού που μας δείχνει με πόση ευκολία το μέταλλο δίνει ηλεκτρόνια. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η διαφορά δυναμικού είναι η συγκέντρωση των ιόντων του ηλεκτρολύτη και η θερμοκρασία του διαλύματος. Σε ένα γαλβανικό κελί το δυναμικό του κελιού είναι η διαφορά μεταξύ των δυναμικών των ηλεκτροδίων του.

$$E = E_{\text{κελιού}} = E_{\text{αναγωγικής θέσης}} - E_{\text{οξειδωτικής θέσης}} = E_{\text{καθόδου}} - E_{\text{ανόδου}}$$

Η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται σε ένα γαλβανικό κελί όταν δεν παράγεται ρεύμα ονομάζεται ηλεκτρεγερτική δύναμη και μας δείχνει την τάση για διάβρωση και όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα του κελιού να ωθεί ηλεκτρόνια στο κύκλωμα και άρα τόσο μεγαλύτερη ροή ρεύματος.

1.2.2 Ηλεκτρόδια Αναφοράς

Σε πρότυπες συνθήκες ηλεκτρολύτη 1 M και 25 °C η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο ηλεκτροδίων βυθισμένα σε διαλύματα των ιόντων τους ονομάζεται πρότυπο δυναμικό γαλβανικού στοιχείου.

$$(e.m.f.)^0 = E^0 = E^0_{\text{κελιού}} = E^0_{\text{αναγωγικής θέσης}} - E^0_{\text{οξειδωτικής θέσης}} = E^0_{\text{καθόδου}} - E^0_{\text{ανόδου}}$$

Σε κάθε περίπτωση μεταξύ μετάλλου και διαλύματος με την πάροδο του χρόνου έρχεται μια ισορροπία ανάμεσα στην ταχύτητα με την οποία τα ιόντα αφήνουν την επιφάνεια του μετάλλου με την ταχύτητα με την οποία επιστρέφουν σε αυτή. Επειδή το δυναμικό που αναπτύσσεται μεταξύ μετάλλου και διαλύματος είναι αδύνατον να μετρηθεί με ακρίβεια πειραματικά χρησιμοποιούμε ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς. Έτσι το ηλεκτρόδιο του οποίου

θέλουμε να προσδιορίσουμε το δυναμικό του συνδέεται μέσω ενός ηλεκτρολύτη με ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς το οποίο χαρακτηρίζεται από συνεχές και επαναλήψιμο ηλεκτρικό δυναμικό. [1,4,5]

Παραδείγματα ηλεκτροδίων αναφοράς είναι:

- Πρότυπο Ηλεκτρόδιο Υδρογόνου (SHE), περιλαμβάνει σύρμα πλατίνας βυθισμένο σε διάλυμα ιόντων H^+ 1N.
- Ηλεκτρόδιο Καλομέλανα (SCE), περιλαμβάνει υδράργυρο σε επαφή με κορεσμένο διάλυμα χλωριούχου υδραργύρου (καλομέλανας) και χλωριούχου καλίου.
- Ηλεκτρόδιο αργύρου/ χλωριούχου αργύρου, περιλαμβάνει ένα σύρμα αργύρου επικαλυμμένο με χλωριούχο άργυρο βυθισμένο σε κορεσμένο διάλυμα KCl.

Συνοπτικά ένα μέταλλο με αρνητικό πρότυπο δυναμικό ως προς το πρότυπο ηλεκτρόδιο του υδρογόνου έχει την θερμοδυναμική τάση να ανάγει τα ιόντα του υδρογόνου σε διάλυμα H^+ και να οξειδώνεται δηλαδή να διαβρώνεται υπό πρότυπες συνθήκες και ένα μέταλλο με θετικό πρότυπο δυναμικό ως προς το πρότυπο ηλεκτρόδιο του υδρογόνου έχει την τάση να ανάγεται από τα ιόντα του υδρογόνου σε διάλυμα H^+ και να μην διαβρώνεται σε πρότυπες συνθήκες.

Η πρόβλεψη της ηλεκτροχημικής διάβρωσης ενός μετάλλου μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας την ηλεκτροχημική σειρά των μετάλλων. Όσο πιο αρνητικό είναι το ηλεκτροχημικό δυναμικό τόσο πιο εύκολα διαβρώνεται το μέταλλο. Όταν ένα μέταλλο έρχεται σε επαφή με κάποιο άλλο μέταλλο παρουσία ηλεκτρολύτη θα διαβρωθεί το μέταλλο που έχει το πιο αρνητικό δυναμικό αναγωγής. Ακόμη, ένα μέταλλο θα αντικαταστήσει ένα άλλο στο διάλυμα των ιόντων του αν έχει πιο αρνητικό αναγωγικό δυναμικό. Τα μέταλλα με αναγωγικό δυναμικό κάτω από το μηδέν θα διαβρωθούν από οξέα γιατί αντικαθιστούν το υδρογόνο στα διαλύματα των οξέων. Μεταξύ δύο μετάλλων σε ένα ηλεκτροχημικό κελί αναπτύσσεται μια διαφορά δυναμικού που εξαρτάται από την απόσταση των μετάλλων στον πίνακα της Ηλεκτροχημικής Σειράς που δίνεται στο Πίνακα 1.1. [6,7]

Πίνακας 1.1 Ηλεκτροχημική σειρά μετάλλων

όνομα	σύμβολο	δράση	Κανονικό δυναμικό (V)
λίθιο	Li	$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	- 3,04
κάλιο	K	$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	- 2,92
νάτριο	Na	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	- 2,71
μαγνήσιο	Mg	$\text{Mg}^{++} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	- 2,36
αλουμίνιο	Al	$\text{Al}^{+++} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	- 1,66
μαγγάνιο	Mn	$\text{Mn}^{++} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}$	- 1,18
ψευδάργυρος	Zn	$\text{Zn}^{++} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	- 0,76
χρώμιο	Cr	$\text{Cr}^{+++} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	- 0,55
σίδηρος	Fe	$\text{Fe}^{++} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	- 0,44
κάδμιο	Cd	$\text{Cd}^{++} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	- 0,41
νικέλιο	Ni	$\text{Ni}^{++} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	- 0,25
κασσίτερος	Sn	$\text{Sn}^{++} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	- 0,14
μόλυβδος	Pb	$\text{Pb}^{++} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	- 0,12
υδρογόνο	H	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0,00
χαλκός	Cu	$\text{Cu}^{++} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0,34
άργυρος	Ag	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	0,80
χρυσός	Au	$\text{Au}^{+++} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	1,50

Το δυναμικό ενός μετάλλου σε σχέση με ένα πρότυπο ηλεκτρόδιο εξαρτάται από το περιβάλλον του. Η γαλβανική σειρά των μετάλλων κατατάσσει τα μέταλλα από το αυτό που αντιδρά λιγότερο στο πιο ενεργό σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Γενικά τα μέταλλα διατηρούν τη θέση που κατέχουν στην ηλεκτροχημική σειρά και στη γαλβανική σειρά υπάρχουν όμως κάποιες εξαιρέσεις και για αυτό είναι σημαντικό να μην συγχέεται η ηλεκτροχημική σειρά με τη γαλβανική σειρά. Τέτοια παραδείγματα είναι αυτό του ψευδάργυρου ο οποίος σε υψηλές θερμοκρασίες είναι καθοδικότερος του χάλυβα ενώ σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ανοδικότερος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αντιστροφή γαλβανικού στοιχείου. Αντιστροφή γαλβανικού στοιχείου παρουσιάζουν και τα δραστικά μέταλλα τα οποία σε συγκεκριμένες συνθήκες παθητικοποιούνται όπως το αλουμίνιο στο θαλασσινό νερό. [1,2,3,7]

Υπάρχει διαφορά ανάμεσα στην ηλεκτροχημική σειρά όπου οι τιμές αφορούν καθαρά στοιχεία υπό πρότυπες συνθήκες και δεν εξαρτώνται από το διαλύτη, ενώ στις γαλβανικές σειρές οι τιμές ισχύουν μόνο για συγκεκριμένες συνθήκες ηλεκτρολύτη, πίεσης και θερμοκρασίας. Στον Πίνακα 1.2 δίνεται η γαλβανική σειρά δραστικότητας μετάλλων και κραμάτων σε θαλασσινό νερό. [1]

Πίνακας 1.2 Γαλβανική σειρά αντιδραστικότητας μεταλλικών υλικών σε θαλασσινό νερό[1]

Πλατίνα		Αυξημένη αντίσταση διάβρωση	στη
Χρυσός			
Γραφίτης			
Τιτάνιο			
Άργυρος			
Chlorimet 3 (62Ni-18Cr-18Mo)			
Hastelloy C (62Ni-17Cr-15Mo)			
Ανοξείδωτος χάλυβας 18-8Mo (παθητικοποιημένος)			
Ανοξείδωτος χάλυβας 18-8 (παθητικοποιημένος)			
Χρωμιούχος ανοξείδωτος χάλυβας 11-30Cr (παθητικοποιημένος)			
Inconel (80Ni-13Cr-7Fe) (παθητικοποιημένο)			
Νικέλιο (παθητικοποιημένο)			
Άργυρος κολλήσεων			
Monel (70Ni-30Cu)			
Cupronickels (Cu-Ni)			
Μπρούντζοι (Cu-Sn)			
Χαλκός		Μειωμένη αντίσταση διάβρωση	στη
Ορείχαλκοι (Cu-Zn)			
Chlorimet 2 (66Ni-32Mo-1Fe)			
Hastelloy B (60Ni-30Mo-6Fe-1Mn)			
Inconel (χωρίς παθητικοποίηση)			
Νικέλιο (χωρίς παθητικοποίηση)			
Κασσίτερος			
Μόλυβδος			
Κράματα κολλήσεων Pb-Sn			
Ανοξείδωτος χάλυβας 18-8Mo (χωρίς παθητικοποίηση)			
Ανοξείδωτος χάλυβας 18-8 (χωρίς παθητικοποίηση)			
Χυτοσίδηρος υψηλού νικελίου			
Χρωμιούχος ανοξείδωτος χάλυβας 13% Cr (χωρίς παθητικοποίηση)			
Χυτοσίδηρος			
Κοινός χάλυβας ή σίδηρος			
2024 αλουμίνιο (4.5Cu-1.5Mg-0.6Mn)			
Κάδμιο			
Εμπορικό καθαρό αλουμίνιο (1100)			
Ψευδάργυρος			
Μαγνήσιο και κράματα μαγνησίου			

1.3 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ[1,2,5,8,9]

Κατά τη λειτουργία των γαλβανικών κελιών η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Κατά την οξείδωση ενός μετάλλου η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας ΔG του συστήματος είναι ίση με το έργο που ξόδεψε ή απορρόφησε το σύστημα κατά την διαδικασία. Για να είναι η διαδικασία αυτή αυθόρμητη θα πρέπει να μειώνεται η τιμή της ελεύθερης ενέργειας δηλαδή το σύστημα να κινείται χωρίς εξωτερική δύναμη σε κατάσταση μικρότερης ενέργειας. Η αλλαγή στην ελεύθερη ενέργεια δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta G = G(\text{προϊόντων}) - G(\text{αντιδρώντων}) \quad \text{Σχ. : 1.1}$$

Για να πραγματοποιηθεί αυθόρμητα μια αντίδραση οξειδοαναγωγής θα πρέπει να υπάρχει μείωση της ελεύθερης ενέργειας κατά ΔG . Γνωρίζουμε από το νόμο του Faraday ότι

$$\Delta G = -nFE \quad \text{Σχ. : 1.2}$$

Όπου n: Ο αριθμός ηλεκτρονίων που λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση

F: Η σταθερά του Faraday (96500 Cb/mol)

E: Δυναμικό κελιού (Δυναμικό οξειδοαναγωγής)

Οπότε όταν υπάρχει θετική τιμή στο δυναμικό κελιού η οξειδοαναγωγική αντίδραση γίνεται αυθόρμητα αφού η συνολική ελεύθερη ενέργεια είναι αρνητική.

Σε πρότυπες συνθήκες η σχέση 1.3 δίνεται ως εξής:

$$\Delta G^0 = -nFE^0 \quad \text{Σχ. : 1.3}$$

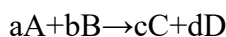
Όπου E^0 το πρότυπο δυναμικό γαλβανικού κελιού.

Η θερμοδυναμική και ηλεκτροχημική πρόβλεψη είναι μια ένδειξη της τάσης του μετάλλου να διαβρωθεί αλλά δεν ισχύει πάντα καθώς εξαρτάται και από την ταχύτητα της διάβρωσης. Όταν η ταχύτητα διάβρωσης είναι πολύ μικρή τότε θεωρούμε ότι δεν συμβαίνει διάβρωση ακόμα και όταν το $\Delta G < 0$. Ουσιαστικά συμβαίνει διάβρωση με πολύ αργό ρυθμό όπως στην παθητικοποίηση των μετάλλων που ο σχηματισμός σταθερών επιστρωμάτων οξειδίων στην επιφάνεια ορισμένων μετάλλων εμποδίζει την περαιτέρω διάβρωση τους, κάτι που δεν προβλέπεται από την Ηλεκτροχημική σειρά των μετάλλων.

1.3.1 Η εξίσωση του Nernst

Η εξίσωση του Nernst μας δίνει την ηλεκτρεγερτική δύναμη ενός γαλβανικού στοιχείου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την συγκέντρωση των ιόντων των διαλυμάτων. [1,7]

Έτσι σε μια αντίδραση οξειδοαναγωγής όπου:



η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας ΔG συνδέεται με τις ενεργότητες των προϊόντων και αντιδρώντων ως εξής:

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln K \quad \text{Σχ. : 1.4}$$

Όπου ΔG μετριέται σε (J/mol)

R είναι η παγκόσμια σταθερά αερίων $R = 8.314 \text{ J/(K mol)}$

T είναι η απόλυτη θερμοκρασία σε (K) και

K είναι η σταθερά της αντίδρασης και ισούται με το λόγο των ενεργών μαζών των προϊόντων προς τις ενεργές μάζες των αντιδρώντων:

$$K = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b} \quad \text{Σχ. : 1.5}$$

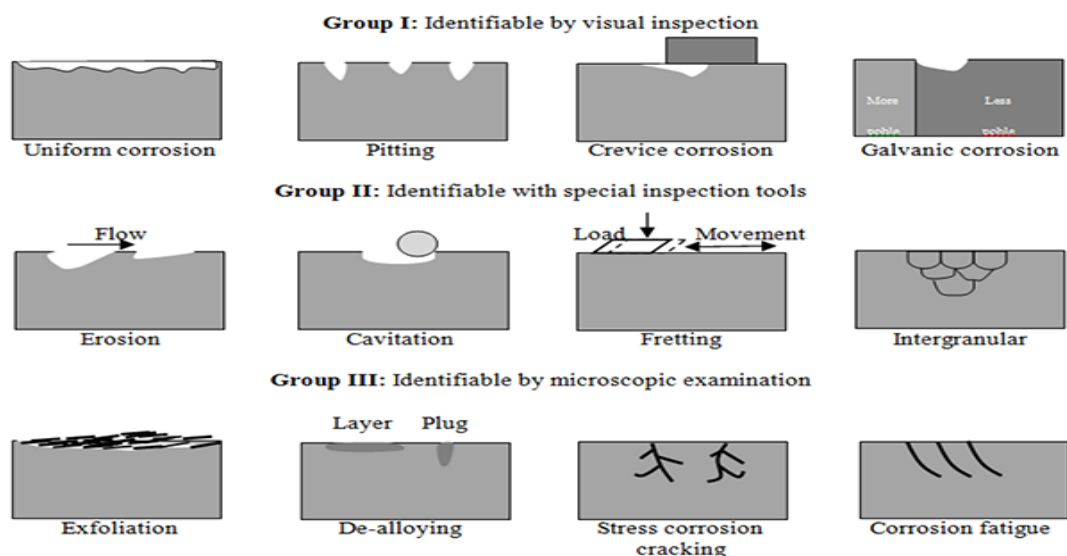
Από τις σχέσεις (1.3), (1.4) και (1.5) προκύπτει η εξίσωση του Nernst που δίνεται από τη σχέση

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{προϊόντων}]}{[\text{αντιδρώντων}]} \quad \text{Σχ. : 1.6}$$

1.4 ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ [7,9,10]

Η διάβρωση ενός αντικειμένου μπορεί να οφείλεται σε περισσότερες από μια μορφή διάβρωσης. Ο κάθε τύπος διάβρωσης εμφανίζεται με διαφορετικό τρόπο και επηρεάζει διαφορετικά την διαβρωμένη επιφάνεια. Οι γενικές κατηγορίες διάβρωσης είναι η γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση, η μεταλλουργική διάβρωση, η τοπική διάβρωση, η διάβρωση με συνεργία τάσεων και η μηχανική διάβρωση. Υπάρχουν οκτώ διαφορετικές μορφές

διάβρωσης ανάλογα με τον τρόπο που εκδηλώνεται η διάβρωση. Στο Σχήμα 1.2 φαίνεται η σχηματική απεικόνιση διαφόρων μορφών διάβρωσης. [11]



Σχήμα 1.2 Απεικόνιση διαφόρων μορφών διάβρωσης [11]

Πιο αναλυτικά στην γενική ή ομοιόμορφη διάβρωση γίνεται προσβολή ολόκληρου ή μεγάλου τμήματος της επιφάνειας του μετάλλου και αυτό που την χαρακτηρίζει είναι η ομοιόμορφη μείωση του πάχους του αρχικού υλικού. Σε αυτή την κατηγορία υπάγεται η ατμοσφαιρική διάβρωση όπου το μέταλλο διαβρώνεται βαθμιαία λόγω της επίδρασης των ουσιών της ατμόσφαιρας με το μέταλλο. Αποτελεί την πιο καταστροφική μορφή διάβρωσης όμως μπορεί εύκολα να μετρηθεί ο ρυθμός απώλειας υλικού και έτσι να προβλέψουμε τη χρονική διάρκεια χρήσης του υλικού. Επειδή είναι οπτικώς πολύ εμφανής μορφή διάβρωσης μπορούμε να την εντοπίσουμε γρήγορα. Αυτό το είδος διάβρωσης συνήθως εμφανίζεται σε επιφάνειες μετάλλων με ομοιογενή χημική σύσταση και μικροδομή όπου γειτονικές περιοχές της επιφάνειας του μετάλλου με μικρές αλλαγές στη χημική τους σύσταση γίνονται μικροάνοδοι και μικροκάθοδοι. Η γαλβανική διάβρωση ή διάβρωση μεταξύ διαφορετικών μετάλλων λαμβάνει χώρα λόγω της ηλεκτρικής επαφής ενός μετάλλου με ένα λιγότερο δραστικό μέταλλο ή με μη μεταλλικό υλικό μέσα σε έναν ηλεκτρολύτη. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο διαφορετικών μετάλλων τα οποία είναι εμβαπτισμένα σε ένα διαβρωτικό περιβάλλον και βρίσκονται σε επαφή είναι η ενεργός δύναμη που προκαλεί τη ροή των ηλεκτρονίων αναμεσά τους και δημιουργεί το ηλεκτροχημικό κελί. Η διάβρωση σε μέταλλα στο υπέδαφος ή σε νερό λόγω διαφυγής

συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος από ηλεκτρικό εξοπλισμό του οποίου κάποιο τμήμα μεταφέρει ρεύμα και είναι σε επαφή με το έδαφος ή με νερό. Η γενική βιολογική ή βακτηριακή διάβρωση που συμβαίνει λόγω μεταβολικής και καταλυτικής δράσης βακτηριδίων. Η διάβρωση λόγω υψηλών θερμοκρασιών που μπορεί να εκδηλωθεί με διάφορες άλλες μορφές όπως εργοδιάβρωση, αποκραμάτωση σπηλαιώδης διάβρωση κ.α. Σε αυτές οφείλεται η διάβρωση σε τήγματα αλάτων όπου συμβαίνει οξείδωση ή διάλυση του μετάλλου στα ιόντα του και ο ηλεκτρολύτης είναι το τηγμένο άλας. Η μαζική ή επιλεκτική διάλυση μετάλλου σε τηγμένο μέταλλο. Η οξείδωση που συμβαίνει λόγω έκθεσης του μετάλλου σε αέρια που περιέχουν οξυγόνο όπου το οξείδιο που σχηματίζεται εμποδίζει ή επιβραδύνει το ρυθμό της διάβρωσης (παθητικοποίηση). Η θείωση όπου η διάβρωση συμβαίνει παρουσία αερίων που περιέχουν θείο και σχηματίζονται σουλφίδια στην επιφάνεια ή κάτω από την επιφάνεια του μετάλλου. Η καταστροφική ενανθράκωση και μεταλλική κονιοποίηση όπου η διάβρωση συμβαίνει παρουσία καυσαερίων σε ενεργότητες άνθρακα μικρότερες της μονάδας. Αλογόνωση όταν η διάβρωση γίνεται παρουσία αερίων που περιέχουν αλογόνο (χλώριο ή φθόριο). Η νίτρωση που εμφανίζεται σε περιβάλλον αμμωνίας και σχηματίζει νιτρίδια στο εσωτερικό των κραμάτων και προκαλεί τη ψαθυροποίησή τους και μηχανική διάβρωση με ροή όπου η διάβρωση επιταχύνεται λόγω της κίνησης ενός ρευστού στην επιφάνεια του μετάλλου. Η μέτρηση της γενικής διάβρωσης δίνεται από το ρυθμό διάβρωσης και μπορεί να μετρηθεί με τρεις τρόπους:

Μέτρηση απώλειας μάζας, μέτρηση μείωσης του πάχους του μετάλλου ή μέτρηση του βάθους εισχώρησης της διάβρωσης και τέλος μέτρηση της πυκνότητας ρεύματος.

Η ταχύτητα διάβρωσης δίνεται από τη σχέση:

$$(r_{cor})_m = \frac{\Delta m}{A \cdot t}$$

Σχ. : 1.7

Όπου Δm η απώλεια μάζας

A η εκτεθειμένη επιφάνεια

t ο χρόνος έκθεσης

Η μονάδα μέτρησης απώλειας μάζας είναι σε $g/m^2 \cdot day$. [12]

Η μέτρηση της απώλειας μάζας είναι σημαντική όταν συμβαίνει γενική διάβρωση στο υλικό, ενώ όταν συμβαίνει τοπική διάβρωση ενώ η απώλεια μάζας είναι ελάχιστη σε σχέση με την επιφάνεια οι συνέπειες της είναι πολύ σοβαρές και έτσι κρίνεται ακατάλληλη

η μέθοδος αυτή. Στην διάβρωση λόγω υψηλών θερμοκρασιών όταν τα προϊόντα διάβρωσης έχουν σχηματίσει επιστρώματα με καλή πρόσφυση στα μεταλλικά υποστρώματα τότε μπορεί να μετρηθεί η αύξηση της μάζας του υλικού. Ένας ακόμη τρόπος μέτρησης του ρυθμού διάβρωσης είναι η μέτρηση της απώλειας του πάχους του μετάλλου ή του βάθους διείσδυσης της διάβρωσης. Μια λεπτή τομή στο στρώμα που έχει σχηματιστεί στην επιφάνεια του μετάλλου λόγω της διάβρωσης μας επιτρέπει να υπολογίσουμε το βάθος διείσδυσης της διάβρωσης χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$(r_{cor})_i = \frac{\Delta l}{t} \quad \text{Σχ. : 1.8}$$

Όπου Δl η μείωση του πάχους του υλικού ή το βάθος διείσδυσης της διάβρωσης.

Η μονάδα μέτρησης του βάθους διείσδυσης είναι mm/y.

Όταν συμβαίνει τοπική διάβρωση ως Δl χρησιμοποιούμε το μήκος που έχει διεισδύσει η μεγαλύτερη οπή. Μέτρηση του ρυθμού διάβρωσης μπορεί να υπολογισθεί και από τη μέτρηση της πυκνότητας ρεύματος που διαρρέει το ηλεκτροχημικό κελί. Ο ρυθμός διάβρωσης δίνεται από τη σχέση:

$$(r_{cor})_i = K \frac{i \cdot M}{n \cdot d} \quad \text{Σχ. : 1.9}$$

Όπου i η πυκνότητα ρεύματος σε $\mu A/cm^2$

M το μοριακό βάρος του μετάλλου

n ο βαθμός ιονισμού του μετάλλου

d η πυκνότητα σε g/cm^3 και

K ο συντελεστής μετατροπής και εξαρτάται από τις τιμές του πίνακα 1.3.[1,7,9,12]

Πίνακας 1.3 Μετατροπή μονάδων

	mA/cm²	mm/year	mpy	g/m²/day
mA/cm²	1	3.28 M/nd	129 M/nd	8.95 M/n
mm/year	0.306 nd/M	1	39.4	2.74 d
Mpy	0.00777 nd/M	0.0254	1	0.0694 d
g/m²/day	0.112 n/M	0.365/d	14.4/ d	1

Το ρεύμα I που διαρρέει το ηλεκτροχημικό κελί είναι ανάλογο της ποσότητας του μετάλλου που έχει οξειδωθεί. Το ισοδύναμο βάρος για το μέταλλο είναι:

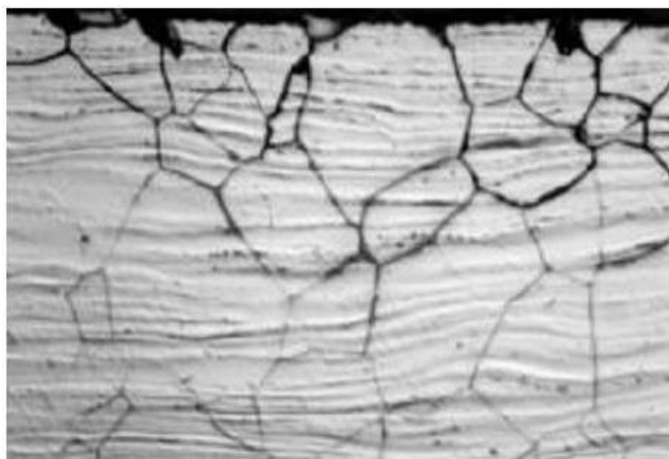
$$EW = \frac{M}{n} \quad \text{Σχ. : 1.10}$$

Όπου M το μοριακό βάρος και
 n ο βαθμός ιονισμού του μετάλλου.

Για την περίπτωση κραμάτων το ισοδύναμο βάρος ορίζεται ως εξής :

$$EW = \frac{1}{\sum \frac{n_i \cdot f_i}{M_i}} \quad \text{Σχ. : 1.11}$$

Η μεταλλουργική διάβρωση που οφείλεται σε παράγοντες που προκαλούν αλλαγή στη μικροδομή και αναπτύσσουν ηλεκτρεγερτική δύναμη ανάμεσα στις περιοχές διάβρωσης και των υπόλοιπων περιοχών του μετάλλου.[1,9] Σε αυτή τη γενική κατηγορία ανήκει η περικρυσταλλική διάβρωση που συμβαίνει κατά μήκος των ορίων των κόκκων ή κατά μήκος των παράπλευρων ζωνών στα όρια των κόκκων λόγω διαφορισμού σύστασης ή κατακρήμνισης φάσεων ή ακόμη και λόγω ακαθαρσιών. Οι θερμικές κατεργασίες ή η στερεοποίηση μπορούν να προκαλέσουν τη διαφορά της σύστασης στα όρια ή κοντά στα όρια των κόκκων. Γενικά τα όρια των κόκκων χαρακτηρίζονται από υψηλότερες ενεργειακές καταστάσεις σε σχέση με τη μήτρα και αυτό μειώνει την αντίσταση τους στη διάβρωση. Στο Σχήμα 1.3 φαίνεται η περικρυσταλλική διάβρωση στα όρια των κόκκων ενός ανοξείδωτου χάλυβα.

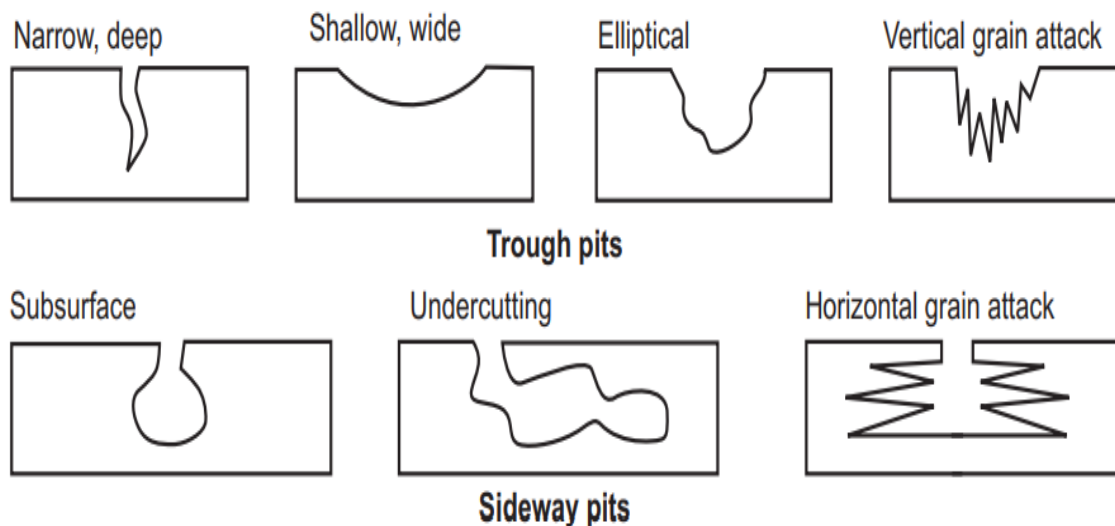


Σχήμα 1.3 Περικρυσταλλική διάβρωση ανοξείδωτου χάλυβα όπως παρατηρείται στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο.[13]

Σε μηχανουργικά κατεργασμένα άκρα, οπές, χαραγές κ.α. παρατηρείται διάβρωση αποφλοΐωσης και συμβαίνει περικρυσταλλικά στην εξωτερική επιφάνεια του μετάλλου στα όρια των κόκκων. Τα προϊόντα της διάβρωσης προκαλούν αποφλοΐωση του μετάλλου καθώς αναπτύσσονται στα όρια των κόκκων και ασκούν πίεση μεταξύ των στρωμάτων των κόκκων. Η αποκραμάτωση ή επιλεκτική διάβρωση οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα διάβρωσης εξαιτίας των διαφορετικών κραματικών συστατικών με αποτέλεσμα την επιλεκτική τοπική ή γενική απομάκρυνση ενός κραματικού στοιχείου σε ένα κράμα. Η γαλβανική διάβρωση όπου τα δύο ηλεκτρόδια που σχηματίζουν γαλβανικό κελί είναι ηλεκτρόδια του ίδιου κράματος που βρίσκονται σε διαφορετικές φάσεις της μικροδομής του και λέγεται διάβρωση πολυφασικού κράματος. [14,15]

Τοπική διάβρωση συμβαίνει όταν μια μικρή επιφάνεια του υλικού προσβάλλεται λόγω της διαφορετικής συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη στην επιφάνεια αυτή και στο υπόλοιπο μέταλλο. Σε αυτή τη μορφή διάβρωσης οι άνοδοι και οι κάθοδοι είναι αυστηρά καθορισμένες σε αντίθεση με τη γενική διάβρωση που τα γαλβανικά κελιά δεν έχουν αυστηρά καθορισμένες ανόδους και καθόδους. Κύριες μορφές τοπικής διάβρωσης είναι η διάβρωση οπών και ρωγμών. Στις δύο αυτές μορφές παρόλο που η απώλεια μάζας υλικού είναι ελάχιστη οι συνέπειες είναι καταστροφικές καθώς και στις δύο περιπτώσεις συμβαίνει διάτρηση του μετάλλου σε πολύ μικρές περιοχές κάνοντας τον εντοπισμό τους πολύ δύσκολο. Ακόμη μπορεί να συνεχίσει η διάβρωση του υλικού υποεπιφανειακά αφήνοντας την υπόλοιπη επιφάνεια ανέπαφη. Η διάβρωση χαραγών θεωρείται πιο επιθετική γιατί εμφανίζεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες αλλά γενικά τα μέταλλα που

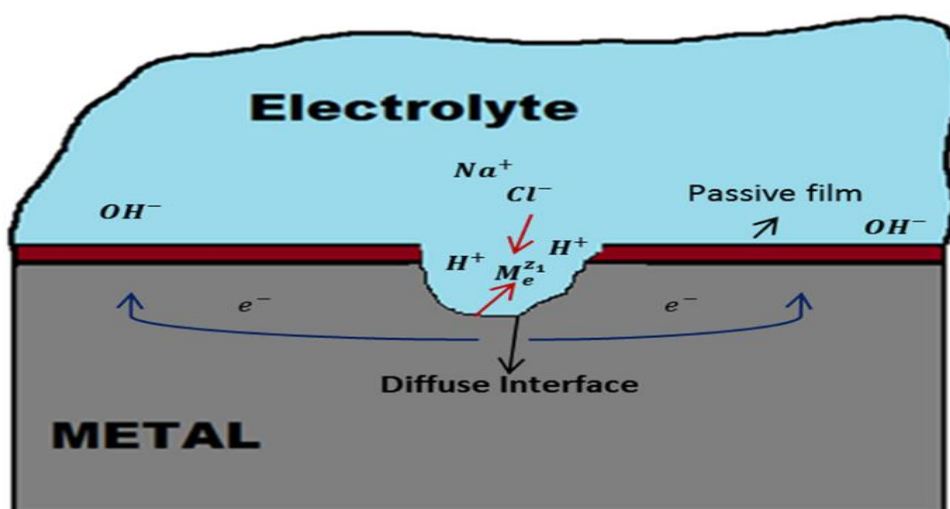
είναι ανθεκτικά στη διάβρωση οπών είναι ανθεκτικά και στη διάβρωση χαραγών. Η διάβρωση οπών μπορεί να συμβεί και κάτω από στρώματα προϊόντων διάβρωσης ή άλλων ουσιών και προκαλεί γενικά μεγαλύτερη βλάβη στη λειτουργία του υλικού καθώς μπορεί να προκληθεί διάτρηση σε πολύ μικρό χρόνο. Ως οπή ορίζεται μια κοιλότητα ή τρύπα στην επιφάνεια του μετάλλου με επιφανειακή διάμετρο ίση ή μικρότερη του βάθους της. Η αξιολόγηση των οπών γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα τους ανά μονάδα επιφάνειας, τη διάμετρο και το βάθος τους. Η διάβρωση οπών συμβαίνει συνήθως λόγω δημιουργίας κελιού διαφορικού αερισμού όπου η περιοχή του μετάλλου με μικρή συγκέντρωση σε οξυγόνο αποτελεί την άνοδο και αυτό που βρίσκεται σε περιβάλλον με μεγαλύτερη συγκέντρωση σε οξυγόνο, τη κάθοδο. Όταν σχηματίζεται στην επιφάνεια του μετάλλου παθητικό στρώμα οξειδίου από τη διάβρωση μια πιθανή ατέλεια στην επιφάνεια του στρώματος μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία οπής και με τη παρουσία ιόντων χλωρίου η πιθανότητα αυτή αυξάνεται. Μια ατέλεια στην επιφάνεια ενός προστατευτικού επιστρώματος θα μπορούσε να είναι η αρχή μια διάβρωσης οπής καθώς και οι ανομοιογένειες στην επιφάνεια του μετάλλου που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία επεξεργασίας του μετάλλου όπως τα σουλφίδια στους ανοξειδωτους χάλυβες. Οι συνηθέστερες μορφές οπών φαίνονται στο Σχήμα 1.4.



Σχήμα 1.4 Διάφορες μορφές διάβρωσης οπών. [16]

Η δημιουργία και η αύξηση του ρυθμού διάβρωσης εντός της οπής οφείλεται στην παρεμπόδιση της ανάπλασης του προστατευτικού επιστρώματος εντός της οπής και στην εισχώρηση εντός της οπής ιόντων που προκαλούν περαιτέρω διάβρωση. Συνήθως η αρχή

συμβαίνει στα σημεία πιθανών ατελειών στο προστατευτικό στρώμα και έτσι δημιουργείτε μικρογαλβανικό κελί. Αν όμως στα αρχικά στάδια δημιουργίας οπής δεν υπάρχουν αρκετά ιόντα για να προκαλέσουν περαιτέρω διάβρωση τότε η τυχαία παρουσία ρευμάτων εντός του ηλεκτρολύτη μπορεί να τα απομακρύνει και να γίνει επαναπαθητικοποίηση. Το φαινόμενο αυτό δημιουργεί ασταθείς ή μετασταθείς οπές. Στο Σχήμα 1.5 δίνεται η σχηματική αναπαράσταση δημιουργίας οπής ενός μετάλλου σε διάλυμα NaCl.



Σχήμα 1.5 Μηχανισμός σχηματισμού οπής. [13]

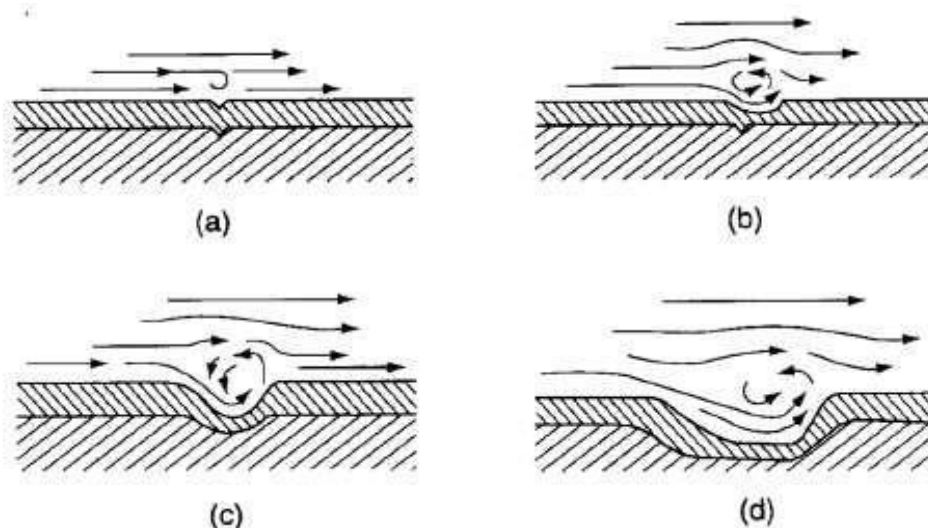
Η αύξηση της θερμοκρασίας συνήθως αυξάνει και η διάβρωση σε ένα μέταλλο ή ένα κράμα. Το δυναμικό διάβρωσης οπών είναι υψηλό σε χαμηλές θερμοκρασίες και όσο αυξάνεται η θερμοκρασία το δυναμικό μειώνεται. Υπάρχει μια κρίσιμη θερμοκρασία σχηματισμού οπών ή CPT κάτω από την οποία είναι αδύνατος ο σχηματισμός οπών. Έτσι για κάθε μέταλλο που βρίσκεται βυθισμένο σε συγκεκριμένο διάλυμα για οποιοδήποτε χρόνο και δυναμικό έκθεσης δεν μπορεί το μέταλλο να εμφανίσει διάβρωση οπών αν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη της CPT και αυτό το φαινόμενο συμβαίνει εξαιτίας της ανταγωνιστικής δράσης του φιλμ άλατος και οξειδίου εντός της οπής. Πάντα κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία σχηματισμού οπής θα προτιμάτε η επαναπαθητικοποίηση του στρώματος οξειδίου και θα εμποδίζεται η ανάπτυξη σταθερών οπών. Η δημιουργία τελικά σταθερών οπών εξαρτάται από την θερμοκρασία αλλά και από τη γεωμετρία της οπής και το περιβάλλον της οπής.

Η διάβρωση με χαραγές ή ρωγμές η οποία συμβαίνει συνήθως σε περιοχές του μετάλλου που υπάρχει στάσιμο διάλυμα ηλεκτρολύτη ή στην διεπαφή μετάλλου και μη μεταλλικού υλικού. Η παρουσία αλογονιδίων επιταχύνει πολύ αυτό το είδος διάβρωσης. Η διάβρωση γραμμής νερού που συμβαίνει στο τμήμα του μετάλλου που βρίσκεται κάτω από τη γραμμή νερού. Η τοπική βιολογική ή βακτηριακή διάβρωση που συμβαίνει λόγω της καταλυτικής δράσης βακτηριδίων σε καθοδικές αντιδράσεις ή λόγω εξάντλησης του οξυγόνου σε μια επιφάνεια μετάλλου λόγω αποικίας μικροβίων. Η ινώδης διάβρωση όπου το μεταλλικό υπόστρωμα διαβρώνεται κάτω από λεπτές επικαλύψεις με τη μορφή ινών με τυχαία κατανομή και η διάβρωση συμπίκνωσης ή σημείου δρόμου όπου η μεταλλική επιφάνεια διαβρώνεται όταν η θερμοκρασία της γίνει χαμηλότερη από το σημείο δρόσου της ατμόσφαιρας στην οποία εκτίθεται.

Η διάβρωση με συνεργία τάσεων στην οποία οι μηχανικές ιδιότητες του μεταλλικού υλικού αστοχούν λόγω του διαβρωτικού περιβάλλοντος και των τάσεων. Μεταξύ των περιοχών του μετάλλου όπου οι κόκκοι βρίσκονται υπό τάση και των περιοχών που δεν ασκούνται ή ασκούνται λιγότερες τάσεις αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη που οδηγεί στη διάβρωση. Στην κατηγορία αυτή ανήκει η εργοδιάβρωση όπου η αστοχία των μηχανικών ιδιοτήτων του μετάλλου συμβαίνει λόγω επίδρασης στατικών εφελκυστικών τάσεων και ταυτόχρονα το μέταλλο βρίσκεται σε συγκεκριμένο διαβρωτικό μέσο και εκδηλώνεται συνήθως με ρωγμές διακλαδισμένες. Η επιφάνεια του μετάλλου παραμένει ανέπαφη και εμφάνιση των ρωγμών εμφανίζεται κυρίως γύρω από τους κόκκους. Στα όρια των κόκκων εξαιτίας της κρυσταλλικής αταξίας, της μη πληρότητας δεσμών και της συσσώρευσης διαταραχών έχουν μεγαλύτερη ενέργεια παραμόρφωσης και έτσι γίνονται πιο ανοδικά σε σχέση με τον υπόλοιπο κόκκο. Συνήθως απαιτείται κάποιο ελάχιστο εξωτερικό φορτίο για να ξεκινήσει η εργοδιάβρωση και εμφανίζεται ξαφνικά. Η διάβρωση με κόπωση στην οποία η μηχανική αστοχία του υλικού είναι αποτέλεσμα της επίδρασης μεταβαλλόμενων ή επαναλαμβανόμενων τάσεων και ταυτόχρονα τη παραμονή του μετάλλου σε διαβρωτικό μέσο, η οποία εκδηλώνεται με μη διακλαδισμένες φαρδιές ρωγμές. Και η διάβρωση υδρογόνου στην οποία η μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων ή η κατάρρευση του μετάλλου οφείλεται είτε αποκλειστικά στη δράση του υδρογόνου ή συνδυαστικά στη δράση του υδρογόνου και των τάσεων. Το υδρογόνο βρίσκεται σε αέρια μορφή ή είναι προϊόν διάβρωσης. Όταν η διάβρωση συμβαίνει αποκλειστικά λόγω της δράσης του υδρογόνου τότε στο υλικό μπορεί να σχηματιστούν φυσαλίδες υδρογόνου ή μεταλλικά υδρίδια ή απανθράκωση με σχηματισμό μεθανίου, ενώ όταν η διάβρωση

οφείλεται στη παρουσία υδρογόνου και παραμένουσων ή εξωτερικών τάσεων τότε συμβαίνει ψαθυροποίηση του μετάλλου για την περίπτωση που η τάση είναι ανώτερη (hydrogen embrittlement) του ορίου διαρροής του μετάλλου ή κατώτερη του ορίου διαρροής (hydrogen stress cracking) ή εργοδιάβρωση παρουσία σουλφιδίων ή σχηματισμό υδριδίων ή απανθράκωση.

Μηχανική διάβρωση που οφείλεται στην συνεργία του διαβρωτικού περιβάλλοντος με μηχανικούς παράγοντες. Στην μηχανική διάβρωση λόγω ροής το μεταλλικό υλικό διαβρώνεται λόγω της κίνησης ενός ρευστού στην επιφάνεια του. Η ροή μπορεί να αφορά στερεά σωματίδια ή υγρό που μπορεί να περιέχει στερεά αιωρήματα που επιταχύνουν την διάβρωση. Το πόσο θα διαβρωθεί το μέταλλο εξαρτάται από το βαθμό της τυρβώδους ή στρωματώδους ροής. Όταν η διάβρωση του μετάλλου εμφανίζεται με τη μορφή πολυάριθμων μικροσκοπικών κενών λόγω έκθεσης σε υγρό που υπόκειται σε γρήγορες και έντονες αλλαγές πίεσης τότε έχουμε σπηλαιώδη διάβρωση και εμφανίζεται σε προπέλες πλοίων, αντλίες κ.α. και η διάβρωση με απόξεση που εκδηλώνεται στα ανοίγματα επιφανειών σε επαφή λόγω επαναλαμβανόμενης σχετικής ολίσθησης μικρού εύρους όπως δόνηση. Η υφή της επιφάνειας που έχει υποστεί διάβρωση ροής εμφανίζει κύματα, οπές και κοιλάδες κατά την κατεύθυνση της ροής.[1,5,7,8,9,12,17] Στο Σχήμα 1.6 φαίνεται ο μηχανισμός διάβρωσης λόγω ροής.



Σχήμα 1.6 Μηχανική διάβρωση λόγω ροής. [7]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ[1,18,19,20]

Η διάβρωση είναι ένα φαινόμενο με πολύ σοβαρές επιπτώσεις τόσο οικονομικές, περιβαλλοντικές αλλά και που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές για αυτό και η μελέτη του φαινομένου αλλά και οι τρόποι μείωσης ή εξάλειψης του φαινομένου όπου είναι δυνατόν κρίνεται αναγκαία. Οι μέθοδοι προστασίας από τη διάβρωση γενικά περιλαμβάνει ένα σύνολο παραγόντων που είναι χρήσιμο να καθοριστούν για να μπορέσει αρχικά να γίνει η επιλογή του κατάλληλου για την εφαρμογή υλικού. Θα πρέπει να επιλεγθεί ένας τρόπος προστασίας. Το μέταλλο θα πρέπει να πληροί κάποιες προϋποθέσεις ως προς τις ιδιότητες του απέναντι στη διάβρωση αλλά και το περιβάλλον που θα τοποθετηθεί. Υπολογίζεται επίσης το είδος της διάβρωσης που αναμένεται να εμφανίσει η εγκατάσταση στην οποία βρίσκεται το υλικό. Τέλος πρέπει να βρούμε, να ελέγξουμε, να περιορίσουμε ή να εξαλείψουμε τις συνθήκες που επιταχύνουν τη διάβρωση.

Κάποια γενικά χαρακτηριστικά που έχουν τα μέταλλα ή τα κράματα μπορούν να επιταχύνουν τη ταχύτητα της διάβρωσης, αυτά είναι οι μικροσκοπικές και μακροσκοπικές ανωμαλίες, οι αταξίες δομής, οι εσωτερικές μηχανικές τάσεις και οι πλαστικές παραμορφώσεις που προκαλούν σημεία έναρξης του φαινομένου. Η ανομοιογένεια στην επιφάνεια, η επαφή δύο διαφορετικών μετάλλων ή κραμάτων, οι τριεπιφάνειες, οι ελαστικές παραμορφώσεις, οι υψηλές θερμοκρασίες, τα ρεύματα διαφυγής και η διόγκωση κατά τη διάβρωση. Για το διαβρωτικό περιβάλλον πρέπει να αποφεύγεται η υψηλή αγωγιμότητα και το χαμηλό pH, η μεγάλη ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου και η εναλλαγή του διαβρωτικού περιβάλλοντος ή των ιδιοτήτων του.

Συνήθως όταν επεμβαίνουμε στο διαβρωτικό περιβάλλον μπορεί να αποφύγουμε τη διάβρωση όμως στις περιπτώσεις που κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό τότε επιλέγονται άλλες μέθοδοι προστασίας που τεχνικά και οικονομικά κρίνονται κατάλληλες για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Οι μέθοδοι προστασίας επιδράσουν στο δυναμικό διάβρωσης (E_d) και χωρίζονται σε έμμεσες μεθόδους όπως είναι οι επιμεταλλώσεις, η ανοδική προστασία, η εναζώτωση, φωσφορυλίωση, εναθράκωση, επικαλύψεις με προστατευτικά στρώματα. Και στις άμεσες μεθόδους που είναι η καθοδική προστασία με θυσιαζόμενες ανόδους ή με επιβαλλόμενο ρεύμα. Ένας ακόμη τρόπος ελέγχου της διάβρωσης είναι η μείωση του ρεύματος διάβρωσης (i_d) ή η αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης με

επιστρώματα αντιδιαβρωτικών χρωμάτων, με χρήση επιβραδυντών ή αναστολέων και με επιστρώματα που δρουν ως φράγμα ανάμεσα στο μέταλλο ή κράμα και το διαβρωτικό περιβάλλον. Έτσι με βάση τα πιο πάνω μπορούμε να πούμε ότι έχουμε δύο είδη προστασίας ένα που αφορά στη πρόληψη της διάβρωσης του υλικού επηρεάζοντας τους παράγοντες που την επιταχύνουν και είναι άμεση προστασία και την έμμεση προστασία που παρεμβάλλουμε ανάμεσα στο μέταλλο ή κράμα και το διαβρωτικό περιβάλλον ένα προστατευτικό στρώμα. Η προστασία αυτή μπορεί να είναι προσωρινή ή μόνιμη.

Πιο κάτω θα μελετήσουμε αναλυτικότερα τις μεθόδους προστασίας των μετάλλων ή των κραμάτων.

