

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΑΘΗΝΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΜΑΘΗΜΑ: ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ- ΜΕΤΑΣΚΕΥΕΣ- ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΠΛΟΙΟΥ

ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2017

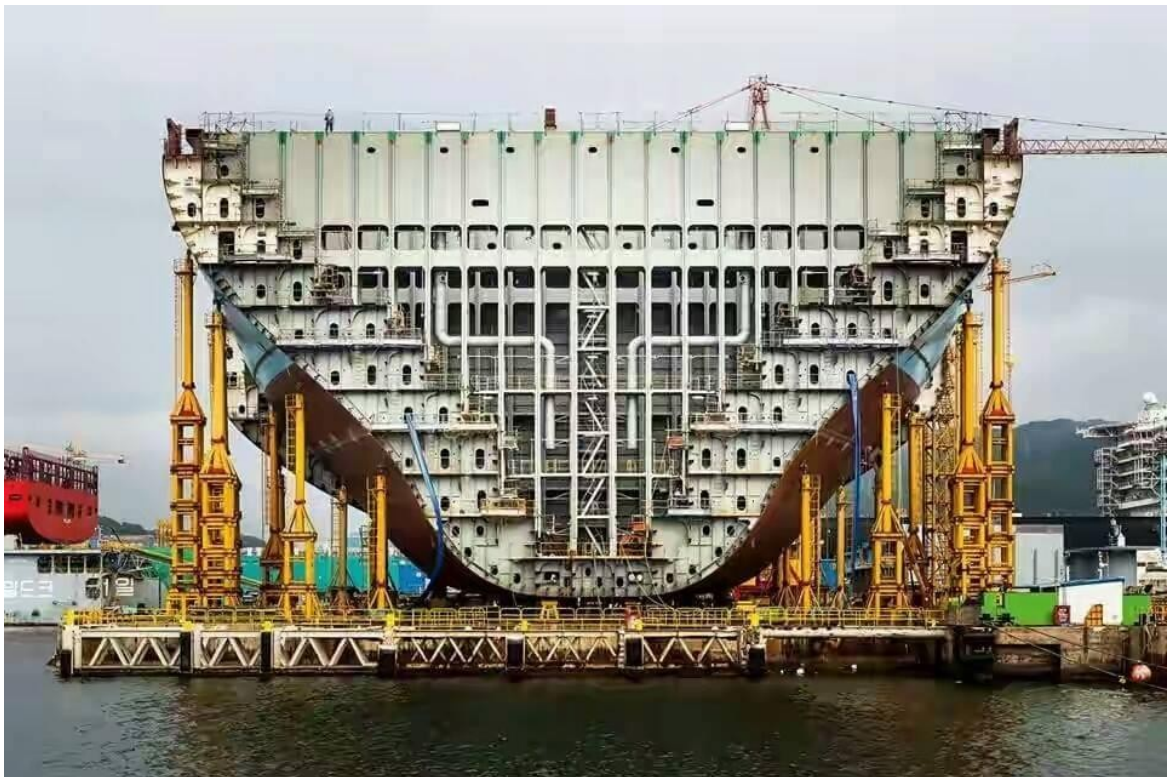
Εργασία

ΘΕΜΑ: Ναυπηγικά Υλικά και χρήση τους. Νέα Υλικά

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Αργυρός Μηνάς

Α.Μ.: 14007

Εξάμηνο φοίτησης: ΣΤ'



Διδάσκων: Ν. ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Ιστορική αναδρομή.....	(σελ. 3)
2. Βιομηχανικά κράματα.....	(σελ. 4)
2.1 Χάλυβες.....	(σελ. 4)
2.1.1 Εισαγωγή.....	(σελ. 5)
2.1.2 Ονοματολογία.....	(σελ. 5)
2.1.3 Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες.....	(σελ. 6)
2.2 Χυτοσίδηροι.....	(σελ. 6)
2.2.1 Γενικά.....	(σελ. 6)
2.2.2 Κατηγορίες χυτοσιδήρων-Ονοματολογία.....	(σελ. 6)
2.3 Κράματα χαλκού.....	(σελ. 7)
2.3.1 Γενικά.....	(σελ. 7)
2.3.2 Κύριες κατηγορίες κραμάτων χαλκού-Ονοματολογία.....	(σελ.7)
2.4 Κράματα αλουμινίου.....	(σελ. 7)
2.4.1 Ελαφρά μέταλλα και κράματα.....	(σελ. 7)
2.4.2 Γενικές ιδιότητες αλουμινίου και των κραμάτων του.....	(σελ. 7)
3. Ναυπηγικά υλικά.....	(σελ. 8)
3.1 Απαιτούμενα χαρακτηριστικά ναυπηγικών υλικών.....	(σελ. 8)
3.2 Ναυπηγικοί Χάλυβες.....	(σελ. 9)
3.2.1 Είδη χαλύβων και η μικροδομή τους.....	(σελ. 9)
3.2.2 Ποιότητες ναυπηγικών χαλύβων κατά τους Νηογνώμονες.....	(σελ. 10)
3.2.3 Χάλυβες για ειδικές χρήσεις.....	(σελ. 10)
3.3 Αλουμίνιο ως ναυπηγικό υλικό.....	(σελ. 15)
3.3.1 Το αλουμίνιο στη ναυπηγική.....	(σελ. 15)
3.3.2 Κράματα αλουμινίου για ναυπηγική χρήση.....	(σελ. 15)
3.3.3 Κατασκευή αλουμινένιων σκαφών.....	(σελ. 16)
3.4 Τιτάνιο και κράματα αυτού.....	(σελ. 19)
3.4.1 Το τιτάνιο στη ναυπηγική.....	(σελ. 19)
3.4.2 Στοιχεία για μελέτη ναυπηγικών κατασκευών από τιτάνιο.....	(σελ. 19)
3.4.3 Ανέγερση κατασκευών από τιτάνιο και τα κράματά του.....	(σελ. 20)
3.5 Σύνθετα υλικά.....	(σελ.21)
3.5.1 Εισαγωγή.....	(σελ.21)
3.5.2 Βασικά χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών.....	(σελ.22)
3.5.3 Κατασκευαστικές αρχές σκαφών από G.R.P.	(σελ.26)
3.5.4 Εφαρμογές των σύνθετων υλικών στη ναυπηγική.....	(σελ.29)
4. Αποτελέσματα.....	(σελ. 31)
5. Συμπεράσματα.....	(σελ.32)
6. Προτάσεις.....	(σελ. 33)
7. Ευχαριστίες.....	(σελ. 34)
4. Βιβλιογραφία.....	(σελ. 35)

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Τα διάφορα είδη ξύλου είναι αδιαμφισβήτητα τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στη ναυπηγική. Η ευρεία χρήση τους οφείλεται στο γεγονός ότι εμφανίζονται στο φυσικό περιβάλλον σε μεγάλες ποσότητες, στο ότι είναι ελφρά και επιπλέοντα και στο ότι μπορούν να διαμορφωθούν με απλά εργαλεία.

Είναι αξιοσημείωτο ότι παρά το γεγονός ότι υπήρχε μεγάλη χρήση μετάλλων για αρκετούς αιώνες σε διάφορα εξαρτήματα των πλοίων, η πρώτη σημαντική χρήση μετάλλων στη γάστρα του πλοίου συνέβη στις αρχές του 17ου αιώνα. Η συγκεκριμένη εφαρμογή ήταν η επίστρωση λεπτών ελασμάτων χαλκού στη ξύλινη βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας με σκοπό την προστασία της από τον μικροοργανισμό *Teredo navalis*, που σε τροπικά νερά κατέστρεφε το ξύλο.

Πλοία φτιαγμένα από σίδηρο πρωτοεμφανίστηκαν το 1822, ενώ κατά τη διάρκεια του τελευταίου τετάρτου του 19ου αιώνα ο χάλυβας αντικατέστησε το σίδηρο. Από τότε ο χάλυβας παραμένει το κυριότερο ναυπηγικό υλικό. Οι σημερινοί τύποι χάλυβα έχουν πολύ βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με τους παλιότερους.

Παρά τη σημαντική θέση που κατέχει ο χάλυβας στη ναυπηγική, αρκετά άλλα υλικά έχουν συνεχώς αυξανόμενες χρήσεις στη κατασκευή του κύριου περιβλήματος του πλοίου. Από την πλευρά των μετάλλων αναφέρονται χαρακτηριστικά τα κράματα αλουμινίου και τιτανίου, ενώ από την πλευρά των αμέταλλων τα διάφορα σύνθετα υλικά (με κυριότερο εκπρόσωπο τα ενισχυμένα με ίνες πλαστικά) και το ενισχυμένο σκυρόδεμα.

2. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΡΑΜΑΤΑ

2.1 Χάλυβες

2.1.1 Εισαγωγή

Οι χάλυβες, όπως είναι γνωστό, συνιστούν κράματα Fe-C, με περιεκτικότητα σε άνθρακα μικρότερη ή ίση του 1,5% κ.β. Ανάλογα με τις εφαρμογές για τις οποίες προορίζονται, οι χάλυβες περιέχουν και ορισμένα άλλα στοιχεία κραμάτωσης, τα οποία τροποποιούν τις φυσικοχημικές ή και τις μηχανικές τους ιδιότητες.

Ως προς τη χημική τους σύσταση, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- Κοινούς ή ανθρακούχους χάλυβες και
- Κραματομένους ή ειδικούς χάλυβες.

Οι κραματομένοι χάλυβες, ανάλογα με το ποσοστό των κραματικών στοιχείων διακρίνονται σε:

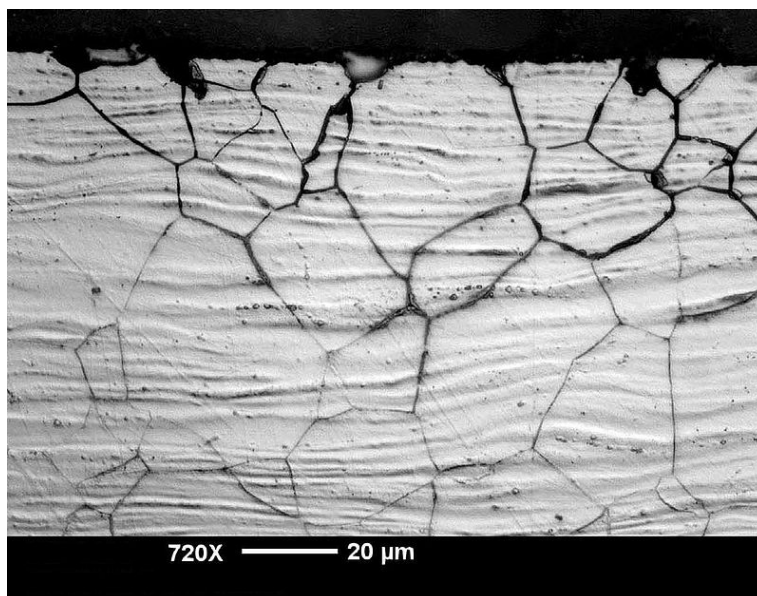
- Ελαφρά κραματομένους,
- Μέτρια κραματομένους και
- Ισχυρά κραματομένους

Ως προς τον προορισμό τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- Χάλυβες διαμόρφωσης και
- Χυτοχάλυβες.

Ως προς τη χρήση τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- Χάλυβες κατασκευών (υποευτηκτοειδής, νικελιούχοι, νικελιοχρωμιούχοι, χάλυβες Ni-Cr-Mo, χρωμιούχοι κτλ)
- Εργαλειοχάλυβες (χάλυβες αντοχής σε φθορά από τριβή, καλής δυσθραυστότητας, καλής εμβαιπτότητας)
- Ανοξειδωτους ή πυρίμαχους χάλυβες και
- Χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών (μαλακοί μαγνήτες, μόνιμοι μαγνήτες).



Εικόνα 1: Περικρυσταλλική διάβραση χάλυβα

2.1.2

Ονοματολογία

- **Ονοματολογία χαλύβων κατά AISI-SAE**

Για την ονομασία των χαλύβων, το σύστημα AISI-SAE χρησιμοποιεί έναν τετραψήφιο αριθμό (xyzz). Τα δύο πρώτα ψηφία αναφέρονται στην οικογένεια κραμάτων, ως προς το ή τα κύρια στοιχεία προθήκης και στο ποσοστό τους στο χάλυβα, αντιστοίχως. Τα επόμενα ψηφία δίνουν την % περιεκτικότητα του σε άνθρακα, πολλαπλασιασμένη επί 100. Πολλές φορές, μπροστά από τους τετραψήφιους αυτούς κωδικούς, χρησιμοποιούνται γράμματα του λατινικού αλφαβήτου, προκειμένου να υποδηλωθεί η μεταλλουργική κατεργασία, με την οποία έχει παραχθεί ο χάλυβας.

