

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : Οι διαβρώσεις του χάλυβα στους ατμολέβητες**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Νικόλαος Δημητρίου Κωνσταντινίδης**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : Δρ. Μπακογιάννη Ελευθερία**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2013**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : Οι διαβρώσεις του χάλυβα στους ατμολέβητες**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Νικόλαος Δημητρίου Κωνσταντινίδης  
ΑΜ : 4193**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Η καθηγήτρια

Η παρούσα πτυχιακή εργασία  
είναι αφιερωμένη  
στη μνήμη του πατέρα μου

# ΔΙΑΒΡΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΣΤΟΥΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΕΣ

## Περιεχόμενα

<b>Περιεχόμενα</b>	4
<b>Πίνακας Εικόνων</b>	7
<b>Περίληψη</b>	8
<b>Abstract</b>	9
<b>Πρόλογος</b>	10
<b>Κεφάλαιο 1ο</b>	11
1. Εισαγωγή	11
1.1. Ορισμός της διάβρωσης	13
1.2. Σκοπός της πτυχιακής εργασίας	14
<b>Κεφάλαιο 2ο</b>	15
2. Λέβητες	15
2.1. Κύρια μέρη ενός τυπικού λέβητα	16
2.2. Όργανα ελέγχου ασφαλείας & πιστοποίηση λεβήτων	19
<b>Κεφάλαιο 3ο</b>	22
3. Διάβρωση	22
3.1. Είδη διάβρωσης και πώς δημιουργούνται	23
3.1.1. Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση (General Corrosion)	23
3.1.2. Διάβρωση με Βελονισμούς (Pitting Corrosion)	24
3.1.3. Διάβρωση χαραγής	25
3.1.4. Γαλβανική ή διμεταλλική διάβρωση	25
3.1.5. Περικρυσταλλική διάβρωση	27
3.1.6. Εκλεκτική προσβολή	28
3.2. Είδη διάβρωσης, λόγω διάφορων παραγόντων - αιτιών	28
3.2.1. Μηχανικοί παράγοντες	29
3.2.1.1. Μηχανική δράση ενός υγρού πάνω στο μέταλλο	29
3.2.1.2. Μηχανική δράση ενός στερεού σώματος στο μέταλλο	30
3.2.1.3. Μηχανικές δυνάμεις μέσα στο μέταλλο	30
3.2.2. Χημικοί παράγοντες	31

3.2.2.1. Θερμογαλβανική διάβρωση	31
3.2.2.2. Βιολογική ή μικροβιολογική διάβρωση (Βακτηριδιακή διάβρωση)	31
3.2.2.3. Ατμοσφαιρική διάβρωση	32
3.2.2.4. Διάβρωση από ρεύματα διαφυγής	33
3.3. Παράγοντες – αίτια διαβρωτικού περιβάλλοντος	33
3.4. Ιδιότητες Χαλύβων Διάβρωση	35
3.4.1. Χάλυβες (Steels)	35
3.4.2. Ανοξείδωτοι χάλυβες (Stainless steels)	36
<b>Κεφάλαιο 4ο</b>	37
4. Συντήρηση των λεβήτων	37
4.1. Συντήρηση λεβήτων εκτός λειτουργίας	37
4.1.1. Υγρή συντήρηση	37
4.1.2 Ξηρή συντήρηση	38
4.2. Άνοιγμα λεβήτων. Προφυλαχτικά μέτρα	38
4.3. Βρασμός λέβητα	39
4.4. Εσωτερικός και εξωτερικός καθαρισμός λέβητα. Οι μέθοδοι και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται	42
4.5. Ο εσωτερικός καθαρισμός	42
4.5.1. Η εκτέλεση του εσωτερικού καθαρισμού	43
4.5.2. Ο χημικός καθαρισμός των λεβήτων	44
4.6. Ο εκκαπνισμός	47
4.6.1. Η εκτέλεση του εκκαπνισμού	47
4.6.2. Ο εκκαπνισμός με πλύση του λέβητα με νερό	48
<b>Κεφάλαιο 5ο</b>	51
5. Καύσιμα και διαβρώσεις σε λέβητες	51
5.2. Διαβρώσεις τμημάτων λεβήτων που οφείλονται σε υψηλές θερμοκρασίες	52
5.3. Διαβρώσεις τμημάτων λεβήτων οφειλόμενες σε χαμηλές θερμοκρασίες	53
<b>Κεφαλαίο 6ο</b>	55
6. Οι διαβρώσεις του χάλυβα στους ατμολέβητες και ο ρόλος του σχηματιζόμενου μαγνητίτη	55
6.1. Επίδραση του νερού στο χάλυβα	55
6.2. Σχηματισμός του μαγνητίτη προστασίας	56
6.3. Σχηματισμός του μαγνητίτη διαβρώσεως	57
6.4. Πιθανές αιτίες διαβρώσεως	59

**Επίλογος - Συμπεράσματα**

61

**Βιβλιογραφία**

63

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Χαλύβδινοι λέβητες της εταιρίας Viessmann	13
Εικόνα 2: Τυπικός βιομηχανικός ατμολέβητας	16
Εικόνα 3: Μεταφορά θερμότητας από τον φλογοθάλαμο στο θερμαντικό μέσο διαμέσου ακτινοβολίας	17
Εικόνα 4: Μεταφορά θερμότητας από τα καυσαέρια στο θερμαντικό μέσο διαμέσου αυλών συναγωγής	18
Εικόνα 5: Είδη ψηκτρών, μεταλλικών κεφαλών & άλλων οργάνων καθαρισμού	44
Εικόνα 6: Υδραυλικός κινητήρας με κόπτη προσαρμοσμένος απευθείας πάνω στον κινητήριο άξονα για ευθείς αυλούς	45
Εικόνα 7: Πλήρες ηλεκτροκίνητο σύσπαστο με τα εργαλεία και τα εξαρτήματα.	45
Εικόνα 8: Λεβητοστάσιο	50

### Προορισμός Εικόνων

Εικόνα 1 <http://www.viessmann.com/com/en.html> [Πρόσβαση Μάρτιος 2013]

Εικόνα 2 <http://www.in.all.biz/> [Πρόσβαση Μάρτιος 2013]

Εικόνα 3,4 (Gilman G. F. 2005)

Εικόνα 5,6,7,8 (Δανιήλ Γ.Φ., Μιμηκόπουλου Κ.Η., 2006)

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη των διαβρώσεων του χάλυβα καθώς και τα αίτια από τα οποία προκύπτει το φαινόμενο αυτό.

Περιλαμβάνει εισαγωγή και ορισμό στο θέμα της διάβρωσης, καθώς και τα είδη της διάβρωσης και πως δημιουργούνται.

Αρχικά, στην παρούσα εργασία γίνεται μία περιγραφή των λεβήτων, όμως το κύριο περιεχόμενο αυτής, είναι η εκτεταμένη μελέτη της διάβρωσης που προκαλείται από διάφορα μηχανικά και χημικά αίτια και τα είδη διαβρώσεως που υφίστανται. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιγραφή των χαλύβων και οι διαβρώσεις αυτών ξεχωριστά.

Αμέσως μετά, αναλύονται οι διαβρώσεις και συντηρήσεις που γίνονται ή που θα έπρεπε να λαμβάνουν χώρα στους λέβητες, όπως επίσης τα καύσιμα καθώς και οι διαβρώσεις που μπορούν να προέλθουν από αυτά.

Τέλος, ίσως το πιο σημαντικό σημείο στην παρούσα εργασία, δίνει μερικές παραμέτρους των διαβρώσεων του χάλυβα, ο ρόλος (πώς και πόσο βοηθά) του μαγνητίτου που σχηματίζεται κατά τη διάβρωση του χάλυβα, ως επίστρωμά του.

Σίγουρα, όσο εξελίσσεται η τεχνολογία, θα βρεθούν ολοένα και περισσότεροι τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου της διάβρωσης. Όμως ποτέ δεν θα εξαλειφθεί σαν φαινόμενο, όσο υπάρχουν πρωτογενείς και δευτερογενείς παράγοντες που δρουν τόσο στα μεταλλικά όσο και σε άλλα στοιχεία.



# STEEL'S CORROSIONS IN BOILER SHELLS

## Abstract

At the present project I aim to study of steel's corrosion and focus on the causes of this phenomenon.

The specific project includes a detailed introduction about corrosion in general as well as the kinds of steel's corrosion. Also, it is presented how those different kind of corrosion have been created.

Firstly, it is aimed to perform a general description of boilers though, the main focus of the particular project, is to study how the different kinds of corrosion are generated from multiple mechanical and chemical causes. The main interest is on presenting the description of steel and its corrosion separately.

Continuously, it is analysed the preventive measures that take place nowadays in boilers. Additionally, it is introduced a description of specific fuels and the corrosion which can be produced by them.

Finally, one of the most important points that is presented in the present project is the main role of magnetite and how it helps in steel's corrosion, as a coating of steel.

Through, the technological evolution mechanics reassure that there will be more ways to deal with this phenomenon of steel's corrosion. On the other hand, this phenomenon will continue to exist, because there will be always primal and secondary factors in the metals as well as in other elements.

## Πρόλογος

Το θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας επιλέχθηκε με γνώμονα την χρησιμότητα των ατμολεβήτων στην βιομηχανία και γενικά σε κάθε είδους χρήση, όπως αυτή των πλοίων.

Οι ατμολέβητες, με την παραγωγή ατμού, είναι η κινητήριος δύναμη μερικών τύπων μηχανών, εδώ και αρκετά χρόνια. Αυτή την στιγμή έχουν χιλιάδες εφαρμογές. Η χρήση τους ξεκίνησε από την βιομηχανική επανάσταση σε εφαρμογές, όπως για παράδειγμα σε ατμόπλοια για την κίνησή τους. Η ανάπτυξη της τεχνικής παραγωγής τους, έχει δώσει πολύ μεγάλες δυνατότητες για την αύξηση της χρήσης τους σε πολλές άλλες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα την ηλεκτροπαραγωγή. Επομένως, οι ατμολέβητες έχουν καίρια θέση σε ένα σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον, αλλά και στην περίπτωση μας στα πλοία.

Η βασική και μοναδική λειτουργία του ατμολέβητα είναι η παραγωγή του ατμού και τούτο επιτυγχάνεται με ένα και μοναδικό τρόπο, την θέρμανση του νερού. Γι' αυτό, η παραγωγή του ατμού απαιτεί καύση καυσίμου, έτσι ώστε να γίνει η μετατροπή της χημικής ενέργειας, που αυτό αποθηκεύει, σε θερμική και να θερμανθεί το νερό, μέχρι να εξατμιστεί.

Την λειτουργία της καύσης του καυσίμου την εκτελούν ορισμένα μηχανήματα τα οποία λέγονται καυστήρες. Η θερμότητα που παράγεται από την καύση πρέπει να μεταφερθεί και στο νερό, ώστε αυτό με την σειρά του να εξατμιστεί. Η μεταφορά γίνεται σε κάποια άλλα μηχανήματα που ονομάζονται εναλλάκτες. Είναι προφανές λοιπόν ότι ένα μηχανήμα που θα παράγει ατμό, πρέπει να φέρει τόσο τον καυστήρα όσο και τον εναλλάκτη. Το μηχανήμα αυτό ονομάζεται ατμολέβητας.

Όμως, στην περίπτωση που ο χάλυβας του ατμολέβητα είναι διαβρωμένος, μπορούν να προκύψουν πολλά προβλήματα, με πρώτο τη διαρροή ατμού, που θα έχει ως αποτέλεσμα τη μη καλή λειτουργία του ατμολέβητα, αλλά και την αργοπορία των διαδικασιών λόγω αυτού και δεύτερο και σημαντικότερο τη δυσκολία παραγωγής ατμού, επομένως τη σπατάληση καυσίμων, άρα και μεγαλύτερο οικονομικό κόστος για την εταιρεία. Για όλα τα προαναφερόμενα, το παρόν γίνεται ένα σημαντικό θέμα ανάπτυξης της πτυχιακής μου εργασίας.

# Κεφάλαιο 1ο

## 1. Εισαγωγή

Οι λέβητες είναι μηχανικές συσκευές, τις οποίες όλοι έχουμε χρησιμοποιήσει και έχουμε στην κατοχή μας, για οικιακή χρήση. Σε κάθε πολυκατοικία γνωρίζουμε ότι υπάρχει ένας λέβητας. Επιστημονικά, ο λέβητας ορίζεται ως μια δεξαμενή, η οποία μεταβιβάζει θερμότητα από την καύση ενός καυσίμου στο θερμαντικό μέσο. Είναι στην ουσία μια μεταλλική κατασκευή, στην οποία παράγεται θερμότητα και μεταδίδεται σε ένα θερμαντικό μέσο. Συνδυάζει ένα καυστήρα, ο οποίος μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε θερμική ενέργεια και έναν εναλλάκτη, ο οποίος μεταδίδει την παραγόμενη θερμότητα στο θερμαντικό μέσο. (Kitti Walter, Schoner Wolfgang, 2004)

Το συνηθέστερο θερμαντικό μέσο είναι το νερό. Σε αρκετά συστήματα, οι λέβητες ζεσταίνουν νερό χαμηλών θερμοκρασιών (σε όλα τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης). Σε αρκετά άλλα συστήματα όμως, αυξάνουν πολύ τη θερμοκρασία του νερού, σε σημείο που να το ατμοποιούν (κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές και σε εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής και σε πλοία). Σπανιότερα, συναντούμε και τους λέβητες που χρησιμοποιούν ως κύριο μέσο τον αέρα, τον θερμαίνουν και διαμέσου αεραγωγών, τον μεταφέρουν, ώστε να θερμάνουν χώρο ή να αποξηράνουν προϊόντα. Ακόμη πιο σπάνιοι είναι οι λέβητες, οι οποίοι χρησιμοποιούν ως θερμαντικό μέσο το λάδι ή άλλα ρευστά, με ελάχιστες εφαρμογές.

Οι λέβητες διακρίνονται σε πολλές κατηγορίες, με βάση διάφορα κριτήρια κατηγοριοποίησης. Οι περισσότερες κατηγοριοποιήσεις που καταγράφονται εδώ αφορούν τους ατμολέβητες, την μεγαλύτερη κατηγορία λεβήτων, πέραν των λεβήτων κεντρικής θέρμανσης. Παρακάτω, δίνονται οι κατηγορίες των λεβήτων με βάση το κυριότερο κριτήριο διαφοροποίησής τους.

Πρώτο και κυριότερο κριτήριο είναι το **υλικό κατασκευής των λεβήτων**. Βάσει αυτού του κριτηρίου, δημιουργούνται πέντε κατηγορίες με γνωστότερες τις δύο πρώτες.

- Χυτοσιδηροί (μαντεμένιοι) λέβητες.
- Χαλύβδινοι λέβητες.

- Χάλκινοι λέβητες.
- Ανοξείδωτοι λέβητες.
- Διμεταλλικοί λέβητες.

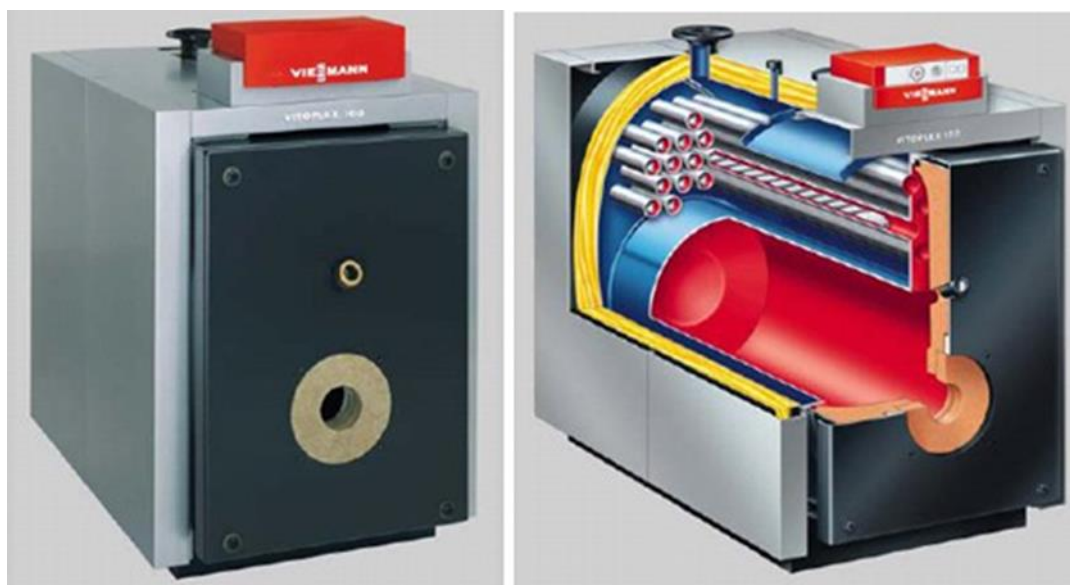
Στους ατμολέβητες των πλοίων χρησιμοποιούνται κυρίως οι πρώτες δύο κατηγορίες λεβήτων. Εισάγοντας λοιπόν τον αναγνώστη αυτής της εργασίας στο θέμα, πρέπει να πούμε, πως αμέσως μετά την κατασκευή του λέβητα, ξεκινά ταυτοχρόνως και η διάβρωση των μετάλλων του, και συγκεκριμένα του χάλυβα, που μελετούμε στην παρούσα εργασία.

Μέχρι και σήμερα, τα μέταλλα και τα κράματά τους, χάρη στις εξαιρετικές τους ιδιότητες, φυσικές και μηχανικές (αντοχή, σκληρότητα, εύκολη κατεργασία κ.λπ.), αποτελούν τα βασικά δομικά υλικά και χρησιμοποιούνται σε κάθε τεχνητή κατασκευή που φτιάχνει ο άνθρωπος. Η καθολική εξάπλωση και χρήση του σιδήρου έκανε τη μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης αναγκαία και επιτακτική (Σκουλικίδης και Βασιλείου 2000).

Το σύνολο των μετάλλων, αλλά και των κραμάτων αυτών διαβρώνονται. Αυτό οφείλεται στην φυσική προδιάθεση που έχουν τα μέταλλα να ενώνονται με διάφορα άλλα στοιχεία του περιβάλλοντος τους και να σχηματίζουν μαζί τους, ενώσεις, που όπως αποδεικνύεται είναι πιο σταθερές. Από τούτο προκύπτει, πως ελάχιστα μέταλλα βρίσκονται στη φύση αυτούσια, σε καθαρή μεταλλική μορφή, δηλαδή χωρίς να έχουν άλλες προσμίξεις. Τα μέταλλα που βρίσκονται στη φύση σε καθαρή μεταλλική μορφή ονομάζονται ευγενή (χρυσός, λευκόχρυσος, άργυρος και χαλκός) και δεν απαιτούν ιδιαίτερη προστασία, παραμένουν σταθερά και διατηρούν τις ιδιότητές τους στα περισσότερα διαβρωτικά μέσα (Kitti Walter, Schoner Wolfgang, 2004).