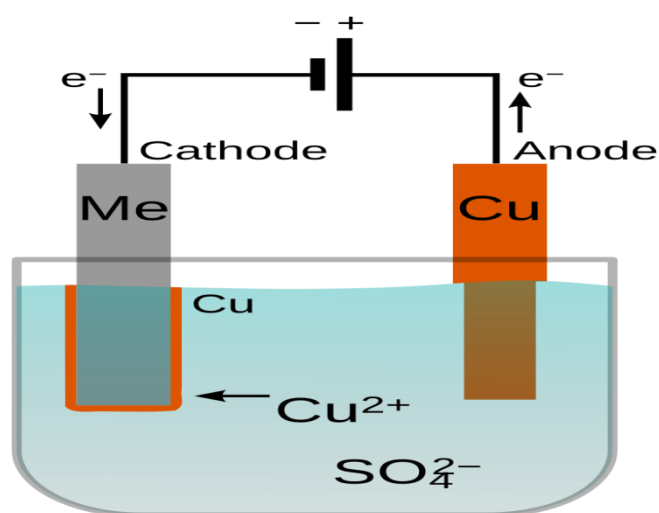
2.2 ΑΠΟΦΥΓΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΓΑΛΒΑΝΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ [1,3,14]

- Όταν δύο διαφορετικά μέταλλα πρέπει να έρθουν σε επαφή πρέπει να αποφύγουμε τα μέταλλα που έχουν διαφορά δυναμικού μεταξύ τους μεγαλύτερη των 50mV. Η κάθοδος να έχει μικρότερη επιφάνεια από την άνοδο. Έτσι αφού το ρεύμα που διαρρέει το γαλβανικό κελί είναι αντιστρόφως ανάλογο της επιφάνειας, το ρεύμα που διαρρέει τη άνοδο θα είναι μικρότερο από αυτό που διαρρέει τη κάθοδο. Πρέπει να υπάρχει απόσταση ανάμεσα στο μέταλλο που χρησιμοποιείται ως άνοδος και αυτό που χρησιμοποιείται ως κάθοδος επειδή το δυναμικό του γαλβανικού στοιχείου μειώνεται με την αύξηση της απόστασης. Για την περίπτωση των τοπικών γαλβανικών κελιών μικροσύστασης επεμβαίνουμε στην μεταλλουργική κατεργασία που τα προξενεί για να αποφύγουμε τη δημιουργία ηλεκτροδίου διάβρωσης. Έλεγχος της ταχύτητας ψύξης για να αποφύγουμε τον σχηματισμό καρβιδίων στα όρια των κόκκων. Η ταχεία ψύξη αποτρέπει τη διάχυση του χρωμίου στα όρια των κόκκων και αν αυτό δεν επιτευχθεί τότε πρέπει να γίνει αναθέρμανση του χάλυβα για να διαλυθούν τα καρβίδια που έχουν σχηματιστεί και η ταχεία ψύξη και τέλος η προσθήκη Ti και Nb στο χάλυβα που οδηγεί σε επιλεκτικό σχηματισμό των καρβιδίων τους αντί αυτών του χρωμίου.
- Μια ακόμη μέθοδος προστασίας είναι η αποφυγή της άμεσης επαφής ανάμεσα σε δύο διαφορετικά μέταλλα με τη χρήση μονωτικών υλικών όπως φλάντζες, παξιμάδια κ.α.
- Με την εφαρμογή επικαλύψεων που στόχο έχουν την αποφυγή επαφής του ηλεκτρολύτη με το μεταλλικό υλικό. Οι επικαλύψεις για να λειτουργήσουν προστατεύοντας το υλικό πρέπει η επιφάνεια της επικάλυψης να έχει καλή πρόσφυση στην επιφάνεια του υλικού, να είναι αδρανές στη διαβρωτική ατμόσφαιρα και να έχουν καλές μηχανικές ιδιότητες για να μην δημιουργηθεί αστοχία λόγω τάσεων που

θα αφήσει εκτεθειμένη την επιφάνεια του υποστρώματος στο διαβρωτικό περιβάλλον. Οι επικαλύψεις μπορεί να είναι οργανικές, κεραμικές ή μεταλλικές. Για την επικάλυψη πρέπει να γίνει η κατάλληλη προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας για να καθαριστεί η επιφάνεια από τυχόν ακαθαρσίες και να επιτευχθεί καλύτερη πρόσφυση. Οι τεχνικές προετοιμασίας της επιφάνειας περιλαμβάνει μια ή περισσότερες από τις εξής τεχνικές σφούγγισμα με οργανικό διαλύτη, απολίπανση με ατμό, καθαρισμός με γαλάκτωμα, καθαρισμός με βασικά διαλύματα, αποξείδωση με ανόργανα ή οργανικά οξέα και μηχανικός καθαρισμός με αμμοβολή. Στις οργανικές επικαλύψεις ανήκουν οι μπογιές και οι πλαστικές επικαλύψεις. Οι μπογιές αποτελούνται από μια χρωστική ουσία που ελέγχει τη ταχύτητα της διάβρωσης, ένα συνδετικό μέσο που είναι διαλυμένο σε υγρή φάση για να δώσει την επιθυμητή ρευστότητα στην μπογιά και να για τη σύνδεση με τα σωματίδια της χρωστικής και τις προσθετικές ή ενισχυτικές ουσίες που επιταχύνουν την ξήρανση ή ενισχύουν την αντίσταση του υποστρώματος στη διάβρωση. Οι υγρές φάσεις μπορεί να είναι αλκύδια, εποξειδικές ρητίνες, λαδομπογιές, νερομπογιές, βερνίκια, βινύλια κ.α. Οι πλαστικές επικαλύψεις αποτελούνται είτε από θερμοπλαστικά πολυμερή, είτε από θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή, είτε από ελαστομερή και χρησιμοποιούνται συνήθως ως προστατευτικά επιστρώματα για μεταλλικές επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με χημικά. Οι κεραμικές επικαλύψεις που περιλαμβάνουν τα σμάλτα πορσελάνης ή υαλώδη σμάλτα και πρέπει οι συντελεστές θερμικής διαστολής των κεραμικών επικαλύψεων να είναι παραπλήσιες των συντελεστών θερμικής διαστολής των υποστρωμάτων. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των σμάλτων είναι οι ρωγματώσεις που μπορεί να εμφανίσουν εξαιτίας μηχανικού ή θερμικού σοκ. Οι μεταλλικές επικαλύψεις που διακρίνονται σε ανοδικές ή καθοδικές σε σχέση με το μεταλλικό υπόστρωμα. Στις ανοδικές επικαλύψεις το μέταλλο της επικάλυψης λειτουργεί ως θυσιαζόμενη άνοδος άρα θα πρέπει να διαβρώνεται βραδύτερα από το υπόστρωμα. Αυτή η μέθοδος υπερτερεί γιατί στην περίπτωση μιας μικρής αστοχίας στην επικάλυψη θα σχηματιστεί κελί διάβρωσης μεταξύ των δύο μετάλλων που αποτελείται από μια πολύ μικρή κάθοδο και μια μεγάλη άνοδο όποτε θα γίνει βραδεία διάβρωση της ανόδου δηλ. της επικάλυψης. Και η καθοδική επικάλυψη η οποία προστατεύει το μεταλλικό υπόστρωμα λόγω της μικρής αντιδραστικότητας της με το διαβρωτικό περιβάλλον. Σε αυτές τις επικαλύψεις πρέπει η ποιότητα πρόσφυσης να είναι υψηλή για να αποφευχθεί η δημιουργία κελιών διάβρωσης όπου το προστατευόμενο μέταλλο θα

αποτελέσει την άνοδο. Οι τεχνικές εφαρμογής μεταλλικών επικαλύψεων αφορά των τρόπο εφαρμογής της επικάλυψης αφού πρώτα έχει γίνει προσεκτικός καθαρισμός της επιφάνειας του υποστρώματος. Η επικάλυψη γίνεται από αέριο ή ατμό με φυσική ή χημική εναπόθεση ατμών. Η φυσική εναπόθεση ατμών είναι μια διαδικασία εναπόθεσης του επικαλυμμένου υλικού στην επιφάνεια του μετάλλου με φυσική μέθοδο υπό συνθήκες κενού και συνήθως χρησιμοποιείται εξάτμιση υπό κενό, ψεκασμός ή επιμετάλλωση ιόντων. Με φυσική εναπόθεση ατμών μπορούμε να αποθέσουμε μεταλλικές μεμβράνες, φιλμ κράματος, ενώσεις, κεραμικά, ημιαγώγιμα ή πολυμερές. Η χημική εναπόθεση ατμών είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί αέριες ουσίες για την παραγωγή λεπτών ταινιών με χημική αντίδραση στην επιφάνεια του υποστρώματος. Οι πιο βασικές αντιδράσεις χημικής εναπόθεσης ατμών είναι η θερμική αντίδραση αποσύνθεσης, η χημική αντίδραση σύνθεσης και η χημική αντίδραση μεταφοράς. Με εμβάπτιση σε λουτρό τήγματος όπως γαλβάνισμα ή γάνωμα. Το γαλβάνισμα προκαλεί το σχηματισμό μιας επικάλυψης που αποτελείται από ψευδάργυρο και εφαρμόζεται από τη βύθιση του χάλυβα σε λουτρό λιωμένου ψευδαργύρου. Για την καλύτερη ποιότητα γαλβανισμού πρέπει να υπολογίσουμε το μέγεθος και το σχήμα του δοκιμίου, τη κατάσταση και τη καθαριότητα της επιφάνειας. Η δράση του επιστρώματος της επιψευδαργύρωσης χωρίζεται σε τρεις περιόδους. Αρχικά το στρώμα που σχηματίζεται προσφέρει μεγάλη προστασία, έχει πολύ ισχυρή πρόσφυση με την επιφάνεια και αποτελείται από βασικά άλατα με μικρή διαλυτότητα. Μόλις δημιουργηθεί ένα συμπαγές στρώμα από τα προϊόντα διάβρωσης που κλείνει όλους τους πόρους της επικάλυψης το στρώμα αναλαμβάνει προστατευτικό ρόλο. Στη συνέχεια γίνονται αντιδράσεις ανάμεσα στον ηλεκτρολύτη και το στρώμα από το προϊόν διάβρωσης. Και τέλος αφού καταναλωθεί το προϊόν διάβρωσης ο Zn δρα ως θυσιαζόμενη άνοδος. Στο γάνωμα δημιουργείται προστατευτικό στρώμα σε χάλυβες ή χάλκινες επιφάνειες με τη χρήση κασσίτερου ο οποίος είναι αδρανείς στο νερό και το οξυγόνο. Ο κασσίτερος χάνει τα ηλεκτρόνια του πιο εύκολα από το χάλυβα. Με συγκόλληση όπως για παράδειγμα με συνέλαση, συνδιέλαση ή εκρηκτική συγκόλληση. Με τη μέθοδο της συνέλασης ένα λεπτό στρώμα καθαρού αλουμινίου ή κράματος αλουμινίου εναποτίθεται σε ένα κράμα αλουμινίου υψηλής αντοχής για να το προστατεύσει από την εργοδιάβρωση και την περικρυσταλλική διάβρωση. Η πρόσφυση και στις δύο πλευρές του υλικού γίνεται με την πίεση ανάμεσα σε έλαστρα. Το υπόστρωμα δίνει την μηχανική αντοχή και η επικάλυψη την καθοδική προστασία.

Η συνδιέλαση είναι η τεχνική που η πρόσφυση της επικάλυψης γίνεται μέσω εμβόλων. Στην εκρηκτική συγκόλληση επιτυγχάνεται μηχανική πρόσφυση μεταξύ υποστρώματος και επικάλυψης εξαιτίας της μεγάλης πίεσης που ασκείται στη διεπιφάνεια από την έκρηξη εκρηκτικών που έχουν τοποθετηθεί πάνω στο επίστρωμα. Με ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση όπως με χρώμιο, νικέλιο, κάδμιο κ.α. Στη μέθοδο αυτή πολύ λεπτά στρώματα ενός επιλεγμένου μετάλλου συνδέονται με χημικό δεσμό στην επιφάνεια ενός άλλου μετάλλου με τη δημιουργία ενός ηλεκτρολυτικού κελιού. Η άνοδος είναι το μέταλλο που πρόκειται να επιστρωθεί και το προς επιμετάλλωση αντικείμενο στη κάθοδο. Τόσο η άνοδος όσο και η κάθοδος βυθίζονται σε ένα διάλυμα που περιέχει διαλυμένο μεταλλικό άλας και ιόντα που επιτρέπουν τη ροή ηλεκτρισμού μέσω του κυκλώματος. Το ρεύμα αυτό είναι τέτοιο ώστε ο ρυθμός με τον οποίο διαλύεται η άνοδος να είναι ίσος με το ρυθμό επιμετάλλωσης της καθόδου. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για να γίνει η ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπως συμβαίνει με τα κοσμήματα η επιμετάλλωση με χρυσό ή άργυρο αποσκοπεί στην καλύτερη εμφάνιση των κοσμημάτων ή στη βελτίωση της αξίας των αντικειμένων. Σε άλλες περιπτώσεις όπως με το χρώμιο η επιμετάλλωση γίνεται για να προσφέρει στο υλικό καλύτερη αντοχή στη φθορά. Η επιμετάλλωση με ψευδάργυρο ή κασσίτερο βελτιώνουν την αντίσταση στη διάβρωση και τέλος σε κάποιες περιπτώσεις εφαρμόζεται για να αυξήσει το πάχος ενός αντικειμένου. Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται η αναπαράσταση της ηλεκτρολυτικής επιμετάλλωσης χαλκού σε μέταλλο. [22,23]



Σχήμα 2.1 Επιμετάλλωση ενός μετάλλου (Me) με χαλκό σε λουτρό θεικού χαλκού. [24]

Με χημική επιμετάλλωση μέσω χημικής αναγωγής π.χ. απόθεση νικελίου. Στη μέθοδο αυτή με προσθήκη αναγωγικού μέσου γίνεται αναγωγή των ιόντων του μετάλλου σε καταλυτικές επιφάνειες μέσα σε υδατικό διάλυμα. Τα ηλεκτρόνια δίνονται από χημικό αναγωγικό μέσο για αυτό και λέγεται electroless. Στην επινικέλωση με αναγωγή από υποφωσφοριώδες νάτριο η επικάλυψη δίνει κράμα νικελίου με 2-12% φώσφορο.

Με ψεκασμό με τηγμένο μέταλλο όπως ο θερμικός ψεκασμός σύρματος, ο θερμικός ψεκασμός μεταλλικής σκόνης και ψεκασμός πλάσματος. Στο θερμικό ψεκασμό μεταλλικό σύρμα ή σκόνη μετατρέπεται σε τηγμένα ή ημιτηγμένα σωματίδια που ψεκάζονται στην επιφάνεια του μετάλλου. Όταν το μέσο τήξης είναι φλόγα οξυγόνου και ακετυλενίου ή προπανίου τότε η μέθοδος ονομάζεται ψεκασμός φλόγας και όταν η τήξη γίνεται με πλάσμα τόξου λέγεται ψεκασμός πλάσματος.

2.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗ [18]

Μπορεί να γίνει με προσθήκη αναστολέων ή με προσθήκη χημικών ουσιών. Ο έλεγχος του ηλεκτρολύτη αφορά τον έλεγχο στο διαβρωτικό περιβάλλον με προσθήκη αναστολέων άμεσης παθητικοποίησης όπου προστίθενται στον ηλεκτρολύτη άλατα που οξειδώνουν την επιφάνεια του μετάλλου στην άνοδο και σχηματίζουν πολύ λεπτά προστατευτικά επιστρώματα ένυδρων οξειδίων. Οι αναστολείς παθητικοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο ανιόντα που έχουν ισχυρή ικανότητα παθητικοποίησης αλλά και να ανάγονται αμέσως. Οι αναστολείς έμμεσης παθητικοποίησης όπου τα άλατα που προστίθενται στον ηλεκτρολύτη αντιδρούν με τα ιόντα του υδρογόνου και τα απομακρύνουν από τις καθοδικές θέσεις του μετάλλου. Έτσι εμποδίζεται η καθοδική αντίδραση και περισσότερο διαλυμένο οξυγόνο γίνεται διαθέσιμο για να αντιδράσει με το μέταλλο σχηματίζοντας παθητικό επίστρωμα. Οι αναστολείς αντίδρασης που αντιδρούν με την μεταλλική επιφάνεια ή το περιβάλλον και σχηματίζουν αδιάλυτα επιστρώματα. Οι αναστολείς προσρόφησης είναι οργανικές ενώσεις που αποτελούνται από μακριές αλυσίδες υδρογονανθράκων με ένα πολικό άκρο με το οποίο προσροφώνται στα μέταλλα. Είναι αρκετά ακριβοί και χρησιμοποιούνται κυρίως για την προστασία μετάλλων από ισχυρά οξέα. Και οι αναστολείς σε φάση ατμού είναι οργανικοί αναστολείς προσρόφησης οι οποίοι προστατεύουν μεταλλικές επιφάνειες από ατμοσφαιρική διάβρωση. Τέλος η προσθήκη χημικών ουσιών οι οποίες δεσμεύουν το οξυγόνο. Οι αναστολείς αυτοί είναι αποτελεσματικοί μόνο όταν η καθοδική αντίδραση ελέγχεται από την αναγωγή του οξυγόνου.

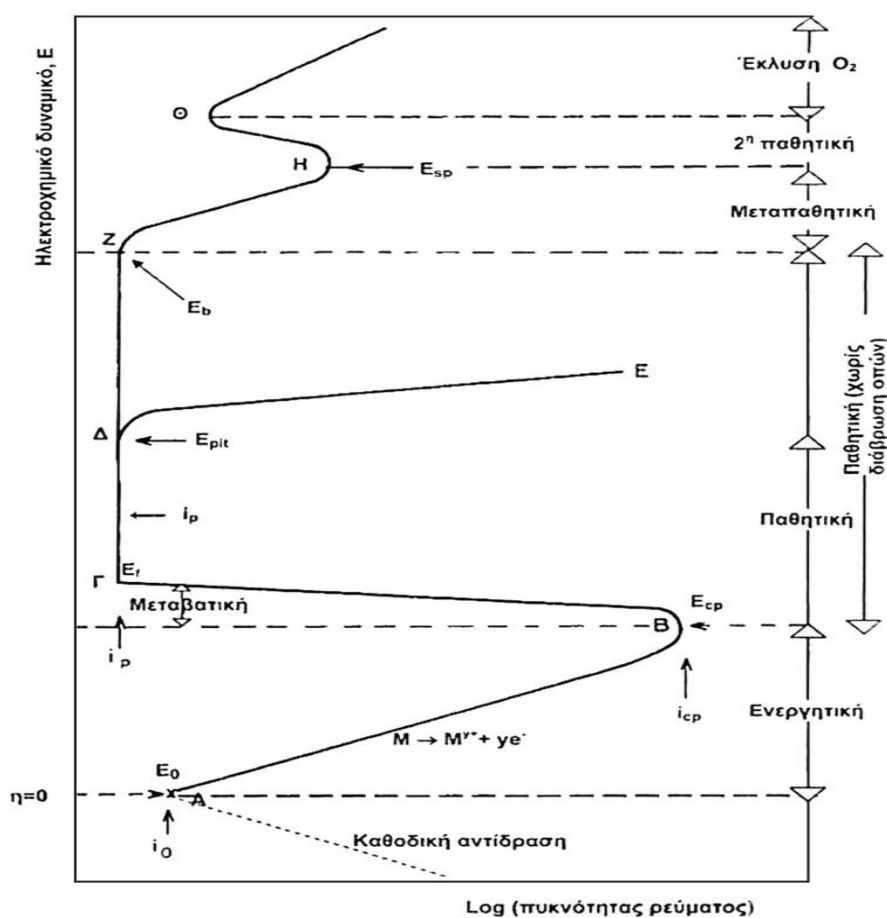
2.4 ΚΑΘΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ [18,25]

Υπάρχουν δύο μέθοδοι καθοδικής προστασίας: Η καθοδική προστασία με θυσιαζόμενη άνοδο και η καθοδική προστασία με εξαναγκασμένο ή επιβαλλόμενο ρεύμα. Κατά τη καθοδική προστασία με θυσιαζόμενη άνοδο στην μεταλλική επιφάνεια που θέλουμε να προστατεύσουμε συνδέουμε ένα ανοδικότερο μέταλλο. Η σύνδεση των δύο ανόμοιων μετάλλων στο ίδιο περιβάλλον δημιουργεί γαλβανικό κελί και το ανοδικότερο μέταλλο διαβρώνεται ταχύτερα παρέχοντας ρεύμα για την προστασία του λιγότερο ανοδικού μετάλλου (το μέταλλο που θέλουμε να προστατεύσουμε). Η καθοδική προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα συμβαίνει όταν ο αρνητικός πόλος μιας εξωτερικής πηγής συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος συνδέεται με το μέταλλο που θέλουμε να προστατευθεί και ο θετικός πόλος της πηγής με μια βοηθητική άνοδο. Το ρεύμα ηλεκτρονίων οδεύει από τον αρνητικό πόλο της προς το προστατευόμενο μέταλλο, έτσι αυτό λειτουργεί ως κάθοδος αντλώντας ηλεκτρόνια από τη πηγή. Η ανοδική αντίδραση είναι η οξείδωση της βοηθητικής ανόδου. Το υλικό της ανόδου αντικαθίσταται ανά διαστήματα όταν φθείρεται. Αντίθετα με την καθοδική προστασία με θυσιαζόμενη άνοδο, στην καθοδική προστασία με επιβαλλόμενο ρεύμα οι άνοδοι δεν χρειάζεται να είναι φυσικά ανοδικότερες του προστατευόμενου μετάλλου και δεν είναι συνήθως. Ως βοηθητικοί άνοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αδρανή και διαλυτά υλικά. Η καθοδική προστασία με εξαναγκασμένο ρεύμα εφαρμόζεται σε υπόγειους σωλήνες νερού, πετρελαίου και φυσικού αερίου, για την εξωτερική προστασία υπόγειων δεξαμενών πετρελαίου ή βενζίνης, στα υπόγεια καλώδια τηλεπικοινωνιών, σε χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος, για την εσωτερική προστασία δεξαμενών νερού ή χημικών και σε μεγάλα πλοία. Η καθοδική προστασία και στις δύο περιπτώσεις θεωρείται αποτελεσματική όταν η ηλεκτρεγερτική δύναμη της προστατευόμενης μεταλλικής επιφάνειας στον ηλεκτρολύτη ως προς το ηλεκτρόδιο αναφοράς λαμβάνει καθορισμένες τιμές που ονομάζονται δυναμικά καθοδικής προστασίας. Η εφαρμογή της καθοδικής προστασίας συνήθως συνδυάζεται με μονωτική επικάλυψη. Και οι δύο προστατεύουν από τη γενική και από τη τοπική διάβρωση. Από πλευράς γεωμετρίας υπάρχει μεγάλη ποικιλία στη μορφή των ανόδων, μπορούν να είναι υδροδυναμικής μορφής, ορθογώνιες άνοδοι με επίπεδες επιφάνειες και άνοδοι με εγκάρσια διατομή όπου το σώμα της ανόδου δεν εφάπτεται επί της κατασκευής. Τα υλικά που επιλέγονται για να αποτελέσουν την άνοδο έχουν εξαιρετική σημασία γιατί από αυτά παίρνει η άνοδος τις ηλεκτροχημικές της ιδιότητες. Η επιλογή του κράματος από το οποίο κατασκευάζεται η θυσιαζόμενη άνοδος πρέπει να πληροί τις εξής προϋποθέσεις: να είναι

πιο ανοδικό από το προστατευόμενο μέταλλο για το συγκεκριμένο διαβρωτικό περιβάλλον, να έχει καλή ηλεκτροχημική απόδοση, να μην παθητικοποιείται και να έχει μεγάλο χρόνο ζωής. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούνται πολλά διαφορετικά υλικά και κράματα τους. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μέταλλα για το σκοπό αυτό είναι ο ψευδάργυρος, το μαγνήσιο, το αλουμίνιο και τα κράματα τους. Ο ψευδάργυρος χρησιμοποιείται πολύ συχνά και για διάφορα είδη διαβρωτικού περιβάλλοντος. Το μαγνήσιο χρησιμοποιείται ευρέως σε ηλεκτρολύτες υψηλής αντίστασης όπως στο έδαφος επειδή έχει αρνητικότερο δυναμικό. Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται κυρίως για προστασία από θαλασσινό νερό. Οι άνοδοι που χρησιμοποιούνται γενικά είναι ηλεκτρόδια που μπορούν εύκολα να αντικατασταθούν και δεν έχουν λειτουργική σημασία για τη κατασκευή. Ο γαλβανισμός του χάλυβα είναι συνδυασμός καθοδικής προστασίας και προστασίας με μεταλλική επικάλυψη και το φαινόμενο έχει εξηγηθεί πιο πάνω.

2.5 ΑΝΟΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ [3,18,26]

Η ικανότητα παθητικοποίησης ορισμένων μετάλλων καθορίζει την επιτυχία της ανοδικής προστασίας, αφού σχηματίζουν πολύ ισχυρά προστατευτικά επιστρώματα σε συγκεκριμένο διαβρωτικό περιβάλλον. Κατά την ανοδική προστασία το δυναμικό του μετάλλου παραμένει στις τιμές που συμβαίνει παθητικοποίηση. Το κύκλωμα του ποτενσιοστάτη αποτελείται από τρία ηλεκτρόδια. Το πρώτο είναι το ηλεκτρόδιο εργασίας που είναι δείγμα του προς εξέταση μετάλλου. Το δεύτερο είναι το ηλεκτρόδιο αναφοράς που πρέπει κατά τη διάρκεια της μέτρησης να διατηρεί ένα σταθερό δυναμικό με το οποίο συγκρίνεται το δυναμικό του μετάλλου μέσα στον ηλεκτρολύτη. Και το τρίτο ηλεκτρόδιο ονομάζεται αντίθετο ηλεκτρόδιο και λειτουργεί ως αγωγός ηλεκτρονίων δηλαδή παρέχει το ρεύμα που χρειάζεται και κλείνει το σύστημα. Το ηλεκτρόδιο αυτό δεν συμμετέχει στην αντίδραση για αυτό και πρέπει να έχει πολύ μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση. Όταν ο ποτενσιοστάτης αποσυνδεθεί από το μέταλλο τότε μετρίεται το δυναμικό ελεύθερης διάβρωσης ή δυναμικό ανοιχτού κυκλώματος. Στο Σχήμα 2.2 δίνεται η καμπύλη ποτενσιοδυναμικής ανοδικής πόλωσης.



Σχήμα 2.2 Καμπύλη ποτενσιοδυναμικής ανοδικής πόλωσης. [18]

Η διάβρωση ενός μετάλλου που προκαλεί μεταβολή του ηλεκτρικού δυναμικού για ένα σύστημα καλείται ποτενσιοδυναμική. Σύμφωνα με την εξίσωση του Nerst η απόκλιση του κάθε ηλεκτροδίου από το δυναμικό ανοιχτού κυκλώματος με την αλλαγή της πυκνότητας ρεύματος ονομάζεται πόλωση και το μέγεθος της απόκλισης υπέρταση. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2 το δυναμικό στο σημείο A ισούται με το δυναμικό ισορροπίας ή δυναμικό ανοιχτού κυκλώματος και η υπέρταση ισούται με μηδέν. Με αύξηση της τάσης αυξάνεται γραμμικά και η ένταση του ρεύματος μέχρι το σημείο B. Στο διάστημα AB το μέταλλο διαβρώνεται. Το σημείο B χαρακτηρίζεται από το κρίσιμο δυναμικό παθητικοποίησης E_{cp} είναι δηλαδή το σημείο που το μέταλλο αρχίζει να παθητικοποιείται. Αυτό που συμβαίνει είναι απότομη μείωση της πυκνότητας του ρεύματος λόγω σχηματισμού προστατευτικού επιστρώματος χαμηλής αγωγιμότητας. Ο σχηματισμός ενός πολύ λεπτού υμενίου οξειδίου

εξαιρετικά προσκολλημένου στην επιφάνεια του μετάλλου, το οποίο λειτουργεί ως εμπόδιο στη περαιτέρω διάβρωση. Το οξείδιο βαθμιαία επεκτείνεται σε όλη την επιφάνεια του μετάλλου και σχηματίζει ένα λεπτό φιλμ στην περιοχή ΒΓ (μεταβατική περιοχή) του διαγράμματος. Η ένταση του ρεύματος μειώνεται ενώ το δυναμικό στο σημείο Γ (δυναμικό Flade) δεν είναι ιδιαίτερα ψηλότερο από το δυναμικό E_{cp} . Στο σημείο Β η κρίσιμη πυκνότητα ρεύματος i_{cp} αποτελεί μέτρο αξιολόγησης της παθητικοποίησης, μικρή τιμή της πυκνότητας σημαίνει ότι το μέταλλο παθητικοποιείται σχετικά εύκολα. Περαιτέρω αύξηση του δυναμικού μεταβάλλει ελάχιστα τη τιμή του ρεύματος και η διάβρωση προχωρά με πολύ αργό ρυθμό. Η περιοχή αυτή λέγεται παθητική. Η πυκνότητα παθητικού ρεύματος i_p στο δυναμικό Flade είναι μέτρο αξιολόγησης της προστασίας που προσφέρει το φιλμ οξειδίου. Όταν η τιμή αυτή είναι $\leq 0.1 \text{ mA/cm}^2$ τότε το επιφανειακό φιλμ του οξειδίου είναι συμπαγές, συνεκτικό και προστατεύει την επιφάνεια του μετάλλου. Όταν η τιμή της πυκνότητας παθητικού ρεύματος ξεπεράσει αυτή τη τιμή η κατάσταση της επιφάνειας του μετάλλου θεωρείται ψευτοπαθητική. Περαιτέρω αύξηση του δυναμικού πάνω από μια τιμή E_b που λέγεται δυναμικό κατάρρευσης ή δυναμικό αποκοπής κοντά στο σημείο Ζ οδηγεί σε απότομη αύξηση της πυκνότητας του ρεύματος. Η περιοχή ΖΗ χαρακτηρίζεται από τη διεργασία της μεταπαθητικής διάλυσης και το φιλμ οξειδίου διαβρώνεται αποβάλλοντας κατιόντα. Αυτό συμβαίνει είτε λόγω κατάρρευσης του φιλμ με την υπέρβαση της τάσης E_b είτε λόγω αποκόλλησης του φιλμ από το υπόστρωμα λόγω συνένωσης των κενών που προέκυψαν από τη διάλυση του μετάλλου. Το σημείο Η του διαγράμματος αναφέρεται σε ένα κρίσιμο δυναμικό E_{sp} . Αύξηση του δυναμικού πάνω από αυτή τη κρίσιμη τιμή οδηγεί σε μείωση του ρεύματος λόγω δευτερογενούς παθητικοποίησης. Αυτή έχει μικρότερη έκταση σε εύρος δυναμικού από την πρώτη. Περαιτέρω αύξηση του δυναμικού προκαλεί απότομη αύξηση του ρεύματος λόγω έκλυσης οξυγόνου. Σε περίπτωση τοπικής διάλυσης και κατάρρευσης του φιλμ είναι δυνατόν να αυξηθεί η πυκνότητα ρεύματος πριν η τάση φτάσει στο σημείο E_b . Αυτό συμβαίνει σε σημεία με ελαττώματα στη μεταλλική επιφάνεια όπως τα όρια των κόκκων, όρια φάσεων, γραμμικές διαταραχές, εγκλείσματα, πόροι κ.α. Η τοπική κατάρρευση του φιλμ οδηγεί σε έκθεση του μετάλλου στον ηλεκτρολύτη και διάλυση του, με συνέπεια την αύξηση του ανοδικού ρεύματος. Όσο συνεχίζει η διάλυση οδηγεί σε σχηματισμό οπών. Κοντά στο σημείο Δ ξεκινά ο σχηματισμός οπών και το δυναμικό ονομάζεται κρίσιμο δυναμικό οπών E_{pit} . Περαιτέρω αύξηση του δυναμικού οδηγεί σε μεγάλη αύξηση της πυκνότητας ρεύματος. Η ανοδική προστασία μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε μέταλλα που

παθητικοποιούνται ενώ η καθοδική προστασία μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα μέταλλα. Το διαβρωτικό περιβάλλον επηρεάζει ποια μέθοδο προστασίας θα επιλέξουμε. Η ανοδική προστασία μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα διαβρωτικά περιβάλλοντα ενώ η καθοδική προστασία με θυσιαζόμενη άνοδο περιορίζεται σε μέτρια διαβρωτικά περιβάλλοντα λόγω της ανάγκης για υψηλό ρεύμα. Η ανοδική προστασία απαιτεί μεγάλο κόστος εγκατάστασης ενώ η καθοδική προστασία απαιτεί υψηλό κόστος λειτουργίας εξαιτίας των απαιτήσεων σε ρεύμα. Τέλος η ανοδική προστασία έχει τα εξής πλεονεκτήματα σε σχέση με τη καθοδική: η ανοδική προστασία όχι μόνο προστατεύει αλλά καταγράφει και τη ταχύτητα διάβρωσης αφού το εφαρμοζόμενο ρεύμα είναι συνήθως ίσο με το ρυθμό διάβρωσης και στην ανοδική προστασία οι ηλεκτροχημικές παράμετροι μπορούν με ακρίβεια να προσδιοριστούν ενώ στη καθοδική προστασία οι παράμετροι προσδιορίζονται εμπειρικά και με περιθώριο σφάλματος. [1,17,18,27,28]

2.6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ [1]

Με τον κατάλληλο σχεδιασμό μπορούν να ελαχιστοποιηθούν παράγοντες που επηρεάζουν τη διάβρωση. Με κατάλληλο σχεδιασμό μπορεί να αποφευχθεί: η δημιουργία κελιού σύστασης, ο σχηματισμός κελιού διαφορετικής συγκέντρωσης ηλεκτρολύτη, ο σχηματισμός κελιού τάσης, ο σχηματισμός κελιού τάσης λόγω ροής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΧΑΛΥΒΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

3.1 ΧΑΛΥΒΕΣ [1,18,22,29,30,31,32,33]

Οι χάλυβες είναι μια κατηγορία κραμάτων σιδήρου άνθρακα με περιεκτικότητα άνθρακα έως 2% κ.β, και μπορεί να περιέχουν μικρές ποσότητες άλλων στοιχείων, όπως πυρίτιο, φώσφορο, θείο και μαγγάνιο. Οι λόγοι που καθιστούν το χάλυβα μια καλή επιλογή υλικού για πολλές και διαφορετικές εφαρμογές είναι τα αποθέματα μεταλλεύματος στη γη, το σημείο τήξης του σιδήρου που επιτρέπει τη θερμικές διεργασίες ελεγχόμενες σε βιομηχανική κλίμακα και που μπορούν να επιτευχθούν σχετικά εύκολα και τέλος η αλλοτροπία του σιδήρου και ο μετασχηματισμός φάσεων στους χάλυβες που επιτρέπει να πετύχουμε μεγάλη ποικιλία μικροδομών που μας δίνει μεγάλο εύρος μηχανικών ιδιοτήτων.

Στους χάλυβες ανήκουν οι χάλυβες υψηλής κραμάτωσης που χωρίζεται σε ανοξείδωτους χάλυβες και τους χάλυβες που χρησιμοποιούνται για εργαλεία. Και οι χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης που διαχωρίζονται ανάλογα με το ποσοστό του άνθρακα κραμάτωσης σε χαμηλού C, σε μεσαίου C και σε υψηλού C. Αυτοί με τη σειρά τους χωρίζονται σε κοινούς και υψηλής αντοχής και χαμηλής κραμάτωσης, σε θερμικά κατεργάσιμο και σε εργαλείων αντίστοιχα. Οι περισσότεροι χάλυβες παράγονται με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα (λιγότερο από 0,25%) και η μικροδομή τους αποτελείται από φερρίτη και περλίτη με αποτέλεσμα να είναι μαλακοί και να διαθέτουν σημαντική ολκιμότητα και δυσθραυστότητα. Υπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός χαλύβων που μπορούν να ικανοποιήσουν τις περισσότερες απαιτήσεις. Οι σύγχρονοι χάλυβες εξαιτίας των σύγχρονων απαιτήσεων και αναγκών είναι πολύ πιο ανθεκτικοί σε σύγκριση με τις παλαιότερες ποιότητες.

Οι χάλυβες είναι τα πιο διαδεδομένα μεταλλικά υλικά κατασκευών στο κόσμο εξαιτίας κάποιων χαρακτηριστικών τους όπως το χαμηλό κόστος και η υψηλή αντοχή και τα καθιστά κατάλληλα για χρήση σε πολλές εφαρμογές: από την αρχιτεκτονική έως τη ναυπηγική.

3.2 ΤΥΠΟΙ ΧΑΛΥΒΑ [29,34,35,36]

Οι χάλυβες, αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα βιομηχανικά κράματα καθώς αξιοποιώντας την αλλοτροπία του σιδήρου και τους μετασχηματισμούς φάσεων είναι

εφικτός ο σχηματισμός μιας μεγάλης ποικιλίας μικροδομών, οι οποίες αποδίδουν με τη σειρά τους ένα ευρύ φάσμα μηχανικών ιδιοτήτων. Αυτό το ευρύ φάσμα μηχανικών ιδιοτήτων, το οποίο επιτυγχάνεται σε συνδυασμό με την κατάλληλη επιλογή χημικής σύστασης και θερμομηχανικών κατεργασιών, επιτρέπει τη χρήση των χαλύβων σε πληθώρα εφαρμογών.

3.3 ΜΙΚΡΟΔΟΜΗ ΧΑΛΥΒΑ [34,36,37,38]

Ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την περαιτέρω κατεργασία και την κρυσταλλική δομή τους οι χάλυβες κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες (carbon steel):** Οι χάλυβες αυτοί έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα έως 2,06% και μικρές ποσότητες από άλλα στοιχεία σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις όπως: μαγγάνιο έως 1,65%, πυρίτιο έως 0,6% και χαλκό έως 0,6%. Ο άνθρακας σχηματίζει στερεό διάλυμα αντικατάστασης με το σίδηρο και είναι το σημαντικότερο στοιχείο παρεμβολής στο πλέγμα αυτού, καθώς επηρεάζει την κινητική των μετασχηματισμών και τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία και στην ναυπηγική ειδικά στην κατασκευή της γάστρας των πλοίων μιας και συγκολλούνται σχετικά εύκολα. Ορίζονται ως A, B, C, D με όριο διαρροής 235 MPa και με αυξημένη ανθεκτικότητα. Η υψηλή ολκιμότητα και δυσθραυστότητα και η καλή συγκολλησιμότητα χαρακτηρίζει τους χάλυβες με ποσοστό άνθρακα χαμηλό ενώ αντίθετα, όταν απαιτείται αυξημένη αντοχή, μεγάλη σκληρότητα και καλή αντίσταση στη φθορά και την κόπωση, το ποσοστό του άνθρακα είναι υψηλότερο.

Οι κοινοί ανθρακούχοι χάλυβες υποδιαιρούνται σε κατηγορίες σύμφωνα με την περιεκτικότητα σε άνθρακα. Χάλυβες με 0,8%C ονομάζονται ευτηκτοειδείς. Χάλυβες με περιεκτικότητα από 0,025% ως 0,8% ονομάζονται υποευτηκτοειδείς και χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα από 0,8% μέχρι 2,1% ονομάζονται υπereυτηκτοειδείς. Επιπλέον οι χάλυβες χωρίζονται σε κοινούς ή ανθρακούχους και κραματωμένους βάσει της χημικής τους σύστασης, σε χάλυβες διαμόρφωσης και χυτοχάλυβες ανάλογα με τον προορισμό τους και τέλος, βάσει των εφαρμογών τους σε εργαλειοχάλυβες, ανοξείδωτους χάλυβες και χάλυβες κατασκευών ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών.

Οι χάλυβες του εμπορίου ονομάζονται ανθρακούχοι και η συμπεριφορά τους περιγράφεται ικανοποιητικά από το μετασταθές διάγραμμα Fe-Fe₃C Σχήμα 3.1. Δεν περιέχουν κραματικά στοιχεία σε ποσοστό μεγαλύτερο του 1-1,5% κ.β., με εξαίρεση τον άνθρακα. Στους χάλυβες αυτούς συνήθως υπάρχουν προσμίξεις (Mn, Si) χαμηλής

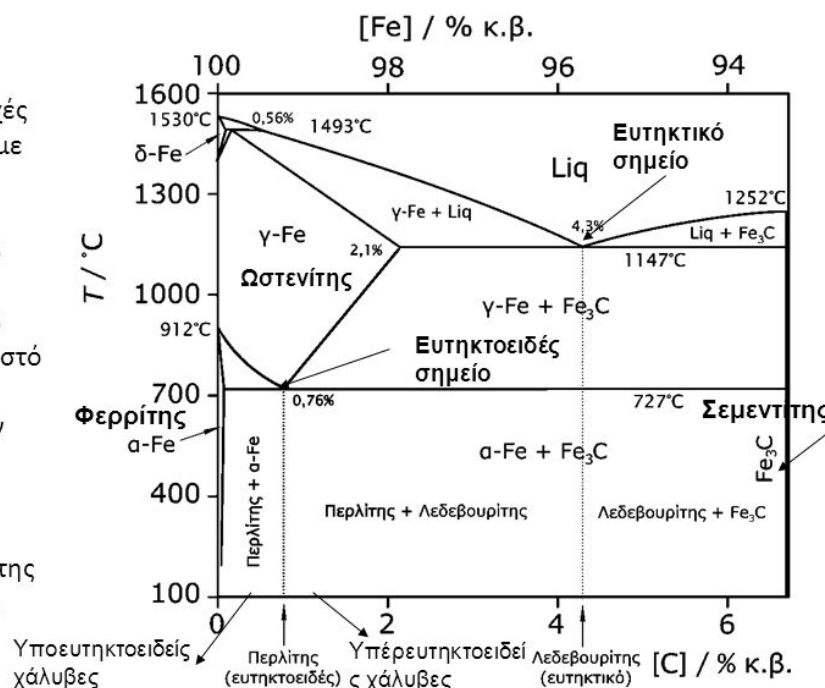
περιεκτικότητας, που προστίθενται κατά τη δευτερογενή μεταλλουργία για την αποξείδωση του χάλυβα, επιβλαβείς ακαθαρσίες (S,P), προερχόμενες από την πρώτη ύλη και υπολειμματικές ακαθαρσίες (Cr, Ni, Cu, Sn κ.ά.) που οφείλονται στην ανακύκλωση του χάλυβα και τη χρήση παλαιοσιδήρου (scrap).

Το διμερές ευτηκτικό διάγραμμα Fe-C

Στο διάγραμμα Fe-C

διακρίνονται τρεις περιοχές τεχνικών κραμάτων Fe-C με μεγάλο ενδιαφέρον:

1. σίδηροι, με ποσοστό άνθρακα από 0-0,02%
 2. χάλυβες, με ποσοστό άνθρακα από 0,02-2%
 3. χυτοσίδηροι, με ποσοστό άνθρακα από 2-5%
- το διάγραμμα φάσεων φαίνονται τέσσερις διαφορετικές στερεές φάσεις α-φερρίτης, ωστενίτης (γ), σεμεντίτης (Fe₃C) και δ-φερρίτης.



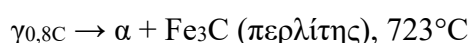
Σχήμα 3.1 Διάγραμμα σιδήρου άνθρακα [39]

Οι υποκατηγορίες στους κοινούς χάλυβες με βάση το ποσοστό του άνθρακα που περιέχουν είναι: [40,41]

- Οι χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες (mild steels) με ποσοστό $C < 0,30\%$ χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες, στους χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα μικρότερη από 0,15% κ.β. και στους χάλυβες με περιεκτικότητα άνθρακα από 0,15-0,30% κ.β. Γενικά, χαρακτηρίζονται από καλή διαμόρφωση σε χαμηλές θερμοκρασίες και καλή συγκολλησιμότητα, έχουν μικρή αντοχή και σκληρότητα. Η χρήση τους είναι κυρίως στην παραγωγή ελασμάτων.

- Χάλυβες μεσαίου άνθρακα (medium carbon steels) με περιεκτικότητα σε άνθρακα από $0,30\% < C < 0,60\%$ κ.β. και χαρακτηρίζονται από καλό συνδυασμό ολκιμότητας και αντοχής, ενώ η αντοχή τους παρουσιάζει βελτίωση με θερμικές κατεργασίες. Κυρίως εφαρμόζονται στην αυτοκινητοβιομηχανία για την κατασκευή διάφορων τμημάτων (π.χ. αξόνων).
- Χάλυβες υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (high carbon steels) με περιεκτικότητα σε άνθρακα από $0,60\% < C < 1,00\%$ κ.β. και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται υψηλή αντοχή και καλή αντίσταση στη φθορά.
- Χάλυβες εξαιρετικά υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (ultra-high carbon steels) με ποσοστό άνθρακα από $1,00\% < C < 2,00\%$ κ.β. Οι χάλυβες αυτοί χρησιμοποιούνται αφού υποβληθούν σε θερμομηχανική επεξεργασία με στόχος οι μικροδομές που θα προκύψουν να αποτελούνται από λεπτόκοκκο και ισαξονικό φερρίτη, σε συνδυασμό με λεπτοδιαμερισμένα και ομοιόμορφα διεσπαρμένα, σφαιρικά σωματίδια προευτηκτοειδούς σεμεντίτη. Έχουν ιδιαίτερα υψηλή αντοχή και καλή ολκιμότητα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ σε υψηλές θερμοκρασίες παρουσιάζουν υπερπλαστική συμπεριφορά. [40,41]

Όπως φαίνεται και στο πιο πάνω Σχήμα 3.1 οι χάλυβες περιγράφονται από το μετασταθές διάγραμμα σιδήρου-C. Είναι απαραίτητη η αναφορά στα χαρακτηριστικά των φάσεων, που το συνθέτουν. Στο διάγραμμα με βάση την ευτηκτοειδή αντίδραση, κατά την οποία πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός του ωστενίτη με 0,8% κ.β. C σε περλίτη:



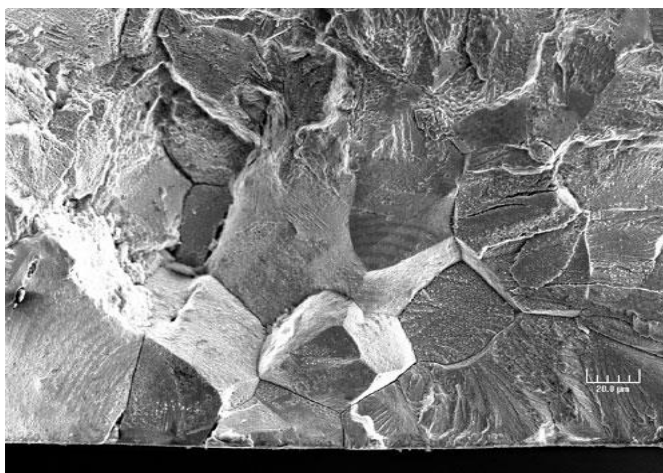
διακρίνονται τρεις περιοχές: η υποευτηκτοειδής, η ευτηκτοειδής και η υπereυτηκτοειδής. Η περιοχή ανάμεσα σε 0,022% και 0,8% κ.β. C, που ονομάζεται υποευτηκτοειδής, η μικροδομή των χαλύβων αποτελείται από προευτηκτοειδή φερρίτη και περλίτη. Η περιοχή περιεκτικότητας σε άνθρακα 0,8% κ.β., που ονομάζεται ευτηκτοειδής, η μικροδομή είναι 100% περλιτική. Τέλος, στην περιοχή με περιεκτικότητα σε άνθρακα ανάμεσα σε 0,8-2% κ.β. C, που ονομάζεται υπereυτηκτοειδής, η μικροδομή των χαλύβων αποτελείται από προευτηκτοειδή σεμεντίτη και περλίτη.

Κατά κύριο λόγο οι χάλυβες χαρακτηρίζονται από τις δύο αλλοτροπικές μορφές του σιδήρου σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του σημείου τήξης του, τον α-Fe και γ-Fe. Ο α-Fe κρυσταλλώνεται στο χωροκεντρωμένο κυβικό σύστημα (bodycentered cubic, bcc) και

είναι σταθερός μέχρι τους 912°C , ενώ ο $\gamma\text{-Fe}$ κρυσταλλώνεται στο εδροκεντρωμένο κυβικό σύστημα (face-centered cubic, fcc) και είναι σταθερός από τους 912°C έως 1394°C . Ανάμεσα στο θερμοκρασιακό εύρος των 1394°C και 1538°C ο σίδηρος επανέρχεται στο bcc σύστημα κρυστάλλωσης αλλά ονομάζεται $\delta\text{-Fe}$. Το στερεό διάλυμα άνθρακα στον $\gamma\text{-Fe}$ ονομάζεται ωστενίτης, ενώ το στερεό διάλυμα άνθρακα στον $\alpha\text{-Fe}$ ονομάζεται φερρίτης.

Ο $\delta\text{-φερρίτης}$ διαθέτει σταθερά πλέγματός 0.289 nm και παρουσιάζει μέγιστη διαλυτότητα του άνθρακα στο σίδηρο στους 1492°C με τιμή $0,1\%$ κ.β. C. Οι μηχανικές του ιδιότητες είναι: μαλακός, όλκιμος και η σκληρότητά του αλλά και η ικανότητα του να επιμηκύνεται είναι παρόμοιες με εκείνες του φερρίτη και του ωστενίτη στις σταθερές μορφές τους. Η φάση αυτή είναι η πρώτη που σχηματίζεται κατά τη στερεοποίηση του σιδήρου και του χάλυβα. Είναι σημαντικό ακόμη να σημειωθεί ότι λόγω της μεταβολής του όγκου κατά τη μετάπτωση από $\delta\text{-φερρίτη}$ σε ωστενίτη, είναι πιθανή η ρηγμάτωση κατά τη συνεχή χύτευση χάλυβα χαμηλού άνθρακα (0.08 έως 0.14% κ.β. C).

Ο ωστενίτης διαθέτει σταθερά πλέγματος 0.356 nm και παρουσιάζει μέγιστη διαλυτότητα του άνθρακα στους 1130°C , με τιμή $2,1\%$ κ.β. C. Η διαλυτότητα αυτή αντιστοιχεί σε 95 άτομα άνθρακα ανά 1000 άτομα σιδήρου. Στο Σχήμα 3.2 δίνεται η απεικόνιση της δομής του ωστενίτη.

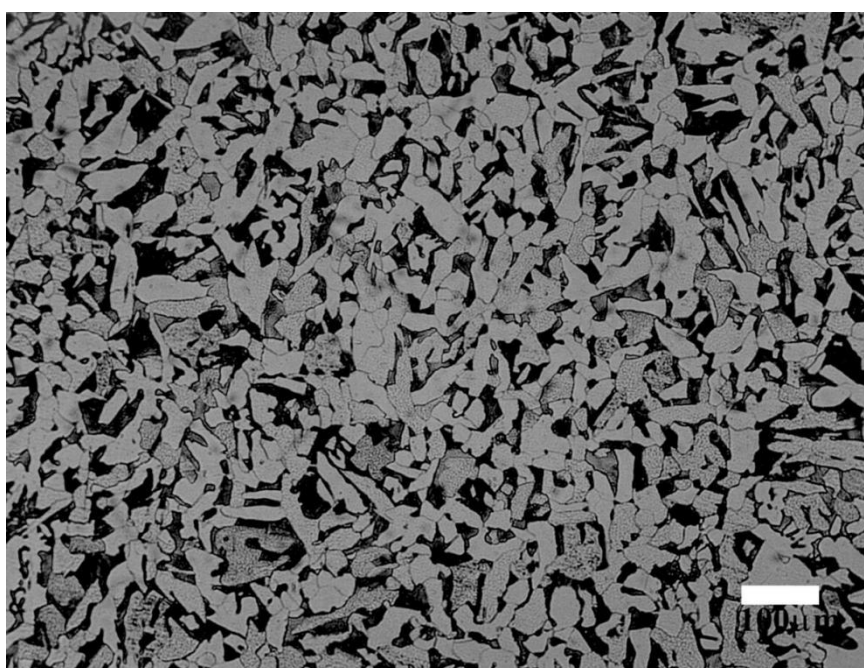


Σχήμα 3.2 Μικροδομή ωστενίτη. [34]

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη διαλυτότητα του άνθρακα στον ωστενίτη σε σύγκριση με τη διαλυτότητά του στο πλέγμα του φερρίτη, οφείλεται στο

σημαντικά μεγαλύτερο μέγεθος της οκταεδρικής θέσης παρεμβολής του ωστενίτη από την τετραεδρική θέση παρεμβολής του άνθρακα στο πλέγμα του φερρίτη. Το άτομο του άνθρακα παρεμβάλλεται στη θέση του οκταεδρικού κενού του fcc πλέγματος. Επιπλέον, σε αντίθεση με το φερρίτη, ο ωστενίτης είναι παραμαγνητικός και είναι επίσης μαλακός και όλκιμος με σκληρότητα 250 έως 300 HB.

Ο φερρίτης με σταθερά πλέγματος 0,286 nm και μέγιστη διαλυτότητα μόνο 0,025% κ.β. C, η οποία συναντάται στους 723°C, είναι μια όλκιμη φάση με χαμηλή σκληρότητα, από 80 έως 100 HB. Η μικροδομή του φερρίτη δίνεται στο Σχήμα 3.3.

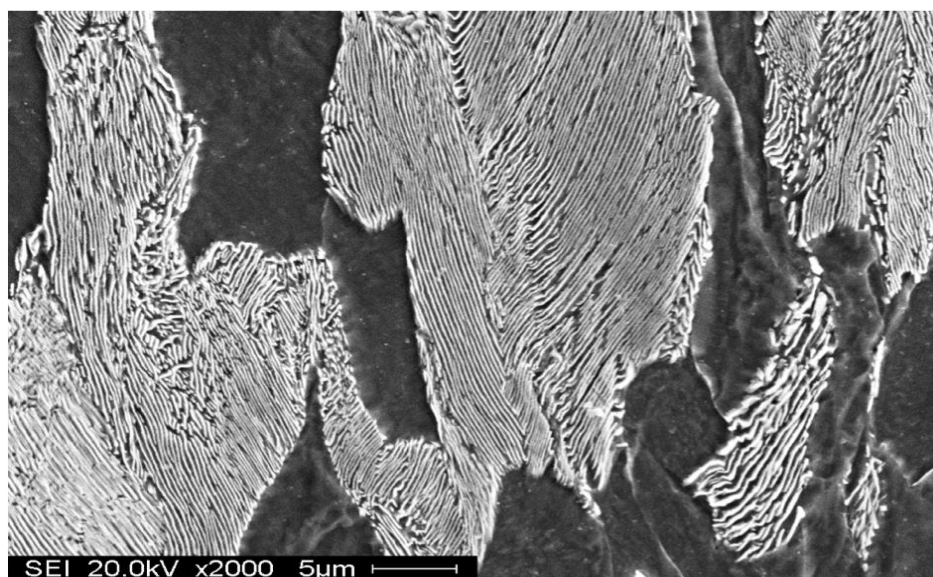


Σχήμα 3.3 Μικροδομή φερρίτη. [37]

Ο σεμεντίτης είναι χημική ένωση και πιο συγκεκριμένα καρβίδιο του σιδήρου (Fe_3C) και η περιεκτικότητά του σε άνθρακα είναι σταθερά στο 6,67% κ.β. C. Κρυσταλλώνεται στο ορθορομβικό σύστημα και πρόκειται για μια σκληρή και εύθραυστη μεσομεταλλική ένωση με σκληρότητα περίπου 800 HB. Ο σεμεντίτης ονομάζεται πρωτογενής όταν σχηματίζεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες της ευτηκτικής, δευτερογενής όταν σχηματίζεται μεταξύ της ευτηκτικής και της ευτηκτοειδούς θερμοκρασίας και τριτογενής όταν σχηματίζεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από την ευτηκτοειδή. Επειδή τα ποσοστά του δευτερογενούς και τριτογενούς σεμεντίτη είναι πολύ μικρά, μπορούν να θεωρηθούν αμελητέα. Συνήθως αποχωρίζεται από τον ωστενίτη κατά την απόψυξη ενός υπερευτηκτοειδούς χάλυβα

($C > 0,8\%$) στη μορφή του προ-ευτηκτοειδούς σεμεντίτη σε θερμοκρασία λίγο ανώτερη των 723°C , αλλά περιέχεται επίσης και στον περλίτη.

Ο Περλίτης συνιστά ένα μίγμα φάσεων και είναι μια σύνθετη ευτηκτοειδής δομή εναλλασσόμενων πλακιδίων φερρίτη και σεμεντίτη, η οποία προκύπτει κατά την απόψυξη του ωστενίτη με $0,8\%\text{κ.β. C}$ κάτω από τους 723°C . Στο Σχήμα 3.4 δίνεται η μορφολογία του περλίτη.



Σχήμα 3.4 Μικροδομή περλίτη [42]

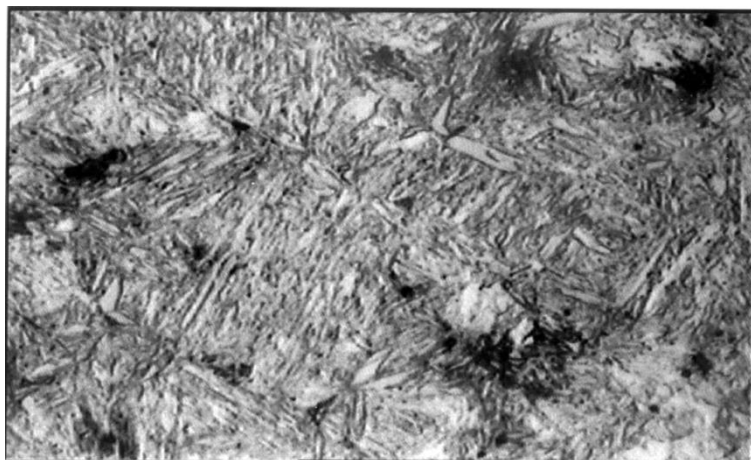
Ο περλίτης πυρηνοποιείται στα όρια των κόκκων του ωστενίτη και η σύστασή του χαρακτηρίζεται από $88,5\%\text{ κ.β. φερρίτη}$ και $11,5\%\text{ κ.β. σεμεντίτη}$. Επειδή ο λόγος των βαρών είναι $8:1$, τα πλακίδια του φερρίτη είναι οκταπλάσιου πλάτους από εκείνο του σεμεντίτη, δεδομένου ότι έχουν παραπλήσιο ειδικό βάρος. Ο περλίτης είναι όλκιμος και μαλακός με σκληρότητα περίπου $200\text{-}250\text{ HB}$. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι η παρουσία του περλίτη οδηγεί σε μείωση της ολκιμότητας και της δυσθραυστότητας, καθώς οι διεπιφάνειες $\alpha/\text{Fe}_3\text{C}$ λειτουργούν ως θέσεις για έναρξη ρωγμών, ενώ παράλληλα η αυξημένη εργοσκήληρυνση προκαλεί μείωση της πλαστικής παραμόρφωσης στην αιχμή των ρωγμών.