- **Ονοματολογία χαλύβων κατά το αγγλικό σύστημα B.S.**

Το αγγλικό σύστημα χρησιμοποιεί εξαψήφιους κωδικούς, καθένας από τους οποίους χωρίζεται σε τρία μέρη:

1. Το πρώτο τριψήφιο μέρος του κωδικού αφορά τον τύπο του χάλυβα.
2. Το δεύτερο μέρος είναι ένα γράμμα, που δίνει ιδιαίτερες πληροφορίες για τον χάλυβα.
3. Το τρίτο διψήφιο μέρος του κωδικού δίνει το ποσοστό του χάλυβα σε άνθρακα, πολλαπλασιασμένο επί 100.

2.1.3. Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες

Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες καλούνται τα κράματα Fe-C, τα οποία εκτός από τις συνήθεις ακαθαρσίες, δεν περιέχουν άλλα στοιχεία κραμάτωσης εκτός από μικρά ποσοστά σε Mn.

Ανάλογα με το ποσοστό του περιεχόμενου άνθρακα, οι κοινοί ανθρακούχοι χάλυβες διακρίνονται σε:

- **Υποευτηκτοειδείς**, με ποσοτό άνθρακα μικρότερο από 0,80% κ.β. Όσοι περιέχουν άνθρακα σε ποσοστό από 0,10% έως 0,25% κ.β. ονομάζονται μαλακοί χάλυβες, από 0,20% έως 0,50% κ.β. χάλυβες μετρίου άνθρακα και τέλος για ποσοστά μεγαλύτερα από 0,50% ονομάζονται χάλυβες υψηλού άνθρακα.
- **Ευτηκτοειδείς**, που περιέχουν άνθρακα σε ποσοστό 0,80% κ.β.
- **Υπερευτηκτοειδείς**, με ποσοστό από 0,80-2,00% κ.β.

Οι χάλυβες μορφοποιούνται είτε με κατεργασίες διαμόρφωσης, οπότε καλούνται χάλυβες διαμόρφωσης, είτε με απευθείας χύτευση σε κατάλληλα καλούπια, οπότε καλούνται χάλυβες χύτευσης ή χυτοχάλυβες.

Με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα, η μηχανική αντοχή των χαλύβων αυξάνεται, ενώ η ολκιμότητά τους μειώνεται. Η υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας μετάβασης από την όλκιμη στη ψαθυρή συμπεριφορά και καθιστά το χάλυβα δύσκολα συγκολλησιμο. Ως χάλυβες χύτευσης χρησιμοποιούνται συνήθως οι υποευτηκτοειδείς χάλυβες, με ποσοστό άνθρακα μικρότερο του 0,5%. Μετά τη στερεοποίησή τους οι χάλυβες αυτοί παρουσιάζουν μικροδομή περλίτη και γι'αυτό μετά τη χύτευση είναι αναγκαία η ανόπτηση για την εξομάλυνση του χάλυβα.

2.2 Χυτοσίδηροι

2.2.1 Γενικά

Οι χυτοσίδηροι είναι κράματα Fe-C-Si, η σύσταση των οποίων σε άνθρακα και πυρίτιο καθώς και οι ταχύτητες απόψυξης, καθορίζουν τη μικροδομή και τις ιδιότητες τους. Οι χυτοσίδηροι του εμπορίου περιέχουν άνθρακα σε ποσοστό 2-4,5%. Ο άνθρακας στους χυτοσιδήρους έχει πολύ συχνά τη μορφή του γραφίτη, που απαντάται σε διάφορες μορφολογίες. Ο σχηματισμός του γραφίτη ευνοείται από τη παρουσία πυριτίου, σε ποσοστά μεγαλύτερα του 0,7%, καθώς και από χαμηλές ταχύτητες απόψυξης. Πρόκειται για φθηνά υλικά, που μορφοποιούνται αποκλειστικά και μόνο με χύτευση, δεδομένου ότι πλαστική τους παραμόρφωση, σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, είναι δυνατή.

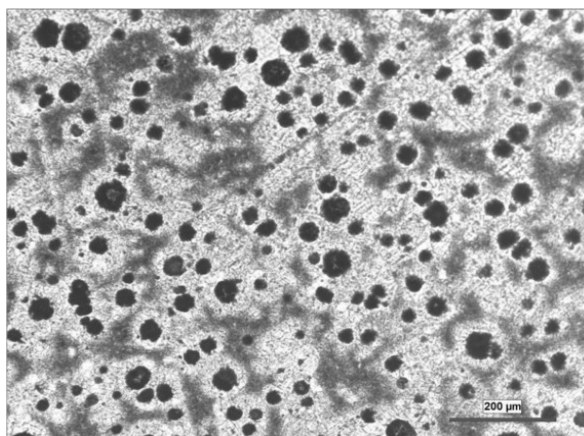
2.2.2 Κατηγορίες χυτοσιδήρων -Ονοματολογία

Οι χυτοσίδηροι κατατάσσονται σε:

- λευκούς,
- φαιούς ή γκριζούς
- μαλακτούς
- ελατούς ή χυτοσιδήρους σφαιροειδούς γραφίτη και
- ισχυρά κραματωμένους.

Οι κωδικές ονομασίες των χυτοσιδήρων σύμφωνα με το σύστημα B.S. επεξηγούνται ως εξής:

- Οι φαιοί χυτοσίδηροι χαρακτηρίζονται από τους επτά κωδικούς: 150, 180, 220, 260, 300, 350 και 400. Οι αριθμοί αυτοί αφορούν στην ελάχιστη αντοχή σε εφέλκυσμό ενός κυλινδρικού δοκιμίου με διάμετρο 30 mm.
- Οι μαλακοί χυτοσίδηροι χαρακτηρίζονται από τα γράμματα B, P και A, τα οποία υποδηλώνουν ότι πρόκειται για χυτοσίδηρο μέλανας καρδίας, περλιτικό ή λευκής καρδίας, αντίστοιχα.
- Οι χυτοσίδηροι σφαιροειδούς γραφίτη καθορίζονται από δύο αριθμούς. Ο πρώτος αναφέρεται στην ελάχιστη αντοχή σε εφέλκυσμό ενώ ο δεύτερος στην επιτυγχανόμενη εκατοστιαία επιμήκυνση.
- Οι ισχυρά κρατώμενοι χυτοσίδηροι ωστεντικής μήτρας με φιλιδιοειδή γραφίτη χαρακτηρίζονται με το γράμμα L, εκείνοι με κονδυλοειδή γραφίτη με το γράμμα S. Ακολουθούν αριθμοί και γράμματα που αφορούν τα ποσοστά των κύριων κραματικών στοιχείων.



Εικόνα 2: Ολκίμος χυτοσίδηρος

2.3 Κράματα χαλκού

2.3.1 Γενικά

Ο χαλκός είναι το πρώτο μέταλλο που χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο, σε καθαρή μορφή ή υπό μορφή κράματος. Παρουσιάζει εξαιρετική ηλεκτρική αγωγιμότητα και θαυμάσια θερμική αγωγιμότητα, γι'αυτό και η μισή περίπου παγκόσμια παραγωγή του Cu χρησιμοποιείται για την κατασκευή αγωγών, μετασχηματιστών, γεννητριών, ηλεκτρικών εξαρτημάτων κτλ. Κρυσταλλώνεται στο κεντρικό ενδοκεντρωμένο σύστημα και είναι μέταλλο που μορφοποιείται εύκολα.

2.3.2 Κύριες κατηγορίες κραμάτων χαλκού-Ονοματογία

Ως προς τα μετέχοντα στο κράμα στοιχεία, οι κύριες κατηγορίες κραμάτων χαλκού είναι:

- τα κράματα Cu-Zn, τα οποία ονομάζονται **ορείχαλκοι**
- τα κράματα Cu-Sn, τα οποία ονομάζονται **μπρούντζοι**
- το κράμα Cu-Al, το οποίο ονομάζεται **χαλκοαλουμίνιο**
- το κράμα Cu-Ni, το οποίο ονομάζεται **χαλκονικέλιο**
- τα κράματα Cu-Zn-Ni, τα οποία ονομάζονται **Maillechorts**
- το κράμα Cu-Be, το οποίο ονομάζεται **χαλκοβηρύλλιο** και
- το κράμα Cu-Si, το οποίο ονομάζεται **χαλκοκυρίτιο**.

Ως προς τη μέθοδο μορφοποίησης, τα κράματα χαλκού διακρίνονται σε: **κράματα διαμόρφωσης** και σε **κράματα χύτευσης**.

Ως προς τη σκληρότητά τους τα κράματα διαμόρφωσης χαρακτηρίζονται από το ποσοστό της επιτυγχανόμενης ενδοτράχυνσης κατά την πλαστική τους παραμόρφωση.

Για την τυποποίηση των κραμάτων χαλκού, ο αμερικανικός οργανισμός CDA (*Copper Development Association*), χρησιμοποιεί το γράμμα C ακολουθούμενο από τρεις αριθμούς, εκ των οποίων ο πρώτος αναφέρεται στην κατηγορία του κράματος, ενώ οι δύο επόμενες (xx) στην υποκατηγορία του κράματος.

2.4 Κράματα αλουμινίου

2.4.1 Ελαφρά μέταλλα και κράματα

Το αλουμίνιο, το μαγνήσιο και το τιτάνιο ανήκουν στην κατηγορία των ελαφρών μετάλλων, των οποίων η πυκνότητα έχει χαμηλές τιμές. Πιο συγκεκριμένα, οι πυκνότητες των Al, Mg και Ti είναι αντίστοιχα 2.7, 1.7 και 4.5 g/cm³. Η σημασία τους για την κατασκευαστική βιομηχανία είναι πολύ μεγάλη, διότι τα μέταλλα αυτά, καθώς και τα κράματά τους παρουσιάζουν υψηλό ειδικό μέτρο ελαστικότητας και υψηλή ειδική μηχανική αντοχή, σε σχέση με τα άλλα μέταλλα και κράματα. Έχουν, επίσης, καλή αντοχή σε διάβρωση.

2.4.2 Γενικές ιδιότητες του αλουμινίου και των κραμάτων του

Το αλουμίνιο είναι μέταλλο ελαφρύ και πολύ όλκιμο. Οι μηχανικές τους ιδιότητες δεν εξαρτώνται μόνο από την καθαρότητα, αλλά και από το ποσοστό της ενδοτράχυνσης που έχει υποστεί, κατά τη διάρκεια των μηχανικών του κατεργασιών. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αλουμινίου ισούται με

75% αυτής του χαλκού, λαμβάνοντας υπόψη τη χαμηλή του πυκνότητα, στο αλουμίνιο χαρακτηρίζεται ως καλύτερος αγωγός.

Τα κράματα του αλουμινίου διακρίνονται σε κράματα διαμόρφωσης και σε κράματα χύτευσης. Τα κράματα των δύο αυτών κατηγοριών υποδιαιρούνται σε κράματα που μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία και σε κράματα των οποίων η θερμική κατεργασία είναι αδύνατη. Οι ιδιότητες των πρώτων εξαρτώνται από την ακολουθούμενη θερμική κατεργασία, ενώ οι ιδιότητες των δεύτερων από το ποσοστό ενδοτράχυνσης που έχουν υποστεί.

Όπως το καθαρό αλουμίνιο, έτσι και τα κράματά του έχουν χαμηλή πυκνότητα, καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και υψηλή αντοχή σε διάβρωση. Οι κύριες προσθήκες των κραμάτων αλουμινίου είναι ο χαλκός, ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το μαγνήσιο, το πυρίτιο και ο ψευδάργυρος.



Εικόνα 3: Αλουμίνιο

3. Ναυπηγικά υλικά

3.1 Απαιτούμενα χαρακτηριστικά ναυπηγικών υλικών

Λόγος αντοχής προς βάρος. Το ειδικό βάρος είναι συνήθως σημαντικό χαρακτηριστικό ενός υλικού, επειδή το βάρος της μεταλλικής κατασκευής του σκάφους αποτελεί σχεδόν πάντα πολύ κρίσιμο στοιχείο στη διαδικασία της μελέτης. Σε πολλές περιπτώσεις, όμως δεν παίζει τόσο σημαντικό ρόλο το ειδικό βάρος από μόνο του, όσο ο λόγος αντοχής προς βάρος. Αυτός εφράζεται από το λόγο του ορίου αντοχής ή της τάσης θραύσης προς το ειδικό βάρος. Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται όποτε απαιτείται η επίτευξη ορισμένης αντοχής για το ελάχιστο βάρος κατασκευής.

Δυσθραυστότητα. Η δυσθραυστότητα αποτελεί ένα μέτρο της ικανότητας του υλικού να απορροφά ενέργεια πριν τη θραύση του παραμορφωμένο πλαστικά. Αυτή η αντίσταση του υλικού σε θραύση εκφράζεται με διάφορους όρους, όπως ολκιμότητα, δυσθραυστότητα κατ'εγκοπή και δυσθραυστότητα ή στερρότητα. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η απορροφώμενη ενέργεια πριν τη θραύση, τόσο πιο όλκιμο ή πιο δύσθραυστο είναι το υλικό.

