

**Τ.Ε.Ι. ΑΘΗΝΑΣ  
Σ.Τ.Ε.Φ.  
ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ  
“HULL MATERIALS”**

Παππάς Γιάγκος 10056  
Σιβρικόζης Αλέξιος 10061  
Τοκατλιάν Άρτεμις 10067

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. Θωμάς Π. Μαζαράκος

**Αθήνα  
Απρίλιος 2014**

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	3
2. Δομή Μετάλλων .....	5
3. Διάγραμμα φάσεων σιδήρου .....	7
4. Ο χάλυβας στη Ναυπηγική .....	10
4.1 Ιδιότητες του χάλυβα .....	10
4.2 Τύποι χάλυβα στη Ναυπηγική Βιομηχανία .....	12
5. Το Αλουμίνιο στην Ναυπηγική .....	17
5.1 Ιστορική εξέλιξη αλουμινίου .....	17
5.2 Ιδιότητες αλουμινίου.....	18
5.3 Η χρήση του αλουμινίου στην Ναυπηγική .....	18
5.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα .....	20
6. Η ξυλεία στη ναυπηγική .....	22
6.1 Ιδιότητες του ξύλου .....	22
6.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα .....	23
7. Ενισχυμένα με ίνες πλαστικά (F.R.P) στην Ναυπηγική .....	26
7.1 Ίνες.....	27
7.2 Ενισχυτικές Ίνες Γυαλιού (Fiberglass) .....	27
8. Σκυρόδεμα στην Ναυπηγική .....	28
9. Συμπεράσματα .....	28
10. Βιβλιογραφία.....	29

## 1. Εισαγωγή

Ο άνθρωπος από την εμφάνισή του στη γη, πάντα αναζητούσε το ιδανικό υλικό για το χτίσιμο της κατοικίας του και άλλων χρήσιμων κατασκευών. Όμως, μέχρι τώρα δεν βρέθηκε κανένα υλικό που να μπορεί να καλύπτει κάθε κατασκευαστική ανάγκη. Το κάθε υλικό έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα που μπορούν να καλύψουν συγκεκριμένες κατασκευαστικές απαιτήσεις, όμως, έχει και μειονεκτήματα που πρέπει να συνεκτιμηθούν για κάθε συγκεκριμένη επιλογή.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο τη γνωριμία με τα πιο συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της γάστρας ενός πλοίου. Παρακάτω ακολουθεί μία λεπτομερής ανάλυση των υλικών (χάλυβας, αλουμίνιο, ξύλο, πλαστικό και τσιμέντο), οι ιδιότητες αυτών και φυσικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του καθ' ενός. Ενδιαφέρον αποτελεί και η ιστορική αναδρομή κάποιων υλικών, στην οποία θα αναφερθούμε στην πορεία της εργασίας. Μέσα από την ιστορική αναδρομή μπορούμε να δούμε πολλές διαφορές μεταξύ του τότε και του τώρα όπως επίσης μπορούμε να δούμε και τις αυξημένες απαιτήσεις σε ένα κόσμο που εξελίσσεται με ταχύτατους ρυθμούς.

Στη σημερινή εποχή, η ποικιλία των διατιθέμενων τεχνικών υλικών είναι πολύ μεγάλη και καθιστά δύσκολη την επιλογή τους, ακόμα και για μια σχετικά απλή κατασκευή. Τα τελευταία χρόνια, η συσσώρευση επιστημονικών γνώσεων, επαγγελματικής εμπειρίας, καθώς και τα σύγχρονα υπολογιστικά μέσα, έχουν καταστήσει εφικτό και τον πολυπλοκότερο θεωρητικό σχεδιασμό ενός προϊόντος, με μεγάλη ακρίβεια. Τα προβλήματα παρουσιάζονται συνήθως στο στάδιο της υλοποίησης. Όταν μελετάται η κατασκευή ενός προϊόντος, τίθενται δύο ερωτήματα: πώς θα κατασκευαστεί το συγκεκριμένο προϊόν και από ποια υλικά έτσι ώστε να πληρεί τις αναγκαίες προϋποθέσεις, για τη σωστή του λειτουργία. Καθίκον του σχεδιαστή μηχανικού είναι να συνεργαστεί με επιστήμονες εξειδικευμένους στην επιστήμη και την τεχνολογία των υλικών, προκειμένου τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν να καλύπτουν τις πραγματικές απαιτήσεις του σχεδιασμού της συγκεκριμένης εφαρμογής. Επιπλέον, η κατάλληλη επιλογή τεχνικών υλικών απαιτεί συνεχή επανεκτίμηση, λόγω των ραγδαίων τεχνοοικονομικών, κοινωνικών και πολιτικών εξελίξεων.

- Νέα υλικά αναπτύσσονται συνεχώς, άλλα υλικά παύουν να είναι διαθέσιμα, ενώ το κόστος τους, συνεχώς μεταβάλλεται. Η απαίτηση της σύγχρονης κατασκευαστικής βιομηχανίας για μείωση του βάρους των κατασκευών, εξοικονόμηση ενέργειας και αυξημένη αντοχή σε καταπονήσεις και σε διάβρωση, αποτελούν μερικούς από τους κυριότερους παράγοντες, που ώθησαν την έρευνα για ανάπτυξη νέων υλικών.
- Νέοι παράγοντες, όπως η προστασία του περιβάλλοντος, η ανακύκλωση, η υγιεινή και ασφάλεια εργασίας παρεμβαίνουν δυναμικά τα τελευταία χρόνια στις παραγωγικές διαδικασίες.
- Οι εγχώριες και διεθνείς οικονομικές τάσεις, το άνοιγμα νέων αγορών και το κλείσιμο παλαιότερων, τα αναπτυξιακά έργα σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές, επιβάλλουν τη συνεχή αναθεώρηση της χρήσης διάφορων τεχνικών υλικών.

Είναι σαφές ότι είναι αναγκαία η ανάπτυξη μεθοδολογίας εύρεσης κριτηρίων για την ορθή επιλογή υλικών. Οι βασικές παράμετροι επιλογής ενός υλικού είναι οι εξής:

- Οι δυνατότητες της συγκεκριμένης βιομηχανίας να χρησιμοποιήσει με ορθό τρόπο το εκάστοτε υλικό (οικονομικά μέσα, τεχνολογία και εργασιακό περιβάλλον)
- Η διαθεσιμότητα πρώτων υλών ή προϊόντων μεταποίησης (σύρματα, πλάκες, σωλήνες) το κόστος και η ευκολία διοχέτευσής τους στα σημεία χρήσης τους.
- Τα έξοδα μεταφοράς και οι τυχόν καθυστερήσεις στην παραλαβή
- Το κόστος συντήρησης και αποθήκευσης του προϊόντος
- Η τιμή διάθεσης του τελικού προϊόντος στην αγορά, καθώς και τα περιθώρια κέρδους.
- Η προστασία του περιβάλλοντος, η εξασφάλιση των όρων υγιεινής και ασφάλειας για τους εργαζόμενους και ασφαλούς χρήσης για τους αγοραστές.

Οι παράμετροι αυτές βρίσκονται σε διαρκή αξιολόγηση, καθώς εξαρτώνται, τόσο από εγχώριες όσο και από διεθνείς οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές συγκυρίες. Κάθε παράμετρος πρέπει να αξιολογείται, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες τη χρονική περίοδο, κατά την οποία λαμβάνεται η απόφαση και γίνεται η επιλογή του υλικού.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική βιομηχανία θα ήταν κατάλληλα προς συζήτηση χωρισμένα σε κατηγορίες όπως κατασκευή γάστρας, εξοπλισμός και βαφή.

Η πολυπλοκότητα των λειτουργικών αναγκών ενός πλοίου οδηγεί στην χρήση μιας μεγάλης γκάμας υλικών. Τα κατασκευαστικά υλικά είναι κατάλληλα στο να διασφαλίζουν δομική και υδατοστεγή ακεραιότητα, καθώς επίσης να πραγματοποιούν τους αντικειμενικούς και λειτουργικούς στόχους του πλοίου, όπως να μεταφέρουν φορτίο ή ανθρώπους. Επιπλέον, τα κατασκευαστικά υλικά προϋποθέτουν και την υποστήριξη των μηχανημάτων και του εξοπλισμού ενός πλοίου. Τα πλοία κατά κύριο λόγο είναι φτιαγμένα από μέταλλο. Διάφορες κατηγορίες από χάλυβα επικρατούν, ωστόσο και το αλουμίνιο χρησιμοποιείται κάποιες φορές για το χτίσιμο υπερκατασκευών προς όφελος του βάρους και της ευστάθειας του πλοίου που είναι πολύ κρίσιμοι παράγοντες.

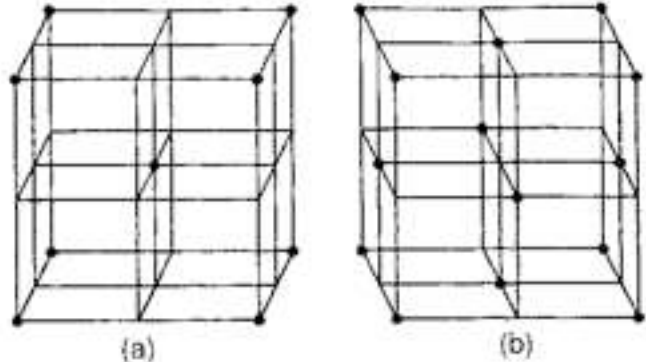
Ο εξοπλισμός ενός πλοίου απαιτεί να εκτελεί μια μεγάλη ποικιλία λειτουργιών, όπως πρόωση κεντρικού τμήματος, υπηρεσίες ενδίαιτησης και αντλιών. Εντός του περιβλήματος οι βασικές κατηγορίες είναι μηχανολογικές, σωληνώσεις, (θέρμανση, εξαερισμός, κλιματισμός), ηλεκτρικά, διαμονή, εξαρτήματα καταστρώματος, εξοπλισμό διαχείρισης φορτίου (γερανοί) και μαχητικά συστήματα πολεμικών πλοίων. Κάποια από τα συνθετικά που χρησιμοποιούνται στον εξοπλισμό του πλοίου, αγοράζονται από εξωτερικούς εμπόρους και εγκαθίστανται από ναυπηγούς. Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται και βασικές μηχανές, γεννήτριες, μηχανές, τρόμπες, βαλβίδες, στρόφαλοι, σφήνες, τάκοι, δέστρες και υδατοστεγής πόρτες. Μια δεύτερη κατηγορία στοιχείων εξοπλισμού κατασκευάζονται σε τμήματα εντός ναυπηγείου από πρώτες ύλες όπως μέταλλο, είτε από υλικά αγορασμένα σε μεγάλο όγκο (bulk), όπως σωλήνες, ηλεκτρικά καλώδια, σωληνώσεις, συνδετικά υλικά και μονωτικά. Διάφοροι τύποι υλικών βαψίματος, υλικά κάλυψης επιφανειών και υλικά προετοιμασίας επιφανειών χρησιμοποιούνται επίσης. Αυτά τα υλικά είναι πιθανότερο να αγοραστούν από το να κατασκευαστούν στο ναυπηγείο. Η σημαντικότητα των υλικών περιβλήματος και βαφής, ακολουθούν παρακάτω.

## 2. Δομή Μετάλλων

Τα μέταλλα βρίσκονται στη φύση ως χημικές συστάσεις. Αυτές οι χημικές συστάσεις ή μεταλλεύματα, πρέπει να διυλιστούν ώστε να παραχθούν καθαρά μέταλλα ή συνδυασμοί μετάλλων και άλλων στοιχείων που κατέχουν ιδιότητες οι οποίες τα καθιστούν χρηστικά ως δομικά υλικά. Η διύλιση και χρήση των μετάλλων αλλάζει τις ιδιότητες τους, έτσι ώστε να είναι χρήσιμα και να θεωρούνται μεταλλεύσιμα ως δομικά μέταλλα, αντιλαμβάνοντας τις ιδιότητες και τις επιπτώσεις των διαδικασιών κατασκευής.

Η παραγωγή και η χρήση μετάλλων για κατασκευή προϋποθέτει αλλαγές στο υλικό από την αρχική του κατάσταση μέσω θερμάνσεων και πιέσεων όπου και υγροποιείται. Όταν ένα υγροποιημένο μέταλλο αφήνεται να ψυχθεί, τα άτομα χάνουν την ενέργεια τους και για αυτό το λόγο μόνο σε μια υγρή κατάσταση εκδηλώνεται η ελευθερία των κινήσεων του ατόμου. Η διαμόρφωση ενός στερεού από ένα υγρό μέταλλο είναι μια διαδικασία (χύτευση) στην οποία τα άτομα αναλαμβάνουν σχετικά δύσκαμπτες και ισόχωρες διατάξεις με σεβασμό το ένα στο άλλο. Εάν οι διατάξεις αυτές είναι γεωμετρικές, το μέταλλο αυτό ονομάζεται κρυσταλλικό και η δομή του ατόμου ονομάζεται πλέγμα. Όλα τα μέταλλα και κράματα μετάλλων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή γαστρών είναι κρυσταλλικά σε στερεά μορφή.