Ο Μπαϊνίτης πρόκειται για βελονοειδές μικρογραφικό συστατικό που αποτελείται από κρυσταλλίτες σεμεντίτη σφαιροειδούς σχήματος, που περιβάλλουν κρυστάλλους φερρίτη βελονοειδούς σχήματος. Προκύπτει όταν ο ωστενίτης ψύχεται με μεγαλύτερη ταχύτητα

και έχει σκληρότητα 400HB. Όταν ο μπαινίτης σχηματίζεται σε θερμοκρασία μεταξύ 400°C και 500°C τότε έχουμε άνω μπαινίτη (upper bainite), ενώ όταν σχηματίζεται σε θερμοκρασία ανάμεσα στους 250°C και 400°C έχουμε κάτω μπαινίτη (lower bainite). Στον άνω μπαινίτη η μορφολογία του σεμεντίτη εξαρτάται από την περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα. Όταν ο χάλυβας έχει υψηλό ποσοστό άνθρακα τότε ο σεμεντίτης σχηματίζει συνεχείς λωρίδες, που διαχωρίζουν τα πλακίδια του φερρίτη. Όταν όμως η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι χαμηλή, τότε σχηματίζονται μικρά σωματίδια σεμεντίτη. Ο άνω μπαινίτης αναπτύσσεται σε ομάδες παράλληλων πλακιδίων, που ονομάζονται μπαινιτικές δεσμίδες (bainite sheaves). Στον κατώτερο μπαινίτη σχηματίζεται σεμεντίτης τόσο μέσα στα πλακίδια του μπαινιτικού φερρίτη όσο και μεταξύ των πλακιδίων αυτών με απ' ευθείας καθίζηση από τον ωστενίτη.

Ο κάτω μπαινίτης έχει μεγαλύτερη ολκιμότητα σε σχέση με τον άνω μπαινίτη και αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η διασπορά των καρβιδίων είναι λεπτότερη στον κάτω μπαινίτη.

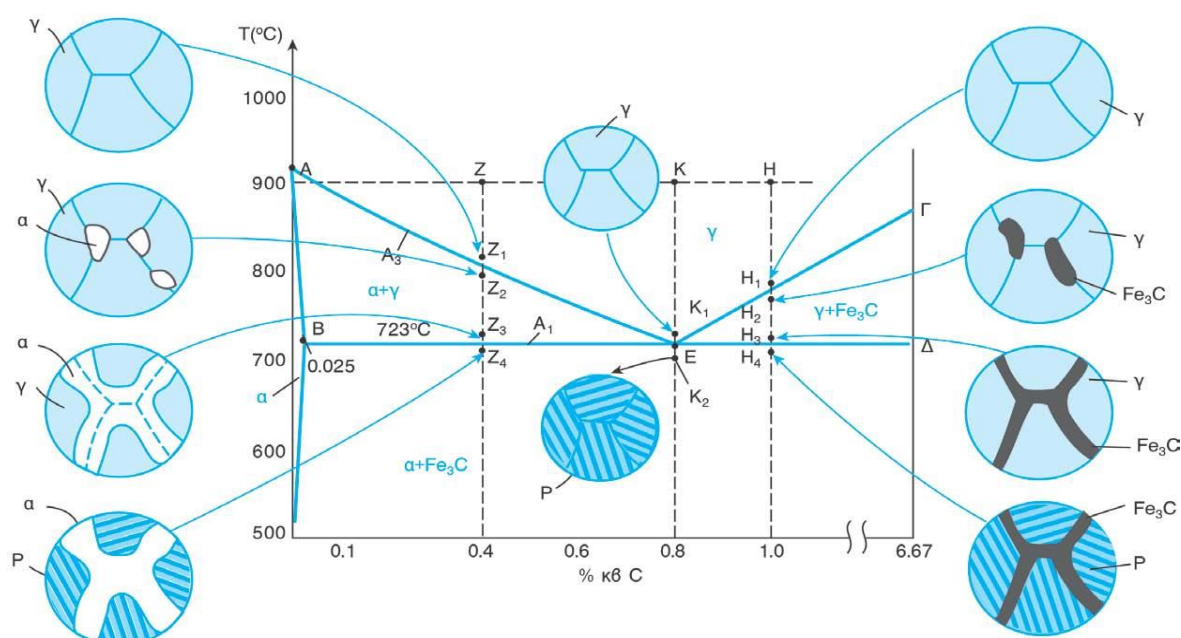
Ο Μαρτενσίτης είναι φάση εκτός ισορροπίας που προκύπτει από τον ωστενίτη, με ορισμένες προϋποθέσεις με υπερταχεία ψύξη, χωρίς το μηχανισμό της διάχυσης. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα καθορίζει την μορφολογία της μαρτενσιτικής φάσεως. Έτσι, για περιεκτικότητα κάτω από 0.4% κ.β. C ο μαρτενσίτης έχει βελονοειδή μορφή (lath martensite), ενώ για περιεκτικότητες πάνω από 0.6% κ.β. C ο μαρτενσίτης έχει τη μορφή πλακιδίων (plate martensite). Για περιεκτικότητες μεταξύ 0.4 και 0.6% ο μαρτενσίτης σχηματίζεται με μικτή μορφολογία (βελόνες και πλακίδια). Στο Σχήμα 3.5 δίνεται η δομή του μαρτενσίτη.



Σχήμα 3.5 Μικροδομή μαρτενσίτη [43]

Ο μαρτενσίτης χαρακτηρίζεται από την ιδιαίτερα υψηλή σκληρότητά του, η οποία είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα και κυμαίνεται μεταξύ 500 και 650HB. Η παρουσία του μαρτενσίτη συμβάλλει στην αύξηση της σκληρότητας, μέσω πολλαπλών μηχανισμών. Αρχικά, η κατάληψη των οκταεδρικών θέσεων παρεμβολής στο BCT πλέγμα του μαρτενσίτη προκαλεί μη-συμμετρικές (τετραγωνικές) παραμορφώσεις που οδηγούν σε σημαντικότερη ισχυροποίηση στερεού διαλύματος. Επιπλέον, η παρουσία πολλών διεπιφανειών και συνόρων στη μικροδομή του μαρτενσίτη παρεμποδίζει την ολίσθηση των αταξιών και έτσι η αντοχή εξαρτάται από το μέγεθος του ωστενιτικού κόκκου σύμφωνα με τη σχέση Hall-Petch ή από το μέγεθος των βελονών και των πλακιδίων του μαρτενσίτη. Αν και τα σύνορα μεταξύ των βελονών είναι σύνορα μικρής γωνίας, παρεμποδίζουν την ολίσθηση των αταξιών συνεισφέροντας έτσι στη διαμόρφωση της συνολικής αντοχής του μαρτενσίτη.

Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται στο διάγραμμα οι διαφορετικές μικροδομές του χάλυβα σε συνάρτηση με το διαλυμένο ποσοστό άνθρακα και τη θερμοκρασία όπως περιγράφονται πιο πάνω.



Σχήμα 3.6 Μικροδομές φάσεων [43]

Επειδή οι κοινοί χάλυβες πολύ συχνά παρουσιάζουν μειωμένες ιδιότητες που τους καθιστούν ακατάλληλους για εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων προστίθενται σε αυτούς διάφορα κραματικά στοιχεία που έχουν ως στόχο τις παρακάτω βελτιώσεις [33]:

- Κρατώντας σταθερή την ολκιμότητα αυξάνουν την αντοχή σε εφελκυσμό
- Βελτιώνουν τη ικανότητα αντοχής στη διάδοση μιας ρωγμής
- Αυξάνουν την ικανότητα σκλήρυνσης του υλικού μετά από βαφή
- Δημιουργώντας μικροδομές πιο λεπτόκοκκες επηρεάζοντας την ανάπτυξη των κόκκων
- Επιδρούν στην αντίσταση απέναντι στη διάβρωση και τη φθορά βελτιώνοντας την.
- Προσδίδουν σκληρότητα στο χάλυβα με τη δημιουργία στερεού διαλύματος ή την κατακρήμνιση διάφορων ενώσεων (π.χ. καρβιδίων)
- Βελτιώνουν την ικανότητα κατεργασίας των χαλύβων.

Το ποσοστό του C στους κραματωμένους χάλυβες στην πράξη δεν υπερβαίνει το 1%. [45]

Οι κραματοποιημένοι χάλυβες (alloy steels), όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες είναι σιδηρούχα κράματα που περιέχουν μεγάλη ποσότητα άλλων μετάλλων. Αυτά είναι:

- Χάλυβες ελαφρού κράματος ή χάλυβες χαμηλής κραματοποίησης, που συνήθως περιέχουν χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ.. Το συνολικό ποσοστό τους δεν υπερβαίνει το 2% κ.β
- Χάλυβες μέτρια κραματωμένους με ποσοστό στοιχείων προσθήκης από 2% έως 10% κ.β.
- Χάλυβες υψηλής κραματοποίησης με ποσοστό κραμάτωσης μεγαλύτερο του 10% κ.β. (όπως είναι οι ανοξείδωτοι χάλυβες και οι ταχυχάλυβες).

Το σημαντικότερο κραματικό στοιχείο στους χάλυβες είναι ο άνθρακας όμως τις περισσότερες φορές προστίθενται και άλλα κραματικά στοιχεία για να πετύχουμε ένα κράμα με τις ιδιότητες που απαιτεί μια κατασκευή. Στους περισσότερους χάλυβες τα κραματικά στοιχεία που συναντάμε είναι το Mn, το Si, το Cr, το Ni και το Mo. Ο ρόλος του κάθε κραματικού είναι σύνθετος και επηρεάζει διάφορες παραμέτρους και φυσικές ιδιότητες του τελικού κράματος. Τα κραματικά στοιχεία χωρίζονται σε αυτά που προωθούν τη ωστενιτική μικροδομή και σε αυτά που προωθούν τη φερριτική.

Την φερριτική δομή ενισχύουν τα πιο κάτω στοιχεία: [1,45,46]

- Χρώμιο Cr, το στοιχείο αυτό επειδή σχηματίζει παρουσία οξυγόνου ένα επιφανειακό παθητικό στρώμα οξειδίου, προσφέρει αντίσταση στη διάβρωση. Όσο μεγαλύτερο ποσοστό χρωμίου τόσο αυξάνεται η σταθερότητα του παθητικού επιστρώματος και η

αντίσταση του σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Περαιτέρω αύξηση όμως προκαλεί μείωση σε άλλες ιδιότητες όπως συγκολλησιμότητας ή ολκιμότητας λόγω σχηματισμού ψαθυρής φάσης σιδήρου-χρωμίου.

- Μολυβδαίνιο Mo, στον ανοξείδωτο χάλυβα δίνει αντίσταση στη διάβρωση παρουσία χλωριόντων. Σχηματίζει ισχυρά καρβίδια και ταυτόχρονα αυξάνει και την εμβαιότητα των χαλύβων. Προσδίδει αύξηση στην αντοχή στη διάβρωση και πιο συγκεκριμένα στη μικροδιάβρωση όπως είναι η διάβρωση οπών ή χαραγών. Σε έντονα οξειδωτικά περιβάλλοντα δεν προσφέρει καλή αντίσταση στη διάβρωση όμως προσφέρει αρκετά καλή αντίσταση σε ασθενή οξειδωτικά περιβάλλοντα και σε αναγωγικά. Αυξάνει το χρόνο ευαισθητοποίησης επιβραδύνοντας τη διάχυση του άνθρακα και του αζώτου. Και τέλος αυξάνει τη μηχανική αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Τιτάνιο Ti και Νιόβιο Nb, πρόκειται για στοιχεία που συντελούν στην αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής με το σχηματισμό καρβιδίων ενώ ταυτόχρονα περιορίζουν την αύξηση του μεγέθους των κόκκων σε υψηλές θερμοκρασίες. Είναι στοιχεία που σταθεροποιούν στις δομές τους τον άνθρακα και το άζωτο, προστατεύοντας από την ευαισθητοποίηση και κατά συνέπεια από την περικρυσταλλική διάβρωση. Όμως σε υψηλά ποσοστά αυτά τα στοιχεία ευνοούν την επιδεκτικότητα στη διάβρωση οπών. Επίσης μειώνουν την αντίσταση των ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων στην εργοδιάβρωση
- Πυρίτιο Si και Αλουμίνιο Al, είναι δύο συστατικά που προστίθενται για την αποξείδωση του χάλυβα. Αυξάνουν την αντοχή στην οξείδωση σε υψηλές θερμοκρασίες. Το πυρίτιο βελτιώνει την αντίσταση σε οξείδωση επειδή σχηματίζει συμπαγή οξείδια ειδικά σε περιπτώσεις που υπάρχουν πτητικά οξείδια. Μεγάλη περιεκτικότητα σε πυρίτιο οδηγεί σε μείωση της κατεργασιμότητας του χάλυβα.

Την ωστενιτική δομή ενισχύουν τα εξής στοιχεία:

- Νικέλιο Ni, προσδίδει ολκιμότητα και αυξάνει τη δυσθραυστότητα των χαλύβων, ενώ προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας μεταβάσεως από την όλκιμη στην ψαθυρή συμπεριφορά θραύσεως. Αυξάνει το κρίσιμο δυναμικό οπών και έτσι αυξάνει το εύρος της παθητικής περιοχής. Προσφέρει αντίσταση στη διάβρωση σε αναγωγικά, ουδέτερα και ήπια οξειδωτικά περιβάλλοντα. Προσθήκη του νικελίου σε ποσοστό μικρότερο του 8% κ.β μειώνει την αντίσταση του χάλυβα σε εργοδιάβρωση. Για ποσοστό 8-10% κ.β αυξάνει την αντίσταση του σε εργοδιάβρωση και όσο αυξάνεται το ποσοστό

βελτιώνεται η αντίσταση του σε εργοδιάβρωση. Σε ποσοστό 25-30% κ.β ο χάλυβας έχει την καλύτερη αντίσταση σε εργοδιάβρωση (υπερωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες). Αυξάνει ακόμη την αντίσταση στη διάβρωση υψηλών θερμοκρασιών λόγω μικρής διαλυτότητας και διάχυσης του άνθρακα στο νικέλιο. Βελτιώνει την αντίσταση στην εναζώτωση. Όμως μειώνει το χρόνο για ευαισθητοποίηση.

- Άνθρακας C, είναι το σημαντικότερο στοιχείο στους χάλυβες και συμβάλλει στην ισχυροποίησή τους. Μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άνθρακα αυξάνει τη σκληρότητα, την εμβαισιότητα και την αντοχή ενώ μειώνει την ολκιμότητα, τη δυσθραυστότητα και τη συγκολλησιμότητα. Υψηλά ποσοστά περιεκτικότητας σε άνθρακα ευνοούν την επιδεκτικότητα σε περικρυσταλλική διάβρωση λόγω σχηματισμού καρβιδίων του χρωμίου.
- Άζωτο N, αυξάνει την αντίσταση στη διάβρωση οπών και χαραγών. Με τη παρουσία μολυβδαινίου αυξάνει την αντίσταση στη τοπική διάβρωση. Αυξάνει την σκληρότητα και την αντοχή. Αυξάνει τις μηχανικές ιδιότητες των ωστενιτικών και διφασικών (duplex) ανοξείδωτων χαλύβων μειώνοντας το διαφορισμό χρωμίου μολυβδαινίου και έτσι αποφεύγεται η δημιουργία κελίου διάβρωσης.
- Μαγγάνιο Mn, προστίθεται κυρίως για αποθείωση αφού σχηματίζει σουλφίδια MnS που βελτιώνουν την ολκιμότητα του χάλυβα γιατί δεν επιτρέπει το σχηματισμό της ψαθυρής φάσης FeS όμως ευνοεί την διάβρωση οπών. Τα εγκλείσματα MnS είναι τα πιο συνηθισμένα σημεία έναρξης διάβρωσης οπών. Βελτιώνει τη συμπεριφορά του χάλυβα σε κατεργασία εν θερμό.
- Χαλκός Cu, αυξάνει την αντοχή σε γενική διάβρωση από θειικό οξύ και από μίγμα οξικού και μυρμηκικού οξέος. Αυξάνει επίσης την επιδεκτικότητα σε ψυξηλασία. Σε κάποια κράματα αύξηση του ποσοστού χαλκού μπορεί να μείωση την αντίσταση σε χλωριούχα περιβάλλοντα και αραιά θειικά διαλύματα.

Ουδέτερα στοιχεία

- Θείο S και Φώσφορος P, αποτελούν ανεπιθύμητες ακαθαρσίες που προέρχονται από τη πρώτη ύλη. Επιδρούν μειώνοντας την ολκιμότητα, τη δυσθραυστότητα, τη συγκολλησιμότητα και την αντοχή σε κρούση. Επίσης μειώνουν την αντοχή στη διάβρωση και αυξάνουν την τάση για ρωγμάτωση του χάλυβα.

Σύμφωνα με την περαιτέρω επεξεργασία τους, οι χάλυβες χωρίζονται σε:

- Χάλυβες διαμόρφωσης, που επιδέχονται επιπλέον μηχανική κατεργασία όπως έλαση, διέλαση κ.α. και
- Χυτοχάλυβες, οι οποίοι παράγονται με απευθείας χύτευση υπό μορφή πλινθωμάτων («χελωνών») και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.

Τέλος, ανάλογα με τη μικροδομή τους και τις φάσεις που είναι παρούσες, κατατάσσονται σε φερριτικούς, περλιτικούς, μαρτενσιτικούς, μπαινιτικούς και άλλους τύπους χαλύβων.

Ανοξειδωτοι χάλυβες [1,21]

Ο ανοξειδωτος χάλυβας είναι κράμα σιδήρου άνθρακα με ελάχιστη κ.β προσθήκη χρωμίου 10.5 %. Το χρώμιο σχηματίζει τριοξείδιο του χρωμίου Cr_2O_3 με τη μορφή λεπτού στρώματος και προστατεύει το υπόστρωμα από οξείδωση και διάβρωση. Οι ανοξειδωτοι χάλυβες εκτός από χρώμιο μπορεί να περιέχουν και άλλα κραματικά στοιχεία όπως νικέλιο, μολυβδαίνιο, μαγγάνιο κ.α. Προσφέρουν καλή σχέση ποιότητας και τιμής αφού έχουν μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση από τους κοινούς χάλυβες και καλύτερη μηχανική αντοχή. Είναι όμως πιο σκληροί άρα πιο δύσκολα κατεργάσιμοι και έχουν χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα.

Διακρίνονται ανάλογα με τη δομή τους σε ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αντίσταση σε γενική διάβρωση από όλους τους ανοξειδωτους χάλυβες. Οι υπερωστενιτικοί ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία και έχουν μεγαλύτερο ποσοστό σε Ni, Mo, N, σε φερριτικούς και μαρτενσιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες, σε διφασικούς ανοξειδωτους χάλυβες και σε ανοξειδωτους χάλυβες σκληρυνόμενους με κατακρήμνιση.

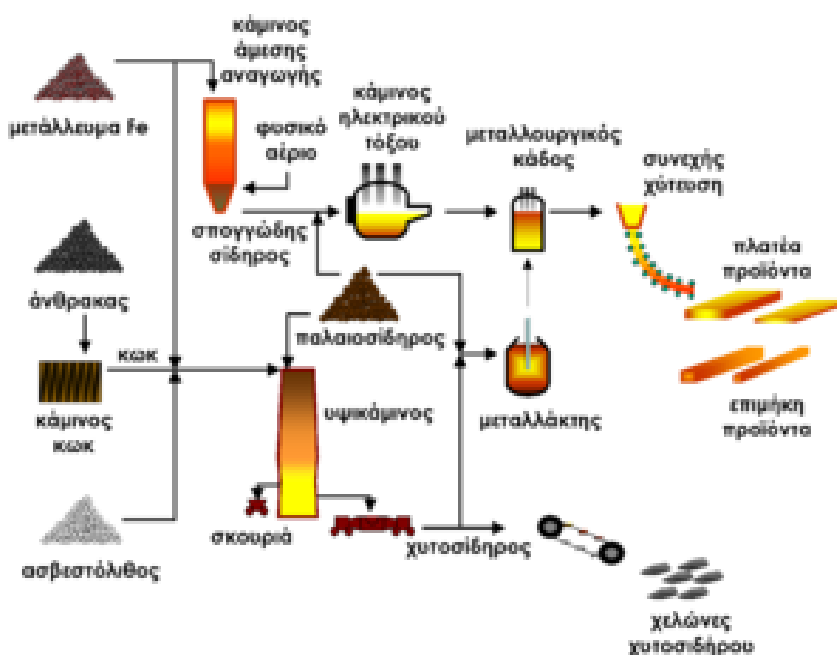
Οι φερριτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες παρουσιάζουν καλή αντίσταση σε υδατική διάβρωση. Είναι επιδεκτικοί σε ευαισθητοποίηση όπως και οι μαρτενσιτικοί. Έχουν μέτρια αντίσταση σε τοπική διάβρωση το ίδιο και οι σκληρυνόμενοι με κατακρήμνιση. Οι υπερφερριτικοί έχουν πολύ καλή αντίσταση στη τοπική διάβρωση όπως και οι ωστενιτικοί και οι διπλής φάσης. Οι ωστενιτικοί και οι διπλής φάσης έχουν την καλύτερη αντίσταση σε γενική διάβρωση. Οι διπλής φάσης έχουν πολύ καλή αντίσταση και στη τοπική διάβρωση και πολύ καλή αντίσταση στην εργοδιάβρωση.

3.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ [41]

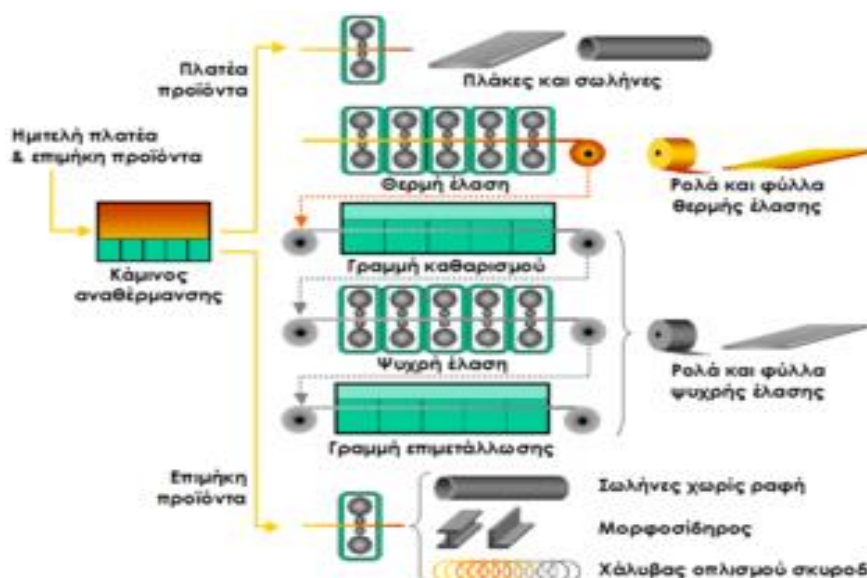
Οι χάλυβες παράγονται κυρίως με τρεις μεθόδους:

- Με αναγωγή σιδηρομεταλλεύματος σε υψικάμινο δημιουργείται ο Χυτοσίδηρος, που στην συνέχεια μετατρέπεται σε χάλυβα σε ένα μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.
- Με άμεση αναγωγή (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) του σιδηρομεταλλεύματος σε κάμινο δημιουργείται Σπογγώδης σίδηρος, και στην συνέχεια μετατρέπεται σε χάλυβα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου.
- Σκραπ (δηλαδή παλιοσίδερα) ανατήκονται σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου.

Στο Σχήμα 3.7 δίνεται το διάγραμμα παραγωγής χυτοσίδηρου και των ημιτελών προϊόντων του χάλυβα και στο Σχήμα 3.8 η διαδικασία παραγωγής των τελικών προϊόντων του χάλυβα.



Σχήμα 3.7 Παραγωγή χυτοσίδηρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα [41]



Σχήμα 3.8 Παραγωγή τελικών προϊόντων χάλυβα [41]

3.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ [1,33,42,43]

Η σκλήρυνση είναι μια μεταλλουργική διαδικασία που στόχο έχει την αύξηση της σκληρότητας του μετάλλου. Η σκληρότητα του μετάλλου είναι ευθέως ανάλογη προς το όριο διαρροής στην θέση της επιβαλλόμενης δύναμης. Ένα μέταλλο με μεγαλύτερη σκληρότητα θα έχει υψηλότερη αντίσταση σε πλαστική παραμόρφωση από ένα λιγότερο σκληρό μέταλλο. Για να επιτευχθεί η απαιτούμενη σκληρότητας που είναι απαραίτητη για μια εφαρμογή χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές σκλήρυνσης. Οι πλέον συνηθέστερες τεχνικές σκλήρυνσης είναι οι ακόλουθες:

- Σκλήρυνση με εκλέπτυνση κόκκου (grain refinement) :

Το μέγεθος των κόκκων επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του μετάλλου. Στην πλαστική παραμόρφωση τα όρια των κόκκων λειτουργούν σαν εμπόδια της κίνησης της διαταραχής. Η διαφορά στον προσανατολισμό των διαδοχικών κόκκων καθώς και η αταξία της δομής κάνουν πιο δύσκολη η μετακίνηση της διαταραχής. Έτσι ένα λεπτόκοκκο υλικό είναι πιο σκληρό από ένα χοντρόκοκκο επειδή έχει περισσότερα όρια κόκκων.

- Σκλήρυνση με δημιουργία στερεού διαλύματος (solid solution):

Τα άτομα που προστίθενται δημιουργούν στερεό διάλυμα προσθήκης ή αντικατάστασης στο μητρικό πλέγμα και αποτέλεσμα αυτής της εισβολής είναι η δημιουργία ενός πεδίου παραμορφώσεων του πλέγματος, το οποίο παρεμποδίζει τη μετακίνηση των διαταραχών.

- Σκλήρυνση με ενδοτράχυνση (work hardening – dislocation hardening):

Στην διαδικασία σκλήρυνσης με ενδοτράχυνση η σκλήρυνση γίνεται μέσω πλαστικής παραμόρφωσης. Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνά για να σκληρύνει κράματα που δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία όπως οι χάλυβες με μικρό ποσοστό άνθρακα.

- Σκλήρυνση με κατακρήμνιση λόγω γήρανσης (age hardening):

Σε αυτή τη διαδικασία η σκλήρυνση επιτυγχάνεται με θερμική κατεργασία που οδηγεί στο σχηματισμό εξαιρετικά μικρών και ομοιόμορφα διασκορπισμένων σωματιδίων μιας άλλης φάσης μέσα στο μητρικό κρυσταλλικό πλέγμα, κάτω από τις κατάλληλες θερμικές κατεργασίες.

3.6 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΧΑΛΥΒΑ [1,35,47,48,49,50]

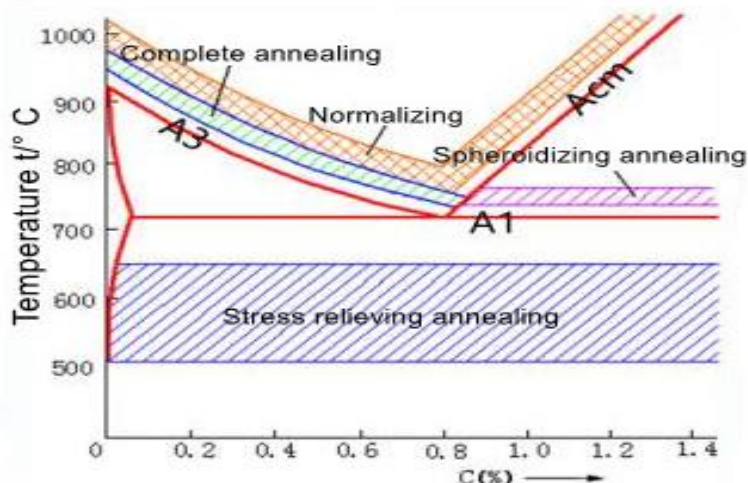
Με τον όρο θερμική κατεργασία εννοούμε την θέρμανση ή την ψύξη ενός στερεού μετάλλου ή κράματος με τρόπο που επιτυγχάνονται συγκεκριμένες ιδιότητες. Γενικά οι θερμικές κατεργασίες των χαλύβων οδηγούν κυρίως στη σκλήρυνσή τους, σε ελάττωση των μηχανικών τάσεων και σε ρύθμιση του μεγέθους των κόκκων και των μηχανικών ή άλλων ιδιοτήτων τους.

Το αποτέλεσμα μιας θερμικής κατεργασίας καθορίζεται από δύο σημαντικές παραμέτρους :

- Το χρόνο παραμονής σε δεδομένη θερμοκρασία
- Την ταχύτητα διέλευσης από την αρχική στην τελική θερμοκρασία.

Οι κυριότερες θερμικές κατεργασίες, οι οποίες αναπτύσσονται στη συνέχεια είναι οι διάφοροι τύποι ανόπτησης, βαφής και επαναφοράς.

Στο Σχήμα 3.9 δίνεται το διάγραμμα θερμικών κατεργασιών σε χάλυβα.



Σχήμα 3.9 Διάγραμμα φάσεων χάλυβα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία [51]

Κατεργασίες ανόπτησης, που οδηγούν σε σταθερές δομές. [35,50,52,53]

➤ Πλήρης ανόπτηση (full annealing)

Για υποευτηκτοειδή χάλυβα γίνεται θέρμανση για ωστενιτοποίηση σε T μεγαλύτερη κατά $30\text{-}50^{\circ}\text{C}$ πάνω από την A_3 , μετά ακολουθεί ισόθερμη παραμονή και τέλος βραδεία απόψυξη στον φούρνο. Για υπereυτηκτοειδή χάλυβα γίνεται θέρμανση για ωστενιτοποίηση σε T μεγαλύτερη κατά $30\text{-}50^{\circ}\text{C}$ πάνω από τους 727°C μετά ισόθερμη παραμονή και τέλος βραδεία απόψυξη στον φούρνο. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες και σε περισσότερο χρόνο αυξάνει το μέγεθος του κόκκου. Η πλήρης ανόπτηση γίνεται όταν θέλουμε να ανακτήσουμε ιδιότητες μετά από θερμικές ή μηχανουργικές κατεργασίες όπως ολκιμότητα (δυσθραυστότητα), ειδική μικροδομή, ανακούφιση τάσεων και ομοιογένεια λόγω αργής ψύξης.

➤ Ανόπτηση για εξομάλυνση (normalising)

Για υποευτηκτοειδής χάλυβας και υπereυτηκτοειδής χάλυβας γίνεται θέρμανση για πλήρη ωστενιτοποίηση σε T μεγαλύτερη κατά $55\text{-}85^{\circ}\text{C}$ πάνω από την A_3 ή A_{cm} αντίστοιχα και ισόθερμη παραμονή και τέλος απόψυξη στον αέρα (ήρεμο). Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες και σε περισσότερο χρόνο αυξάνει το μέγεθος του κόκκου. Η ανόπτηση για εξομάλυνση γίνεται όταν θέλουμε ομοιομορφία μικροδομής (μετά από έλαση, χύτευση, σφυρηλασία), λεπτότερη μικροδομή, ανακούφιση τάσεων και αύξηση της κατεργασιμότητας.

➤ Αποτακτική ανόπτηση (ανακούφιση τάσεων) (process anneal)

Γίνεται συνήθως σε χάλυβες μετά από ψυχρηλασία ή μετά από έντονες μηχανουργικές κατεργασίες. Αρχικά γίνεται θέρμανση και ισόθερμη παραμονή σε $T \approx 550\text{-}650^{\circ}\text{C}$

μικρότερη των 727°C και τέλος αργή ψύξη στον φούρνο. Η διαδικασία αυτή γίνεται όταν θέλουμε ανακούφιση τάσεων μετά από ψυξηλασία, συγκόλληση, χύτευση, διαμόρφωση εν θερμώ και έντονη κατεργασία κοπής.

➤ Ανόπτηση σφαιροποίησης σεμεντίτη (spheroidising)

Γίνεται θέρμανση σε $T\ 650\text{-}700^{\circ}\text{C}$ και ισόθερμη παραμονή για αρκετό χρόνο και τέλος απόψυξη στον αέρα (ήρεμο). Η ανόπτηση με σφαιροποίηση σεμεντίτη γίνεται όταν θέλουμε σε υπερευθηκτοειδή χάλυβα να μην έχουμε συνεχή δομή Fe_3C και σε υποευθηκτοειδή χάλυβα πριν από μηχανουργική κατεργασία (αύξηση ολκιμότητας)

➤ Η ανόπτηση κατεργασίας

Εφαρμόζεται με στόχο την αναίρεση των επιπτώσεων της ψυχρής κατεργασίας για να αυξηθεί η ολκιμότητα του μετάλλου, το οποίο έχει υποστεί σκλήρυνση με ενδοτράχυνση. Κατά τη διάρκεια αυτής της κατεργασίας, είναι δυνατόν να συμβούν αποκατάσταση και ανακρυστάλλωση και εφόσον σταματήσει πριν υπάρξει σημαντική μεγέθυνση των κόκκων, μπορεί να έχει λεπτοκρυσταλλική δομή.

➤ Η ανόπτηση ανακρυστάλλωσης

Γίνεται με θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία υψηλότερη της θερμοκρασίας ανακρυστάλλωσης, εντός της φερριτικής περιοχής ($650\text{-}750^{\circ}\text{C}$) μετά συμβαίνει ελεγχόμενη απόψυξη. Κατά τη διαδικασία αυτή δε λαμβάνει χώρα κάποιος μετασχηματισμός φάσης και στόχος της είναι η εξάλειψη του ιστού της ενδοτράχυνσης, ο οποίος έχει προέλθει από την εν ψυχρώ κατεργασία του χάλυβα, όπως είναι για παράδειγμα η ψυχρή έλαση.

Κατεργασίες σκλήρυνσης, που οδηγούν σε μετασταθείς δομές (εκτός ισορροπίας).

➤ Μαρτενσιτική βαφή

Η απότομη ψύξη του χάλυβα, που είναι γνωστή ως «βαφή», προκαλεί τον μαρτενσιτικό μετατοπιστικό μετασχηματισμό: τα άτομα του άνθρακα δεν προλαβαίνουν να μετακινηθούν από τις οκταεδρικές θέσεις του ωστενιτικού πλέγματος. Το πλέγμα μετασχηματίζεται από κυβικό εδροκεντρωμένο ($\gamma\text{-Fe}$) σε τετραγωνικό χωροκεντρωμένο, στο κέντρο του οποίου βρίσκεται ο άνθρακα.

Η παρουσία του άνθρακα σε οκταεδρικές θέσεις παρεμβολής προκαλεί ασύμμετρη παραμόρφωση στο κρυσταλλικό πλέγμα. Οι λωρίδες και τα πλακίδια του μαρτενσίτη έχουν πολύ μικρό μέγεθος σε σύγκριση με τους μητρικούς κόκκους του ωστενίτη, με συνέπεια την σημαντική αύξηση της σκληρότητας του χάλυβα. Επίσης, τα πολλά νέα όρια

στην μικροδομή του μαρτενσίτη εμποδίζουν την μετακίνηση των διαταραχών και συμβάλλουν έτσι στην αύξηση της σκληρότητας του χάλυβα.

Η βαφή του χάλυβα προκαλεί συχνά παραμορφώσεις και μικρορωγματώσεις λόγω συσσώρευσης τοπικών τάσεων. Ο βαμμένος χάλυβας γίνεται ψαθυρός από τον περιεχόμενο μαρτενσίτη, και αυτό μπορεί να κάνει το υλικό ακατάλληλο για πολλές εφαρμογές.

➤ Επαναφορά

Μετά την κατεργασία της βαφής συνήθως συνοδεύεται από επαναφορά σε θερμοκρασίες 150–650°C, ώστε να γίνει και πάλι ο χάλυβας όλκιμος με μικρή μείωση της σκληρότητάς του.

Η ωστενιτοποίηση είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει τη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία υψηλότερη κατά 50°C περίπου της υψηλότερης κρίσιμης θερμοκρασίας η οποία οριοθετείται από την καμπύλη Ac₃. Η θερμοκρασία ωστενιτοποίησης είναι μεταξύ 830-900°C για υποευτηκτοειδείς χάλυβες. Αναφορικά με τους υπereυτηκτοειδείς χάλυβες, η θερμοκρασία ωστενιτοποίησης είναι 750-780°C. Σε υψηλά κραματοποιημένους χάλυβες η θέρμανση μπορεί να σταματήσει στους 1000-1100°C. Κατά τη διαδικασία της ωστενιτοποίησης είναι πολύ σημαντικός ο έλεγχος του χρόνου που παραμένει ένα μέταλλο στη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης, καθώς η παρατεταμένη παραμονή σε αυτή, οδηγεί σε ανεπιθύμητα μεγεθυμένους κόκκους ωστενίτη. Επιπλέον, πρέπει να δίνεται προσοχή στο ρυθμό θέρμανσης ώστε να αποφεύγονται θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις στη διατομή του χαλύβδινου αντικειμένου, οι οποίες οδηγούν σε πλαστικές παραμορφώσεις του ωστενίτη. Σημειώνεται ακόμη ότι κατά την ωστενιτοποίηση πραγματοποιείται παράλληλα και διαλυτοποίηση των καρβιδίων των κραματικών στοιχείων που περιέχει ο χάλυβας. Μετά την ωστενιτοποίηση ακολουθεί η βαφή του χάλυβα. Η βαφή (quenching) είναι η διαδικασία ταχύτατης απόψυξης ενός ωστενιτοποιημένου χάλυβα, που οδηγεί στη λήψη φάσεων εκτός ισορροπίας. Η διαδικασία αυτή συχνά χρησιμοποιείται για την σκλήρυνση των χαλύβων, μέσω της δημιουργίας μπαινίτη ή μαρτενσίτη. Σε αυτήν την περίπτωση ο χάλυβας ψύχεται ακαριαία μέσω του ευτηκτοειδούς σημείου στην θερμοκρασία στην οποία ο ωστενίτης γίνεται ασταθής. Σε κράματα χάλυβα με κραματικά στοιχεία όπως το νικέλιο και το μαγγάνιο, η ευτηκτοειδής θερμοκρασία μειώνεται επιτρέποντας στη βαφή να ξεκινήσει σε μία χαμηλότερη θερμοκρασία, κάνοντας έτσι τη διαδικασία πολύ πιο εύκολη, ωστόσο οι κινητικοί περιορισμοί του μετασχηματισμού φάσης παραμένουν οι ίδιοι. [32,35]

3.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ [35,36,40]

Οι χάλυβες είναι μια κατηγορία μεταλλικών υλικών που συναντάμε σε πολλές εφαρμογές όπως κτήρια και υποδομές, μηχανικό εξοπλισμό, στην αυτοκινητοβιομηχανία, σε προϊόντα μετάλλων, σε διάφορες οικιακές συσκευές και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Οι κατασκευαστές των χαλύβων αντιμετωπίζουν την πρόκληση να κατασκευάσουν υλικά χρήσιμα και οικονομικά. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα των χαλύβων και ο τρόπος και ο ρυθμός ψύξης τους έχει μεγάλη επίδραση στη μικροδομή και έτσι και στην σκληρότητα και την αντοχή των χαλύβων. Για τους ναυπηγικούς χάλυβες, για παράδειγμα, μετά την διαδικασία της εξέλασης που γίνεται εν θερμώ και μετά από όποια άλλη θερμική επεξεργασία η απόψυξη γίνεται στον αέρα. Κατά τις πρώτες δεκαετίες χρήσης των ναυπηγικών χαλύβων η επιλογή γινόταν με βάση την αντοχή τους, η οποία ορίζεται με βάση το όριο διαρροής ή τη τάση θραύσης. Μεγάλη σημασία για την επιλογή του κατάλληλου χάλυβα είχε και η αντίσταση του στη διάδοση ρωγμών, ανάγκη που δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, εξαιτίας των αναφορών που υπήρξαν για 200 περιπτώσεις πλοίων περίπου που υπέστησαν σοβαρές θραύσεις. Εκείνη την περίοδο βέβαια οι περισσότερες αστοχίες οφείλονταν σε σχεδιαστικά λάθη ή λάθος συγκολλήσεις. Από την ανάγκη αυτή δημιουργήθηκαν νέοι τύποι χαλύβων άνθρακα-μαγγανίου που είχαν καλύτερη αντοχή σε ψαθυρή θραύση. Ένας ακόμη λόγος για την δημιουργία τέτοιων χαλύβων ήταν η ανάγκη κατασκευής υποβρυχίων κατά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο. Χάλυβες υψηλής τάσης θραύσης (high-tensile strength, HTS steel) με όριο διαρροής 350 MPa, αντικατέστησαν τους μαλακούς χάλυβες με όριο διαρροής 225 MPa κατά τη δεκαετία του '40. Μετά άρχισε να γίνεται χρήση του χάλυβα HY-80 με όριο διαρροής 560 MPa και επακολούθησαν και άλλοι τύποι όπως HY100 και HY-130 με όρια διαρροής 690 MPa και 900 MPa αντίστοιχα.

Η χρήση των χαλύβων στην αυτοκινητοβιομηχανία, η οποία απαιτεί υλικά χαμηλού βάρους για καλύτερη αποδοτικότητα των καυσίμων και υψηλή αντοχή για να μην υπάρχει ρίσκο ως προς την ασφάλεια έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη και βελτίωση μιας νέας κατηγορίας χαλύβων που ονομάζεται AHSS (Advanced High Strength Steels). Αυτή παρουσιάζει καλή διαμορφωσιμότητα ενώ συγχρόνως διαθέτει πολύ καλές μηχανικές αντοχές με όριο διαρροής μεγαλύτερο των 300MPa και απόλυτο όριο θραύσης μεγαλύτερο των 700MPa. Στην οικογένεια αυτή περιλαμβάνονται διφασικοί χάλυβες, οι transformation induced plasticity (TRIP), οι complex phase (CP) και οι μερικώς μαρτενσιτικοί (Partly Martensitic -PM) χάλυβες. Όλοι αυτοί οι χάλυβες, οι οποίοι αποτελούνται από πολλές

φάσεις, πετυχαίνουν τις μηχανικές τους ιδιότητες μέσω προσεχτικού σχεδιασμού των ποσοστών των περιεχόμενων φάσεων, οι οποίες είναι φερρίτης, μπαινίτης, μαρτενσίτης, καθώς και ωστενίτης.

Αυτές οι μικροδομές για να επιτευχθούν απαιτούνται έντονα ενεργοβόρες θερμομηχανικές κατεργασίες σε συνδυασμό με κραματικές προσθήκες υψηλού κόστους. Είναι πολύ σημαντική η μελέτη αυτής της κατηγορίας χαλύβων αφού υπάρχει μεγάλη τάση για τον σχεδιασμό κατάλληλων κατεργασιών για την παραγωγή χαλύβων Advanced High Strength Steels (AHSS). Πιο συγκεκριμένα πρόσφατα παρήχθησαν με μεγάλης διάρκειας ισοθερμοκρασιακές κατεργασίες υψηλής αντοχής μπαινιτικοί χάλυβες, με ιδιαίτερα εκλεπτυσμένο μπαινίτη, αποτελούμενο από φιλμ ωστενίτη διασκορπισμένο στον νανο-μπαινιτικό φερρίτη δίνοντας εξαιρετικές ιδιότητες. Ωστόσο, το κόστος καθιστά απαγορευτική τη βιομηχανική εφαρμογή αυτής της διαδικασίας. Έρευνες έδειξαν την επίδραση των κατακρημνισμάτων, τα οποία δρουν ως ταμειυτήρες συγκεκριμένων κραματικών στοιχείων εξυπηρετώντας συγκεκριμένους μετασχηματισμούς φάσης και οδηγώντας σε πολυφασικές μικροδομές. Ωστόσο, και πάλι απαιτούνται μακράς διάρκειας θερμικές κατεργασίες.

Μια πολύ σύντομη χρονικά θερμική κατεργασία που ονομάζεται "Flash Processing", με συνολικό χρόνο κατεργασίας τα 10s-20s, αποδίδει χάλυβα με εξαιρετικό συνδυασμό ιδιοτήτων ($YS > 1200 \text{ Mpa}$, $TS > 1500 \text{ MPa}$, ολκιμότητα $> 7\%$).

3.8 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ [1,19,21,22,23,32,39,40,44]

Η αντιδιαβρωτική προστασία μίας μεταλλικής κατασκευής αρχίζει από τον σχεδιασμό της. Ο σχεδιασμός πρέπει να φροντίζει ώστε οι παράγοντες που ευνοούν την διάβρωση να έχουν ελαχιστοποιηθεί. Τα μέτρα προστασίας που θα ληφθούν εξαρτώνται από το είδος του μετάλλου ή του κράματος και το περιβάλλον. Πριν την εφαρμογή οποιασδήποτε μορφής προστασίας χρειάζεται να γίνει καλός καθαρισμός της επιφάνειας του μετάλλου για να απομακρυνθούν ουσίες που μπορεί να ελαττώσουν τη συνάφεια του χάλυβα με την αντιδιαβρωτική επικάλυψη. Ο καθαρισμός της επιφάνειας μπορεί να γίνει με χημικό (εμβάπτιση σε λουτρό) ή με μηχανικό (γυαλόχαρτο, αμμοβολή κ.α.) τρόπο. Πρέπει να ακολουθήσει άμεσα η βαφή γιατί η επιφάνεια του χάλυβα μετά τον καθαρισμό είναι ευαίσθητη στη διάβρωση.

Επιψευδαργύρωση : γίνεται με εμβάπτιση του χάλυβα σε λουτρό λειωμένου ψευδαργύρου με στόχο τη δημιουργία προστατευτικού στρώματος. Αν η διαδικασία γίνει με αστάρι που περιέχει σκόνη ψευδαργύρου η διαδικασία λέγεται ψυχρό γαλβάνισμα.

Η άλλη μέθοδος προστασίας είναι με οργανικές επικαλύψεις : Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός χεριού χρώματος, που ονομάζεται αστάρι ή πράιμερ. Έπειτα, εφαρμόζονται δύο χέρια χρώματος. Όταν το αστάρι περιέχει σκόνη ψευδαργύρου είναι ψυχρό γαλβάνισμα όπως αναφέραμε και σε αυτή την περίπτωση 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 επιβάλλεται να είναι ιδιαίτερα επιμελημένη. [32]

Τα χρώματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στα χρώματα ενός συστατικού που βρίσκονται σε ένα δοχείο και μπορεί να αραιωθούν με το κατάλληλο διαλυτικό το οποίο εξατμίζεται αφήνοντας ένα στρώμα προστασίας στο υλικό. Και στα χρώματα δύο συστατικών που βρίσκονται σε δύο δοχεία, ένα με το χρώμα και ένα με το σκληρυντή. Για να δημιουργηθεί το στρώμα πρέπει να αναμειχθεί το περιεχόμενο των δύο δοχείων και ο σχηματισμός του στρώματος γίνεται με χημική αντίδραση.

Τα χρώματα δύο συστατικών έχουν καλύτερη αντίσταση στη διάβρωση. [32]

Η αντιδιαβρωτική προστασία έχει ως στόχο τη μείωση της ταχύτητας διάβρωσης. Οι κυριότεροι μέθοδοι προστασίας που στοχεύουν στη μείωση της ταχύτητας διάβρωσης είναι τροποποιήσεις του μετάλλου, γίνεται επεξεργασία ή προσθήκες στο μέταλλο με σκοπό να το παθητικοποιήσουν ή να μειώσουν τις κρυσταλλικές του ατέλειες. Τροποποιήσεις του περιβάλλοντος όπως απομάκρυνση του οξυγόνου ή των οξειδωτικών από το νερό, την απομάκρυνση των οξέων με εξουδετέρωση, ελάττωση της θερμοκρασίας, ελάττωση της σχετικής υγρασίας του αέρα, απομάκρυνση του νερού από τον αέρα με αφύγρανση, απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων από τον αέρα ή το νερό, απομάκρυνση των αλάτων με ιοντοεναλλαγή και με χρήση αναστολέων διάβρωσης.

Οι αναστολείς διάβρωσης είναι χημικές ενώσεις που προστίθενται και έχουν ως στόχο την επιβράδυνση του ρυθμού διάβρωσης. Οι αναστολείς παρεμποδίζουν είτε την ανοδική είτε τη καθοδική δράση ή και τις δύο. Πολλοί αναστολείς διάβρωσης είναι οργανικοί και η λειτουργία τους στηρίζεται στην δημιουργία ενός αδιάβροχου και μη διαπερατού φιλμ στην επιφάνεια του μετάλλου, είτε με την παρεμπόδιση της ανοδικής, είτε της καθοδικής αντίδρασης. Ανάλογα με τη δράση του οι αναστολείς χωρίζονται σε ανοδικούς,

καθοδικούς, οργανικούς μεικτούς, αναστολείς φάσης ατμού και οξειδωτικοί αναστολείς διάβρωσης.

Τροποποιήσεις του ηλεκτροδιακού δυναμικού μετάλλου – περιβάλλοντος που γίνεται με ανοδική προστασία, καθοδική προστασία, χρήση επιστρωμάτων και συνδυασμό καθοδικής προστασίας και μονωτικού επιστρώματος. Η καθοδική προστασία γίνεται με θυσιαζόμενες ανόδους και με επιβαλλόμενα εξωτερικά ρεύματα.

Στην ανοδική προστασία εφαρμόζεται ανοδικό ρεύμα που μειώνει τη ταχύτητα διάβρωσης μέσω παθητικοποίησης του μετάλλου. Η χρήση επιστρωμάτων, διαχωρίζει το μέταλλο από το περιβάλλον, αυξάνει την ηλεκτρική του αντίσταση ή μεταβάλλει την ανοδική ή καθοδική του πόλωση. Η ικανότητα των επιστρωμάτων να προστατεύουν το μέταλλο εξαρτάται από το πάχος του, τις ιδιότητες του και την πρόσφυση του στο υπόστρωμα. Τα επιστρώματα μπορούν να είναι μεταλλικά, μη μεταλλικά ανόργανα και οργανικά.

Συνήθως ο συνδυασμός της καθοδικής προστασίας με το μονωτικό επίστρωμα (για παράδειγμα χρώμα) είναι αποτελεσματικός, γιατί το προστατευτικό ρεύμα αφορά μόνο στις ατέλειες του επιστρώματος και έτσι είναι μικρότερο από ότι στο μέταλλο χωρίς επίστρωμα. Ο συνδυασμός αυτός είναι επίσης και οικονομικός, γιατί μικρές ατέλειες του επιστρώματος μπορεί να είναι ανεκτές, ενώ χωρίς την καθοδική προστασία θα έπρεπε το επίστρωμα να είναι απόλυτα πυκνό για να είναι προστατευτικό.

Τροποποιήσεις της παραγωγικής διαδικασίας που αφορούν την επέμβαση κατά τη διαδικασία παραγωγής των μεταλλικών υλικών. Σε αυτό το στάδιο μπορούμε να επέμβουμε στις ιδιότητες του υλικού επηρεάζοντας τη μικροδομή του μετάλλου ή τις παραμένουσες τάσεις κ.α.

Οι παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή της μεθόδου προστασίας είναι η ηλικία της κατασκευής, η μέση ετήσια διακύμανση της σχετικής υγρασίας στην περιοχή, η ταχύτητα φθοράς της κατασκευής, οι λειτουργικές απαιτήσεις του υλικού, ο αναμενόμενος χρηστικός χρόνος ζωής του, ο σκοπός μελλοντικής χρήσης της κατασκευής και το κόστος εφαρμογής της μεθόδου. [19,32,41]

- Για την προστασία από την ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση συνήθως χρησιμοποιούνται αναστολείς. Είναι χημικές οξειδωτικές ουσίες που επηρεάζουν την ταχύτητα της διάβρωσης. Ανοδικοί αναστολείς δημιουργούν ένα λεπτό προστατευτικό στρώμα στα ανοδικά σημεία του μετάλλου, αυξάνοντας το ανοδικό δυναμικό και επιβραδύνοντας την αντίδραση διάβρωσης. Ως ανοδικοί αναστολείς χρησιμοποιούνται ενώσεις μολυβδαίνιου, χρωμίου και αζώτου ή ορθοφωσφορικές ή πολυφωσφορικές

ενώσεις. Καθοδικοί αναστολείς είναι λιγότερο αποτελεσματικοί από τους ανοδικούς. Το προστατευτικό στρώμα δημιουργείται στα καθοδικά σημεία του μετάλλου το οποίο πολώνει το μέταλλο και περιορίζει έτσι την πρόσβαση του διαλυμένου οξυγόνου στην επιφάνεια του μετάλλου. Ως καθοδικοί αναστολείς χρησιμοποιούνται υδροξείδιο του ψευδαργύρου, φωσφορικός ψευδάργυρος, ανθρακικό ασβέστιο και φωσφορικό ασβέστιο.

Οργανικοί αναστολείς είναι ενώσεις που χαρακτηρίζονται από μεγάλα μοριακά και είναι συνήθως πολικές. Δημιουργούν υδρόφοβο στρώμα στην επιφάνεια του μετάλλου και έτσι το προστατεύουν. Τέτοιες ουσίες είναι φωσφορούχοι εστέρες και phosphonates. Ανόργανοι αναστολείς όπως τα άλατα ορισμένων μετάλλων. Τέτοιες ουσίες είναι τα χρωμικά άλατα, τα άλατα ψευδαργύρου, σύμπλοκα μολυβδαινίου, φωσφορικά άλατα, νιτρικά άλατα και σύμπλοκα θεικών αλάτων.