Αντιθέτως, όλα σχεδόν τα υπόλοιπα μέταλλα βρίσκονται στη φύση υπό τη μορφή ενώσεων, κυρίως οξειδία, και αποτελούν τα ορυκτά. Τα συνηθέστερα ορυκτά εκτός από τα οξείδια, είναι τα θειούχα, τα θειικά, τα ανθρακικά και τα χλωριούχα άλατα. Τα μέταλλα λαμβάνονται σε μεταλλική μορφή μετά την αναγωγή (αφαίρεση του οξυγόνου) των ενώσεων αυτών. Τα ορυκτά στο έδαφος όπου και ανευρίσκονται, είναι ανακατεμένα με γαιώδεις προσμίξεις (χώματα, άμμο, χαλίκια κ.λπ.). Τα

μείγματα αυτά των ορυκτών με τις γαιώδεις προσμίξεις αποτελούν τα μεταλλεύματα (Lloyd's List events Conference, 2003).



Εικόνα 1: Χαλκόβιδιοι λέβητες της εταιρίας Viessmann

### 1.1. Ορισμός της διάβρωσης

Πολλοί και διαφορετικοί είναι οι ορισμοί, που έχουν δοθεί κατά καιρούς από διάφορους οργανισμούς, για τη διάβρωση. Ένας από τους πληρέστερους είναι αυτός ο οποίος προέκυψε από συζητήσεις στα πλαίσια της Διεθνούς Επιτροπής Θαλάσσιας Διάβρωσης και Ρύπανσης των Υφάλων Κατασκευών και Διεθνών Συνεδρίων κατά τον οποίο:

- Διάβρωση λέγεται κάθε αυθόρμητη, κατ' επέκταση βεβαιασμένη, ηλεκτροχημικής, κατ' επέκταση χημικής, κατ' επέκταση μηχανικής, κατ' επέκταση βιολογικής φύσης αλλοίωση της επιφάνειας των μετάλλων και των κραμάτων, που οδηγεί σε απώλεια υλικού” (electrochem.cwru, Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

Με βάση, αυτόν τον ορισμό, εναρμονίζονται οι νομοθεσίες των κρατών, οι προδιαγραφές των λεβήτων και οι διάφοροι κανονισμοί. Επομένως, η παρούσα εργασία θα πορευθεί με γνώμονα αυτόν τον ορισμό.

## **1.2. Σκοπός της πτυχιακής εργασίας**

Κάνοντας μία εισαγωγή στο θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας και δίνοντας τον ορισμό του κυρίου θέματός της, που είναι η διάβρωση και πιο συγκεκριμένα η διάβρωση του χάλυβα των ατμολεβήτων, μπορούμε σε αυτό το σημείο να εισάγουμε τον αναγνώστη στον σκοπό της. Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό την αναφορά της διάβρωσης του χάλυβα και το πώς δημιουργείται στους ατμολέβητες αυτό το φαινόμενο, τους παράγοντες και τα αίτια της τελικής μορφής της δημιουργίας του φαινομένου της διάβρωσης. Τέλος, αναφέρεται το πώς επηρεάζεται η διάβρωση από την θερμοκρασία, ποια είναι η κινητικότητα του φαινομένου και ποιοι οι πιο σημαντικοί μηχανισμοί που δρουν.

## Κεφάλαιο 2ο

### 2. Λέβητες

Ο λέβητας είναι μηχανική συσκευή, η οποία ορίζεται ως μια δεξαμενή, η οποία μεταβιβάζει θερμότητα από την καύση ενός καυσίμου στο θερμαντικό μέσο. Είναι στην ουσία μια μεταλλική κατασκευή, στην οποία παράγεται θερμότητα και μεταδίδεται σε ένα θερμαντικό μέσο. Συνδυάζει ένα καυστήρα, ο οποίος μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε θερμική ενέργεια και έναν εναλλάκτη, ο οποίος μεταδίδει την παραγόμενη θερμότητα στο θερμαντικό μέσο, με συνηθέστερο θερμαντικό μέσο είναι το νερό. Σπανιότερα, συναντούμε και τους λέβητες που χρησιμοποιούν ως κύριο μέσο τον αέρα, τον θερμαίνουν διαμέσου αεραγωγών, και τον μεταφέρουν, ώστε να θερμάνουν χώρο ή να αποξηράνουν προϊόντα. Ακόμη πιο σπάνιοι είναι οι λέβητες, οι οποίοι χρησιμοποιούν ως θερμαντικό μέσο το λάδι ή άλλα ρευστά, με ελάχιστες εφαρμογές (Kitti Walter, Schoner Wolfgang, 2004).

Βεβαίως, εμείς θα μελετήσουμε την μεγάλη κατηγορία λεβήτων είναι οι χαλύβδινοι λέβητες. Η κατασκευή τους γίνεται από χαλυβδοελάσματα, επεξεργασμένα από ράουλα και στράντζες και συνδεδεμένα μεταξύ τους με ηλεκτροσυγκόλληση. Οι σωλήνες που χρησιμοποιούν δεν φέρουν ραφή. Η κατασκευή τους είναι ιδιαίτερα απλή, οπότε έχουν πολύ μικρότερο κόστος από τους χυτοσιδηρούς λέβητες. Επίσης, έχουν μικρότερο βάρος, μεγαλύτερη αντοχή στα θερμικά σοκ, υψηλότερη αντοχή σε υψηλές πιέσεις και καλό βαθμό απόδοσης. Ο τρόπος κατασκευής του λέβητα επιτρέπει επίσης την εύκολη προσαρμογή του λέβητα σε διάφορες διαστάσεις και την εύκολη επισκευή του με απλή συγκόλληση. Βέβαια, και οι χαλύβδινοι λέβητες εμφανίζουν κάποια μειονεκτήματα. Το μεγαλύτερο από όλα είναι η δυσκολία στη μεταφορά τους για λέβητες μεγάλης ισχύος. Οι λέβητες μεγάλης ισχύος συνεπάγεται ότι έχουν και μεγάλο μέγεθος. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι ο χαλύβδινος λέβητας μεταφέρεται ως ενιαίο κομμάτι, τότε όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς του, τόσο δυσκολότερη είναι και η μεταφορά του. Ένα δεύτερο μειονέκτημά τους είναι ότι η ισχύς τους δεν μπορεί να αυξηθεί, όπως των χυτοσιδηρών, γιατί δεν επιδέχονται επεκτάσεις. Από την στιγμή που θα

κατασκευαστούν, δεν δύναται να τροποποιηθούν ως προς το μέγεθός τους. Το τρίτο τους μειονέκτημα είναι και το μειονέκτημα του χάλυβα, ο οποίος έχει μικρή αντοχή σε οξειδώσεις και ηλεκτροδιαβρώσεις, με αποτέλεσμα τη γρήγορη φθορά του. Αυτό λύνεται με τη χρήση ανοξείδωτων λεβήτων. Η εικόνα 1 παρουσιάζει ένα χαλύβδινο λέβητα και πάλι της εταιρίας Viessmann. Στο δεξί τμήμα, φαίνεται η δομή του και πλέον είναι εύκολα αντιληπτό ότι ο λέβητας αυτός είναι ενιαίος.

Οι λέβητες παρά τις κατηγοριοποιήσεις και τις διαφοροποιήσεις που μπορεί να έχουν μεταξύ τους, έχουν τα περισσότερα μέρη τους κοινά, ιδίως τα κύρια μέρη αυτών (Kitti Walter, Schoner Wolfgang, 2004).



Εικόνα 2: Τυπικός βιομηχανικός ατμολέβητας

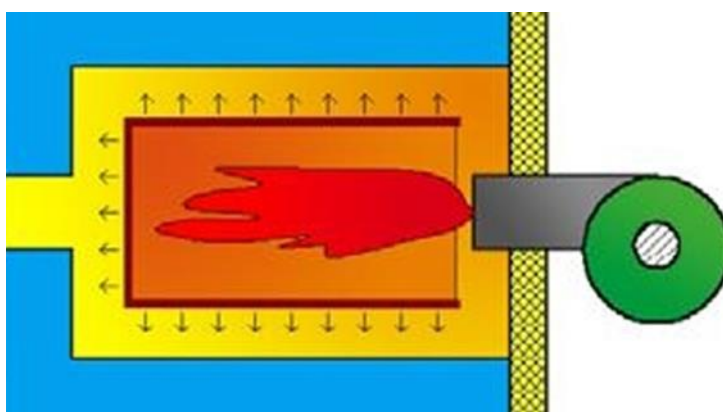
## 2.1. Κύρια μέρη ενός τυπικού λέβητα

Όπως γίνεται αντιληπτό από όσα αναφέρθησαν παραπάνω, ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός λέβητα διαφέρει, αναλόγως του καυσίμου που χρησιμοποιεί, του θερμαντικού μέσου που φέρει, του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένος, του τύπου της καύσης και της πίεσης που χρησιμοποιεί. Αυτό συνεπάγεται ότι κάθε λέβητας απαιτεί την ύπαρξη διαφορετικών εξαρτημάτων, έτσι ώστε να επιτελέσει σωστά το έργο για το οποίο έχει σχεδιαστεί. Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποια γενικά

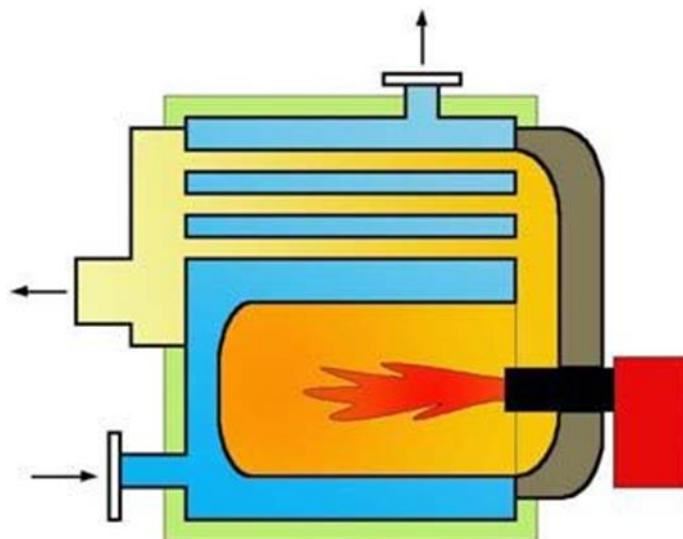


τεμάχια – τμήματα που δεν μπορούν να απουσιάζουν από κανένα λέβητα ή τουλάχιστον δεν μπορούν να απουσιάζουν από την πλειοψηφία των λεβήτων.

Τα απαραίτητα μέρη λοιπόν ενός τυπικού λέβητα είναι τέσσερα. Το πρώτο εξ αυτών είναι ο φλογοθάλαμος. Ο φλογοθάλαμος, όπως λέει και το όνομά του, είναι ο θάλαμος, στον οποίο αναπτύσσεται η φλόγα της καύσης. Η φλόγα αυτή παράγει θερμότητα και καυσαέριο. Η θερμότητα μεταφέρεται από τον θάλαμο καύσης στο θερμαντικό μέσο, είτε διαμέσου ακτινοβολίας από τα τοιχώματα του φλογοθαλάμου, είτε διαμέσου συναγωγής από την έξοδο των καυσαερίων από τον φλογοθάλαμο. Τα καυσαέρια με την σειρά τους οδηγούνται στην έξοδό τους από το λέβητα. Σε κάποιους λέβητες πρώτα γίνεται ανάκτηση της ενέργειάς των καυσαερίων με την κίνηση τους ανάμεσα σε αυλούς, όπου λόγω συναγωγής, μεταφέρουν την θερμοκρασία τους στο θερμαντικό μέσο. Στις δύο εικόνες 3 και 4, που ακολουθούν, φαίνονται οι δύο τρόποι μεταφοράς της θερμότητας που περιγράφηκαν παραπάνω. Στην εικόνα 3 φαίνεται ο τρόπος αύξησης της θερμοκρασίας του θερμαντικού μέσου διαμέσου ακτινοβολίας από τον φλογοθάλαμο. Στην εικόνα 4 φαίνεται η διαδικασία μεταφοράς της θερμότητας από τα καυσαέρια στο θερμαντικό μέσο, διαμέσου αυλών συναγωγής που διαπερνούν τον θάλαμο του θερμαντικού μέσου.



**Εικόνα 3: Μεταφορά θερμότητας από τον φλογοθάλαμο στο θερμαντικό μέσο διαμέσου ακτινοβολίας**



Εικόνα 4: Μεταφορά θερμότητας από τα καυσαέρια στο θερμαντικό μέσο διαμέσου αυλών συναγωγής

Το δεύτερο μέρος ενός λέβητα είναι οι αυλοί συναγωγής. Οι αυλοί αυτοί είναι το τμήμα του λέβητα, στο οποίο διέρχεται το καυσαέριο κατά την έξοδό του από τον φλογοθάλαμο και οδηγούμενο προς την καπνοδόχο. Αυτοί συναντούνται στην βιβλιογραφία με τις ονομασίες φλογαυλοί ή αεριαυλοί ή ακόμη και καπναυλοί. Κατά την διέλευσή του από τους αυλούς, το καυσαέριο μεταφέρει θερμότητα στο θερμαντικό μέσο, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που έχει.

Το τρίτο μέρος του λέβητα είναι ο θάλαμος, στον οποίο βρίσκεται το θερμαντικό μέσο. Εάν το θερμαντικό μέσο είναι το νερό, τότε έχουμε υδροθάλαμο, εάν το θερμαντικό μέσο είναι ο ατμός τότε έχουμε αμοθάλαμο και εάν το θερμαντικό μέσο είναι ο αέρας, τότε έχουμε αεροθάλαμο. Ο χώρος αυτός διαπερνάται από τους αυλούς, στους οποίους κινούνται τα καυσαέρια και έτσι μεταφέρεται η θερμοκρασία από τα καυσαέρια στο θερμαντικό μέσο.

Το τέταρτο και τελευταίο μέρος ενός τυπικού λέβητα είναι ο καπνοθάλαμος ή καπνοσυλλέκτης. Σε αυτή την περιοχή συγκεντρώνεται το καυσαέριο, αφού έχει διέλθει από τους αυλούς, και είναι έτοιμο να εξέλθει προς την καμινάδα και να διαφύγει στο περιβάλλον. Συνήθως, ο καπνοθάλαμος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο του λέβητα, έτσι ώστε να διευκολύνεται η κίνηση των καυσαερίων (Kitti Walter, Schoner Wolfgang, 2004).

## 2.2. Όργανα ελέγχου ασφαλείας & πιστοποίηση λεβήτων

Με δεδομένο ότι οι λέβητες εκτελούν καύση και χρησιμοποιούν συστήματα υψηλών πιέσεων είναι ένα αρκετά επικίνδυνο μηχάνημα. Για αυτό το λόγο πρέπει να φέρουν κάποια συστήματα ασφαλείας και ταυτόχρονα να πιστοποιούνται μετά από ενδελεχείς ελέγχους. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε αρχικά τα όργανα ελέγχου και ασφαλείας που φέρει ένας τυπικός λέβητας και ακολούθως θα καταγραφεί η σήμανση και η πιστοποίηση που πρέπει να φέρει ένας λέβητας, ώστε να θεωρείται αξιόπιστος.

Οι σημαντικότεροι κίνδυνοι, όπως προαναφέραμε, που μπορεί να προκαλέσει ένας λέβητας οφείλονται στην καύση και στην υψηλή πίεση. Για αυτό, τα όργανα ελέγχου και ασφαλείας είναι κατά βάση όργανα μέτρησης θερμοκρασίας (θερμοστάτες) και πίεσης (μανόμετρα). Τα όργανα ελέγχου συνήθως βρίσκονται συγκεντρωμένα σε ένα πίνακα, ο οποίος βρίσκεται κοντά στον λέβητα, έτσι ώστε να είναι εύκολος ο έλεγχός του.

Ο πρώτος θερμοστάτης που απαιτείται είναι ο θερμοστάτης του καυστήρα. Αυτός ο θερμοστάτης είναι υπεύθυνος για την ρύθμιση της θερμοκρασίας του θερμαντικού μέσου του λέβητα. Αυτό επιτυγχάνεται με την ρύθμιση του καυστήρα. Όταν η θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου πέσει κάτω από την επιθυμητή, δίνει εντολή στον καυστήρα να ξεκινήσει, ώστε να ανεβάσει τη θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου. Όταν όμως η θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου φθάσει την απαιτούμενη τιμή, τότε δίνει εντολή στον καυστήρα να περιορίσει την λειτουργία του.

Ο δεύτερος θερμοστάτης που απαιτείται, είναι ο θερμοστάτης ασφαλείας, ο οποίος είναι προρυθμισμένος. Η δουλειά του είναι σε περίπτωση υπερθέρμανσης του θερμαντικού μέσου, σε υψηλότερη θερμοκρασία από ό,τι θα έπρεπε, να το ρυθμίζει ο θερμοστάτης του καυστήρα, να διακόψει άμεσα τη λειτουργία του καυστήρα. Σε αυτή την περίπτωση, εάν και εφόσον λειτουργήσει ο θερμοστάτης ασφαλείας, ο καυστήρας δεν επανέρχεται σε λειτουργία ακόμη και αν έχει πέσει αρκετά η θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου. Η επανέναρξη λειτουργίας του καυστήρα σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να γίνει χειροκίνητα, αφού ελεγχθεί ο θερμοστάτης του καυστήρα για τυχόν φθορά (Vandagriff R. L., 2001).

Ο τρίτος θερμοστάτης που χρησιμοποιείται είναι ένας θερμοστάτης χαμηλών θερμοκρασιών, του οποίου η ύπαρξη δεν έχει σχέση με τη λειτουργία του λέβητα, αλλά με την προστασία του. Η χρήση του έχει ως σκοπό την αποφυγή του παγώματος του θερμαντικού μέσου στον λέβητα με τις καταστρεπτικές συνέπειες που θα έχει για αυτόν. Έτσι, σε περίπτωση που ανιχνεύσει χαμηλές θερμοκρασίες του θερμαντικού μέσου, δίνει εντολή έτσι ώστε ο καυστήρας να ξεκινήσει την λειτουργία του και να αυξήσει τη θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου. Ο θερμοστάτης αυτός απαιτείται, όταν ο λέβητας λειτουργεί περιοδικά, όπως για παράδειγμα σε εποχιακές βιομηχανίες ή σε εξοχικές κατοικίες.