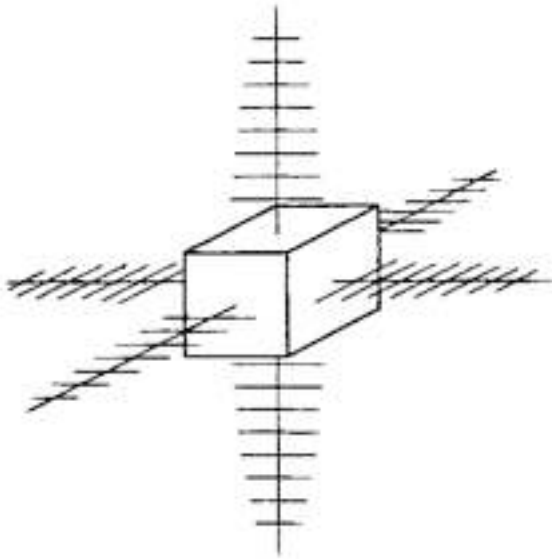
Η διάταξη των ατόμων ενός στερεού μετάλλου μπορεί να λάβει πολλές μορφές. Αυτές οι μορφές μπορούν να περιγραφούν κατάλληλα με τον έλεγχο μίας ομάδας από άτομα, τα οποία όταν επανειλημμένα κινούνται διαδοχικά σε τρεις κατευθύνσεις, σχηματίζουν ένα κρύσταλλο. Η πλέον διαδεδομένη μορφή μίας ομάδας μετάλλων που χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική είναι η κυβική και μπορεί να είναι είτε body-centered είτε face-centered. Η body-centered κυβικού πλέγματος, απαρτίζεται από ένα άτομο σε κάθε γωνία του κύβου και ένα στο κέντρο του, είναι η διάταξη του χρωμίου, βολφραμίου και μολυβδαινίου. Το αλουμίνιο, ο χαλκός και το νικέλιο είναι face-centered κύβοι, με ένα άτομο σε κάθε γωνία του κύβου και μία στο κέντρο κάθε πλευράς του. Ο σίδηρος είναι μοναδικός ανάμεσα στα συνήθεις κατασκευαστικά μέταλλα, δεδομένου ότι μετασχηματίζεται από face-centered σε body-centered κατά τη διάρκεια χαμηλών ψύξεων και συγκεκριμένα αυτό παρατηρείται στους  $910^{\circ}\text{C}$ .



Σχ. 1. Διάταξη ατόμων σε κυβικά πλέγματα  
(a) χωροκεντρωμένη. (b) εδροκεντρωμένη

Η δομή του κρυσταλλικού πλέγματος μόλις περιγράφηκε για ενός στοιχείου κρυστάλλου. Η παρουσία περισσοτέρων από ένα στοιχείο αλλάζει την κατάσταση σε έναν από τους δύο τρόπους. Τα άτομα του δεύτερου στοιχείου μπορούν απλώς να πάρουν τις θέσεις των πρώτων στοιχείων μέσα στο ίδιο δομικό πλέγμα αλλιώς τείνουν να προσεγγίσουν θέσεις ανάμεσα σε άλλα άτομα (διάκενα) μέσα στο πλέγμα. Η διαμόρφωση της δομής αυτής ονομάζεται δευτερεύουσα λύση και είναι η δεύτερη ενδιαφέρουσα λύση. Το νικέλιο, μαζί με σίδηρο, συνήθως είναι δευτερεύουσα λύση, καθώς το ανθρακόνημα, το υδρογόνο και το άζωτο είναι η ενδιαφέρουσα λύση μαζί με το σίδηρο.

Ο μηχανισμός διαμόρφωσης ενός στερεού μετάλλου από υγρό είναι πολυσύνθετος. Τα μέταλλα συνήθως υπερψύχονται ή ψύχονται κάτω από το σημείου ψύξης, χωρίς να στερεοποιούνται. Συνεπώς, υπάρχουν δύο θερμοκρασίες που καθορίζουν την κατάσταση του μετάλλου. Αυτές είναι η liquidus, στην οποία όλα τα μέταλλα υγροποιούνται, και η solidus, στην οποία όλα τα μέταλλα στερεοποιούνται. Μεταξύ αυτών των δύο θερμοκρασιών, το μέταλλο είναι εν μέρη υγρό και εν μέρη στερεό. Αυτές οι θερμοκρασίες είναι μια συνάρτηση της σύστασης των μετάλλων. Η στερεοποίηση γίνεται εμπύρηντα και σχηματίζεται γύρω από τον στερεό πυρήνα με τη μορφή υφάσματος. Οι πρώτοι στερεοί κρύσταλλοι από ένα λιωμένο μέταλλο σχηματίζονται στα σημεία που είναι ελαφρώς δροσερότερα σε σχέση με το μέσο όρο και είναι τυχαίες ομάδες από στερεοποιημένα άτομα. Οι πρώτοι κρύσταλλοι ονομάζονται nuclei (πυρήνες) και συμπεριφέρονται σαν σπόροι για περεταίρω στερεοποίηση. Μικρές στέρεες ριπές μπορούν να έχουν προϋποθέσεις για αρχικά σημεία σχηματισμού nuclei.

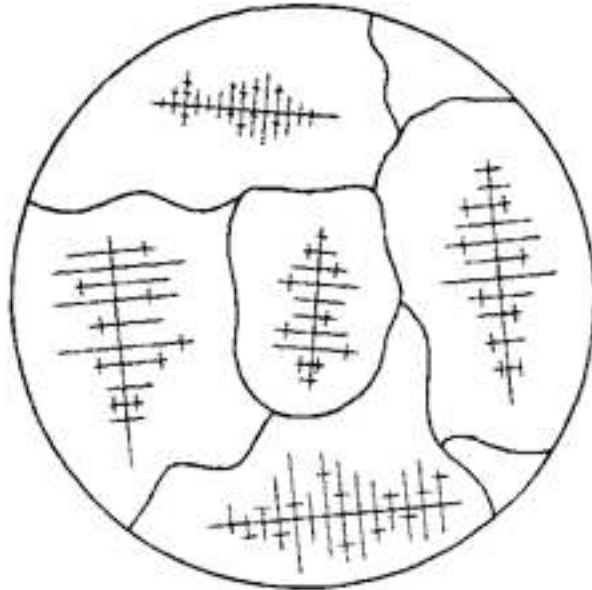


Σχ. 2. Σχήμα δένδρικής ανάπτυξης κρυστάλλων

Οι κρύσταλλοι μεγαλώνουν από ενώσεις ατόμων που βρίσκονται στο ίδιο πλέγμα. Η ανάπτυξη τους προχωρά προνομιακά σε διάφορες κατευθύνσεις, μέχρις ότου τα άτομα να μπορούν να προσδεθούν σε άλλα άτομα από παράλληλα πλέγματα. Η προνομιακή ανάπτυξη γίνεται κατακόρυφα στα πρόσωπα του υπάρχοντα κύβου. Το αποτέλεσμα αυτής της ανάπτυξης είναι σε σχήμα δέντρου και απαρτίζεται από κλαδιά με ορθές γωνίες μεταξύ τους. Αυτοί οι τύποι κρυστάλλων ονομάζονται δεντρίτες. Όσο η ανάπτυξη αυξάνει, τα κλαδιά μεγαλώνουν και παχύνουν και οι χώροι μεταξύ των κλαδιών γεμίζουν από στερεοποιημένο υγρό. Τυχαίες κατευθύνσεις των αξόνων για διαφορετικούς κρυστάλλους έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία πολλών κρυστάλλων. Αυτοί οι κρύσταλλοι έρχονται σε επαφή μέσω μίας διαχωριστικής μεμβράνης όπου κρατιούνται σε επαφή από ατομικές ελκυστικές δυνάμεις. Η διαδικασία της στερεοποίησης έχει σημαντικές επιπτώσεις στις μηχανικές ιδιότητες του υλικού.

### 3. Διάγραμμα φάσεων σιδήρου

Τα κράματα μετάλλων είναι μέταλλα μορφοποιημένα από ενώσεις δύο ή περισσοτέρων στοιχείων. Η συμπεριφορά τους είναι διαφορετική από τα καθαρά μέταλλα κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης. Ακόμη παρατηρείτε ότι έχουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες, οι οποίες επηρεάζουν την χρήση τους. Η κυριότερες μεταβλητές ελέγχου αφορούν τη σύνθεση των κραμάτων, τη θερμοκρασία και τη μηχανική ή θερμική μεταχείριση που έχει προέλθει από την κατασκευή τους. Οι βασικές πληροφορίες που σχετίζονται με την ισορροπημένη θερμοκρασία και τη σύσταση των κραμάτων αυτών μπορεί να παρουσιαστεί από ένα διάγραμμα φάσεων. Το διάγραμμα φάσεων είναι ο διαγραμματικός σχεδιασμός της θερμοκρασίας έναντι της σύστασης του κράματος που μας απασχολεί. Τα διαγράμματα φάσεων δεν μπορούν να προϋπωθούν θεωρητικά, αλλά προκύπτουν συνήθως από εργαστηριακές διερευνήσεις. Η διεξαγωγή αυτών των πειραμάτων εμπεριέχει τον προσδιορισμό των σημείων τήξης και ψύξης για διάφορες κραματικές συστάσεις ή τον προσδιορισμό του διαγράμματος των καμπυλών ρευστοποίησης και στερεοποίησης σε σχέση με τη σύσταση του κάθε κράματος. Για κάθε κράμα, υπάρχει μία σύνθεση η οποία παγώνει σε χαμηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο κράμα. Αυτό το κράμα με το χαμηλότερο σημείο τήξης λέγεται ευτηκτικό.



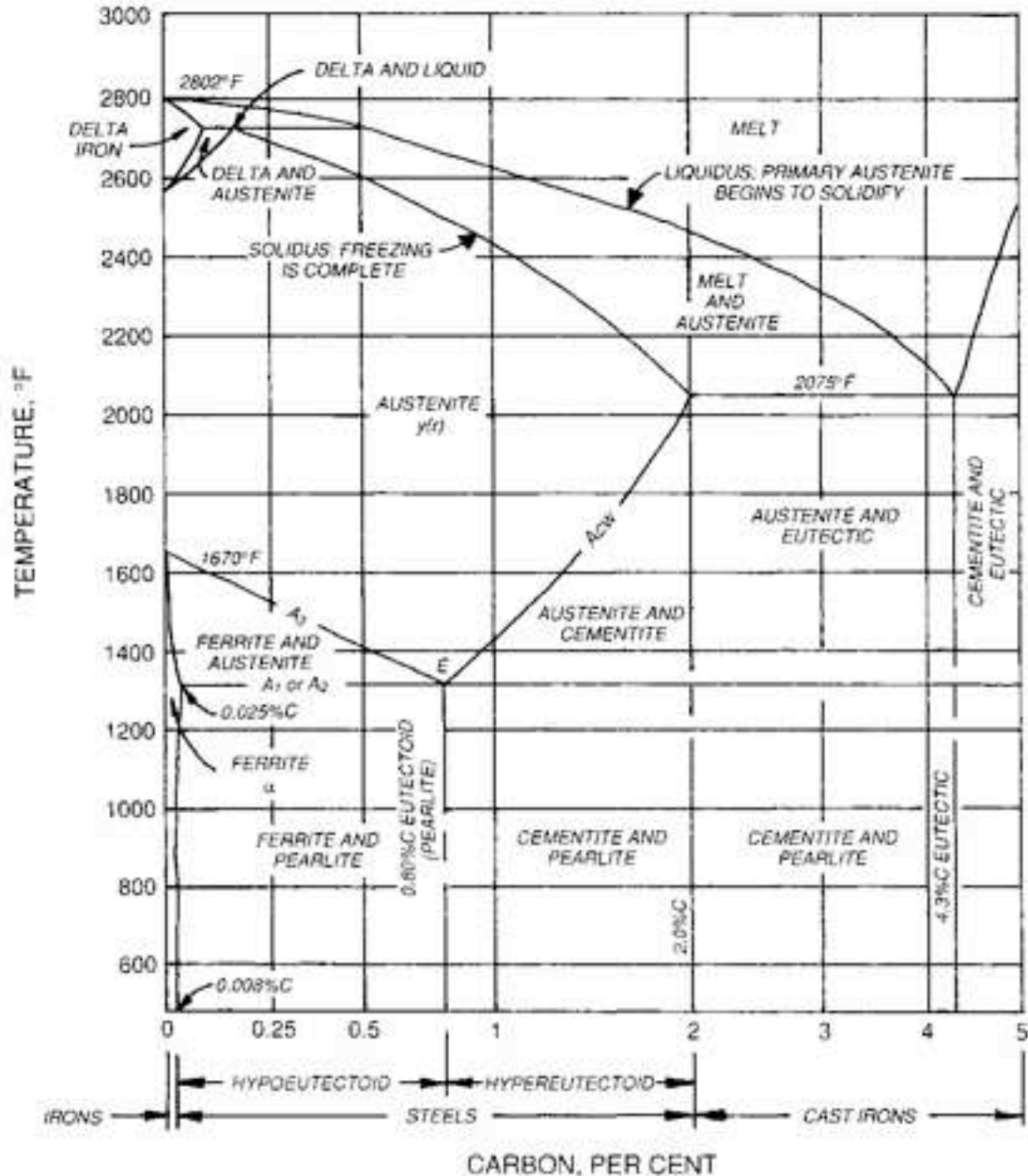
Σχ. 3. Όρια κόκκων των δένδριτικών κρυστάλλων

Από τότε που ο χάλυβας είναι το κύριο κράμα μετάλλου που χρησιμοποιείται στην κατασκευή της γάστρας παρουσιάζεται μια λεπτομερής ανάλυση από τη φάση διαγράμματος. Ο καθαρός σίδηρος είναι σχετικά ασθενές και εύπλαστο μέταλλο και σπάνια χρησιμοποιείται σε κατασκευές. Η προσθήκη μικρών ποσοτήτων άνθρακα (και πιθανόν και άλλων στοιχείων) παρασκευάζει χάλυβα με εμφανώς πιο ευνοϊκές μηχανικές ιδιότητες που έχουν ως αποτέλεσμα να γίνει (ο χάλυβας) το πιο σημαντικό κατασκευαστικό υλικό. Από τη στιγμή που ο άνθρακας είναι το κυρίαρχο στοιχείο του κράματος, ο σίδηρος/ καρβίδιο του σιδήρου, θα αναλυθεί στο διάγραμμα φάσης. (σχήμα 4)

Σε διάλυμα καθαρού σιδήρου προστίθεται άνθρακας μέχρι 2%. Όπως δίνει το διάγραμμα 4 ο χάλυβας είναι σίδηρος με πιθανό μέγιστο περιεχόμενο 2% άνθρακα. Η σταθεροποίηση του χάλυβα πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες μεταξύ των γραμμών ρευστοποίησης και στερεοποίησης στο διάγραμμα 4. Το ευτηκτικό κράμα δηλαδή, το κράμα με το χαμηλότερο σημείο ρευστοποίησης, περιέχει 4,3% άνθρακα και λιώνει στους 2075<sup>o</sup>F. Αυτό το κράμα είναι χυτοσίδηρος και δεν χρησιμοποιείται σαν κατασκευαστικό υλικό στην ναυπηγική. Ο χάλυβας επίσης υποβάλλεται σε αλλαγές φάσεις σε θερμοκρασίες κάτω από το χαμηλότερο σημείο ρευστοποίησης. Αυτές οι αλλαγές παίρνουν μέρος σε συμπαγή χάλυβα και έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις μηχανικές του ιδιότητες.