Οι ιζηματοποιοί αναστολείς είναι σύμπλοκες ενώσεις που προστατεύουν την επιφάνεια δημιουργώντας ένα στρώμα πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου απενεργοποιώντας έμμεσα τα ανοδικά και καθοδικά σημεία.

Πτητικοί αναστολείς είναι σύμπλοκες ενώσεις που μετακινούνται στο μέταλλο που θα προστατεύσουν με εξάτμιση ή εξαέρωση.

- Για την προστασία από τη γαλβανική διάβρωση πρέπει να χρησιμοποιούνται κράματα που είναι γειτονικά στις γαλβανικές σειρές και έτσι μειώνεται η πιθανότητα γαλβανικής διάβρωσης για όσο οι χάλυβες μένουν παθητικοποιημένοι. Με τη χρήση μονωτικού υλικού πχ ελαστικές φλάντζες που θα αποτρέψει την επαφή μεταξύ των δύο κραμάτων. Με καθοδική προστασία που μετατρέπει τις ενεργές ανοδικές θέσεις σε παθητικές καθοδικές θέσεις με τη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από μια δευτερεύουσα πηγή. Με θυσιαζόμενη επίστρωση όπου ένα στρώμα χρώματος καλύπτει την επιφάνεια του μετάλλου και διαβρώνεται το ίδιο αντί το μέταλλο. Σύνδεση μεγάλης επιφάνειας ανόδου με μικρή επιφάνεια καθόδου για να επιβραδύνουμε το ρυθμό διάβρωσης της ανόδου.
- Για την προστασία από την περικρυσταλλική διάβρωση είναι η αποφυγή της ευαισθητοποίησης που στην περίπτωση των ωστενιτικών χάλυβων επιτυγχάνεται με ανόπτηση του χάλυβα σε θερμοκρασία 1050-1120°C, ώστε να διαλυθούν τα καρβίδια και ακολούθως ταχεία απόψυξη, όπου είναι εφικτό για να μην μπορέσουν τα καρβίδια του χρωμίου να φτάσουν στα όρια των κόκκων. Στις περιπτώσεις που η ταχύτητα ψύξης σε μπορεί να ελεγχθεί προστίθεται στο χάλυβα τιτάνιο ή νιόβιο με σκοπό να

σχηματίσουν καρβίδια. Για τους φερριτικούς χάλυβες η ευαισθητοποίηση επιτυγχάνεται με ανόπτηση στους 600-925°C για 10-60 min για να διαχυθεί το χρώμιο από τα όρια των κόκκων στις περιφερειακές ζώνες των κόκκων. Προσθήκη τιτανίου και νιοβίου για να σχηματίσουν πιο εύκολα καρβίδια και νιτρίδια από ότι το χρώμιο και η επιλογή χαλύβων με χαμηλότερο ποσοστό άνθρακα και αζώτου.

- Για την προστασία από τη διάβρωση οπών και χαραγών περιλαμβάνουν για προστασία από διάβρωση οπών :την προσθήκη αναστολέων όπως NaNO_3 , NaOH και Na_2CO_3 , τη μείωση της συγκέντρωσης οξυγόνου σε χλωριούχα περιβάλλοντα, τη καθοδική προστασία σε δυναμικά μικρότερα του δυναμικού οπών, την αποφυγή στάσιμων διαλυμάτων και τον πολύ καλό καθαρισμό της επιφάνειας για την απομάκρυνση εγκλεισμάτων σουλφιδίων με τη τεχνική NAP. Για την προστασία από τη διάβρωση χαραγών πρέπει να γίνεται ο κατάλληλος σχεδιασμός και η καθοδική προστασία στο δυναμικό του ενεργού μετάλλου στη χαραγή.
- Για την προστασία από εργοδιάβρωση τα μέτρα περιλαμβάνουν την εισαγωγή συμπιεστικών τάσεων στην επιφάνεια του μετάλλου, την αποτατική ανόπτηση σε θερμοκρασίες κάτω από τη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης, κατάλληλο σχεδιασμό, επιλογή κατάλληλου υλικού, προσθήκη αναστολέα και η αποφυγή ευαισθητοποιημένων χαλύβων.
- Για την προστασία από την διάβρωση με κόπωση γίνεται η επιλογή των κατάλληλων κραμάτων από πίνακες που παρουσιάζουν την επιδεκτικότητα σε εργοδιάβρωση ανάλογα με το περιβάλλον, εφαρμογή συμπιεστικών τάσεων ή ανακούφιση από τις παραμένουσες τάσεις με ανόπτηση, κατάλληλος σχεδιασμός , προσθήκη αναστολέων, εφαρμογές επικαλύψεων και εφαρμογή καθοδικής προστασίας.
- Για την προστασία από διάβρωση υψηλών θερμοκρασιών γίνεται έλεγχος της θερμοκρασίας, η καλή πρόσφυση του επιφανειακού οξειδίου και η δυσθραυστότητα του καθορίζουν την αντίσταση του μετάλλου στη διάβρωση υψηλών θερμοκρασιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΘΑΛΑΜΟΣ ΑΛΑΤΟΝΕΦΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

4.1 ΘΑΛΑΜΟΣ ΑΛΑΤΟΝΕΦΩΣΗΣ [7,54,55]

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν πειράματα διάβρωσης σε μεταλλικά υλικά καγκελαρίας σε θάλαμο αλατονέφωσης. Τα δείγματα που έχουν σταλεί από Κρήτη έχουν υποστεί διαφορετική κατεργασία και έχουν διαφορετικές επικαλύψεις το κάθε ένα. Ο στόχος είναι να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για την συμπεριφορά των υλικών αυτών απέναντι στη διάβρωση και πώς επηρεάζεται η αντίσταση στη διάβρωση από τις διαφορετικές κατεργασίες και επικαλύψεις.

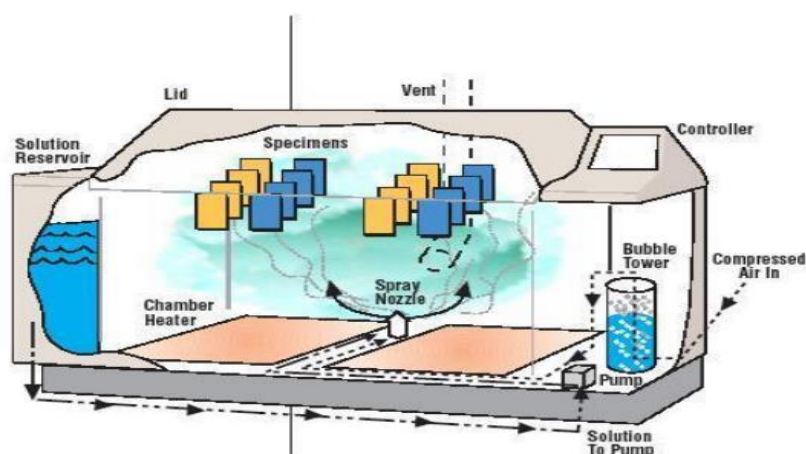
Ο θάλαμος αλατονέφωσης προσομοιάζει τις συνθήκες σε θαλάσσιο περιβάλλον άλλα με ταχύτερο ρυθμό. Το θαλασσινό νερό αποτελεί ένα φυσικό διαβρωτικό μέσω. Η διαβρωτική δράση του θαλασσινού νερού οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα αλάτων, στο διαλυμένο σε αυτό οξυγόνο αλλά και στην ύπαρξη μικροοργανισμών που είτε παράγουν με το μεταβολισμό τους αποαθητικοποιητικά ιόντα, είτε καταλύουν ηλεκτροχημικές αντιδράσεις. Γίνεται διάκριση ανάμεσα στο θαλασσινό νερό απ' το γλυκό νερό εξαιτίας της αυξημένης σε αυτό περιεκτικότητας σε άλατα, τα οποία δίνουν μεγαλύτερη αγωγιμότητα και γιατί είναι ρυπασμένο από διάφορες χημικές ή μη ουσίες και από μικροοργανισμούς. Ο λόγος O_2/N_2 είναι μεγαλύτερος από ότι στον αέρα. Η παρουσία διαλυμένου οξυγόνου όταν πρόκειται για υγρό περιβάλλον είναι ένας παράγοντας που επιβάλλει την απαέρωση για την απομάκρυνση του οξυγόνου κυρίως σε περιβάλλοντα όπου μπορούμε να επέμβουμε, για να μειώσουμε τη ταχύτητα διάβρωσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις το οξυγόνο δρα ανασταλτικά, όπως στην περίπτωση των χαλύβων και του τιτανίου, που τα παθητικοποιεί.

Η συσκευή αλατονέφωσης δεν μετρά κάποιο συγκεκριμένο φυσικό μέγεθος που σχετίζεται με τη διάβρωση. Στο κλειστό θάλαμο που πραγματοποιούνται τα πειράματα, δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες οι οποίες ρυθμίζονται από το χειριστή για επιτευχθεί η διάβρωση των δοκιμίων. Συνήθως επιδιώκεται οι πειραματικές συνθήκες να προσομοιάζουν τις επιπτώσεις των πραγματικών συνθηκών και ταυτόχρονα αύξηση του ρυθμού διάβρωσης. Οι κατάλληλες συνθήκες επιτυγχάνονται με τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και τον ψεκασμό του κατάλληλου διαβρωτικού μέσου μέσα στο θάλαμο πειραμάτων.

Ο θάλαμος έχει ορθογωνική διατομή και το μέγεθος της διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή. Είναι κατασκευασμένος συνήθως από κατάλληλο πολυμερές, ενώ το επάνω μέρος του κλείνει με κατάλληλο κινητό κάλυμμα που εφαρμόζει ακριβώς και σφραγίζει αεροστεγώς όλη τη διάμετρο του θαλάμου. Το σφράγισμα είναι αναγκαίο για την αποφυγή της διαρροής του διαβρωτικού μέσου στο περιβάλλον της συσκευής. Για να αποφευχθούν ζημιές λόγω διάβρωσης στα μεταλλικά τμήματα της συσκευής κανένα μεταλλικό κομμάτι δεν είναι εκτεθειμένο στον θάλαμο πειραμάτων. Ο θάλαμος πειραμάτων είναι εφοδιασμένος με:

- Κατάλληλα στηρίγματα για την τοποθέτηση των δοκιμίων, όπως ράβδους στις οποίες μπορούν να αναρτηθούν ή βάσεις διαφορετικού σχήματος ανάλογα με τη γεωμετρία του κάθε δοκιμίου.
- Μια οπή στον πυθμένα του θαλάμου από την οποία γίνεται η εκκένωση του νερού που συσσωρεύεται από την υγραποίηση των υδρατμών και τη συνένωση σταγονιδίων του διαβρωτικού μέσου κατά τη λειτουργία του.
- Κατάλληλη διάταξη για τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του. Για το σκοπό αυτό, το πλευρικό τοίχωμα του θαλάμου είναι διπλό. Η θερμοκρασία ελέγχεται είτε με τη τοποθέτηση ηλεκτρικής αντίστασης στο διάκενο είτε με τη χρήση θερμομέτρου.

Στο Σχήμα 4.1 δίνεται η σχηματική απεικόνιση του θαλάμου αλατονέφωσης και του τρόπου ψεκασμού των δοκιμίων και στο Σχήμα 4.2 είναι φωτογραφία από τον εργαστηριακό εξοπλισμό του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης των Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Φαίνεται ο θάλαμος αλατονέφωσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.



Σχήμα 4.1 Εσωτερικό θαλάμου αλατονέφωσης και διάταξη δοκιμών [15]



Σχήμα 4.2 Φωτογραφία της συσκευής αλατονέφωσης του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Το σύστημα αποθήκευσης τροφοδοσίας και εκνέφωσης του διαβρωτικού μέσου περιλαμβάνει τη κατάλληλη δεξαμενή που είναι αποθηκευμένο το διάλυμα NaCl.

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας της αλατονέφωσης, ο θάλαμος λειτουργεί ως συμβατική διάταξη αλατονέφωσης:

- Ο συμπιεσμένος αέρας υγροποιείται περνώντας από τη στήλη φυσαλίδων (bubble tower) κατά τη διαδρομή του προς το ακροφύσιο ψεκασμού.
- Διαβρωτικό διάλυμα αντλείται από την εσωτερική δεξαμενή (reservoir) στο ακροφύσιο ψεκασμού, όπου αναμιγνύεται με το συμπιεσμένο αέρα.

- Το ακροφύσιο ψεκασμού ατμοποιεί το διάλυμα και τον αέρα, δημιουργώντας νέφος διάβρωσης.
- Οι θερμοστάτες του θαλάμου (chamber heaters) διατηρούν την προγραμματισμένη θερμοκρασία του θαλάμου.

Η διεξαγωγή των πειραμάτων αλατονέφωσης ακολουθεί το πρότυπο ASTM B117. Η συσκευή είναι η Vötsch SC450. Τα προς διάβρωση δοκίμια τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις και γωνίες εντός του θαλάμου. Η συγκέντρωση του διαλύματος NaCl που ψεκάζεται εντός του θαλάμου είναι 5% σε 40 λίτρα H₂O διαλύσαμε 2Kg NaCl. Το pH του διαλύματος πρέπει να κυμαίνεται από 6.5 έως 7.2 για θερμοκρασία 35°C. Η παραμονή εντός του θαλάμου κυμαίνεται από ημέρες έως και εβδομάδες. Μετά το πέρας των 100 ημερών τα δοκίμια απομακρύνθηκαν από το θάλαμο ανεξάρτητα από την κατάσταση στην οποία βρίσκονταν. [15,55]

4.2 ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΑΛΑΤΟΝΕΦΩΣΗ

Στον Πίνακα 4.1 πιο πάνω δίνεται ο τύπος μετάλλου κάθε δείγματος καθώς και οι κατεργασίες και οι επικαλύψεις που έχει υποστεί πριν την τοποθέτηση του στο θάλαμο αλατονέφωσης.[56]

Πίνακας 4.1 Δείγματα και κατεργασία που έχει υποστεί το κάθε δείγμα

Διακριτικό πλακιδίων				*	
α/α	Τύπος μετάλλου	Διαμόρφωση στους 1000°C	Αμμοβολή	Στοκαρίσματα, αντισκωριακή προστασία και χρωματισμός	Στοκαρίσματα, αντισκωριακή προστασία και χρωματισμός
1	St37 dcp	Όχι	Όχι	Gridox	Μίνιο
2	St37 dcp	Όχι	Όχι	Paramatti	Alcea
3	St37 dcp	Όχι	Όχι	Gridox & Paramatti	Gridox & Alcea
4	St37 dcp	Όχι	Ναι	Gridox	Μίνιο
5	St37 dcp	Όχι	Ναι	Gridox & Paramatti	Gridox & Alcea
7	St37 dcp	Όχι	Ναι	Paramatti	Alcea

Διακριτικό πλακιδίων				*	
α/α	Τύπος μετάλλου	Διαμόρφωση στους 1000°C	Αμμοβολή	Στοκαρίσματα, αντισκωριακή προστασία και χρωματισμός	Στοκαρίσματα, αντισκωριακή προστασία και χρωματισμός
8	St37 dcp	Όχι	Ναι	Γομωτής & Paramatti	Γομωτής & Alcea
10	St37 dcp	Όχι	Ναι	Γομωτής & Gridox	Γομωτής & Μίνιο
11	St37 dcp	Όχι	Ναι	Γομωτής & Gridox & Paramatti	Γομωτής & Gridox & Alcea
12	Stainless Steel 316	Όχι	Ναι	Gridox & Paramatti	Paramatti
13	Stainless Steel 304	Όχι	Ναι	Gridox & Paramatti	Paramatti
14	Stainless Steel 304	Όχι	Ναι	Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση & επίπεδη	Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση & σφυρηλάτηση
15	Stainless Steel 304	Όχι	Ναι	Σιδηρόστοκος & Gridox&Paramatti	Σιδηρόστοκος & Gridox&Paramatti
21	Stainless Steel 304	Όχι	Όχι	Ημιτραχύς	Ημιτραχύς
22	St37 με καλαμίνια	Όχι	Όχι	Gridox&Paramatti	Gridox&Paramatti
23	Stainless Steel 304	Ναι	Ναι	Gridox & Paramatti	Gridox & Paramatti
24	Stainless Steel 304	Ναι	Ναι	Πολυεστερικός στόκος & Gridox&Paramatti	Πολυεστερικός στόκος & Gridox&Paramatti
25	Stainless Steel 304	Ναι	Ναι	Αρμόκολλα & Gridox&Paramatti	Αρμόκολλα & Gridox&Paramatti

Διακριτικό πλακιδίων				*	
α/α	Τύπος μετάλλου	Διαμόρφωση στους 1000°C	Αμμοβολή	Στοκαρίσματα, αντισκωριακή προστασία και χρωματισμός	Στοκαρίσματα, αντισκωριακή προστασία και χρωματισμός
26	St37 dcp	Όχι	Ναι	Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση & σφυρηλάτηση	Ηλεκτροστατική σφυρηλάτηση
27	Αλουμίνιο ανοδευμένο	Όχι	Όχι	Καμία	

4.3 ΔΟΚΙΜΙΑ

- St 37 dcp(ψυχρής έλασης) [56,57,58,59,60,61] : ο χάλυβας St 37 ή s235 είναι ένας ανθρακούχος χάλυβας ψυχρής έλασης που χρησιμοποιείται στις κατασκευές. Έχει εξαιρετική ικανότητα συγκόλλησης και μηχανική επεξεργασία και αυτό τον κάνει ένα ευέλικτο υλικό. Έχει χαμηλή σκληρότητα και αντοχή στον εφελκυσμό για αυτό δεν επιλέγεται σε εφαρμογές βαρέων τύπου. Στον κατασκευαστικό κλάδο η ολκιμότητα και η μορφοποίηση του αξιοποιούνται για την παραγωγή δομικών στοιχείων όπως δοκοί, σωλήνες, γωνίες. Το χαμηλό του κόστος σε συνδυασμό με τις ιδιότητες του το κάνουν ένα υλικό με μεγάλο φάσμα χρήσεων από κουφώματα κτιρίων έως ανταλλακτικά αυτοκινήτων. Γενικά για κατασκευές που απαιτούν από χαμηλή έως μέτρια αντοχή. Ο St 37 ακατέργαστος είναι ευαίσθητος στη διάβρωση. Με κατεργασίες όπως γαλβανισμό ή βαφή ενισχύεται η αντοχή του και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε κατασκευές εξωτερικού χώρου.

Ο χάλυβας St 37 έχει άνθρακα 0,22% max, μαγγάνιο 1,6%, max, φωσφόρο 0,05% max και θείο 0,05% max. Έχει πυκνότητα 7,8g/cm³ ικανότητα απαραίτητη για δομικά υλικά, σημείο τήξης περίπου 1470°C που εξασφαλίζει σταθερότητα σε περιβάλλον με υψηλή θερμοκρασία. Η θερμική του αγωγιμότητα είναι 53 W/mK διευκολύνει τη διάχυση θερμότητας ενώ η ηλεκτρική του αγωγιμότητα 6,9 % IACS επιτρέπει την διέλευση ρεύματος.

Τα αρχικά dcp δείχνουν ότι η μορφοποίηση του τελικού μεγέθους του υλικού έγινε με ψυχρή έλαση. [61,62] Η κατεργασία μείωσης της διατομής του αντικειμένου που παραμορφώνεται πλαστικά μεταξύ δύο περιστρεφόμενων ράουλων λέγεται έλαση. Η

μείωση αυτή της διατομής οδηγεί ταυτόχρονα και στην επιμήκυνση κατά τη διεύθυνση της έλασης και μπορεί επίσης να υπάρξει μία κατά πλάτος αύξηση. Η κατεργασία της έλασης είναι ταχύτερη και πιο οικονομική από την σφυρηλάτηση. Αρχικά η διαδικασία της έλασης γίνεται εν θερμώ. Στις τελικές φάσεις της έλασης για την πρόσδοση της επιθυμητής μορφής πραγματοποιούνται συνήθως εν ψυχρώ (ψυχρή έλαση). Κατά τη διαδικασία της ψυχρής έλασης, που η κατεργασία διαμόρφωσης του μετάλλου γίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος το τελικό προϊόν έχει καλή ακρίβεια διαστάσεων, καλύτερη ποιότητα επιφάνειας και καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Για τη κατεργασία όμως της ψυχρής έλασης χρειάζεται μεγαλύτερο φορτίο, ροπή, ενέργεια και ισχύς έλασης για να πετύχουμε την ίδια ελάττωση του πάχους και ταχύτητα έλασης, σε σχέση με την θερμή έλαση.

- Stainless steel 316 [62,63,64] : ο χάλυβας 316 είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας κυρίως σε περιβάλλον με ιόντα χλωρίου όπως η βιομηχανία χαρτιού, διαχείρισης τροφίμων ή χημικές βιομηχανίες. Οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες αποτελούν τα 2/3 της συνολικής παραγωγής ανοξείδωτων χαλύβων. Δεν υπόκεινται σε θερμικές κατεργασίες σκλήρυνσης και συνήθως βρίσκονται σε κατάσταση ψυχρηλασίας και ανόπτησης. Έχουν μεγάλη ολκιμότητα και καλή μηχανική αντοχή και σε χαμηλές θερμοκρασίες δεν παρουσιάζουν ψαθυροποίηση εξαιτίας της μικροκρυσταλλικής δομής τους (εδροκεντρωμένη κυβική). Για χαμηλές περιεκτικότητες σε άνθρακα η συγκολλησιμότητά τους είναι καλή και δεν είναι μαγνητικοί αν και μετά από ψυχρή κατεργασία παρουσιάζεται ασθενώς μαγνητικός. Είναι ανθεκτικότερος του 304 σε εργοδιάβρωση. Έχει υψηλότερο ρυθμό σκλήρυνσης και μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με χάλυβες με μικρότερο ποσοστό άνθρακα. Η επεξεργασία του είναι πιο απαιτητική σε ισχύ και χρειάζεται χαμηλότερη ταχύτητα επεξεργασίας κάτι που μειώνει το χρόνο ζωής του υλικού κάνει δύσκολη την επίτευξη μιας ομαλής επιφάνειας.

Η χημική του σύσταση είναι 16-18% κ.β Cr, 10-14% κ.β Ni, 2-3% κ.β Mo, 0.08% C, 2% Mn και 1% Si. Οι φυσικές του ιδιότητες είναι πυκνότητα 8.03 g/cm³, σημείο τήξης 1370-1398°C και θερμική αγωγιμότητα (W/m.K) 12.1 (20°C), 16.3 (100°C) και 21.5 (500°C).

- Stainless steel 304 [63,64] : Ο ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας χρωμίου-νικελίου 304 είναι ο πρώτος σε όγκο παραγωγής χάλυβας. Έχει καλή αντίσταση διάβρωσης σε ήπιες συνθήκες. Αποτελείται από 18-20% κ.β Cr, 8-10.5% κ.β Ni, 0.08% C, 2% Mn

και 1% Si. Οι ιδιότητες αυτής της ποιότητας ανοξείδωτου χάλυβα περιλαμβάνουν καλή αντοχή στη διάβρωση (τιμή PREN 17,5 έως 21,1 αντίσταση στη διάβρωση οπών) υπό φυσικές επιδράσεις όπως το νερό (εφόσον δεν περιέχει αλάτι ή χλώριο) ή η υγρασία. Το υλικό έχει αντοχή σε εφελκυσμό 500 έως 700 N/mm², σκληρότητα ≤ 215 HB και πυκνότητα 7,9 kg/dm³ (στους 20°C). Ο ανοξείδωτος χάλυβας 304 είναι ευπροσάρμοστος και μπορεί να επεξεργαστεί με διάφορους τρόπους, π.χ. με ψυχρή μορφοποίηση και ψυχρή κατεργασία. Μπορεί επίσης να σφυρηλατηθεί, να κυληθεί και να συγκολληθεί πολύ καλά. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι ο εν λόγω ανοξείδωτος χάλυβας δεν είναι ανθεκτικός στη διακρυσταλλική διάβρωση όταν συγκολλάται. Ως αυθεντικός χάλυβας χρωμίου-νικελίου, ο 304 είναι μη μαγνητικός και μόνο πολύ ασθενώς μαγνητιζόμενος. Γυαλίζεται εύκολα (είναι δυνατή η γυαλιστερή στίλβωση) και μπορεί να λειανθεί και να βουρτσιστεί.

- St 37 με καλαμίνη [57,58,59,65]: Ο ανθρακούχος χάλυβας St 37 έχει άνθρακα 0,22% max, μαγγάνιο 1,6%, max, φωσφόρο 0,05% max και θείο 0,05% max. Η καλαμίνη είναι ανθρακικό ορυκτό του ψευδαργύρου. Η σιδηρούχα σκωρία ελάστρων (καλαμίνη) προέρχεται από τη διαδικασία έλασης του σιδήρου που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία και ο οποίος κατά την έκθεση του στον ατμοσφαιρικό αέρα οξειδώνεται απότομα. Η περιεκτικότητα της καλαμίνης σε οξείδιο του σιδήρου είναι 95%. παράγεται σε κοκκομετρία 0-10MM.
- Επιψευδαργύρωση [19,66]: Η πιο παλιά και πιο γνωστή μέθοδος επιμετάλλωσης του χάλυβα είναι η επιψευδαργύρωση. Ο ψευδάργυρος επειδή είναι ανοδικότερος από το χάλυβα, διαβρώνεται πιο εύκολα. Ο χρόνος διάρκειας της προστασίας είναι μεγαλύτερος γιατί αργεί περισσότερο να διαλυθεί λόγω των προϊόντων της διάβρωσης (οξείδια και υδροξείδια) που σχηματίζονται. Χρησιμοποιείται ευρέως σε σύρματα, συρματοπλέγματα, βίδες, λαμαρίνες και αλλού.
- Αλουμίνιο ανοδιωμένο [67,68] : Η ανοδίωση του αλουμινίου είναι μια τεχνική που έχει ως στόχο να βελτιώσει τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού και παράλληλα να είναι και αισθητικά πιο όμορφο. Η ανοδίωση αλουμινίου είναι μια ηλεκτροχημική διαδικασία από τη φύση της και περιλαμβάνει ελεγχόμενη παθητικοποίηση επιφανειών αλουμινίου για ομοιόμορφη προστασία επιφανειακών στρωμάτων. Η ανοδίωση επιτυγχάνεται με εμβάπτιση του αλουμινίου σε μπάνιο με διάλυμα οξέων. Το στρώμα οξειδίου που σχηματίζεται είναι πιο συνεκτικό, ομοιόμορφο, με καλύτερη πρόσφυση και καλύτερη αντίσταση στη διάβρωση σε σχέση με το στρώμα φυσικού

οξειδίου. Έχει εξαιρετική αντίσταση στη UV ακτινοβολία και μοναδική αντοχή στη διάβρωση, καθιστώντας την ιδανική επιλογή για περιβάλλοντα με δυσχερείς συνθήκες, όπως ακτογραμμές, επιβαρυμένες περιβαλλοντικά περιοχές. Το στρώμα προσδίδει επίσης ανθεκτικότητα σε όλα τα στάδια της ζωής του υλικού και αντίσταση σε αποκολλήσεις, καθώς το στρώμα είναι ενσωματωμένο στο προφίλ και δεν είναι απλά μια στρώση στην επιφάνειά του. Έχει ανθεκτικότητα σε γρατζουνιές, καθώς με την ανοδίωση δημιουργείται μια κεραμική επίστρωση στην επιφάνεια του υλικού. Τέλος είναι ένα υλικό ασφαλές καθώς είναι χημικά σταθερό, δεν αποσυντίθεται, είναι μη τοξικό και απολύτως ανακυκλώσιμο.

4.4 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

- ◆ Αμμοβολή [69,70] : Η αμμοβολή είναι μια κατεργασία που εφαρμόζεται στα δοκίμια πριν από την διαδικασία της εμβάπτισης. Ο στόχος της είναι να αύξησει την τραχύτητα της επιφάνειας η οποία μοιάζει με μια διαδοχή κορυφών και κοιλάδων. Όσο πιο τραχυνμένη είναι μια επιφάνεια τόσο περισσότερο χρώμα χρειάζεται για να καλυφθεί επαρκώς. Στην διαδικασία της αμμοβολής πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις συνθήκες υγρασίας. Σε υψηλές συνθήκες υγρασίας αποφεύγεται η διαδικασία αμμοβολής γιατί ο χάλυβας που έχει καθαριστεί με αμμοβολή μπορεί να σκουριάσει πολύ γρήγορα. Επίσης η διαφορά θερμοκρασίας της επιφάνειας του χάλυβα και του αέρα περιβάλλοντος δημιουργεί εφύγρανση δηλαδή την συμπύκνωση του νερού στον αέρα. Για να αποφύγουμε το φαινόμενο αυτό πρέπει η θερμοκρασία του χάλυβα να είναι τουλάχιστον 3°C μεγαλύτερη από το σημείο δρόσου του αέρα περιβάλλοντος. Στην συνέχεια γίνεται καθαρισμός της επιφάνειας του υποστρώματος με ακετόνη και ειδικό απορροφητικό ύφασμα για να απομακρύνουμε ακαθαρσίες, λίπη αλλά και σωματίδια εξαιτίας της αμμοβολής από το υπόστρωμα και να πετύχουμε καλύτερο βαθμό πρόσφυσης της επικάλυψης.
- ◆ Διαμόρφωση στους 1000°C : τα δείγματα δέχονται επεξεργασία στους 1000°C για να βελτιωθούν οι μηχανικές τους ιδιότητες.

4.5 ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

- ❖ Gridox : Αντισκωριακό αστάρι με πρόσθετα πιγμέντα φωσφορικού ψευδαργύρου και αλκυδική ρητίνη. Προσφέρει πολύ καλή προστασία στη διάβρωση για μεγάλο χρονικό

διάστημα. Έχει εξαιρετική πρόσφυση. Για τη εφαρμογή αραιώνεται σε εξάνιο με white spirit και νάφθα. Απόχρωση βαφής γκρι.[71]

- ❖ Μίνιο : Αντιδιαβρωτικό υπόστρωμα με βάση το μίνιο και πρόσθετα αντιδιαβρωτικά πιγμέντα και αλκυδικές ρητίνες. Προσφέρει υψηλή καλυπτικότητα και πρόσφυση. Παρουσιάζει ιδιαίτερη αντοχή στην υγρασία και στεγνώνει πολύ γρήγορα παρέχοντας προστασία στα μέταλλα από την οξείδωση. Για την εφαρμογή αραιώνεται με white spirit ή thinner. Είναι θιξοτροπικό υγρό χρώματος πορτοκαλί.[72,73]
- ❖ Paramatti : Αντιδιαβρωτικό σμάλτο που παρασκευάζεται από αλκυδικές και ουρεθανικές ρητίνες και σιδηρομαγνησιούχο οξείδιο. Προσφέρει μηχανική και χημική ανθεκτικότητα και έχει έντονη απωθητικότητα στο νερό. Για την εφαρμογή αραιώνεται σε νέφτι. Έχει χρώμα σκούρο γκρι.[74]
- ❖ Alcea : Αντιδιαβρωτικό και αντισκουριακό σμάλτο με αντιδιαβρωτικά πιγμέντα και αλκυδικές ή ουρεθανικές ή εποξειδικές ρητίνες. Προσφέρει υψηλή αντοχή στο ψεκασμό αλατιού.[75]
- ❖ Γομωτής : Ο γομωτής είναι μετατροπέας/ αναστολέας σκουριάς. Σταθεροποιεί τη σκουριά και προετοιμάζει τις σκουριασμένες επιφάνειες για τη βαφή. Είναι βασισμένο στο νερό και έχει χαμηλή τοξικότητα. Δεν χρειάζεται να αναμειχθεί ή να διαλυθεί για να χρησιμοποιηθεί. Καλύπτει τα υπολείμματα σκουριάς και αναπτύσσει μια ουδέτερη επιφάνεια για βαφή. [7]
- ❖ Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση : Ο ψευδάργυρος σχηματίζει στρώματα τα οποία λειτουργούν ως τείχος προστασίας ως προς το σίδηρο αφού δεν επιτρέπουν την άμεση επαφή του με την υγρασία και τους όξινους ρύπους της ατμόσφαιρας, καθώς και την επαφή του με το οξυγόνο. Γενικά κατά τη διαδικασία γαλβανίσματος, ο σίδηρος τοποθετείται σε αλκαλικό διάλυμα για την απομάκρυνση λιπαρών ουσιών και ακολούθως πλένονται σε ζεστό και κρύο νερό. Βυθίζονται στη συνέχεια σε διάλυμα υδροχλωρικού οξέος με στόχο να αφαιρεθεί η σκουριά και τα άλατα από την επιφάνεια και ακολουθεί ξανά έκπλυση με νερό. Ακολούθως, τα τμήματα του μετάλλου επιδέχονται τη βαφή με την εμβάπτιση τους σε υδατικό διάλυμα συνεχούς ροής που περιέχει χλωριούχο ψευδάργυρο και χλωριούχο αμμώνιο. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται φθοριούχο νάτριο ή χλωριούχο κάλιο, νικέλιο ή δημήτριο. Έτσι δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα, το οποίο ξηραίνεται στους 75-120°C και προστατεύει την επιφάνεια του χάλυβα από εξωτερικούς ρύπους. Δημιουργούνται έτσι οι καλύτερες δυνατές συνθήκες ύγρανσης κατά τη διάρκεια της

επόμενης βύθισης που ακολουθεί σε λουτρό τετηγμένου ψευδαργύρου θερμοκρασίας 420 - 455 °C η οποία δημιουργεί ένα στρώμα ψευδαργύρου πάνω στο μέταλλο πάχους 50-150 μm . Μετά την επιψευδαργύρωση το μέταλλο έχει συνήθως μια στιλπνή, λαμπερή, ασημογκρί όψη όπως έχουν οι κάδοι απορριμμάτων, οι κολώνες οδοσήμανσης κ.α. Είναι μια μέθοδος χρωματισμού μεταλλικών επιφανειών, στις επιφάνειες των οποίων δημιουργεί ένα αποτέλεσμα άψογο από πλευράς αισθητικής, ανθεκτικό σε μηχανικές καταπονήσεις όπως επίσης ανθεκτικό και σε δυσμενείς περιβαλλοντολογικές συνθήκες όπως αυτές της πατρίδας μας, με ακτογραμμές εκατοντάδων χιλιομέτρων. [76]

- ❖ Ηλεκτροστατική επίπεδη : Είναι η διαδικασία της ηλεκτροστατικής επιμετάλλωσης σε δοκίμια με επίπεδη επιφάνεια. [77]
- ❖ Ηλεκτροστατική σφυρήλατη : Είναι η διαδικασία της ηλεκτροστατικής επιμετάλλωσης σε δοκίμια με σφυρήλατη επιφάνεια.[77]
- ❖ Σιδηρόστοκος : Βασική ύλη των στόκων είναι η πολυεστερικές ρητίνες. Για να αποκτήσουν την σκληρότητα τους προστίθενται είτε πάστα είτε καταλύτης. Είναι θιξοτροπικοί και χρησιμοποιούνται συνήθως πάνω από ασταρωμένες μεταλλικές επιφάνειες. Δεν αποτελεί υπόστρωμα. Η αντισκωριακή προστασία που παρέχει το αστάρι ανέρχεται στο 80% ενώ τα υπόλοιπα υποστρώματα παρέχουν κάλυψη μόνο 20%. Υπάρχουν οι εξής κατηγορίες στόκων : Σιδηρόστοκος σπάτουλας χοντροί, σιδηρόστοκοι σπάτουλας ψιλοί, σιδηρόστοκοι πιστολιού και ειδικόι στόκοι.[78,79]
- ❖ Ριπουλίνη : Είναι αλκυδικό βερνικόχρωμα για εσωτερική και εξωτερική χρήση. Είναι ανθεκτικό με εξαιρετική στιλπνότητα και αντοχή χρώματος. Είναι σκληρό και ευέλικτο στο φινίρισμα με εξαιρετικές αντοχές στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες και προσφέρει μεγάλη καλυπτικότητα. Είναι βερνικόχρωμα αλκυδικής ρητίνης και δεν περιέχει Μόλυβδο και ιόντα χρωμίου. Για την χρήση αραιώνεται με διαλυτικό εξάνιο, white spirit και νάφθα και έχει χρώμα λευκό.[80]
- ❖ Πολυεστερικός στόκος : Είναι στόκοι πολυεστερικής ρητίνης και είναι κατάλληλοι για επισκευές σε σκάφη ή πολυεστερικές κατασκευές και επισκευές. Απλώνονται εύκολα, στεγνώνουν πολύ γρήγορα ,τρίβονται εύκολα και είναι οικονομικοί. Έχει χρώμα λευκό.[81,82]
- ❖ Αρμόκολλα : Είναι ελαστομερής θιξοτροπική κόλλα για κάλυψη ενώσεων και αρμών. Είναι εξαιρετικά αδιάβροχη, προσφέρει προστασία στους κραδασμούς και έχει εξαιρετική πρόσφυση στις περισσότερες επιφάνειες. Στεγνώνει γρήγορα, παραμένει

ελαστική χωρίς να χάνει την φόρμα της ή να σκάει. Για να χρησιμοποιηθεί αραιώνεται με διαλυτικό νίτρου, ξυλόλη ή νάφθα. Έχει τη μορφή πάστας χρώματος μπεζ.[83]

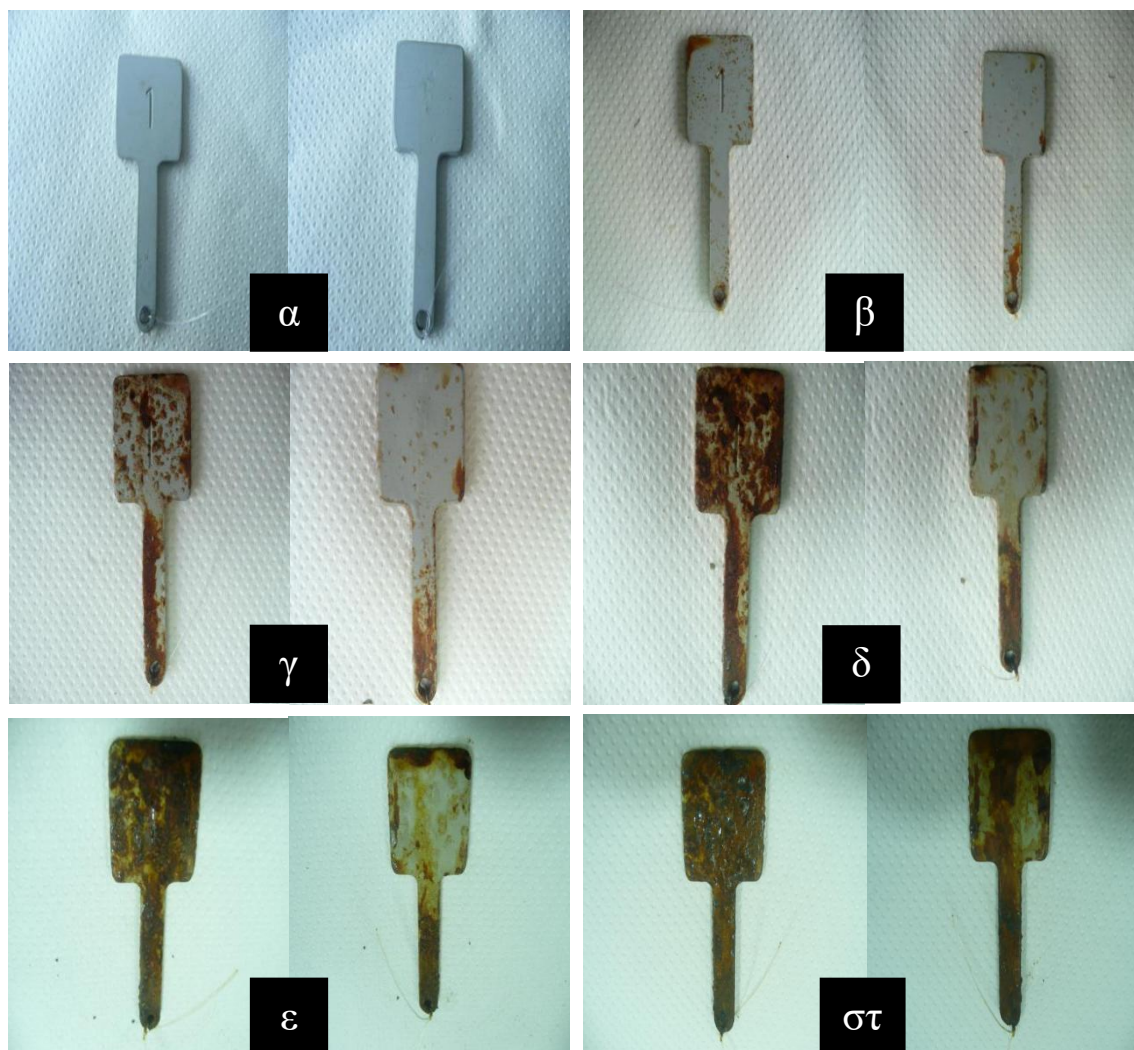
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται τα αποτελέσματα της διάβρωσης για τα δοκίμια μετά την εναπόθεση τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η αλατονέφωση είναι μια επιταχυνόμενη δοκιμή διάβρωσης. Τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους αφού οι συνθήκες του πειράματος ήταν ίδιες για όλα τα δοκίμια. Τα δοκίμια εκτέθηκαν σε νέφος άλατος το οποίο παράγεται από υδατικό διάλυμα με 5% χλωριούχο νάτριο. Το pH του διαλύματος κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 7-7,5 και η θερμοκρασία του θαλάμου διατηρείται στους 35°C και σε πίεση 0,9 bar. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο ASTM B 117. [55] Σε όλη τη διαδικασία της παραμονής των δοκιμίων εντός του θαλάμου αλατονέφωσης καθώς και πριν και με την ολοκλήρωση της διαδικασίας ελήφθησαν φωτογραφίες. Ορισμένες φωτογραφίες από κάθε δοκίμιο παρουσιάζονται πιο κάτω. Η κάθε ομάδα αφορά το ίδιο δοκίμιο με τη πάροδο του χρόνου πως αντέδρασε στο θάλαμο αλατονέφωσης. Παρουσιάζονται δύο φωτογραφίες από την ίδια μέρα για να φαίνονται και οι δύο πλευρές του δοκιμίου.

Η Εικ. 5.1 δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 1 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Μίνιο κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 31η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

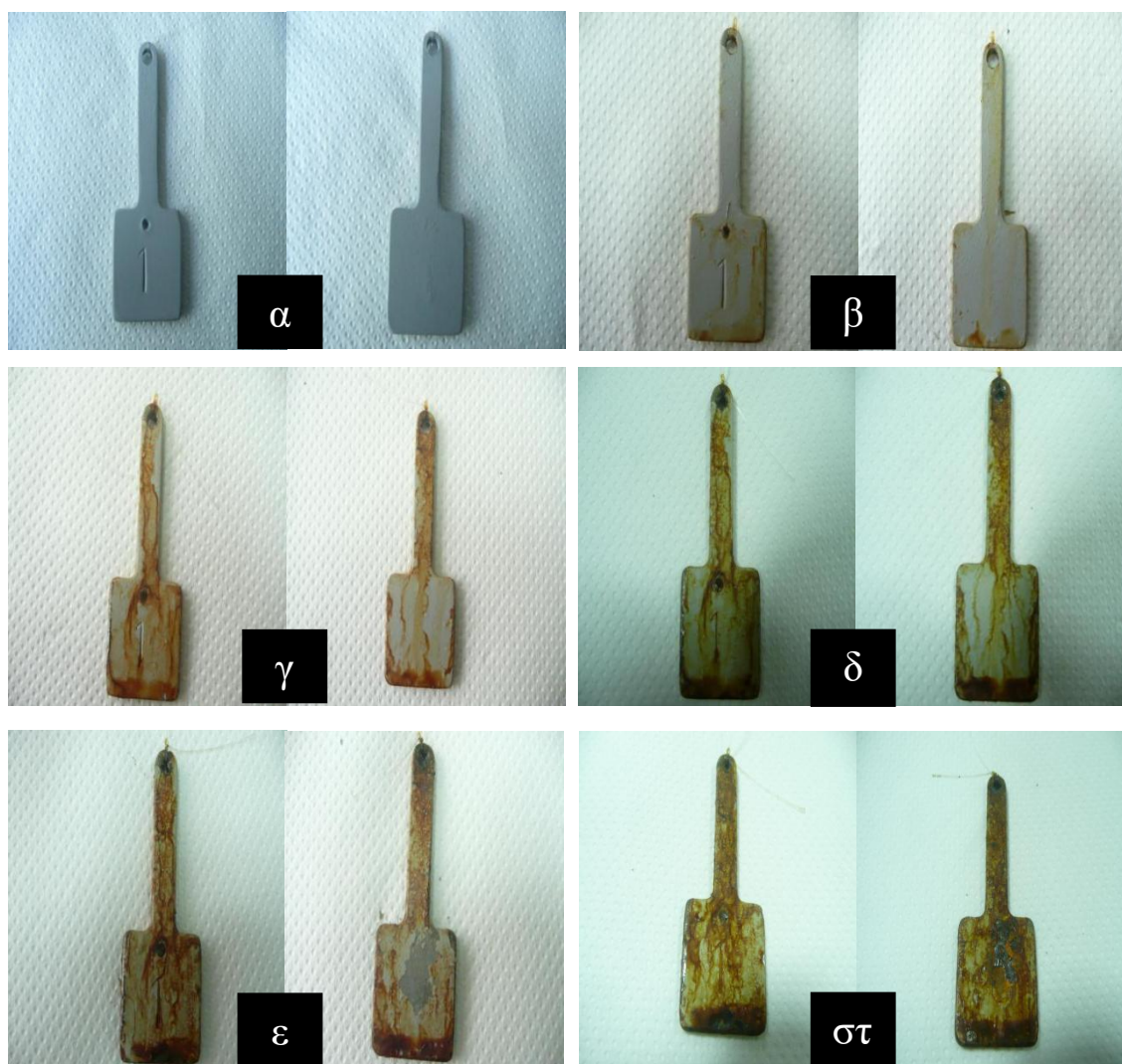


Εικόνα 5.1 Δοκίμιο 1: St37 dec χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Μίνιο. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 7η ημέρα (δ) 13η ημέρα (ε) 20η ημέρα και (στ) 31η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 1 (St37 dec χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Μίνιο) : Πριν τοποθετηθεί στο θάλαμο αλατονέφωσης είχε μικρές ατέλειες στη ΜΧΠ (Μη Χαραγμένη Πλευρά) και στο σημείο γύρω από τη πετονιά. Από την 1η ημέρα στο σημείο της πετονιάς εμφανίζεται σκουριά και στο υπόλοιπο δοκίμιο κηλίδες σκουριάς για τη ΜΧΠ και έντονη διάβρωση στην πάνω αριστερή γωνία για την ΧΠ (Χαραγμένη Πλευρά). Το φαινόμενο προχωράει σταδιακά και την 13η ημέρα η επιφάνεια εμφανίζει φουσαλίδες και αποφλοίωση της επικάλυψης. Μέχρι 31η ημέρα που το δοκίμιο απομακρύνεται από το θάλαμο αλατονέφωσης, αρκετά σημεία της επικάλυψης έχουν

αποκολληθεί. Στην ΧΠ από την 5η ημέρα μικρές καφέ φυσαλίδες εμφανίζονται σε όλη την επιφάνεια και πιο έντονα γύρω από την πετονιά. Η αποφλοίωση ξεκινάει από την 7η ημέρα και σταδιακά διαβρώνεται όλη η επιφάνεια μέχρι την 31η ημέρα.

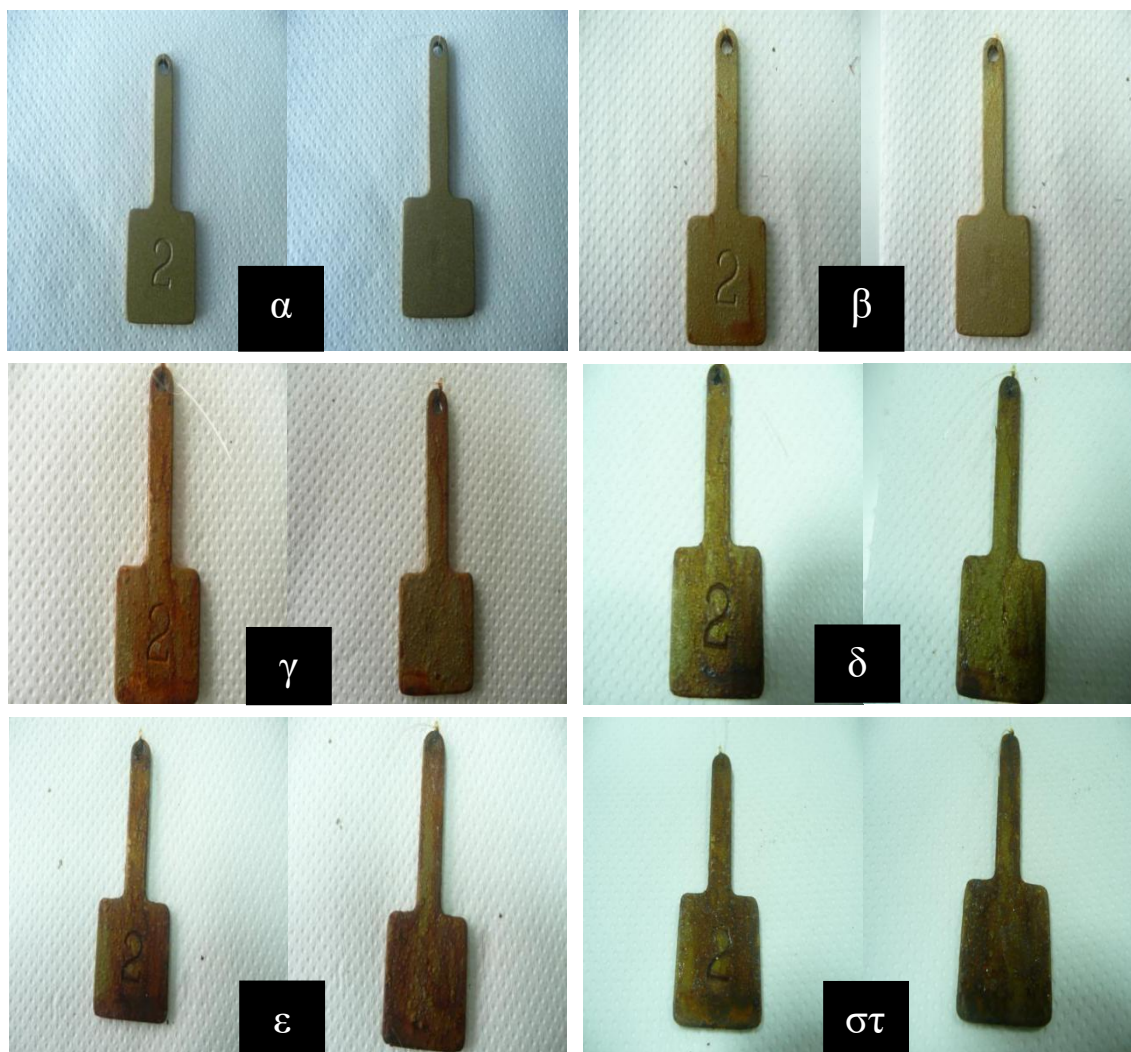
Η Εικ.5.2 δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 1* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 20η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.2 Δοκίμιο 1*: St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 5η ημέρα (δ) 9η ημέρα (ε) 13η ημέρα και (στ) 20η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.

ΔΕΙΓΜΑ 1*(St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και χωρίς στοκάρισμα και με επίστρωση Gridox): Πριν τοποθετηθεί στο θάλαμο αλατονέφωσης η ΜΧΠ και η ΧΠ δεν είχαν ατέλειες. Μετά την 1η ημέρα εμφάνισε σκουριά γύρω από την πετονιά. Από την 2η ημέρα ξεφλούδισε η επιφάνεια της επικάλυψης στη ΧΠ. Φυσαλίδες αέρα κάτω από την επιφάνεια της επικάλυψης προκάλεσαν αποκόλληση και το φαινόμενο της διάβρωσης προχώρησε μέχρι την 17η ημέρα, που μεγάλη επιφάνεια της επικάλυψης αποκολλήθηκε, προκαλώντας έντονη σκουριά και στο υπόστρωμα.