Πέραν των θερμοστατών υπάρχουν και θερμόμετρα, τα οποία μας δίνουν ένδειξη της θερμοκρασίας κάποιων μερών του λέβητα, έτσι ώστε να μπορεί να ελέγχεται ο θερμοστάτης εάν λειτουργεί ορθά. Τα πλέον συνηθισμένα θερμόμετρα τα συναντούμε στον θάλαμο αποθήκευσης του θερμαντικού μέσου και στην έξοδο των καυσαερίων. Έτσι γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή τη θερμοκρασία του θερμαντικού μέσου του λέβητα και τη θερμοκρασία των καυσαερίων του, μεγέθη κρίσιμα για την ορθή λειτουργία του λέβητα.

Τέλος, ο λέβητας τροφοδοτείται με ένα μανόμετρο και ένα επιτηρητή πίεσης. Το μανόμετρο μας δίνει την πίεση του θερμαντικού μέσου. Ο επιτηρητής πίεσης ελέγχει αυτή την πίεση. Εάν η τιμή της είναι μικρότερη από την επιθυμητή, τότε ο επιτηρητής πίεσης δίνει εντολή στον καυστήρα να σταματήσει άμεσα τη λειτουργία του. Ο λόγος που το κάνει αυτό είναι γιατί, η μείωση της πίεσης του θερμαντικού μέσου συνεπάγεται έλλειψη του θερμαντικού μέσου, άρα κινδυνεύει να καταστραφεί ο λέβητας αλλά και άλλα σημεία του δικτύου που συνδέονται με το λέβητα, όπως για παράδειγμα οι κυκλοφορητές.

Όλα αυτά τα όργανα ελέγχου και ασφαλείας πρέπει να υπάρχουν πάντοτε σε ένα λέβητα. Αυτά εξετάζονται από διάφορες αρχές πιστοποίησης, ώστε να εκδοθούν τα αντίστοιχα πιστοποιητικά για τον κάθε λέβητα. Το σημαντικότερο πιστοποιητικό αυτή την στιγμή είναι το CE, το οποίο ονομάζεται και σήμα ποιότητας. Για να αποκτηθεί διενεργούνται πολλαπλοί έλεγχοι, έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των Ευρωπαϊκών Κανονισμών Ασφαλείας. Επίσης, χρειάζεται ο λέβητας να έχει ένα αρκετά υψηλό βαθμό απόδοσης, σε συνδυασμό με μειωμένους ρύπους,

έτσι ώστε να ικανοποιεί την τεχνική οδηγία 92/42/ΕΕ και να αποκτήσει εν τέλει την πιστοποίηση CE.

Ο ελληνικός οργανισμός τυποποίησης (ΕΛΟΤ) υποχρεώνει τους λέβητες που κατασκευάζονται εντός της Ελλάδας να αποκτούν την πιστοποίηση CE. Ταυτόχρονα, υποχρεώνει τους κατασκευαστές να αναγράφουν πάνω στο λέβητα, πέραν του σήματος και του αριθμού της πιστοποίησης και τα ακόλουθα στοιχεία:

- ✓ Όνομα κατασκευάστριας εταιρίας.
- ✓ Αριθμός κατασκευής του λέβητα και ημερομηνία κατασκευής.
- ✓ Τύπος του λέβητα.
- ✓ Ισχύς του λέβητα.
- ✓ Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση λειτουργίας.
- ✓ Μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας.
- ✓ Αντίσταση καυσαερίων (αντίθλιψη)
- ✓ Ονομαστικός βαθμός απόδοσης.

## Κεφάλαιο 3ο

### 3. Διάβρωση

Σε οποιοσδήποτε συνθήκες, η διάβρωση είναι φαινόμενο θερμοδυναμικά αυθόρμητο. Η διάβρωση που χαρακτηρίζεται ως αυθόρμητη, πραγματοποιείται σε φυσικό περιβάλλον: στον αέρα, σε γλυκό ή θαλασσινό νερό ή στο έδαφος. Σε έντονο διαβρωτικό περιβάλλον (όπως χημικές ουσίες, υψηλή θερμοκρασία, ραδιενέργεια, ανοδική ηλεκτρική φόρτιση κ.λπ.) η διαδικασία της διάβρωσης επιταχύνεται και σε αυτή την περίπτωση η διάβρωση χαρακτηρίζεται ως εκβιασμένη. Το φαινόμενο της διάβρωσης είναι κυρίως ηλεκτροχημικό. Κατά τη διάβρωση, το μεταλλικό υλικό υπό την επίδραση του περιβάλλοντος χάνει ηλεκτρόνια, τα οποία δεσμεύονται από το οξυγόνο του περιβάλλοντος. Υπάρχει δηλαδή αύξηση του σθένους του μετάλλου κατά την ηλεκτροχημική αντίδραση (electrochem.cwru, Πρόσβαση Ιούνιος 2013):



Το φαινόμενο είναι επιφανειακό, δηλαδή εντοπίζεται στην εκτεθειμένη προς το περιβάλλον επιφάνεια του μετάλλου. Ως επιφάνεια του μετάλλου δεν εννοείται μόνο η γεωμετρική, αλλά η πραγματική, που περιλαμβάνει και τις επιφανειακές ανωμαλίες, τους πόρους, τα ενεργά κέντρα, καθώς επίσης και τους ενεργούς δρόμους από αταξίες δομής. Μόνο μια τέτοια επιφάνεια είναι έδρα των φαινομένων της διάβρωσης και μόνο δια μέσου της διεπιφάνειας “πραγματική επιφάνεια σώματος-διαβρωτικό περιβάλλον” πραγματοποιείται μεταφορά μάζας και ενέργειας (electrochem.cwru, Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

Είναι δυνατό, να σχηματίζονται στην επιφάνειά του, ενώσεις με έντονη πρόσφυση σε αυτή, με αποτέλεσμα το συνολικό βάρος να παραμένει σταθερό ή ακόμα και να αυξάνει. Έτσι, ως απώλεια υλικού εννοείται η απώλεια ως προς την αρχική μορφή του υλικού και όχι απαραίτητα η απώλεια μάζας του (electrochem.cwru, Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

Ο ίδιος ορισμός ισχύει, εκτός από τα μέταλλα και για τα κράματα, και για οποιοδήποτε άλλο υλικό, με την παρατήρηση ότι σε αυτά υπερέχει η αλλοίωση φυσικής ή χημικής φύσης ως προς την ηλεκτροχημική (π.χ. πολυμερή) και μεγαλώνει η αλλοίωση βιολογικής φύσης (π.χ. ξύλο, πέτρα) (electrochem.cwru, Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

### **3.1. Είδη διάβρωσης και πώς δημιουργούνται**

Από την άποψη των αποτελεσμάτων και της μορφής της, η διάβρωση διακρίνεται στα παρακάτω είδη:

#### **3.1.1. Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση (General Corrosion)**

Στην επιφάνεια του μετάλλου ή του κράματος, ένα ομοιόμορφο στρώμα περίπου σταθερού πάχους, που αποτελεί προϊόν διάβρωσης, παρατηρείται η ομοιόμορφη διάλυση της επιφάνειας. Η φύση του στρώματος του προϊόντος διάβρωσης υπαγορεύει και το ρυθμό της διάβρωσης (rate of corrosion). Αν το στρώμα είναι συνεχές και αδιαπέραστο, δεν αποσπάται, όταν το μέταλλο εφελκύεται και ξαναδημιουργείται, όταν για κάποιο λόγο προκληθεί κάποια εκδορά, τότε το στρώμα αυτό συμβάλει στην προστασία κατά της διάβρωσης. Η διάρκεια του προστατευτικού στρώματος εξαρτάται άμεσα από τη παρουσία του οξυγόνου στο νερό. Έλλειψη οξυγόνου οδηγεί σε διάβρωση με βελονισμούς. (Κουλουμπή Ν., 1994)

Η διαβρωτική ικανότητα του θαλασσινού νερού στους χάλυβες αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, της περιεκτικότητάς του σε οξυγόνο, της ταχύτητας του νερού, της περιεκτικότητας σε διαβρωτικά στοιχεία. (Κουλουμπή Ν., 1994)

Η απώλεια βάρους είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιημένη μέθοδος για τον προσδιορισμό του ποσοστού διάβρωσης των μετάλλων, όταν έχουν υποστεί ομοιόμορφη διάβρωση. Σε αυτήν την μέθοδο, ένα δείγμα δοκιμής καθαρίζεται, ζυγίζεται, και μετριέται η επιφάνειά του. Έπειτα εκτίθεται για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, καθαρίζεται από τα προϊόντα διάβρωσης και ζυγίζεται ξανά. Το ποσό απώλειας μετάλλου, όπως μετριέται από την απώλεια βάρους χρησιμοποιείται

για να υπολογιστεί η απώλεια στο πάχος του μετάλλου, υποθέτοντας ότι η διάβρωση ήταν απολύτως ομοιόμορφη. Σε μερικές περιπτώσεις αυτό ελέγχεται περαιτέρω από τις μετρήσεις πάχους. Πρέπει να αναφερθεί ότι αυτά τα ποσοστά υπολογίζονται συνήθως από την απώλεια βάρους, παρά την απώλεια πάχους και ισχύουν μόνο εάν η διάβρωση ήταν ομοιόμορφη (Πάντζαλη Ν. Α., 1994).

### **3.1.2. Διάβρωση με Βελονισμούς (Pitting Corrosion)**

Πρόκειται για τοπικό σχηματισμό προϊόντος διάβρωσης ή για εκλεκτική τοπική διάλυση της επιφάνειας σε βάθος. Όταν για κάποιο λόγο, για παράδειγμα έλλειψη οξυγόνου, διασπασθεί η ομοιογένεια του προστατευτικού οξειδίου, οι μικρές επιφάνειες, όπου εμφανίζεται η ανωμαλία, γίνονται άνοδοι ηλεκτρολυτικού κελιού, ενώ η υπόλοιπη επιφάνεια δρα ως κάθοδος. Αποτέλεσμα της δημιουργίας του ηλεκτρολυτικού κελιού είναι η ταχεία γαλβανική διάβρωση (Υφαντής Δ. Κ., 2003).

Οι αιτίες που μπορούν να οδηγήσουν γαλβανικά στοιχεία σε διάβρωση με βελονισμούς είναι αρκετές, όπως η διαφορά συγκέντρωσης οξυγόνου, θερμοκρασίας, ταχύτητας ροής και γενικότερα, κάθε διαφορά στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η διάβρωση με βελονισμούς, ιδιαίτερα στους ανοξειδωτους χάλυβες και στα κράματα αλουμινίου, συχνά επιταχύνεται, με την ύπαρξη στάσιμων νερών με χαμηλή περιεκτικότητα οξυγόνου (Σκουλικίδης και Βασιλείου 2000).

Το είδος αυτό της διάβρωσης είναι ένα από τα πιο καταστρεπτικά είδη, γιατί προκαλεί καταστροφή των υλικών, λόγω διάτρησης ακόμα και για πολύ μικρό εκατοστιαίο ποσοστό απώλειας βάρους της κατασκευής. Είναι συχνά δύσκολο να διακρίνουμε τους βελονισμούς, είτε λόγω του μικρού τους μεγέθους, είτε γιατί συχνά καλύπτονται από προϊόντα διάβρωσης. Το περιβάλλον που δημιουργεί κυρίως απώλειες από βελονισμούς είναι τα διαλύματα χλωριούχων (Κουλουμπή Ν., 1994).

Τα περισσότερο ευπαθή μέταλλα σε αυτό το είδος της διάβρωσης, είναι αυτά που προστατεύονται με λεπτά στρώματα οξειδίων, όπως ο χαλκός, ο ανοξειδωτος χάλυβας, το αλουμίνιο, το τιτάλιο και το μαγνήσιο. Μπορεί όμως να εμφανιστεί και στο κοινό χάλυβα, το σίδηρο, το μολύβδο και πολλά άλλα μέταλλα (Σκουλικίδης και Βασιλείου 2000).



### **3.1.3. Διάβρωση χαραγής**

Μια σχισμή ή μια προφυλαγμένη περιοχή μεταλλικής επιφάνειας μπορεί να αποτελέσει συχνά, αιτία έντονης εντοπισμένης διάβρωσης, εξαιτίας εμφάνισης διαφορετικής συγκέντρωσης μέσα και έξω από αυτή. Οποιαδήποτε κατάσταση που δημιουργεί μια διαφορά στο περιβάλλον μεταξύ των περιοχών ενός μετάλλου, μπορεί να προκαλέσει αυτό το είδος διάβρωσης. Ο βασικός μηχανισμός είναι ουσιαστικά ο ίδιος όπως στη γαλβανική διάβρωση, αλλά στην περίπτωση της διάβρωσης σε σχισμές, η κατευθυντήρια δύναμη είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των περιοχών του ίδιου του μετάλλου που εκτίθεται σε διαφορετικά περιβάλλοντα και όχι η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο διαφορετικών μετάλλων που εκτίθενται στο ίδιο περιβάλλον (Υφαντής Δ. Κ., 2003).

Τα ποσοστά διάβρωσης επηρεάζονται από το λόγο επιφανειών ανόδων/καθόδων όπως γίνεται στη γαλβανική διάβρωση. Στη διάβρωση χαραγής, η αντίσταση του ηλεκτρολύτη στη ροή των ιόντων, μπορεί επίσης να είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον περιορισμό της διάβρωσης (Κουλουμπή Ν., 1994).

Φαινόμενο που σχετίζεται με το είδος αυτό της διάβρωσης είναι ο διαφορικός αερισμός. Αυτή η μορφή διάβρωσης είναι συχνά η δυσκολότερη στο να αποφευχθεί, κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και είναι επίσης μια από τις πιο κοινές αιτίες της αστοχίας του ναυτικού εξοπλισμού (Υφαντής Δ. Κ., 2003).

### **3.1.4. Γαλβανική ή διμεταλλική διάβρωση**

Μεταξύ δύο σε επαφή ανόμοιων μετάλλων, που βρίσκονται σε διαβρωτικό ή γενικά αγώγιμο περιβάλλον, υφίσταται διαφορά δυναμικού που προκαλεί ροή ηλεκτρονίων στο σύστημα τους. Αυτό συνεπάγεται την αύξηση της ταχύτητας διάβρωσης του λιγότερο ανθεκτικού στη διάβρωση μετάλλου (άνοδος) και την ελάττωση της ταχύτητας διάβρωσης του περισσότερο ανθεκτικού (κάθοδος). Αυτή η μορφή διάβρωσης επιτίθεται συνήθως στις συνδέσεις των μετάλλων, ή στις περιοχές όπου ένα κατασκευαστικό μέταλλο διαδέχεται από άλλο (Lloyd's List events Conference, 2003).

Για να ξεκινήσει μια γαλβανική διάβρωση θα πρέπει:

1. Τα μέταλλα πρέπει να είναι μακριά στη γαλβανική σειρά: Η γαλβανική ή ηλεκτροχημική σειρά ταξινομεί τα μέταλλα σύμφωνα με το δυναμικό τους, που μετριέται με το τυποποιημένο ηλεκτρόδιο καλομέλανα, Standard Calomel Electrode (S.C.E.). Τα αποτελέσματα δίνονται σε μορφή διαγράμματος, παρόμοιο με αυτό που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα. Αυτό το διάγραμμα δείχνει ότι τα "ανοδικά" ή "λιγότερα ευγενή" μέταλλα, όπως το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος και το αλουμίνιο είναι πιθανότερο να διαβρωθούν από εκείνα προς το τέλος της σειράς, όπως ο χρυσός και ο γραφίτης. Το κρίσιμο σημείο είναι η διαφορά στη δυναμικό των δύο υλικών (Lloyd's List events Conference, 2003).
2. Τα μέταλλα πρέπει να είναι σε ηλεκτρική επαφή: Τα δύο διαφορετικά μέταλλα πρέπει να είναι σε ηλεκτρική επαφή το ένα με το άλλο, πράγμα που συμβαίνει αρκετά συχνά. (Lloyd's List events Conference, 2003)
3. Η σύνδεση μετάλλων πρέπει να γεφυρωθεί από έναν ηλεκτρολύτη: Ένας ηλεκτρολύτης είναι απλά ένα ηλεκτρικά αγωγίμο ρευστό. Σχεδόν οποιοδήποτε ρευστό εμπίπτει σε αυτήν την κατηγορία, με το αποσταγμένο νερό ως εξαίρεση. Ακόμη και το νερό της βροχής, είναι πιθανό να γίνει αρκετά αγωγίμο, κάτω από την επίδραση των κοινών περιβαλλοντικών μολυσματικών παραγόντων. Εάν η αγωγιμότητα του υγρού είναι υψηλή (ένα κοινό παράδειγμα είναι το θαλασσίνο νερό), η γαλβανική διάβρωση του λιγότερο ευγενούς μετάλλου θα είναι εξαπλωμένη σε μια μεγαλύτερη περιοχή, ενώ στα υγρά χαμηλής αγωγιμότητας, η διάβρωση θα εντοπιστεί στην περιοχή του λιγότερο ευγενούς μετάλλου κοντά στη σύνδεση.

Η θέση και η εξέλιξη της διμεταλλικής διάβρωσης επηρεάζεται από:

1. τη φύση, τη διαβρωτικότητα του περιβάλλοντος και την αγωγιμότητα του περιβάλλοντος: σε μεγάλες επιφάνειες σε επαφή με διάλυμα υψηλής αγωγιμότητας π.χ. θάλασσα, η προσβολή μπορεί να επεκταθεί σε μεγάλη απόσταση από την επαφή και έτσι να γίνει λιγότερο επικίνδυνη, ενώ σε μαλακό νερό και σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, η προσβολή παρουσιάζεται κοντά στις συνδέσεις και είναι πιο επικίνδυνη γιατί φθάνει μέχρι και δημιουργία αυλακώσεων μεγάλου βάθους (Lloyd's List events Conference, 2003).
2. το λόγο ανοδικής προς καθοδική επιφάνεια, με δυσμενέστερη την περίπτωση μικρής ανόδου προς μεγάλη κάθοδο. Αν για παράδειγμα μια μικρή επιφάνεια ανόδου (το λιγότερο ευγενές μέταλλο, όπως το αλουμίνιο), που ενώνεται με μια μεγάλη επιφάνεια καθόδου (το ευγενέστερο μέταλλο, όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας) θα οδηγήσει σε μια υψηλή πυκνότητα ρεύματος στο αλουμίνιο, και ως εκ τούτου σε ένα υψηλό ποσοστό διάβρωσης. Αντιθέτως, εάν η επιφάνεια της ανόδου είναι μεγάλη έναντι αυτής της καθόδου, αυτό ελαττώνει τη διαβρωτική επίδραση, στις περισσότερες περιπτώσεις μέχρι το σημείο που κανένα πρόβλημα δεν εμφανίζεται.
3. την υγρασία, που είναι καθοριστικός παράγοντας εμφάνισης και εξέλιξης της γαλβανικής διάβρωσης.