Αντοχή σε κόπωση. Είναι πιθανόν φορτία ή παραμορφώσεις, που δεν προκαλούν θραύση του υλικού αν εφαρμοστούς μία μόνο φορά, να οδηγήσουν σε θραύση στη περίπτωση επαναληπτικής εφαρμογής τους. Ο μηχανισμός της θραύσης σε εναλλασόμενη καταπόνηση ή της θραύσης από κόπωση είναι αρκετά πολύπλοκος. Σε γενικές γραμμές, συνιστάται στη διαμιοργία μικρών ρωγμών, συνήθως επιφανειακών, και στη προοδευτική αύξησή τους υπό την επίδραση εναλλασσόμενης καταπόνησης.

Αντοχή σε διάβρωση και σε διάβρωση με μηχανική καταπόνηση που οδηγεί σε ρηγμάτωση. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε κατασκευές οι οποίες έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό πρέπει να έχουν ικανή αντοχή σε διάβρωση και σε διάβρωση με μηχανική καταπόνηση που οδηγεί

σε ρηγμάτωση. Με τον όρο διάβρωση καλείται κάθε αλλοίωση της επιφάνειας των μετάλλων και των κραμάτων, η οποία οδηγεί σε απώλεια υλικού και που οφείλεται σε ενέργεια χημικών ή ηλεκτροχημικών αντιδράσεων.

Άλλες ιδιότητες. Άλλες χαρακτηριστικές ιδιότητες που αξίζουν ιδιαίτερη προσοχή για τα Ναυπηγικά Υλικά είναι η ευχέρεια συγκόλλησης, η αντοχή σε σχάση κατά φυλλώσεις, η ευχέρεια διαμόρφωσης, το κόστος, η ευχέρεια ανεύρεσης, η διαδικασία συντήρησης κτλ.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η βέλτιστη επιλογή του υλικού για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή πρέπει να είναι αποτέλεσμα συστηματικής διερεύνησης όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την αντοχή, το βάρος και το κόστος της κατασκευής.

3.2.1 Είδη χαλύβων και η μικροδομή τους

Οι συνήθεις χάλυβες ή οι χάλυβες αντοχής αποτελούν την πιο διαδεδομένη ομάδα χαλύβων, με ιδιότητες που εξαρτώνται κυρίως από τη χημική τους σύσταση και τη μικροδομή τους. Εκτός από τον άνθρακα, που περιέχεται σε ποσοστό κατά βάρος μέχρι και 0.23 %, οι χάλυβες αυτοί περιέχουν σε διάφορα ποσοστά μαγγάνιο, πυρίριο, φώσφορο και θείο, ενώ διάφορα άλλα στοιχεία μπορεί να συνυπάρχουν σε μικρότερες ποσότητες. Σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι η πολύ καλή συγκολλητότητά τους.

Σε ευρεία χρήση συναντάται και χάλυβες υψηλής αντοχής, με όριο διαρροής που μπορεί να φτάσει τα 350 MPa. Χρήση των χαλύβων αυτών οδηγεί σε μείωση των παχών των στοιχείων αντοχής, άρα και το βάρος μιας ναυπηγικής κατασκευής, λόγω των υψηλότερων τιμών των επιτρεπόμενων τάσεων. Η βασική τους διαφορά από τους συνήθεις χάλυβες έγκειται στην προσθήκη ειδικών στοιχείων, όπως αλουμίνιο και κολόμβιο, τα οποία βελτιώνουν τις μηχανικές τους ιδιότητες.

Μικροδομή. Η μικροδομή των ναυπηγικών χαλύβων συνίσταται σε αιωρήματα σεμεντίτηδιασκορπισμένα σε φερριτική μήτρα. Όταν η θερμοκρασία ενός χάλυβα φτάσει τη θερμοκρασία αλλοτροπικού μετασχηματισμού του, ο σίδηρος που βρισκόταν στη φερριτική φάση θα μετασχηματιστεί σε μία άλλη φάση, την ωστενιτική, στην οποία ο σεμεντίτης είναι διαλυτός.

Γενικά, το ποσοστό του άνθρακα και ο ρυθμός απόψυξης επιδρούν στη μικροδομή, η οποία με τη σειρά της καθορίζει την αντοχή και τη σκληρότητα του χάλυβα. Οι περισσότεροι ναυπηγικοί χάλυβες αποψύχονται στον αέρα μετά την εν θερμώ εξέλιξη ή την οποιαδήποτε άλλη θερμική κατεργασία τους.

Η διαδικασία αποξείδωσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα από τον οποίο εξαρτάται η ποιότητα του ναυπηγικού χάλυβα. Έτσι διακρίνονται οι ακόλουθες τρεις ποιότητες:

- Ο **πλήρως καθησυχασμένος χάλυβας**, ο οποίος είναι τελείως αποξείδωμένος και του οποίου η ομοιογενής μεταλλουργική δομή τον καθιστά κατάλληλο για παχιά ελάσματα.
- Ο **περιθωριακός χάλυβας**, ο οποίος ελάχιστα αποξείδωμένος και ο οποίος παράγεται συνήθως σε πάχη μέχρι 12.5 mm. Η χρήση του στη ναυπηγική είναι περιορισμένη σε δευτερεύουσες κατασκευές.
- Ο **ημικαθησυχασμένος χάλυβας**, στον οποίο προστίθεται μικρότερη ποσότητα αποξείδωτικού στοιχείου σε σύγκριση με τον πλήρως καθησυχασμένο. Είναι καλύτερης

ποιότητας από τον περιθωριακό.

3.2.2 Ποιότητες ναυπηγικών χαλύβων κατά τους Νηογνώμονες

Οι ποιότητες ναυπηγικών χαλύβων συνήθους και υψηλής αντοχής κατά τον Αμερικάνικο Νηογνώμονα (ABS) φαίνονται στους πίνακες 1.2 και 1.3. αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι οι πίνακες περιλαμβάνουν χάλυβες διαφορετικών επιπέδων δυσθραυστότητας, κάτι που επιτυγχάνεται με έλεγχο του λόγου μαγγανίου προς άνθρακα, με την απαίτηση συγκεκριμένης μεθόδου αποξείδωσης, δημιουργίας λεπτών κόκκων και θερμικής κατεργασίας ή με την απαίτηση δοκιμής δυσθραυστότητας για κάθε έλασμα ή απόχυση. Με εξαίρεση των ποιοτήτων DS και CS, οι οποίες περιλαμβάνονται μόνο στους κανονισμούς του ABS, παρόμοιες ιδιότητες ναυπηγικών χαλύβων προδιαγράφονται και στους κανονισμούς όλων των άλλων σημαντικών Νηογνομώνων (βλ. Πίνακα 1.4).

3.2.3 Χάλυβες για ειδικές χρήσεις

Οι κοινοί χάλυβες που αναφέρθηκαν προορίζονται για τις υπηρεσιακές συνθήκες στις οποίες λειτουργούν συνήθως τα περισσότερα πλοία και οι πλωτές κατασκευές. Υπάρχουν, όμως, διαθέσιμοι και ειδικοί χάλυβες με βελτιωμένες ιδιότητες που χρησιμοποιούνται όπου υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις (ασυνήθιστες υπηρεσιακές θερμοκρασίες, υπερβολικά διαβρωτικό περιβάλλον, ασυνήθιστες φορτίσεις). Ως παράδειγμα εφαρμογής ειδικών χαλύβων αναφέρεται στην παράγραφο αυτή εκείνοι για χρήση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τέτοια περίπτωση συναντάται στα πλοία που μεταφέρουν υγροποιημένο αέριο, όπου οι απαιτήσεις για τα υλικά κατασκευής έχουν κωδικοποιηθεί από την IMCO και ισχύουν διεθνώς. Οι πίνακες 1.8 και 1.10 περιγράφουν τις απαιτήσεις αυτές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.10 Απαιτήσεις για Πλοία Μεταφοράς Υγροποιημένου Αερίου		
Ελάσματα και ενισχυτικά για τα τμήματα της γάστρας που ψύχονται από φορτία χαμηλής θερμοκρασίας.		
Ελάχιστη θερμοκρασία σχεδιασμού γάστρας (° C)	Πάχος (mm)	Ποιότητα χάλυβα κατά ABS
0 και άνω		Συνήθης πρακτική
- 10	$t \leq 12.5$	A
	$12.5 < t \leq 25.5$	D
	$t > 25.5$	E
- 25	$t \leq 12.5$	D
	$t > 12.5$	E
κάτω από - 25		Σύμφωνα με τον Πίνακα 1.8
Σημείωση : Το ανώτατο όριο πάχους του Πίνακα 1.8 δεν ισχύει για τα ελάσματα και τα ενισχυτικά της γάστρας.		

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2

Προδιαγραφές Ναυπηγικών Χαλύβων Συνήθους Αντοχής κατά ABS

Προδιαγραφές για Ναυπηγικό Χάλυβα Συνήθους Αντοχής
Ποιότητες A, B, D, E, DS, CS

Ποιότητες	A	B	D	E	DS	CS
Αποξείδωση	Όποιαδήποτε μέθοδος εκτός από περιθωριακό χάλυβα για τα παχύτερα από 12,5 mm (0,50 in) ελάσματα	Όποιαδήποτε μέθοδος εκτός από περιθωριακό χάλυβα	Πλήρως Καθουχασμένος λεπτοκοκός ² (Βλέπε 43.3.2a)	Πλήρως καθουχασμένος λεπτοκοκός ² (Βλέπε 43.3.2a)	Πλήρως Καθουχασμένος λεπτοκοκός (Βλέπε 43.3.2a)	Πλήρως καθουχασμένος λεπτοκοκός (Βλέπε 43.3.2a)
Χημική Σύνθεση (Ανάλυση κάδου χυτηρίου)	Για όλες τις ποιότητες, εκτός από τα μορφοσιδερά και τις ράβδους, Ποιότητας A ή σε άνθρακα περιεκτικότητας + 1/6 της σε μαγγάνιο περιεκτικότητας δεν πρέπει να ξεπερνά το 0,40%. Έφ' όσον ικανοποιείται η απαίτηση αυτή το άνωτερο όριο του μαγγανίου μπορεί να ξεπερνιέται μέχρι και 1,65%.					
Άνθρακας %	0,23 μέγ. ¹	0,21 μέγ.	0,21 μέγ.	0,18 μέγ.	0,16 μέγ.	0,16 μέγ.
Μαγγάνιο %	2,5 άνωθ. ελάχ. για τα παχύτερα από 12,5 mm (0,5 in) ελάσματα	0,80-1,10	0,70-1,35	0,70-1,35	1,00-1,35	1,00-1,35
Φωσφόρος %	0,04 μέγ.	0,04 μέγ.	0,04 μέγ.	0,04 μέγ.	0,04 μέγ.	0,04 μέγ.
Θείο %	0,04 μέγ.	0,04 μέγ.	0,04 μέγ.	0,04 μέγ.	0,04 μέγ.	0,04 μέγ.
Πυρίτιο %		0,35 μέγ.	0,10-0,35	0,10-0,35	0,10-0,35	0,10-0,35
Δοκιμή Έμφλεκτισμού	Για όλες τις ποιότητες 41-50 kg/cm ² (58.000-71.000 psi). Για τα ποιότητας A μορφοσιδερά 41-56kg/cm ² (58.000-80.000 psi). Για την ψυχρού φλαντζώματος ποιότητα: 36-46kg/cm ² (55.000-65.000 psi)					
Όριο Ροής, Έλαστικότητα	Για όλες τις ποιότητες: 24 kg/mm ² (34.000 psi). Για τα πάνω από 25,0 mm (1,0 in) της Ποιότητας A πάχη 23 kg/mm ² (32.000 psi). Για τη ποιότητα ψυχρού φλαντζώματος: 21 kg/mm ² (30.000 psi)					
Έλαστικότητα Έπιμηκυνση	Για όλες τις Ποιότητες: 21% σε 200 mm (8 in) (Βλέπε τις 43.3.4d και 43.3.4e) ή 24% σε 50 mm (2 in) (για τα δοκίμια βλέπε το Σχ-μα 43.2) ή 22% σε 5,65√A (A είναι το έμβανον διατομής του δοκιμίου). Για την ποιότητα ψυχρού φλαντζώματος: 23% ελάχ 200 mm (8 in).					
Δοκιμή Κρούσεως Έγκριση V κατά CHARPY						
Θερμοκρασία		0C (32F) Πάνω από τα 25 mm (1,00 in)	-10C (14F)	-40C (-40F)		
Έλαστικός Μέσος Όρος Ενέργειας						
Διαμήκη Λοκίμια		2,8 kg-m (20ft-lbs)	2,8kg-m 20ft-lbs)	2,8 kg-m (20 ft-lbs)		
Έγκριση Δοκίμια		2,0 kg-m (14 ft-lbs)	2,0kg/lbs (14 ft-lbs)	2,0kg-m (14ft-lbs)		
Θερμική Κατεργασία			Όμοιοποίηση για τα πάνω από 35 mm (1,375 in) πάχη ⁴	Όμοιοποίηση	Όμοιοποίηση για τα πάνω από 35 mm (1,375 in) πάχη που θα μαρκάρονται CS	Όμοιοποίηση
Μαρκάρισμα	$\frac{AB}{A}$	$\frac{AB}{B}$	$\frac{AB}{D}$ ³	$\frac{AB}{E}$	$\frac{AB}{DS}$	$\frac{AB}{CS}$

Σημειώσεις

- Θα επιτρέπεται μέγιστη περιεκτικότητα άνθρακα μέχρι 0,26% για τα από 12,5 mm (0,50 in) και κάτω ελάσματα και για όλα τα πάχη των μορφοσιδερών Ποιότητας A
- Η ποιότητα D μπορεί να παραδίδεται ημικαθουχασμένη σε πάχη μέχρι και 35 mm (1,375 in) με την προϋπόθεση ότι όλα τα πάνω από 25 mm (1,00 in) πάχη είναι ομαλοποιημένα. Στη περίπτωση αυτή δεν θα εφαρμόζονται οι προδιαγραφές για την ελάχιστη σε Si και Al περιεκτικότητα και τη λεπτοκοκή μέθοδο.
- Δεν θα απαιτούνται δοκιμές κρούσεως για την ομαλοποιημένη Ποιότητα D όταν παράγεται πλήρως καθουχασμένη και με λεπτοκοκή μέθοδο.