Η Εικ.5.3 δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 2 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Alcea κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 20η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

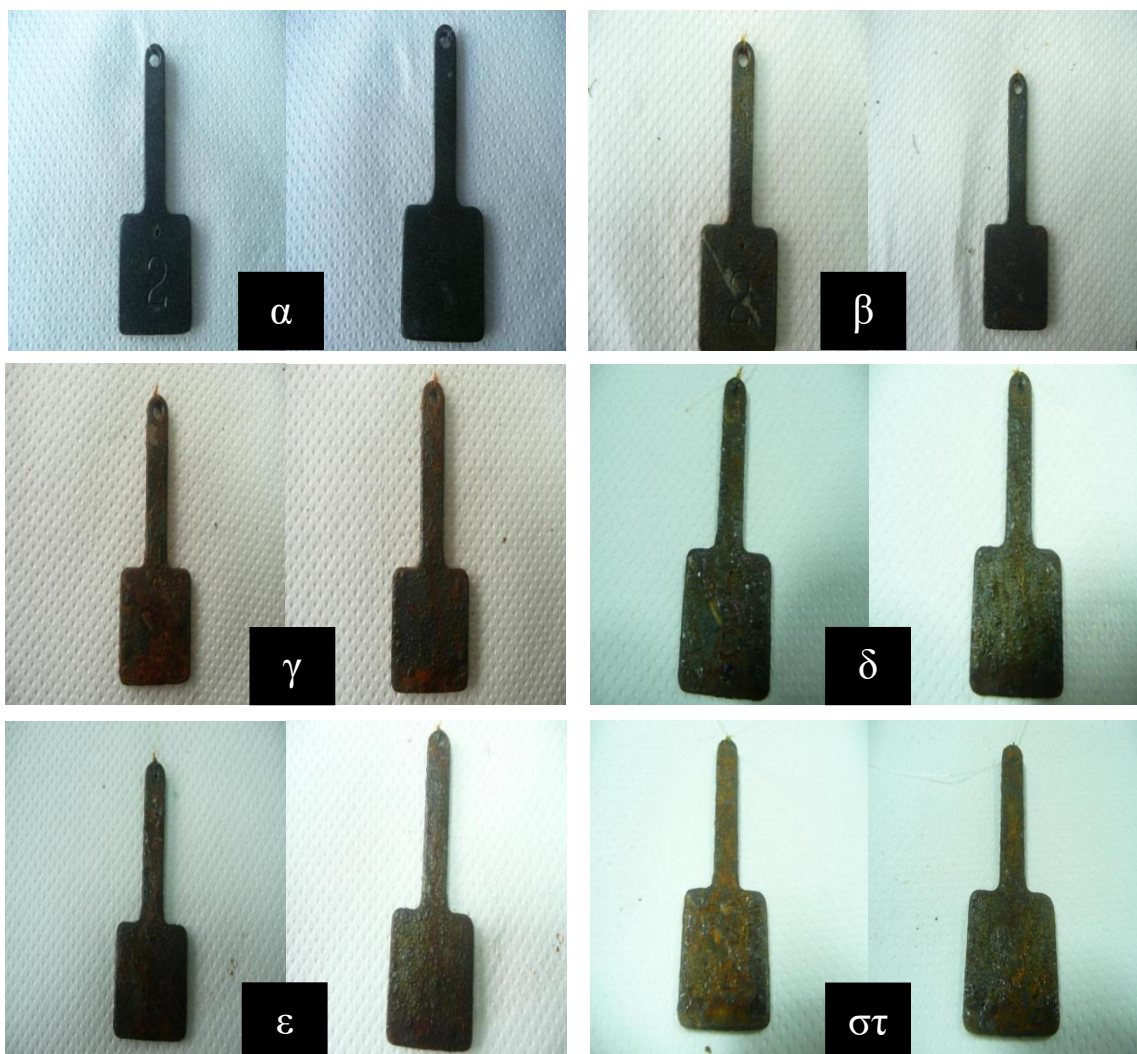


Εικόνα 5.3 Δοκίμιο 2 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 5η ημέρα (δ) 9η ημέρα (ε) 13η ημέρα και (ζ) 20η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 2 (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Alcea) : Η κατάσταση της επιφάνειας του δοκιμίου πριν μπει στο θάλαμο αλατονέφωσης είναι πολύ καλή, χωρίς εμφανή ελαττώματα. Την 1η ημέρα η ΧΠ έχει διαβρωθεί στην κάτω πλευρά και στη γωνία δεξιά, καθώς και γύρω από την πετονιά. Από την 5η ημέρα η ΜΧΠ παρουσιάζει φυσαλίδες και η ΧΠ έντονη διάβρωση που ξεκινάει από την κάτω πλευρά και από την πετονιά και κατευθύνεται στο κέντρο του

δοκιμίου. Την 10η ημέρα, η ΜΧΠ έχει αποφλοιωθεί στην κάτω αριστερή γωνία, σε αρκετά σημεία της επιφάνειας και γύρω από την πετονιά. Η ΧΠ στην κάτω δεξιά γωνία, γύρω από τον χαραγμένο αριθμό και γύρω από την πετονιά. Η πορεία της διάβρωσης συνεχίζεται μέχρι την 20η ημέρα που το δοκίμιο απομακρύνεται από τον θάλαμο αλατονέφωσης.

Η Εικ.5.4 δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 2* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 20η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

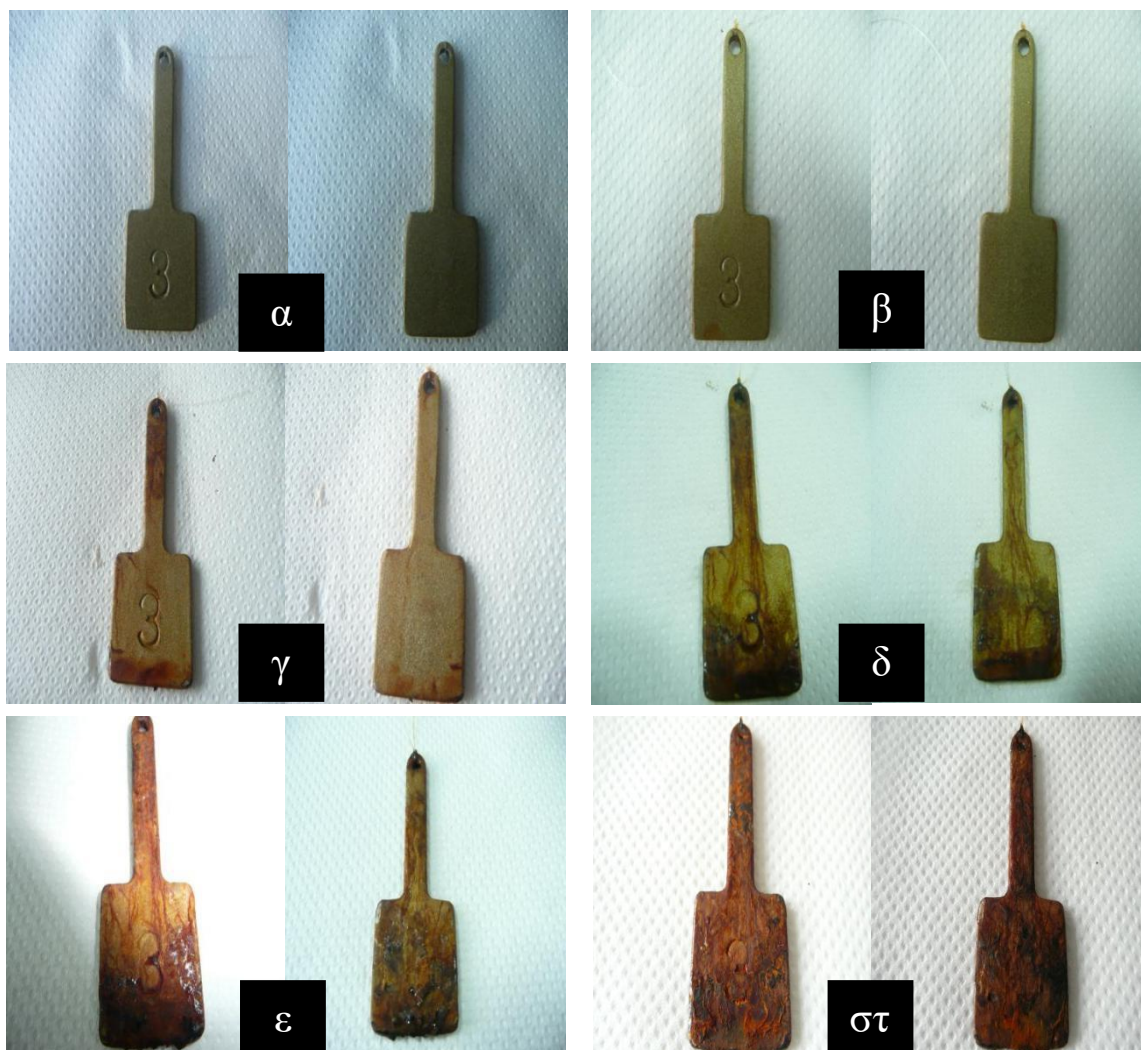


Εικόνα 5.4 Δοκίμιο 2* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 5η ημέρα (δ) 9η ημέρα (ε) 13η ημέρα και (ζ) 20η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 2*(το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti) : Πριν την τοποθέτηση στον θάλαμο αλατονέφωσης, η ΜΧΠ έχει μικρές ατέλειες και η ΧΠ έχει μικρές ατέλειες γύρω από το * και στην κάτω πλευρά του χαραγμένου αριθμού. Από την 1η ημέρα η ΧΠ εμφάνισε έντονη αποφλοίωση, σαν χαρακιά διαγώνια και κάποιες μικρές φυσαλίδες. Η ΜΧΠ διαβρώθηκε στην κάτω πλευρά του δοκιμίου και στην πάνω δεξιά γωνία. Το φαινόμενο προχωράει σταδιακά και η

επιφάνεια του δοκιμίου γεμίζει με φυσαλίδες από την 5η ημέρα. Η ΧΠ εμφανίζει έντονη σκουριά στα σημεία που αποκαλύφθηκε το υπόστρωμα και προχωράει μέχρι την 20η ημέρα που το δοκίμιο απομακρύνθηκε από τον θάλαμο αλατονέφωσης.

Η Εικ.5.5 δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 3 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Alcea κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 75η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

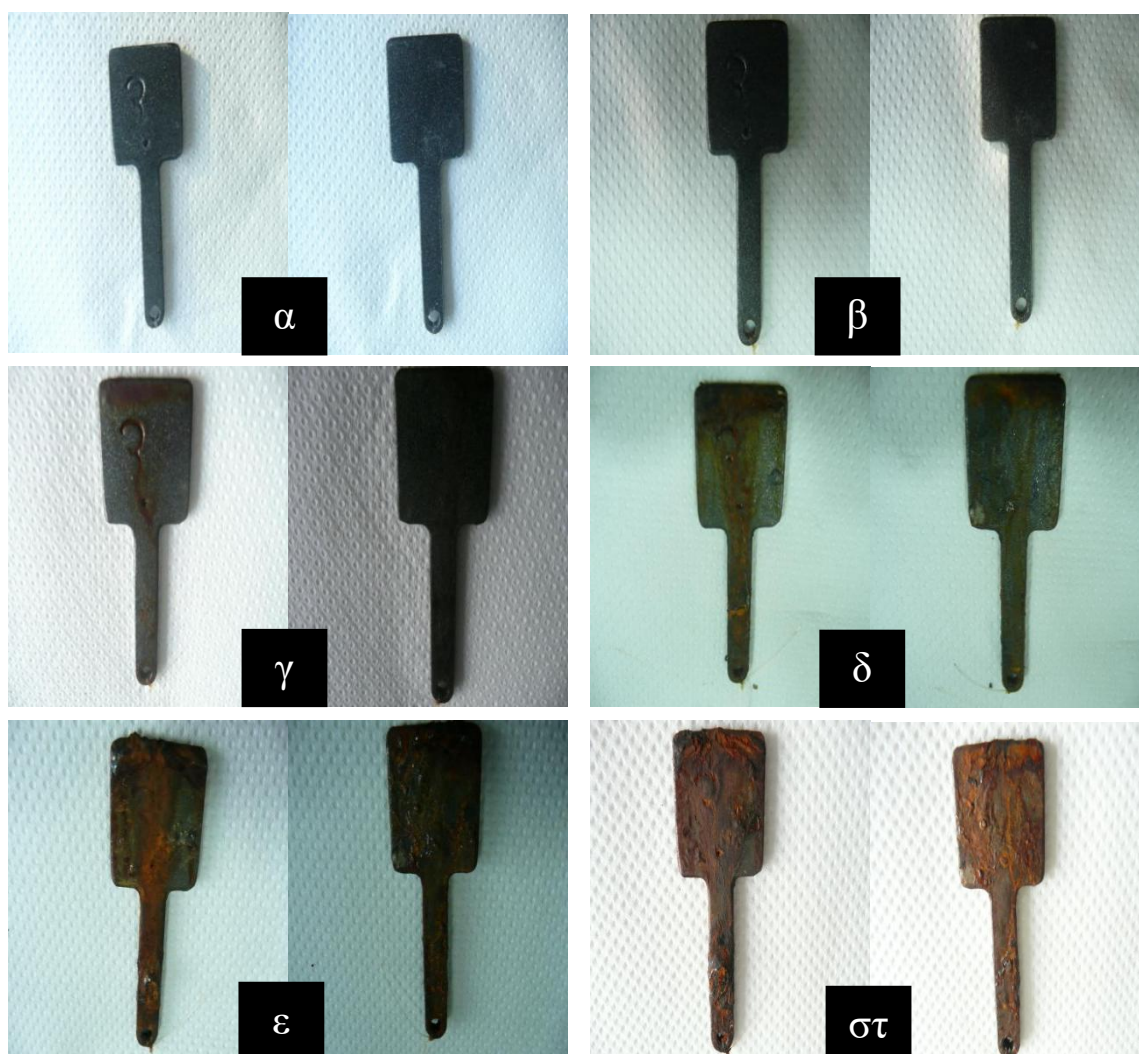


Εικόνα 5.5 Δοκίμιο 3 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 15η ημέρα (δ) 34η ημέρα (ε) 58η ημέρα και (στ) 75η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 3 (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Alcea) : Πριν την τοποθέτηση στον θάλαμο αλατονέφωσης η επιφάνεια του δοκιμίου βρίσκεται σε καλή κατάσταση. Μετά την 5η ημέρα στη ΜΧΠ αλλάζει το χρώμα της επικάλυψης από μπεζ σε καφέ και αρχίζουν να φαίνονται κηλίδες σκουριάς. Για τη ΧΠ, κάτω δεξιά έχει αλλάξει το χρώμα σχηματίζοντας μια κηλίδα και πάνω δεξιά σχηματίστηκαν φυσαλίδες. Την 15η ημέρα στη ΧΠ ο λαιμός γύρω από την

πετονιά και η κάτω πλευρά του δοκιμίου διαβρώθηκε. Στο κάτω αριστερό τμήμα έφυγε η επικάλυψη όπως και στη ΜΧΠ κάτω δεξιά. Την 31η ημέρα η διάβρωση προχώρησε και στη ΜΧΠ αποκολλήθηκε η επικάλυψη στη δεξιά πλευρά του δοκιμίου. Την 37η ημέρα στη ΧΠ, δίπλα από τον αριθμό έφυγε η επικάλυψη, καθώς και την 63η ημέρα στο κέντρο του δοκιμίου, αριστερά από τον αριθμό. Το δοκίμιο έμεινε στο θάλαμο αλατονέφωσης για 75 ημέρες και η επιφάνειά του, μετά την απομάκρυνσή του, ήταν έντονα διαβρωμένη.

Η Εικ.5.6 δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 3* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 75η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

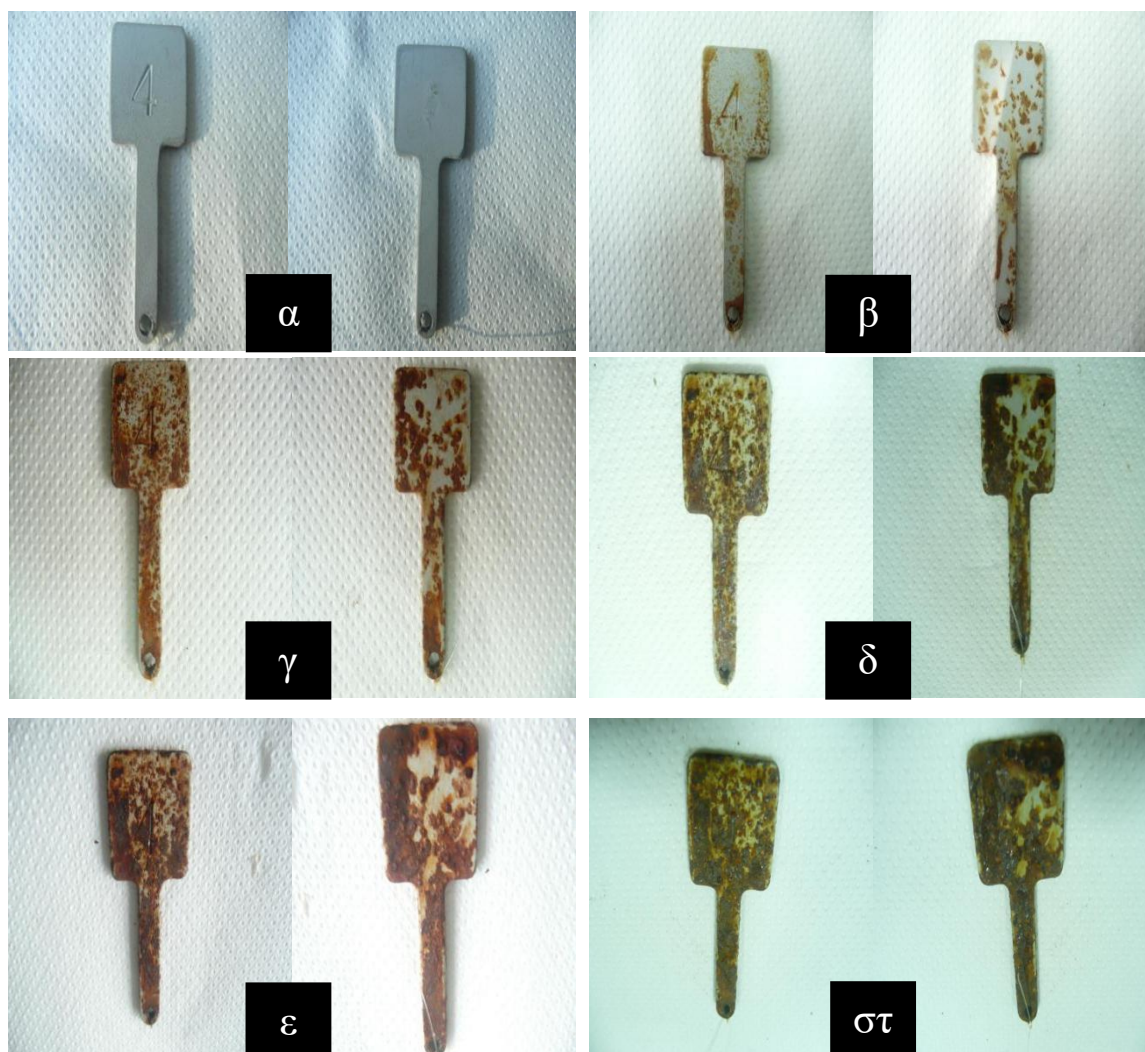


Εικόνα 5.6 Δοκίμιο 3* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 15η ημέρα (δ) 34η ημέρα (ε) 58η ημέρα και (στ) 75η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 3* (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti) : Πριν την τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης η ΜΧΠ έχει μικρές ατέλειες στο κέντρο της και στην πάνω δεξιά γωνία και η ΧΠ στην κάτω πλευρά του δοκιμίου. Την 5η ημέρα στα σημεία των ατελειών και γύρω από την πετονιά, εμφανίζεται διάβρωση για τη ΜΧΠ και στην ΧΠ, στα σημεία της χάραξης του αριθμού και στην κάτω πλευρά του δοκιμίου. Από την 7η ημέρα, στο λαιμό

της ΜΧΠ, εμφανίζεται μια αλλοίωση στο σχήμα του, στην πάνω δεξιά πλευρά. Στη ΧΠ αυτό αρχίζει να φαίνεται τη 10η ημέρα. Τη 14η ημέρα δημιουργήθηκε φουσαλίδα στο σημείο αλλοίωσης του λαιμού και γύρω από την πετονιά. Η διάβρωση προχώρησε στο υπόλοιπο δοκίμιο και στις δύο πλευρές. Την 20η ημέρα, στη ΜΧΠ παρατηρήθηκε απώλεια της επικάλυψης στην πάνω αριστερή γωνία όπως και στο λαιμό της ΧΠ. Από την 24η ημέρα στη ΜΧΠ κάτω αριστερά και πάνω δεξιά, παρουσιάζονται αλλοιώσεις στην επικάλυψη, που σταδιακά προκαλούν την αποκόλλησή της. Την 75η ημέρα τα τμήματα του υποστρώματος που αποκαλύφθηκαν, έχουν διαβρωθεί.

Η Εικ.5.7. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 4 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Μίνιο κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 20η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

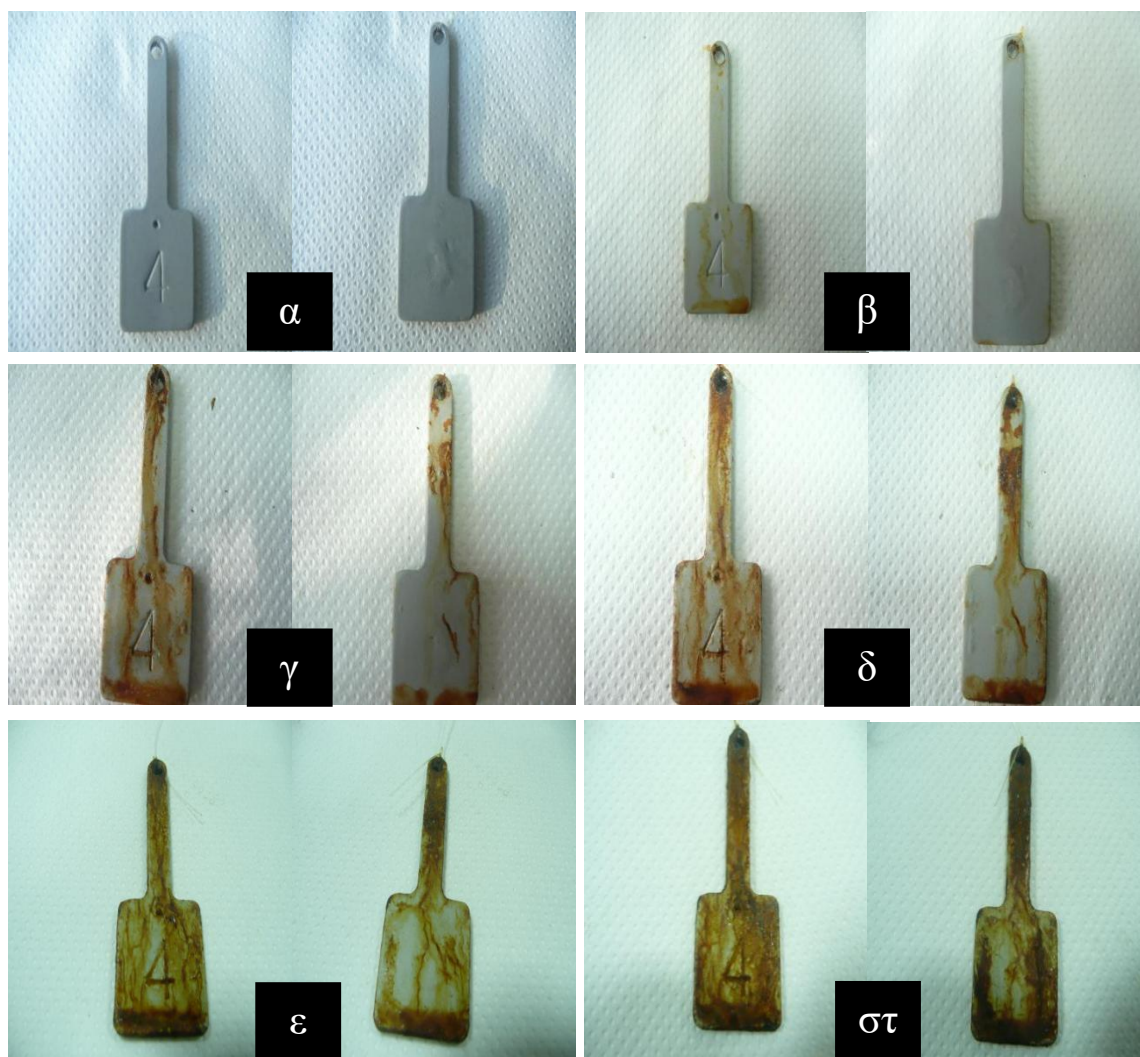


Εικόνα 5.7 Δοκίμιο 4 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Μίνιο. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 5η ημέρα (δ) 10η ημέρα (ε) 15η ημέρα και (στ) 20η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 4 (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Μίνιο): Πριν την τοποθέτηση του δοκιμίου στο θάλαμο αλατονέφωσης, η ΧΠ και η ΜΧΠ δεν έχουν κάποιο ελάττωμα. Από την 1η ημέρα στο θάλαμο, η ΧΠ εμφανίζει σημάδια διάβρωσης σε όλη την επιφάνεια της επικάλυψης, σαν καφέ κηλίδες. Την 5η ημέρα οι κηλίδες έχουν καλύψει το μεγαλύτερο μέρος της ΧΠ. Με την παραμονή του δοκιμίου στο θάλαμο, δημιουργούνται επιπλέον κηλίδες και φυσαλίδες, που οδηγούν σε περαιτέρω διάβρωση, μέχρι την 20η ημέρα, που το δοκίμιο απομακρύνεται από την

αλατονέφωση. Στη ΜΧΠ, από την 1η ημέρα, υπάρχουν κηλίδες σκουριάς. Την 2η ημέρα, εμφανίζονται φυσαλίδες, που με την παραμονή του δοκιμίου στο θάλαμο, οδηγούν σε έντονη σκουριά και αποκόλληση της επικάλυψης, μέχρι και την 20η ημέρα, που ολόκληρη σχεδόν η επιφάνεια, έχει καλυφθεί με στρώμα σκουριάς.

Η Εικ.5.8. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 4* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 31η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

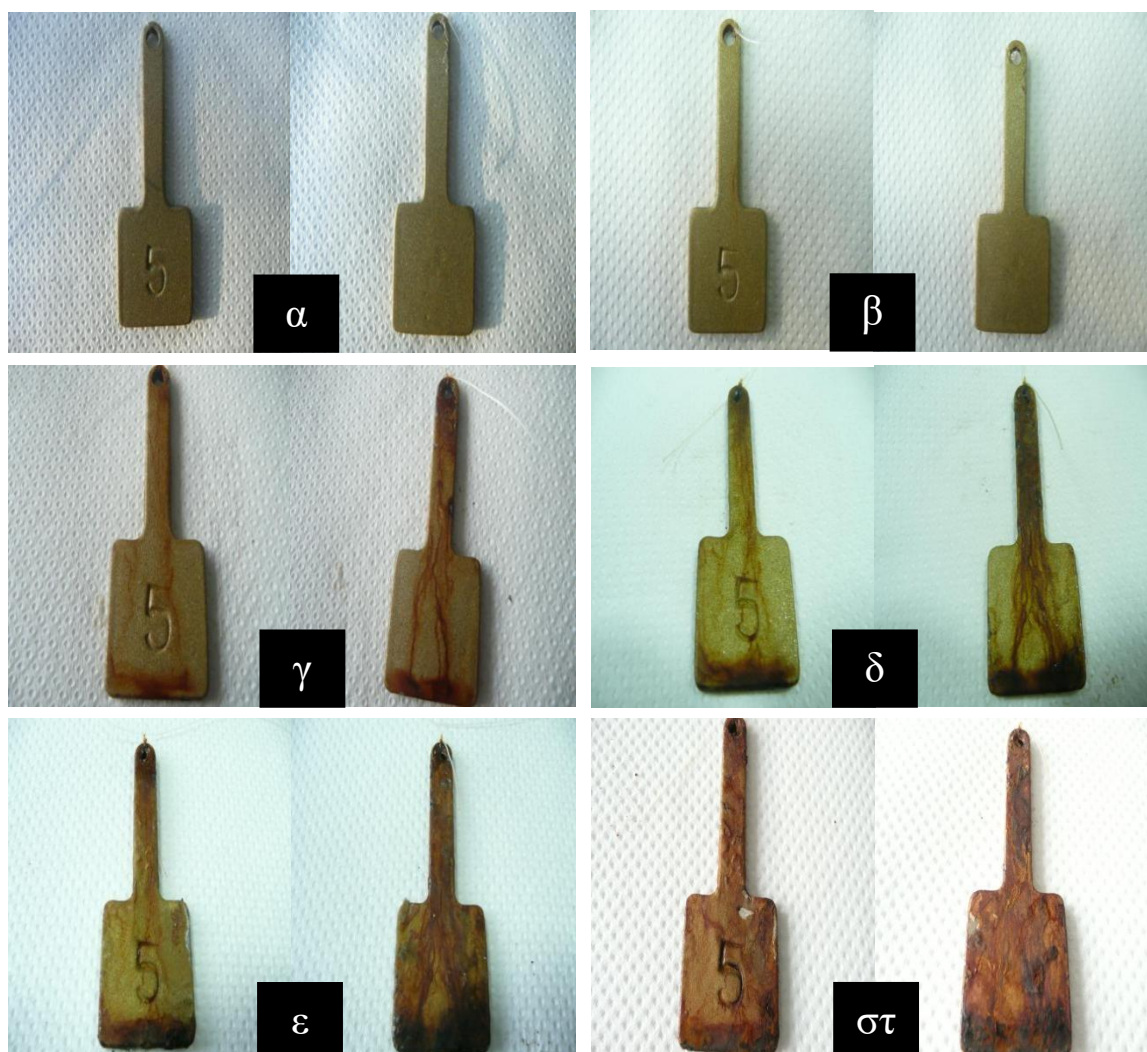


Εικόνα 5.8 Δοκίμιο 4* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 7η ημέρα (δ) 13η ημέρα (ε) 20η ημέρα και (ζ) 31η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 4* (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox): Πριν την τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης η ΜΧΠ και η ΧΠ του δοκιμίου δεν έχουν κάποια ατέλεια στην επιφάνεια του επιστρώματος. Από την 1η ημέρα, περιμετρικά του δοκιμίου, αρχίζουν να φαίνονται σημάδια διάβρωσης. Αλλάζει το χρώμα και από γκρι γίνεται καφέ. Την 5η ημέρα, η ΜΧΠ εμφανίζει φυσαλίδες στο λαιμό, που τελικά προκαλούν αποκόλληση της επικάλυψης την 9η ημέρα. Την 11η ημέρα, στη δεξιά πλευρά του δοκιμίου, δημιουργούνται φυσαλίδες, που με την πάροδο του χρόνου

φαίνεται να δημιουργούν ρωγμές στην επικάλυψη, που επιτρέπουν τη διάβρωση του υποστρώματος (17η ημέρα). Στα σημεία χωρίς επικάλυψη η διάβρωση προχωράει πιο γρήγορα. Στη ΧΠ, την 5η ημέρα, αποκολλήθηκε η επικάλυψη πάνω δεξιά και δημιουργήθηκαν φυσαλίδες αριστερά. Τη 10η ημέρα, η διάβρωση προχώρησε και την 13η ημέρα, γύρω από το χαραγμένο αριθμό εμφανίστηκαν νέες φυσαλίδες. Σταδιακά η διάβρωση στο δοκίμιο προχώρησε μέχρι την 31η ημέρα, που το δοκίμιο εξήλθε από το θάλαμο αλατονέφωσης με έντονη διάβρωση σε όλη του την επιφάνεια.

Η Εικ.5.9. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 5 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Alcea κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 75η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

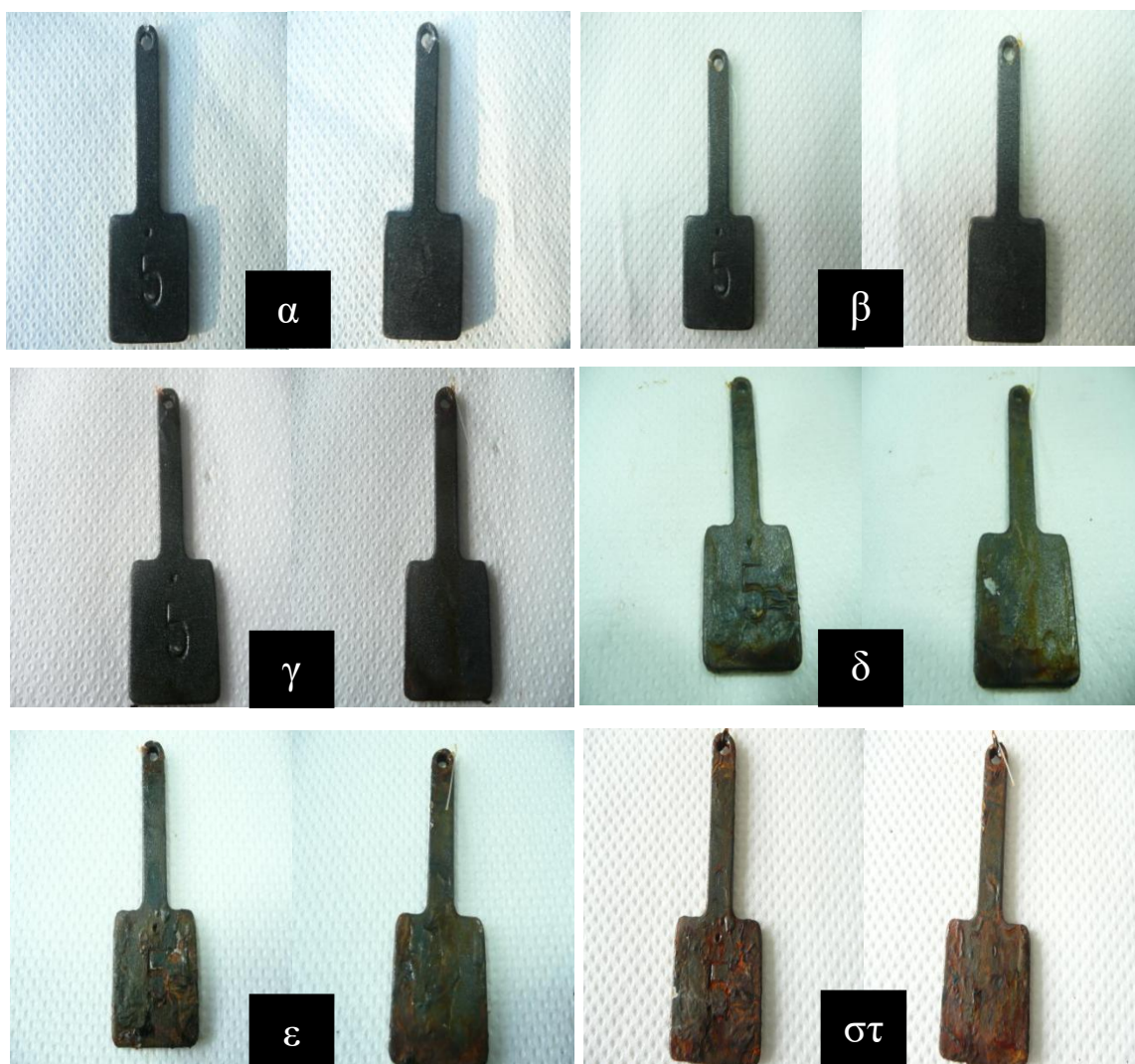


Εικόνα 5.9 Δοκίμιο 5 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 15η ημέρα (δ) 34η ημέρα (ε) 58η ημέρα και (στ) 75η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 5 (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Alcea): Πριν τοποθετήσουμε το δοκίμιο στο θάλαμο αλατονέφωσης, στη ΜΧΠ, γύρω από την πετονιά υπάρχει μια χαρακιά. Στη ΧΠ η επικάλυψη δεν έχει κάποια ατέλεια. Στη ΜΧΠ, μετά την 5η ημέρα, γύρω από την πετονιά και στο σημείο της χαρακιάς εμφανίζεται διάβρωση. Στο λαιμό, στη δεξιά πλευρά, αποκολλήθηκε μέρος της επικάλυψης. Την 9η ημέρα, εμφανίζεται διάβρωση στην κάτω

αριστερή γωνία και μια ρωγμή στο κέντρο της κάτω πλευράς και εκτείνεται κάθετα σε όλη την επικάλυψη. Τη 14η ημέρα, γύρω από την πετονιά, αποκολλήθηκε η επικάλυψη και άρχισε η διάβρωση του υποστρώματος. Την 31η ημέρα, το φαινόμενο που ξεκίνησε από την πετονιά και οι κηλίδες στην κάτω πλευρά του δοκιμίου ενώνονται. Την 58η ημέρα, όλη η επικάλυψη είναι διαβρωμένη. Την 68η ημέρα, στην πάνω δεξιά γωνία, γίνεται αποκόλληση της επικάλυψης, μέχρι την 75η ημέρα η διάβρωση καταστρέφει την επιφάνεια του δοκιμίου. Στην ΧΠ την 5η ημέρα, εμφανίζονται γραμμές, καφέ χρώματος, στο λαιμό και την κάτω πλευρά του δοκιμίου. Την 15η ημέρα, το φαινόμενο είναι πιο έντονο. Την 31η ημέρα η κάτω πλευρά και το σημείο γύρω από την πετονιά είναι έντονα σκουριασμένο. Την 58η ημέρα, γίνεται αποκόλληση της επικάλυψης στην πάνω αριστερή γωνία και την 65η ημέρα, σε δύο σημεία στην κάτω πλευρά του λαιμού. Το φαινόμενο της διάβρωσης εξελίσσεται μέχρι την 75η ημέρα, που το δοκίμιο αφαιρείται από τον θάλαμο αλατονέφωσης, έχοντας καφέ χρώμα σε όλο το δοκίμιο και σκούρο καφέ στα σημεία όπου ξεκίνησε η διάβρωση.

Η Εικ.5.10. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 5* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 75η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

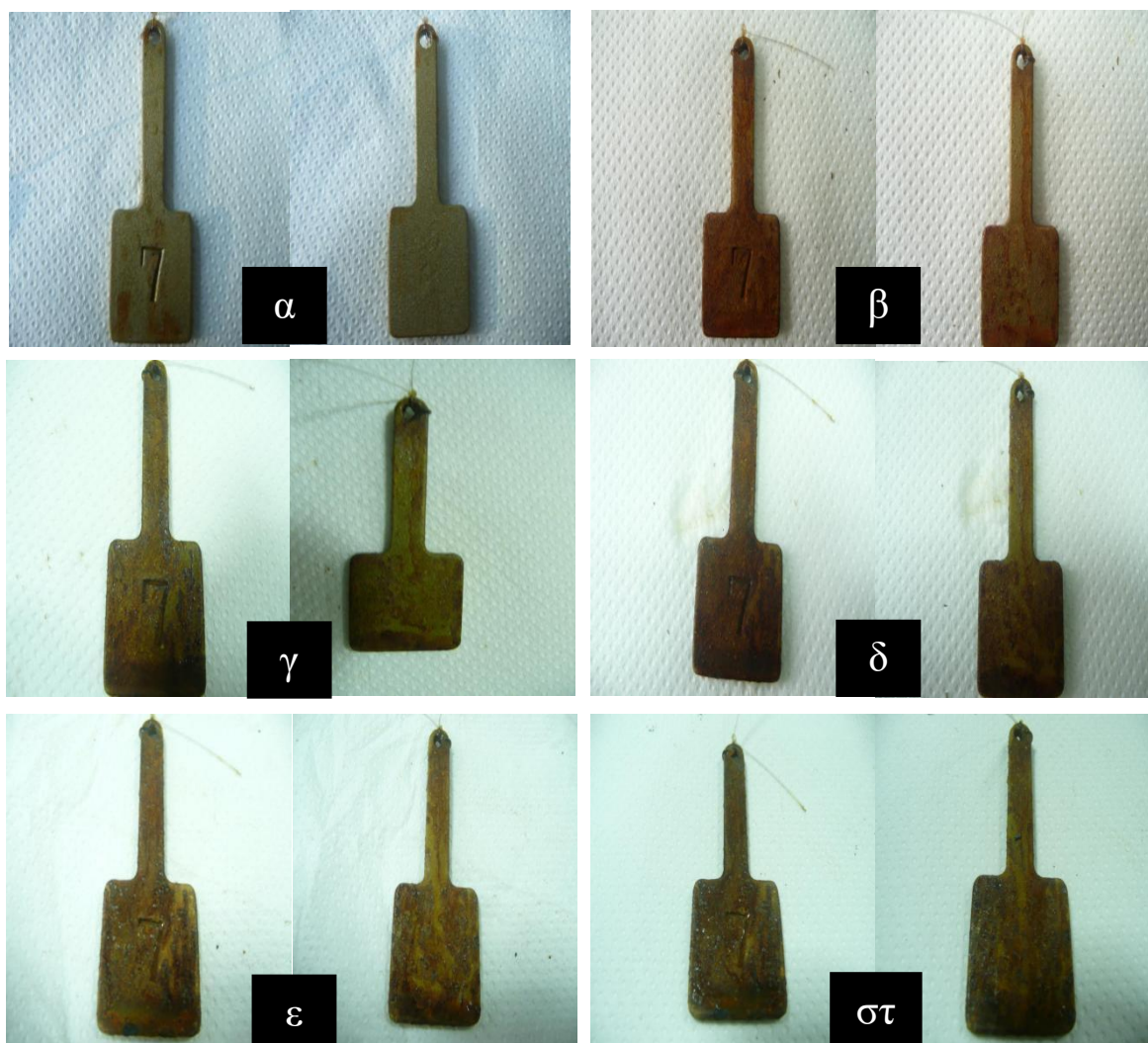


Εικόνα 5.10 Δοκίμιο 5* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 15η ημέρα (δ) 34η ημέρα (ε) 58η ημέρα και (στ) 75η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 5* (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti): Το δοκίμιο πριν τοποθετηθεί στο θάλαμο αλατονέφωσης, είχε στη βάση της ΧΠ εκδορές στην επιφάνεια της επικάλυψης, ενώ η επιφάνεια της ΜΧΠ είναι σε καλή κατάσταση. Την 5η ημέρα, στη βάση της ΜΧΠ, εμφανίζεται μια κηλίδα, που εκτείνεται μέχρι το λαιμό του δοκιμίου. Την 7η ημέρα, η

σκουριά γύρω από την πετονιά γίνεται πιο έντονη. Την 13η ημέρα, παρουσιάζεται αλλοίωση της επιφάνειας της επικάλυψης γύρω από την πετονιά καθώς και στην κάτω δεξιά γωνία. Η διαδικασία διάβρωσης προχώρησε με την πάροδο του χρόνου και εμφανίστηκαν φυσαλίδες από την κάτω γωνία μέχρι την πάνω δεξιά γωνία. Την 31η ημέρα, δημιουργήθηκαν ρωγμές στη φυσαλίδα με αποτέλεσμα, τμήμα της επικάλυψης να αποκοπεί. Τη 40η ημέρα, στην πάνω αριστερή γωνία και στο λαιμό αριστερά, αποκολλήθηκε η επικάλυψη. Η διάβρωση έδωσε όψη σκουριάς σε όλη την επιφάνεια του δοκιμίου. Στη ΧΠ, τη 14η ημέρα, εμφανίζονται μεγάλες φυσαλίδες γύρω από την πετονιά και στην κάτω αριστερή γωνία. Την 20η ημέρα, το χρώμα του δοκιμίου στη βάση του αλλάζει από σκούρο γκρι σε καφέ-μαύρο. Την 24η ημέρα διαβρώθηκε ο αριθμός και δεξιά του αριθμού δημιουργήθηκαν φυσαλίδες, σαν γραμμές. Την 31η ημέρα, οι γραμμές συνεχίστηκαν μέχρι την κάτω αριστερή γωνία. Την 40η ημέρα, αποκολλήθηκε ένα τμήμα της επικάλυψης, από την πάνω δεξιά πλευρά του χαραγμένου αριθμού. Η διάβρωση προχώρησε στα σημεία που εμφανίστηκε μέχρι την 75η ημέρα, που το δοκίμιο απομακρύνθηκε από την αλατονέφωση.

Η Εικ.5.11. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 7 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Alcea κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη πρώτη ημέρα έκθεσης στο θάλαμο μέχρι την 21η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

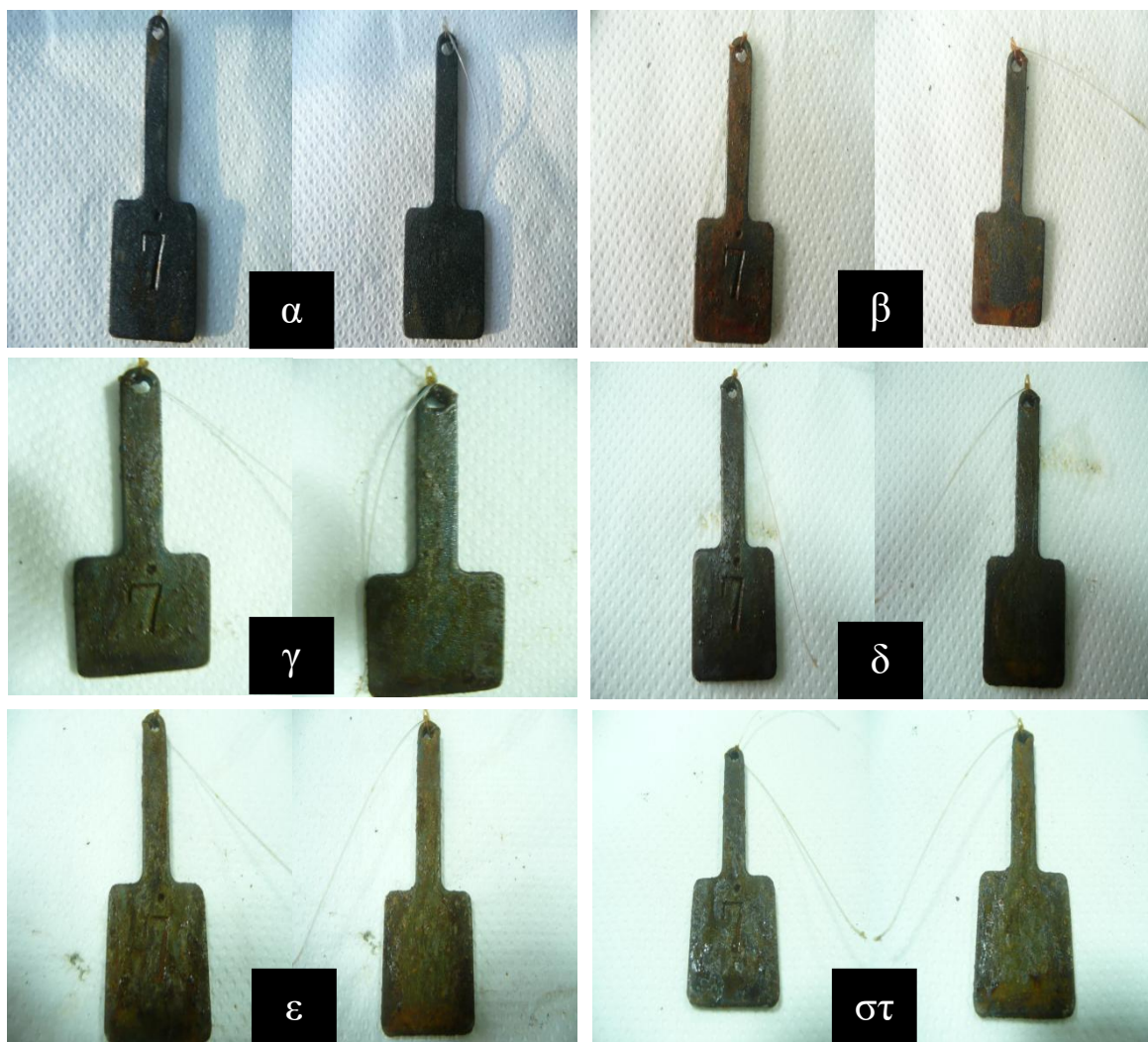


Εικόνα 5.11 Δοκίμιο 7 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 6η ημέρα (γ) 10η ημέρα (δ) 14η ημέρα (ε) 18η ημέρα και (στ) 21η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 7 (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Alcea) : Πριν τοποθετήσουμε το δοκίμιο στο θάλαμο αλατονέφωσης δεν υπήρχε κάποια ατέλεια στη επικάλυψη της ΧΠ και της ΜΧΠ. Στη ΜΧΠ την 1η ημέρα εμφανίστηκαν κηλίδες καφέ χρώματος γύρω από την πετονιά και στη πάνω αριστερή γωνία. Το φαινόμενο προχώρησε σταδιακά και μέχρι την 6η ημέρα το μεγαλύτερο τμήμα της επιφάνειας της επικάλυψης είχε χρώμα καφέ και η επικάλυψη είχε μικρές οπές σε όλο

το εύρος της. Οι φυσαλίδες και οι οπές συνεχίζουν να βρίσκονται στην επιφάνεια του δοκιμίου μέχρι την 21η ημέρα που το δοκίμιο απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης. Στην ΧΠ την 1η ημέρα εμφανίζονται κηλίδες σκορπισμένες σε όλη την επιφάνεια και δύο μεγάλες στη βάση, δεξιά και αριστερά του χαραγμένου αριθμού. Η διάβρωση την 3η ημέρα έχει επεκταθεί σε όλη την επικάλυψη του δοκιμίου και στις γωνίες γύρω από τον αριθμό εμφανίστηκαν μικρές οπές. Την 6η ημέρα όλη η επιφάνεια του δοκιμίου έχει καφέ χρώμα και η όψη της μοιάζει με σκόνη. Την 21η ημέρα το φαινόμενο της διάβρωσης έχει εξελιχθεί με το χρόνο και έχει δώσει στην επικάλυψη σκούρο καφέ χρώμα και στα σημεία των οπών πιο μαύρο.

Η Εικ.5.12. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 7* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη πρώτη ημέρα έκθεσης στο θάλαμο μέχρι την 21η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

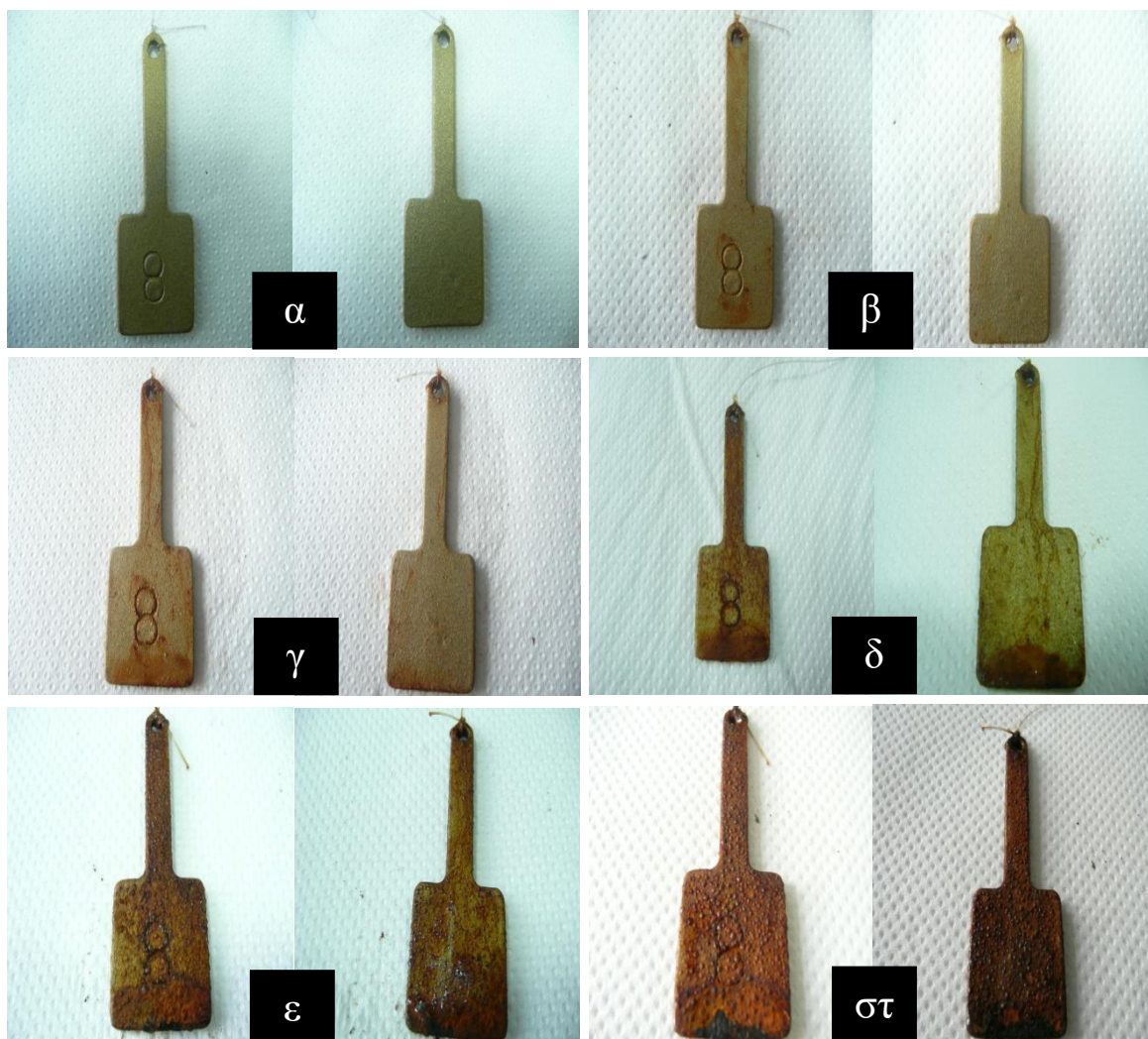


Εικόνα 5.12 Δοκίμιο 7* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 6η ημέρα (γ) 10η ημέρα (δ) 14η ημέρα (ε) 18η ημέρα και (στ) 21η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 7* (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti) : Όταν τοποθετήθηκε το δοκίμιο στο θάλαμο αλατονέφωσης δεν υπήρχε κάποιο ελάττωμα στη ΜΧΠ και στη ΧΠ του. Την 1η ημέρα στη βάση της ΜΧΠ άλλαξε το χρώμα της επικάλυψης. Την 6η ημέρα το έντονο χρώμα σκουριάς ξεκινάει από τη βάση του δοκιμίου και εξαπλώνεται σε όλη την υπόλοιπη επιφάνεια. Δημιουργήθηκαν φυσαλίδες που την 16η ημέρα οδήγησαν στην αλλαγή του χρώματος όλης της ΜΧΠ. Η διάβρωση συνεχίζεται σε όλο το δοκίμιο μέχρι την 21η ημέρα που απομακρύνεται από το

θάλαμο. Στη ΧΠ τα σημάδια διάβρωσης της επικάλυψης αρχίζουν από τη 1η ημέρα στο χαραγμένο αριθμό και στην κάτω δεξιά γωνία καθώς και γύρω από τη πετονιά. Σταδιακά το χρώμα της επικάλυψης αλλάζει από σκούρο γκρι σε καφέ όσο εξελίσσεται η διάβρωση. Την 21η ημέρα που το δοκίμιο απομακρύνεται από την αλατονέφωση η επικάλυψη φαίνεται διαβρωμένη αλλά δεν έχει αποκολληθεί από το υπόστρωμα.