### **3.1.5. Περικρυσταλλική διάβρωση**

1. Το είδος αυτό της διάβρωσης εμφανίζεται στα περατωτικά όρια (κατά την κρυστάλλωση μιας ουσίας από τήγμα ή διάλυμα δημιουργούνται σε διάφορα σημεία του τήγματος ή του διαλύματος «πυρήνες κρυστάλλωσης = κόκκοι», που στη συνέχεια μεγαλώνουν και τελικά έρχονται σε επαφή μεταξύ τους) των μεταλλικών κόκκων, όπου σχηματίζονται τοπικά γαλβανικά στοιχεία, είτε λόγω υψηλότερης

κρυσταλλικής ενέργειας των σημείων αυτών, είτε λόγω συγκέντρωσης ακαθαρσιών και στοιχείων κραματοποίησης. Για τον έλεγχο της εμφάνισης του συγκεκριμένου είδους διάβρωσης, απαιτείται συχνά η μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων ([el.wikipedia.org/wiki/](http://el.wikipedia.org/wiki/), Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

2. Ειδική περίπτωση περικρυσταλλικής διάβρωσης, αποτελεί η διάβρωση στη περιοχή των συγκολλήσεων των οστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων (ανθεκτικός στη διάβρωση που μπορεί να κατεργαστεί εν ψυχρώ). Αντιμετωπίζεται με θερμική κατεργασία έξω από τη ζώνη ευαισθητοποίησης, ελάττωση του περιεχόμενου άνθρακα κάτω από 0.03%, προσθήκη καρβιδίων Ta, Ti, Nb, κ.ά. ([el.wikipedia.org/wiki/](http://el.wikipedia.org/wiki/), Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

### **3.1.6. Εκλεκτική προσβολή**

Εκλεκτική διάβρωση είναι η απομάκρυνση ενός μόνο στοιχείου από ετερογενές στερεό κράμα. Εμφανίζεται μόνο σε κράματα όπου δύο ή περισσότερα μέταλλα δημιουργούν στερεό διάλυμα. Κατά τη διαβρωτική διαδικασία, διαλύεται μόνο το λιγότερο ευγενές μέταλλο, ενώ το υπόλοιπο διατηρεί τη μεταλλική του μορφή, αλλά με μεγάλη μείωση της μηχανικής του αντοχής. Η αντίσταση στη διάβρωση των κραμάτων εξαρτάται από τη σύνθεση τους και αυξάνει με τη συγκέντρωση του ευγενέστερου συστατικού (Υφαντής Δ. Κ., 2003).

### **3.2. Είδη διάβρωσης, λόγω διάφορων παραγόντων - αιτιών**

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

### **3.2.1. Μηχανικοί παράγοντες**

#### **3.2.1.1. Μηχανική δράση ενός υγρού πάνω στο μέταλλο**

##### **α) Διάβρωση εκτριβής ή ρευστού**

Πρόκειται για την αύξηση της ταχύτητας φθοράς ή προσβολής του μετάλλου, λόγω της σχετικής κίνησης του υγρού διαβρωτικού μέσου και της μεταλλικής επιφάνειας. Η διάβρωση εκτριβής αντιμετωπίζεται με επιλογή κατάλληλων υλικών, εισαγωγή φίλτρων για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, πρόσδοση ομαλής εσωτερικής επιφάνειας των σωληνώσεων για εύκολη αποστράγγιση, αποφυγή διακοπτόμενης και τυρβώδους ροής, επικάλυψη με διαφόρων ειδών επιστρώματα και χρήση αναστολέων (Σκουλικίδης και Βασιλείου 2000).

##### **β) Σπηλαιώδης διάβρωση**

Σπηλαιώδη ονομάζεται το φαινόμενο, κατά το οποίο, σε ένα ή περισσότερα σημεία ενός περιβρεχόμενου σώματος, η τοπική στατική πίεση είναι μικρότερη από την πίεση κορεσμού του υγρού στη θερμοκρασία που έχει αυτό και έτσι παρουσιάζεται ατμοποίηση του υγρού, και δημιουργούνται φυσαλίδες σπηλαιώσης. Οι φυσαλίδες αυτές, μόλις μεταφερθούν σε κάποιο άλλο σημείο υψηλότερης πίεσης, υγροποιούνται πάνω στην επιφάνεια του στερεού. Έτσι, όταν καταρρέουν, δημιουργούνται μεγάλες πιέσεις, που καταπονούν μηχανικά και φθείρουν το στερεό σώμα, ανοίγοντας μικρούς κρατήρες και δημιουργώντας εσοχές και σπήλαια από την τοπική εξάχνωση του υλικού. Τέτοιες συνθήκες δημιουργούνται σε περιστρεφόμενα πτερύγια αντλιών και σε έλικες πλοίων (Σκουλικίδης και Βασιλείου 2000).

### **3.2.1.2. Μηχανική δράση ενός στερεού σώματος στο μέταλλο**

#### **Διάβρωση από τριβή**

Ως διάβρωση από τριβή ορίζεται η προσβολή που συμβαίνει στη διεπιφάνεια δύο επιφανειών, μία τουλάχιστον εκ των οποίων είναι μεταλλική, όταν υπό φορτίο υφίστανται ελαφριά σχετική ολίσθηση η μία προς την άλλη (Lloyd's List events Conference, 2003).

### **3.2.1.3. Μηχανικές δυνάμεις μέσα στο μέταλλο**

#### **α) Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση**

Είναι το πλέον καταστροφικό, από άποψη αποτελέσματος που επιφέρει το είδος αυτό της διάβρωσης και έχει μεγάλες οικονομικές επιπτώσεις για πραγματικά μικρή απώλεια υλικού. Παρατηρείται όταν, σε επιφάνειες με εσοχές, από βελονισμούς ή μηχανικές κακώσεις, ασκούνται εξωτερικές φορτίσεις, που προκαλούν ψαθυρή θραύση ολόκληρου του τμήματος, ακόμη και αν, οι αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις είναι μικρότερες του 10% της τάσης θραύσης της επιφάνειας ([www.azom.com/](http://www.azom.com/), Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

Στην αρχή της ρωγμής, παρουσιάζεται συγκέντρωση τάσεων, με αποτέλεσμα στην περιοχή αυτή η διάβρωση να είναι 10 περίπου φορές εντονότερη από τη διάβρωση στις πλευρές της. Έτσι, λαμβάνει χώρα ταχεία διάδοση της ρωγμής, με αποτέλεσμα την κατάρρευση του μεταλλικού στοιχείου. Οι κρατήρες, λοιπόν, που σχηματίζονται λόγω διάβρωσης, αποτελούν επικίνδυνες περιοχές για την έναρξη ρωγμών.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτή τη μορφή διάβρωσης, είναι η σύσταση του κράματος, η επιβαλλόμενη φόρτιση, το είδος του διαβρωτικού περιβάλλοντος, η θερμοκρασία και ο χρόνος ([www.azom.com/](http://www.azom.com/), Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

## **β) Βλάβη από υδρογόνο**

Προκαλείται από τη ρόφηση υδρογόνου από το μέταλλο, χωρίς να υπάρχει δράση διάβρωσης στην επιφάνεια ([www.azom.com/](http://www.azom.com/), Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

## **γ) Διάβρωση κόπωσης**

Είναι η συνδυασμένη δράση διαβρωτικής προσβολής και κυκλικών τάσεων δηλ. γρήγορα εναλλασσομένων εφελκυστικών και θλιπτικών τάσεων.

### **3.2.2. Χημικοί παράγοντες**

#### **3.2.2.1. Θερμογαλβανική διάβρωση**

Είναι η διάβρωση που προκαλείται από την εμφάνιση διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ δύο τμημάτων της ίδιας κατασκευής. Προκαλείται διαφορετική πόλωση του μετάλλου, οπότε δημιουργούνται ανοδικές και καθοδικές περιοχές, που οδηγούν σε τοπική προσβολή. Αντιμετωπίζεται με αποφυγή ανομοιόμορφης θέρμανσης ή ψύξης ή θέρμανση τμήματος κατασκευής, κατάλληλο σχεδιασμό για αποφυγή επαφής με υγρά από εξωτερική πηγή διαφορετικής θερμοκρασίας και εξασφάλιση της συνέχειας της μόνωσης ή της επένδυσης ([electrochem.cwru](http://electrochem.cwru.edu), Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

#### **3.2.2.2. Βιολογική ή μικροβιολογική διάβρωση (Βακτηριδιακή διάβρωση)**

Αυτός ο τύπος διάβρωσης καλείται επίσης μικροβιολογική ή αναεροβική διάβρωση και εμφανίζεται στις περιπτώσεις, όπου τοπικά περιβάλλοντα και συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη και κυριαρχία της βακτηριακής δραστηριότητας.

Περίληπτικά, τέτοιες συνθήκες είναι οι παρακάτω:

- ✓ στάσιμα (χωρίς οξυγόνο) νερά
- ✓ παρουσία βακτηριδίων, που τρέφονται με υδρογονάνθρακες, π.χ. αργό πετρέλαιο, ορισμένες επιστρώσεις ή μαλακές βαφές κ.λπ.
- ✓ παρουσία θειούχων ενώσεων στο θαλασσινό νερό (τα πιο συνηθισμένα βακτήρια «αναπνέουν» με θειούχες ενώσεις στη θέση του οξυγόνου)
- ✓ ιδανικές θερμοκρασίες για την ανάπτυξη βακτηρίων (20-40 °C).

Οι περιοχές του πλοίου, στις οποίες εμφανίζεται η βακτηριακή διάβρωση είναι συνήθως οι δεξαμενές πετρελαίου, οι δεξαμενές έρματος, οι σωληνώσεις φορτοεκφόρτωσης πετρελαίου στα δεξαμενόπλοια κ.λπ. Ορισμένες βασικές ενδείξεις για τη βακτηριακή δραστηριότητα είναι οι ακόλουθες:

- ✓ οσμή σήψης από υδρόθειο (το οποίο σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι άοσμο στον άνθρωπο, δηλητηριώδες και εύφλεκτο)
- ✓ η διάβρωση μπορεί να εμφανισθεί υπό τη μορφή βελονισμών μικρού μεγέθους
- ✓ το μαύρο χρώμα εξαφανίζεται σύντομα στον αέρα, εξαιτίας της οξειδωσης του θειούχου σιδήρου.

### **3.2.2.3. Ατμοσφαιρική διάβρωση**

Στην ατμοσφαιρική διάβρωση, ο ηλεκτρολύτης είναι η υγρασία της ομίχλης, του θαλασσινού νερού ή άλλων πηγών.

Οι τρεις παράγοντες που έχουν τη μεγαλύτερη επιρροή στη διαβρωτική ικανότητα της ατμόσφαιρας είναι:

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



Σε όλα τα ατμοσφαιρικά περιβάλλοντα υπάρχει άφθονο οξυγόνο, κατά συνέπεια η διάβρωση των περισσότερων μετάλλων στα ατμοσφαιρικά περιβάλλοντα δεν περιορίζεται από το ποσό του παρόντος οξυγόνου και μπορεί να προχωρήσει γρήγορα υπό την παρουσία ηλεκτρολύτη. Γενικά, οι λιγότερο διαβρωτικές ατμόσφαιρες βρίσκονται στις ξηρές περιοχές (ερήμους) και οι πιο διαβρωτικές περιοχές είναι οι βιομηχανικές ή περιοχές κοντά σε ναυπηγεία. Η διαβρωτικότητα των υγρών τροπικών τοποθεσιών οφείλεται στην μεγάλης διάρκειας υγρασία και τις υψηλές θερμοκρασίες. Εντούτοις, οι τοπικοί παράγοντες και τα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού των κατασκευών, έχουν συχνά τέτοια επιρροή στην εμφάνιση της διάβρωσης, που υπερβαίνουν τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες (electrochem.cwru, Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

#### **3.2.2.4. Διάβρωση από ρεύματα διαφυγής**

Ρεύματα διαφυγής ονομάζονται τα συνεχή ρεύματα που ακολουθούν δρόμο διαφορετικό από τον προβλεπόμενο. Τα ρεύματα αυτά μπορεί να προέρχονται από σιδηρόδρομους, διατάξεις συγκολλήσεων, συστήματα γείωσης και καθοδικής προστασίας, κ.λπ. Η διάβρωση εμφανίζεται στα σημεία εξόδου των ρευμάτων από τις κατασκευές. Αντιμετωπίζεται με κατάλληλη σύνδεση διατάξεων, ηλεκτρική μόνωση, επιφανειακά επιστρώματα, καθοδική προστασία, χρήση μη αγώγιμων ρευστών και θυσιαζόμενων ανόδων. (www.materialsengineer.com, Πρόσβαση Ιούνιος 2013)

### **3.3. Παράγοντες – αίτια διαβρωτικού περιβάλλοντος**

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, κάθε μέταλλο ή κράμα σύμφωνα με τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο έχει την τάση να διαβρωθεί, ανεξάρτητα από το διαβρωτικό περιβάλλον που βρίσκεται. Το διαβρωτικό περιβάλλον παίζει ρόλο από την άποψη της ταχύτητας, της αλλαγής του μηχανισμού διάβρωσης και των αποτελεσμάτων της.

Διακρίνουμε τους παρακάτω παράγοντες - αίτια διαβρωτικού περιβάλλοντος:

#### **α. Ατμοσφαιρικός αέρας (ξηρός ή υγρός, καθαρός ή ρυπασμένος)**

Ο ατμοσφαιρικός αέρας διακρίνεται ανάλογα με την σύσταση του σε βιομηχανικό, θαλάσσιο και αγροτικό. Η διαβρωτική του δράση κυρίως οφείλεται στην ύπαρξη σε αυτόν, οξυγόνου και υγρασίας και ενισχύεται επίσης με την παρουσία ρυπαντικών αερίων και αμμωνίας ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ).

#### **β. Έδαφος (ξηρό ή υγρό, καθαρό ή ρυπασμένο)**

Το έδαφος είναι διαπερατό στο νερό και περιέχει μεγάλο αριθμό διαλυμένων σωμάτων. Επομένως η διαβρωτική δράση του εδάφους οφείλεται στην υγρασία, στην οξύτητα, στα διαλυμένα άλατα, στους μικροοργανισμούς, στην ηλεκτρική αγωγιμότητά του και είναι πιο έντονη στις συνθήκες όπου έχουμε τριεπιφάνειες (έδαφος -μέταλλο-υγρός αέρας).

#### **γ. Γλυκό νερό**

Η διαβρωτική δράση του νερού εξαρτάται κυρίως από το διαλυμένο οξυγόνο μέσα σε αυτό, τα διαλυμένα άλατα και αέρια, τους μικροοργανισμούς, τα διαλυμένα ή απλώς αιωρούμενα σωματίδια.

#### **δ. Θαλασσινό νερό**

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 αποπαθητικοποιητικά ιόντα, είτε καταλύουν ηλεκτροχημικές αντιδράσεις.

#### **ε. Κανσαέρια ή θερμά αέρια**

Τα περισσότερα κανσαέρια και θερμά αέρια είναι πολύ έντονα διαβρωτικά και η έντονη αυτή διαβρωτική τάση τους οφείλεται κυρίως στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες, πιέσεις, ταχύτητες ροής και στα συστατικά που περιέχουν.

#### **στ. Χημικό περιβάλλον**

Εδώ περιλαμβάνονται όλες οι χημικές ουσίες ανόργανες και οργανικές και η

έντονη διαβρωτική τους επίδραση εξαρτάται από την χημική συγγένεια των ουσιών αυτών με τις μεταλλικές επιφάνειες που έρχονται σε επαφή, από την θερμοκρασία, την πίεση και την ταχύτητα ροής.

### **ζ. Πυρηνικό περιβάλλον**

Το περιβάλλον, στο οποίο γίνεται χρήση ραδιενεργών ουσιών ή γίνονται πυρηνικές αντιδράσεις είναι έντονα διαβρωτικό. Και αυτό γίνεται επειδή οι ακτινοβολίες επηρεάζουν την χημική σύσταση, την δομή και τις ηλεκτρικές ιδιότητες των μετάλλων (δημιουργία ενεργών κέντρων και αταξιών δομής) και τον μηχανισμό των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων (προσφορά ενέργειας ενεργοποίησης) ([www.corosion-doctors.org](http://www.corosion-doctors.org), Πρόσβαση Ιούνιος 2013).

## **3.4. Ιδιότητες Χαλύβων Διάβρωση**

### **3.4.1. Χάλυβες (Steels)**

Είναι το κυριότερο ναυπηγικό υλικό. Οι διάφοροι χάλυβες συνιστούν κράματα Fe-C με περιεκτικότητα σε C μικρότερη ή ίση του 1.5% κατά βάρος. Οι χάλυβες που συνήθως χρησιμοποιούνται σήμερα χωρίζονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες ανάλογα με τη χημική σύσταση και τις μηχανικές ιδιότητές τους. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι A, B, D και E. (Βαντέλης Σ. Αργύρης, 2009)

### **Ρυθμοί διάβρωσης σε θαλασσινό νερό**

Ο ρυθμός διάβρωσης αυξάνεται σημαντικά όταν ο χάλυβας είναι μερικώς βυθισμένος στο νερό, δηλαδή βρίσκεται στην τριεπιφάνεια νερού/μετάλλου/αέρα. Εκεί υπάρχει περίσσεια οξυγόνου, η οποία επιταχύνει τη διαδικασία της οξειδωσης. Το έλασμα που είναι πλήρως βυθισμένο στη λάσπη του πυθμένα έχει πολύ μικρούς ρυθμούς διάβρωσης, ακριβώς λόγω της έλλειψης οξυγόνου. Η ροή του νερού ενθαρρύνει την εμφάνιση της σκουριάς και όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ρευστού, τόσο περισσότερο αυξάνεται ο ρυθμός διάβρωσης. Αυτό συμβαίνει γιατί η ροή του νερού παρασύρει τη σκουριά, που έχει ήδη δημιουργηθεί στην επιφάνεια του ελάσματος, με αποτέλεσμα η διαδικασία για τη δημιουργία της σκουριάς να ξαναρχίζει (Lloyd's List events Conference, 2003).

Ο ρυθμός διάβρωσης των χαλύβων είναι επίσης δυνατό να αυξηθεί λόγω της παρουσίας μικροοργανισμών με τη βακτηριακή διάβρωση.