- Σάν αντικατάσταση της ομαλοποίησης μπορεί να ληφθεί ειδικά ύψη ή ελεγχόμενη έλαση ή η ελεγχόμενη θερμομηχανική έλαση της Ποιότητας D, στη περίπτωση δέ αυτή οι δοκιμές κρούσεως θα γίνουν σύμφωνα με τον Πίνακα 43.1b.
- Η ποιότης D του ναυπηγισμού χάλυβα πού έχει ομαλοποιηθεί ή έλαθει υπό έλεγχο σύμφωνα με τη Σημείωση 4 θα μαρκάρεται AB/DN.
- Η ελεγχόμενη έλαση ή η ελεγχόμενη θερμομηχανική έλαση των μορφών της Ποιότητας E μπορεί σε ειδικές περιπτώσεις να θεωρηθεί σάν αντικατάσταση της ομαλοποίησης και στην περίπτωση αυτή θα απαιτούνται δοκιμές κρούσης σύμφωνα με τον Πίνακα 43.1b.
- Βλέπε την 43.3.**

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3

Προδιαγραφές Ναυπηγικών Χαλύβων Υψηλής Αντοχής κατά ABS

Προδιαγραφές για Ναυπηγικούς Χάλυβες 'Υψηλής 'Αντοχής
Ποιότητες AH32, DH32, EH32, AH36, DH36, και EH36

Μέθοδος Κατασκευής: Άνοικτη Κάμινος, Βασικού Όξυγόνου, ή 'Ηλεκτρική Κάμινος

Ποιότητες ¹	AH32	DH32	EH32	AH36	DH36	EH36
'Αποξείδωση	'Ημικαθ- χασμένος ή καθουχασμένος ³	Καθου- χασμένος, Λεπ- τόκοκη μέθ. ⁴	Καθουχασ- σμένος, Λεπτό- κοκη μέθοδος ⁴	'Ημικαθ- σασμένος ή καθουχασμένος ³	Καθουχασ- σμένος Λεπτό- κοκη μέθοδος ⁴	Καθουχασ- σμένος Λεπτό- κοκη μέθοδος ⁴

Χημική Σύνθεση για όλες τις Ποιότητες

('Ανάλυση Δείγματος της Κουτάλας του Χυτηρίου)

* Άνθραξ %	0,18 μέγ.
Μαγγάνιο %	0,90-1,60
Φωσφόρος %	0,04 μέγ.
Θείο %	0,04 μέγ.
Ψυρίτιο %	0,10-0,50
Νικέλιο %	0,40 μέγ.
Χρώμιο %	0,25 μέγ.
Μολυβδαίνιο %	0,08 μέγ.
Χαλκός %	0,35 μέγ.
Κολόμβιο % (Νιόβιο)	0,05 μέγ.
Βαναδίο %	0,10 μέγ.

'Η κατάγραφή των στοιχείων αυτών στη κατάσταση
του χαλβουργείου δεν είναι απαραίτητη εκτός από
όταν έχουν ειδικά προστεθεί

Δοσμή 'Εφελκυσμού

'Αντοχή εφελκυσμού	48-60 kg/mm ² (68.000-85.000 psi)	50-63 kg/mm ² (71.000-90.000 psi)
*Όριο ή 'Αντοχή Ροής, ελάχ.	32 kg/mm ² (45.000 psi)	36 kg/mm ² (51.000 psi)

'Ελάχιστη 'Επιμήκυνση Για όλες τις Ποιότητες: 19% σε 200 mm (8 in) ή 22% σε 50 mm (2 in) (για τὰ δοκίμια βλέπε τὸ Σχήμα 43.2) ή 20% σε 5,65 √A (τὸ A εἶναι τὸ ἔμβαδὸν τῆς διατομῆς τοῦ δοκίμιου)

Θερμική Κατεργασία: Βλέπε τὸν Πίνακα 43.3 καὶ τὴν Παράγραφο 43.3.3.

Δοσμή Κρούσεως
κατὰ CHARPY με 'Εγκοπή V

Θερμοκρασία 'Ελάχιστος Μείσος *Όρος 'Απορροφουμένης 'Ενέργειας	OC (32F)	-40 C(-0F)	-20 C(-4 F)	-40C(-40F)	-20 C(-4 F)	-40C(-40F)
Διαμήκη Δοκίμια	3,5 kg-m (25 ft-lbs) ⁵	3,5 kg-m (25 ft-lbs) ⁵	3,5 kg-m (25 ft-lbs)	3,5 kg-m (25 ft-lbs) ⁴	3,5 kg-m (25 ft-lbs) ⁵	3,5 kg-m (25 ft-lbs)
ή 'Εγκάρσια Δοκίμια	2,4 kg-m (17 ft-lbs) ⁵	2,4 kg-m (17 ft-lbs) ⁵	2,4 kg-m (17 ft-lbs)	2,4 kg-m (17ft- lbs) ⁵	2,4 kg-m (17 ft-lbs) ⁵	2,4 kg-m (17ft- lbs)

Μαρκάρισμα

Σημειώσεις

- Οι μετά από τὸν χαρακτηρισμὸ τῆς Ποιότητας ἀριθμοὶ υποδηλοῦν τὸ ὄριο ἢ τὴν ἀντοχὴ ροῆς στὴν ὁποία παραγγέλεται καὶ παράγει-
ται ὁ χάλυβας σε kg/mm²
- Τὰ ἀπὸ 12,5 mm (0,50 in) καὶ κάτω πάχη τῆς Ποιότητας AH μπορεῖ
νὰ ἔχουν ἐλάχιστη σε μαγγάνιο περιεκτικὸτητα 0,70%.
- 'Η Ποιότητα AH μπορεῖ νὰ εἶναι ἡμικαθουχασμένη γιὰ πάχη μέχρι
καὶ 12,5 mm (0,50 in), καὶ στὴ περίπτωση αὐτὴ δὲν θὰ ἐφαρμόζεται
ἡ προδιαγραφὴ γιὰ τὴν ἐλάχιστη σε ψυρίτιο περιεκτικὸτητα
0,10%. 'Εκτὸς ἀπὸ ὅταν ὑπάρχει διαφορετικὴ ἔγκριση τὰ μεγαλύ-
τερη ἀπὸ 12,5 mm (0,50 in) πάχη τῆς Ποιότητας AH θὰ καθουχά-
ζονται με 0,10 μέχρι 0,50% ψυρίτιο.

- Οι Ποιότητες DH καὶ EH πρέπει νὰ περιέχουν τοὐλάχιστον ἓνα ἀπὸ
τὰ προκαλούμενα λεπτοῦς κόκκους στοιχεῖα σε ἀρκετὴ ποσότητα
γιὰ τὴν ικανοποίηση τῶν περὶ λεπτόκοκκου μεθοδῶν προδιαγρα-
φῶν (βλέπε τὴν 43.5.2d).
- Δὲν ἀπαιτοῦνται δοκιμὲς κρούσεως γιὰ τὴν Ποιότητα AH πάχους
ἀπὸ 12,5 mm (0,50 in) καὶ κάτω, καὶ τὴν περιέχουσα ἄλουμῖνο Ποιό-
τητα AH πάχους ἀπὸ 35 mm (1,375 in) καὶ κάτω. Δὲν θὰ ἀπαιτοῦνται
δοκιμὲς κρούσεως γιὰ τὴν πλήρως καθουχασμένης, καὶ λεπτόκοκ-
κα ὁμαλοποιημένης Ποιότητες AH ἢ DH πάχους ἀπὸ 51 mm (2 in)
καὶ κάτω.
- Τὰ σύμβολα AB/DHN θὰ μαρκάρωνται σε ἐλάσματα Ποιότητας DH
πού ἔχουν εἴτε ὁμαλοποιηθεῖ εἴτε ἐλαθὴ ὑπὸ ἐλεγχῶ συμφωνὰ με
μιὰ ἐγκεκριμένη μέθοδο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4

**Αντιστοιχίες Ποιοτήτων Ναυπηγικού Χάλυβα
Διαφόρων Νηογνώμωνων**

Νηογνώμονας	Έτος	Ναυπηγικοί Χάλυβες Συνήθους Αντοχής ^{1,4}			
ABS	1979	A	B	D ή DS ²	CS, E ³
BV	1977	A	B	D	E
DNV	1977	NVA	NVW	NVD	NVE
GL	1973	A	B	D	E
LR	1978	A	B	D	E
NKK	1978	KA	KB	KD	KE
RINa	1977	A	B	D	E
IACS	1978	A	B	D	E

Σημειώσεις :

1. Οποιαδήποτε ποιότητα μπορεί να αντικατασταθεί από άλλη ποιότητα που βρίσκεται στα δεξιά της.
2. Η ποιότητα DS μέχρι πάχους 35 mm (1 3/8 in)
3. Οποιαδήποτε ποιότητα που βρίσκεται στη δεξιότερη στήλη του πίνακα μπορεί να αντικαταστήσει οποιαδήποτε άλλη ποιότητα ναυπηγικού χάλυβα συνήθους αντοχής, συμπεριλαμβανομένων και των ποιοτήτων ABS CN, GL C, DNV NVC, NKK KC και RINa DDS.
4. Αν και ο πίνακας αναφέρεται στις ποιότητες που ορίζουν οι διάφοροι νηογνώμονες, αυτό δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι είναι δυνατή η εναλλαξιμότητα, δεδομένου ότι οι διάφοροι νηογνώμονες έχουν διαφορετικές απαιτήσεις εφαρμογής των ποιοτήτων χάλυβα στα στοιχεία αντοχής του σκάφους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.8

Απαιτήσεις για Πλοία Μεταφοράς Υγροποιημένου Αερίου

Ελάσματα και ενισχυτικά για δεξαμενές φορτίου, δευτερεύοντα διαχωριστικά και δοχεία πίεσης για θερμοκρασία σχεδιασμού μεταξύ -55°C και 0°C .

Μέγιστο Πάχος 20 mm (3/4 in)

Χημική Σύσταση και Θερμική Κατεργασία

Μαγγανιούχος = Πλήρως καθυστερημένος. Λεπτόκοκκη ποιότητα
Χάλυβας = με προσθήκη αλουμινίου.

Χημική Σύσταση, %

C : 0.16 max, Mn : 0.70-1.10, Si : 0.10-0.50, S : 0.035 max, P : 0.035 max

Πρόσθετα στοιχεία : Επιτρέπεται γενικά η προσθήκη και άλλων στοιχείων σύμφωνα με τα παρακάτω ποσοστά :

Ni : 0.80 max, Cr : 0.25 max, Mo : 0.06 max, Cu :
0.35 max, Nb : 0.05 max, V : 0.10 max

Εξομάλυνση ή βαφή και επαναφορά

Απαιτήσεις Δυσθραυστότητας

Η δοκιμή Charpy γίνεται σε θερμοκρασία 50°C χαμηλότερη της θερμοκρασίας σχεδίασης ή στους -200°C , όποια είναι μικρότερη.

Ελάσματα : Εγκάρσια δοκίμια. Ελάχιστη μέση απορροφούμενη ενέργεια ίση προς 2.8 kJm

Ενισχυτικά : Διαμήκη δοκίμια. Ελάχιστη μέση απορροφούμενη ενέργεια ίση προς 4.2 kJm.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.9

**Απαιτήσεις για Πλοία Μεταφοράς
Υγροποιημένου Αερίου**

Ελάσματα και ενισχυτικά για δεξαμενές φορτίου, δευτερεύοντα διαχωριστικά και δοχεία πίεσης για θερμοκρασία σχεδιασμού μεταξύ -55°C και -165°C .