Η Εικ.5.13. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 8 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Alcea κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη πρώτη ημέρα έκθεσης στο θάλαμο μέχρι την 76η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

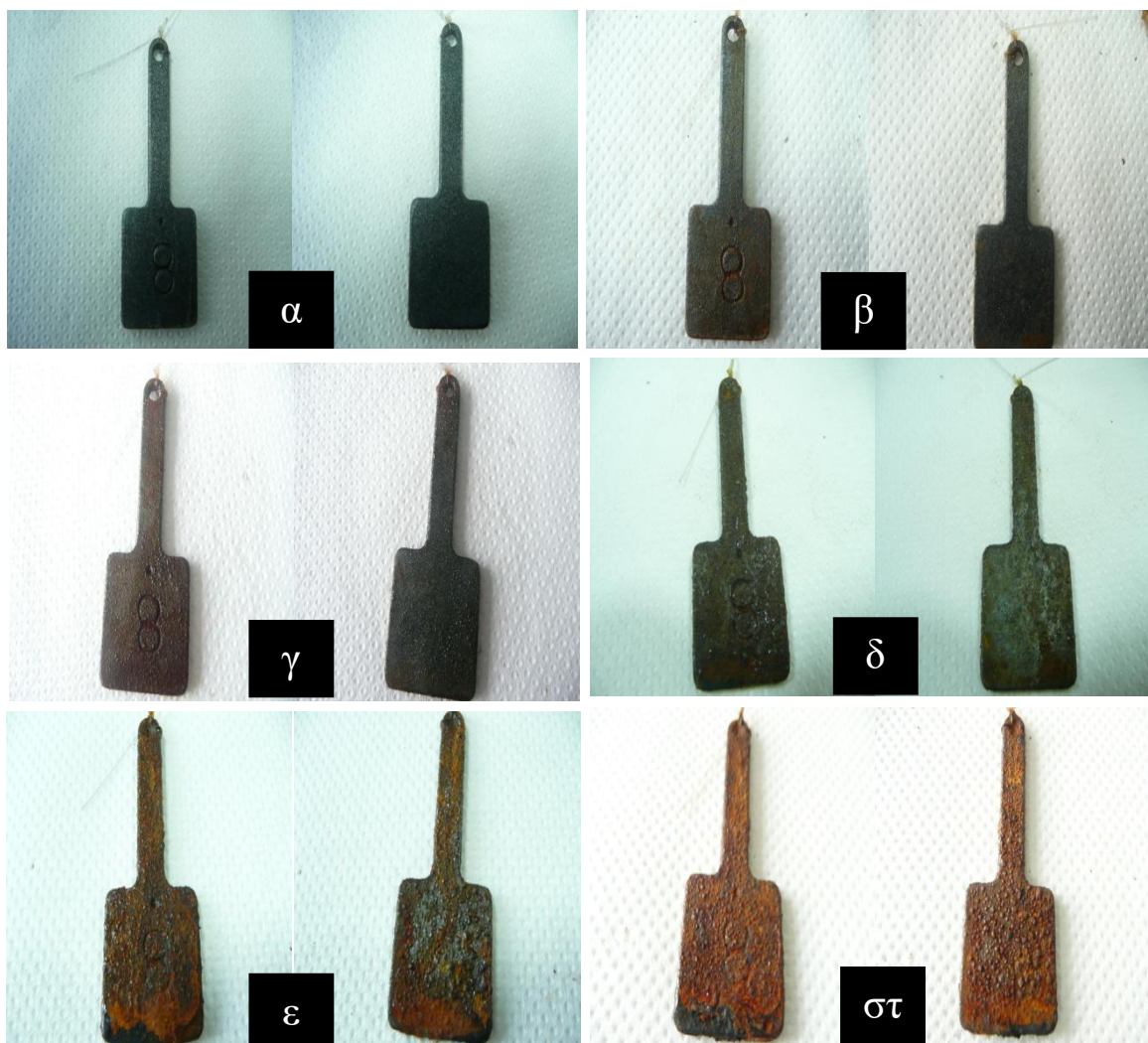


Εικόνα 5.13 Δοκίμιο 8 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 6η ημέρα (γ) 16η ημέρα (δ) 35η ημέρα (ε) 59η ημέρα και (στ) 76η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 8 (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Alcea) : Πριν την τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης δεν υπάρχει κανένα ελάττωμα στη ΜΧΠ και στη ΧΠ του δοκιμίου. Την 6η ημέρα στη ΜΧΠ μικρές κηλίδες εμφανίζονται στην αριστερή πλευρά και γύρω από τη πετονιά. Την 21η ημέρα προχωράει λίγο στη βάση του δοκιμίου και στο λαιμό. Την 38η ημέρα η διάβρωση προχώρησε περισσότερο και εμφανίστηκαν φυσαλίδες. Την 59η ημέρα το χρώμα των φυσαλίδων είναι σκούρο καφέ και του υπόλοιπου δοκιμίου καφέ-κόκκινο. Την 76η ημέρα

το δοκίμιο εξαιτίας της διάβρωσης που έχει υποστεί έχει χρώμα σκούρο καφέ και στα σημεία που ξεκίνησε η διάβρωση καθώς και στις φυσαλίδες έχει χρώμα μαύρο. Ανάλογη είναι και η εικόνα της ΧΠ με τα πρώτα σημάδια διάβρωσης να εμφανίζονται την 6η ημέρα γύρω από τον αριθμό και στο λαιμό. Την 25η ημέρα το φαινόμενο γίνεται πιο έντονο στη βάση, γύρω από τον αριθμό και στο λαιμό. Την 32η ημέρα στην πάνω δεξιά γωνία και στο λαιμό εμφανίζονται μικρές φυσαλίδες. Την 41η ημέρα οι φυσαλίδες καλύπτουν όλη την επιφάνεια του δοκιμίου ενώ την 59η ημέρα η εξέλιξη της πορείας της διάβρωσης φαίνεται από την αλλαγή στο χρώμα της επικάλυψης κάτι που εντείνεται μέχρι την 76η ημέρα που το δοκίμιο απομακρύνεται από την αλατονέφωση.

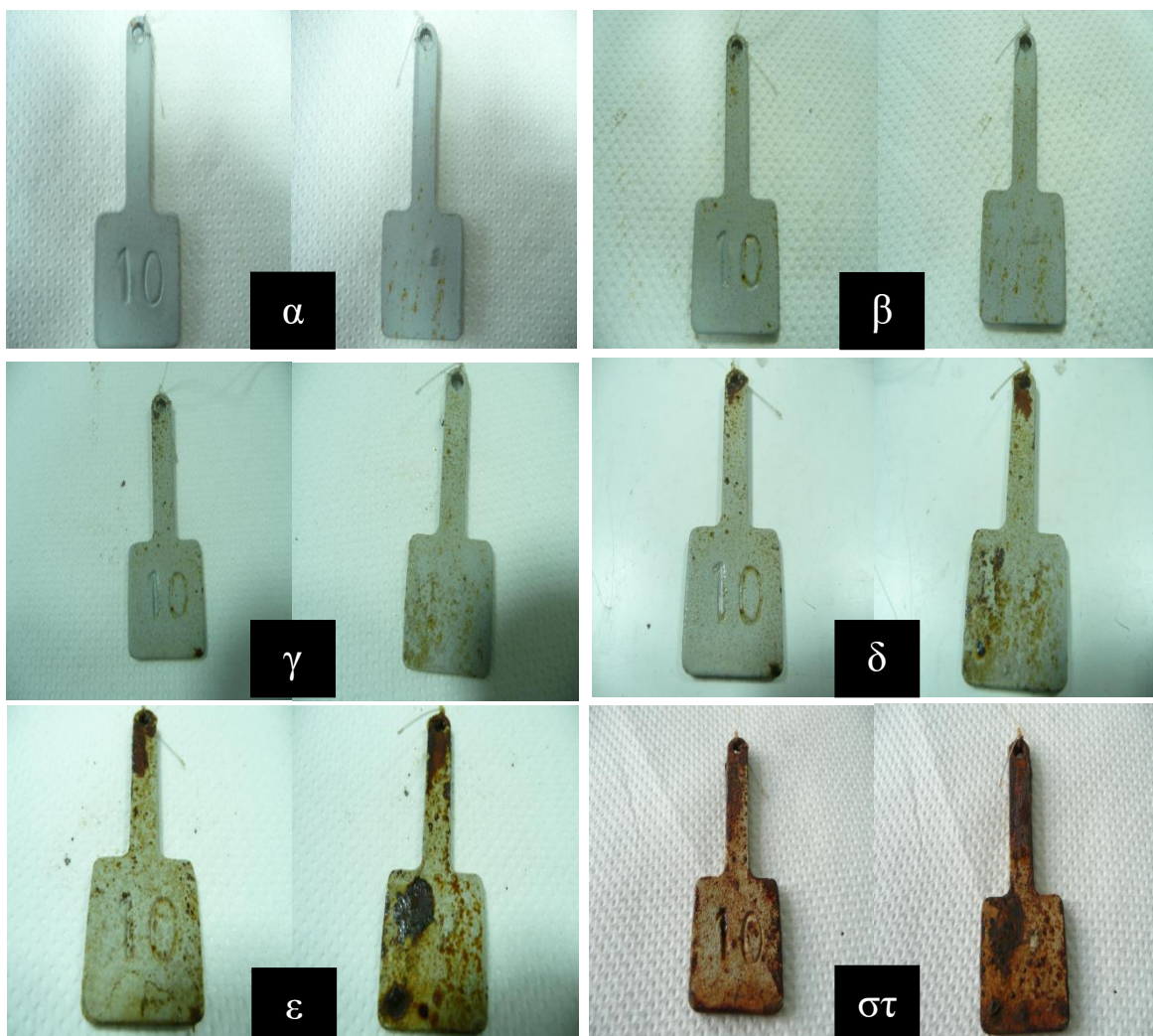
Η Εικ.5.14. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 8* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη πρώτη ημέρα έκθεσης στο θάλαμο μέχρι την 76η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.14 Δοκίμιο 8* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 6η ημέρα (γ) 16η ημέρα (δ) 35η ημέρα (ε) 59η ημέρα και (στ) 76η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 8* (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Paramatti) : Πριν την τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης η επιφάνεια της επικάλυψης δεν είχε κάποιο ελάττωμα ούτε η ΧΠ ούτε η ΜΧΠ. Τα πρώτα σημάδια διάβρωσης στη ΜΧΠ εμφανίζονται την 6η ημέρα γύρω από τη πετονιά και στη κάτω δεξιά γωνία. Την 11η ημέρα εμφανίζονται φυσαλίδες οι οποίες την 18η ημέρα προσδίδουν ένα καφέ χρώμα εξαιτίας της διάβρωσης. Την 32η ημέρα όλη η επιφάνεια έχει

μικρές φυσαλίδες και το δοκίμιο έχασε την λάμψη του. Την 38η ημέρα στην κάτω γωνία το χρώμα είναι καφέ-κόκκινο. Την 59η ημέρα το φαινόμενο έχει εξαπλωθεί και η επιφάνεια της επικάλυψης ξεφλουδίζει. Την 76η ημέρα το δοκίμιο απομακρύνθηκε από τον θάλαμο αλατονέφωσης και όλη η επιφάνεια του είναι γεμάτη φυσαλίδες και σκουριά. Στη ΧΠ η αλλοίωση του χρώματος ξεκίνησε τη 2η ημέρα στο χαραγμένο αριθμό. Την 8η ημέρα γύρω από τη πετονιά και στην κάτω αριστερή γωνία παρατηρείται αλλοίωση και την 10η ημέρα η επιφάνεια γεμίζει μικρές φυσαλίδες. Την 21η ημέρα στην κάτω αριστερή γωνία έντονο χρώμα σκουριάς και πιο ήπια στην υπόλοιπη επιφάνεια. Στην 38η ημέρα το χρώμα ολόκληρου του δοκιμίου αλλάζει λόγω της διάβρωσης. Το δείγμα αφαιρείται από την αλατονέφωση με έντονα σημάδια διάβρωσης σε όλη του την επιφάνεια την 76η ημέρα. Η Εικ.5.15. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 10 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Μίνιο κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη πρώτη ημέρα έκθεσης στο θάλαμο μέχρι την 87η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

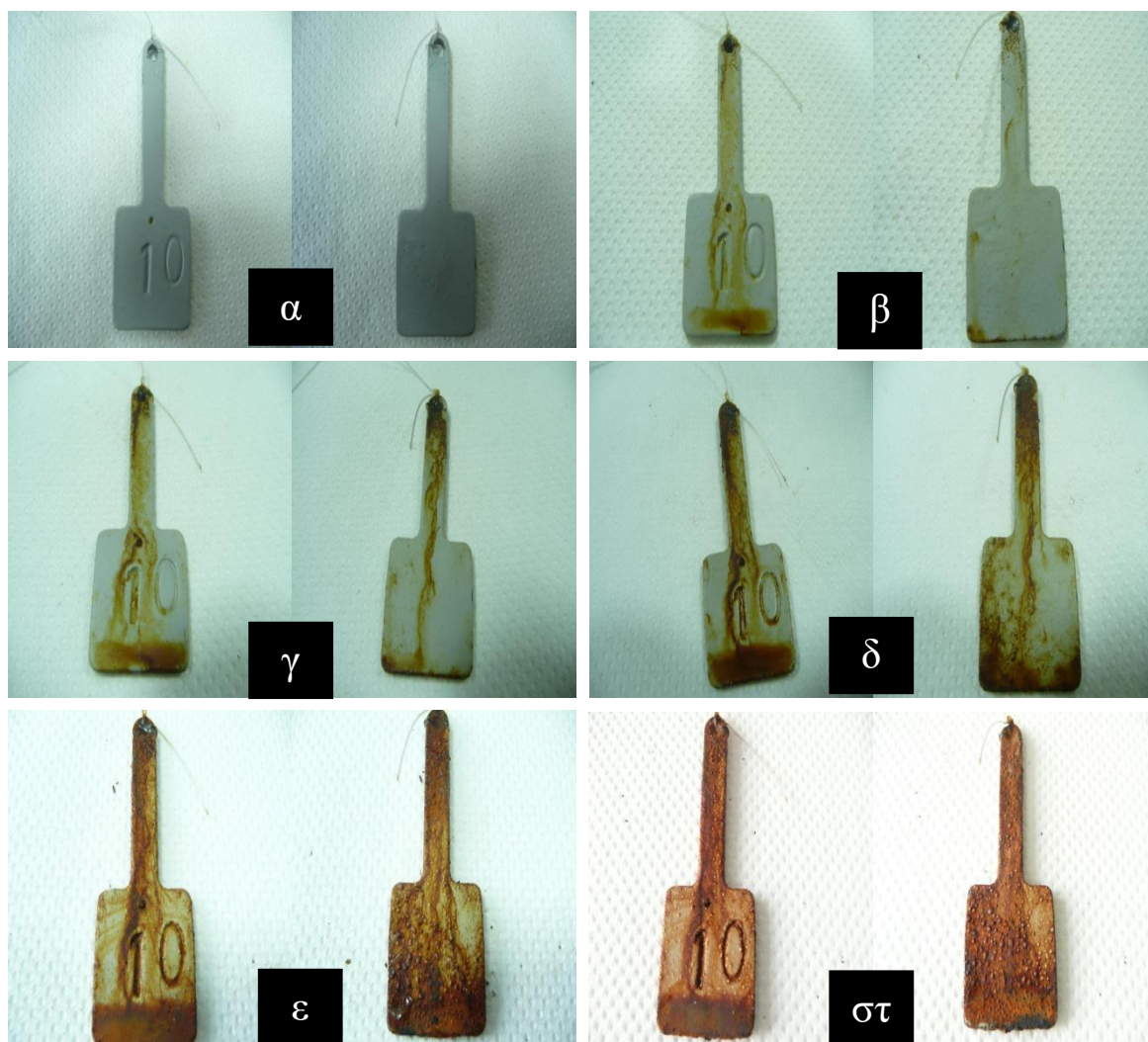


Εικόνα 5.15 Δοκίμιο 10 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Μίνιο. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 10η ημέρα (γ) 25η ημέρα (δ) 41η ημέρα (ε) 61η ημέρα και (στ) 87η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 10 (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Μίνιο) : Πριν την τοποθέτηση του δοκιμίου στο θάλαμο αλατονέφωσης η ΧΠ δεν είχε κάποιο ελάττωμα και η ΜΧΠ είχε μικρές κηλίδες. Την 1η ημέρα που το δοκίμιο τοποθετήθηκε στο θάλαμο αλατονέφωσης εμφανίστηκαν περισσότερες κηλίδες. Από την 1η μέχρι την 25η ημέρα η επικάλυψη καλύπτεται όλο και περισσότερο με κηλίδες. Την 38η ημέρα γύρω από την πετονιά παρατηρείται έντονη διάβρωση και στην αριστερή πλευρά μικρές οπές στα σημεία που υπήρχαν κηλίδες. Την

59η ημέρα γύρω από τη πετονιά και στις κηλίδες παρατηρείται πιο έντονη φθορά της επικάλυψης. Από την 59η μέχρι την 87η ημέρα η διάβρωση εξελίχθηκε, ο λαιμός και η πάνω αριστερή γωνία έχουν χρώμα σκούρο καφέ και όπου υπήρχαν φυσαλίδες το υλικό έγινε μαύρο. Στην ΧΠ οι κηλίδες εμφανίζονται από την 2η ημέρα. Την 25η ημέρα όλη η επιφάνεια σχεδόν έχει καλυφθεί από καφέ κηλίδες. Στην κάτω δεξιά γωνία και γύρω από τη πετονιά πιο έντονες και μεγαλύτερες κηλίδες. Την 59η ημέρα στο λαιμό γύρω από την πετονιά έντονη διάβρωση με σκούρο καφέ χρώμα. Σε κάποιες κηλίδες δημιουργήθηκαν φυσαλίδες που δημιούργησαν ρωγμές στην επιφάνεια της επικάλυψης. Την 87η ημέρα στον χαραγμένο αριθμό αριστερά, στην κάτω πλευρά, στην δεξιά και στο λαιμό υπάρχει έντονη διάβρωση.

Η Εικ.5.16. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 10* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Gridox κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη πρώτη ημέρα έκθεσης στο θάλαμο μέχρι την 76η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

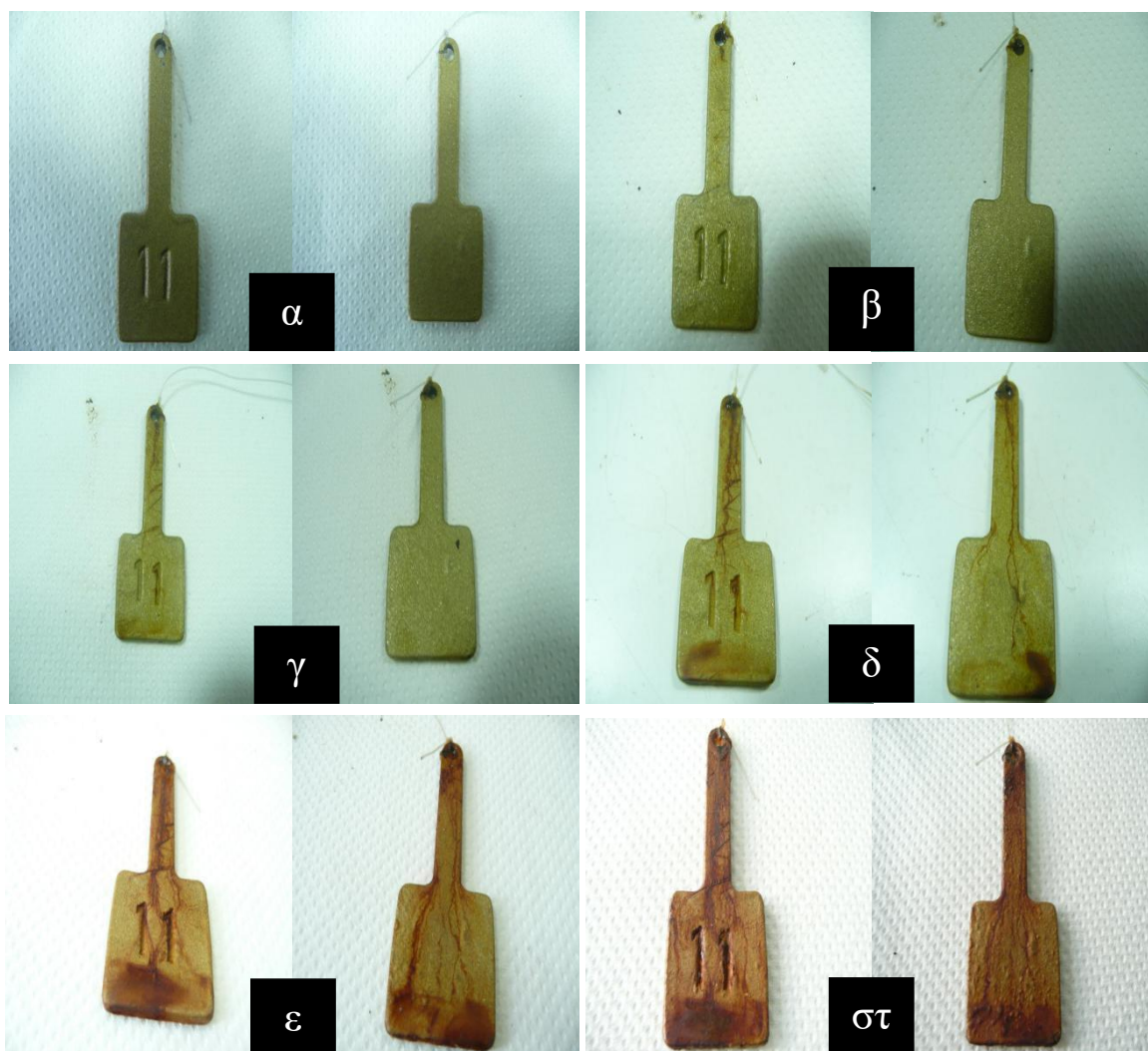


Εικόνα 5.16 Δοκίμιο 10* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Gridox. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 10η ημέρα (γ) 21η ημέρα (δ) 35η ημέρα (ε) 59η ημέρα και (στ) 76η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 10* (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή και Gridox) : Πριν τοποθετήσουμε το δοκίμιο στο θάλαμο αλατονέφωσης στη ΜΧΠ γύρω από την πετονιά και στη μέση δεξιά λείπει η επικάλυψη. Την 6η ημέρα στη ΜΧΠ κάτω αριστερά και γύρω από τη πετονιά άρχισε η διάβρωση. Την 12η ημέρα στη βάση αριστερά και στο λαιμό γύρω από τη πετονιά σχηματίστηκαν σαν ρωγμές με καφέ χρώμα. Την 32η ημέρα η σκουριά μοιάζει σαν να ξεκινάει γύρω από την

πετονιά και καταλήγει στη βάση. Στις δύο γωνίες πιο έντονο το φαινόμενο και στη κάτω αριστερή γωνία φυσαλίδες. Την 59η ημέρα οι φυσαλίδες είναι σε όλη την επιφάνεια του δοκιμίου και το μεγαλύτερο τμήμα της επικάλυψης έχει γίνει από γκρι, καφέ. Την 76η ημέρα όλη η επιφάνεια είναι γεμάτη φυσαλίδες καφέ και στη βάση του δοκιμίου το χρώμα του είναι σκούρο καφέ. Στη ΧΠ γύρω από τη πετονιά η διάβρωση φαίνεται με την αλλαγή στο χρώμα της επικάλυψης. Στην 12η ημέρα διάβρωση στο λαιμό και στη βάση και σε όλη τη κάθετη επιφάνεια. Την 25η ημέρα το χρώμα στη βάση, στο λαιμό και γύρω από τη πετονιά είναι πιο σκούρο. Την 59η ημέρα η επικάλυψη έχει ρωγμές και η διάβρωση εκτείνεται από το λαιμό μέχρι τη βάση σαν χαρακιές. Την 76η ημέρα το δοκίμιο είναι διαβρωμένο και έχει φυσαλίδες. Έχει αλλάξει το χρώμα της επικάλυψης.

Η Εικ.5.17. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 11 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή, Gridox και Alcea κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη πρώτη ημέρα έκθεσης στο θάλαμο μέχρι την 87η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

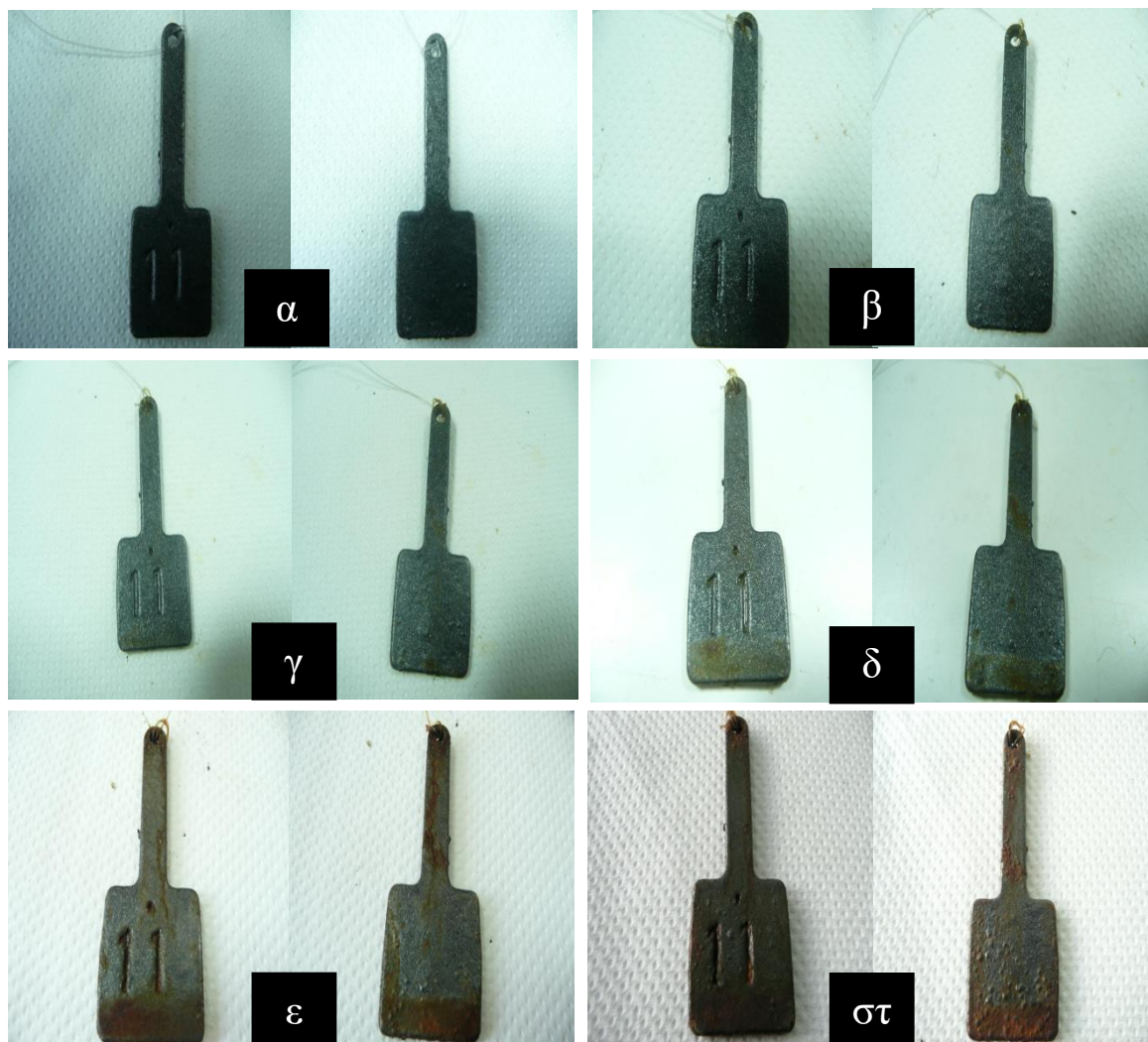


Εικόνα 5.17 Δοκίμιο 11 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή, Gridox και Alcea. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 10η ημέρα (γ) 25η ημέρα (δ) 41η ημέρα (ε) 64η ημέρα και (στ) 87η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 11 (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή, Gridox και Alcea) : Πριν τοποθετήσουμε το δοκίμιο στο θάλαμο αλατονέφωσης στη ΜΧΠ υπήρχε ένα μικρό φούσκωμα στην πάνω δεξιά γωνία και στη ΧΠ μια μικρή κουκκίδα κάτω από τη πετονιά. Στη ΜΧΠ υπήρξε διάβρωση γύρω από τη πετονιά. Την 32η ημέρα εμφανίζονται σαν ρωγμές διάβρωσης γύρω από τη πετονιά μέχρι τη μέση του δοκιμίου και στη κάτω δεξιά γωνία. Την 59η ημέρα παρουσιάστηκε διάβρωση

στη κάτω πλευρά και στο λαιμό γύρω από τη πετονιά. Την 76η ημέρα φυσαλίδες παρουσιάστηκαν σε όλη την επιφάνεια παρέμειναν μέχρι την 87η ημέρα. Για τη ΧΠ εμφανίζεται στη κουκκίδα που υπήρχε σκουριά την 6η ημέρα. Στο λαιμό και σε κάποια σημεία σε όλη την επιφάνεια του δοκιμίου γίνεται αποχρωματισμός της επικάλυψης και αποκαλύπτονται κάποιες χαρακιές στο υλικό. Στο σημείο των χαρακιών την 16η ημέρα εμφανίζεται διάβρωση. Την 32η ημέρα ο χαραγμένος αριθμός, στις χαρακιές, γύρω από τη πετονιά και στη κάτω αριστερή πλευρά υπάρχει σκουριά. Το φαινόμενο γίνεται πιο έντονο με την παραμονή του δοκιμίου στο θάλαμο. Την 69η ημέρα αποκολλήθηκε ένα τμήμα της επικάλυψης από τη πάνω αριστερή γωνία. Την 87η ημέρα η επικάλυψη δεν έχει αποκολληθεί άλλο όμως όλη η επιφάνεια έχει έντονο χρώμα σκουριάς. Το δοκίμιο απομακρύνθηκε από την αλατονέφωση.

Η Εικ.5.18. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 11* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή, Gridox και Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη πρώτη ημέρα έκθεσης στο θάλαμο μέχρι την 87η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

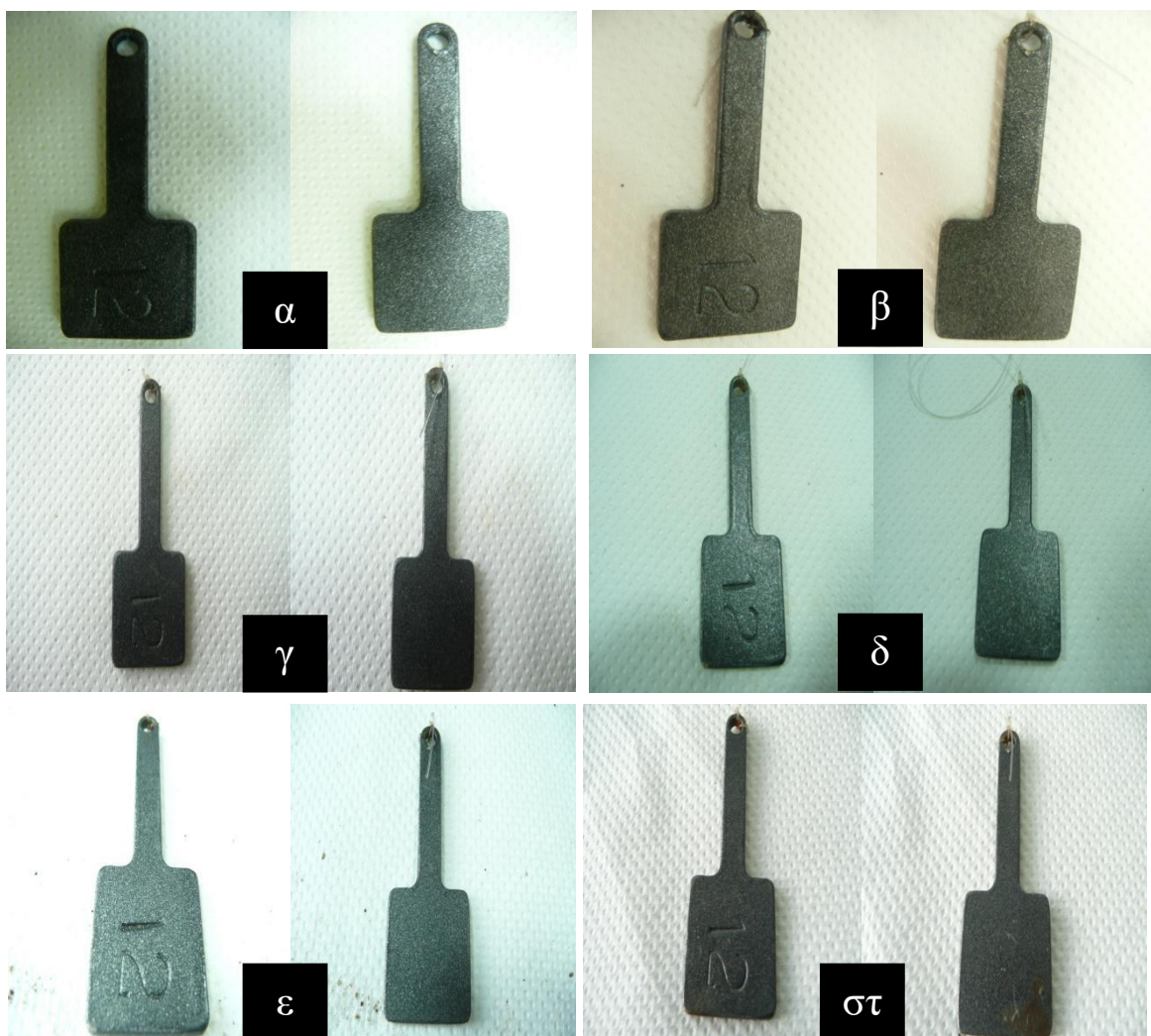


Εικόνα 5.18 Δοκίμιο 11* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή, Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 10η ημέρα (γ) 25η ημέρα (δ) 41η ημέρα (ε) 64η ημέρα και (στ) 87η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 11* (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Γομωτή, Gridox και Paramatti) : Πριν τη τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης του δοκιμίου είχε φυσαλίδες στη ΧΠ και στη ΜΧΠ. Την 15η ημέρα στη βάση της ΧΠ η επιφάνεια έχασε τη λάμψη της και αλλοιώθηκε το χρώμα της στη κάτω αριστερή γωνία. Την 35η ημέρα είναι πιο έντονη η αλλοίωση στο χρώμα της ΧΠ από τη βάση και εκτείνεται προς το κέντρο. Την 59η ημέρα έντονο χρώμα σκουριάς στο λαιμό

γύρω από τη πετονιά και στο *. Την 64η ημέρα καφέ σκούρο χρώμα στα σημεία που υπήρχε ένδειξη διάβρωσης. Από την 76η και μέχρι την 87η ημέρα που το δοκίμιο απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης η επικάλυψη παρουσιάζει έντονη διάβρωση χωρίς όμως να προκαλείται αποκόλληση του στρώματος της επικάλυψης. Στη ΜΧΠ από την 6η ημέρα παρατηρείται διάβρωση στις μικρές φυσαλίδες στο λαιμό, και το χρώμα αλλάζει σε ήπιο γκρι-καφέ. Την 18η ημέρα στη μέση της κάτω πλευράς και στο σημείο που εμφανίστηκε η διάβρωση την 6η ημέρα εμφανίζεται το χρώμα της σκουριάς. Την 35η ημέρα κάποιες κηλίδες εμφανίζονται στο κέντρο του δοκιμίου. Την 41η ημέρα στην κάτω πλευρά και στην αριστερή γωνία οι κηλίδες επεκτάθηκαν σε μέγεθος καθώς και αυτή στο λαιμό. Την 64η ημέρα παρατηρείται αλλαγή στο χρώμα και την 76η ημέρα αλλαγή του χρώματος είναι πιο έντονη. Την 87η ημέρα που το δοκίμιο απομακρύνεται από το θάλαμο αλατονέφωσης η επιφάνεια του δοκιμίου είναι σχεδόν καλυμμένη ολόκληρη με φυσαλίδες.

Η Εικ.5.19. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 12 το οποίο είναι Stainless Steel 316 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 100η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.



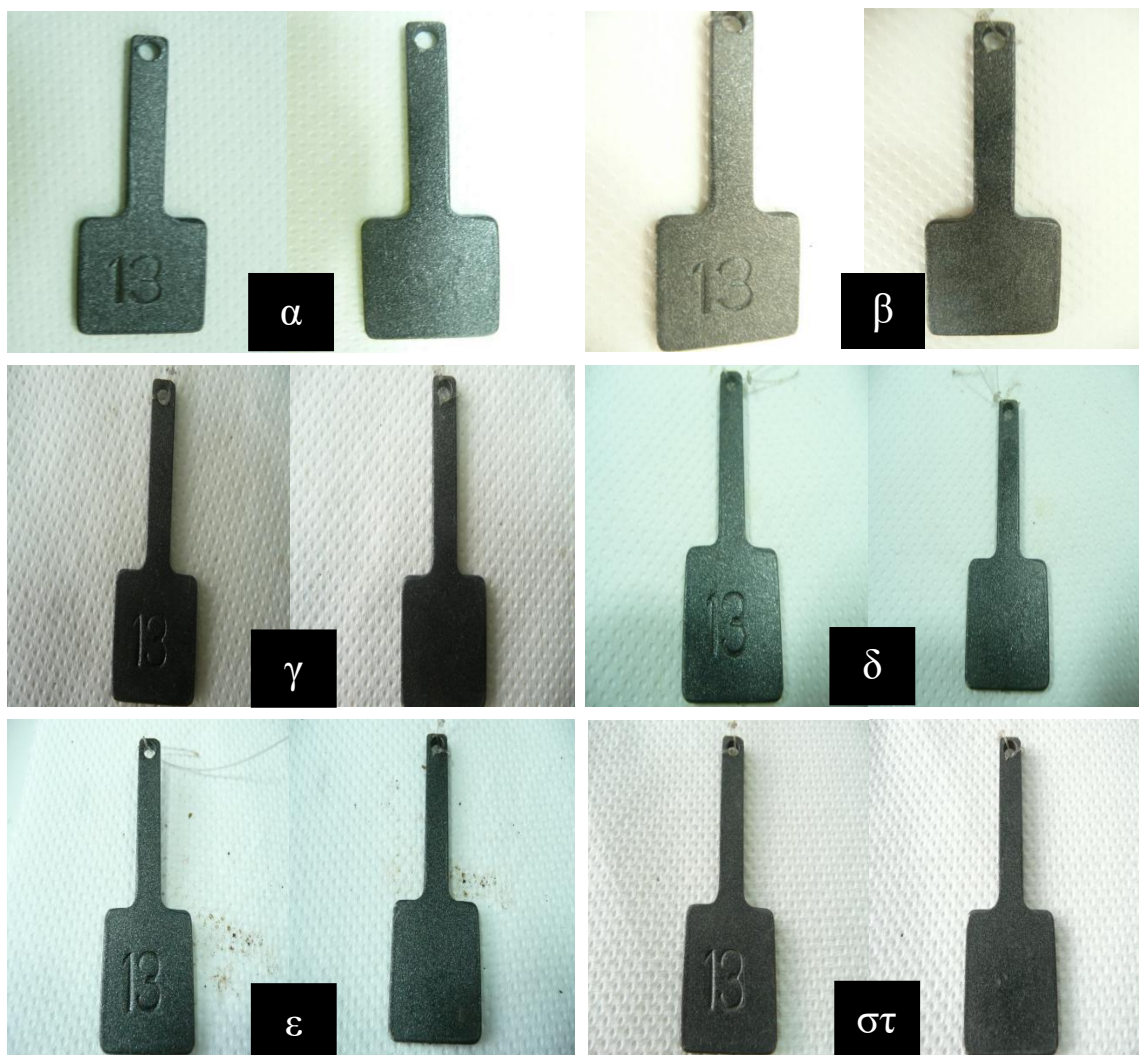
Εικόνα 5.19 Δοκίμιο 12 το οποίο είναι Stainless Steel 316 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 12 (το οποίο είναι Stainless Steel 316 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti) : Πριν τη τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης δεν υπήρχε κανένα ελάττωμα στη ΧΠ και στη ΜΧΠ. Το δοκίμιο μέχρι την 79η ημέρα δεν είχε παρουσιάσει κανένα σημάδι διάβρωσης εκτός από πολύ λίγο γύρω από τη πετονιά. Στη ΜΧΠ την 79η ημέρα εμφάνισε στο λαιμό μια πολύ μικρή κηλίδα και στην πάνω δεξιά πλευρά μια ακόμη. Την 82η ημέρα μια αλλοίωση του χρώματος στη κάτω δεξιά γωνία.

Την 89η ημέρα η κατάσταση της διάβρωσης εξελίχθηκε προκαλώντας φουσαλίδες και αλλαγή στο χρώμα στην επιφάνεια του δοκιμίου που είναι πιο έντονη στην κάτω δεξιά γωνία. Το δοκίμιο απομακρύνθηκε από το θάλαμο την 100η ημέρα. Στη ΧΠ στην 95η ημέρα φαίνεται να επηρεάζεται η επιφάνεια στη κάτω αριστερή γωνία.

Το δείγμα 12* δεν έχει τοποθετηθεί στο θάλαμο αλατονέφωσης.

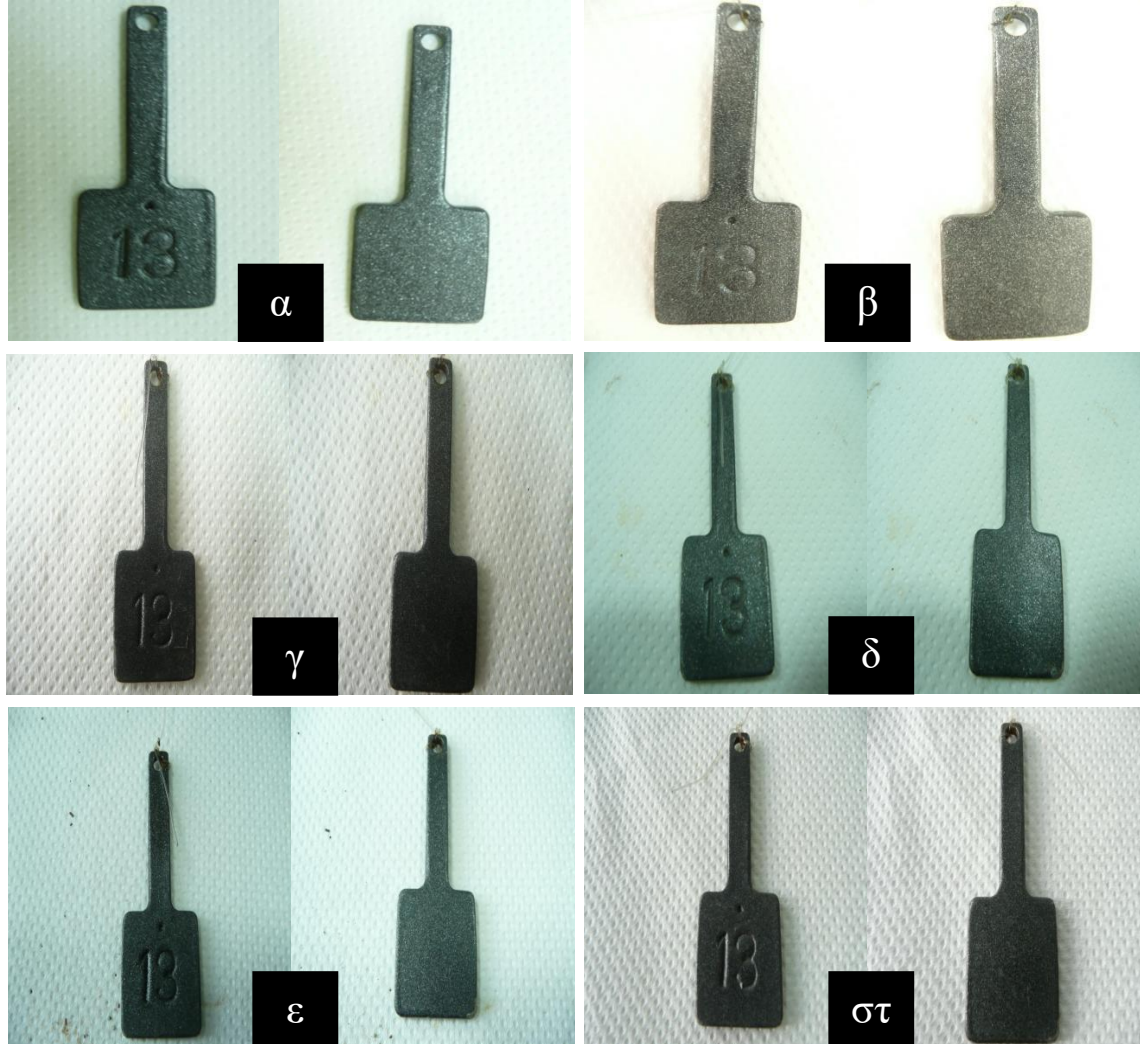
Η Εικ.5.20. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 13 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000 °C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 100η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.20 Δοκίμιο 13 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 13 (το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti) : Πριν τη τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης δεν υπήρχε κανένα ελάττωμα στη ΧΠ και στη ΜΧΠ. Το δοκίμιο παρέμεινε στο θάλαμο αλατονέφωσης για 100 ημέρες και δεν εμφάνισε σημάδια διάβρωσης εκτός από το σημείο γύρω από τη πετονιά. Όλη η υπόλοιπη επιφάνεια είναι σε άριστη κατάσταση.

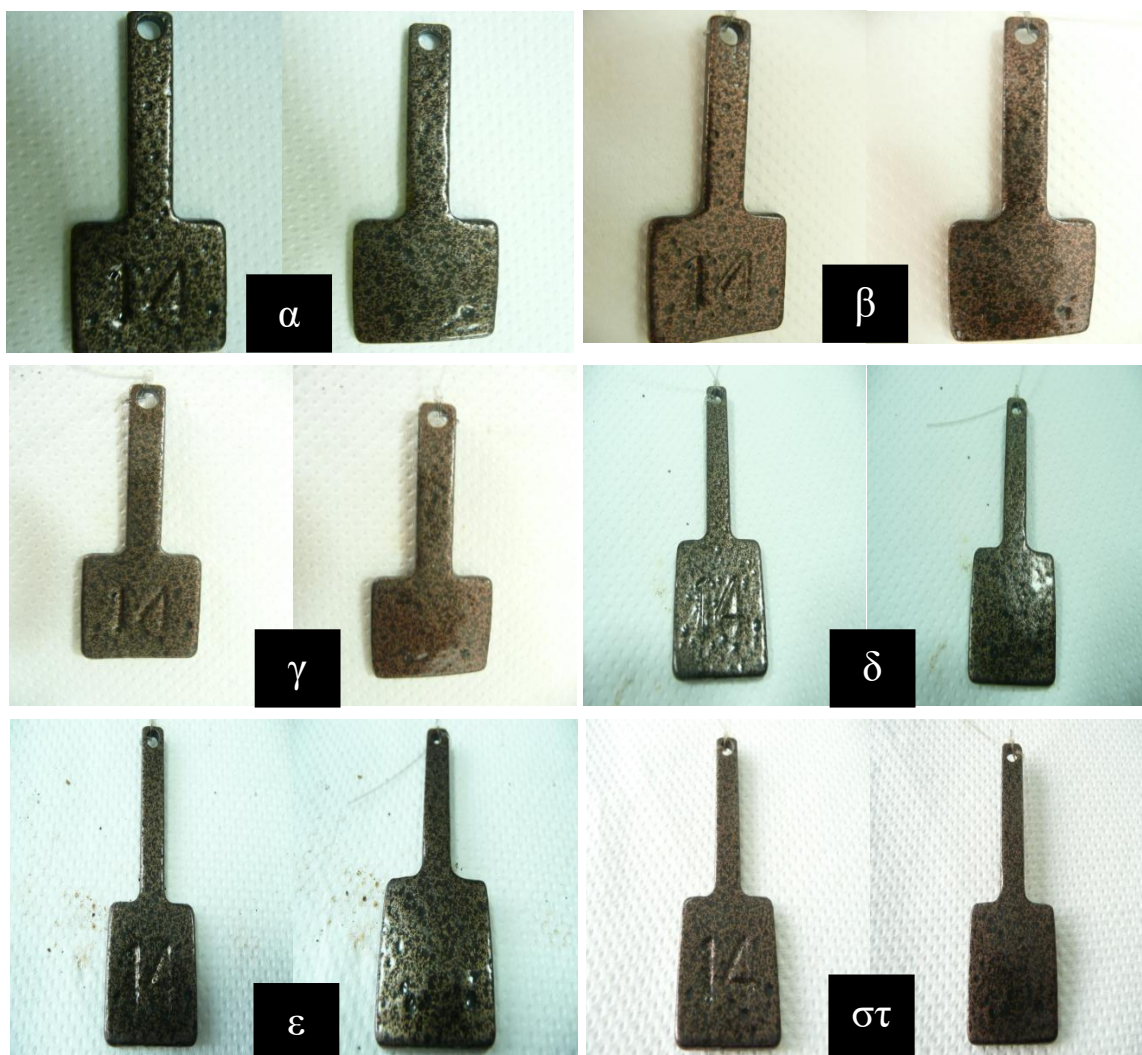
Η Εικ.5.21. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 13* το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 100η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.21 Δοκίμιο 13* το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 13 * (το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti) : Πριν τη τοποθέτηση του δοκιμίου στο θάλαμο αλατονέφωσης δεν υπήρχε καμία αστοχία στην επιφάνεια της επικάλυψης για τη ΧΠ και τη ΜΧΠ. Το δοκίμιο παρέμεινε στο θάλαμο ψεκασμού για 100 ημέρες και δεν εμφάνισε καθόλου διάβρωση εκτός από το σημείο γύρω από τη πετονιά.

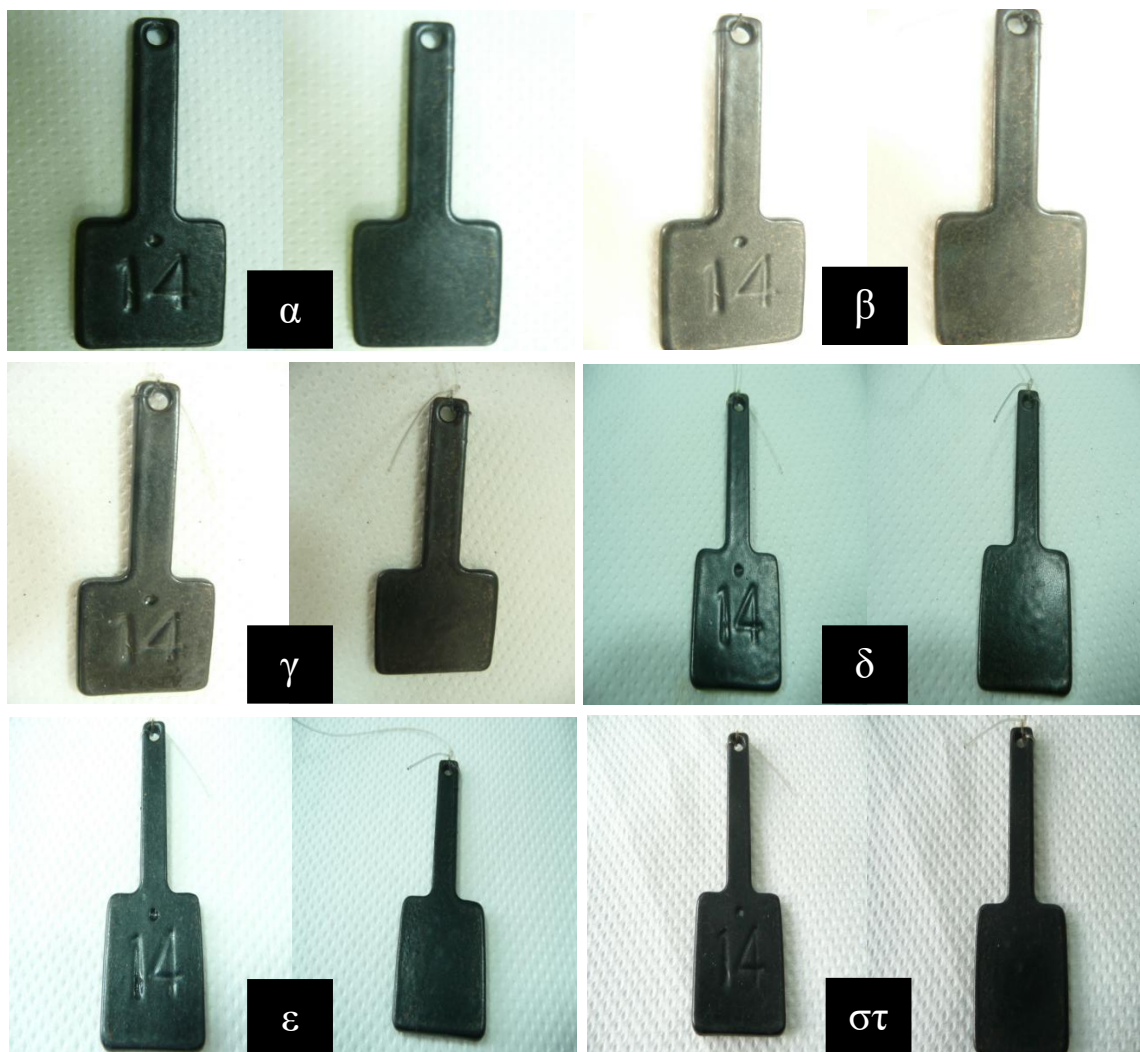
Η Εικ.5.22. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 14 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και σφυρηλάτηση κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 100η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.22 Δοκίμιο 14 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C , με αμμοβολή και με Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και σφυρηλάτηση. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 14 (το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C , με αμμοβολή και με Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και σφυρηλάτηση) : Το δοκίμιο πριν την τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης δεν είχε κανένα ελάττωμα στη ΧΠ και στη ΜΧΠ. Το δοκίμιο παρέμεινε για 100 ημέρες στο θάλαμο αλατονέφωσης και η επιφάνεια του έμεινε ανεπηρέαστη στη διάβρωση με τη πάροδο του χρόνου.