Άλλοι λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό διάβρωσης της χαλύβδινης κατασκευής των πλοίων είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ ο χρόνος σε κατάσταση ερματισμού
- ✓ η θερμοκρασία φορτίου ή πετρελαίου
- ✓ η καθοδική προστασία, ο σχεδιασμός και εφαρμογή συστήματος προστασίας με ανόδους
- ✓ ο τύπος και η εφαρμογή επιστρώματος, καθώς και η προετοιμασία της μεταλλικής επιφάνειας
- ✓ η συντήρηση του συστήματος προστασίας από τη διάβρωση
- ✓ η συχνότητα και οι μέθοδοι καθαρισμού των δεξαμενών
- ✓ το καθαρό ή βρώμικο έρμα
- ✓ η χρήση και ο τύπος συστήματος αδρανούς αερίου
- ✓ ταχύτητα και οι διαδρομές του πλοίου. (Βαντέλης Σ. Αργύρης, 2009)

### **3.4.2. Ανοξειδωτοι χάλυβες (Stainless steels)**

Ο ανοξειδωτος χάλυβας είναι ένα σχετικά νέο μέταλλο στη ναυπηγική τεχνολογία. Τα πλεονεκτήματά του είναι το λαμπερό του χρώμα, η γυαλάδα του και το ότι διατηρεί την εμφάνισή του, δηλαδή δεν ξεθωριάζει. Έχει επίσης υψηλή αντοχή, μεγαλύτερη από πολλά κράματα χαλκού. Τέλος, είναι φθηνότερος από το μπρούτζο και το χαλκό, γιατί το κύριο συστατικό του είναι ο σίδηρος.

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες οφείλουν την ανθεκτικότητά τους στη διάβρωση, στο ότι περιέχουν χρώμιο. Το χρώμιο ως μέταλλο αντιδρά με το οξυγόνο πολύ γοργά και σχηματίζει ένα στρώμα οξειδίου, που ονομάζεται παθητικό στρώμα, με αντιδιαβρωτικές ιδιότητες. Το παθητικό στρώμα είναι καθοδικότερο από το βασικό μέταλλο και όταν καταστραφεί, το γειτονικό βασικό μέταλλο, που είναι εκτεθειμένο στο θαλασσινό νερό, δρα ως θυσιαζόμενη άνοδος. Όταν το ποσοστό του χρωμίου ξεπερνά το 12%, η αντίσταση σε διάβρωση είναι σημαντική και η σκουριά παύει να είναι πρόβλημα. (Lloyd's List events Conference, 2003)

## Κεφάλαιο 4ο

### 4. Συντήρηση των λεβήτων

#### 4.1. Συντήρηση λεβήτων εκτός λειτουργίας

Όταν ο λέβητας δεν πρόκειται να παραμείνει εκτός λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα, δεν παίρνονται σοβαρά ιδιαίτερα μέτρα συντηρήσεώς του. Η στάθμη του νερού μόνο είτε αναβιβάζεται είτε καταβιβάζεται κατά διαστήματα και κατά 5 ως 7 cm περίπου, ώστε να μη προσβάλλεται το εσωτερικό του ατμο-υδροθαλάμου στην ίδια πάντοτε γραμμή και δημιουργείται έτσι διάβρωση της μορφής της αυλακώσεως γύρω από τη στάθμη του νερού. Όταν όμως ο λέβητας πρόκειται να παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα εκτός λειτουργίας, τότε εφαρμόζεται μια από τις παρακάτω μεθόδους της «υγρής» ή της «ξηρής» συντηρήσεως (Δανιήλ Γ.Φ., Μιμηκόπουλου Κ.Η., 2006).

##### 4.1.1. Υγρή συντήρηση

Η υγρή συντήρηση είναι η συνηθέστερη και εφαρμόζεται όταν ο λέβητας πρόκειται να αργήσει για διάστημα μέχρι 6 μήνες περίπου.

Για την εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιείται πρώτα καλός εσωτερικός καθαρισμός και εκκαπνισμός του λέβητα. Γεμίζει ο λέβητας μέχρι την ανώτατη στάθμη λειτουργίας με αλκαλικό νερό και ανάβονται τα πυρά, ώστε να βράσει το νερό για μισή ώρα τουλάχιστον υπό πίεση 1 ως 1,2 bar. Ο βρασμός αυτός πραγματοποιείται με ανοικτό το ασφαλιστικό, ώστε να απομακρυνθεί όλος ο αέρας που περιέχεται στο νερό. Σβήνονται στη συνέχεια τα πυρά και καταθλίβεται αλκαλικό νερό, μέχρις ότου ο λέβητας γεμίσει τελείως. Κλείνεται το ασφαλιστικό και ελέγχεται η στεγανότητα όλων των επιστομίων.

Ανά δεκαήμερο περίπου ελέγχεται ξανά η στεγανότητα και εξακριβώνεται εάν υπάρχει απώλεια, οπότε αναπληρώνεται αυτή με τη χειραντλία ή την ηλεκτραντλία. Το νερό πρέπει να είναι ελαφρά αλκαλικό.

Η θερμοκρασία του λεβητοστασίου πρέπει να διατηρείται ικανοποιητική, ώστε να αποκλείεται περίπτωση πήξεως του νερού.

#### **4.1.2 Ξηρή συντήρηση**

Η ξηρή συντήρηση είναι πολυπλοκότερη από την προηγούμενη και εφαρμόζεται για διαστήματα αργίας του λέβητα πάνω από 6 μήνες.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου της ξηρής συντηρήσεως, αδειάζεται πρώτα ο λέβητας και εκτελείται καλός εσωτερικός και εξωτερικός καθαρισμός. Στη συνέχεια, τοποθετούνται μέσα στο λέβητα από τις ανθρωποθυρίδες πύραυλα (μαγκάλια) με αναμμένους ξυλάνθρακες. Συγχρόνως ανάβεται μικρή πυρά στην εστία. Έτσι επιτυγχάνεται η στέγνωση του λέβητα και ελαττώνεται ο αέρας που περιέχεται σ' αυτόν με αποτέλεσμα να σβήνουν προοδευτικά και οι ξυλάνθρακες των πυραύλων, λόγω καταναλώσεως του οξυγόνου. Μόλις συμβεί αυτό, τοποθετούνται γρήγορα μέσα στο λέβητα δίσκοι (τάσια) με άνυδρο ασβέστη (μη σβησμένο) και αμέσως κατόπιν τοποθετούνται τα πώματα. Η αναλογία ασβέστη είναι 5 kg περίπου ανά m<sup>3</sup> όγκου ατμο-υδροθαλάμου.

Με τη μέθοδο αυτή, επιτυγχάνεται η απορρόφηση της υγρασίας, η οποία παρουσιάζεται κατά το διάστημα της συντηρήσεως. Για την επιτυχία της μεθόδου της ξηρής συντηρήσεως απαιτείται καλή στεγανότητα του λέβητα, έλλειψη αέρα και υγρασίας, και ταχύτητα κινήσεων κατά την εκτέλεση των διαφόρων εργασιών.

Κατά την ξηρή συντήρηση στα υγρά κλίματα μια φορά την εβδομάδα ή ανά 15ήμερο ανάπτεται στις εστίες φωτιά με ξυλάνθρακες για την απορρόφησή της υγρασίας (Δανιήλ Γ.Φ., Μιμηκόπουλου Κ.Η., 2006).

#### **Σημείωση**

Και στις δύο μεθόδους πρέπει τα εξωτερικά μέρη των λεβήτων να διατηρούνται σε καλή κατάσταση, ενώ τα κατώτερα να χρωματίζονται με μίνιο. Το κύτος του λεβητοστασίου πρέπει να είναι στεγνό, ώστε να αποφεύγονται οι διαβρώσεις στα κατώτερα μέρη του εξωτερικού περιβλήματος του λέβητα.

#### **4.2. Άνοιγμα λεβήτων. Προφυλαχτικά μέτρα**

Κατά την εκκένωση και το άνοιγμα των λεβήτων παίρνονται τα ακόλουθα προφυλακτικά μέτρα, προς αποφυγή ατυχημάτων στο απασχολούμενο με το λέβητα

προσωπικό ή ζημιών στο υλικό του λέβητα.

Καταρχήν, η εκκένωση λεβήτων υπό πίεση στη θάλασσα, πρέπει να αποφεύγεται, έστω κι αν ο κατασκευαστής έχει προβλέψει σχετική σωλήνωση. Εξαίρεση επιτρέπεται μόνο σε περιπτώσεις, κατά τις οποίες ο παράγοντας χρόνος έχει μεγάλη σημασία, αλλά τότε θα γίνεται δεκτή και η πιθανότητα αστάθμητων βλαβών, λόγω ανομοιομορφων συστολών και διαστολών του λέβητα. Η καλύτερη λύση στην προκειμένη περίπτωση είναι η απομόνωση του λέβητα μέχρι, την πλήρη πτώση της πιέσεώς του, οπότε ανοίγονται τα εξαεριστικά κι ο λέβητας αφήνεται να ψυχθεί. Επιτάχυνση της ψύξεώς του με δημιουργία ρευμάτων αέρα απαγορεύεται.

Μετά την ομαλή ψύξη του λέβητα επακολουθεί η εκκένωσή του. Πριν από την είσοδο ανδρών μέσα στο λέβητα, πρέπει να αερισθεί καλά, γιατί παρουσιάζονται τοξικά ή άλλα καταστρεπτικά για τον ανθρώπινο οργανισμό αέρια. Επίσης, μερικές φορές παρουσιάζονται και εκρηκτικά αέρια. Επομένως, απαγορεύονται ρητά τα γυμνά φώτα και το κάπνισμα μέσα στο λέβητα και το λεβητοστάσιο πριν από την παρέλευση 24ώρου εντατικού αερισμού. Επίσης, φρόνιμο είναι, στο χρονικό αυτό διάστημα να αποφεύγονται τα φορητά φώτα και να χρησιμοποιούνται φανοί χειρός Li ξηρούς συσσωρευτές (μπαταρίες).

Για την αποφυγή εισόδου ατμού και νερού στο λέβητα από άλλο σε ενέργεια λέβητα, όλα τα σχετικά επιστόμια πρέπει να ασφαλισθούν στη θέση «ΚΛΕΙΣΤΟ» με σύρμα και να τοποθετηθούν σχετικές πινακίδες. Καλό είναι, σε κάθε σωλήνων να υπάρχουν 2 επιστόμια με τον ίδιο τρόπο ασφαλισμένα.

Ποτέ δεν επιτρέπεται να εργάζονται άνδρες μέσα στο λέβητα, εάν δεν υπάρχει άφθονος αερισμός με τεχνητά μέσα.

Εφόσον δύο λέβητες έχουν κοινή καπνοδόχο, πρέπει να εξασφαλισθεί ότι οι καπνοθάλαμοί τους δε συγκοινωνούν και ότι δεν υπάρχει κίνδυνος διελεύσεως κουραριών από το λέβητα που βρίσκεται σε λειτουργία προς αυτόν που αργεί (Δανιήλ Γ.Φ., Μιμηκόπουλου Κ.Η., 2006).

### **4.3. Βρασμός λέβητα**

Ο βρασμός του λέβητα, όπως είναι γνωστό, εκτελείται όταν διαπιστωθεί μέσα αυτόν ύπαρξη ελαιωδών ουσιών.

Η εκτέλεση του βρασμού στο λέβητα απαιτεί ικανό χρόνο και είναι

πολύπλοκη. Παροχές ατμού, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για το βρασμό του λέβητα προσαρμόζονται στον υδροθάλαμο, στα εκκενωτικά του πυθμένα των συλλεκτών ατμού και στα κατώτερα σημεία του υπερθερμαντήρα και του οικονομητήρα.

Επίσης, ανεξάρτητες συνδέσεις εκκενώσεως προσαρμόζονται σε κάθε οικονομητήρα και στα εξαεριστικά του υπερθερμαντήρα.

Για το βρασμό του λέβητα χρησιμοποιείται διάλυση 75 kg μεταπυριτικού πενταϋδρικού νατρίου για κάθε 4 m<sup>3</sup> χωρητικότητας του λέβητα (ή 18 kg/m<sup>3</sup>) μέσα στο απαραίτητο ζεστό νερό για τη διάλυσή της. Η παραπάνω διάλυση εισάγεται στον οικονομητήρα, τον υπερθερμαντήρα, τους υδροθαλάμους και τους συλλέκτες του νερού. Ακολούθως το ατμογόνο τμήμα του λέβητα γεμίζει με νερό μέχρι την κατώτερη στάθμη του υδροδείκτη. Μέσα στον οικονομητήρα ή τον υπερθερμαντήρα δεν προστίθεται νερό μετά την εισαγωγή του διαλύματος.

Ατμός κεκορεσμένος διοχετεύεται προς το ατμογόνο τμήμα του λέβητα, τον υπερθερμαντήρα και τον οικονομητήρα μέσω των παροχών ατμού, οι οποίες αναφέρθηκαν προηγουμένως, ώστε να διατηρείται πίεση 9 ως 170 bar. Όσο υψηλότερη είναι η διατηρούμενη πίεση κατά τη διάρκεια του βρασμού, τόσο τελειότερος, θα είναι και ο καθαρισμός του λέβητα. Η πίεση πάντως του ατμού θα πρέπει να είναι κατά 2 bar περίπου υψηλότερη από την πίεση του λέβητα, για να εξασφαλίζεται επαρκώς η κυκλοφορία.

Κατά τη διάρκεια του βρασμού του λέβητα επιτρέπεται μικρή εκροή, λόγω υπερχειλίσεως του διαλύματος από τους διάφορους κρουνούς εξαερισμού.

Η διάρκεια του βρασμού θα πρέπει να φθάνει τις 8 ώρες μετά την ύψωση της επιθυμητής πιέσεως στο λέβητα και αφού εξακριβωθεί ότι όλοι οι χώροι του έχουν γεμίσει με τα υλικά καθαρισμού.

Μετά το τέλος του βρασμού, διακόπτεται η παροχή ατμού και ανοίγονται εξαεριστικά, για να απαλλαγεί ο λέβητας από την πίεση. Οι σωληνώσεις ατμού συνδέονται με προσοχή, ο λέβητας εκκενώνεται και αφού πλυθεί με γλυκό νερό επιθεωρείται.

Εάν διαπιστωθεί ότι παρέμειναν ακόμη ελαιώδεις ύλες, ο βρασμός πρέπει να επαναληφθεί (Δανιήλ Γ.Φ., Μιμηκόπουλου Κ.Η., 2006).



## Άλλος τρόπος βρασμού λέβητα

Εκτός από τον τρόπο που περιγράψαμε παραπάνω, υπάρχει και ο ακόλουθος:

- α. Ζυγίζεται η απαιτούμενη ποσότητα κατάλληλου απορρυπαντικού. Σ' ένα μέτριου μεγέθους ναυτικό λέβητα, χωρητικότητας περίπου 10 τόνων νερού θα χρειασθούν 40 kg περίπου, εάν έχει μόνο ελαφρώς ρυπανθεί με ελαιώδεις ουσίες. Εάν η ρύπανση θεωρείται μεγάλη ή εάν οφείλεται σε πετρέλαιο ASTM No 6 (Bunker C), απαιτείται διπλάσια ποσότητα απορρυπαντικού.
- β. Διαλύεται το απορρυπαντικό σε θερμό ή καυτό πόσιμο νερό. Απαιτούνται περίπου 5 kg νερού ανά kg υλικού.
- γ. Ρίχνεται το διάλυμα μέσα στο λέβητα μέσω κατάλληλου ανοίγματος. Ο λέβητας πρέπει να είναι κενός ή το πολύ κατά το μισό γεμάτος με νερό.
- δ. Κλείνεται ο λέβητας και γεμίζει μέχρι την κανονική στάθμη λειτουργίας, μονώνονται οι εξαγωγές ατμού και ανάβεται ο μικρότερος καυστήρας. Το πετρέλαιο πρέπει να έχει την ελάχιστη για ασφαλή ψέκαση πίεση. Ανεβαίνει η πίεση πολύ σιγά, με ρυθμό 2 bar/h μέχρις ότου επιτευχθεί πίεση 7 bar. Διατηρείται αυτή για 12 ώρες.
- ε. Όταν επιτευχθεί η πίεση των 7 bar ανοίγονται διαδοχικά τα επιστόμια εξαγωγής για μία μικρή εξαγωγή. Οι εξαγωγές επαναλαμβάνονται κατά διαστήματα μιας ώρας. Ο πρωταρχικός σκοπός των εξαγωγών, εκτός από την αφαίρεση μερικής ποσότητας των ουσιών είναι να δημιουργήσει έντονη κυκλοφορία στο λέβητα. Καλύτερη κυκλοφορία και ακόμη αποτελεσματικότερος καθαρισμός επιτυγχάνει λεβητοστάσιο που είναι εξοπλισμένο με αντλία συνεχούς κυκλοφορίας, η οποία θα αναρροφά από τον πυθμένα του λέβητα και θα καταθλίβει κοντά στην κορυφή του.
- στ. Στο τέλος της 12ωρης περιόδου, ελαττώνεται σιγά - σιγά η πίεση με στην ατμόσφαιρα. Ανοίγονται οι ανθρωποθυρίδες, εκκενώνεται ο λέβητας και πλένεται προσεκτικά με πόσιμο νερό.
- ζ. Ο λέβητας επιθεωρείται προσεκτικά. Συνήθως ένας βρασμός είναι αρκετός. Όμως σε ορισμένες περιπτώσεις μολύνσεως του λέβητα με καύσιμο Bunker C, ίσως χρειασθεί και δεύτερος πλήρης βρασμός.

Εάν το τροφοδοτικό σύστημα πριν από το λέβητα (θερμοδοχείο, προθερμαντήρες τροφοδοτικού νερού και οι σωληνώσεις που παρεμβάλλονται) έχει

ρυπανθεί, μπορεί να καθαρισθεί συγχρόνως με το λέβητα με άντληση (μέσω κατάλληλης αντλίας) του διαλύματος απορρυπαντικού από τους λέβητες και καταθλίψεώς του στο τροφοδοτικό σύστημα, οπότε θα επιστρέφει πάλι στο λέβητα. Στην περίπτωση αυτή, αυξάνεται η ποσότητα του απορρυπαντικού κατά 50% ως 100%.

#### **4.4. Εσωτερικός και εξωτερικός καθαρισμός λέβητα. Οι μέθοδοι και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται**

Ο εσωτερικός και ο εξωτερικός καθαρισμός του λέβητα ή εκκαπνισμός είναι εργασίες, οι οποίες εκτελούνται κατά κανονικά διαστήματα, με σκοπό την καλύτερη διατήρηση του λέβητα, τη δυνατότητα καλής επιθεωρήσεώς του και τη βελτίωση τις αποδόσεώς του.

#### **4.5. Ο εσωτερικός καθαρισμός**

Αυτός είναι και σημαντικότερος και αφορά στην εσωτερική επιφάνεια του υδροθαλάμου.

Σκοπό έχει την απαλλαγή του λέβητα από τις καθαλατώσεις και τις υπόλοιπες πάνω σ' αυτές εναποθέσεις.