Μέγιστο Πάχος 20 mm (3/4 in)

Ελάχιστη θερμοκρασία σχεδιασμού ($^{\circ}\text{C}$)	Χημική σύσταση και θερμική κατεργασία	Θερμοκρασία δοκιμής Charpy ($^{\circ}\text{C}$)
- 60	Νικελιούχος χάλυβας με 1.5% Ni - εξομάλυνση	- 65
- 65	Νικελιούχος χάλυβας με 2.25% Ni - εξομάλυνση ή εξομάλυνση και επαναφορά	- 70
- 90	Νικελιούχος χάλυβας με 3.5% Ni - εξομάλυνση ή εξομάλυνση και επαναφορά	- 95
- 105	Νικελιούχος χάλυβας με 5% Ni - εξομάλυνση ή εξομάλυνση και επαναφορά	- 110
- 165	Νικελιούχος χάλυβας με 9% Ni - εξομάλυνση ή εξομάλυνση και επαναφορά	- 196
- 165	Ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες, π.χ. 304, 304L, 316, 316L, 321	- 196
- 165	Κράματα αλουμινίου	Δεν απαιτείται
- 165	Χάλυβας με 36% Ni	Δεν απαιτείται

Απαιτήσεις Δυσθραυστότητας
Όπως και στον Πίνακα 1.8.

3.3 Αλουμίνιο ως ναυπηγικό υλικό

3.3.1 Το αλουμίνιο στη ναυπηγική

Παρά το γεγονός ότι το αλουμίνιο και τα κράματά του ήταν γνωστά από το τέλος του 19ου αιώνα, η επιτυχής εφαρμογή του στη ναυπηγική είναι σχετικά πρόσφατη. Η πρώτη χρήση του αλουμινίου σε πλοία πιστεύεται ότι έγινε περί το 1890, λίγο καιρό μετά την είσοδο του χάλυβα στη ναυπηγική. Το 1894 ναυπηγήθηκε στην Αγγλία τορπιλάκατος 20 m εξ ολοκλήρου από κράμα αλουμινίου που περιείχε 6% χαλκό. Οι ανεπαρκείς όμως μέθοδοι ανέγερσης κατασκευών από αλουμίνιο κατέστησε το υλικό αυτό πολύ δύσχρηστο, με αποτέλεσμα την εγκατάλειψή του ως ναυπηγικού υλικού, μαζί με τον σίδηρο, στις αρχές του 20ου αιώνα. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1920 παρατηρείται επάνοδος του αλουμινίου, κάτι που οφείλεται σε νέες εξελίξεις στη τεχνολογία παραγωγής του. Σημαντικότερη εφαρμογή βρήκε το αλουμίνιο στην ανέγερση υπερκατασκευών και υπερστεγασμάτων τόσο σε πολεμικά όσο και σε εμπορικά πλοία. Κράματα αλουμινίου έχουν ακόμη χρησιμοποιηθεί σε τμήματα υποβρυχίων με σκοπό τη μείωση βάρους τους και την αύξηση της ταχύτητάς τους και της ακτίνας ενέργειάς τους. Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές του αλουμινίου στη ναυπηγική τα τελευταία χρόνια αποτέλεσαν και οι μεγάλες σφαιρικές δεξαμενές των πλοίων μεταφοράς υγροποιημένου υγραερίου. Οι σημαντικότερες άλλες πρόσφατες εφαρμογές κραμάτων αλουμινίου στη ναυπηγική περιλαμβάνουν τη μεταλλική κατασκευή υδροπτερυγίων, αμφίβιων πλοίων, ναρκαλιευτικών, κανονιογόρων, σκαφών αναψυχής κτλ.

3.3.2 Κράματα αλουμινίου για ναυπηγική χρήση

Τα κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται σήμερα στη ναυπηγική είναι αυτά των σειρών 5000 και 6000. Τα κυριότερα κράματα από τη σειρά 5000, που δεν επιδέχονται θερμική κατεργασία, είναι τα 5052, 5083, 5086, 5454 και 5456. Από αυτά το 5052 υπήρξε ένα από τα πρωτοχρησιμοποιηθέντα κράματα αλουμινίου στη ναυπηγική και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται για μικρά σκάφη αναψυχής.

Από τα κράματα αλουμινίου που έχουν υποστεί θερμική κατεργασία, το 6061 είναι αυτό που χρησιμοποιείται κύρια στη ναυπηγική. Με αυτό κατασκευάζονται οι διάφοροι μορφοδοκοί που χρησιμοποιούνται ως ενισχυτικά των ελασμάτων. Η χημική σύσταση των ελασμάτων φαίνεται στον πίνακα 1.12

3.3.3 Κατασκευή αλουμινένιων σκαφών

Κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών χρήσης του αλουμινίου και των κραμάτων του για μεταλλικές κατασκευές επικρατούσε η αντίληψη ότι η κατεργασία του ήταν προβληματική. Με τη πείρα, όμως, που αποκτήθηκε σιγά-σιγά και με την εισαγωγή νέων μεθόδων ανέγερσης, η αντίληψη αυτή τείνει σήμερα να ανατραπεί.

Μηχανική διαμόρφωση

Γενικά, το αλουμίνιο μπορεί να υποστεί μηχανικές κατεργασίες διαμόρφωσης με τα ίδια μηχανήματα που χρησιμοποιούνται και στη περίπτωση του χάλυβα. Ορισμένες ιδιότητες του αλουμινίου απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή:

- (a) Το αλουμίνιο παρουσιάζει μεγαλύτερη τάση επανόδου σε σχέση με τον χάλυβα στη περίπτωση αποφόρτισης μετά από μεταμόρφωση στη πλαστική περιοχή. Αυτό οφείλεται στο πολύ μικρό μέτρο ελαστικότητάς του, και άρα στην ανάπτυξη μεγαλύτερων ελαστικών παραμορφώσεων για την ίδια επιβεβλημένη τάση.
- (b) Τα θερμικά χαρακτηριστικά των κραμάτων αλουμινίου είναι διαφορετικά από εκείνα του χάλυβα. Συγκεκριμένα, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι τριπλάσιος και ο γραμμικός συντελεστής διαστολής είναι περίπου διπλάσιος από τις αντίστοιχες τιμές του χάλυβα.

Κοπή

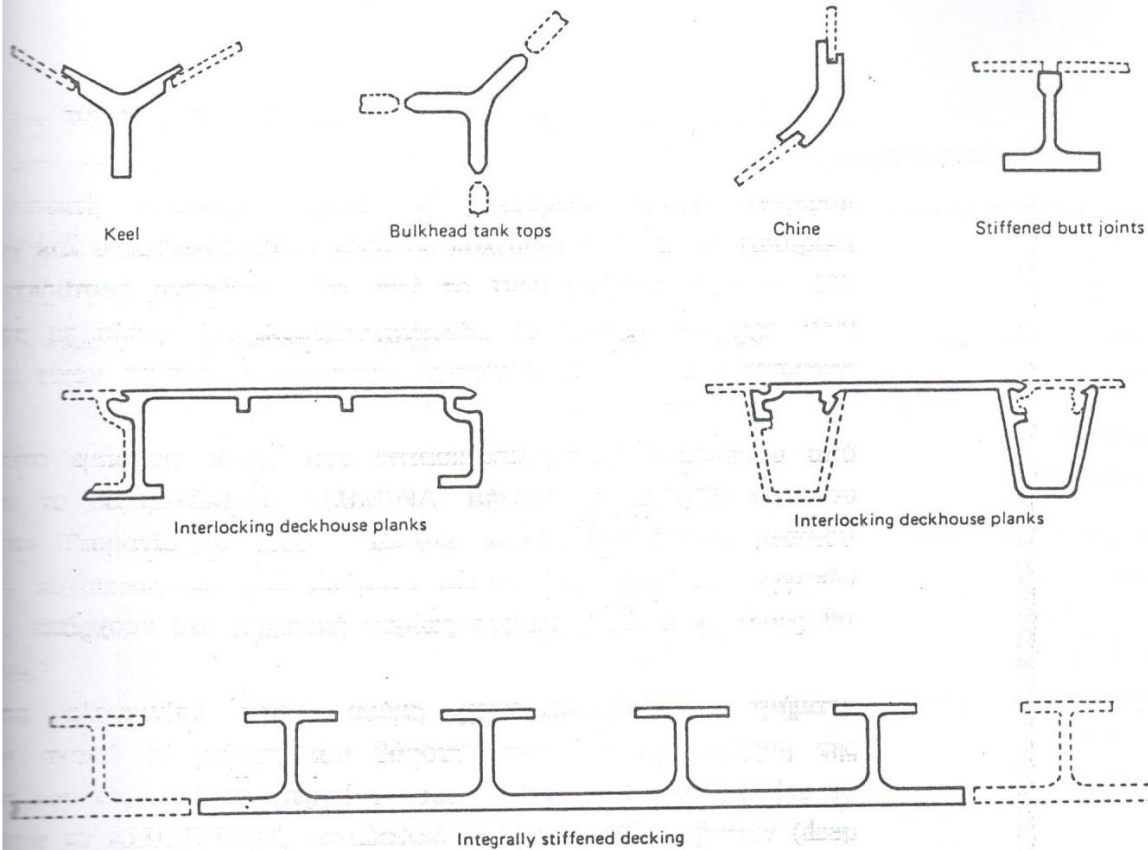
Τα κράματα αλουμινίου μπορούν να κοπούν σχετικά εύκολα με μηχανικό πριόνι, ιδιαίτερα σε μικρά πάχη. Η κοπή όμως με φλόγα οξυγόνου-ακετυλένιου δεν μπορεί να εφαρμοστεί λόγω της δημιουργίας οξειδίων με θερμοκρασία τήξης πολύ μεγαλύτερη εκείνης του αλουμινίου. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι κοπής αλουμινίου είναι του τόξου πλάσματος ή τόξου βολφραμίου.

Συγκόλληση

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι συγκόλλησης κραμάτων αλουμινίου είναι με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου (*Gas Tungsten Arc Welding*) και με τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου (*Gas Metal Arc Welding*). Από αυτές, η πρώτη δεν χρησιμοποιείται πολύ στη ναυπηγική επειδή είναι σχετικά αργή.

Τα σημαντικότερα από τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη συγκόλληση του αλουμινίου και των κραμάτων του είναι τα εξής:

- (a) Πόροι στη συγκόλληση. Σε σύγκριση με τον χάλυβα τα κράματα αλουμινίου είναι πιο ενεργά, με τη θερμοδυναμική έννοια του όρου. Έχουν, επομένως, μεγαλύτερη πιθανότητα να εγκλωβίσουν αέρια και να δημιουργήσουν πόρους στη συγκόλληση.
- (b) Συστολή και παραμόρφωση. Τα κράματα αλουμινίου έχουν μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, μεγαλύτερο γραμμικό συντελεστή διαστολής και μικρότερο μέτρο ελαστικότητας σε σχέση με τον χάλυβα. Αποτέλεσμα των διαφορών αυτών είναι η ανάπτυξη μεγαλύτερων συστολών και παραμορφώσεων κατά τη συγκόλληση αλουμινίου.
- (c) Μείωση της αντοχής στη ΘΕΖ. Η επίδραση της θερμότητας της συγκόλλησης έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής στη Θερμική Επηρεαζόμενη Ζώνη (ΘΕΖ). Η μείωση αυτή παρατηρείται περισσότερο στα κράματα αλουμινίου που έχουν αποκτήσει τις ιδιότητές τους με θερμική κατεργασία.



Σχήμα 1.4 Τυπικές μορφές κατασκευασμένες με διέλαση (extrusion) για ναυπηγικές εφαρμογές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.12

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others Each total	Al
5052	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2-2.8	0.15-0.35	0.10	—	0.05-0.15	Remainder
5083	0.40	0.40	0.10	0.40-1.0	4.0-4.9	0.05-0.25	0.25	0.15	0.05-0.15	Remainder
5086	0.40	0.50	0.10	0.20-0.7	3.5-4.5	0.05-0.25	0.25	0.15	0.05-0.15	Remainder
5454	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20	0.25	0.20	0.05-0.15	Remainder
5456	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	4.7-5.5	0.05-0.20	0.25	0.20	0.05-0.15	Remainder
6061	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	0.25	0.15	0.05-0.15	Remainder
6063	0.20-0.6	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9	0.10	0.10	0.10	0.05-0.15	Remainder
6351	0.7-1.3	0.50	0.10	0.40-0.8	0.40-0.8	—	0.20	0.20	0.05-0.15	Remainder
356.0	6.5-7.5	0.6	0.25	0.35	0.20-0.40	—	0.35	0.25	0.05-0.15	Remainder
A356.0	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.20-0.40	—	0.10	0.20	0.05-0.15	Remainder
514.0	0.35	0.50	0.15	0.35	3.5-4.5	—	0.15	0.25	0.05-0.15	Remainder
520.0	0.25	0.30	0.25	0.15	9.5-10.6	—	0.15	0.25	0.05-0.15	Remainder
535.0	0.15	0.15	0.05	0.10-0.25	6.2-7.5	—	—	0.10-0.25	0.05-0.15	Remainder

- Σημειώσεις :**
1. Μοναδικές τιμές υπονοούν μέγιστη περιεκτικότητα
 2. Τα πέντε τελευταία κράματα είναι κράματα χύτευσης

3.4 Τιτάνιο και κράματα αυτού

3.4.1 Το τιτάνιο στη ναυπηγική

Η χρήση του τιτανίου στην ανέγερση μεταλλικών κατασκευών είναι σχετικά πρόσφατη. Μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη της τεχνολογίας του έδωσε η αεροναυπηγική βιομηχανία, εδώ και περίπου τέσσερις δεκαετίες χρησιμοποιεί σε ολοένα αυξανόμενες ποσότητες το υλικό αυτό.