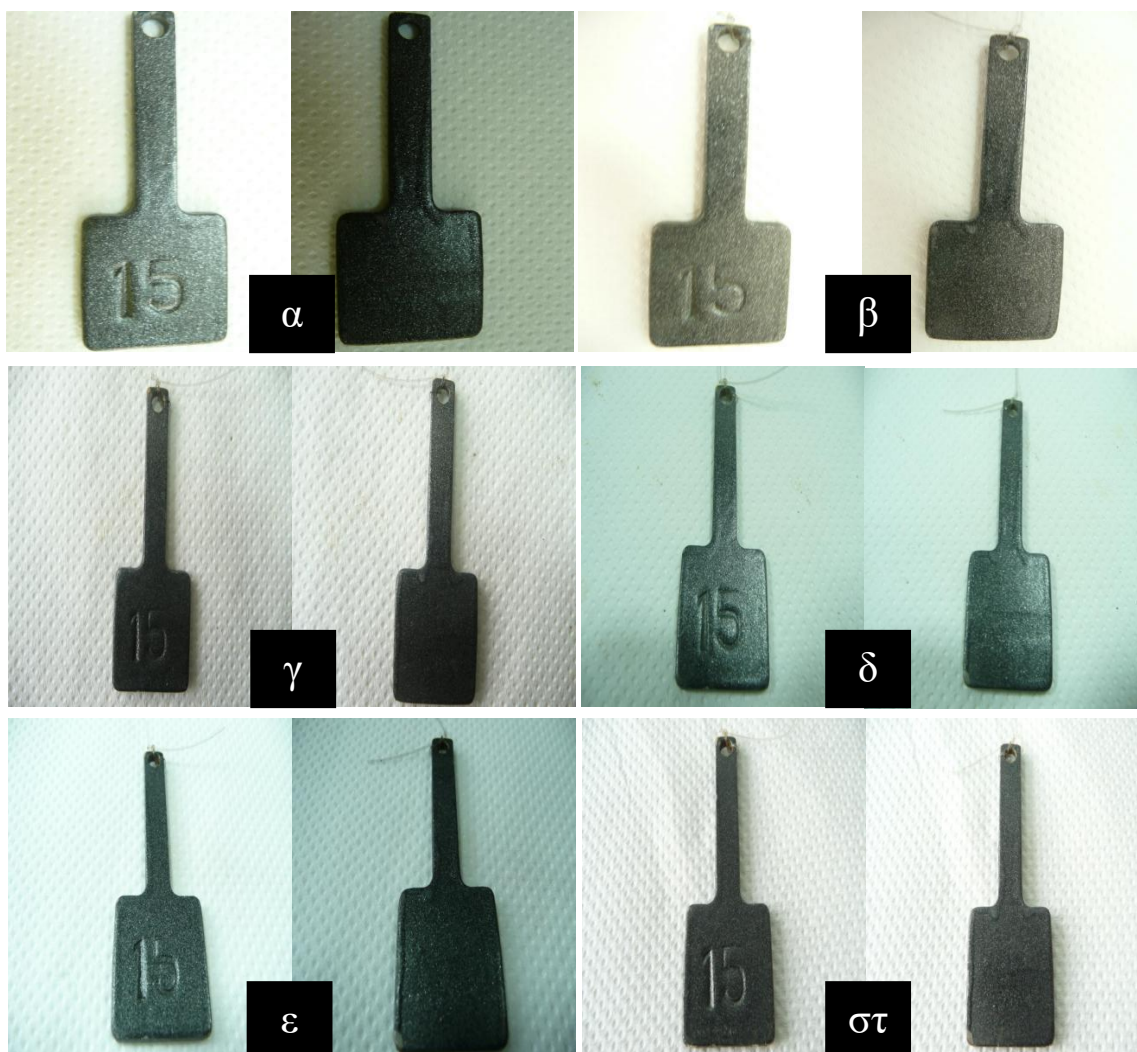
Η Εικ.5.23. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 14* το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και επίπεδη κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 100η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.23 Δοκίμιο 14 *το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και επίπεδη. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 14 * (το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και επίπεδη) : Το δοκίμιο πριν τη τοποθέτηση του στο θάλαμο αλατονέφωσης δεν είχε κάποιο ελάττωμα στη ΧΠ και στη ΜΧΠ. Το δοκίμιο δεν διαβρώθηκε καθόλου στη διάρκεια παραμονής του εντός του θαλάμου αλατονέφωσης. Το δοκίμιο απομακρύνθηκε από το θάλαμο στις 100 ημέρες.

Η Εικ.5.24. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 15 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Σιδηρόστοκο, Gridox και Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 100η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

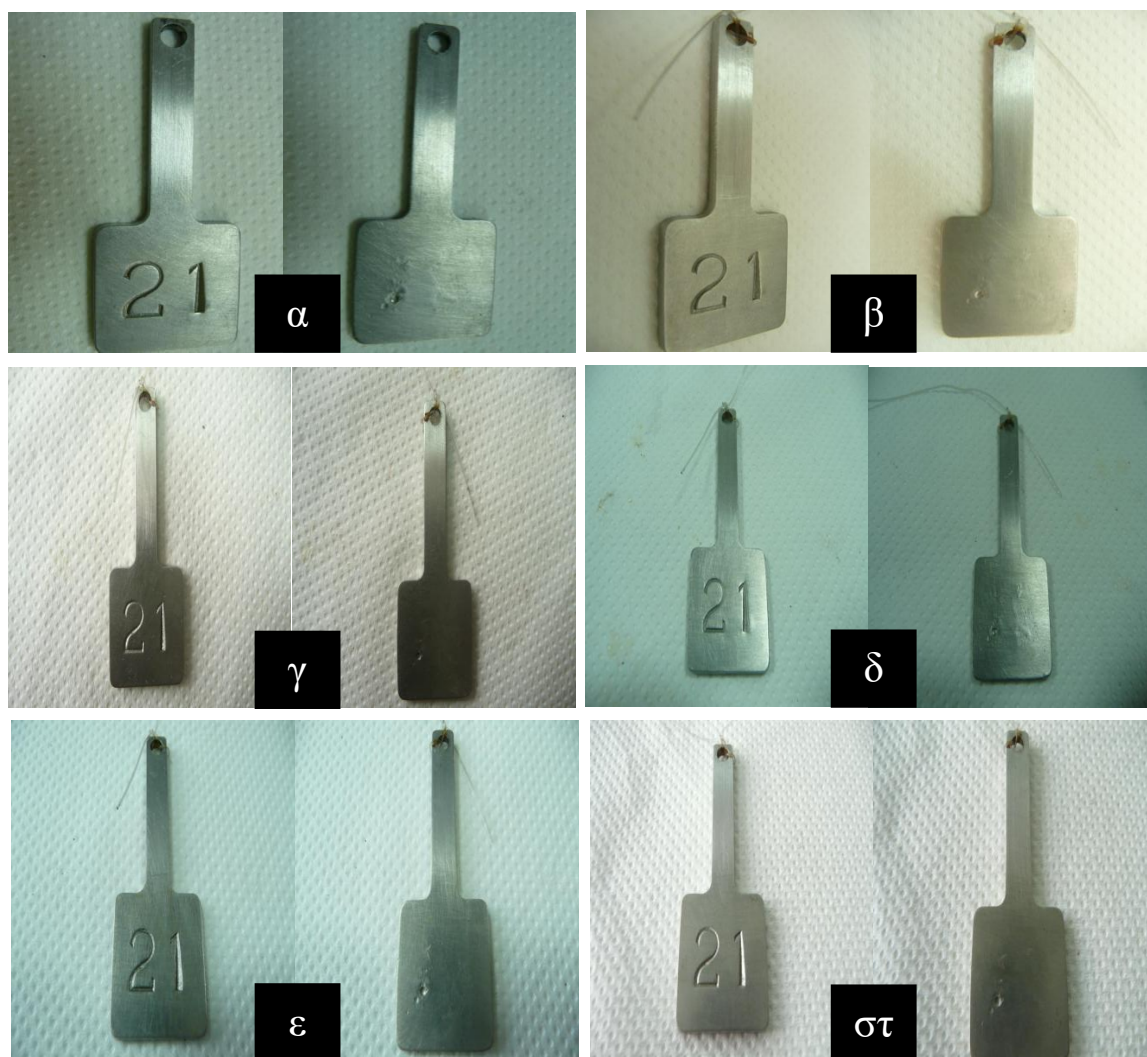


Εικόνα 5.24 Δοκίμιο 15 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Σιδηρόστοκο & Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 15 (το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Σιδηρόστοκο, Gridox και Paramatti) : Πριν τη τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης δεν υπήρχε κανένα ελάττωμα στη ΧΠ και στη ΜΧΠ. Την 2η ημέρα στη ΜΧΠ εμφανίστηκε διάβρωση γύρω από τη πετονιά. Την 45η ημέρα η διάβρωση προκάλεσε την αποκόλληση της επικάλυψης στη κάτω αριστερή γωνία για τη ΜΧΠ. Για τη ΧΠ την 19η ημέρα αποκολλήθηκε τμήμα της επικάλυψης στην κάτω

αριστερή πλευρά. Την 79 η ημέρα μια νέα αποκόλληση στην κάτω δεξιά πλευρά και την 83η ημέρα μια νέα αποκόλληση στο λαιμό. Το δοκίμιο παρέμεινε στο θάλαμο αλατονέφωσης για 100 ημέρες.

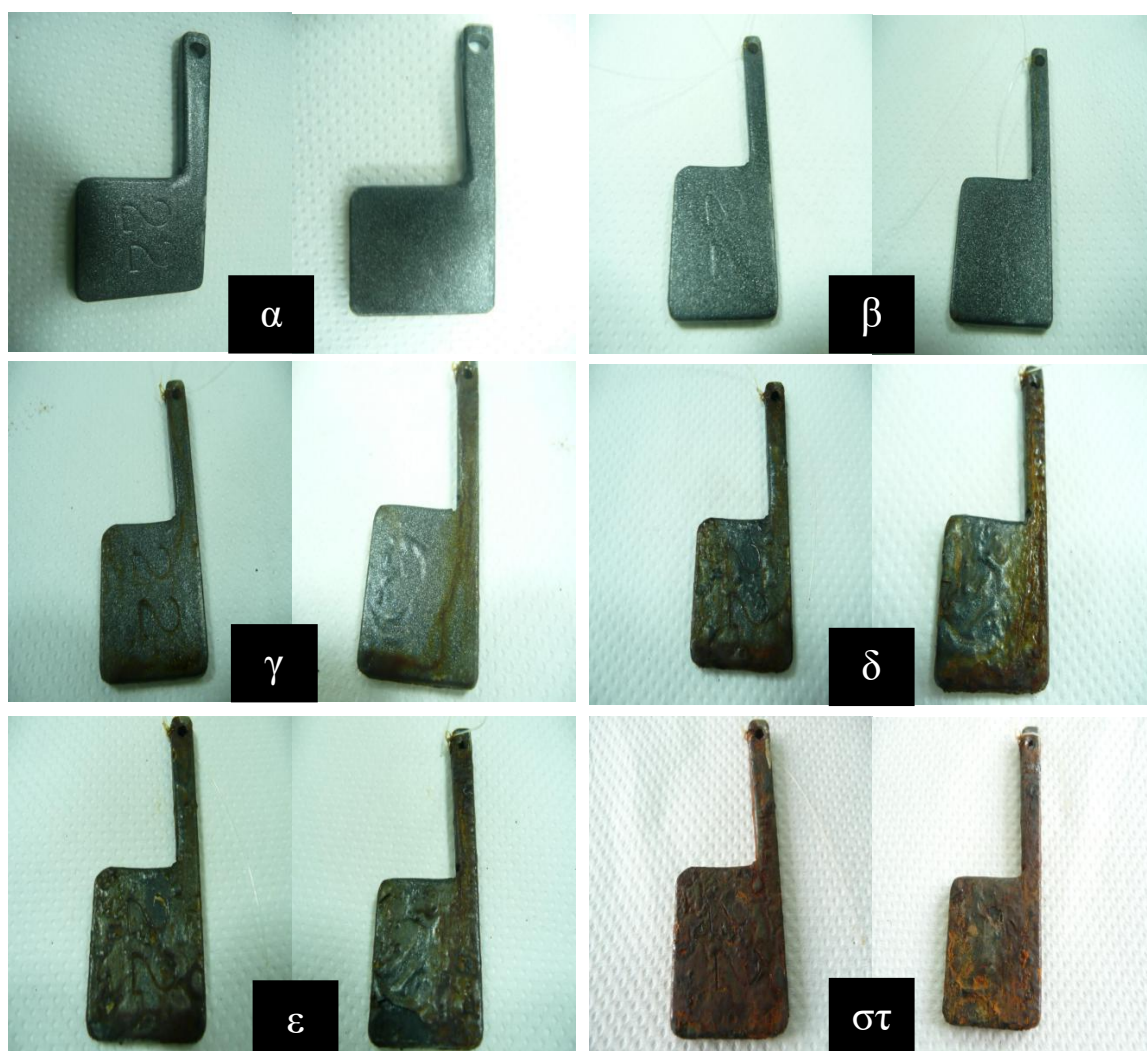
Η Εικ.5.25. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 21 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000 °C, χωρίς αμμοβολή και ημιτραχύς κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 100η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.25 Δοκίμιο 21 το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000 °C, χωρίς αμμοβολή και ημιτραχύς. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 21 (το οποίο είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και ημιτραχύς) : Πριν τη τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης το δοκίμιο είχε μία οπή στο κάτω αριστερό του τμήμα στη ΜΧΠ και κανένα ελάττωμα στη ΧΠ. Από την 1η ημέρα το δοκίμιο εμφάνισε σκουριά γύρω από τη πετονιά. Μέχρι την 100η ημέρα που αφαιρέσαμε το δοκίμιο από το θάλαμο αλατονέφωσης η επιφάνεια της επικάλυψης δεν έχει αλλοιωθεί καθόλου.

Η Εικ.5.26. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 22 το οποίο είναι St37 με καλαμίνια χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 67η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

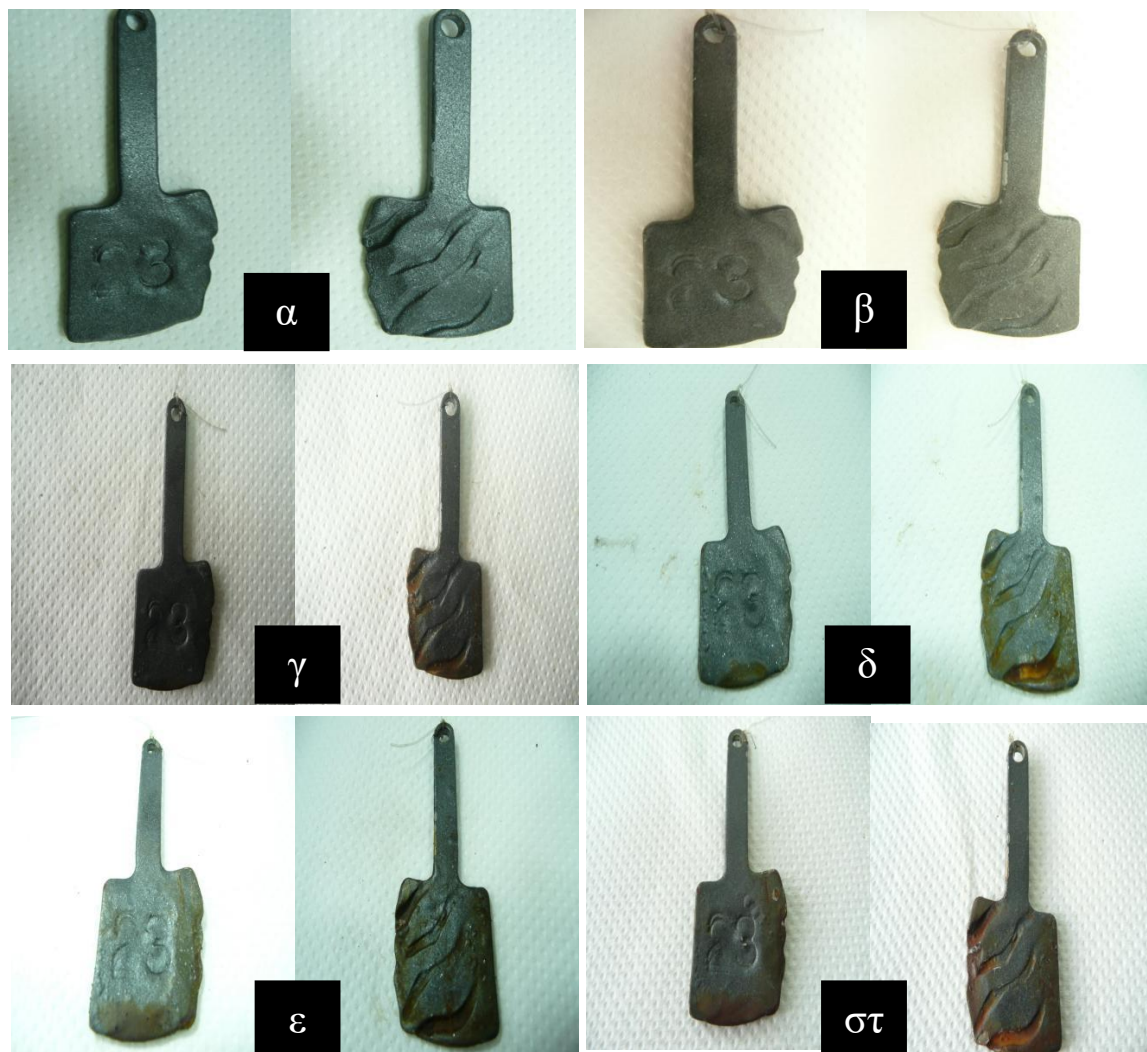


Εικόνα 5.26 Δοκίμιο 22 το οποίο είναι St37 με καλαμίνη χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 15η ημέρα (δ) 39η ημέρα (ε) 50η ημέρα και (στ) 67η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 22 (το οποίο είναι St37 με καλαμίνη χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti) : Πριν τη τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης κανένα ελάττωμα στη ΜΧΠ και στη ΧΠ πάνω από τους αριθμούς λείπει η επικάλυψη. Για την ΜΧΠ την 1η ημέρα διαβρώθηκε η επιφάνεια γύρω από τη πετονιά. Την 5η ημέρα δημιουργήθηκαν φουσαλίδες στη κάτω δεξιά πλευρά με σκουριά και μεγάλες φουσαλίδες στην πάνω αριστερή πλευρά. Την 12η ημέρα παρατηρείται διάβρωση γύρω από

τη πετονιά και εμφανίζονται γραμμές διάβρωσης κάθετα σε όλη την επιφάνεια του δοκιμίου και στη κάτω πλευρά. Η επιφάνεια της επικάλυψης εμφάνισε μεγάλες φυσαλίδες που από την 15η μέχρι την 39η ημέρα προκάλεσαν αποκόλλησης της επιφάνειας σε διάφορα σημεία. Την 50η ημέρα αποκολλήθηκε ένα μεγάλο τμήμα της επικάλυψης από την κάτω δεξιά γωνία. Την 62η ημέρα φαίνεται να έχει προχωρήσει η διάβρωση και στο υλικό του υποστρώματος που έχει εκτεθεί από την αποκόλληση. Την 63η ημέρα μια νέα αποκόλληση οδηγεί σε νέο σημείο διάβρωσης του υποστρώματος. Το δοκίμιο αφαιρέθηκε από το θάλαμο την 67η ημέρα. Στη ΧΠ την 5η ημέρα αρχίζει να φαίνεται στη κάτω πλευρά του δοκιμίου διάβρωση που προχωράει και στη 12η ημέρα γύρω από τη πετονιά μέχρι τη βάση. Οι χαραγμένοι αριθμοί έχουν διαβρωθεί. Την 21η ημέρα στη βάση της επιφάνειας φαίνεται σκουριά και αποκόλληση της επικάλυψης. Την 39η ημέρα όλη η επιφάνεια της επικάλυψης γέμισε με φυσαλίδες. Η κατάσταση της επικάλυψης λόγω της διάβρωσης είναι γεμάτη ρωγμές και σε πολλά σημεία υπήρξε και αποκόλληση. Την 49η ημέρα η αποκόλληση της επιφάνειας αφήνει εκτεθειμένα νέα τμήματα του υποστρώματος. Την 56η ημέρα το υπόστρωμα παρουσιάζει σκουριά στα σημεία που είχε εκτεθεί. Την 62η ημέρα μια νέα αποκόλληση συμβαίνει και μέχρι την 67η ημέρα που το δοκίμιο αφαιρέθηκε από το θάλαμο, συνεχίστηκε η διάβρωση της επικάλυψης και του υποστρώματος.

Η Εικ.5.27. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 23 το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 100η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

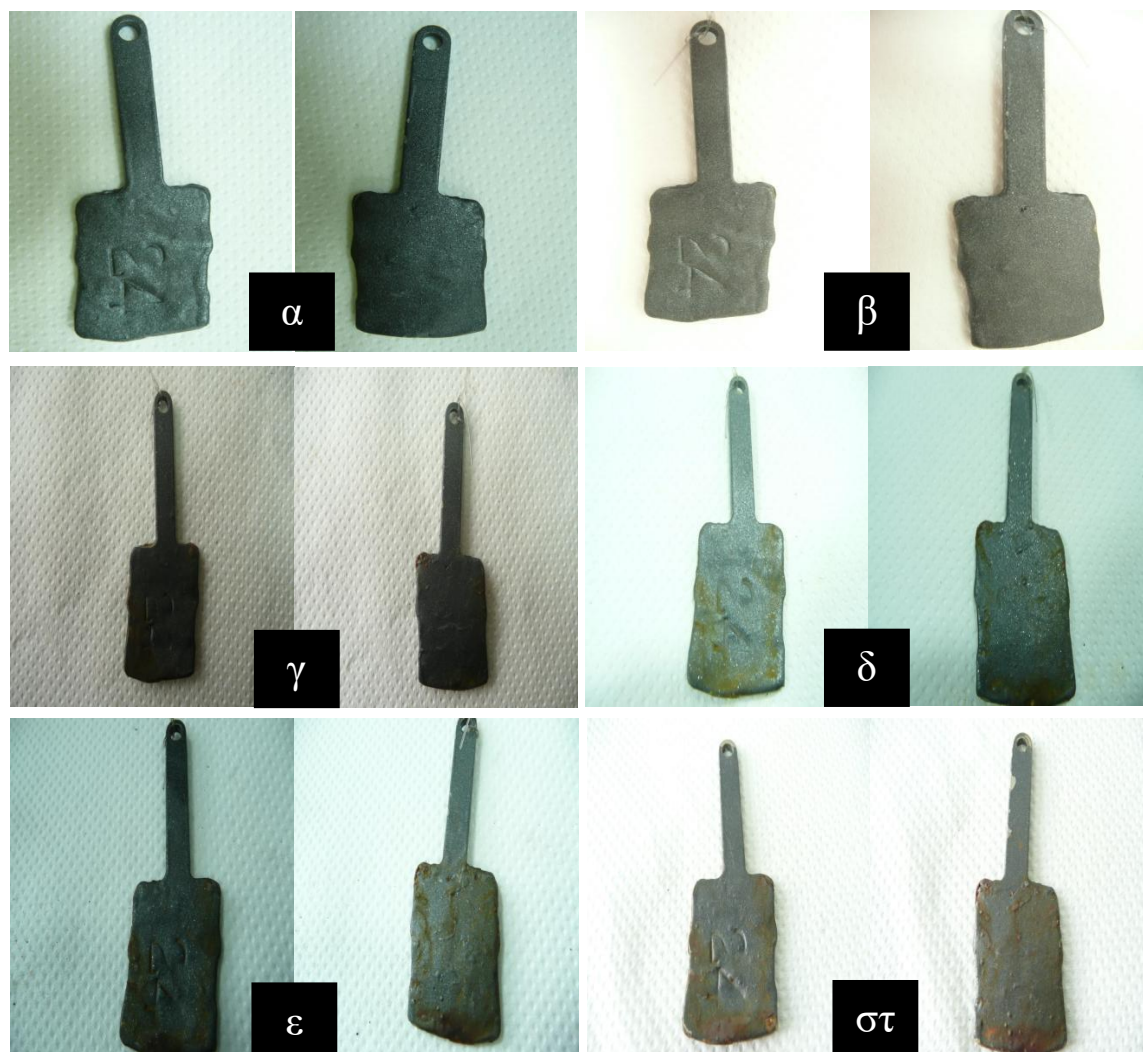


Εικόνα 5.27 Δοκίμιο 23 το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 23 (το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti) : Πριν τη τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης το δοκίμιο είχε στη ΜΧΠ στο λαιμό στη κάτω αριστερή πλευρά αποκόλληση της επικάλυψης και το σχήμα του δοκιμίου δεν είναι ομοιόμορφο και λείο. Στη ΧΠ δεν είναι ομοιόμορφη η επιφάνεια αλλά δεν έχει κάποια αστοχία η επικάλυψη. Την 3η ημέρα εμφανίζεται διάβρωση στην αριστερή και κάτω πλευρά της ΜΧΠ. Την 8η ημέρα η σκουριά συνεχίζεται εντός των αυλακιών. Την 19η ημέρα δημιουργούνται

φυσαλίδες στην επιφάνεια του δοκιμίου. Μέχρι την 54η ημέρα προχωράει με αργό ρυθμό η διάβρωση. Την 72η ημέρα η επιφάνεια της επικάλυψης έχει διαβρωθεί και φαίνεται να διαβρώθηκε και το υπόστρωμα σε ένα σημείο στο λαιμό. Την 97η ημέρα στη κάτω αριστερή γωνία αποκολλήθηκε η επιφάνεια της επικάλυψης. Στη XII την 11η ημέρα εμφανίστηκε σκουριά στην βάση του δοκιμίου. Την 19η ημέρα δημιουργήθηκαν φυσαλίδες στην επικάλυψη στη κάτω πλευρά και περιμετρικά του αριθμού. Την 45η ημέρα στη βάση του δοκιμίου προχώρησε η σκουριά. Την 72η ημέρα η σκουριά προχώρησε και στη κάτω δεξιά πλευρά και την πάνω αριστερή γωνία. Την 83η ημέρα πάνω δεξιά πλευρά σπάει μια φυσαλίδα και το υπόστρωμα είναι εκτεθειμένο. Το δοκίμιο απομακρύνθηκε από το θάλαμο την 100η ημέρα.

Η Εικ.5.28. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 24 το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη πολυεστερικό στόκο, Gridox και Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 100η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

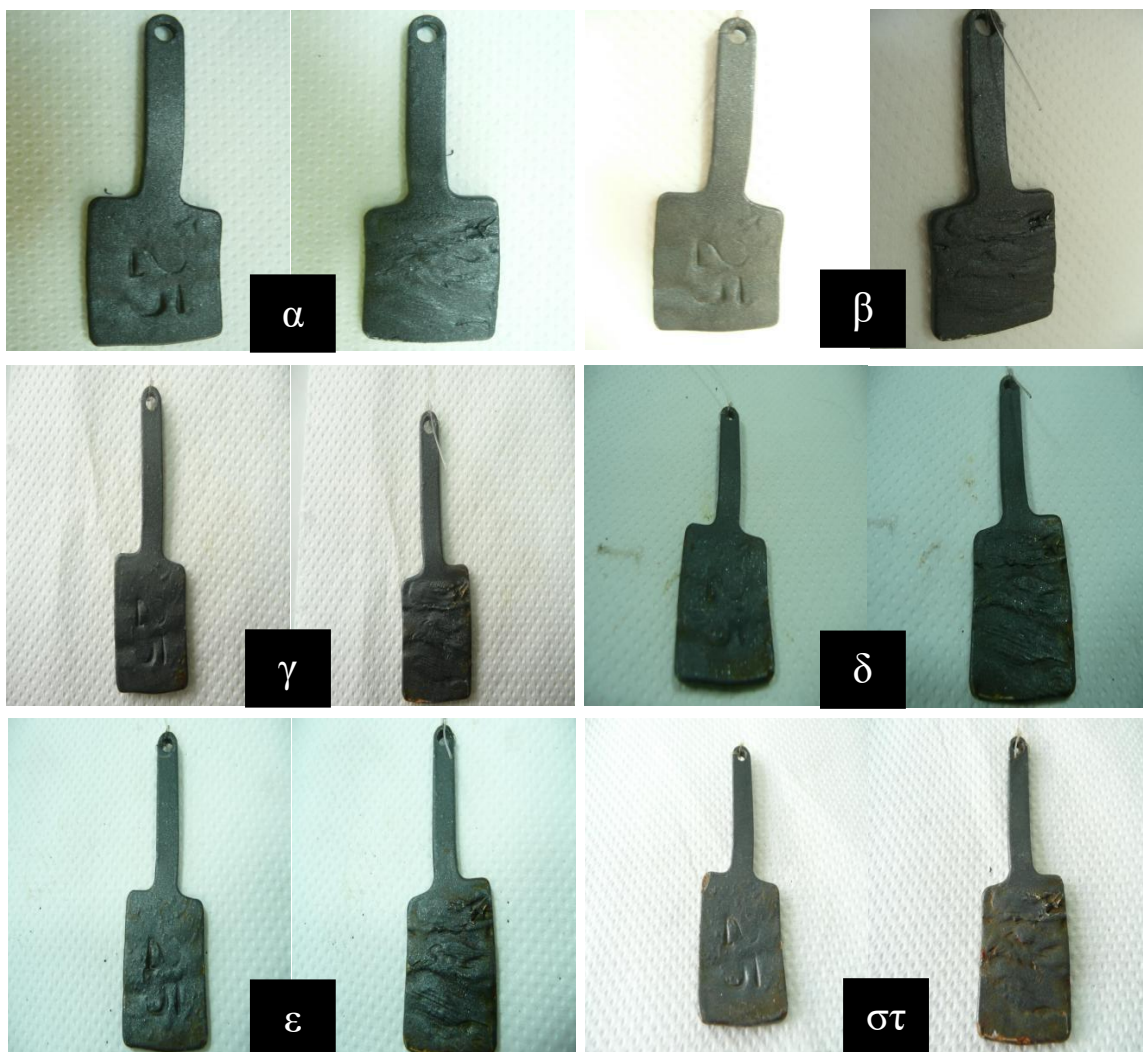


Εικόνα 5.28 Δοκίμιο 24 το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη πολυεστερικό στόκο, Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 24 (το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη πολυεστερικό στόκο, Gridox και Paramatti) : Πριν τη τοποθέτηση στο θάλαμο αλατονέφωσης το δοκίμιο στη ΜΧΠ στο λαιμό στην αριστερή πλευρά λείπει η επικάλυψη και στην πάνω δεξιά γωνία ενώ η ΧΠ δεν έχει κάποιο ελάττωμα στην επικάλυψη. Για τη ΧΠ την 6η ημέρα σκουριά στη βάση του δοκιμίου. Την 8η ημέρα εμφανίζονται φυσαλίδες στη πάνω δεξιά γωνία και αποκόλληση της επικάλυψης στην αριστερή πλευρά. Την 23η ημέρα προχώρησε η σκουριά και η επιφάνεια της

επικάλυψης έχει γεμίσει με φυσαλίδες. Την 38η ημέρα στα σημεία αστοχίας της επικάλυψης προχώρησε η διάβρωση. Την 72η ημέρα στη πάνω δεξιά γωνία γίνεται αποκόλληση και στη κάτω πλευρά φαίνεται η σκουριά στο χρώμα της επικάλυψης. Την 82η ημέρα η επιφάνεια στην πάνω αριστερή γωνία αστόχησε. Την 99η ημέρα γίνεται αποκόλληση στις δύο κάτω γωνίες. Στη ΜΧΠ στο σημείο που υπήρχε το ελάττωμα ξεκίνησε η διάβρωση από τη 2η ημέρα και προχώρησε μέχρι την 4η ημέρα που αποκαλύφθηκε μια χαρακιά στη πάνω δεξιά γωνία και στη πάνω αριστερή γωνία έγινε αποκόλληση της επικάλυψης. Την 14η ημέρα η κάτω πλευρά έχει σκουριάσει. Την 45η ημέρα περιμετρικά της επιφάνειας υπάρχει διάβρωση και έχουν δημιουργηθεί φυσαλίδες. Την 72η ημέρα στα σημεία που έχουν καταρρεύσει οι φυσαλίδες δημιουργούνται νέα σημεία έναρξης της διάβρωσης. Η περαιτέρω διάβρωση δεν προχωράει μέχρι την 100η ημέρα που το δοκίμιο απομακρύνεται από το θάλαμο αλατονέφωσης.

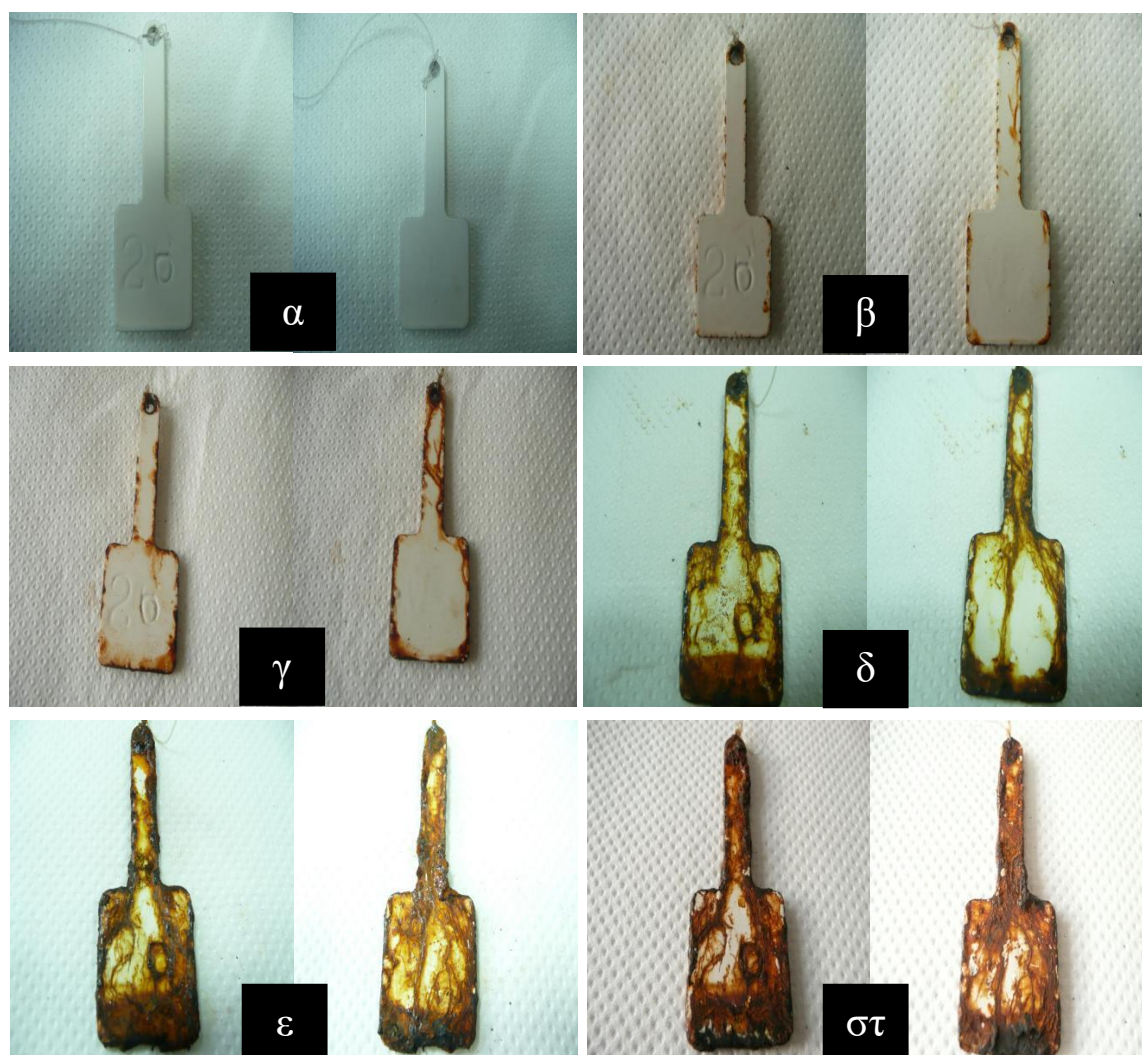
Η Εικ.5.29. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 25 το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με Αρμόκολλα, Gridox και Paramatti κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 100η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.29 Δοκίμιο 25 το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Αρμόκολλα, Gridox και Paramatti. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 19η ημέρα (δ) 45η ημέρα (ε) 72η ημέρα και (στ) 100η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 25 (το οποίο είναι Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Αρμόκολλα, Gridox και Paramatti) : Πριν τη τοποθέτηση του δοκιμίου στο θάλαμο αλατονέφωσης στη ΜΧΠ ανομοιόμορφη επιφάνεια με αστοχία στην επικάλυψη στο κάτω αριστερό άκρο (γωνία) και στη πάνω δεξιά γωνιά, στη ΧΠ χωρίς αστοχία στην επικάλυψη. Στη ΧΠ τη 2η ημέρα φαίνεται να δημιουργούνται μικρές οπές στην επικάλυψη στην κάτω δεξιά και αριστερή γωνία. Την 19η ημέρα εμφανίζονται φουσαλίδες στην δεξιά πλευρά και σκουριά στη κάτω γωνία. Την 29η ημέρα λίγο πιο

έντονη η σκουριά στα σημεία που υπήρχε ήδη. Την 51η ημέρα εμφανίζονται φυσαλίδες σε όλη την επιφάνεια του δοκιμίου και σκουριά στους χαραγμένους αριθμούς. Την 89η ημέρα στα σημεία που υπήρξε αστοχία της επικάλυψης δημιουργήθηκαν νέες θέσεις διάβρωσης. Την 97η ημέρα έγινε αποκόλληση του επιστρώματος στη πάνω αριστερή γωνία και το υπόστρωμα που εκτίθεται διαβρώνεται μέχρι την 100η ημέρα που απομακρύνουμε το δοκίμιο από το θάλαμο. Για τη ΜΧΠ η έναρξη της διάβρωσης γίνεται τη 2η ημέρα στη πάνω δεξιά γωνία που υπήρχε η αστοχία της επικάλυψης. Την 11η ημέρα στα σημεία της επιφάνειας που ήταν εξογκωμένα και στη κάτω δεξιά πλευρά εμφανίζεται σκουριά. Την 19η ημέρα εμφανίζεται σκουριά στη κάτω αριστερή πλευρά. Την 51η ημέρα αστοχεί η επικάλυψη και εκτίθεται ένα σημείο στην αριστερή πλευρά του δοκιμίου. Την 74η ημέρα στα μη λεία σημεία της επιφάνειας δημιουργήθηκε σκουριά. Την 89η ημέρα φαίνεται να έχει διαβρωθεί το υπόστρωμα και δεν παρατηρείται κάποια αλλαγή μέχρι την 100η ημέρα. Η Εικ.5.30. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 26 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και ηλεκτροστατική σφυρηλάτηση κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη πρώτη ημέρα έκθεσης στο θάλαμο μέχρι την 76η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

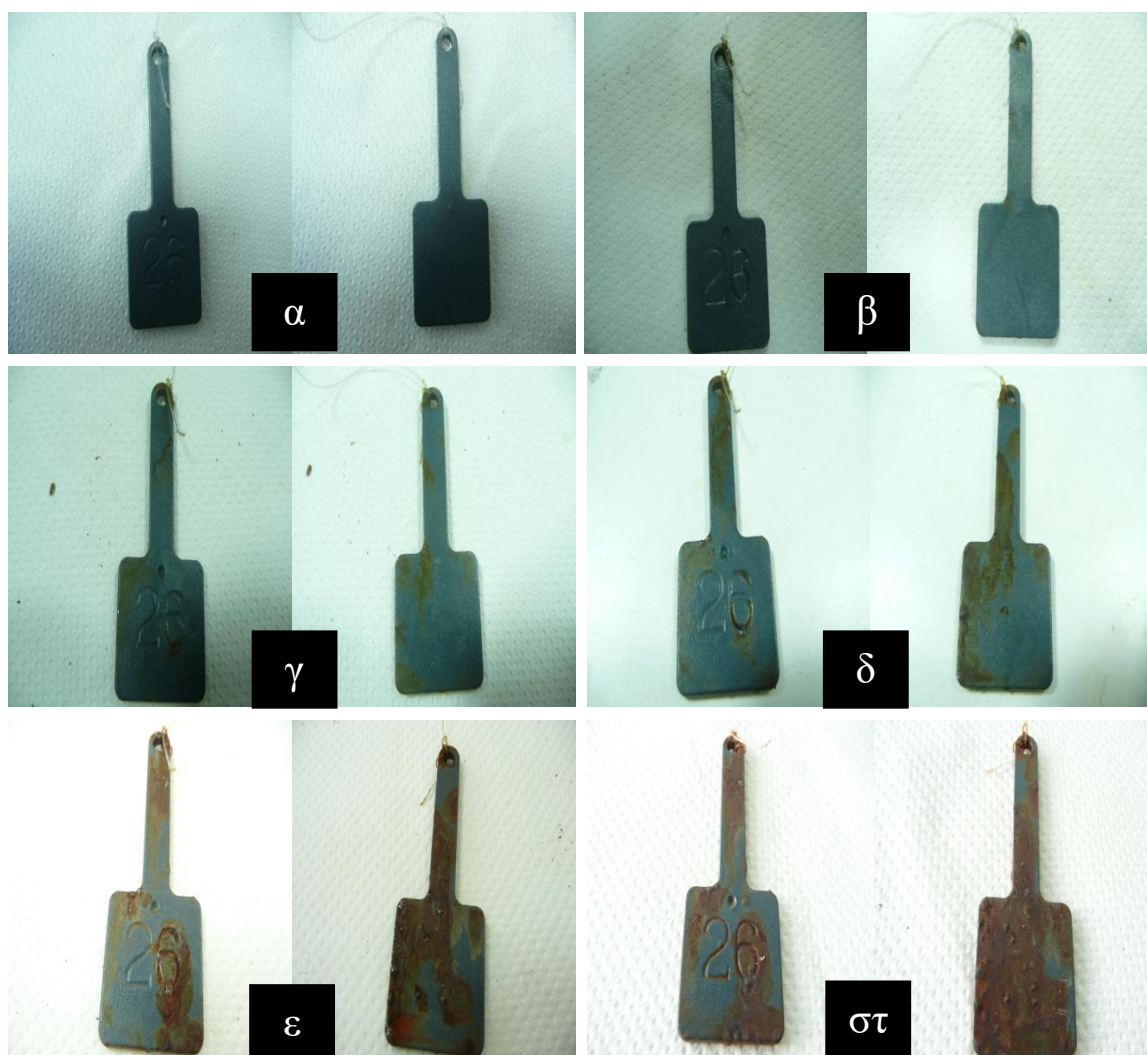


Εικόνα 5.30 Δοκίμιο 26 το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και ηλεκτροστατική σφυρηλάτηση. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 6η ημέρα (γ) 16η ημέρα (δ) 35η ημέρα (ε) 52η ημέρα και (στ) 76η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 26 (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και ηλεκτροστατική σφυρηλάτηση) : Πριν τη τοποθέτηση του δοκιμίου στο θάλαμο αλατονέφωσης στη ΜΧΠ υπάρχει μια χαρακιά κοντά στη πετονιά και μια μικρή χαρακιά στη ΧΠ στη κάτω αριστερή γωνία. Την 2η ημέρα στη ΧΠ δημιουργήθηκε σκουριά γύρω από τη πετονιά και στη βάση του δοκιμίου περιμετρικά. Τα σημεία διάβρωσης περιμετρικά του δοκιμίου γίνονται περισσότερα με τη πάροδο του χρόνου. Την 19η ημέρα η διάβρωση

προχώρησε και εμφανίστηκε και στο χαραγμένο αριθμό. Την 32η ημέρα σχεδόν όλη η επιφάνεια της επικάλυψης έχει διαβρωθεί. Η διάβρωση ξεκίνησε στις γύρω πλευρές του δοκιμίου και εκτείνεται στο εσωτερικό του. Την 59η ημέρα φαίνεται να έχει διαβρωθεί και το υπόστρωμα. Για τη ΜΧΠ όπως και για τη ΧΠ η διάβρωση ξεκίνησε περιμετρικά και συνέχισε προς το κέντρο του δοκιμίου. Η επιφάνεια έχει αποκολληθεί σε αρκετά σημεία μέχρι την 76η ημέρα που αφαιρέσαμε το δοκίμιο από το θάλαμο αλατονέφωσης.

Η Εικ.5.31. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 26* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και σφυρηλάτηση κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη πρώτη ημέρα έκθεσης στο θάλαμο μέχρι την 87η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.

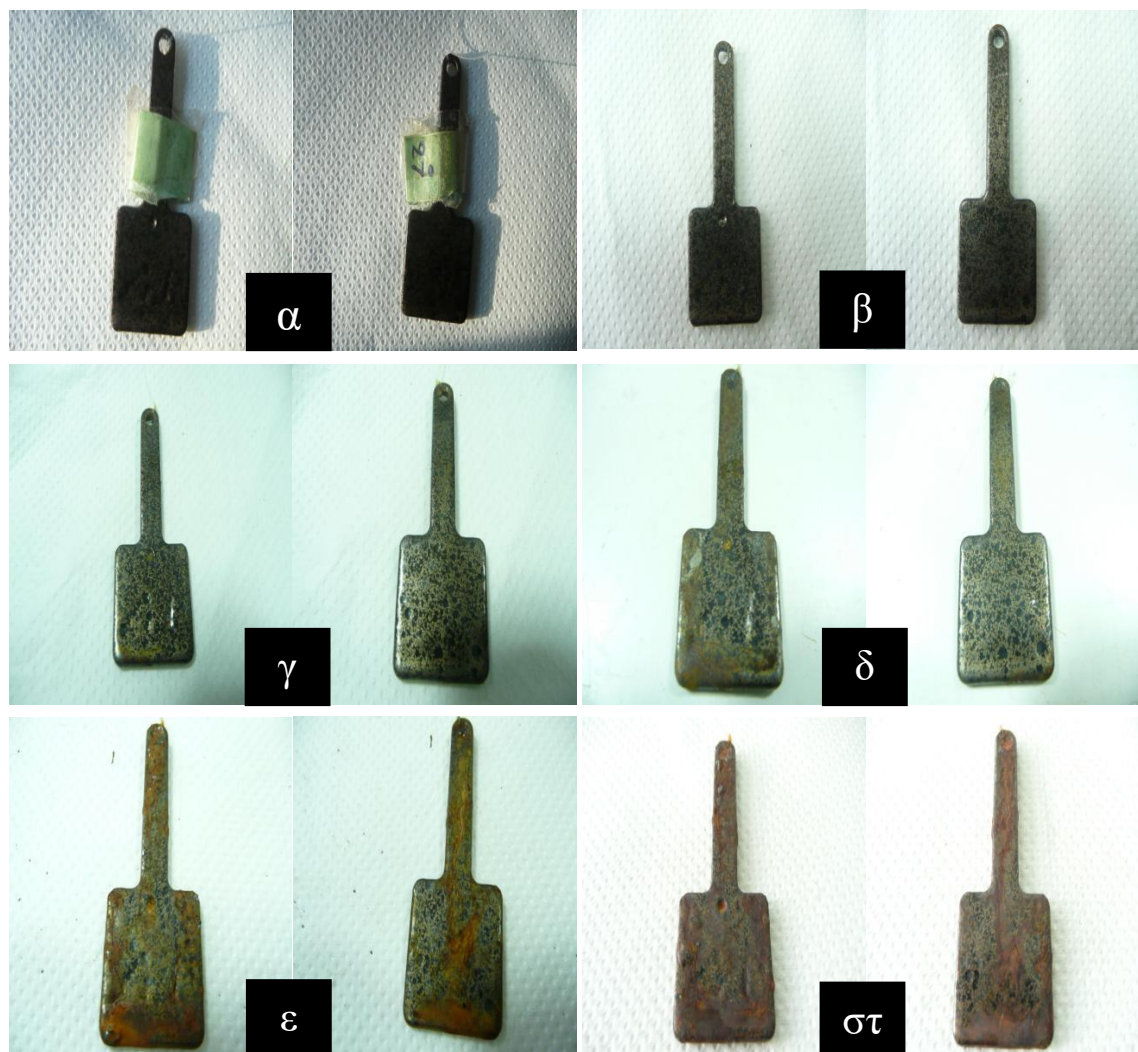


Εικόνα 5.31 Δοκίμιο 26* το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και σφυρηλάτηση. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) 1η ημέρα (β) 11η ημέρα (γ) 25η ημέρα (δ) 41η ημέρα (ε) 64η ημέρα και (στ) 87η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 26* (το οποίο είναι St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και σφυρηλάτηση) : Πριν την αλατονέφωση το δοκίμιο έχει ένα μικρό εξόγκωμα στη ΜΧΠ εκεί που τελειώνει ο λαιμός και στη ΧΠ κανένα ελάττωμα στην επικάλυψη. Στη ΜΧΠ την 6η ημέρα μια μικρή κηλίδα στην αριστερή πλευρά του λαιμού και μικρές οπές στην επικάλυψη στην πάνω δεξιά γωνία. Την 8η ημέρα εμφανίζεται σκουριά στην αρχή του λαιμού αριστερά και μια κηλίδα στη πάνω

δεξιά γωνία. Την 11η ημέρα διαβρώνεται η κάτω αριστερή γωνία. Στα σημεία που υπήρχε διάβρωση το φαινόμενο προχωράει και η κηλίδα μεγαλώνει. Την 18η ημέρα εμφανίζεται μια κηλίδα στη πάνω δεξιά πλευρά του λαιμού. Την 32η ημέρα η αριστερή πλευρά είναι σκουριασμένη και υπάρχουν και δύο κηλίδες στο λαιμό μια στη δεξιά γωνία και μια στη βάση του λαιμού μεγαλύτερες σε μέγεθος. Την 38η ημέρα οι κηλίδες ενώνονται μέχρι το κέντρο του δοκιμίου. Την 59η ημέρα δημιουργούνται φυσαλίδες στη διαβρωμένη επιφάνεια. Την 64η ημέρα σχεδόν όλη η επιφάνεια της επικάλυψης έχει διαβρωθεί. Την 84η ημέρα γίνεται αποκόλληση τμημάτων της επικάλυψης και διαβρώνεται το υπόστρωμα όπου έχει εκτεθεί μέχρι την 87η ημέρα που απομακρύνεται το δοκίμιο από το θάλαμο αλατονέφωσης. Για τη ΧΠ την 8η ημέρα αρχίζει να εμφανίζεται διάβρωση στους χαραγμένους αριθμούς. Την 18η ημέρα η διάβρωση επεκτάθηκε στο λαιμό και στη πάνω αριστερή γωνία και την 19η ημέρα τμήμα της επικάλυψης αποκολλήθηκε πάνω στο χαραγμένο αριθμό. Την 35η ημέρα η επικάλυψη διαβρώθηκε κατά ένα μεγάλο ποσοστό της επιφάνειάς της. Την 59η ημέρα στο λαιμό και στο χαραγμένο αριθμό είναι πιο έντονη η διάβρωση, και εμφανίζεται μια χαρακιά στην πάνω αριστερή πλευρά. Την 87η ημέρα το φαινόμενο της διάβρωσης είναι πιο έντονο.

Η Εικ.5.32. δείχνει τη πορεία της διάβρωσης του δοκιμίου 27 το οποίο είναι Αλουμίνιο ανοδιωμένο χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και χωρίς καμία επίστρωση κατά τη παραμονή του στο θάλαμο αλατονέφωσης από τη μέρα πριν την έκθεση στο θάλαμο μέχρι την 86η ημέρα που απομακρύνθηκε από το θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.32 Δοκίμιο 27 το οποίο είναι Αλουμίνιο ανοδιωμένο χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C , χωρίς αμμοβολή και χωρίς καμία επίστρωση. Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή για (α) ανέπαφη (β) 1η ημέρα (γ) 17η ημέρα (δ) 40η ημέρα (ε) 58η ημέρα και (στ) 86η ημέρα παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης

ΔΕΙΓΜΑ 27 (το οποίο είναι Αλουμίνιο ανοδιωμένο χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C , χωρίς αμμοβολή και χωρίς καμία επίστρωση) : Πριν τη τοποθέτηση του δοκιμίου στο θάλαμο αλατονέφωσης η ΜΧΠ και Η ΧΠ δεν έχουν κανένα ελάττωμα. Για τη ΧΠ την 2η ημέρα εμφανίζεται σκουριά γύρω από τη πετονιά και την 11η ημέρα διαβρώθηκε η κάτω αριστερή γωνία και στη πάνω δεξιά γωνιά. Μέχρι την 24η ημέρα δεν άλλαξε κάτι στη κατάσταση του δοκιμίου. Από την 24η ημέρα η διάβρωση προχωράει στη κάτω αριστερή γωνία και στο λαιμό. Την 58η ημέρα στη βάση του δοκιμίου αλλοιώθηκε η

επιφάνεια και έχει ρωγμές η επικάλυψη σε αρκετά σημεία. Την 75η ημέρα το χρώμα ολόκληρης της επιφάνειας είναι καφέ. Για τη ΜΧΠ την 5η ημέρα εμφανίστηκε διάβρωση στο λαιμό του δοκιμίου. Την 31η ημέρα η επικάλυψη έχασε τη λάμψη της και έχει ρωγμές. Την 58η ημέρα το υπόστρωμα έχει διαβρωθεί εκεί που εκτέθηκε στο διαβρωτικό περιβάλλον. Μέχρι την 86η ημέρα δεν αλλάζει κάτι στην επιφάνεια του δοκιμίου.