Πραγματοποιείται κατά διαστήματα, τα οποία εξαρτώνται από το είδος του νερού και τα μέσα χημικής επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται. Σύμφωνα με την υπάρχουσα εμπειρία, ο εσωτερικός καθαρισμός πρέπει να γίνεται περιοδικά μετά από χρονικό διάστημα 1800 ως 2000 ωρών λειτουργίας, με την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιείται αποσταγμένο νερό και κατάλληλες χημικές συνθέσεις και ανάλογα με τον τύπο του υπό καθαρισμό λέβητα. Οι κανόνες όλων των Νηογνώνων προβλέπουν επίσης την εκτέλεση εσωτερικού καθαρισμού και γενική επιθεώρηση του λέβητα (Annual Boiler's Survey) κάθε χρόνο.

#### **4.5.1. Η εκτέλεση του εσωτερικού καθαρισμού**

##### **α) Σε φλογαυλωτούς λέβητες**

Στους λέβητες αυτούς, η απομάκρυνση των καθαλατώσεων γίνεται με σφυροκοπανισμό ή ξέση με ειδικά εργαλεία (σφυριά, ματσακόνια, ξύστρες, ψήκτρες συρμάτινες) σε όλα τα κατά το δυνατόν προσιτά σημεία του υδροθαλάμου. Προσοχή πρέπει να δίνεται ώστε να μην παραμορφώνεται το υλικό, λόγω των κρούσεων. Δεδομένου ότι η εργασία αυτή είναι δυσχερής, λίγες ημέρες πριν από τον καθαρισμό εισάγεται μέσα στο νερό αρκετή ποσότητα σόδας. Αυτή, όπως είναι γνωστό, μετατρέπει τη σκληρή καθαλάτωση της θευκής ασβέστου σε μαλακή, η οποία και αποξέεται ευκολότερα. Για το λόγο αυτό, συχνά ο καθαρισμός γίνεται, ενώ ο λέβητας εκκενώνεται προοδευτικά, ώστε οι νωπές καθαλατώσεις να αποξέονται ευκολότερα και να αποφεύγεται έτσι η χρήση κρουστικών εργαλείων (ματσακόνια).

Μετά τον καθαρισμό, οι επιφάνειες πλένονται καλά και στεγνώνονται επιμελώς με ύφασμα.

##### **Σε υδραυλωτούς λέβητες**

Στους λέβητες αυτούς, στους οποίους προφανώς πρέπει να καθαρισθούν εσωτερικά όλοι οι αυλοί, χρησιμοποιούνται κυλινδρικές συρμάτινες ψήκτρες με διάμετρο ανάλογη με τη διάμετρο του αυλού. Αυτές, απομακρύνουν τις καθαλατώσεις από το εσωτερικό των αυλών. Για τα υπόλοιπα μέρη των θαλάμων ο καθαρισμός εκτελείται όπως στους φλογαυλωτούς λέβητες. Οι ψήκτρες καθαρισμού είτε προσαρμόζονται στο άκρο αρθρωτής ράβδου (σύσπαστο) και εισάγονται και εξάγονται επανειλημμένα μέσα στον αυλό χειροκίνητα, είτε προσαρμόζονται στο άκρο εύκαμπτου σωληνωτού άξονα, ο οποίος περιστρέφεται από ιδιαίτερο μηχάνημα (μηχανικό σύσπαστο). Το μηχάνημα περιστροφής μπορεί να είναι κινητήρας που λειτουργεί με πεπιεσμένο αέρα, υδραυλική πίεση ή συνήθως ηλεκτροκινητήρας.

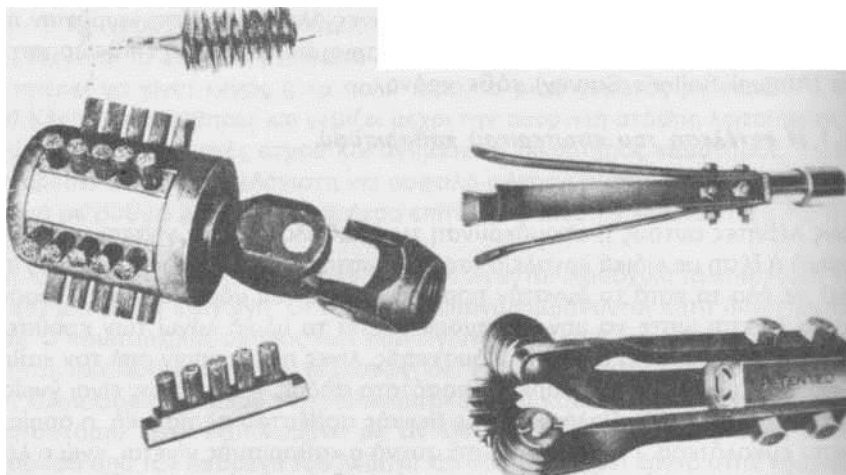
Μετά τον καθαρισμό, ακολουθεί πλύση των αυλών και σκούπισμα με τεμάχιο υφάσματος που προσαρμόζεται στο άκρο του ίδιου σύσπαστου.

Για να αποκλεισθεί η περίπτωση παραμονής ψήκτρας μέσα στους αυλούς, η οποία θα είχε ως αποτέλεσμα τη διόγκωση ή και τη διάρρηξή τους ακόμη κατά τη λειτουργία, πρώτα καταμετρούνται οι χορηγούμενες για τον καθαρισμό ψήκτρες και

περισυλλέγονται μετά το πέρας του, και ύστερα ελέγχονται οι αυλοί, όταν είναι ευθείς, με τη βοήθεια μικρού λαμπτήρα, ή ρίχνεται στους αυλούς μεταλλική σφαίρα (μπίλια) και συλλέγεται από το άλλο άκρο του αυλού. Κάθε αυλός, που ελέγχεται, σημειώνεται στα χείλη με κιμωλία.

Νεότερη μέθοδος για τον εσωτερικό καθαρισμό, είναι η χρησιμοποίηση εργαλείων προβολής άμμου και νερού υπό πίεση (Sand blast) όπως γίνεται και για τις γάστρες των πλοίων.

Στην εικόνα 5 απεικονίζονται διάφορα είδη ψηκτρών, μεταλλικών κεφαλών και άλλων οργάνων καθαρισμού από αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο.



Εικόνα 5: Είδη ψηκτρών, μεταλλικών κεφαλών & άλλων οργάνων καθαρισμού

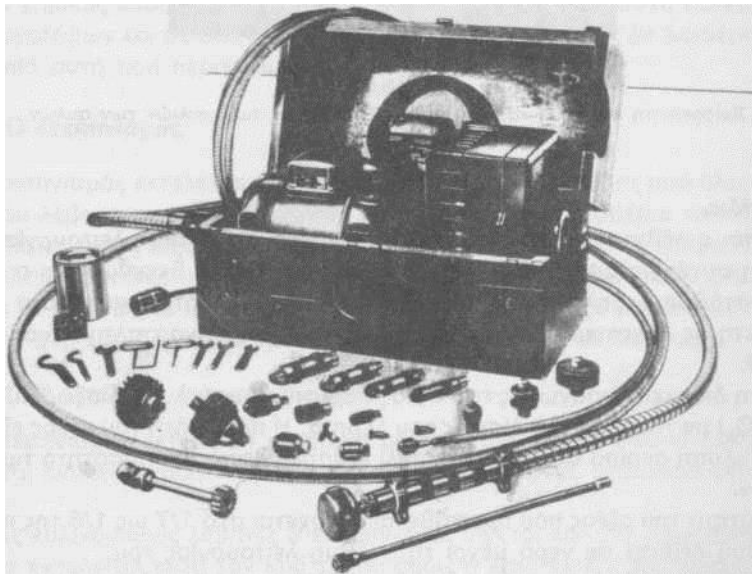
#### 4.5.2. Ο χημικός καθαρισμός των λεβήτων

Εκτός από το συνηθισμένο τρόπο εκτελέσεως μηχανικού εσωτερικού καθαρισμού, σε ορισμένες ασυνήθιστες περιπτώσεις εξαιρετικά ρυπαρού λέβητα, ο οποίος δεν μπορεί να καθαρισθεί με μηχανικά μέσα ή με βρασμό, εκτελείται ο λεγόμενος χημικός καθαρισμός, που αφορά και φλογαυλωτούς και υδραυλωτούς λέβητες.

Ο χημικός καθαρισμός συνίσταται στην πλήρωση του λέβητα με διάλυμα οξέων, μετά τα οποία εξουδετερώνονται οι καθαλατώσεις. Η μέθοδος περικλείνει κινδύνους φθοράς του μετάλλου του λέβητα.



Εικόνα 6: Υδραυλικός κινητήρας με κόπτη προσαρμοσμένος απευθείας πάνω στον κινητήριο άξονα για ευθείς αυλούς



Εικόνα 7: Πλήρες ηλεκτροκίνητο σύσπαστο με τα εργαλεία και τα εξαρτήματα.

Ο χημικός καθαρισμός εκτελείται σε τρία στάδια ως ακολούθως:

### **1ο στάδιο**

Γεμίζει ο λέβητας με τροφοδοτικό νερό μέχρι τη στάθμη λειτουργίας και προστίθενται 25 kg αλκαλικό μίγμα ανά τόνο νερού και στη συνέχεια κλείνεται ερμητικά η ανθρωποθυρίδα του ατμοθαλάμου του. Τίθεται σε λειτουργία ο λέβητας μέχρις ότου η πίεση ανεβεί περίπου 7 bar σε διάστημα 24 ωρών. Ψύχεται ο λέβητας. Εκκενώνεται από το αλκαλικό διάλυμα και πλένεται τρεις φορές με τροφοδοτικό με ολοκληρωτική πλήρωση-εκκένωση.

## 2ο στάδιο

Γεμίζεται ο λέβητας με τροφοδοτικό νερό μέχρι τη στάθμη λειτουργίας. Εκτελείται στη συνέχεια αφή πυρών για θέρμανση ως 93°C. Εκκενώνεται ο λέβητας μέχρι τη στάθμη χαμηλής λειτουργίας και προστίθεται κατά διαστήματα από τον ατμοφράκτη με ελαστικό σωλήνα υδροχλωρικό οξύ με ανασταλτικό διαβρώσεως (Inhibitor).

Κατά τη διάρκεια εισαγωγής του οξέος, παρατηρείται έκλυση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) με τάση υπερχειλίσεως του λέβητα. Η προσθήκη του οξέος εξαρτάται από την έκλυση αερίου CO<sub>2</sub>, η οποία πάλι εξαρτάται από την ποσότητα των καθαλατώσεων.

Η ποσότητα του οξέος που προστίθεται ανέρχεται στο 1/7 ως 1 /6 της περιεκτικότητας του λέβητα σε νερό, μέχρι τη στάθμη λειτουργίας του.

Εάν κατά την πρόοδο της εισαγωγής του οξέος παρατηρηθεί παύση εκλύσεως διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και του αναβρασμού, αυτό είναι δείγμα ότι εξαντλήθηκε ή το οξύ ή τα άλατα, οπότε ρίχνεται νέα μικρή ποσότητα οξέος και, αν πάλι δεν εμφανισθεί αναβρασμός, διακόπτεται η εισαγωγή οξέος.

Εάν ο λέβητας είναι εφοδιασμένος με αντλία κυκλοφορίας, αυτή χρησιμοποιείται για την κυκλοφορία του διαλύματος από το λέβητα στην αντλία και αντίστροφα, κατά διαστήματα μισής ώρας. Εάν δεν υπάρχει αντλία, διοχετεύεται πεπιεσμένος αέρας στο λέβητα από σημεία που βρίσκονται στο κάτω μέρος του, με εναλλαγή σημείων παροχής κατά διαστήματα μιας ώρας.

Ο παραπάνω χημικός καθαρισμός διαρκεί περίπου από 24 ως 30 ώρες. Στη συνέχεια εκκενώνεται το διάλυμα που βρίσκεται μέσα στο λέβητα στη θάλασσα και ποτέ στα κύτη και πλένεται ο λέβητας 3 ως 4 φορές με πλήρωση και εκκένωση με πόσιμο νερό.

## 3ο στάδιο

Γεμίζεται ο λέβητας με τροφοδοτικό νερό μέχρι τη στάθμη λειτουργίας και διοχετεύεται διαμέσου της ανθρωποθυρίδας του ατμοθαλάμου 25% αλκαλικό μίγμα. Μετά από αυτά, ο λέβητας μπαίνει σε λειτουργία και διατηρείται πίεση μέχρι 5,5 bar για χρονικό διάστημα 10 ωρών. Κατόπιν εκκενώνεται, για να πληρωθεί στη συνέχεια

με αποσταγμένο νερό και για να προετοιμασθεί για κανονική αφή πυρών.

Κατά το χημικό καθαρισμό πρέπει πάντοτε να παίρνονται όλες οι αναγκαίες προφυλάξεις, ώστε:

- α. Το προσωπικό να μην έρχεται σ' επαφή με τα χημικά αντιδραστήρια.
- β. Να γίνεται αερισμός για την απομάκρυνση του εκλυόμενου υδρογόνου, το οποίο είναι ασφυκτικό και εκρηκτικό συγχρόνως.

Λόγω των κινδύνων, τους οποίους περιέχει για το προσωπικό, αλλά και του κινδύνου φθοράς του μετάλλου του λέβητα μετά την απομάκρυνση των καθαλατώσεων, οπότε η διάλυση του οξέος θα έλθει σ' επαφή με το γυμνό μέταλλο, εκτελείται ο χημικός καθαρισμός στα διάφορα λιμάνια με την ευθύνη ειδικευμένων σ' αυτά εργολάβων και με δικές τους μεθόδους, οι οποίες όμως δε διαφέρουν ουσιαστικά από αυτή που περιγράψαμε.

#### **4.6. Ο εκκαπνισμός**

Ο εκκαπνισμός εκτελείται για την απομάκρυνση της αιθάλης από όλες τις επιφάνειες του λέβητα, οι οποίες έρχονται σ' επαφή με τα καυσαέρια και τις φλόγες.

Η αιθάλη, όπως είναι γνωστό, είναι επιβλαβής λόγω του δυσθερμαγωγού της, γιατί παρεμποδίζει τον ελκυσμό. Εκτός από αυτό τεμάχια αιθάλης παρασύρονται από τα καυσαέρια και αφού βγουν από την καπνοδόχο ρυπαίνουν το πλοίο ή μπορούν μερικές φορές να προκαλέσουν πυρκαγιά στο κατάστρωμα.

##### **4.6.1. Η εκτέλεση του εκκαπνισμού**

Ο εκκαπνισμός εκτελείται εν όρμω με τα χέρια. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές συρμάτινες επίπεδες ψήκτρες, πριόνια, σάρωθρα (σκούπες) και μάκτρα.

Στους κυλινδρικούς λέβητες ο εκκαπνισμός γίνεται και στο εσωτερικό των αυλών, και εκτελείται κατά τον ίδιο τρόπο όπως ο εσωτερικός καθαρισμός των αυλών του υδραυλωτού λέβητα, δηλαδή με κυλινδρικές χειροκίνητες ψήκτρες.

Συχνά κατά τον εκκαπνισμό υδραυλωτών λεβήτων και για μεγαλύτερη ευχέρεια, χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας που παρέχεται από ιδιαίτερη αεροθλιπτική ή ατμός υπό πίεση, ο οποίος κατευθύνεται με ειδικά ακροσωλήνια στα

μεταξύ των αυλών διάκενα.

Στους εν ενεργεία λέβητες χρησιμοποιούνται οι μόνιμα προσαρμοσμένες συσκευές εκκαπνισμού με ατμό, οι γνωστές ως εκκαπνιστήρες ή φυσητήρες αιθάλης (soot-blowers), οι οποίες χρησιμοποιούνται και για τον εν πλω εκκαπνισμό του λέβητα και σε ώρα λειτουργίας του.

Η απομάκρυνση των απανθρακωμάτων, τα οποία συγκεντρώνονται στις ρίζες των εσωτερικών αυλών γίνεται με κατάλληλο διαλυτικό. Πάντως, πρέπει να παίρνονται όλα τα αναγκαία μέτρα για αποφυγή εκρήξεων.

Ο εκκαπνισμός εκτελείται κατά κανονικά διαστήματα, σύμφωνα με την πείρα του Α' Μηχανικού, το είδος του καυσίμου και το βαθμό ρυπάνσεως του λέβητα.

Πάντως από την εμπειρία προκύπτει ότι ο εκκαπνισμός του λέβητα, σε λειτουργία, με εκκαπνιστήρες, εκτελείται κατά διαστήματα από 4 ως 8 ώρες, ενώ ο έορμω κατά διαστήματα από 500 ως 600 ώρες, εφόσον βέβαια επιτρέπουν οι συνθήκες χρησιμοποίησεως του λέβητα.

Οποσδήποτε εκκαπνισμός εκτελείται και κατά την ετήσια επιθεώρηση από τον επιθεωρητή του Νηογνώμονα (Annual Boiler Survey).

#### **4.6.2. Ο εκκαπνισμός με πλύση του λέβητα με νερό**

Η μέθοδος αυτή καθαρισμού της πλευράς καύσεως του λέβητα ακολουθείται, όταν τα διάκενα αερίων των ατμογόνων αυλών έχουν φραχθεί από εναποθέσεις αιθάλης, άνθρακα κλπ. σε βαθμό, ώστε οι μηχανικές μέθοδοι εκκαπνισμού να είναι ανεπαρκείς. Τότε, οι θερμαινόμενες επιφάνειες πρέπει να καθαρισθούν με πλύση με θερμό γλυκό νερό.

Η χρήση νερού υπό πίεση χαλαρώνει την ισχυρή έμφραξη των διακένων των αερίων και εκδιώκει τα αδιάλυτα υπολείμματα.

Υπάρχουν στην προκείμενη περίπτωση δύο παραδεκτές μέθοδοι πλύσεως. Η πρώτη απαιτεί την ύπαρξη εκτοξευτήρα, ο οποίος εκτοξεύει νερό επιτόπια. Η άλλη, απαιτεί τη χρήση του εκκαπνιστήρα, με τον οποίο κατευθύνεται και διανέμεται το νερό στη δέσμη των αυλών. Ζεστό πόσιμο νερό σε θερμοκρασία 65-70°C με πίεση 15 ως 20 bar καταθλίβεται μέσω ενός προφυσίου και είναι συνήθως αρκετό, για να αφαιρέσει όλες τις τέφρες και σκουριές από την πλευρά της φωτιάς και των καυσαερίων του λέβητα.