Ο καθαρός σίδηρος υπάρχει σε τρεις στερεές φάσεις, οι οποίες είναι άλφα σίδηρος (alpha iron) από θερμοκρασία δωματίου μέχρι 1670<sup>o</sup>F, γάμα σίδηρος (gamma iron) από 1670<sup>o</sup>F μέχρι 2550<sup>o</sup>F, και δέλτα σίδηρος (delta iron) από 2550<sup>o</sup>F μέχρι το σημείο ρευστοποίησης των 2800 F. Άλφα και δέλτα σίδηρος είναι χωροκεντρικοί (body-centered) κυβικοί κρύσταλλοι, ενώ ο γάμα σίδηρος είναι ενδοκεντρικοί (face-centered) κύβοι. Ο στερεός χάλυβας όπως κρυσταλλώνει από στερεή θερμοκρασία, περνάει σε μία από τις τρεις πιθανές φάσεις: οστενίτης, φερρίτης ή σεμεντίτης. Σε υψηλές θερμοκρασίες (βλ. σχήμα 4), ο στερεός χάλυβας είναι οστενίτης, ένα στερεό διάλυμα από άνθρακα στον γάμα σίδηρο. Καθώς η ψύξη συνεχίζεται σε κράματα με λιγότερο από 0,8% άνθρακα το στερεό διάλυμα σχηματίζει κρυστάλλους από άλφα σίδηρο περιέχοντας περίπου 0,02% διαλυμένου άνθρακα. Ο εναπομείναντας γάμα σίδηρος εμπλουτίζεται σε άνθρακα (μέχρι 0,8%) και κατά τη διάρκεια της ψύξης μετατρέπεται σε μία κατασκευή αποτελούμενη από

μια μίξη από άλφα σίδηρο και κρυστάλλους καρβιδίου του σιδήρου (βλ. σχήμα 5). Σε χάλυβες με ποσοστό μεγαλύτερο από 0,8% άνθρακα, εμφανίζονται αρχικά κρύσταλλοι καρβιδίου του σιδήρου. Ο εναπομείναντας γάμα σιδήρος πέφτει σε μίγμα άνθρακα (μέχρι 0,8%) και μετατρέπεται σε μία μίξη άλφα σιδήρου και κρυστάλλου καρβιδίου του σιδήρου. Ο άλφα σίδηρος ο οποίος περιέχει περίπου 0,02% αδιάλυτο άνθρακα ονομάζεται φερρίτης, το καρβίδιο σιδήρου ονομάζεται σεμεντίτης και η μίξη φερρίτη και σεμεντίτη ονομάζεται περλίτης. Ο περλίτης στην πραγματικότητα αποτελείται από εναλλασσόμενες λεπτές πλάκες από φερρίτη και σεμεντίτη.

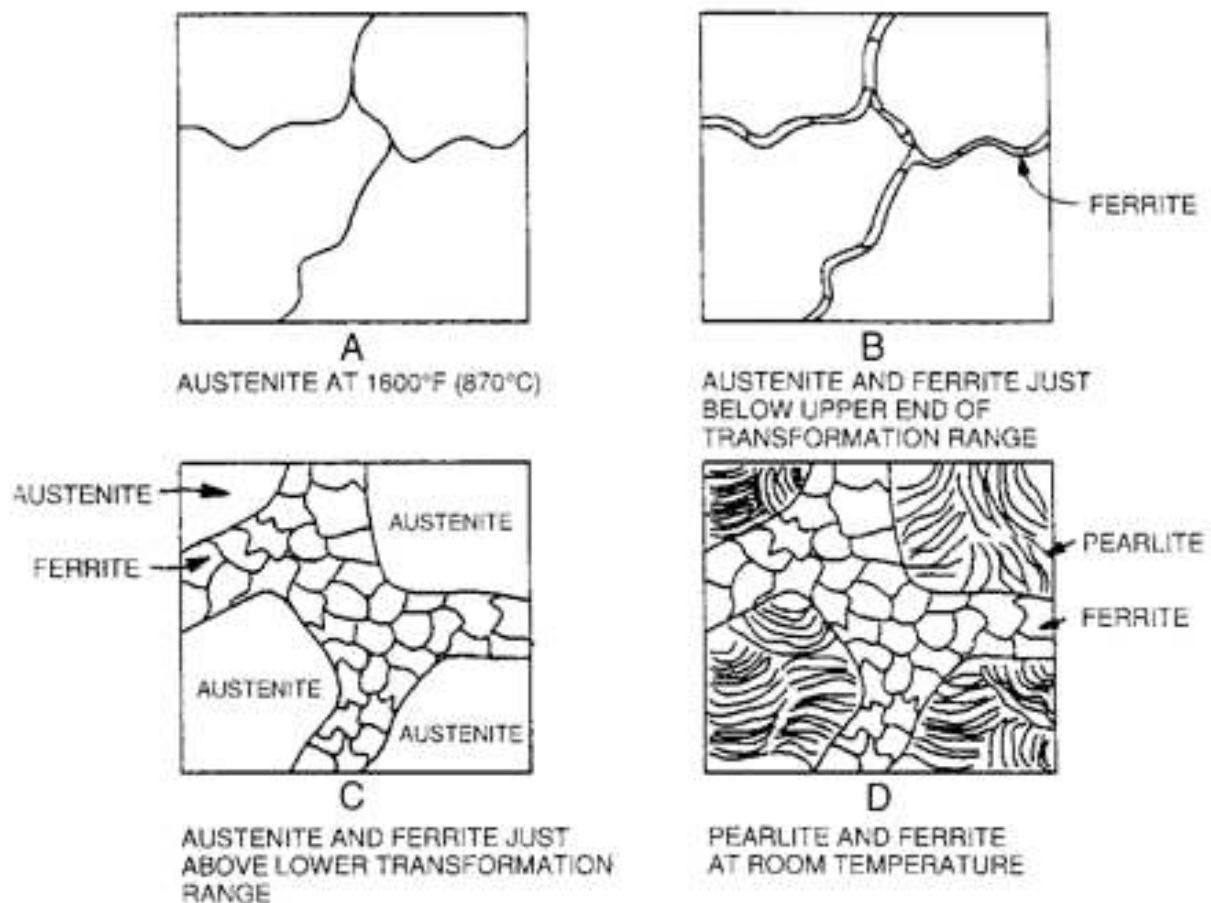


Σχ. 4. Διάγραμμα φάσης: Σίδηρος/Καρβίδιο του σιδήρου

Η διαδικασία στερεοποίησης που απεικονίζεται στο σχήμα 4 και περιγράφεται παραπάνω, συμβαίνει κατά τη διάρκεια αργής ψύξης. Η φάση στερεών μετατροπών συνοδεύεται από μεταβολές όγκου. Η παρέκκλιση από αργή ψύξη παράγει αλλαγές στο μέγεθος και την ανάπτυξη των κόκκων. Οι μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα μπορούν να ελεγχθούν και να διαφοροποιηθούν αλλάζοντας τη διαδικασία ψύξης.



Απότομη ψύξη του οστενίτη μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την καταστολή της κατάστασης ισορροπίας για το σχηματισμό του φερρίτη ή του σεμεντίτη. Το αποτέλεσμα μπορεί να περιγραφεί ως υπερπληρωμένο διάλυμα άνθρακα στο φερρίτη. Αυτό το διάλυμα ονομάζεται μαρτενσίτης, το βασικό συστατικό των σκληρών χάλυβων. Η παρουσία άλλων στοιχείων σε σχέση με τον άνθρακα μπορούν να δημιουργήσουν ιζήματα μαρτενσίτη στο χάλυβα. Μπορεί να σχηματιστεί μία τρίτη μίξη φερρίτη και σεμεντίτη (επιπροσθέτως στον περλίτη και στον μαρτενσίτη). Αυτή η μίξη, που ονομάζεται μπενίτης, έχει ιδιότητες μεταξύ περλίτη και μαρτενσίτη και γενικά δημιουργείται στην ταχύτητα ψύξης μεταξύ εκείνης του περλίτη και του μαρτενσίτη.



Σχ. 5. Δομικές αλλαγές στον χάλυβα (0,40% άνθρακα) κατά την αργή ψύξη

## 4. Ο χάλυβας στη Ναυπηγική

Οι κοινοί χάλυβες ή χάλυβες συνήθους αντοχής (mild steel or carbon steels) αποτελούν την πιο διαδεδομένη ομάδα ναυπηγικών χαλύβων, με ιδιότητες που εξαρτώνται κυρίως από τη χημική τους σύσταση και τη μικροδομή τους (συνήθως φερριτική). Εκτός από άνθρακα, που περιέχεται σε ποσοστό κατά βάρος μέχρι και 0,23 %, οι χάλυβες αυτοί περιέχουν σε διάφορα ποσοστά μαγγάνιο, πυρίτιο, φώσφορο και θείο, ενώ διάφορα άλλα στοιχεία μπορεί να συνυπάρχουν σε μικρότερες ποσότητες. Σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι η πολύ καλή έως εξαιρετική συγκολλητότητά τους.

Σε ευρεία χρήση συναντώνται και χάλυβες υψηλής αντοχής (high strength steels), με όριο διαρροής που μπορεί να φτάσει τα 350 MPa. Χρήση των χαλύβων αυτών οδηγεί σε δυνατότητα μείωσης των παχών των στοιχείων αντοχής, άρα και του βάρους μιας ναυπηγικής κατασκευής λόγω των υψηλότερων τιμών των επιτρεπομένων τάσεων. Η βασική διαφορά τους από τους συνήθεις χάλυβες έγκειται στην προσθήκη ειδικών στοιχείων, αλουμίνιο, νιόβιο και βανάδιο, τα οποία βελτιώνουν τις μηχανικές τους ιδιότητες.

Σε ειδικές κατασκευές είναι δυνατή η χρήση μικροκραματοποιημένων χαλύβων υψηλής αντοχής (high strength low alloy steels) με όρια διαρροής από 415 MPa μέχρι και 690 MPa. Για την επίτευξη των υψηλών αυτών αντοχών, οι χάλυβες αυτοί εμπεριέχουν ειδικές προσμίξεις (χρώμιο, νικέλιο κ.λ.π.) και υφίστανται ειδικές θερμικές κατεργασίες (συνήθως βαφή και επαναφορά).

Οι χάλυβες γενικά μπορούν να χωριστούν σε τρεις τύπους: περλιτικός, μαρτενσιτικός και οστενιτικός. Περλιτικοί χάλυβες, ή μαλακοί χάλυβες, έχουν σημαντικές ιδιότητες και είναι γενικά εύκολο να παραχθούν να χειριστούν και να χυτευθούν. Οι μαρτενσιτικοί χάλυβες παράγονται με διαδικασίες που περιλαμβάνουν βαφή και επαναφορά. Μπορούν επίσης να έχουν επιπρόσθετα κράματα. Αυτοί οι χάλυβες είναι χάλυβες υψηλότερης αντοχής, έχοντας μηχανικές ιδιότητες που είναι ανώτερες από τους χάλυβες περλίτη. Οι διαδικασίες χύτευσης παρ' όλα αυτά είναι πιο περίπλοκες για τους μαρτενσιτικούς χάλυβες με σκοπό να αποφευχθεί η φθορά των ιδιοτήτων. Μία τρίτη γενική κατηγορία χάλυβα, η οστενιτικοί χάλυβες, φτιάχνονται περιλαμβάνοντας σχετικά μεγάλες ποσότητες κραμάτων όπως το νικέλιο και το μαγγάνιο. Αυτοί οι χάλυβες, που περιλαμβάνουν τους ανοξειδωτους χάλυβες έχουν σημαντικές ιδιότητες ενάντια στη διάβρωση αλλά επίσης απαιτούν ειδικές διαδικασίες χύτευσης.

### 4.1 Ιδιότητες του χάλυβα

Η μεγάλη αξία του χάλυβα ως κατασκευαστικό μέταλλο βασίζεται σε ορισμένες ιδιότητες. Αυτές μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- Αντοχή και ολκιμότητα
- Αντοχή σε θραύση
- Αντοχή σε κόπωση
- Αντοχή στη διάβρωση

Αυτές οι ιδιότητες εξαρτώνται από τα συστατικά και τις διαδικασίες παραγωγής του χάλυβα και μπορεί να επηρεάσουν τη χύτευση και τον χειρισμό.