5.2 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 5.1 δίνεται η περιγραφή κάθε δείγματος και η ημέρα που ξεκίνησε η διάβρωση για κάθε δείγμα στο θάλαμο αλατονέφωσης.

Διακριτικό πλακιδίων				Στοκαρίσματα, αντισκωριακή προστασία και χρωματισμός	Ημέρα έναρξης διάβρωσης
α/α	Τύπος μετάλλου	Διαμόρφωση στους 1000 °C	Αμμοβολή		
1	St37 dcp	Όχι	Όχι	Μίνιο	1η
1*	St37 dcp	Όχι	Όχι	Gridox	1η
2	St37 dcp	Όχι	Όχι	Alcea	1η
2*	St37 dcp	Όχι	Όχι	Paramatti	1η
3	St37 dcp	Όχι	Όχι	Gridox & Alcea	2η
3*	St37 dcp	Όχι	Όχι	Gridox & Paramatti	5η
4	St37 dcp	Όχι	Ναι	Μίνιο	1η
4*	St37 dcp	Όχι	Ναι	Gridox	1η
5	St37 dcp	Όχι	Ναι	Gridox & Alcea	5η
5*	St37 dcp	Όχι	Ναι	Gridox & Paramatti	5η
7	St37 dcp	Όχι	Ναι	Alcea	1η
7*	St37 dcp	Όχι	Ναι	Paramatti	1η
8	St37 dcp	Όχι	Ναι	Γομωτής & Alcea	3η
8*	St37 dcp	Όχι	Ναι	Γομωτής & Paramatti	3η
10	St37 dcp	Όχι	Ναι	Γομωτής & Μίνιο	1η
10*	St37 dcp	Όχι	Ναι	Γομωτής & Gridox	2η
11	St37 dcp	Όχι	Ναι	Γομωτής & Gridox & Alcea	6η
11*	St37 dcp	Όχι	Ναι	Γομωτής & Gridox & Paramatti	6η

Διακριτικό πλακιδίων				Στοκαρίσματα, αντισκωριακή προστασία και χρωματισμός	Ημέρα έναρξης διάβρωσης
α/α	Τύπος μετάλλου	Διαμόρφωση στους 1000 °C	Αμμοβολή		
12	Stainless Steel 316	Όχι	Ναι	Paramatti	72η
13	Stainless Steel 304	Όχι	Ναι	Paramatti	89η
13*	Stainless Steel 304	Όχι	Ναι	Gridox & Paramatti	77η
14	Stainless Steel 304	Όχι	Ναι	Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση & ηλεκτροστατική σφυρήλατη	Δεν διαβρώθηκε
14*	Stainless Steel 304	Όχι	Ναι	Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση & ηλεκτροστατική επίπεδη	Δεν διαβρώθηκε
15	Stainless Steel 304	Όχι	Ναι	Σιδηρόστοκος & Gridox & Paramatti	89η
21	Stainless Steel 304	Όχι	Όχι	Ημιτραχύς	Δεν διαβρώθηκε
22	St37 με καλαμίνια	Όχι	Όχι	Gridox & Paramatti	5η
23	Stainless Steel 304	Ναι	Ναι	Gridox & Paramatti	3η
24	Stainless Steel 304	Ναι	Ναι	Πολυεστερικό Στόκο & Gridox & Paramatti	4η
25	Stainless Steel 304	Ναι	Ναι	Αρμόκολλα & Gridox & Paramatti	8η
26	St37 dcp	Όχι	Ναι	Ηλεκτροστατική σφυρήλατη	2η

Διακριτικό πλακιδίων				Στοκαρίσματα, αντισκωριακή προστασία και χρωματισμός	Ημέρα έναρξης διάβρωσης
α/α	Τύπος μετάλλου	Διαμόρφωση στους 1000 °C	Αμμοβολή		
26*	St37 dcp	Όχι	Ναι	Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση & ηλεκτροστατική σφυρήλατη	6η
27	Ανοδιωμένο Αλουμίνιο	Όχι	Όχι	Καμία	11η

● **Συγκρίσεις σε δείγματα με ίδιο υπόστρωμα και διαφορετική επικάλυψη**

Δείγμα 1 με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Μίνιο και Δείγμα 1* με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox : Φαίνεται ότι το Μίνιο σαν επικάλυψη έχει λίγο καλύτερη συμπεριφορά απέναντι στη διάβρωση σε σχέση με το Gridox για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.33. δείχνει την σύγκριση των δοκιμίων 1 και 1*.



Εικόνα 5.33: Σύγκριση του δείγματος 1 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Μίνιο και του δείγματος 1* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Δείγμα 2 με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και Δείγμα 2* με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti : Φαίνεται ότι το Paramatti σαν επικάλυψη προσφέρει περίπου ίδια προστασία με το Alcea για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.34. δείχνει την σύγκριση των δοκιμίων 2 και 2*.



Εικόνα 5.34: Σύγκριση του δείγματος 2 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και του δείγματος 2* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Δείγμα 3 με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea και Δείγμα 3* με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti : Φαίνεται ότι η επικάλυψη Gridox και Alcea παρουσιάζει λίγο καλύτερη συμπεριφορά από την επικάλυψη Gridox και Paramatti για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.35. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 3 και 3*.



Εικόνα 5.35: Σύγκριση του δείγματος 3 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea και του δείγματος 3* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Δείγμα 4 με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Μίνιο και Δείγμα 4* με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox: Φαίνεται ότι η κατεργασία με αμμοβολή και επικάλυψη Μίνιο έχει χειρότερη προστασία από τη κατεργασία με αμμοβολή και Gridox για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.36. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 4 και 4*.



Εικόνα 5.36: Σύγκριση του δείγματος 4 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Μίνιο και του δείγματος 4* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Δείγμα 5 με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Alcea και Δείγμα 5* με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti : Φαίνεται ότι η κατεργασία με αμμοβολή και επικάλυψη Gridox και Paramatti προσφέρει περίπου ίδια προστασία από τη κατεργασία με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Alcea για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.37. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμών 5 και 5*.



Εικόνα 5.37: Σύγκριση του δείγματος 5 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea και του δείγματος 5* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Δείγμα 7 με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Alcea και Δείγμα 7* με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti : Φαίνεται ότι η κατεργασία με αμμοβολή και επικάλυψη Alcea προσφέρει περίπου ίδια προστασία από τη κατεργασία με αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.38. δείχνει την σύγκριση των δοκιμίων 7 και 7*.



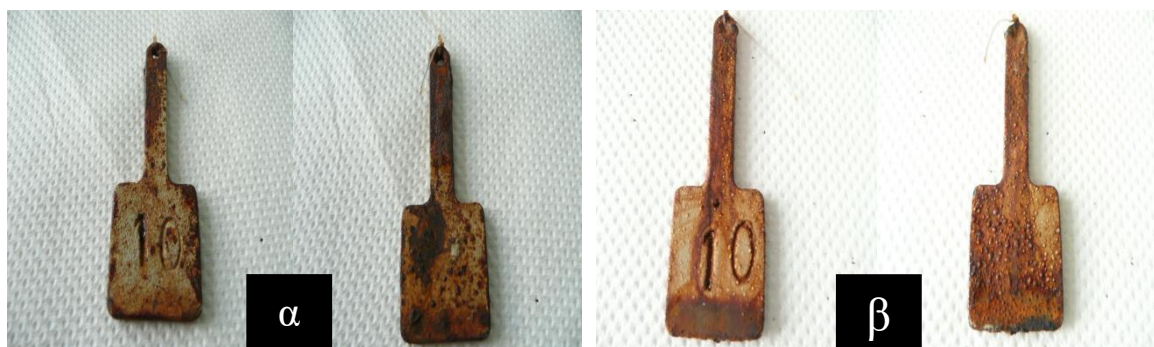
Εικόνα 5.38: Σύγκριση του δείγματος 7 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και του δείγματος 7* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti στις 21 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Δείγμα 8 με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτή και Alcea και Δείγμα 8* με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτή και Paramatti : Φαίνεται ότι η κατεργασία με αμμοβολή και επικάλυψη Γομωτή και Alcea προσφέρει καλύτερη προστασία στη διάβρωση από τη κατεργασία με αμμοβολή και με επικάλυψη με Γομωτή και Paramatti για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.39. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 8 και 8*.



Εικόνα 5.39: Σύγκριση του δείγματος 8 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτής και Alcea και του δείγματος 8* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτής και Paramatti στις 76 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Δείγμα 10 με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτή και Μίνιο και Δείγμα 10* με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτή και Gridox : Φαίνεται ότι η κατεργασία με αμμοβολή και επικάλυψη Γομωτή και Μίνιο προσφέρει χειρότερη προστασία στη διάβρωση από τη κατεργασία με αμμοβολή και με επικάλυψη με Γομωτή και Gridox για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.40. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 10 και 10*.



Εικόνα 5.40: Σύγκριση του δείγματος 10 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτής και Μίνιο και του δείγματος 10* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτής και Gridox στις 76 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

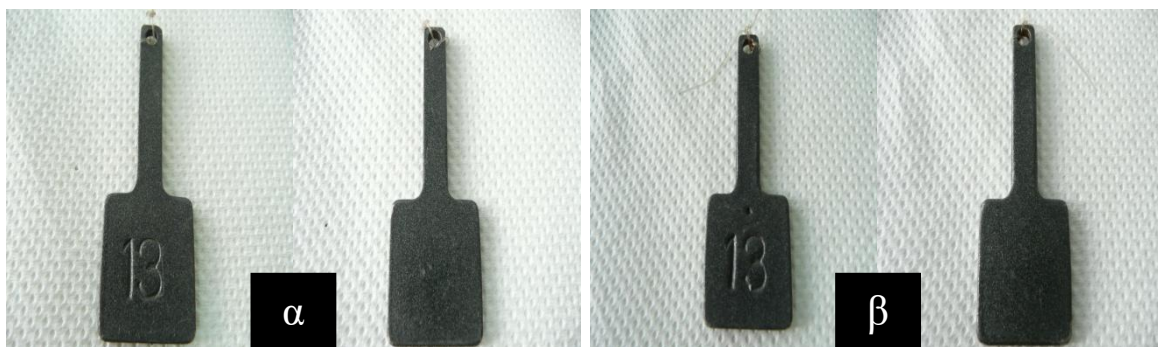
Δείγμα 11 με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτή, Gridox και Alcea και Δείγμα 11* με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτή, Gridox και Paramatti : Φαίνεται ότι η κατεργασία με αμμοβολή και επικάλυψη Γομωτή, Gridox και Alcea προσφέρει καλύτερη προστασία στη διάβρωση από τη κατεργασία με αμμοβολή και με επικάλυψη με Γομωτή, Gridox και Paramatti για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.41. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 11 και 11*.



Εικόνα 5.41: Σύγκριση του δείγματος 11 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτής, Gridox και Alcea και του δείγματος 11* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτής, Gridox και Paramatti στις 87 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Για το δείγμα 12 με υλικό υποστρώματος Stainless Steel 316 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti και Δείγμα 12* με υλικό υποστρώματος Stainless Steel 316 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti : δεν έγιναν συγκρίσεις γιατί δεν είχαμε και τα δύο δείγματα με το ίδιο υπόστρωμα στο θάλαμο αλατονέφωσης.

Δείγμα 13 με υλικό υποστρώματος Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti και Δείγμα 13* με υλικό υποστρώματος Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti : Φαίνεται ότι η κατεργασία με αμμοβολή και επικάλυψη Paramatti παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά στη διάβρωση από τη κατεργασία με αμμοβολής και επικάλυψη Gridox και Paramatti για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.42. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 13 και 13*.



Εικόνα 5.42: Σύγκριση του δείγματος 13 (εικόνα α) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Paramatti και του δείγματος 13* (εικόνα β) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Δείγμα 14 με υλικό υποστρώματος Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη και Δείγμα 14* με υλικό υποστρώματος Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική επίπεδη : Φαίνεται ότι η κατεργασία με αμμοβολή και ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη παρουσιάζει εξίσου πολύ καλή αντίσταση στη διάβρωση όπως και η κατεργασία με αμμοβολή και ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική επίπεδη για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.43. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 14 και 14*.



Εικόνα 5.43: Σύγκριση του δείγματος 14 (εικόνα α) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη και του δείγματος 14* (εικόνα β) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική επίπεδη στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Δείγμα 26 με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική σφυρήλατη και Δείγμα 26* με υλικό υποστρώματος St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη : Φαίνεται ότι η κατεργασία με αμμοβολή και ηλεκτροστατική σφυρήλατη παρουσιάζει λιγότερο καλή αντίσταση στη διάβρωση από τη κατεργασία με αμμοβολή και ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη για ίδιες ημέρες παραμονής των δειγμάτων στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.44. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 26 και 26*.



Εικόνα 5.44: Σύγκριση του δείγματος 26 (εικόνα α) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με ηλεκτροστατική σφυρήλατη και του δείγματος 26* (εικόνα β) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

- **Σύγκριση του υλικού υποστρώματος (St 37 dcp VS Stainless Steel 304, Stainless Steel 316 VS Stainless Steel 304 και St37 dcp VS St37 με καλαμίνια) για ίδιες κατεργασίες και στοκαρίσματα**

Το πρώτο ζευγάρι που έχει υποστεί την ίδια κατεργασία και στοκάρισμα είναι ο St 37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή, με επίστρωση Gridox και Paramatti το δείγμα 5* με το Stainless steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή, με επίστρωση Gridox και Paramatti το δείγμα 13*. Στο δείγμα 5* (St37 dcp) μετά από 75 ημέρες έκθεσης παρουσιάζει πολύ χειρότερη συμπεριφορά στη διάβρωση από το δείγμα 13* (Stainless Steel 304) μετά από 100 ημέρες έκθεσης. Η Εικ.5.45. δείχνει τη σύγκριση των δειγμάτων 5* (St37 dcp) και 13*(Stainless Steel 304).



Εικόνα 5.45: Σύγκριση του δείγματος 5* (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti και του δείγματος 13* (εικόνα β) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti για τις 75 και 100 ημέρες αντίστοιχα παραμονής τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το επόμενο ζευγάρι είναι το δείγμα 3* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και επίστρωση Gridox και Paramatti με 75 ημέρες έκθεσης στο θάλαμο αλατονέφωσης παρουσιάζει χειρότερη συμπεριφορά στη διάβρωση από το δείγμα 22 που είναι St37 με καλαμίνη χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και επίστρωση Gridox και Paramatti μετά τη παραμονή του για 67 ημέρες(έμεινε στην αλατονέφωση 100 ημέρες). Η Εικ.5.46. δείχνει τη σύγκριση των δειγμάτων 3* (St37 dcp) και 22 (St37 με καλαμίνη).



Εικόνα 5.46: Σύγκριση του δείγματος 3* (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti και του δείγματος 22 (εικόνα β) St37 με καλαμίνη χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Gridox και Paramatti για τις 75 και 67 ημέρες αντίστοιχα παραμονής τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το επόμενο ζευγάρι είναι το δείγμα 7* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και επίστρωση Paramatti με 21 ημέρες έκθεσης στο θάλαμο αλατονέφωσης παρουσιάζει χειρότερη συμπεριφορά στη διάβρωση από το δείγμα 13 που είναι Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και επίστρωση Paramatti μετά τη παραμονή του για 31 ημέρες(έμεινε στην αλατονέφωση 100 ημέρες). Η Εικ.5.47. δείχνει τη σύγκριση των δειγμάτων 7* (St37 dcp) και 13 (Stainless Steel 304).



Εικόνα 5.47: Σύγκριση του δείγματος 7* (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti και του δείγματος 13 (εικόνα β) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti για τις 21 και 31 ημέρες αντίστοιχα παραμονής τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το επόμενο ζευγάρι είναι το δείγμα 12 ο Stainless Steel 316 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και επίστρωση Paramatti με 100 ημέρες έκθεσης παρουσιάζει ελαφρώς χειρότερη συμπεριφορά στη διάβρωση από το δείγμα 13 το Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και επίστρωση Paramatti με 100 ημέρες έκθεσης. Και τα δύο δοκίμια παρουσιάζουν εξαιρετική συμπεριφορά στη διάβρωση. Η Εικ.5.48. δείχνει τη σύγκριση των δειγμάτων 12 (Stainless Steel 316) και 13 (Stainless Steel 304).



Εικόνα 5.48: Σύγκριση του δείγματος 12 (εικόνα α) Stainless Steel 316 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti και του δείγματος 13 (εικόνα β) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Paramatti για τις 100 ημέρες παραμονής τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

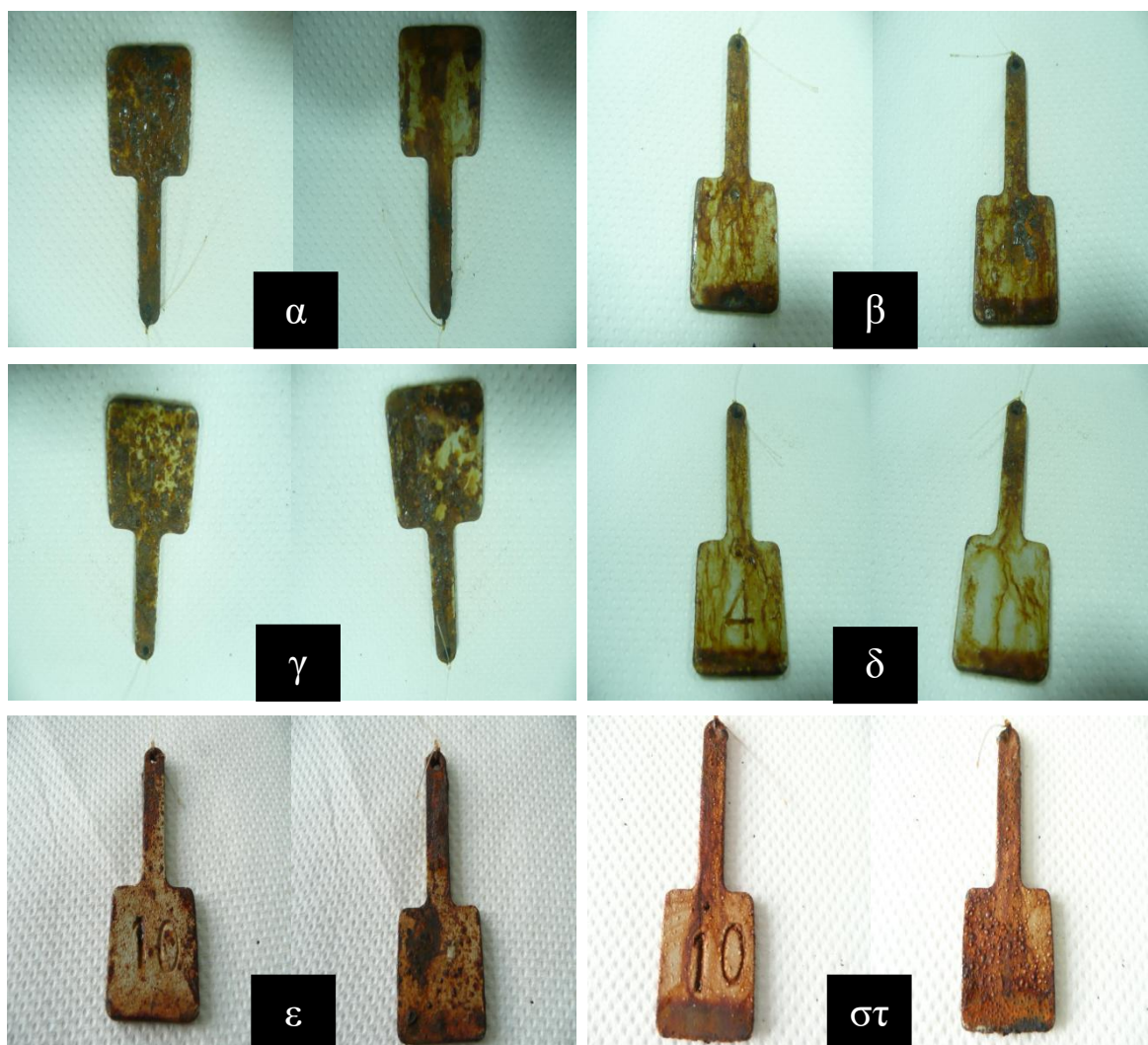
Το τελευταίο ζευγάρι είναι το δείγμα 14 το Stainless steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη που παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά στη διάβρωση μετά από 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης με εξαιρετική συμπεριφορά στη διάβρωση σε σύγκριση με το δείγμα 26* ο St 37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη μετά από 87 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Η Εικ.5.49. δείχνει τη σύγκριση των δειγμάτων 14 (Stainless Steel 304) και 26* (St37 dcp).



Εικόνα 5.49: Σύγκριση του δείγματος 14 (εικόνα α) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη και του δείγματος 26* (εικόνα β) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη για τις 100 και 76 ημέρες αντίστοιχα παραμονής τους στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

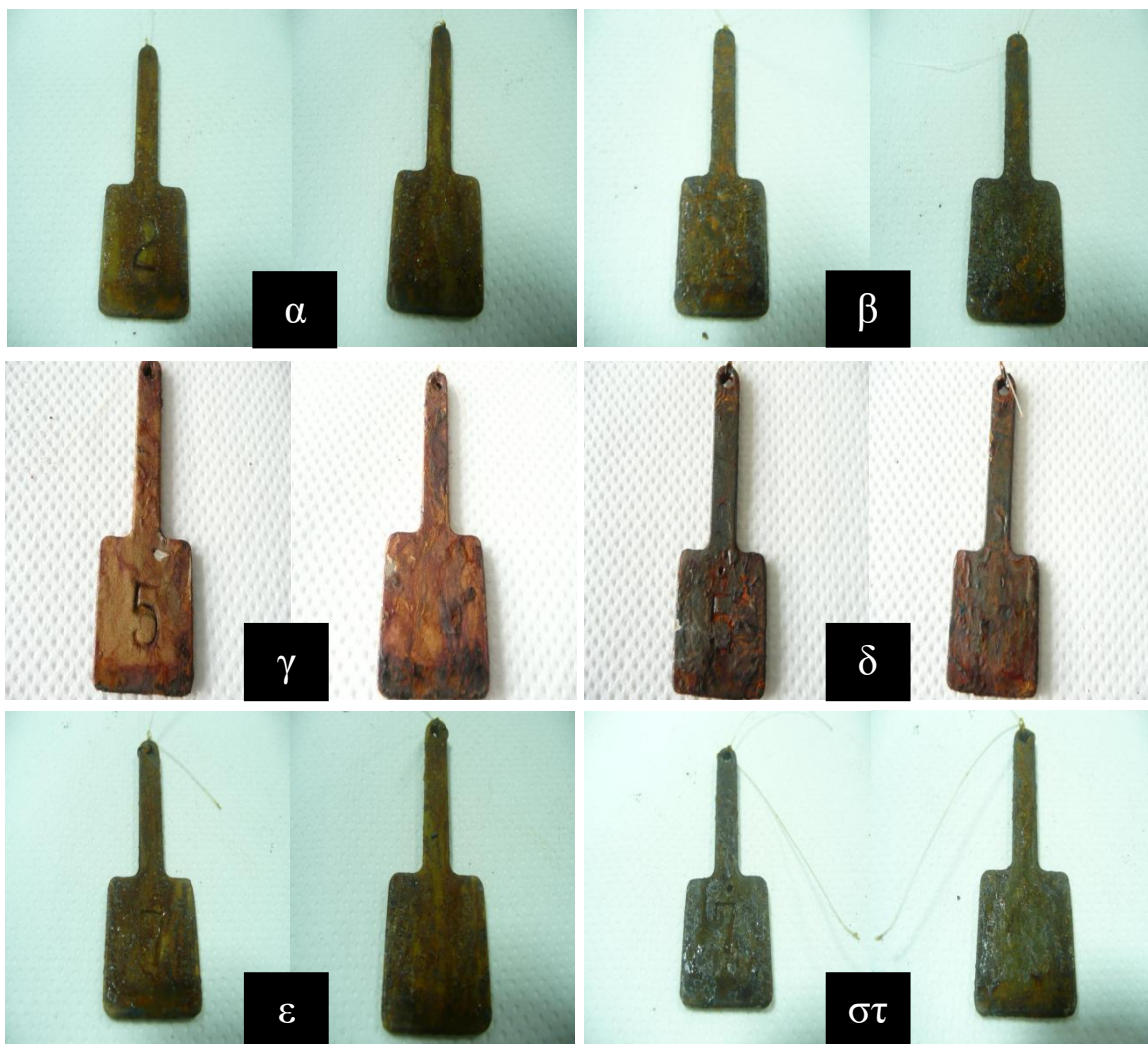
- **Σύγκριση των επικαλύψεων για διαφορετικά υποστρώματα και επιφανειακές κατεργασίες.**

Το Gridox σαν επικάλυψη προσδίδει καλύτερη προστασία από τη διάβρωση σε σχέση με το Μίνιο. Σύγκρισή των δοκιμίων 1 με 1* (St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επίστρωση Μίνιο και Gridox αντίστοιχα), 4 με 4* (St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επίστρωση Μίνιο και Gridox αντίστοιχα) και 10 με 10* (St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και επίστρωση Γομωτή με Μίνιο και Γομωτή με Gridox αντίστοιχα, μεταξύ τους και μόνο στην περίπτωση του 10 δείγματος το Μίνιο έχει καλύτερη προστασία από το Gridox. Η Εικ.5.50. δείχνει τις συγκρίσεις ανάμεσα στα δείγματα 1 με 1* (St37 dcp), 4 με 4* (St37 dcp) και 10 με 10* (St37 dcp).



Εικόνα 5.50: Σύγκριση του δείγματος 1 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Μίνιο και του δείγματος 1* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Του δείγματος 4 (εικόνα γ) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Μίνιο και του δείγματος 4* (εικόνα δ) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Και του δείγματος 10 (εικόνα ε) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτής και Μίνιο και του δείγματος 10* (εικόνα στ) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτής και Gridox στις 76 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνα είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το Paramatti προσδίδει περίπου ίδια προστασία ως προς τη διάβρωση σε σχέση με το Alcea. Για τις 3 περιπτώσεις από τις 6 και τη σύγκριση των δοκιμών 2 με 2* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και Paramatti αντίστοιχα, 5 με 5* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox με Alcea και Gridox με Paramatti αντίστοιχα και 7 με 7* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Alcea και Paramatti αντίστοιχα μεταξύ τους. Η Εικ.5.51. δείχνει την σύγκριση για τις τρεις περιπτώσεις από τις έξι των δειγμάτων 2 με 2*, 5 με 5* και 7 με 7*.



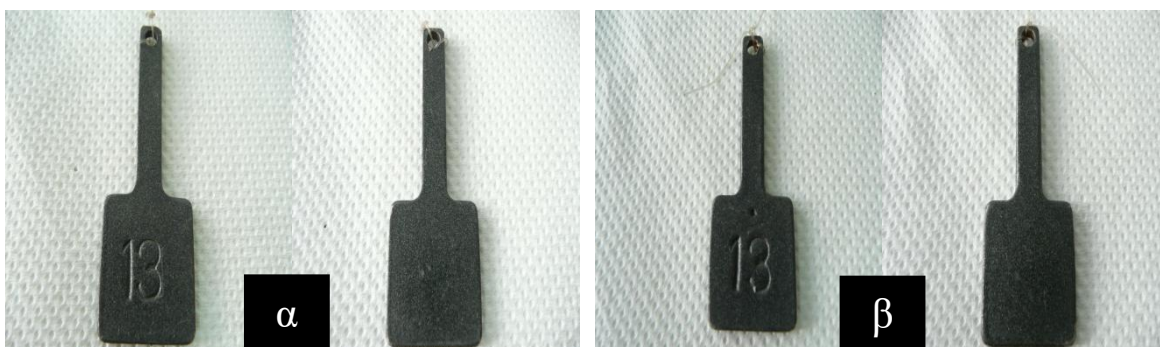
Εικόνα 5.51: Σύγκριση του δείγματος 2 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και του δείγματος 2* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Του δείγματος 5 (εικόνα γ) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox με Alcea και του δείγματος 5* (εικόνα δ) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox με Paramatti στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Και του δείγματος 7 (εικόνα ε) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και του δείγματος 7* (εικόνα στ) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti στις 21 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. . (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το Paramatti προσδίδει χειρότερη προστασία ως προς τη διάβρωση σε σχέση με το Alcea. Για τις 3 περιπτώσεις από τις 6 και τη σύγκριση των δοκιμίων 3 με 3* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox με Alcea και Gridox με Paramatti αντίστοιχα, 8 με 8* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτής με Alcea και Γομωτής με Paramatti αντίστοιχα και 11 με 11* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτή, Gridox, Alcea και Γομωτή, Gridox, Paramatti αντίστοιχα μεταξύ τους. Η Εικ.5.52. δείχνει την σύγκριση για τις τρεις περιπτώσεις από τις έξι των δειγμάτων 3 με 3*, 8 με 8* και 11 με 11* μεταξύ τους.



Εικόνα 5.52: Σύγκριση του δείγματος 3 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea και του δείγματος 3* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Του δείγματος 8 (εικόνα γ) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτή με Alcea και του δείγματος 8* (εικόνα δ) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτής με Paramatti στις 76 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. Και του δείγματος 11 (εικόνα ε) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Γομωτή, Gridox και Alcea και του δείγματος 11* (εικόνα στ) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Γομωτή, Gridox και Paramatti στις 87 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. . (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το Gridox με Paramatti προσφέρει σχεδόν ίδια προστασία ως προς τη διάβρωση από το Paramatti. Σύγκριση του δείγματος 13 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti και του δείγματος 13* με Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti μετά από 100 ημέρες έκθεσης. Η Εικ.5.53. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 13 και 13*.



Εικόνα 5.53: Σύγκριση του δείγματος 13 (εικόνα α) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Paramatti και του δείγματος 13* (εικόνα β) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Η ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη προσφέρει εξίσου καλή προστασία ως προς τη διάβρωση με την ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική επίπεδη. Σύγκριση δείγματος 14 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη και του δείγματος 14*Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική επίπεδη μετά από 100 ημέρες έκθεσης. Η Εικ.5.54. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 14 και 14*.



Εικόνα 5.54: Σύγκριση του δείγματος 14 (εικόνα α) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη και του δείγματος 14* (εικόνα β) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική επίπεδη στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη προσδίδει καλύτερη προστασία από τη διάβρωση με ηλεκτροστατική σφυρήλατη. Το δείγμα 26 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική σφυρήλατη και Δείγμα 26* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη μετά από 76 ημέρες έκθεσης. Η Εικ.5.55. δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 26 και 26*.



Εικόνα 5.55: Σύγκριση του δείγματος 26 (εικόνα α) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με ηλεκτροστατική σφυρήλατη και του δείγματος 26* (εικόνα β) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

- **Σύγκριση για δείγματα με ίδιο υπόστρωμα, ίδια επικάλυψη και διαφορετικές επιφανειακές κατεργασίες.**

Το δείγμα 1 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Μίνιο παρουσιάζει καλύτερη αντίσταση στη διάβρωση από το δείγμα 4 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Μίνιο. Η Εικ.5.56. δείχνει τη σύγκριση των δειγμάτων 1 και 4 για 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.56: Σύγκριση του δείγματος 1 (εικόνα α) St37 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Μίνιο και του δείγματος 4 (εικόνα β) St37 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Μίνιο στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το δείγμα 1* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox παρουσιάζει χειρότερη αντίσταση στη διάβρωση από το δείγμα 4* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox. Η Εικ.5.57. δείχνει τη σύγκριση των δειγμάτων 1* και 4* για 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.57: Σύγκριση του δείγματος 1* (εικόνα α) St37 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox και του δείγματος 4* (εικόνα β) St37 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Gridox στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το δείγμα 3 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea παρουσιάζει χειρότερη αντίσταση στη διάβρωση από το δείγμα 5 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea. Η Εικ.5.58 δείχνει τη σύγκριση των δοκιμών 3 και 5 για 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.58: Σύγκριση δείγματος 3 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea και του δείγματος 5 (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Alcea στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το δείγμα 3* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti παρουσιάζει χειρότερη αντίσταση στη διάβρωση από το δείγμα 5* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti. Η Εικ.5.59 δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 3 και 5 για 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.59: Σύγκριση δείγματος 3* (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti και του δείγματος 5* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 75 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το δείγμα 2 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Alcea παρουσιάζει καλύτερη αντίσταση στη διάβρωση από το δείγμα 7 St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Alcea. Η Εικ.5.60 δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 2 και 7 για 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.60: Σύγκριση δείγματος 2 (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Alcea και του δείγματος 7 (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Alcea στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το δείγμα 2* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Paramatti παρουσιάζει χειρότερη αντίσταση στη διάβρωση από το δείγμα 7* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Paramatti. Η Εικ.5.61 δείχνει τη σύγκριση των δοκιμών 2* και 7* για 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.61: Σύγκριση δείγματος 2* (εικόνα α) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, χωρίς αμμοβολή με επικάλυψη Paramatti και του δείγματος 7* (εικόνα β) St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Paramatti στις 20 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Το δείγμα 13* Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti παρουσιάζει πολύ καλύτερη αντίσταση στη διάβρωση από το δείγμα 23 Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti. Η Εικ.5.62 δείχνει τη σύγκριση των δοκιμίων 13* και 23 για 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης.



Εικόνα 5.62: Σύγκριση δείγματος 13* (εικόνα α) Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti και του δείγματος 23 (εικόνα β) Stainless Steel 304 με διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti στις 100 ημέρες παραμονής στο θάλαμο αλατονέφωσης. (Στα αριστερά κάθε εικόνας είναι με προ-χαραγή και δεξιά χωρίς χαραγή)

Συμπεράσματα

Το φαινόμενο της διάβρωσης είναι ένα πολύπλοκο και πολυπαραγοντικό πρόβλημα για αυτό και η λύση του απαιτεί πολύ καλή μελέτη όλων των παραγόντων που επηρεάζουν τη πορεία της διάβρωσης. Με την εξέλιξη γύρω από τη μελέτη των υλικών είναι εφικτό να βρεθούν τα κατάλληλα υλικά για κάθε εφαρμογή καθώς και οι τρόποι βέλτιστης λειτουργίας κάθε συστήματος.

Στην παρούσα εργασία μέσα από την μελέτη διαφορετικών υποστρωμάτων, με διαφορετικές κατεργασίες και στοκαρίσματα σε ένα έντονα διαβρωτικό περιβάλλον καταλήξαμε ότι η επιλογή του υλικού υποστρώματος, της κατεργασίας που θα υποστεί το υπόστρωμα και της επεξεργασίας που θα δώσει τα τελικά χαρακτηριστικά στο υλικό είναι καθοριστικά για τη πορεία της διάβρωσης.

Το μέταλλο που χρησιμοποιείται σαν υπόστρωμα σε κάθε εφαρμογή επιλέγεται σύμφωνα με τις μηχανικές του ιδιότητες και το σχέση ιδιότητες-κόστος. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες έχουν καλύτερη συμπεριφορά σε διαβρωτικό περιβάλλον από τους ανθρακούχους χάλυβες.

Η επεξεργασία που δέχεται το δείγμα προστατεύει το υπόστρωμα από τη διάβρωση και βελτιώνει τις ιδιότητές του. Από τα πειράματα παρατηρήθηκε ότι στα δείγματα που η επιφάνεια της επικάλυψης είχε φθορές τα σημεία αυτά έγιναν σημεία έναρξης της διάβρωσης. Οπότε είναι πολύ σημαντική η ποιότητα της επικάλυψης. Χρειάζεται να έχει καλή πρόσφυση και ομοιόμορφη επιφάνεια χωρίς μικροεκδορές για να αποφευχθεί η διάβρωση.

Στη περίπτωση του δείγματος 14 και 14* που είναι ανοξείδωτος χάλυβας 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, που έχει γίνει επεξεργασία με αμμοβολή και ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση με ηλεκτροστατική σφυρήλατη προστασία ή η ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση με ηλεκτροστατική επίπεδη παρουσιάζουν εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση στο θάλαμο αλατονέφωσης όπου παρέμειναν για 100 ημέρες. Τα δείγματα και μετά την παραμονή και την απομάκρυνση τους από το θάλαμο δεν έχουν αλλάξει καθόλου.

Το δείγμα 21 που είναι πάλι ανοξείδωτος χάλυβας 304 ημιτραχύς χωρίς επεξεργασία στους 1000°C και χωρίς αμμοβολή παρέμεινε στο θάλαμο για 100 ημέρες και η αντίσταση του απέναντι στη διάβρωση είναι εξαιρετική. Το δείγμα είχε ατέλεια στην επιφάνεια του αλλά δεν παρουσιάστηκε αστοχία του υλικού ούτε στο θάλαμο ούτε μετά την απομάκρυνση του.

Το δείγμα 15 που ως υπόστρωμα είναι πάλι ο ανοξείδωτος χάλυβας 304 με αμμοβολή και σιδηρόστοκο, Gridox και Paramatti με παραμονή στο θάλαμο αλατονέφωσης για 100 ημέρες παρουσίασε πολύ καλή αντοχή στη διάβρωση. Υπήρξαν πολύ μικρές φθορές στην επιφάνεια της επικάλυψης που δεν οδήγησαν όμως στην διάβρωση του υποστρώματος. Μετά την απομάκρυνση από το θάλαμο η κατάσταση του δοκιμίου παρέμεινε πολύ καλή.

Στα δείγματα 13* Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και επικάλυψη Gridox και Paramatti έχει λίγο καλύτερη αντίσταση στη διάβρωση από το δείγμα 13 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και επικάλυψη Paramatti μόνο. Έχουν και τα δύο πολύ καλή αντίσταση στη διάβρωση μετά από 100 ημέρες στο θάλαμο αλατονέφωσης. Τα δοκίμια έχουν μόνο πολύ λίγη σκουριά γύρω από την πετονιά που όμως δεν επηρέασε την υπόλοιπη επιφάνεια ούτε μετά την απομάκρυνση της από το θάλαμο αλατονέφωσης.

Τα δείγματα 23,24 και 25 που είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας 304 ως υπόστρωμα που έχουν όλα διαμορφωθεί στους 1000°C, έχουν υποστεί αμμοβολή και έχουν επικάλυψη Gridox και Paramatti το δείγμα 23, πολυεστερικό στόκο, Gridox και Paramatti το δείγμα 24 και

αρμόκολλα, Gridox και Paramatti το δείγμα 25 έχουν διαβρωθεί όχι όμως πολύ και παρόλο που παρέμειναν στο θάλαμο για 100 ημέρες η κατάσταση της επικάλυψης είναι αρκετά καλή. Τα δοκίμια μετά την απομάκρυνση τους παρέμειναν στην ίδια κατάσταση και η επίστρωση δεν έχει αποκολληθεί από το υπόστρωμα. Πιθανόν η αστοχία να οφείλεται στην κατεργασία διαμόρφωσης στους 1000°C που έκανε την επιφάνεια του δοκιμίου ανομοιόμορφη με αποτέλεσμα να οδηγήσουν οι ατέλειες αυτές σε διάβρωση.

Γενικά φαίνεται ότι ο Stainless Steel 304 παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερη συμπεριφορά στη διάβρωση έναντι του Stainless Steel 316 (δείγμα 13 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και επικάλυψη Paramatti, δείγμα 12 Stainless Steel 316 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και επικάλυψη Paramatti). Ο Stainless Steel 304 παρουσιάζει επίσης καλύτερη αντίσταση στη διάβρωση σε σχέση με το St37 dcp σε πολλές διαφορετικές περιπτώσεις δειγμάτων (1η περίπτωση δείγμα 14 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη με το δείγμα 26* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση και ηλεκτροστατική σφυρήλατη. 2η περίπτωση δείγμα 13 Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή και με επικάλυψη Paramatti με το δείγμα 7* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Paramatti. Και 3η περίπτωση δείγμα 13* Stainless Steel 304 χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti με το δείγμα 5* St37 dcp χωρίς διαμόρφωση στους 1000°C, με αμμοβολή με επικάλυψη Gridox και Paramatti).

Από τις συγκρίσεις που έγιναν σε δείγματα με ίδιο υπόστρωμα και ίδια επίστρωση αλλά διαφορετική επιφανειακή κατεργασία φαίνεται ότι η αμμοβολή με επίστρωση Gridox ή Paramatti ή συνδυασμό και των δύο είχε καλύτερη προστασία στη διάβρωση από τα ίδια δείγματα χωρίς αμμοβολή για τον St37 dcp και τον Stainless Steel 304. Ακόμη φαίνεται ότι η επεξεργασία διαμόρφωσης στους 1000°C για τον Stainless Steel 304 προκαλεί χειρότερη αντίσταση στη διάβρωση.

Συγκρίνοντας δείγματα με ίδιο υπόστρωμα, ίδια επιφανειακή κατεργασία και διαφορετικές επικαλύψεις προέκυψε ότι το Μίνιο σαν επικάλυψη συνήθως έχει χειρότερη αντίσταση στη διάβρωση από την επικάλυψη Gridox. Ακόμη φαίνεται πως η επικάλυψη με Alcea έχει καλύτερη αντίσταση στη διάβρωση σε σχέση με το Paramatti ή την ίδια προστασία. Τέλος

η ηλεκτροστατική ψευδαργύρωση σε συνδυασμό με την ηλεκτροστατική σφυρήλατη προσφέρει καλύτερη προστασία στη διάβρωση από την ηλεκτροστατική σφυρήλατη μόνο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Λεκάτου Α. (2022) Διάβρωση και Προστασία των Μετάλλων και των Κραμάτων τους
2. E. Mattsson (1996) Basic Corrosion Technology for Scientist and Engineers
3. Υφαντής Δ.Κ. (2008) Υλικά Διάβρωση και Προστασία
4. Καραντώνης Α (2021) Ηλεκτροχημικές Αρχές της Διάβρωσης
5. M. Fontana (1986) Corrosion Engineering
6. <https://slideplayer.gr/slide/12123077/> (Ηλεκτρόδια αναφοράς)
7. Μανίτσας Δ. (2012) Συμπεριφορά Επικαλύψεων Θερμικού Ψεκασμού
Ηλεκτρολυτικής Επιχρωμίωσης και Οργανικών Επικαλύψεων σε Δοκιμή
Αλατονέφωσης - Γαλβανική Συμβατότητα Ανόργανων Επικαλύψεων και
Υποστρώματος Αλουμινίου, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Υλικών,
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα
8. C.P. Dillon (1982) Forms of Corrosion Recognition and Prevention
9. P.R. Roberge (2000) Handbook of Corrosion Engineering
10. www.dreim.com/el/2020/02/07 (Μορφές διάβρωσης)
11. P. H. Darji (2016) Advances in Tribology
12. Χαλατσοπούλου Μ. (2000) Αίτια και Είδη Διάβρωσης των Μεταλλικών Επιφανειών,
Πτυχιακή Εργασία, Σχολή Μηχανικών, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας
13. <https://docplayer.gr/81777931-Morfes-tis-diaavrosis-omoiomorfi-i-geniki-diaavrosi-general-corrosion.html> (Ομοιόμορφη και γενική διάβρωση)
14. Δουμένης Π. Ν. (2019) Μελέτη Αντοχής σε Διάβρωση Χάλυβα Υψηλής Αντοχής σε
Θαλάσσιο Περιβάλλον - Επίδραση Διαβρωτικών Συνθηκών στις Μηχανικές
Ιδιότητες, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό
Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

15. Λάμπη Σ. (2016) Μελέτη της Μικροδομής και της Συμπεριφοράς σε Διάβρωση Συγκολλήσεων Τόξου και Υβριδικών Συγκολλήσεων Laser - Τόξου Χαλύβων AH36 και S690, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θαλάσσιων Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
16. www.gibsonstainless.com/types-of-corrosion.html (Μορφές διάβρωσης οπών)
17. dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/41573/Thesis.pdf (Τυρβώδης ροή)
18. Πάσχου Α. (2019) Μελέτη Κράματος Μνήμης Σχήματος Υψηλών Θερμοκρασιών NiTiHF σε Θερμομηχανική Κόπωση και Κόπωση σε Διάβρωση, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη
19. Τσουλάκος Ν. (2013) Προστασία Μετάλλων μέσω Αντιδιαβρωτικών Χρωμάτων, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
20. <https://www.galvanistirio.gr/%ce%b3%ce%b1%ce%bb%ce%b2%ce%ac%ce%bd%ce%b9%cf%83%ce%bc%ce%b1/> (Γαλβάνισμα – Επιψευδαργύρωση)
21. Βούλγαρη Ε. (2020) Επίδραση Πρόσθετων Σύνθετων Αναστολέων Διάβρωσης στην Ανθεκτικότητα του Οπλισμού Σκυροδέματος, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
22. Κατρατζής Π., Κωνσταντακοπούλου Μ., Φίλο Ν. 5ο εξάμηνο , Προστασία και Επιμεταλλώσεις, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
23. Ιωσηφίδου Α. (2009) Προστασία Χαλύβων σε Θαλάσσιο Περιβάλλον με Αντιδιαβρωτικό Επικαλυπτικό που περιέχει Πιγμέντο από Ανοξειδωτο Χάλυβα,

Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

24. <https://xhmeiapedia.blogspot.com/2019/06/epimetalosi.html?m=1> (Επιμετάλλωση με χαλκό σε λουτρό θειικού χαλκού)
25. www.xromata-katsikis.gr/product/gridox/ (Προστατευτικά χρώματα Gridox)
26. www.chemeng.ntua.gr/courses/dpm/pdf-files/21-vassiliou-anodic.pdf (Ανοδική προστασία και παθητικοποίηση)
27. eclass.hmu.gr/modules/document/index.php?course=MECH151&openDir=/&sort=date (Επιπτώσεις της διάβρωσης)
28. J.E.O.Mayne (1954) How Paints Prevents Corrosion, Anti-Corrosion Methods and Materials (Vol.1, pp. 286-290)
29. at-machining.com/metal-cnc-machining/stainless-steel/ (Χάλυβες- Ανοξείδωτοι χάλυβες)
30. portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/METAL_KATASK/me1_2t.htm (Χάλυβες- Μικροδομή και Είδη χάλυβα)
31. eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/BSMM106/ΜΑΘΗΜΑ%20ΤΕΤΑΡΤΟ/10%20%20ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ%20ΤΤΤ%2C%20CCT%2C%20ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ%20%20ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ.pdf (Επιφανειακές κατεργασίες)
32. Ντάφλου Ε. (2012) Ανθεκτικότητα Οργανικών Επικαλύψεων που περιέχουν Αναστολείς Διάβρωσης, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
33. Μπότσης Π. (2015) Συμπεριφορά Γαλβανισμένου Χάλυβα και Αλουμινίου με Επικάλυψη από Οργανικά Επικαλυπτικά σε Θαλάσσιο Περιβάλλον (Δεξαμενές), Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας

- Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
34. Αϊβάζογλου Ε. (2016) Μελέτη και Ανάλυση Μικροδομής Χαλύβων Χαμηλής Κραμάτωσης Μετά από Επιβολή Τάχιστων Θερμικών Κύκλων, Τομέας Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
 35. eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/TUCMECH139/ΜΑΘΗΜΑ%20ΔΕΥΤΕΡΟ/ΘΕΡΜΙΚΕΣ%20ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ%20ΧΑΛΥΒΩΝ.pdf (Θερμικές Κατεργασίες)
 36. eclass.aegean.gr/modules/document/index.php?course=511150&openDir=/56140cb9X9um (Εισαγωγή στις κατεργασίες)
 37. Καρνά Μ. (2016) Ανάλυση Μικροδομής Μικροκραματωμένων Ειδικών Χαλύβων Μεσαίου Άνθρακα Μετά την Επιβολή Τάχιστων Θερμικών Κύκλων, Τομέας Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
 38. Χρυσουλάκης Γ. και Παντελής Δ (2008) Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών.
 39. slideplayer.gr/slide/11266996/#google_vignette (Διαγράμματα Φάσεων)
 40. Παπαδημητρίου Χ. (2015) Επίδραση στη Διάβρωση του Οπλισμού στο Σκυρόδεμα Οργανικών Επικαλύψεων με Αναστολείς Διάβρωσης, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
 41. Λέντα Λ. (2023) Η Χρήση Ορισμένων Οργανικών Ουσιών, Φιλικών προς το Περιβάλλον και τον Άνθρωπο, ως Αναστολέων της Διάβρωσης του Χάλυβα και των Κραμάτων του σε Θαλάσσιο Περιβάλλον, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα
 42. [el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%BB%CE%AF%CF%84%CE%B7%CF%82_\(%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1\)](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%BB%CE%AF%CF%84%CE%B7%CF%82_(%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1)) (Περλίτης)

43. docplayer.gr/35472831-Fysiki-metallourgia-ton-halyvon.html#google_vignette
(Διαγράμματα και σχηματική απεικόνιση μικροδομών)
44. Αντωνοκοπούλου Μ. Α., Μανιάτη Κ., Παπαπαναγιώτου Μ. (2005) Χρήση
Αναστολέων Διάβρωσης και Προστασίας Μετάλλων, Τομέας Υλικών, 5ο Εξάμηνο,
Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
45. eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/BSMM106/ΜΑΘΗΜΑ%20ΤΕΤΑΡΤΟ/Λ9%20SIDHROUXA%20KRAMATA%20ΕΠΙΔΡΑΣΗ%20ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.pdf
(Χρωματικά στοιχεία στους χάλυβες)
46. at-machining.com/el/alloy-steel-vs-stainless-steel/ (Χρωματοποιημένοι χάλυβες)
47. www.epowermetals.com/el/a-comprehensive-guide-to-heat-treatment-solutions.html
(Θερμική Επεξεργασία)
48. el.wikipedia.org/ (Βαφή)
49. practicalmaintenance.net/?p=1329 (Θερμική κατεργασία)
50. users.uoi.gr/mgeorgat/down/5%20thermikes%20sti%20praxi.pdf (Θερμικές
κατεργασίες στη πράξη)
51. www.epowermetals.com/a-comprehensive-guide-to-heat-treatment-solutions.html
(Διάγραμμα φάσεων σε σχέση με τη θερμοκρασία)
52. dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/42024/ΜΠΟΜΠΟΛΗΣ%20ΙΩΑΝΝΗΣ,%20ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ%20ΕΡΓΑΣΙΑ.pdf (Ανόπτηση)
53. Batis, Routoulas, & Rakanta. (2003). Effects of migrating inhibitors on corrosion of
reinforcing steel covered with repair mortar.
54. Μισδανίτη Σ. Γ. (2005) Σχεδιασμός και Κατασκευή Θαλάμου Αλατονέφωσης,
Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος
55. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus. ASTM, B117-97

56. www.smhbe.gr/images/downloads/Files/Typopoiisi%20Xalibon.pdf (Τυποποίηση χαλύβων)
57. gr.coldrolledsteels.com/low-alloy-high-strength-steel-plate/st37-2-mild-steel-sheet.html (Χάλυβας St37)
58. www.aegeansteel.com/lamarines/mayres-st37-st44-st52/italias-ollandias/st37-2/ (Χάλυβας St37)
59. redstonemanufacturing.com/st37-equivalent-materials-metal-specifications/ (Χάλυβας St37)
60. esteel.gr/shop/lamarines-dcp/ (Κατεργασία ψυχρής έλασης)
61. www.lamarina.gr/psixris_elasis/ (Κατεργασία ψυχρής έλασης)
62. www.smithmetal.com/316-stainless.htm (Ανοξείδωτος χάλυβας 316)
63. welder.gr/i-diafora-metaxi-anoxeidotou-chaliva-304-kai-316/ (Ανοξείδωτος χάλυβας 316 και 304)
64. gr.yzpipes.com/info/about-304-316-stainless-steel-58083070.html (Ανοξείδωτος χάλυβας 316 και 304)
65. www.aeiforos.gr/mill_scale (Καλαμίνια)
66. chansmachining.com/el/ (Επιμετάλλωση ψευδαργύρου ο πλήρης οδηγός)
67. www.alumil.com/greece/aluminium-systems/surface-treatments/anodizing (Ανοδευμένο αλουμίνιο)
68. at-machining.com/el/what-is-aluminum-anodizing-and-how-does-it-work/ (Ανοδευμένο αλουμίνιο)
69. www.lygnos.eu/portfolio-view/ηλεκτροστατικες-βαφες-μεταλλων-αμμο/ (Αμμοβολή)
70. el.wikipedia.org/wiki/ (Αμμοβολή)
71. www.chrotex.gr/el/product/gridox (Gridox)
72. <https://kraftpaints.com/products/minio> (Μίνιο)

73. <https://www.durostick.gr/proioda/hromata-upostromata-tehnotropies/vernikhromata-upostromata-gia-metalla/durostick-minio-fisiko> (Μίβιο)
74. www.paints.tiankoltd.com/?page_id=940 (Paramatti)
75. mcfaddens.com/CLEAR-POLY-25-SHEEN-R9924.R525-ALC.9942.R525.5KG-ALCEA-COATINGS-CANADA-CORP.html (Alcea)
76. www.metallotexnion.gr/html_slides/special/galvanization.html (Ψευδαργύρωση)
77. www.atem-oe.gr/alouminio-plirofories/tehnologies-alouminiou/anodioxi-ilektrostatiki-vafi-alouminiou.html (Ηλεκτροστατική Ψευδαργύρωση)
78. www.autotriti.gr/autoaccessories/news/data/fanopoieia/Sidhrostokos-Mathainontas-kalytera-ta-mystika-toy_204817.asp (Σιδηρόστοκος)
79. 1000symboyles.blogspot.com/2012/12/blog-post_9431.html (Σιδηρόστοκος)
80. www.alconpaint.gr/alcon-prolux/ (Ριπουλίνη)
81. gstorediy.gr/product/polyesterikos-stokos-12tem-750gr/ (Πολυεστερικός στόκος)
82. www.andreou.gr/polyesterikos-stokos-ma-2a-stok-k0000 (Πολυεστερικός στόκος)
83. www.ztools.gr/ (Αρμόκολλα)