Αν όμως το πετρέλαιο που χρησιμοποιήθηκε στο λέβητα περιείχε βανάδιο, τότε η μειωμένη σκουριά είναι ικανή να γεμίσει τα διάκενα των αυλών των υπερθερμαντήρων. Αυτή η σκουριά αντέχει σε προβολή ζεστού νερού πίεσεως 75 bar ακόμη και σε κρύο νερό πίεσεως 350 bar. Η μόνη λύση είναι η αφαίρεση με το χέρι ή με εργαλεία πεπιεσμένου αέρα. Χρειάζεται όμως προσοχή, γιατί απροσεξίες και αδεξιότητα έχουν ως αποτέλεσμα μηχανική ζημιά, που οδηγεί στην αντικατάσταση των αυλών.

Κατά την εκτέλεση της πλύσεως πρέπει να τοποθετούνται πάνινα καλύμματα, όπου είναι δυνατόν, ώστε να εμποδίζεται ο καταιονισμός των πλινθόκτιστων της εστίας.

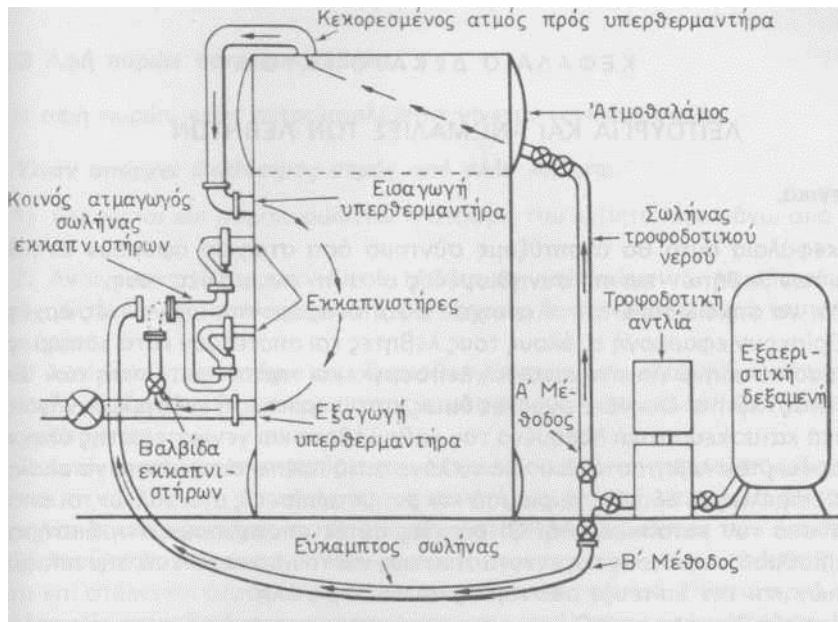
Δύο τρόποι καταθλίψεως του νερού με τους εκκαπνιστήρες υπό πίεση 10 έως 5 bar και θερμοκρασία 95°C είναι δυνατοί. Αυτοί απεικονίζονται στην εικόνα 8.

Η πλύση με νερό πρέπει να αρχίζει από το υψηλότερο σημείο του λέβητα και να κατευθύνεται συστηματικά προς τα κάτω, μέχρι τις σειρές της εστίας. Με αυτόν τον τρόπο, οι σταγόνες νερού μαλακώνουν εγκαίρως τις συσσωρευμένες επικαθίσεις στην κατώτερη περιοχή των αυλών.

Όταν χρειάζεται να πλυθούν οι οικονομητήρες, τότε το νερό πρέπει να ριχθεί επάνω από τους αυλούς υπό πίεση 10 ως 15 bar και θερμοκρασία περίπου 90°C.

Οι υπερθερμαντήρες, κατά κανόνα, απαιτούν τη χρήση των εκκαπνιστήρων, ο καθένας από τους οποίους πρέπει να περιστραφεί 5 ως 10 φορές με πίεση νερού 15 bar.

Οι προσιτοί ατμογόνοι αυλοί πρέπει να καθαρίζονται κατά προτίμηση με εκτοξευτήρες νερού (ακροσωλήνιο) και μόνο οι δυσπρόσιτοι να καθαρίζονται με τη βοήθεια των εκκαπνιστήρων.



**Εικόνα 8: Λεβητοστάσιο**

Όταν η πλύση με νερό συμπληρωθεί, ο λέβητας πρέπει να ξηρανθεί και να απομακρυνθούν τα απορρίμματα. Οι εκκαπνιστήρες και οι σωληνώσεις να αποκατασταθούν για συνθήκες λειτουργίας και ο λέβητας να προετοιμασθεί για αφή. Τότε εκτελείται αφή πυρών μ' έναν καυστήρα, με το μικρότερο διασκορπιστήρα επί 15 λεπτά και σβέση αυτού επί 15 λεπτά. Στη συνέχεια, ακολουθεί εναλλακτικά η παραπάνω αφή και σβέση του καυστήρα επί 5 ώρες, κατά δεκαπεντάλεπτα διαστήματα για να ξηρανθεί καλά ο λέβητας.

Στη συνέχεια, ο λέβητας κρατείται επί 1 ώρα, προτού μπει σε λειτουργία για βοηθητικές χρήσεις.

Για τον υπερθερμαντήρα στη φάση αυτή παίρνονται τα γνωστά μέτρα προστασίας, εξασφαλίζεται δηλαδή η επαρκής, μέσω αυτού, ροή ατμού.

Την ξήρανση του λέβητα επακολουθεί προσεκτική επιθεώρηση. Εάν ο λέβητας πρόκειται στη συνέχεια να αργήσει, συνιστάται η εκτόξευση πάνω στις επιφάνειες των αυλών «προστατευτικού μίγματος της μεταλλικής επιφάνειας» (metal conditioning compound) σε στρώση πάχους 0,05 mm. Κατά τη διάρκεια εφαρμογής αυτού, απαγορεύεται το κάπνισμα και επί πλέον λαμβάνεται μέριμνα, ώστε τούτο να μη γίνεται στο λέβητα όταν αυτός συνδέεται με τον ίδιο καπναγωγό προς άλλον λέβητα εν λειτουργία (Vandagriff R. L., 2001).

## Κεφάλαιο 5ο

### 5. Καύσιμα και διαβρώσεις σε λέβητες

Για να μπορέσουμε να αντιληφθούμε, για ποιο λόγο μπορεί να διαβρωθεί ένας λέβητας πρέπει να αναλύσουμε το βαρύ πετρέλαιο.

#### 5.1. Η σημασία των διαφόρων στοιχείων της αναλύσεως του πετρελαίου για το λέβητα

Σε μια προσπάθεια υπεραπλουστεύσεως του θέματος, δίνουμε για κάθε χαρακτηριστικό την επίδρασή του για την κατανόηση της ποιότητας του βαρέος πετρελαίου που παραδίδουν για bunker στα πλοία.

##### α) Ειδικό βάρος

Είναι ένδειξη ευκολίας αποχωρισμού του νερού από το πετρέλαιο με φυγοκεντρισμό.

Όσο πιο μεγάλο το ειδικό βάρος, τόσο πιο δύσκολος ο αποχωρισμός.

##### β) Εξανθράκωμα

Είναι ένδειξη της εναποθέσεως καπνιάς και επικαθίσεων. Όσο πιο μεγάλο, τόσο πιο βρώμικος θα είναι ο λέβητας.

##### γ) Θείο

Είναι ένδειξη της δημιουργίας θειικού οξέος. Όσο πιο μεγάλο το ποσοστό του, τόσο μεγαλύτερη η οξειδωση.

##### δ) Βανάδιο

Είναι ένδειξη διαβρώσεως. Μεγάλος αριθμός μερών ανά εκατομμύριο (ppm) σημαίνει οπωσδήποτε ανωμαλίες στους καπναγωγούς και γενικά όπου τα καυσαέρια έχουν θερμοκρασία 590°-650°C.

#### ε) Νικέλιο

Δημιουργεί διαβρωτικά θειικά άλατα νικελιοβαναδίου.

#### στ) Σίδηρος

Δημιουργεί σε χαμηλή θερμοκρασία διαβρωτικά άλατα και είναι καταλύτης της οξειδώσεως του θείου.

#### ζ) Παραφινικός κηρός

Περιλαμβάνεται κυρίως στα πετρέλαια της Ινδονησίας, Λιβύης και Κίνας. Κατακρημνίζεται και κατακαθίζει στις δεξαμενές, σωληνώσεις και φίλτρα και τα βουλώνει. Επίσης αποχωρίζεται με την ψέκαση από το υπόλοιπο πετρέλαιο.

#### η) Σημείο ροής

Είναι ένδειξη της στερεοποίησεως του πετρελαίου και αδυναμίας ροής του.

#### θ) Ιξώδες

Όταν είναι χαμηλό είναι ένδειξη ρευστότητας και ικανότητας διακινήσεως του πετρελαίου από τις αντλίες (Δανιήλ Γ.Φ., Μιμηκόπουλου Κ.Η., 2006).

### 5.2. Διαβρώσεις τμημάτων λεβήτων που οφείλονται σε υψηλές θερμοκρασίες

Η διάβρωση τμημάτων των λεβήτων που οφείλονται σε υψηλές θερμοκρασίες οφείλονται πρώτα απ' όλα στο νάτριο και στο βανάδιο που περιέχονται στο πετρέλαιο.

#### α) Νάτριο

Το νάτριο είναι ή φυσικό συστατικό του πετρελαίου ή οφείλεται στο γαλακτοποιημένο θαλασσινό νερό που περιέχει το πετρέλαιο. Μαζί με το θείο και σίδηρο, που μπορεί να προέρχονται και από οξείδωση, σχηματίζουν θειικά άλατα νατρίου- σιδήρου. Αυτά, μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικές διαβρώσεις, όταν η

θερμοκρασία των καυσαερίων είναι 590°-650°C. Το μεγαλύτερο πρόβλημα όμως και τις μεγαλύτερες διαβρώσεις τις δημιουργεί το βανάδιο.

## β) Βανάδιο

Η περιεκτικότητα του πετρελαίου σε βανάδιο διαφέρει ανάλογα με την προέλευσή του και δε δίνεται συνήθως με το δελτίο που συνοδεύει το πετρέλαιο. Κατά την καύση το βανάδιο αντιδρά χημικά με το νάτριο και σχηματίζει βαναδυλικό βαναδιονάτριο. Μια από τις ιδιότητές του είναι η ικανότητα να διαλύει οξειδία του σιδήρου, όταν βρίσκονται σε θερμοκρασίες πάνω από το σημείο τήξεως. Αυτό το σημείο τήξεως εξαρτάται απόλυτα από τη σύνθεση του βαναδυλικού βαναδιονατρίου και συνήθως εκφράζεται ως λόγος του νατρίου προς το βανάδιο. Από τη χημεία της διαβρώσεως γνωρίζουμε ότι ο σίδηρος και τα σιδηροκράματα προστατεύονται από τη διάβρωση από ένα στρώμα οξειδίων. Αν αυτό το στρώμα διαλυθεί, τότε επιταχύνεται εξαιρετικά η διάβρωση του σιδήρου. Έτσι, το βαναδυλικό βανάδιο-νάτριο είναι η αιτία των σοβαρών διαβρώσεων των τμημάτων των λεβήτων, κατά την πορεία των καυσαερίων. Ακόμα χειρότερα είναι τα πράγματα με την πρόσφυση της αιθάλης στις μεταλλικές επιφάνειες. Σε μια θερμοκρασία που είναι κοντά (λίγο πιο χαμηλά) στη θερμοκρασία τήξεως των ενώσεων βαναδίου και που ονομάζεται θερμοκρασία προσφύσεως, η αιθάλη γίνεται γλοιώδης και κολλά στους χώρους των καυσαερίων. Πάνω στην αιθάλη προσκολλώνται οι ενώσεις του βαναδίου, με αποτέλεσμα να ρυπαίνονται και να μπουκνούν οι χώροι αυτών αλλά και να σχηματίζεται ισχυρό διαβρωτικό στρώμα πάνω στις μεταλλικές επιφάνειες (Δανιήλ Γ.Φ., Μιμηκόπουλου Κ.Η., 2006).

### 5.3. Διαβρώσεις τμημάτων λεβήτων οφειλόμενες σε χαμηλές θερμοκρασίες

Ο σημαντικότερος παράγοντας στη φθορά του οικονομητήρα, προθερμαντήρα αέρα καπναγωγών και καπνοδόχου ενός λέβητα είναι η διάβρωση, που οφείλεται στη δημιουργία θεικού οξέος. Το τελευταίο, προέρχεται από τη συμπύκνωση τριοξειδίου του θείου και υδρατμών. Όταν ένα καύσιμο που περιέχει θείο καίγεται σε λέβητα, το θείο αντιδρά χημικά και σχηματίζει ξηρό ή άνυδρο διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>). Το υδρογόνο του καυσίμου καίγεται και σχηματίζει ξηρό υδρατμό (H<sub>2</sub>O). Για κάθε ένα κιλό καιόμενου καυσίμου, χονδρικά, σχηματίζεται ένα κιλό υδρατμού. Τα σημερινά βάρεια πετρέλαια καύσεως περιέχουν βανάδιο, σίδηρο, νικέλιο και άλλα μέταλλα, τα οποία κατά τη διάρκεια της καύσεως οξειδώνονται. Είναι βέβαιο ότι τουλάχιστον δύο από αυτά τα οξείδια είναι πολύ ενεργοί καταλύτες (καταλύτης λέγεται η ουσία που επιταχύνει μια χημική αντίδραση χωρίς η ίδια να αλλάξει), το πεντοξείδιο το βαναδίου (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) και το τριοξείδιο του σιδήρου (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), που επιταχύνουν τη μετατροπή του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) σε τριοξείδιο του θείου. Από το

περιεχόμενο στο πετρέλαιο θείου, μόνο ένα μικρό ποσοστό (μέχρι 15%) μετατρέπεται σε τριοξείδιο ( $\text{SO}_3$ ), ενώ το υπόλοιπο παραμένει σταθερά ως διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ).

Αν τα οξείδια του θείου παραμείνουν σε αεριώδη μορφή σε όλη τη διαδρομή των καυσαερίων και βγουν από την καπνοδόχο μαζί με τα καυσαέρια, τότε δε θα έχουμε διάβρωση μέσα στο λέβητα. Γι' αυτό λαμβάνουμε μέριμνα κατά τη σχεδίαση του λέβητα ώστε η θερμοκρασία των καυσαερίων να μην πλησιάσει το σημείο δρόσου (Δανιήλ Γ.Φ., Μιμηκόπουλου Κ.Η., 2006).

## Κεφαλαίο 6ο

### 6. Οι διαβρώσεις του χάλυβα στους ατμολέβητες και ο ρόλος του σχηματιζόμενου μαγνητίτη

Το παρόν κεφάλαιο, ίσως το πιο σημαντικό στην παρούσα εργασία, δίνει μερικές παραμέτρους των διαβρώσεων του χάλυβα, όπως πώς και πόσο βοηθά ο μαγνητίτης που σχηματίζεται κατά τη διάβρωση του χάλυβος, ως επίστρωμά του.

#### 6.1. Επίδραση του νερού στο χάλυβα

Ο Fe και το  $H_2O$ , όταν έρχονται σε επαφή, αντιδρούν μεταξύ τους. Γνωρίζουμε ότι, πρακτικά, το ίδιο συμβαίνει και με τον κοινό χάλυβα, όταν έρχεται σε επαφή με αραιό υδατικό διάλυμα.

Σε όξινο, ουδέτερο ή ελαφρώς αλκαλικό περιβάλλον, όταν το pH είναι μικρότερο του 9,8 και στη συνήθη θερμοκρασία, το μέταλλο οξειδώνεται, δηλαδή περνάει στο διάλυμα υπό μορφή ιόντων δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου ή επικαλύπτεται από στρώμα μαγνητίτη  $Fe_3O_4$ .

Σε αλκαλικό περιβάλλον, το μέταλλο επικαλύπτεται από ένα στρώμα μαγνητίτη  $Fe_3O_4$ . Σε πολύ ισχυρό αλκαλικό περιβάλλον, το μέταλλο περνάει στο διάλυμα υπό μορφή ανιόντων.

Σημειώνουμε ότι, σε πρώτη προσέγγιση, η αύξηση της θερμοκρασίας δε μεταβάλλει τα ανωτέρω φαινόμενα, αλλά ότι επιταχύνει την εξέλιξη. Επομένως, για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου διαβρώσεων, το νερό του λέβητα υποβάλλεται σε κατεργασία με τέτοιο τρόπο, ώστε να προκαλεί μια ελαφρά και γενικευμένη οξείδωση του χάλυβα, υπό μορφή προσφυσμένου μαγνητίτη, αποκλειόμενης κάθε οξείδωσης υπό μορφή κατιόντων ή διαλυτοποιήσεως υπό μορφή ανιόντων (Λιάτης Θ.Σ., 2011).

## 6.2. Σχηματισμός του μαγνητίτη προστασίας

Η εμπειρία διδάσκει ότι σε pH =10, το νερό οξειδώνει βραδέως το χάλυβα και ότι η προκύπτουσα γενικευμένη οξείδωση διακόπτεται αυθόρμητα, όταν το στρώμα του σχηματισθέντος μαγνητίτου φθάνει σε πάχος μερικών μικρών του μέτρου. Οι μηχανικές ιδιότητες του στρώματος αυτού, που προσφύεται έντονα στο μέταλλο, είναι διαφορετικές από εκείνες που παρατηρούμε σε παχύ στρώμα μαγνητίτου. Ιδιαίτερα, η πολύ μεγάλη σκληρότητα (1000 Vickers αντί 500 για τον κοινό μαγνητίτη) προσδίδει ένα προστατευτικό χαρακτήρα στο προϊόν της διαβρώσεως.

Ο σχηματισμός του προστατευτικού μαγνητίτου μελετήθηκε ιδιαίτερου από τον E.C. Potter μεταξύ 1961-1962. Έχει ως αποτέλεσμα τη διαπίστωση δημιουργίας ενός διπλού ρεύματος διαχύσεως:

- Τα ιόντα  $Fe^{++}$  και  $Fe^{+++}$  διαχέονται από το μέταλλο προς το νερό του λέβητα, μέσω του υπάρχοντος μαγνητίτου. Στη μεσοφάση οξειδίου - νερού, τα ιόντα του σιδήρου οξειδώνονται από το διαλυμένο  $O_2$  και τα οξειδωτικά ιόντα του νερού και σχηματίζουν ελαφρά προσφύομενο μαγνητίτη, συχνά κρυσταλλούμενο σε μεγάλου μεγέθους κρυστάλλους, που μπορούν να υπερβούν το ένα μικρό του μέτρου.
- Τα οξειδωτικά ιόντα του νερού, διαχέονται προς το μέταλλο, μέσω του ήδη σχηματισθέντος μαγνητίτου. Στη μεσοφάση μετάλλου - οξειδίου, τα ιόντα αυτά ενώνονται με τα ιόντα του σιδήρου και σχηματίζουν μαγνητίτη  $Fe_3O_4$ . Ο μαγνητίτης καταλαμβάνει όγκο, δύο φορές μεγαλύτερο από το χάλυβα που τον δημιουργεί, βρίσκει όμως για εγκατάσταση το χώρο που ελευθερώνεται από τα ιόντα σιδήρου, που διαχύθηκαν προς το εξωτερικό του μετάλλου. Αποδεικνύεται ότι, κατά μέσο όρο, υπάρχουν τόσα διαχεόμενα ιόντα σιδήρου όσα και τα οξειδωμένα ιόντα. Χάρη στην ευτυχή αυτή σύμπτωση, ο μαγνητίτης μπορεί να αναπτυχθεί κανονικά στην επιφάνεια του μετάλλου και να παραμείνει εκεί χωρίς τη δημιουργία μηχανικών τάσεων.