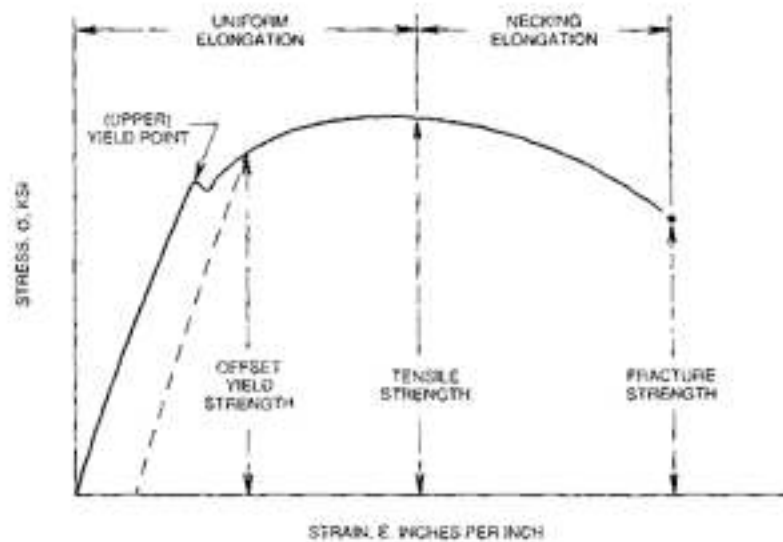
#### 4.1.2 Αντοχή και ολκιμότητα

Η αντοχή ενός μετάλλου γενικά αναφέρεται σε μια καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης, όπως αυτή που δείχνει το σχήμα 4-6. Το όριο διαρροής μετριέται σε ένα τυχαίο ποσό μιας μόνιμης πλαστικής παραμόρφωσης ή στο σημείο στο οποίο συμβαίνει η πλαστική παραμόρφωση χωρίς να υπάρχει αύξηση στο φορτίο. Όταν υπάρχει ένα τέτοιο σημείο, αυτό αποκαλείται σημείο διαρροής. Η ολκιμότητα γενικά δίνεται είτε με ποσοστό επιμήκυνσης είτε με ποσοστό ελάττωσης σε σημείο. Και η καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης, και τα δύο μέτρα ολκιμότητας προσδιορίζονται από ένα στάνταρ τεστ έντασης. Αυτό το τεστ περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός μονοαξονικού φορτίου σε ένα λείο δείγμα με σκοπό να παραχθεί παρατεταμένη πλαστική ροή και τελικά κατάσταση θραύσης, λόγω όλκιμης διάτμησης. Όπως μαρτυρά τα όνομά τους οι χάλυβες υψηλής αντοχής (με μικροδομή από μαρτενσίτη και μπενίτης) έχουν υψηλότερη

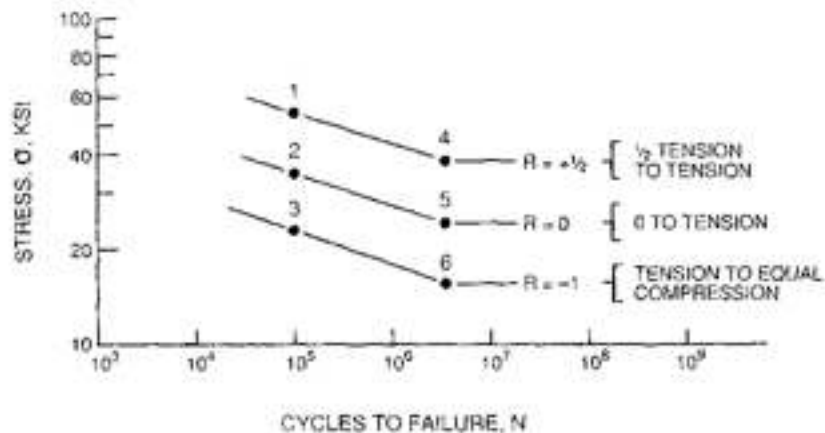
απόδοση αντοχής και καλύτερα χαρακτηριστικά ολκιμότητας από τους μαλακούς χάλυβες (φτιαγμένοι από περλίτη και φερρίτη).

#### 4.1.3 Αντοχή σε θραύση

Εκτός από την αποτυχία που ακολουθείται από την πλαστική ροή, ο χάλυβας είναι ευαίσθητος σε θραύση, της οποίας δεν προηγείται κάποια άμεση εμφανής πλαστική ροή. Η ψαθυρές θραύσεις μεταδίδονται σε μεγάλες ταχύτητες. Μερικά τελείως συγκολλημένα χαλύβδινα καράβια υπέφεραν σοβαρές αστοχίες ψαθυρών θραύσεων κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, και στη συνέχεια αναπτύχθηκαν εκτεταμένες έρευνες γι αυτό το φαινόμενο. Οι ψαθυρές θραύσεις μπορούν να προκληθούν από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, την τιμή της τάσης, αλλά και του μεγέθους της ρηγμάτωσης σε συνάρτηση με τα φαινόμενα μεγέθους. Από τη στιγμή που οι χαμηλές θερμοκρασίες είναι συνδεδεμένες με την ψαθυρή θραύση, οι άλλοι παράγοντες προσμετρούνται για τη χρήση τους στη θερμοκρασία μετάπτωσης. Αυτή η προσέγγιση είναι βασισμένη στον προσδιορισμό μιας αντίστοιχης θερμοκρασίας στην οποία ο μηχανισμός θραύσης αλλάζει από ελατός σε εύθραυστος.



Σχ. 6. Καμπύλη Πίεσης-Τάσης



Σχ. 7. S-N διάγραμμα αποτελεσμάτων δοκιμών κόπωσης

Τα χαρακτηριστικά των εύθραυστων θραυσμάτων ή της αντοχή σε θραύση προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας το τεστ Charpy V-notch. Αυτό το τεστ περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός ευλύγιστου φορτίου σε ένα δείγμα του τεστ που έχει ένα V-notch. Η αξία αντίκτυπου Charpy V-notch, συνήθως εκφραζόμενη σε πόδια-λίβρες είναι το φορτίο που απαιτείται για να σπάσει το δείγμα του τεστ.

Μία διαφορετική τεχνική ανάλυσης για ψαθυρά θραύσματα ή αντοχής στη θραύση συνήθως υιοθετείται για το χάλυβα υψηλής αντοχής. Αυτή η τεχνική που αποκαλείται προσέγγιση των μηχανισμών θραύσης, χρησιμοποιεί τη γραμμική θεωρία της ελαστικότητας για να παρέχει ένα διαφορετικό κριτήριο θραύσης σε όρους του παράγοντα της έντασης θραύσης. Ο παράγοντας της έντασης του stress σχετίζεται με την εφαρμοσμένη ένταση και του μεγέθους ελατώματος. Αυτός ο παράγοντας πρέπει να προσδιοριστεί πειραματικά για μία δεδομένη κατασκευή. Από τη στιγμή που θα προσδιοριστεί, ο stress intensity factor, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσουμε το συνδυασμό της έντασης του εφελκυσμού και του μεγέθους ελατώματος στο οποίο μία κατασκευή μπορεί να λειτουργήσει ασφαλώς. Η προσέγγιση των μηχανισμών θραύσης απαιτείται από το Ναυτικό των Η.Π.Α για σχέδια ανοχής στις βλάβες των πλοίων υψηλών επιδόσεων.

#### **4.1.4 Αντοχή σε κόπωση**

Η ένταση που ένα μέταλλο μπορεί να αντισταθεί χωρίς να αστοχήσει μειώνεται με την αύξηση του αριθμού των φορών η ένταση εφαρμόζεται. Αυτοί οι παράγοντες απαιτούνται για την έναρξη της αποτυχίας της αντοχής. Αυτοί οι παράγοντες είναι επαρκής στην ένταση υψηλής αντοχής, επαρκής στην υψηλή διακύμανση στην εφαρμοσμένη ένταση, και αρκετά μεγάλος αριθμός κύκλων της εφαρμογής της τάσης. Η αντοχή σε κόπωση αναφέρεται σε ένα S-N σχέδιο, η τάση σε σχέση με τους κύκλους έως το υλικό να διαρρεύσει και να αναπαρασταθεί στη λογαριθμική κλίμακα (σχήμα 7).

#### **4.1.5 Αντοχή στη διάβρωση**

Μία επιπλέον σημαντική ιδιότητα των χαλύβων για να χρησιμοποιούνται σε διαβρωτικά περιβάλλοντα είναι η αντίσταση στη διάβρωση και η επίδραση της διάβρωσης επί της αντοχής. Και οι δύο τύποι, μαλακοί χάλυβες και χάλυβες υψηλής αντοχής υπόκεινται σε διάβρωση και είναι πιθανό να υποστούν μειώσεις αντοχής ως αποτέλεσμα της διάβρωσης. Οι ωστενιτικοί χάλυβες (ανοξειδωτοί χάλυβες), σχεδιασμένοι κυρίως για αντίσταση στη διάβρωση, λειτουργούν με το σχηματισμό ενός παθητικού φιλμ ή οξειδίου στην επιφάνεια που επιβραδύνει περαιτέρω τη διάβρωση. Ο μηχανισμός των μέτρων διάβρωσης και πρόληψης της διάβρωσης για ήπια και υψηλή αντοχή, θα συζητηθεί με περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω.

### **4.2 Τύποι χάλυβα στη Ναυπηγική Βιομηχανία**

Ο συνήθης χάλυβας που χρησιμοποιείται στη αγορά της ναυτιλίας είναι ο μαλακός χάλυβας και ο χάλυβας συνηθισμένης αντοχής. Άνθρακας και άλλα κράματα μετάλλου χρησιμοποιούνται επίσης. Αυτοί οι χάλυβες χρησιμοποιούνται λόγω βελτιωμένων ιδιοτήτων, σε σύγκριση με τον μαλακό χάλυβα, όπως μεγαλύτερη αντοχή, καλύτερη αντοχή στη διάβρωση και υψηλότερη σκληρότητα χάραξης. Οι ιδιότητες αυτών των διαφόρων ποιοτήτων χάλυβα επιτυγχάνονται μέσω διακυμάνσεων στη σύσταση του χάλυβα και των διαδικασιών παρασκευής. Οι χάλυβες που χρησιμοποιούνται για την εμπορική κατασκευή στις Ηνωμένες Πολιτείες έχουν πιστοποιηθεί από το American Bureau of Shipping (ABS). Οι διάφορες ποιότητες του μαλακού χάλυβα παρατίθενται στον Πίνακα 1, που λαμβάνονται από τους κανόνες του ABS. Οι κανόνες αυτοί καθορίζουν τη διαδικασία παραγωγής, τη χημική σύνθεση, την αντοχή σε εφελκυσμό, τα αποτελέσματα των δοκιμών Charpy V-notch, και θερμική επεξεργασία. Οι απαιτήσεις του ABS σε αυτές τις ίδιες κατηγορίες για χάλυβες υψηλής αντοχής που παρατίθενται στον Πίνακα 2.

Οι χάλυβες υψηλής αντοχής έχουν αναπτυχθεί ειδικά για χρήση σε ναυτικές κατασκευές. Σε γενικές γραμμές, αυτοί οι χάλυβες, που ονομάζονται HY-80, HY-100 και ANA-100 έχουν ιδιότητες αντοχής καθ' υπέρβαση των εμπορικών ποιότητας χαλύβων υψηλής αντοχής. Ο πίνακας 3 παρέχει μερικές από τις ιδιότητες αυτές και άλλες ποιότητες χάλυβα υψηλής αντοχής διαθέσιμες για χρήση στη ναυπηγική βιομηχανία.

Τα σημαντικότερα ζητήματα για την επιλογή του χάλυβα για τη ναυπηγική βιομηχανία είναι οι ιδιότητες του χάλυβα, η ευκολία χρήσης στην κατασκευή, η διαθεσιμότητα και το κόστος. Ο μαλακός χάλυβας είναι κυρίαρχος στη ναυπήγηση εμπορικών πλοίων, λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους, της άμεσης διαθεσιμότητας και της ευκολίας συγκόλλησης. Οι χάλυβες υψηλότερης αντοχής βρίσκουν σημαντική εφαρμογή στη ναυτική κατασκευή πλοίων λόγω των σχεδιαστικών περιορισμών, ιδιαίτερα της ανάγκης να ελέγξουν το βάρος, χωρίς τη μείωση της αντοχής.

Το πρωταρχικό μέλημα στην ευκολία χρήσης είναι η συγκόλληση. Η επιλογή του ηλεκτροδίου συγκόλλησης είναι κρίσιμη σε οποιαδήποτε διαδικασία συγκόλλησης. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να επιτευχθεί μία συγκόλληση με ισοδύναμα χαρακτηριστικά αντοχής στο βασικό μέταλλο. Αφού μικρές ατέλειες είναι πιθανό να συμβούν στην παραγωγική συγκόλληση, συγκολλήσεις συχνά σχεδιάζονται και συγκολλητικά ηλεκτρόδια έχουν επιλεγεί που θα παράγουν συγκολλήσεις με ιδιότητες μεγαλύτερες από εκείνες του βασικού μετάλλου. Εκτός από την κατάλληλη επιλογή του ηλεκτροδίου, απαιτείται συχνά η προθέρμανση του βασικού μετάλλου, ειδικά κατά την συγκόλληση χαλύβων υψηλής αντοχής.

Προκειμένου να μειωθεί η ανάγκη για αυστηρό έλεγχο της διαδικασίας συγκόλλησης και, συνεπώς, να μειωθεί το κόστος που συνδέεται με συγκόλληση τη HY-80, έχει διεξαχθεί έρευνα για την ανάπτυξη νέων χαλύβων υψηλής αντοχής. Το αποτέλεσμα αυτής της έρευνας είναι ένα φερριτικός χάλυβας, που ονομάζεται υψηλής αντοχής και χαμηλής περιεκτικότητας σε κράματα (HSLA –high-strength low-alloy-) χάλυβα. Αυτός ο χάλυβας ουσιαστικά αντικαθιστά τον HY-80, δεδομένου ότι διαθέτει ισοδύναμες ιδιότητες, αλλά μπορεί να συγκολληθεί με έναν τρόπο παρόμοιο με του μαλακού χάλυβα. Η χρήση του χάλυβα HSLA στις ναυπηγικές κατασκευές ξεκίνησε το 1984.