Από την πλευρά της, η ναυπηγική βιομηχανία άρχισε να ενδιαφέρεται για το υλικό αυτό κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950, λόγω των εξαιρετικών του χαρακτηριστικών που περιλαμβάνουν: χαμηλό ειδικό βάρος, υψηλή αντοχή, αντίσταση σε διάβρωση και ρύπανση, αντοχή σε κόπωση σε θαλάσσιο περιβάλλον, αντιμαγνητικές ιδιότητες, υψηλή αντοχή σε κρούση κτλ. Πρά τις εξαιρετικές τους ιδιότητες, το τιτάνιο και τα κράματά του δεν έχουν ακόμη εφαρμοσθεί σε ευρεία κλίμακα στη ναυπηγική, κυρίως λόγω της υψηλής τιμής τους και των δυσκολιών που παρουσιάζουν στις διάφορες κατεργασίες τους.

Από άποψη εφαρμογών, η σημαντικότερη μέχρι σήμερα χρήση τους είναι σε καταδυτικά σωστικά σκάφη μεγάλου βάθους (*Deep Submergence Rescue Vehicles, DSRVs*). Τα δύο τελευταία χρόνια χρησιμοποιούν το κράμα Ti-6Al-4V ELI τόσο στο σφαιρικό περίβλημα όσο και στις σφαιρικές δεξαμενές έρματος. Ακόμα η χρήση του τιτανίου στη κατασκευή του σφαιρικού χώρου του πληρώματος συνετέλεσε αποφασιστικά στη μετατροπή του DSRV Sea Cliff, που αύξησε το πηρεσιακό βάθος του από 1980 m το 1968 στα 6100 m το 1980.

Το τιτάνιο και τα κράματά του έχουν ακόμα εφαρμοστεί και στην κατασκευή ορισμένων κρίσιμων τμημάτων της μεταλλικής κατασκευής προχωρημένων τύπων σκαφών. Σαν παράδειγμα αναφέρονται τα περυσία, πηδάκια και έλικες των ταχύπλοων πολεμικών σκαφών SES-100 (*Surface Effect Ships*), οι ελικοφόροι άξονες τορπιλάκατων στην Ιαπωνία και τμήματα υδραυλικών δικτύων (σώματα βαλβίδων, σωληνώσεις).

3.4.2 Στοιχεία για μελέτη ναυπηγικών κατασκευών από τιτάνιο

Η μελέτη ναυπηγικών κατασκευών από τιτάνιο και κράματά του δεν υπόκεινται σε εφαρμογή κάποιων κανονισμών, όπως στη περίπτωση του χάλυβα και του αλουμινίου. Έτσι, ο μελετητής υποχρεούται στην εφαρμογή βασικών αρχών της μηχανικής, κάτι που προϋποθέτει βέβαια την σε βάθος γνώση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού και την αναγνώριση των προβλημάτων που παρουσιάζει η χρήση του.

Αντοχή και βάρος

Η αντοχή του τιτανίου και των κραμάτων του μπορεί να ξεπεράσει εκείνη των χαλύβων και των κραμάτων αλουμινίου. Η πυκνότητά τους, ίση περίπου προς 4.50 g/cm^3 είναι διπλάσια εκείνης του αλουμινίου και το 60% της του χάλυβα. Συνδυάζοντας τα παραπάνω, προκύπτει ότι ο λόγος αντοχής προς βάρος των κραμάτων τιτανίου κυμαίνεται μεταξύ 250 και 920, έναντι 125-150 για χάλυβα και 300-500 για τα κράματα αλουμινίου.

Μέτρο ελαστικότητας

Το μέτρο ελαστικότητας τους τιτανίου είναι ίσο με το μισό περίπου εκείνου του χάλυβα και 50 % μεγαλύτερο εκείνου του αλουμινίου. Επομένως, τα προβλήματα παραμορφώσεων που συναντώνται σε αλουμινένιες κατασκευές δεν είναι τόσο σοβαρά στη περίπτωση κατασκευών από κράματα τιτανίου.

Αντοχή σε διάβρωση

Από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του αλουμινίου είναι η αντοχή του στην επίδραση του θαλασσινού νερού (διάβρωση, ρύπανση κτλ.). Το τιτάνιο είναι πιο καθοδικό σε σχέση με τα περισσότερα άλλα κατασκευαστικά υλικά, κάτι που επιβάλλει τη προστασία τους σε περιπτώσεις συνδιασμού τους με το τιτάνιο και τα κράματά του. Η μεγάλη αυτή αντίσταση του τιτανίου σε διάβρωση οφείλεται στη διατήρηση του δημιουργούμενου στην επιφάνειά του παθητικού στρώματος οξειδίου. Εάν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος συμβεί διακοπή της συνέχειας του προστατευτικού αυτού στρώματος, τότε μπορεί να παρουσιαστεί το φαινόμενο της διάβρωσης με μηχανική καταπόνηση που οδηγεί σε ρηγμάτωση (*stress corrosion cracking*). Η διακοπή αυτή της συνέχειας είναι δυνατόν να δημιουργηθεί στην περίπτωση προϋπάρχουσας ρωγμής και εφαρμογής αναλλασσόμενων φορτίων κοντά στο όριο κόπωσης ή ύπαρξης συνθηκών επίπεδης παραμόρφωσης. Τότε ενδείκνυται η χρήση εμπορικά καθαρού τιτανίου ή του κράματος Ti-6Al-4V.

Δυσθραυστότητα

Εάν επιβάλλουμε ένα κράμα τιτανίου σε δοκιμή Charpy V θα παρατηρήσουμε ότι η αύξηση της αντοχής οδηγεί σε μείωση της δυσθραυστότητας. Σε σύγκριση με του χάλυβες, τα κράματα τιτανίου δεν παρουσιάζουν απότομη μετάβαση από ψαθυρή σε όλκιμη συμπεριφορά ως συνάρτηση της θερμοκρασίας. Αντίθετα, η μετάβαση γίνεται ομαλά όπως και στη περίπτωση των κραμάτων αλουμινίου. Ακαθαρσίες, όπως ο άνθρακας, το υδρογόνο, το άζωτο και το οξυγόνο έχουν δυσμενή επίδραση στη δυσθραυστότητα του τιτανίου. Για τον λόγο αυτό τα εμπορικά κράματα τιτανίου έχουν περιεκτικότητα σε υδρογόνο μικρότερη των 200 ppm.

3.4.3 Ανέγερση κατασκευών από τιτάνιο και τα κράματά του

Η ανέγερση κατασκευών από τιτάνιο είναι ακόμη και σήμερα πολύ ακριβή. Πιστεύεται ότι ο μόνος τρόπος μείωσης του κόστους είναι η κατασκευή πολλών ομοειδών προϊόντων εν σειρά. Στις παρακάτω παραγράφους δίνεται μια συνοπτική εικόνα των παραγόντων που επηρεάζουν αυτό το κόστος.

Μηχανική κατεργασία

Οι συνηθισμένες μηχανικές κατεργασίες μπορούν να γίνουν με τα ίδια μηχανήματα, έλστρα κτλ. που χρησιμοποιούνται και για τον χάλυβα. Απαιτείται, όμως, ιδιαίτερη προσοχή στο γεγονός ότι τα κράματα τιτανίου είναι υψηλότερης αντοχής από τον χάλυβα και ότι το μέτρο ελαστικότητάς τους είναι το μισό εκείνου του χάλυβα. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε υψηλότερες απαιτήσεις ενέργειας για τη μηχανική κατεργασία. Τα τελευταία χρόνια ενταθεί η ερευνητική δραστηριότητα στη κατεύθυνση εκμετάλλευσης του φαινομένου της υπερπλαστικότητας που παρουσιάζεται σε κράματα τιτανίου. Υπερπλαστικότητα ορίζεται ως η ικανότητα ενός υλικού να επιτυγχάνει πολύ μεγάλες επιμηκύνσεις σε εφελκυσμό, της τάξης του 200 με 500%, χωρίς να θραύεται ή να εμφανίζει το φαινόμενο της στένωσης του λαιμού. Μια παραλαγή των παραπάνω είναι ο συνδιασμός υρπεπλαστικής εξέλασης και συγκόλλησης με διάχυση. Κατ' αυτήν, στοιχεία μιας κατασκευής συγκολλούνται επιλεκτικά με διάχυση των μορίων των επιφανειών τους που κρατούνται στη θέση τους με εφαρμογή εξωτερικής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας.

Συγκόλληση

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά τη συγκόλληση του τιτανίου και των κραμάτων του για την προστασία του μετάλλου συγκόλλησης από διάφορες ακαθαρσίες, όταν αυτό βρίσκεται στις υψηλές θερμοκρασίες συγκόλλησης, 650°C και άνω. Βασικός λόγος για την προστασία αυτή είναι να εμποδιστεί η διάχυση των ακαθαρσιών στο τηγμένο μέταλλο συγκόλλησης επειδή μπορούν να καταστήσουν την συγκόλληση εύθραυστη. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος συγκόλλησης τιτανίου είναι με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου, ενώ άλλες είναι με τόξο πλάσματος, με

τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου, με δέσμη ηλεκτρονίων, με ακτίνες λέιζερ κτλ.

3.5 Σύνθετα υλικά

3.5.1 Εισαγωγή

Ο όρος συνθετα υλικά (*composite materials*) χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει τα υλικά τα οποία προκύπτουν από τον συνδιασμό δύο ή περισσότερων άλλων, διαφορετικών μεταξύ τους, υλικών. Ο συνδιασμός αυτός, αν και εμπεριέχει κάποια μορφή χημικής ένωσης, εντούτοις δεν έχει ως αποτέλεσμα ένα ομοιογενές υλικό, όπως είναι τα διάφορα κράματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα σύνθετου υλικού πολύ κοινού στις οικοδομικές εργασίες είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα, όπου τα δύο συνιστώμενα υλικά είναι το καθαρό μπετόν και ο οπλισμός από σίδερα.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των σύνθετων υλικών έγκειται στο ότι συνδιάζουν τις καλύτερες ιδιότητες των συστατικών του μερών. Πολλές φορές μάλιστα το νέο υλικό έχει ιδιότητες που δεν διαθέτει κανένα από τα συστατικά του. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι μπορούν να κατασκευαστούν ώστε να είναι είτε ισότροπα είτε ανισότροπα.

Οι ιδιότητες οι οποίες είναι δυνατόν να βελτιωθούν με τη δημιουργία ενός σύνθετου υλικού είναι η μηχανική αντοχή, η ακαμψία, η αντοχή σε διάβρωση, η ανθεκτικότητα σε φθορά, η εμφάνιση, το βάρος, η αντοχή σε κόπωση, η εξαρτώμενη από την θερμοκρασία συμπεριφορά, η θερμική και η ακουστική μόνωση και η θερμική αγωγιμότητα. Φυσικά οι παραπάνω ιδιότητες δεν καλυτερεύουν όλες ταυτόχρονα και στον ίδιο βαθμό.

Ειδικότερα στη Ναυπηγική, και όσον αφορά το βάρος, ένα σκάφος από πλαστικό ενισχυμένο με ίνες γυαλιού (*Glass Reinforced Plastic, G.R.P.*) μπορεί να φτάσει μέχρι το 50 με 60 % του βάρους ενός ισοδύναμου σκάφους κατασκευασμένο από ξύλο ή χάλυβα, αν και οι τιμές αυτές μπορούν να μεταβληθούν πολύ, εξαρτώμενες από το μέγεθος και τον τύπο του σκάφους, όπως επίσης και από τη σχετική αναλογία του G.R.P. με άλλα βαρύτερα υλικά όπως οι ξύλινες φρακτές ή οι χαλύβδινες εδράσεις.