Καθώς αυξάνει το μέγεθός του, ο μαγνητίτης δημιουργεί ένα αποτελεσματικό φράγμα στην ιονική διάχυση και δημιουργεί τελικώς, για το υποκείμενο μέταλλο, ένα προστατευτικό στρώμα (Λιάτης Θ.Σ., 2011).



### 6.3. Σχηματισμός του μαγνητίτη διαβρώσεως

Μερικές φορές, ο μαγνητίτης σχηματίζεται τοπικά πολύ γρήγορα και σε μεγάλη ποσότητα. Αυτό συμβαίνει λόγω διαβρώσεως. Στην περίπτωση αυτή, είναι βέβαιο ότι δεν πρόκειται πλέον για έναν μηχανισμό διαχύσεως, αλλά για το σχηματισμό γαλβανικού στοιχείου. Για να λειτουργήσει το γαλβανικό αυτό στοιχείο και να μην υποστεί πόλωση πρέπει:

1. Την άνοδο να αποτελέσει ο χάλυβας, δηλαδή πρέπει να υπάρξει αντίδραση οξειδώσεως υπό την επίδραση του  $O_2$  του νερού, πράγμα που προϋποθέτει την εύκολη πρόσβαση του ηλεκτρολύτη στο ηλεκτρόδιο, παρά το μετασχηματισμό του Fe σε  $Fe_3O_4$ .
2. Την παρουσία ενός σώματος καλού αγωγού του ηλεκτρισμού, για να χρησιμεύσει ως κάθοδος, δηλαδή να υπάρξει αντίδραση αναγωγής. Μπορεί να είναι ένα μέταλλο, όπως ο Cu ή το Ni, πάνω στο οποίο τα ιόντα  $H^+$  εκφορτίζονται. Πάντως, για να προκληθεί η λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου, χρειάζεται αρκετή συγκέντρωση ιόντων  $H^+$  στην κάθοδο, δηλαδή χρειάζεται ο εκεί σχηματισμός όξινου περιβάλλοντος.

Συμπερασματικά, ο σχηματισμός του μαγνητίτη διαβρώσεως προϋποθέτει τις παρακάτω τρεις συνθήκες:

- α. Την παρουσία μιας μη πολούμενης καθόδου, η οποία σχηματίζει με την άνοδο μια σημαντική διαφορά δυναμικού.
- β. Την παρουσία ενός όξινου ηλεκτρολύτη στην περιοχή της καθόδου.
- γ. Την εύκολη πρόσβαση του ηλεκτρολύτη σε επαφή με την άνοδο.

Η πρώτη συνθήκη πραγματοποιείται μόνο από έναν μικρό αριθμό σωμάτων. Πράγματι, αν θεωρήσουμε την περίπτωση μιας μη προσβαλλόμενης καθόδου. Η κυρίως αναγωγή, που θα λάβει χώρα σ' αυτήν, θα είναι εκείνη των ιόντων  $H^+$  σε ατομικό υδρογόνο και στη συνέχεια σε μοριακό. Γνωρίζουμε ότι τα περισσότερα μέταλλα, δημιουργούν δυσμενείς καθόδους για το υδρογόνο, καθόσον προβάλλουν αντίσταση στην εκφόρτιση των πρωτονίων. Οι μελέτες του Potter, το 1963, έδειξαν

ότι, εν θερμώ, το μόνο αποτελεσματικό μέταλλο που βρίσκουμε στο νερό του λέβητα είναι το νικέλιο. Πράγματι, γνωρίζουμε 4 ενεργά μέταλλα: το Ni, το Co, το Sb και το V. Αντιθέτως, ο χαλκός αποτελεί κακή κάθοδο, που γρήγορα μπορεί να υποστεί πόλωση, με πτώση του δυναμικού του, πράγμα που προκαλεί τη διακοπή λειτουργίας του στοιχείου υδρογόνου - σιδήρου. Με μια ενεργή και αναλλοίωτη κάθοδο, το στοιχείο Fe-H<sub>2</sub> διακόπτεται μόνο από έλλειψη ανόδου, όταν τοπικά όλο το μέταλλο έχει οξειδωθεί. (Λιάτης Θ.Σ., 2011)

Ας θεωρήσουμε τώρα την περίπτωση μιας αναγόμενης καθόδου, όπως το CuO ή το Cu<sub>2</sub>O. Με την προϋπόθεση ότι δεν πολώνεται, τα ιόντα υδρογόνου ανάγονται σ' αυτή προς αέριο υδρογόνο, το οποίο μετατρέπεται σε νερό, ενώ παράλληλα εμφανίζεται μια ισοδύναμη ποσότητα μεταλλικού χαλκού. Πρόκειται τελικά για γαλβανικό στοιχείο σιδήρου - οξειδίου του χαλκού, που διακόπτεται μόνο όταν αναχθεί όλο το οξείδιο. Το στοιχείο αυτό Fe-CuO γρήγορα αντικαθίσταται από το στοιχείο Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-CuO, του οποίου η διαφορά δυναμικού είναι πολύ μικρή. Πρέπει ο σχηματισθείς μαγνητίτης να είναι ιδιαίτερα πορώδης, ώστε το σύστημα Fe-CuO να παραμένει σε λειτουργία μέχρις εξαντλήσεις ενός εκ των δύο ηλεκτροδίων. Άρα, για να σχηματισθεί μαγνητίτης διαβρώσεις, μόνο το νικέλιο αποτελεί μια καλή κάθοδο, το οξείδιο του χαλκού δεν είναι παρά για μια αναγκαία χρήση.

Η δεύτερη συνθήκη, η ύπαρξη δηλαδή ενός όξινου περιβάλλοντος στην περιοχή της καθόδου, αποτελεί μόνο το αποτέλεσμα μιας μαζικής ρυπάνσεως του νερού του λέβητα από υδρολυόμενα χλωρίδια, όπως το MgCl<sub>2</sub>, ο ZnCl<sub>2</sub> και το NaCl. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να δημιουργηθεί, όταν έχουμε διαρροή σ' ένα ψυγείο, που ψύχεται με θαλασσινό νερό. Στην περίπτωση αυτή πρόκειται για μία ανώμαλη κατάσταση, που δεν πρέπει να ξεφεύγει από την επαγρύπνηση του προσωπικού εκμεταλλεύσεως.

Η τρίτη συνθήκη, δηλαδή η εύκολη επαφή του ηλεκτρολύτη με την άνοδο, είναι ικανοποιητική, όταν ο σχηματισθείς μαγνητίτης θραύεται αυθόρμητα, π.χ. υπό την επίδραση εσωτερικών τάσεων ή όταν δε βρίσκει χώρο για να εγκατασταθεί στο μέταλλο, εις βάρος του οποίου σχηματίζεται. Για να συμβεί αυτό, πρέπει η διάχυση των ιόντων του σιδήρου προς τα έξω να επιβραδυνθεί ή να καταργηθεί. Αυτό συμβαίνει μόνο σε περίπτωση αιφνιδιαστικού εμπλουτισμού του ηλεκτρολύτη μ' αυτά τα ίδια ιόντα. Με άλλα λόγια, η παρουσία των ιόντων Fe<sup>++</sup> είναι απαραίτητη στο νερό

του λέβητα, ώστε να μπορέσει να σχηματισθεί ο προερχόμενος από τη διάβρωση μαγνητίτης. Αυτή η κατάσταση πραγματοποιείται σε όξινο περιβάλλον, στην περίπτωση μαζικής μολύνσεως του νερού του λέβητα από υδρολυόμενα χλωρίδια και ενώ παραμένει ικανοποιητική η δεύτερη συνθήκη. Είναι όμως απραγματοποίητη σε αλκαλικό περιβάλλον, εκτός ίσως σε περίπτωση που τα διάφορα φωσφορικά άλατα του σιδήρου μετατραπούν εκ νέου σε φωσφορικά του νατρίου, αυτό δε, όταν υπάρξει πτώση φορτίου (Λιάτης Θ.Σ., 2011).

#### 6.4. Πιθανές αιτίες διαβρώσεως

Από όσα προηγήθηκαν, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η αρχή της διαβρώσεως συνδέεται με την ταυτόχρονη παρουσία υδρολυομένων χλωριδίων και μεταλλικού νικελίου. Πρόκειται επομένως περί ενός σπάνιου φαινομένου σε κανονικές συνθήκες εκμεταλλεύσεις. Πράγματι, η βασική αιτία μιας διαβρώσεως είναι το γεγονός ότι ο μαγνητίτης διαρρηγνύεται και αφήνει έτσι ελεύθερη τη δίοδο του ηλεκτρολύτη. Η παρουσία νικελίου είναι δευτερεύουσα, επειδή σε ένα λέβητα πάντοτε θα υπάρχουν ξένες προσμείξεις, που μπορούν να παίζουν το ρόλο εύκολα πολυμένων καθόδων, εν τούτοις όμως ικανών να λειτουργήσουν αρκετά, ώστε να προκαλέσουν την αρχή της διαβρώσεως. Παρά το γεγονός ότι η παρουσία ιόντων  $Fe^{++}$  σε διάλυμα προκαλεί αυτόματη διάρρηξη του μαγνητίτη, δεν πρέπει να αγνοήσουμε και άλλες αιτίες διαρρήξεως, όπως είναι οι θερμικές τάσεις, οι αποκολλήσεις του στρώματος, η κακή επιφανειακή κατάσταση του χάλυβα, αιτίες που συνδέονται με τις συνθήκες λειτουργίας του ατμολέβητα και όχι με τη χημική σύσταση του νερού του λέβητα. Εκείνο που πρέπει να γνωρίζουμε είναι το ποιοί είναι οι υπεύθυνοι βασικοί παράγοντες της διαβρώσεως, όταν ο υπάρχων μαγνητίτης έχει ήδη υποστεί διάρρηξη. Είναι πράγματι δυνατόν, αβλαβείς ξένες προσμείξεις, όπως π.χ. οξειδία του χαλκού, παρουσία προστατευτικού μαγνητίτη, να είναι επικίνδυνες, όταν κατορθώνουν, παράλληλα με το νερό, να έλθουν σε επαφή με το χάλυβα.

Σε μελέτες χημικών της στη Γαλλία βρέθηκαν περιπτώσεις, κατά τις οποίες, το οξείδιο του νικελίου, το προερχόμενο από την οξείδωση των αυλών Cu-Ni των προθερμαντών υψηλής πίεσεως, μπορεί, αντί να αναχθεί σε κατάσταση Ni, να εμπλακεί στη δημιουργία μιας ενώσεως του τύπου  $NiO-Fe_2O_3$  ισόμορφης της

ενώσεως του τύπου  $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3$ . Είναι ελάχιστα πιθανό το νικέλιο, υπό την μορφή αυτή, να μπορέσει να αποτελέσει μια καλή κάθοδο.

Για βελτιωμένη απόδοση χρειάζεται να αναλύονται λεπτομερέστερα και συχνότερα, τα διάφορα στοιχεία που ρυπαίνουν το τροφοδοτικό νερό και το νερό του λέβητα. Για το σκοπό αυτό απαιτείται:

- α. Αναζήτηση και προσδιορισμός των αιωρούμενων συστατικών στα εξής βασικά σημεία: στην έξοδο του ψυγείου, στην έξοδο από τους προθερμαντές χαμηλής και υψηλής πίεσεως και στην είσοδο του οικονομητήρα. Αυτά σε κανονική λειτουργία και μετά από κάθε αφή πυρών (ξεκίνημα).
- β. Αναζήτηση και προσδιορισμός των διαλυτών συστατικών στα εξής βασικά σημεία: στην έξοδο του ψυγείου ή στην είσοδο του οικονομητήρα, καθώς και από τις συνεχείς εξαγωγές (στρατσώνες) των λεβήτων. Αυτά σε κανονική λειτουργία και μετά από κάθε αφή πυρών (ξεκίνημα) (Λιάτης Θ.Σ., 2011).

## Επίλογος - Συμπεράσματα

Σε όλο το φάσμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας παρουσιάστηκε η διάβρωση του χάλυβα των ατμολεβήτων. Κάνοντας μία επισταμένη μελέτη στα συγγράμματα και τις πηγές του διαδικτύου που επεξεργαζόταν το παρόν θέμα, σας παρέθεσα περιληπτικά τους λέβητες, τα βασικά καθώς και κοινά μέρη των λεβήτων και των οργάνων τους, τη διάβρωση γενικά ως φαινόμενο, τα είδη και τους παράγοντες αυτής, τις διαβρώσεις των λεβήτων και τις συντηρήσεις που πρέπει να λαμβάνουν χώρα σε αυτούς, τις διαβρώσεις των λεβήτων που προέρχονται από το καύσιμο, και τέλος το σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει ο σχηματισμός του μαγνητίτη κατά τη διάβρωση του χάλυβα.

Το φαινόμενο της διάβρωσης άρχεται με τη δημιουργία των μετάλλων, λόγω των περιβαλλοντικών συνθηκών και των στοιχείων του περιβάλλοντος, χάρη στην ιδιότητα του μετάλλου να χάνει ηλεκτρόνια, τα οποία δεσμεύονται από το περιβάλλον. Επομένως η διάβρωση του χάλυβα των ατμολεβήτων ξεκινά με τη δημιουργία του μηχανήματος, μα επιδεινώνεται με την καύση καυσίμου, λόγω των στοιχείων του ιδίου του καυσίμου, όπως αναφέρθηκε εντός της εργασίας, καθώς επίσης με την θερμότητα που ανεβαίνει σε υψηλά επίπεδα για την ατμοποίηση του νερού, επιπλέον λόγω της ποιότητας του νερού, καθώς και των λοιπών παραμέτρων που αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία.

Σε αλκαλικό νερό ( $\text{pH} = 10$ ), ο χάλυβας οξειδώνεται βραδέως και η προκύπτουσα γενικευμένη οξείδωση διακόπτεται αυθόρμητα, όταν το στρώμα του σχηματισθέντος μαγνητίτη φθάνει σε πάχος μερικών μικρών του μέτρου. Οι μηχανικές ιδιότητες του στρώματος αυτού, που προσφύεται έντονα στο μέταλλο, είναι διαφορετικές από εκείνες που παρατηρούμε σε παχύ στρώμα μαγνητίτη. Ιδιαίτερος, η πολύ μεγάλη σκληρότητα (1000 Vickers αντί 500 για τον κοινό μαγνητίτη) προσδίδει ένα προστατευτικό χαρακτήρα στο προϊόν της διαβρώσεως. Βεβαίως, ο σχηματισμός του μαγνητίτη τοπικά, γρήγορα και σε μεγάλη ποσότητα συμβαίνει λόγω διαβρώσεως. Στην περίπτωση αυτή δεν πρόκειται για έναν μηχανισμό διαχύσεως, αλλά για το σχηματισμό γαλβανικού στοιχείου. Επομένως, στην δεύτερη περίπτωση ο μαγνητίτης δε βοηθά στην προστασία του χάλυβα.

Ωστόσο ολοένα περισσότεροι μέθοδοι, περισσότεροι τρόποι και περισσότερες μελέτες θα εκπονηθούν στο μέλλον για την διάγνωση και αντιμετώπιση της διάβρωσης.

## Βιβλιογραφία

### Ελληνική

**Βαντέλης Σ. Αργύρης, (2009).** Επιστήμη & τεχνολογία υλικών, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

**Δανιήλ Γ.Φ., Μιμηκόπουλου Κ.Η., (2006).** Ναυτικοί Ατμολέβητες, Εκδόσεις Ευγενίδειου Ιδρύματος, Αθήνα.

**Κουλουμπή Νίκη, (1994).** Διάβρωση και προστασία, Ε.Μ.Π, Αθήνα.

**Λιάτης Θ.Σ., (2011).** Οι διαβρώσεις του χάλυβος στους ατμολέβητες και ο ρόλος του σχηματιζόμενου μαγνητίου, Περιοδικό Χημικά Χρονικά, Ένωση Ελλήνων Χημικών, Αθήνα. Σελ. 20-22.

**Πάντζαλη Ν. Α., (1994).** Σημειώσεις Γενικής Χημείας, Εκδόσεις Ευγενίδειου Ιδρύματος, Αθήνα.

**Σκουλικίδης Θ., Βασιλείου Π. (2000).** “Διάβρωση και Προστασία Υλικών”, Β΄ Έκδοση, Συμεών, Αθήνα.

**Υφαντής Δ. Κ., (2003).** Υλικά: Διάβρωση και προστασία, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα.

**Φουντέας Σωτήρης, (1992).** Κινητήριες Μηχανές, Τόμος Α΄, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.

**Φαντάκης Π.,** Χαλύβδινοι λέβητες κεντρικής θέρμανσης, Άρθρο στο περιοδικό θερμοϋδραυλικός. Λήψη από:

<http://users.sch.gr/fantakis/ARTHRA/234.pdf> [Πρόσβαση Ιούνιος 2013]

### Αγγλική

**Gilman G. F. (2005).** Boiler Control Systems Engineering, The Instrumentations, Systems and Automation Society – ISA, USA.

**Kitti Walter, Schoner Wolfgang, (2004).** Κινητήριες μηχανές, Μετφρ. Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

**Lloyd’s List events Conference (2003).** Prevention and management of marine corrosion, London.

**Vandagriff R. L., (2001).** Practical Guide to Industrial Boiler Systems, Marcel Dekker Inc., USA.

### Πηγές Διαδικτύου

1. <http://electrochem.cwru.edu/encycl/> [Πρόσβαση Ιούνιος 2013]
2. [http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CF%89%CF%84%CE%BF%CF%82\\_%CF%87%CE%AC%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B1%CF%82](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%BF%CE%BE%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CF%89%CF%84%CE%BF%CF%82_%CF%87%CE%AC%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B1%CF%82) [Πρόσβαση Ιούνιος 2013]
3. <http://www.azom.com/article.aspx?articleid=1177> [Πρόσβαση Ιούνιος 2013]
4. <http://www.materialsengineer.com/> [Πρόσβαση Ιούνιος 2013]
5. <http://www.corosion-doctors.org> [Πρόσβαση Ιούνιος 2013]