Πίνακας 1. Απαιτήσεις για συνήθους αντοχής κατασκευαστικό χάλυβα γάστρας

Grades	A	B	D	E	DS	CS
Deoxidation	Any method except rimmed steel for plates over 12.5 mm (0.5 in.)	Any method except rimmed steel	Fully killed fine-grain practice <sup>2</sup> (See 43.3.2d)	Fully killed fine-grain practice (See 43.3.2d)	Fully killed fine-grain practice (See 43.3.2d)	Fully killed fine-grain practice (See 43.3.2d)
Chemical Composition (Ladle Analysis)	For all grades exclusive of Grade A shapes and bars the carbon content + 1/6 of the manganese content is not to exceed 0.40%. The upper limit of manganese may be exceeded up to a maximum of 1.65% provided this condition is satisfied.					
Carbon %	0.23 max <sup>1</sup>	0.21 max.	0.21 max	0.18 max.	0.16 max.	0.16 max.
Manganese %	2.5x carbon min. for plates over 12.5 mm (0.5 in.)	0.80–1.10 0.60 min. for fully killed or cold flanging	0.70–1.35 0.60 min. for thickness 25 mm (1.0 in.) and under	0.70–1.35	1.00–1.35	1.00–1.35
Phosphorus %	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.
Sulphur %	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.04 max.
Silicon %		0.35 max.	0.10–0.35	0.10–0.35	0.10–0.35	0.10–0.35
<b>Tensile Test</b>						
Tensile strength	For all Grades: 41–50 kg/mm <sup>2</sup> (58,000–71,000 psi); for Grade A shapes 41–56 kg/mm <sup>2</sup> (58,000–80,000 psi). For cold flanging quality: 39–46 kg/mm <sup>2</sup> (55,000–65,000 psi)					
Yield Point, min.	For all Grades: 24 kg/mm <sup>2</sup> (34,000 psi); for Grade A over 25.0 mm (1.0 in.) in thickness 23 kg/mm <sup>2</sup> (32,000 psi). For cold flanging quality: 21 kg/mm <sup>2</sup> (30,000 psi)					
Elongation, min.	For all Grades: 21% in 200 mm (8 in.) (See 43.3.4d and 43.3.4e) or 24% in 50 mm (2 in.) (for specimen, see Figure 43.2) or 22% in 5.65 $\sqrt{A}$ (A equals cross-sectional area of test specimen). For cold flanging quality: 23% min. in 200 mm (8 in.)					
<b>Impact Test Charpy V-Notch</b>						
Temperature		0°C (32°F) Over 25 mm (1.0 in.)	–10°C (14°F)	–40°C (–40°F)		
Energy avg. min.						
Longitudinal Specimens		2.8 kg-m (20 ft-lbs)	2.8 kg-m (20 ft-lbs)	2.8 kg-m (20 ft-lbs)		
Transverse Specimens		2.0 kg-m (14 ft-lbs)	2.0 kg-m (14 ft-lbs)	2.0 kg-m (14 ft-lbs)		
No. of Specimens		3 from each 50 tons	3 from each 50 tons <sup>3</sup>	3 from each plate		
Heat Treatment			Normalized over 35 mm (1.375 in.) thick <sup>4</sup>	Normalized		Normalized
Marking	$\frac{AB}{A}$	$\frac{AB}{B}$	$\frac{AB^D}{D}$	$\frac{AB}{E}$	$\frac{AB}{DS}$	$\frac{AB}{CS}$

## Πίνακας 2. Απαιτήσεις για υψηλής αντοχής κατασκευαστικό χάλυβα γάστρας

Process of Manufacture: Open Hearth, Basic Oxygen or Electric Furnace

Grades <sup>1</sup>	AH32	DH32	EH32	AH36	DH36	EH36
Decoxidation	Semi-killed or killed <sup>2</sup>	Killed, fine grain practice <sup>3</sup>	Killed, fine grain practice <sup>3</sup>	Semi-killed or killed <sup>2</sup>	Killed, fine grain practice <sup>3</sup>	Killed, fine grain practice <sup>3</sup>

### Chemical Composition for All Grades (Ladle Analysis)

Carbon, %	0.18 max.	} These elements need not be reported on the mill sheet unless intentionally added.
Manganese, % <sup>2</sup>	0.90-1.60	
Phosphorus, %	0.04 max.	
Sulphur, %	0.04 max.	
Silicon, % <sup>3</sup>	0.10-0.50	
Nickel, %	0.40 max.	
Chromium, %	0.25 max.	
Molybdenum, %	0.05 max.	
Copper, %	0.35 max.	
Columbium, % (Niobium)	0.05 max.	
Vanadium, %	0.10 max.	

### Tensile Test

Tensile Strength	48-60 kg/mm <sup>2</sup> ; 68,000-85,000 psi	50-63 kg/mm <sup>2</sup> ; 71,000-90,000 psi
Yield Point, min.	32 kg/mm <sup>2</sup> ; 45,500 psi	36 kg/mm <sup>2</sup> ; 51,000 psi
Elongation, min.	For All Grades: 19% in 200 mm (8 in.) or 22% in 50 mm (2 in.) (for specimen in Figure 43.2) or 30% in 5.65 √A (A equals area of test specimen).	

Heat Treatment: See Table 43.4

### Impact Test Charpy V-Notch

Temperature	None Required	-20°C (-4°F)	-40°C (-40°F)	None Required	-20°C (-4°F)	-40°C (-40°F)
Energy, avg. min.						
Longitudinal Specimens		3.5 kg-m (25 ft-lb) <sup>6</sup>	3.5 kg-m (25 ft-lb)		3.5 kg-m (25 ft-lb) <sup>6</sup>	3.5 kg-m (25 ft-lb)
or Transverse Specimens		2.4 kg-m (17 ft-lb) <sup>6</sup>	2.4 kg-m (17 ft-lb)		2.4 kg-m (17 ft-lb) <sup>6</sup>	2.4 kg-m (17 ft-lb)
No. of Specimens		3 from each 40 tons	3 from each plate		3 from each 40 tons	3 from each plate
Marking	AB/AH32	AB/DH32 <sup>7</sup>	AB/EH32	AB/AH36	AB/DH 36 <sup>7</sup>	AB/EH36

Πίνακας 3. Ιδιότητες υψηλής αντοχής κατασκευαστικών χαλύβων για το πολεμικό ναυτικό

TYPE	PROPRIETARY GRADES	MIL-S-15216 GR. HY-80	ASTM A543 CL 1	ASTM A543 CL 2	ASTM A517-67 B	MIL-S-13326 CLASS 90	MIL-S-15216 GR. HY-100	MIL-S-13326 CLASS 120
Yield Strength, psi-min	80,000	80,000	85,000	100,000	100,000	90,000	100,000	120,000
Tensile Strength, psi-min.	b	b	105,000	115,000	115,000	b	b	b
Elongation in 2-in.-percent	18	20	16	16	16	No limit spec.	18	No limit spec.
Approx. NDT range-deg F	-40 or lower	-130 or lower	-120 or lower	-90 or lower	-50 or lower	-40 or lower	-100 or lower	-20 or lower
Avail. Thickness range-in.	3/16 to 2 1/2 c	3/16 to 8	3/16 to 4	Over 4	3/16 to 2 1/2	No limit spec.	3/16 to 3	No limit spec.
Relative Cost, Dec. 1963, Ref. ABS Class-B*	2.0	3.5	3.0	3.0	2.0	2.0	3.5	3.5
Heat treatment	Q & T	Q & T	Q & T	Q & T	Q & T	Q & T	Q & T	Q & T
Weldability	Special	Special	Special below 0.21c	Special below 0.21c	Special	Special	Special	Special below 0.21c
CHEMISTRY: Ladle	0.21 Max.	0.18	0.23 Max.	0.23 Max.	0.21 Max.	no Chemistry Specified	0.20	no Chemistry Specified
Min	0.10-0.40	0.10-0.40	0.40 Max.	0.40 Max.	—	0.10-0.40	0.10-0.40	0.10-0.40
P Max	0.040	0.025	0.035	0.035	0.035	no Chemistry Specified	0.025	0.025
S Max	0.040	0.025	0.040	0.040	0.040	no Chemistry Specified	0.025	0.025
Si	—	0.15-0.35	0.20-0.35	0.20-0.35	—	no Chemistry Specified	0.15-0.35	0.15-0.35
Cr	—	1.00-1.80	1.50-2.00	1.50-2.00	—	no Chemistry Specified	1.00-1.80	1.00-1.80
Ni	—	2.00-3.25	2.60-3.25	3.00-4.00	—	no Chemistry Specified	2.25-3.50	2.25-3.50
Mo	—	0.20-0.60	0.45-0.60	0.45-0.60	—	no Chemistry Specified	0.20-0.60	0.20-0.60
V	—	—	0.03 Max.	0.03 Max.	—	no Chemistry Specified	—	—
Cu	—	—	—	—	—	no Chemistry Specified	—	—
Ti	—	—	—	—	—	no Chemistry Specified	—	—
Zr	—	—	—	—	—	no Chemistry Specified	—	—



## 5. Το Αλουμίνιο στην Ναυπηγική

Το αλουμίνιο έχει βρει αυξημένη εφαρμογή ως μέταλλο στη ναυπηγική ως αποτέλεσμα της υψηλής αναλογίας της αντοχής προς το βάρος σε σύγκριση με το χάλυβα. Η εξοικονόμηση βάρους σε σχέση με τις χαλύβδινες κατασκευές μπορεί να φτάσει και το 55-67% για τις ίδιες απαιτήσεις αντοχής. Σημαντικό, επίσης, πλεονέκτημα που προσφέρει το χαμηλό ειδικό βάρος του αλουμινίου είναι η αύξηση της ταχύτητας του πλοίου, καθώς και του μεγέθους του, και κατ'επέκταση της μεταφορικής ικανότητάς του. Αυτό οδηγεί και σε σημαντική οικονομία καυσίμου κατά το χρόνο λειτουργικής ζωής του πλοίου.

Άλλο ένα φυσικό χαρακτηριστικό του αλουμινίου σε σχέση με τον χάλυβα και άλλα μέταλλα, είναι η σημαντική αντίσταση στη διάβρωση, και πιο συγκεκριμένα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα, οι κατασκευές από αλουμίνιο απαιτούν λιγότερο κόστος και χρόνο συντήρησης από τις χαλύβδινες κατασκευές που χρειάζονται ειδικά στρώματα αντιδιαβρωτικής μπογιάς για προστασία.

Μολονότι η χρήση του στις γάστρες των πλοίων έχει περιοριστεί, υπερκατασκευές αλουμινίου είναι αρκετά κοινές τόσο για τη ναυτική όσο και για της εμπορική κατασκευή πλοίου. Όλα τα πλοία από αλουμίνιο είναι κυρίως μικρότερου μεγέθους όπως ψαροκάικα, σκάφη αναψυχής, μικρά επιβατηγά πλοία, κανονιοφόροι και ιπτάμενα δελφίνια. Κατά βάση το αλουμίνιο στη ναυπηγική είναι κράμα, συνήθως με μαγγάνιο, μαγνήσιο, πυρίτιο και ψευδάργυρο. Αυτά τα κράματα προσφέρουν καλή αντοχή στη διάβρωση και συγκολλησιμότητα. Όπως και στο χάλυβα, η συγκόλληση είναι το κοινό μέσο για τη συνένωση τμημάτων αλουμινίου. Η συγκόλληση του αλουμινίου είναι αρκετά κοινή σε ναυπηγεία αλλά, όπως και με τους χάλυβες υψηλής αντοχής, ένας αριθμός παραγόντων πρέπει να εξετάζονται και να ελέγχονται. Τα μεγάλα προβλήματα στην συγκόλληση αλουμινίου είναι η πορώδης συγκόλληση, συρρίκνωση και παραμόρφωση ως αποτέλεσμα της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας και απώλεια της αντοχής στην θερμικά επηρεασμένη ζώνη. Απαιτείται προσεκτικός έλεγχος της διαδικασίας συγκόλλησης για την ελαχιστοποίηση των προβλημάτων αυτών.

### 5.1 Ιστορική εξέλιξη αλουμινίου

Το αλουμίνιο εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε ναυπηγικές κατασκευές λίγο καιρό μετά την «είσοδο» του χάλυβα στη ναυπηγική. Γύρω στο 1891, ο Escher Wyss κατασκεύασε το πρώτο ατμοκίνητο πλοιάριο από αλουμίνιο, ενώ το 1984 ναυπηγήθηκε στην Αγγλία από τους Yarrow&Co η πρώτη τορπιλάκατος μήκους 20 m, εξ ολοκλήρου από κράμα αλουμινίου που περιείχε 6% χαλκό.

Οι μέθοδοι ανέγερσης και κατασκευής του αλουμινίου εκείνη την εποχή ήταν ανεπαρκείς, γεγονός που κατέστησε την περαιτέρω χρήση του δύσκολη και περιορισμένη. Κατά τη διάρκεια του 1920 υπήρξαν εξελίξεις στην τεχνολογία παραγωγής του αλουμινίου, με αποτέλεσμα τη βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων τους, όπως της μηχανικής αντοχής τους και της αντοχής τους στη διάβρωση. Επίσης, η εφεύρεση της μεθόδου συγκόλλησης με τόξο βολφραμίου και προστασία αερίου (GTAW), οδήγησε στην ανέγερση συγκολλητών κατασκευών από αλουμίνιο που χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα σε εμπορικές και στρατιωτικές εφαρμογές. Το πρώτο πλοίο που κατασκευάστηκε εξ ολοκλήρου από αλουμίνιο ήταν το δεξαμενόπλοιο ALUMINA, το 1959, μήκους 74 m.

Μια σημαντική εμπορική εφαρμογή του αλουμινίου στη ναυπηγική είναι το καταδυτικό σκάφος μεγάλων βαθών (deep submergence vehicle), ALUMINAUT, το οποίο ναυπηγήθηκε το 1965 και ήταν κατασκευασμένο εξ ολοκλήρου από το κράμα αλουμινίου 7079-T6. Το κυλινδρικής μορφής αυτό σκάφος είχε μήκος 15 m, εσωτερική διάμετρο 2 m και δυνατότητα κατάδυσης μέχρι βάθους 4,900 m.



Καταδυτικό σκάφος ALUMINAUT, 1965

## 5.2 Ιδιότητες αλουμινίου

Οι τρεις κύριες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του αλουμινίου είναι:

- Χαμηλή πυκνότητα
- Υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Υψηλή αντίσταση σε διάβρωση

### 5.2.2 Χαμηλή πυκνότητα

Το αλουμίνιο είναι ένα μέταλλο πολύ χαμηλής πυκνότητας (0.16 kg/m<sup>3</sup>). Κατ'επέκταση εμφανίζει υψηλό μέτρο ελαστικότητας και υψηλή μηχανική αντοχή σε σχέση με άλλα μεταλλικά υλικά. Το καθαρό αλουμίνιο είναι ένα μέταλλο ελαφρύ και πολύ όλκιμο. Γενικά, όμως, στις πρακτικές εφαρμογές απαιτείται μεγαλύτερη αντοχή, η οποία επιτυγχάνεται με την προσθήκη στοιχείων κραμάτωσης στο καθαρό αλουμίνιο, όπως χαλκός, σίδηρος, μαγνήσιο, ψευδάργυρος και άλλα, σε συγκεκριμένα ποσοστά. Περαιτέρω αύξηση της αντοχής επιτυγχάνεται με διάφορες διαδικασίες θερμικής και μη κατεργασίας. Όπως το καθαρό αλουμίνιο, έτσι και τα κράματά του έχουν χαμηλή πυκνότητα, αλλά πολύ καλύτερη μηχανική συμπεριφορά.