Το μέγεθος του σκάφους έχει μεγάλη επίπτωση στη τελική διαμόρφωση των παραπάνω γενικών σχέσεων. Έτσι για αρκετά μικρά σκάφη το κέρδος σε βάρος του πλαστικού έναντι ενός χαλύβδινου είναι μεγαλύτερο από ότι στα μεγαλύτερα σκάφη, εξαιτίας του απαραίτητου επιπρόσθετου πάχους των χαλύβδινων ελασμάτων λόγω του φαινόμενου της διάβρωσης. Όσο μεγαλώνει το σκάφος, το πρόσθετο αυτό πάχος αντισταθμίζεται σε όλο και μεγαλύτερο βαθμό από το πρόσθετο πάχος του πλαστικού, το οποίο είναι αναγκαίο για τη διατήρηση της ακαμψίας της κατασκευής.

Στη συνέχεια αναφέρεται ένας κατάλογος με τους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη και τις ερωτήσεις που πρέπει να απαντηθούν για την επιτυχή εκλογή υλικού σε μία ναυπηγική κατασκευή από πλαστικό ενισχυμένο με ίνες (*Fiber Reinforced Plastic, F.R.P.*):

- Μηχανικές/ Φυσικές ιδιότητες
- Θερμικές ιδιότητες/ Αντίσταση σε φωτιά
- Χημική αντίσταση
- Βιολογικοί παράγοντες
- Ηλεκτρικές ιδιότητες
- Έκθεση σε καιρό
- Καθαρότητα και χρώμα
- Απαιτήσεις του Νηογνώμονα σύμφωνα με τον οποίο γίνεται η κατασκευή
- Διαδικασία πραγματοποίησης πειραματικών δοκιμών στα υλικά

3.5.2 Βασικά χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών

Ταξινόμηση των σύνθετων υλικών

Τα σύνθετα υλικά μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους. Ένας απλός τρόπος είναι χωριστούν σύμφωνα με το σχήμα των ενισχύσεών τους σε σύνθετα υλικά σωματιδίων (*Particulate Composites*), σε ινώδη (*Fibrous Composites*) και σε αλληλοεπιστρωμένα (*Laminated Composites*).

Τα σύνθετα υλικά σωματιδίων αποτελούνται από σωματίδια ενός ή περισσότερων υλικών τοποθετημένα άτακτα μέσα σε ένα άλλο, διαφορετικό υλικό, τη λεγόμενη μήτρα (*matrix*). Μία ενίσχυση θεωρείται σωματίδια εαν όλες οι διαστάσεις της είναι ίδιες. Τόσο τα σωματίδια, όσο και η μήτρα μπορούν να είναι μεταλλικά ή μη, δημιουργώντας έτσι αρκετούς συνδυασμούς υλικών.

Τα ινώδη σύνθετα υλικά αποτελούνται από ένα κυρίως υλικό, τη λεγόμενη μήτρα, μέσα στην οποία βρίσκονται ίνες ενός άλλου υλικού, είτε άτακτα διανεμειμένες είτε με κάποιο συγκεκριμένο προσανατολισμό. Ως ίνες θεωρούνται οι ενισχύσεις που έχουν μήκος πολύ μεγαλύτερο από τις διαστάσεις της εγκάρσιας διατομής τους. Στην πραγματικότητα οι ίνες αυτές καθ'αυτές έχουν μικρή σημασία αφού η μόνη φόρτιση στην οποία αντέχουν είναι η εφελκυστική. Το μεγάλο αυτό κενό καλύπτει η χρήση ενός συνδετικού υλικού μεταξύ των ινών, της μήτρας, υλικού του οποίου κύριος σκοπός είναι να υποστηρίξει και να προστατεύει τις ίνες καθώς επίσης να μεταφέρει και να διασκορπίζει τις τάσεις μέσω του όγκου του.

Τελευταία κατηγορία σύνθετων υλικών είναι αυτή των αλληλοεπιστρωμένων σύνθετων υλικών. Αυτά αποτελούνται από στρώσεις διαφορετικών ή του ίδιου υλικών, μεταλλικών ή μη, που συνδέονται μεταξύ τους με διάφορους τρόπους.

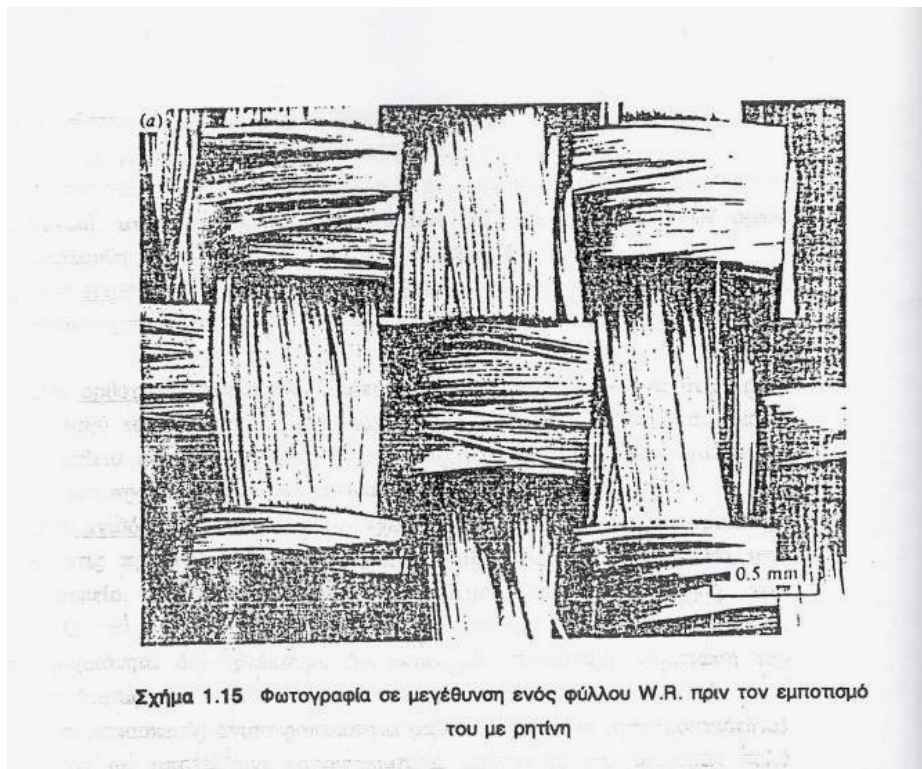
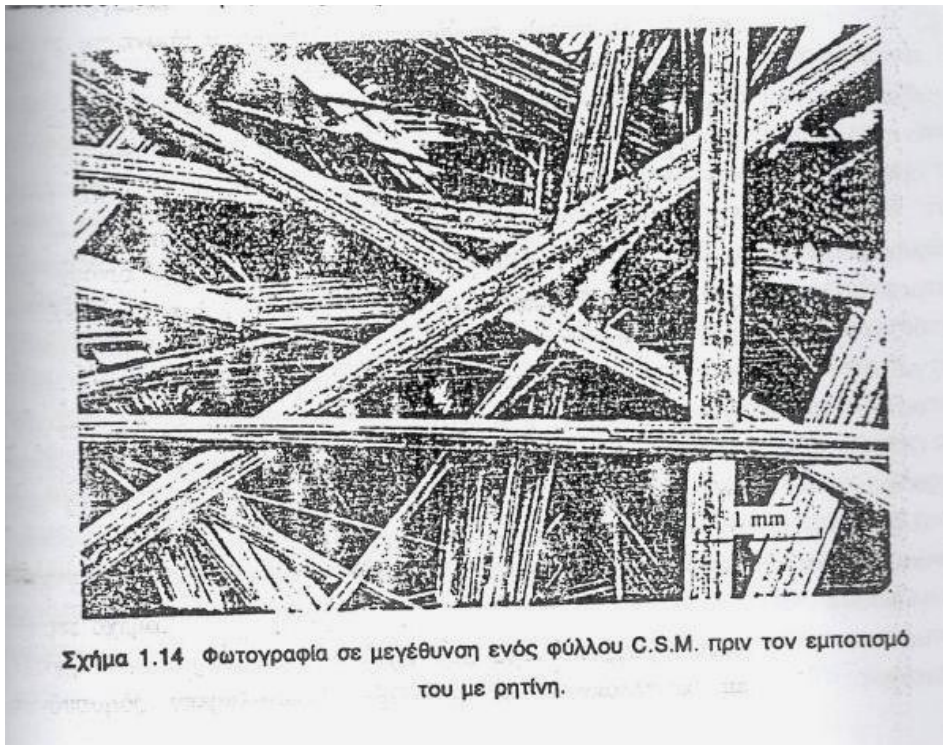
Βασικές αρχές και Ορολογία

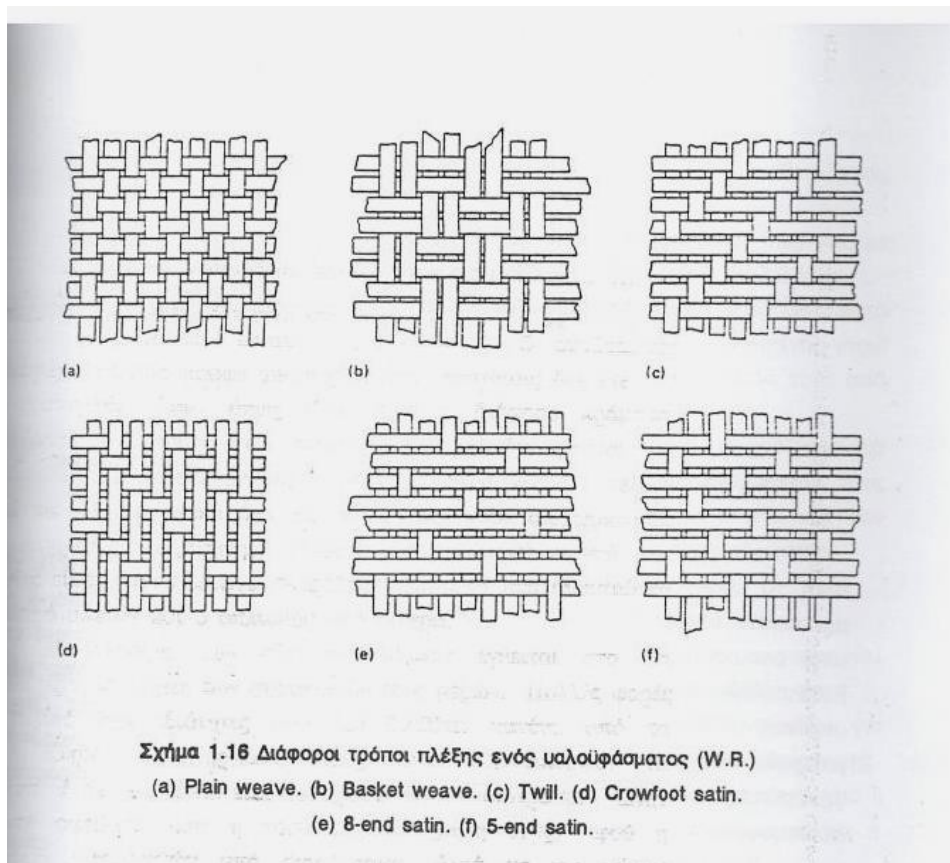
Η εφαρμογή των πλαστικών των ενισχυμένων με ίνες, καθώς και των υλικών που μοιάζουν με αυτά, σε μια κατασκευή ακολουθεί εντελώς διαφορετικό δρόμο από αυτόν άλλων υλικών. Στη ναυπηγική ένα πλαστικό και ένα χαλύβδινο σκάφος αποτελούν κατασκευές με εντελώς διαφορετικό χαρακτήρα και συμπεριφορά, κατασκευές οι οποίες όχι μόνο έχουν κατασκευαστεί με διαφορετικό τρόπο αλλά και των οποίων η χρήση και η συντήρηση διαφέρουν πολύ.

Το υλικό κατασκευής κυκλοφορεί, δηλαδή το ενισχυμένο με ίνες γυαλιού πλαστικό, κυκλοφορεί στο εμπόριο σε τρεις βασικούς τύπους: τον τύπο "*Chopped Strand Mat*" (ο ελληνικός όρος είναι «Υαλοπίλημα»), τον τύπο "*Woven Roving*" («Υαλούφασμα») και τον τύπο "*Unidirectional Roving*". Οι τρεις αυτοί τύποι προσφέρονται σε πολύ λεπτές ταινίες με πλάτος που κυμαίνεται από 1 έως 1.5 μέτρα. Στον πρώτο τύπο οι ίνες του γυαλιού είναι κοντές και άτακτα τοποθετημένες μεταξύ τους, συνδέονται δε σε ένα σώμα με τη βοήθεια σκόνης πολυεστέρα, σχήμα 1.14. Στον δεύτερο τύπο οι ίνες είναι παράλληλες μεταξύ τους, συνδεόμενες ανά ομάδες ώστε να δημιουργούνται νήματα, σχήμα 1.15. Τα νήματα αυτά εξαπλώνονται σε δύο διευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους και πλέκονται με αραιή πλέξη έτσι ώστε να αποτελούν ένα σώμα, σχήμα 1.16.