### 5.2.3 Υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα

Το αλουμίνιο είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, όπως και όλα τα μέταλλα. Έχει υψηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, σχεδόν έξι φορές μεγαλύτερο από αυτόν του χάλυβα. Ενώ τα περισσότερα κράματα αλουμινίου τήκονται στους 565° με 648°C, η πολύ υψηλή θερμική αγωγιμότητα του αλουμινίου απαιτεί μεγαλύτερη θερμότητα συγκόλλησης από αυτή που χρησιμοποιείται για τον χάλυβα. Λόγω της υψηλής θερμικής τους αγωγιμότητας, τα κράματα αλουμινίου μπορούν να εμφανίσουν μεγάλες παραμορφώσεις μετά από έκθεση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, που μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της αντοχής τους.

### 5.2.4 Υψηλή αντίσταση σε διάβρωση

Το αλουμίνιο εμφανίζει μεγάλη χημική συγγένεια με το οξυγόνο και αν αφεθεί στον αέρα οξειδώνεται πολύ γρήγορα, δημιουργώντας ένα λεπτό και συνεχές επιφανειακό στρώμα οξειδίου Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, το οποίο είναι αδιαπέραστο από το οξυγόνο και προσφέρει στο μέταλλο σημαντική αντιοξειδωτική προστασία. Η κυριότερη μορφή διάβρωσης που εμφανίζεται στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι η διάβρωση με βελονισμούς (pitting corrosion). Η αντίσταση του κράματος σε διάβρωση με βελονισμούς εξαρτάται σημαντικά από το είδος της θερμικής ή μη κατεργασίας που έχει υποστεί.

Ένα ακόμα είδος διάβρωσης που εμφανίζεται σε αλουμινένιες κατασκευές είναι η γαλβανική διάβρωση. Αυτή συνήθως εμφανίζεται στις συνδέσεις του αλουμινίου με τον χάλυβα ή με άλλα μέταλλα με αρνητικότερο δυναμικό διάβρωσης από αυτό του αλουμινίου, σε υγρό περιβάλλον. Έτσι δημιουργείται διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο μετάλλων, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της γαλβανικής διάβρωσης. Τα κράματα αλουμινίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν με άλλα μεταλλικά στοιχεία σε υγρό περιβάλλον (π.χ θάλασσα), μόνο εάν έχει προληφθεί η ηλεκτρική ή ηλεκτρολητική απομόνωση των δύο μετάλλων. Για να γίνει αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται ειδικά μονωτικά υλικά (δακτύλιοι) για τον διαχωρισμό της επιφάνειας των δύο μετάλλων.

## 5.3 Η χρήση του αλουμινίου στην Ναυπηγική

### 5.3.2 Χρήση αλουμινίου στα Σκάφη Αναψυχής

Η χρήση σκαφών αναψυχής έχει αναπτυχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Η χρήση του αλουμινίου γίνεται κυρίως σε μικρά σκάφη, μήκους έως και 6 m. Το χαμηλό βάρος των σκαφών αυτών είναι πλεονεκτικό, διότι μειώνει το κόστος κατασκευής και δίνει τη δυνατότητα πλεύσης με μικρότερες απαιτήσεις ισχύος και μεγαλύτερη αυτονομία. Επίσης, τα σκάφη από αλουμίνιο, φθείρονται λιγότερο από

τα χαλύβδινα σκάφη, λόγω του χαμηλού μέτρου ελαστικότητας του αλουμινίου, που έχει ως αποτέλεσμα, μεγαλύτερη απορρόφηση ενέργειας.

### **5.3.3 Χρήση αλουμινίου στα Ιστιοπλοικά**

Στα ιστιοπλοικά, η χρήση αλουμινίου οδηγεί σε σημαντική μείωση του βάρους του σκάφους, που βελτιώνει σημαντικά την απόδοσή του. Μελέτες που έγιναν σε ξύλινα σκάφη, σκάφη από ενισχυμένο πλαστικό (glass reinforced plastic), και από αλουμίνιο, βρέθηκε σημαντική διαφορά βάρους. Το ξύλινο σκάφος ήταν βαρύτερο κατά 37% και το πλαστικό κατά 10% σε σχέση με το σκάφος από κράματα αλουμινίου.

### **5.3.4 Χρήση αλουμινίου Εμπορικά Σκάφη**

Σημαντικές πρόσφατες εφαρμογές του αλουμινίου περιλαμβάνουν τη μεταλλική κατασκευή αλιευτικών σκαφών και σκαφών προσωπικού. Όσον αφορά στα αλιευτικά σκάφη, η μείωση του βάρους και η σημαντική αντίσταση στη διάβρωση είναι τα σημαντικά πλεονεκτήματα που έχουν οδηγήσει σε αντικατάσταση ολόκληρων στόλων αλιευτικών σκαφών με σκάφη από αλουμίνιο.

Το αρχικό πλεονέκτημα του μικρού βάρους, επιτρέπει την προσθήκη επιπλέον εξοπλισμού στο σκάφος, χωρίς να επηρεάζεται η ευστάθεια. Επίσης, μεγάλα τμήματα του εξοπλισμού των εν λόγω σκαφών είναι κατασκευασμένα επίσης από αλουμίνιο, όπως δεξαμενές ψύξης, οι οποίες δε χρειάζονται προστατευτικά αντιδιαβρωτικά συστήματα χρωματισμού, όπως οι χαλύβδινες, οδηγώντας σε χαμηλότερο κόστος συντήρησης. Η χρήση αλουμινίου στα πλοία μεταφοράς προσωπικού και σε εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου μειώνει σημαντικά το βάρος τους, το χρόνο και κόστος κατασκευής τους, ενώ ταυτόχρονα αυξάνει σημαντικά την ταχύτητά τους, με την ίδια ιπποδύναμη. Η πλειοψηφία των σκαφών μεταφοράς προσωπικού κατασκευάζεται από τα κράματα 5456-H321 ή 5456-H111, 5086 και 6061-T6.

Εκτός από τα μικρά εμπορικά σκάφη, υπάρχουν παραδείγματα χρήσης του αλουμινίου για την κατασκευή μεγάλων εμπορικών πλοίων, με πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα το τριμαράν BENCHUJIGUA EXPRESS, το οποίο είναι σήμερα το μεγαλύτερο εμπορικό πλοίο στον κόσμο κατασκευασμένο εξ ολοκλήρου από αλουμίνιο. Πρόκειται για πλοίο τύπου τριμαράν, μήκους 126.7 m και ταχύτητας 40.5 knots.

### **5.3.5 Χρήση αλουμινίου στα Bulk Carriers**

Τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην (bulk carriers) αποκομίζουν σημαντικά οφέλη από τη χρήση αλουμινίου, κυρίως στην ανέγερση των υπερκατασκευών, διότι με τη μείωση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής, αυξάνεται η δυνατότητα μεταφοράς περισσότερου πρόσθετου φορτίου (payload). Οι αλουμινένιες κατασκευές μπορεί να έχουν έως και το 40% του βάρους μιας παρόμοιας χαλύβδινης κατασκευής.

### **5.3.6 Χρήση αλουμινίου στα Πολεμικά Πλοία**

Οι στρατιωτικές απαιτήσεις δημιουργούν την ανάγκη για αναζήτηση ολοένα και μικρότερων, ελαφρύτερων και ευέλικτων πλοίων, με την ικανότητα να αναπτύσσουν ταχύτητες 60-80 knots ή περισσότερο. Αυτές οι απαιτήσεις οδήγησαν στην εφαρμογή του αλουμινίου στην κατασκευή πολεμικών σκαφών, με τη βοήθεια και νέων τεχνολογιών συγκολλήσεων (friction-stir welding). Η σημαντική ανάπτυξη νέων κραμάτων τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει στην εφαρμογή του κράματος 5456 στις συγκολλητές υπερκατασκευές αντιτορπιλικών πλοίων. Ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος του πλοίου, η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου κράματος μπορεί να φτάσει και τους 100 με 350 tons. Η μείωση του βάρους της υπερκατασκευής συμβάλει στην επαρκή ευστάθεια του πλοίου, ενώ η γάστρα παραμένει στενή, για να εξυπηρετεί στην ανάπτυξη υψηλών υπηρεσιακών ταχυτήτων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μείωση του βάρους άνωθεν του καταστρώματος του πλοίου, όπου και χρησιμοποιείται το μεγαλύτερο ποσοστό του αλουμινίου. Αυτό προσδίδει στο σκάφος πολλά πλεονεκτήματα και μεγαλύτερη ευελιξία. Επίσης, χρήση αλουμινίου γίνεται και στον εξοπλισμό του πολεμικού σκάφους, για παράδειγμα σε πόρτες, παράθυρα,

σκάλες, κ.α. Για αυτά τα τμήματα εξοπλισμού συνήθως χρησιμοποιούνται τα κατεργασμένα κράματα 5052, 5086, 6061 και 356, τα οποία εμφανίζουν σημαντική αντίσταση στη διάβρωση.

Ένα από τα σημαντικότερα παραδείγματα χρήσης αλουμινίου για την κατασκευή πολεμικών πλοίων είναι το FSF-1 SEA FIGHTER, το μεγαλύτερο πολεμικό πλοίο του αμερικάνικου στόλου. Είναι πλοίο τύπου καταμαράν, μήκους 79m, εκτοπίσματος 450 tons και ταχύτητας 50 knots.



*Πολεμικό καταμαράν, FSF-1 SEA FIGHTER*

### **5.3.7 Χρήση αλουμινίου στα Επιβατηγά Πλοία**

Η κατασκευή γάστρας και υπερκατασκευών από αλουμίνιο έχει βρει εφαρμογή και σε επιβατηγά πλοία, από τα οποία περισσότερα από χίλια είναι στις μέρες μας σε λειτουργία ανά τον κόσμο. Επίσης, κράματα αλουμινίου έχουν χρησιμοποιηθεί και σε υπερκατασκευές κρουαζιερόπλοιων, καθώς και σε πολλά σκάφη αναψυχής, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

### **5.3.8 Άλλες χρήσεις αλουμινίου**

Τα κράματα αλουμινίου έχουν βρει, επίσης, εφαρμογή στη μεταλλική κατασκευή υδροπτερυγίων (hydrofoils), τα οποία συνήθως κατασκευάζονται από το κράμα 6061, αμφίβιων πλοίων (hovercrafts), ναρκαλιευτικών, κανονιοφόρων, ποντογιών, κ.α. Σημαντική εφαρμογή βρίσκει το αλουμίνιο και στην ανέγερση υπερκατασκευών και υπερστεγασμάτων τόσο σε πολεμικά, όσο και σε εμπορικά πλοία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, καθώς και σε καλύμματα στομιών κυτών. Επίσης, χρησιμοποιούνται ευρέως σε τμήματα εξοπλισμού του πλοίου, όπως σκάλες, κιγκλιδώματα, δικτυώματα, παράθυρα, πόρτες, κ.α. Επίσης, χάρη στη σημαντική αντίστασή του σε διάβρωση, το αλουμίνιο χρησιμοποιείται σε τμήματα σωληνώσεων του πλοίου και σε εναλλάκτες θερμότητας. Κράματα αλουμινίου έχουν χρησιμοποιηθεί, επίσης, και σε τμήματα υποβρυχίων, με σκοπό τη μείωση του βάρους τους, καθώς και σε εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου.

## **5.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

Σε αυτή τη παράγραφο αναφέρονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονετήματα της χρήσης του αλουμινίου σε ναυπηγικές κατασκευές. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα είναι:

- Ελαφρύτερη κατασκευή
- Μεγάλη αντοχή σε διάβρωση χωρίς προστασία
- Μακρύτερος χρόνος ζωής της κατασκευής
- Ευκολία διαμόρφωσης-εφαρμογής
- Ευχάριστη όψη

- Μικρότερο ολικό κόστος κατά τη διάρκεια ζωής του πλοίου (μεγάλο κόστος ανέγερσης, αλλά πολύ μικρότερο κόστος συντήρησης σε σχέση με μία χαλύβδινη κατασκευή).

Τα βασικότερα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Κακή συμπεριφορά σε σφυρόκρουση
- Μικρότερη αντοχή από χάλυβα σε ολιγοκυκλική και πολυκυκλική κόπωση και σε κόπωση λόγω ρωγμάτωσης
- Ανάπτυξη μεγαλύτερων παραμορφώσεων σε σχέση με τον χάλυβα, για την ίδια επιβεβλημένη τάση
- Περιορισμός χρήσης σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 260°C), λόγω μείωσης των μηχανικών ιδιοτήτων.
- Κακή συμπεριφορά σε διάβρωση από περιπατητικά ρεύματα, γειώσεις ηλεκτρικών συστημάτων και διμεταλλικές ενώσεις.
- Προβλήματα που εμφανίζονται στις περιοχές συγκολλήσεων, όπως: πόροι στη συγκόλληση, συστολή και παραμόρφωση λόγω του πολύ υψηλού μέτρου θερμικής αγωγιμότητας και μικρού μέτρου ελαστικότητας, καθώς και σημαντική μείωση της αντοχής στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη (ΘΕΖ). Η θερμικά επηρεασμένη ζώνη επηρεάζεται από το πάχος του υλικού, την τεχνική και τις συνθήκες της συγκόλλησης και την απόσταση από την περιοχή της συγκόλλησης. Η επίδραση της θερμότητας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των ιδιοτήτων όσο πλησιάζουμε στην περιοχή της συγκόλλησης, κυρίως σε κράματα που έχουν υποστεί θερμική κατεργασία.

## 6. Η ξυλεία στη ναυπηγική

Η ξυλεία προέρχεται από δέντρα και ιδιαίτερα από τους κορμούς τους. Η ξυλεία δεν είναι τίποτε άλλο παρά κυτταρίνη, δηλαδή ένας φυτικός πολυσακχαρίτης που αποτελείται από μεγάλου μήκους αλυσίδες άνθρακα, οι οποίες διαπλέκονται μεταξύ τους και σχηματίζουν μια πολύ ισχυρή δομή. Το ξύλο είναι ένα υλικό με υψηλές μηχανικές ιδιότητες. Προέρχεται από η φύση και δεν είναι χημικό υλικό, που έφτιαξε ο άνθρωπος. Από εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια, υπήρξε και υπάρχει και έχει αποδειχθεί ότι, είναι ένα από τα πιο ισχυρά και ανθεκτικά υλικά που γνωρίζουμε μέχρις αυτή τη στιγμή. Είναι ισχυρό στον εφελκυσμό και στην κάμψη. Απορροφά περισσότερη ενέργεια, είναι θερμομονωτικό και αντέχει πάρα πολύ πριν καταστραφεί, συγκρίνοντας το με τα καλύτερα ατσάλια.



Ξύλινο σκάφος υπο κατασκευή

Το μυστικό του ξύλου βρίσκεται στη δομή του. Από άποψη δομής, αποτελείται από ιστούς ξυλωδών κυττάρων, ενώ από χημικής άποψης αποτελείται από πολυμερές ενώσεις: την κυτταρίνη, τη λιγνίνη και τις ημικυτταρίνες. Για τη σωστή χρήση του ξύλου, ωστόσο, είναι απαραίτητη η γνώση των ιδιοτήτων του και ιδιαίτερα των μειονεκτημάτων του διότι είναι υγροσκοπικό υλικό, ανισότροπο, καίγεται σχετικά εύκολα και προσβάλλεται από μύκητες, έντομα και θαλάσσιους μικροοργανισμούς.

Η πλέον ιδανική είναι η ξυλεία που είναι «καθαρή», χωρίς ρόζους, με πυκνά παράλληλα νερά, κομμένη από την περιοχή της καρδιάς (εγκάρδιο του δέντρου). Το δέντρο πρέπει να έχει κοπεί το χειμώνα και η ξήρανσή του να γίνει με φυσικό τρόπο.

Οι κρίσιμες περιοχές ενός ξύλου είναι τα σόκορά του. Στις περιοχές αυτές δεν πρέπει να τοποθετούνται βίδες ή καρφιά, γιατί δεν έχουν καμία συγκρατητική δύναμη και είναι αρχή της δημιουργίας της φθοράς του ξύλου.

### 6.1 Ιδιότητες του ξύλου

Οι κύριες ιδιότητες του ξύλου είναι:

- Αντοχή στην κάμψη
- Ελαστικότητα
- Σκληρότητα

#### 6.1.2 Αντοχή στην κάμψη

Εξαρτάται από το είδος της ξυλείας και έχει μεγάλη σημασία να επιλέγεται κατάλληλο ξύλο για κάθε στοιχείο στη ναυπηγική που τηρεί τα πρότυπα βάση των ειδικών κανονισμών που ορίζουν την αντοχή του και τα επιτρεπτά όρια φόρτισής του. Στη ναυπηγική τα ξύλα που έχουν φυσικές καμπυλότητες είναι πολύτιμα, γιατί έχουν μεγάλη αντοχή σε κάμψη. Από τα ξύλα αυτά κατασκευάζονται καμπυλωτά τμήματα του σκελετού, που δέχονται τις μεγαλύτερες καταπονήσεις (πλωριά, ποδοστάματα, μπρατσόλια, τρυπητά, φορτιστές κ.α). Επιπλέον, η φυσική καμπυλότητα ενός ξύλου καθορίζει την τελική μορφή ενός τμήματος του σκάφους. Έχει μεγάλη μηχανική αντοχή σε σχέση με το βάρος του.

### 6.1.3 Ελαστικότητα

Σημαντική και απαραίτητη ιδιότητα υλικού που βρίσκει εφαρμογή στην ναυπηγική. Βασικό πλεονέκτημα του ξύλου η ικανότητα του να λυγίζει, χωρίς να σπασει. Όπως και η αντοχή του, έτσι και η ελαστικότητα είναι διαφορετική σε κάθε είδος ξυλείας και εξαρτάται κυρίως από την ηλικία του δέντρου και την ποσότητα ρητίνης που περιέχει. Πιο ελαστικό είναι το ξύλο που δεν περιέχει ρητίνη.

### 6.1.4 Σκληρότητα

Ξυλεία με μεγάλο βαθμό σκληρότητας τρίβεται και λουστράρεται πιο εύκολα από τη μαλακή ξυλεία, δηλαδή την ξυλεία των κωνοφόρων ειδών. Η μαλακή ξυλεία παρουσιάζει γενικά μειωμένη αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις σε σχέση με τη σκληρή ξυλεία (πλατύφυλλα είδη π.χ δρυς, φτελιά, δεσποτάκι).

## 6.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

### 6.2.2 Πλεονεκτήματα του ξύλου

Το ξύλο παράγεται από τη φύση συνεχώς, άρα το ξύλο εξασφαλίζει αβίαστα την πρώτη ύλη για την παραγωγή ξύλινων σκαφών, αποτελεί βασική πηγή με οικολογικό χαρακτήρα και αξεπέραστες δυνατότητες. Η ποικιλία ως προς το είδος και την ποιότητα δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας οικονομικής κλίμακας ως προς την επιλογή του υποψήφιου κατόχου ξύλινου σκάφους.

Το ξύλο λόγω της χημικής του σύστασης είναι δυνατόν μετά από μηχανική και χημική κατεργασία να μας δώσει 2.000 προϊόντα. Αναπαράγεται από τη φύση συνεχώς όταν όλες οι άλλες πρώτες ύλες εξαντλούνται. Η παραγωγή ξύλινων προϊόντων όπως το κόντρα πλέκ θαλάσσης, η επικολλητή ή σύνθετη ξυλεία και οι ινοσανίδες μέσης πυκνότητας, βρίσκουν εφαρμογή στον τομέα της ξυλοναυπηγικής εξυπηρετώντας κατά κύριο λόγο την τεχνολογία παραγωγής ενός ξύλινου σκάφους και κατά δεύτερον λόγο η χρήση τους προστατεύει τα δάση. Το ξύλο έχει μεγάλη αισθητική αξία γιατί είναι διαθέσιμο σε ατελείωτους συνδυασμούς χρωμάτων και σχεδιάσεων. Είναι ζεστό υλικό με μια ιδιαίτερη αίσθηση στην αφή και στην όραση. Αναμφισβήτητα ένα ξύλινο σκάφος υπερέχει σε ομορφιά και ξεχωρίζει ακόμα και ανάμεσα σε σκάφη τελευταίας τεχνολογίας. Η επιλογή του ξύλου ως υλικό για την κατασκευή σκαφών κάνει τα ξύλινα σκάφη αξεπέραστα ως προς την αισθητική αξία τους και τους εξασφαλίζει διαχρονική ομορφιά.

### 6.2.3 Μειονεκτήματα του ξύλου

#### Υγροσκοπικότητα

Το ξύλο είναι υγροσκοπικό υλικό, δηλαδή προσλαμβάνει υγρασία από την ατμόσφαιρα και διογκώνεται και αποβάλλει υγρασία προς την ατμόσφαιρα και ρικνώνεται. Το ξύλο διαφέρει από τα άλλα δομικά υλικά, διότι οι αλλαγές στις διαστάσεις του δεν επηρεάζονται από τις απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας, αλλά από το ποσοστό υγρασίας που περιέχει. Η αλλαγή των διαστάσεων ποικίλει, αλλά κανένα είδος ξύλου δεν αλλάζει τις διαστάσεις του, αν η υγρασία που περιέχει είναι πάνω από 30% (σημείο ινοκόρου). Η υγρασία σε συνδυασμό με το ειδικό βάρος του ξύλου, τη δομή των κυττάρων, τη χημική τους σύσταση και τις μηχανικές καταπονήσεις είναι οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η μεταβολή των διαστάσεων του ξύλου. Οι μεταβολές των διαστάσεων του ξύλου γίνονται αιτία για το άνοιγμα των αρμών και την είσοδο νερού στο σκάφος.

Αντιμετώπιση: Η επιλογή ξύλων με κατάλληλο ποσοστό υγρασίας έχει μεγάλη σημασία. Τα ξύλα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του σκάφους, για το σκελετό και το πέτσωμά του δεν πρέπει να έχουν υγρασία περισσότερη από 12% και αυτά που χρησιμοποιούνται για το κατάστρωμα όχι περισσότερο από 15%. Επίσης η ξήρανση των ξύλων με φυσικό τρόπο συνιστάται ιδιαίτερα για ναυπηγική χρήση. Σημαντική ενέργεια για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, αποτελεί το καλαφάτισμά του, δηλαδή το γέμισμα των αρμών με βαμβακερό φυτίλι εμποτισμένο με μίνιο. Όταν το φυτίλι έρθει σε επαφή με το νερό διογκώνεται, κλείνει τους αρμούς μεταξύ των σανιδιών του εξωτερικού

πετσώματος, εμποδίζοντας έτσι την εισροή των υδάτων στο σκάφος. Το καλαφάτισμα απαιτείται να γίνεται από εξειδικευμένους εργάτες.

### **Μηχανική αντοχή**

Το ξύλο είναι ανισότροπο υλικό δηλαδή τόσο η δομή του όσο και η μηχανική αντοχή του και οι ιδιότητές του διαφέρουν προς τις διάφορες κατευθύνσεις μέσα στη μάζα του. Η αντοχή του ξύλου είναι 10 ή και περισσότερες φορές μεγαλύτερη παράλληλα με τα νερά του ξύλου από ότι κάθετα προς αυτά. Η αντοχή επίσης, στη θλίψη είναι μεγαλύτερη στην παράλληλη κατεύθυνση των νερών και είναι 4 έως 5 φορές μικρότερη κάθετα προς αυτά.

Αντιμετώπιση: Τα νερά (οι ίνες) του ξύλου, που το συνθέτουν είναι συνεχόμενα και με τη σχετική παραλληλότητα, τοποθετημένα προς μία και μόνο κατεύθυνση, κατά μήκος του κορμού. Όλη η σημαντική αντοχή της ξυλείας κινείται πάνω σε αυτά τα νερά. Γι' αυτό τα διάφορα ξύλινα μέρη ενός σκάφους πρέπει να διαμορφώνονται πάνω σε σωστά νερα. Οι περισσότεροι ξυλοναυπηγοί αναφέρουν την κατεύθυνση των νερών του ξύλου ως το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό, που καθορίζει την αντοχή του. Όλα τα ξύλα στα σκάφη πρέπει να έχουν τα νερά τους παράλληλα με την κατεύθυνση όπου ασκείται η μεγαλύτερη καταπόνηση.

### **Μικροοργανισμοί**

Το ξύλο προσβάλλεται από έντομα, μύκητες και άλλους μικροοργανισμούς: αλλοιώσεις που προκαλούνται από διάφορα έντομα όπως το σαράκι, το οποίο αφήνει τα αυγλα του στις σχισμές του ξύλου και το καταστρέφει, αντιμετωπίζεται με χρήση πετρελαίου ή με ειδικό υγρό σκεύασμα, που κυκλοφορεί στο εμπόριο ή ακόμα καλύτερα με το φούρνισμα του ξύλου.

Αντιμετώπιση: Εφαρμόζοντας διάφορους χειρισμούς, όπως εμποτισμούς με διάφορες χημικές ουσίες, χρήση κατάλληλων συντηρητικών και βερνικιών μπορούν να προστατέψουν το σκάφος από τους μύκητες, τα έντομα και άλλους μικροοργανισμούς. Υπάρχουν στο εμπόριο πλήθος συντηρητικών. Παλαιότερα τη θέση των συντηρητικών κατείχε η πίσσα για να προστατεύει το ξύλο από τους μύκητες.

#### **6.2.4 Ξύλινα αλιευτικά σκάφη: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

Τα πλαστικά αλιευτικά σκάφη προτιμούνται από τους ψαράδες, διότι είναι πιο γρήγορα, έχουν μεγαλύτερους αποθηκευτικούς χώρους επειδή δεν έχουν νομείς και απαιτούν μικρότερο κόστος και χρόνο συντήρησης. Τα ξύλινα σκάφη αναμφισβήτητα έχουν την καλύτερη συμπεριφορά στη θάλασσα, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και η συντήρηση με τα νέα υλικά που υπάρχουν σήμερα έχει απλουστευτεί. Τα πολυεστερικά σκαριά δεν μπορούν να ανταγωνιστούν τα ξύλινα στην ποιότητα πλεύσης, διότι είναι πιο ελαφριά και συχνά απαιτείται τοποθέτηση βαριδιών στο εσωτερικό τους. Όσο για την ταχύτητα, τα ξύλινα σκάφη έχουν 10-11 κόμβους με μια μηχανή 100 ίππων, ενώ τα πλαστικά από την άλλη έχουν ταχύτητα 16 κόμβων με μηχανή 300 ίππων, δηλ. και μεγάλη κατανάλωση καυσίμων.



*Ξύλινο αλιευτικό σκάφος*

#### **6.2.5 Ξύλινα σκάφη αναψυχής: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

Επικρατεί η άποψη πως ο κάτοχος ενός ξύλινου σκάφους χαιρέται δύο φορές: μία όταν το αγοράζει και μία όταν το πουλάει. Η ξυλοναυπηγική καλείται σήμερα να αλλάξει την αρνητική εικόνα χρησιμοποιώντας σύγχρονη τεχνολογία για την κατασκευή ξύλινων σκαφών. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η αγορά ενός σκάφους αναψυχής γίνεται για να ικανοποιήσει το χόμπι του αγοραστή και δεν χρησιμοποιείται ως βιοποριστικό μέσο. Τα πλαστικά σκάφη προτιμούνται κυρίως για την ευκολία συντήρησης, επειδή είναι



ελαφριά, αρκετά γρήγορα και πιο φθηνά από τα ξύλινα. Το μεγαλύτερο μειονέκτημά τους είναι ότι παθαίνουν «όσμωση», μία προσβολή του πολυεστέρα, που σ' αυτή την περίπτωση τα καθιστά άχρηστα.

Γενικά τα ξύλινα σκάφη έχουν την ιδανικότερη πορεία πλεύσης. Έχουν, πλέον, το ίδιο απλή συντήρηση με τα πλαστικά, έχουν μεγάλη αξία μεταπώλησης, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και είναι πολύ πιο φινετσάτα σκάφη σε σύγκριση με τα πλαστικά. Όσο για την τιμή τους, μπορεί να είναι περίπου 20% μεγαλύτερη από αυτή των πλαστικών, τα υλικά κατασκευής τους όμως είναι πολύ πιο ποιοτικά. Τα πλαστικά μπορεί να θεωρούνται ελαφριά, ωστόσο, το υλικό κατασκευής τους, ο πολυεστέρας, έχει ειδικό βάρος πάνω από  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , ενώ των ξύλων που χρησιμοποιούνται στα σκάφη κυμαίνεται από  $0,50\text{-}0,85 \text{ g/cm}^3$ . Για να κατασκευαστεί ένα σκάφος 10m, το βάρος του είναι γύρω στους 7 τόνους. Για παράδειγμα, αν κατασκευαστεί ένα σκάφος από πολυεστέρα, για να έχει μεγάλη αντοχή ο πολυεστέρας πρέπει να έχει πάχος 8mm, ενώ το ξύλο πρέπει να έχει 25mm πάχος. Στην πλάκα του πολυεστέρα των 8mm είναι πολύ πιο εύκολο να γίνουν ταλαντώσεις σε σχέση με το ξύλο. Αλλάζουν οι ροπές αντίστασης του υλικού και οι ροπές αδράνειας της κατασκευής. Είναι ιδανικότερη μία μεγάλη διατομή ελαφριά παρά μία λεπτή και βαριά. Γι' αυτό το λόγο τα ξύλινα σκάφη έχουν καλλίτερη πορεία πλεύσης.



*Ξύλινο σκάφος αναψυχής*

## 7. Ενισχυμένα με ίνες πλαστικά (F.R.P) στην Ναυπηγική

Τα τελευταία τριάντα χρόνια έχει παρατηρηθεί μεγάλη αλλαγή στο υλικό κατασκευής μικρών σκαφών (yachts) (L<25 m) και ολόκληρη η Ναυπηγική τεχνολογία έχει οδηγηθεί στην εφαρμογή των σύνθετων υλικών και ειδικότερα των ενισχυμένων με ίνες πλαστικών με το κωδικό όνομα Fiber Reinforced Plastics (FRP).

Τα ενισχυμένα με ίνες πλαστικά (Fiber Reinforced Plastics) ανήκουν στην κατηγορία των ινωδών σύνθετων υλικών, δηλαδή αποτελούνται από ένα κυρίως υλικό, τη λεγόμενη μήτρα (matrix), στην οποία βρίσκονται ίνες ενός άλλου υλικού είτε άτακτα διανεμημένες είτε με κάποιο συγκεκριμένο προσανατολισμό.



*Πλαστικό σκάφος αναψυχής*

Ως ίνες θεωρούνται εκείνες οι ενισχύσεις που έχουν τη μια τους διάσταση (μήκος) πολύ μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες δύο. Οι αυξημένες ιδιότητες των ινών οφείλονται στην καλύτερη κρυσταλλική κατασκευή αυτών, έναντι αυτής του ίδιου υλικού σε ογκώδη μορφή, αφού κατά την παραγωγή της ίνας όλοι οι κρύσταλλοι ευθυγραμμίζονται με τον άξονά της και λόγω του πάρα πολύ μικρού λόγου της διαμέτρου προς το μήκος της, οι τυχόν εσωτερικές ανωμαλίες του υλικού περιορίζονται στο ελάχιστο. Οι ίνες, όμως, αυτές κάθε αυτές, στην πραγματικότητα έχουν μικρή σημασία αφού αντέχουν μόνο στην εφελκυστική φόρτιση. Το μεγάλο αυτό κενό που παρατηρείται, όπως προαναφέρθηκε, καλύπτει η χρήση ενός συνδετικού υλικού μεταξύ των ινών, της μήτρας. Ο κύριος σκοπός της μήτρας είναι να ευθυγραμμίζει, σταθεροποιεί και να υποστηρίζει την ενίσχυση αλλά και να μεταφέρει – διασκορπίζει τις τάσεις από την ενίσχυση σε ένα μεγάλο τμήμα του υλικού. Τέλος, ο ρόλος της μήτρας είναι να διακόπτει την διάδοση των ρωγμών λόγω θραύσης της ενίσχυσης. Η μήτρα αρχικά βρίσκεται σε υγρή μορφή και στη συνέχεια υπόκειται σε πολυμερισμό με αποτέλεσμα να στερεοποιείται, δηλαδή να σκληραίνει. Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται η στερεοποίηση (curing) παίζει σημαντικό ρόλο στις τελικές τιμές των ιδιοτήτων. Οι μήτρες που χρησιμοποιούνται για τα ενισχυμένα με ίνες πλαστικά (F.R.P) είναι στην συντριπτική πλειοψηφία οργανικές μήτρες και ειδικότερα οι πολυεστερικές ρητίνες.

Τα ενισχυμένα με ίνες πλαστικά μπορούν να διακριθούν στις κάτωθι κατηγορίες :

Σύμφωνα με τον τύπο των ενισχυτικών ινών :

- Glass- fiber Reinforced Plastics (GRP) – ίνες γυαλιού
- Carbon – fiber Reinforced Plastics (CRP) – ίνες άνθρακα/γραφίτη
- Wood – ίνες κυτταρίνης σε μήτρα λιγνίνης και ημι-κυτταρίνης
- Ίνες Aramid

Σύμφωνα με τον τύπο της μήτρας :

- Θερμοπλαστική ρητίνη
- Θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη

Τα τρία βασικά συστατικά, λοιπόν, των ινωδών σύνθετων υλικών (ενισχυμένα με ίνες πλαστικά) είναι οι μήτρες, οι ενισχυτικές ίνες και στην περίπτωση κατασκευής Sandwich και το ενδιάμεσο υλικό.

### **7.1 Ίνες**

Οι ίνες αποτελούν το κύριο συστατικό ενίσχυσης των ρητινών για την δημιουργία των ενισχυμένων με ίνες πλαστικών. Οι ενισχυτικές ίνες που χρησιμοποιούνται στην ναυπηγική τεχνολογία είναι οι ίνες γυαλιού, οι ίνες άνθρακα και γραφίτη και οι ίνες Aramid. Εξ' αυτών κατά συντριπτική πλειοψηφία χρησιμοποιούνται οι ίνες γυαλιού, αφού κοστίζουν λιγότερο από τις προαναφερθείσες, οι οποίες επιλέγονται να χρησιμοποιούνται σε κατασκευές υψηλών προδιαγραφών.

### **7.2 Ενισχυτικές Ίνες Γυαλιού (Fiberglass)**

Οι ίνες γυαλιού είναι η πιο χρησιμοποιούμενη κατηγορία ενισχυτικών ινών στη ναυπηγική βιομηχανία. Το γυαλί είναι αδρανές υλικό, δεν απορροφά νερό ως εκ τούτου δεν διογκώνεται και σαπίζει, έχει υψηλή αντοχή στη θερμότητα και δεν αναφλέγεται. Είναι, επομένως, ένα ιδεώδες υλικό για χρήση σε θαλάσσιο περιβάλλον. Οι ίνες γυαλιού που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι οι τύπου E, τύπου S και τύπου C, οι οποίες διαφέρουν στη σύσταση, οπότε και στις ιδιότητες (μέτρο ελαστικότητας, αντοχή, ολκιμότητα κτλ). Εξ' αυτών ο περισσότερο χρησιμοποιούμενος τύπος στην ναυπηγική τεχνολογία είναι ο τύπος E, λόγω υψηλής αντοχής και ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης. Επιγραμματικά ο τύπος S χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις ανάγκης υψηλής ολκιμότητας, ενώ ο τύπος C χρησιμοποιείται σε πλαστικά που περιέχουν όξινα υλικά λόγω της σταθερότητας που προσφέρει σε διαβρωτικό περιβάλλον.

## 8. Σκυρόδεμα στην Ναυπηγική

Είναι τα πλοία που κατασκευάζονται από τσιμέντο και σίδηρο (ενισχυμένο σκυρόδεμα), σε αντίθεση με την παραδοσιακή τεχνική που θέλει τα πλοία να κατασκευάζονται είτε από ξύλο είτε από σίδηρο. Τα πλεονεκτήματα που προέκυπταν σε αυτές τις κατασκευές ήταν το πολύ χαμηλό κόστος και ο μικρός χρόνος που απαιτείτο για να ολοκληρωθούν ενώ βασικά μειονεκτήματα τα υψηλά εργατικά έξοδα και το ακόμα υψηλότερο λειτουργικό κόστος.

Η ανάγκη κατασκευής τέτοιου είδους πλοίων προέκυψε όταν λόγω των Παγκοσμίων πολέμων και της βιομηχανικής επανάστασης παρουσιάστηκε μεγάλη έλλειψη σιδήρου σε όλη την ταχύτατα βιομηχανικά εξελισσόμενη Ευρώπη.

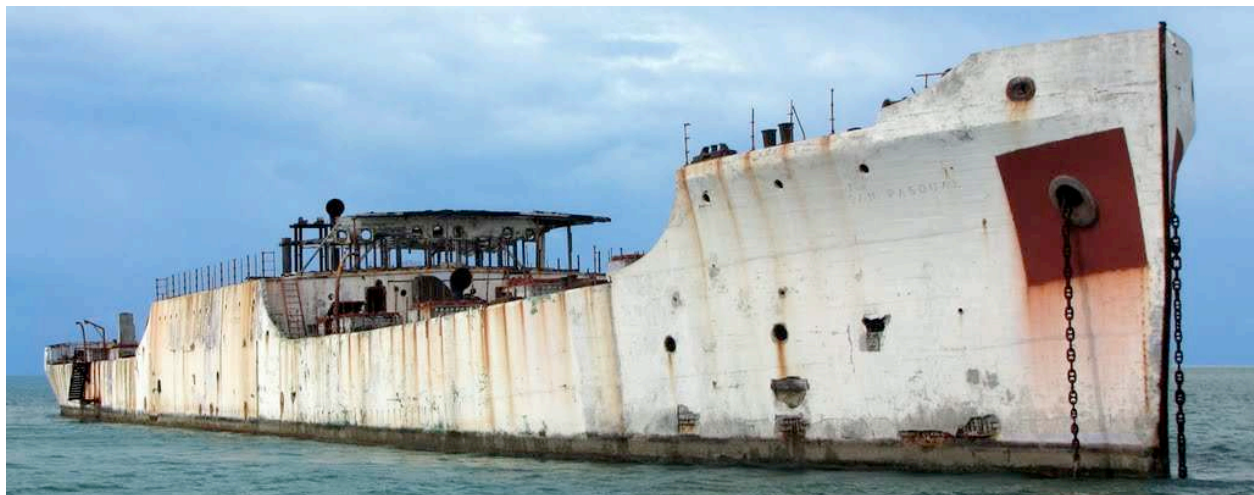


*Πλωτή κατασκευή από σκυρόδεμα του Γάλλου Joseph Louis Lambot, 1848*

Τα πρώτα γνωστά τσιμεντόπλοια ήταν μεγέθους βάρκας. Αναφέρεται χαρακτηριστικά η πλωτή κατασκευή του Γάλλου Joseph Louis Lambot στην Νότια Γαλλία το έτος 1848. Η βάρκα αυτή αποτέλεσε έκθεμα στην Παγκόσμια Έκθεση που έλαβε χώρα στο Παρίσι το 1855.

Τσιμεντόπλοια κατασκευάζονταν καθ' όλη την διάρκεια του 1ου Παγκοσμίου πολέμου, ο σίδηρος ήταν απαραίτητος για πολεμικούς σκοπούς και δεν περισσεύε για την ανάπτυξη της εμπορικής ναυτιλίας.

Ενδιάμεσα των δύο παγκοσμίων πολέμων δεν κατασκευάστηκαν τσιμεντόπλοια σε μεγάλους αριθμούς, δεν υπήρχε έλλειψη μετάλλων και το κόστος ναυτιλιακής εκμετάλλευσης τσιμεντόπλοιων ήταν δυσανάλογα μεγαλύτερα αυτής των μεταλλικών.



*Πλοίο κατασκευασμένο από σκυρόδεμα*

## 9. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε μια λεπτομερής ανάλυση των υλικών που χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική βιομηχανία. Η χρήση του αλουμινίου φαίνεται να είναι δικαίως η πιο διαδεδομένη λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που εκτιμήσαμε παραπάνω. Είναι το πιο άφθονο μέταλλο στο φλοιό της Γης και είναι ίσως το μόνο υλικό που είναι 100% ανακυκλώσιμο. Οι ιδιότητές του είναι αυτές που το καθιστούν τόσο σημαντικό για τη βιομηχανία.

## 10. Βιβλιογραφία

### Ιστότοποι:

- I. [www.ntua.gr](http://www.ntua.gr)
- II. [www.na.teiath.gr](http://www.na.teiath.gr)
- III. [www.nautilia.gr](http://www.nautilia.gr)
- IV. [www.wfdt.teilar.gr](http://www.wfdt.teilar.gr)
- V. [www.el.wikipedia.org](http://www.el.wikipedia.org)
- VI. [www.atem-oe.gr](http://www.atem-oe.gr)
- VII. [www.hellenichistory4you.blogspot.gr](http://www.hellenichistory4you.blogspot.gr)

### Βιβλία:

- I. *R. Storch, C. Hammon, H. Bunch, R. Moore (1995) Ship Production*
- II. *Π. Χρυσουλάκης (2008) Επιστήμη και τεχνολογία των μεταλλικών υλικών*