Ένα έλασμα αποτελούμενο από πολλές στρώσεις σύνθετου υλικού ονομάζεται *laminate*. Η αντοχή του *laminate* εξαρτάται από τον αριθμό των στρώσεων και τον τύπο της ενίσχυσης για ένα συγκεκριμένο πάχος. Οι στρώσεις από τις οποίες αποτελείται το *laminate* δεν είναι τίποτε άλλο από το υλικό στη μορφή που κυκλοφορεί στο εμπόριο, δηλαδή μία επίπεδη ή με καμπυλότητα διάταξη ενισχυτικών ινών, διαποτισμένη με το υλικό της μήτρας, τη ρητίνη. Η διεύθυνση της

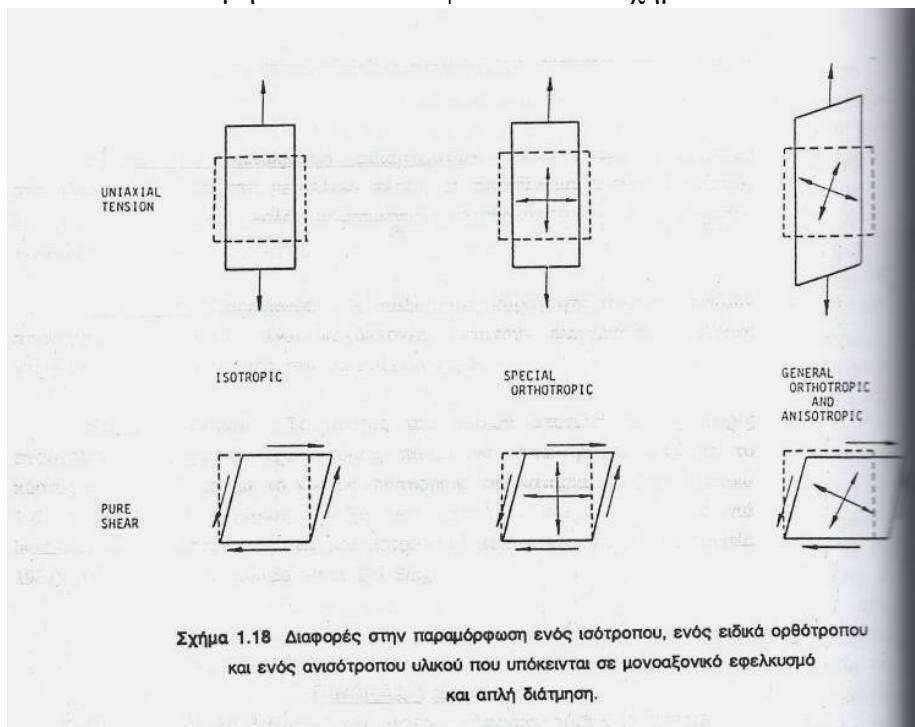
μεγαλύτερης αντοχής (περισσότερες ενισχυτικές ίνες) ονομάζεται στημόνι και η κάθετη σε αυτή γέμιση, ενώ τα φέροντα στοιχεία αντοχής της στρώσης είναι οι ίνες.





Ισοτροπικότητα και ανισοτροπικότητα

Η εκ κατασκευής ανισοτροπικότητα των σύνθετων υλικών έχει ως αποτέλεσμα χαρακτηριστικά μηχανικής συμπεριφοράς πολύ διαφορετικά από αυτά των συνηθισμένων ισότροπων υλικών. Η συμπεριφορά των ισότροπων, των ορθότροπων και των ανισότροπων υλικών κάτω από την επίδραση εφελκυστικών και διατμητικών τάσεων φαίνεται στο σχήμα 1.18.



Στα ισότροπα υλικά οι εφελκυστικές τάσεις προκαλούν επιμήκυνση κατά τη διεύθυνση που εφαρμόζονται και συστολή κατά τη κάθετη προς αυτή. Επίσης, οι διατμητικές τάσεις προκαλούν μόνο διατμητική παραμόρφωση. Στα ορθότροπα υλικά οι τρεις κύριες διευθύνσεις ορίζονται ως οι τομές των τριών καθέτων μεταξύ τους επιπέδων συμμετρίας. Εξαιτίας όμως των διαφορετικών ιδιοτήτων του υλικού στις δύο αυτές διευθύνσεις η συστολή μπορεί να είναι είτε μικρότερη είτε μεγαλύτερη από τη συστολή ενός όμοια φορτισμένου ισότροπου υλικού με το ίδιο τρόπο ελαστικότητας κατά τη διεύθυνση της φόρτισης. Το μέγεθος της διατμητικής παραμόρφωσης που προκαλούν οι διατμητικές τάσεις είναι ανεξάρτητο των διάφορων μέτρων ελαστικότητας και λόγων του *Poisson*. Αυτό σημαίνει ότι το μέτρο ελαστικότητας σε διάτμηση, G , ενός ορθότροπου υλικού είναι, σε αντίθεση με τα ισότροπα υλικά, ανεξάρτητο των άλλων ιδιοτήτων του υλικού.

Στα ανισότροπα υλικά, εφαρμογή εφαρμογή εφελκυστικού φορτίου οδηγεί, όχι μόνο σε επιμήκυνση κατά τη διεύθυνση της εφαρμογής και συστολή κατά τη κάθετη προς αυτή διεύθυνση, αλλά και σε διατμητική παραμόρφωση. Αντίστροφα, οι διατμητικές τάσεις προκαλούν και αυτές επιμήκυνση και συστολή μαζί με τη διατμητική παραμόρφωση.

Πλεονεκτήματα του υλικού

- Μικρό βάρος
- Υψηλή αντοχή
- Αντίσταση στο θαλάσσιο περιβάλλοντος
- Χημική αδράνεια
- Ευκαμψία
- Επισκευασιμότητα
- Διάρκεια ζωής
- Κόστος κατασκευής

Μειονεκτήματα του υλικού

- Ευκαμψία της γάστρας
- Ερπυσμός
- Φθορά λόγω τριβής
- Ευπάθεια σε φωτιά
- Κόστος υλικού
- Εγκατάσταση μεταλλικών εξαρτημάτων

3.5.3 Κατασκευαστικές αρχές σκαφών από G.R.P.

Οι βασικοί κατασκευαστικοί τύποι των σκαφών από πλαστικό ενισχυμένο με ίνες γυαλιού είναι δύο: αυτός των ενισχυμένων με δοκού ελασμάτων (*single skin construction*) και αυτός της κατασκευής *sandwich* (*sandwich construction*). Δύο άλλοι τύποι που δεν χρησιμοποιούνται ακόμη σε ευρεία κλίμακα είναι οι κατασκευές μονοκοque και οι κατασκευές από κυματοειδή ελάσματα.

Φάσεις κατασκευής

Για την κατασκευή σκαφών από G.R.P. ακολουθείται η παρακάτω σειρά:

Φάση 1: Κατασκευή προτύπου

Από το σχέδιο των ναυπηγικών γραμμών χαράζονται και κόβονται σε ξύλο τα σχήματα των νομέων σε κλίμακα 1:1. Κατόπιν συνδέονται οι νομείς με την τρόπιδα και ισοζυγίζονται ώστε να διατηρούνται οι αποστάσεις της μελέτης, οπότε και σταθεροποιούνται σε αυτή τη θέση. Ακολουθώντας, επενδύεται ο σκελετός του σκάφους με κατάλληλο ευλικό, συνήθως ξύλο. Μετά, στοκάρεται το εξωτερικό περίβλημα και λειαίνεται, ώστε η επιφάνεια αυτή να γίνει κατά το δυνατό λεία και ομαλή. Σημειώνεται, ότι το στάδιο αυτό κατασκευής είναι το πλέον δύσκολο και απαιτεί μεγάλη ειδικευση και πείρα.

Φάση 2: Κατασκευή καλουπιού

Στη δεύτερη αυτή φάση επιχρειαίνονται εξωτερικά οι επιφάνειες του προτύπου με στρώσεις ειδικής ρητίνης, ώστε αυτό να χρησιμεύει ως μήτρα που θα αποδώσει τις καμπύλες του καλουπιού. Δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίηση της μήτρας κατ'ευθείαν ως καλούπι για την κατασκευή του σκάφους, επειδή η εξωτερική επιφάνεια που θα προκύψει κατ'αυτόν τον τρόπο θα είναι ανώμαλη και θα αυξήσει έτσι την αντίσταση του σκάφους. Για να είναι δυνατή η επίτευξη κατά το δυνατόν λείας εξωτερικής επιφάνειας του υπό ανέγερση σκάφους, κατασκευάζεται το καλούπι από πλαστική ύλη με τη βοήθεια του προτύπου.

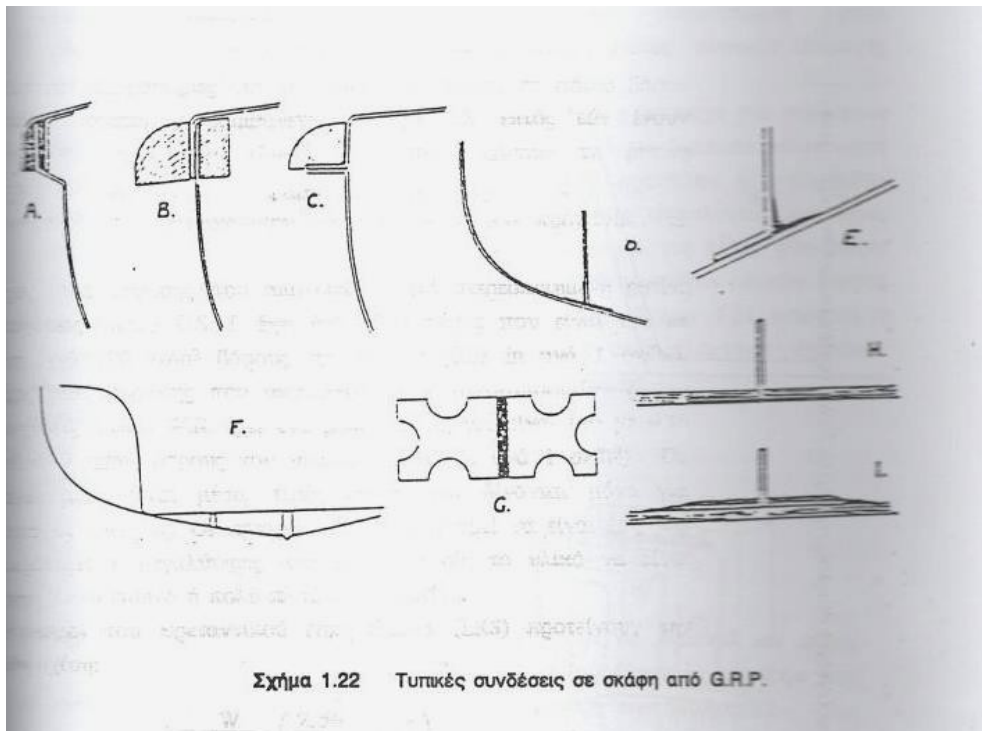
Φάση 3: Κατασκευή σκάφους

Στο στάδιο αυτό επικαλύπτεται η εσωτερική επιφάνεια του καλουπιού με παραφίνη, με σκοπό την κάλυψη τυχόν πόρων και τη διευκόλυνση της αποκόλλησης του τελειωμένου σκάφους. Ακολουθεί επικάλυψη με τρεις στρώσεις ρητίνης προς εξασφάλιση λείας εξωτερικής επιφάνειας του σκάφους και στρώσης βαφής με το επιθυμητό χρώμα του σκάφους. Η επαλληλία των στρώσεων πρέπει να γίνεται σύμφωνα με εκείνη των υπολογισμών αντοχής. Το χρονικό διάστημα μεταξύ της εφαρμογής διαδοχικών στρώσεων πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των ορίων που προδιαγράφει ο κατασκευαστής των υλικών.

Για την επίτευξη μεγαλύτερης αντοχής σε ορισμένες επικίνδυνες περιοχές, πιθανότητας συγκέντρωσης τάσεων, αστοχίας κτλ., τοποθετούνται σύμφωνα με την υπόδειξη του ναυπηγού άλλα υλικά, όπως ξύλο, τα οποία επενδύονται με στρώσεις ενισχυτικού και ρητίνης.

Φάση 4: Σύνδεση

Η σύνδεση μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους, μερικοί από τους οποίους παρουσιάζονται στο σχήμα 1.22. Εκτός από την σύνδεση των δύο κομματιών, δηλαδή της γάστρας και του καταστρώματος, απαιτούνται συνδέσεις και άλλων κομματιών, όπως φρακτών, αγκώνων κτλ. Γενική αρχή που πρέπει να ακολουθείται σε όλες τις συνδέσεις είναι η αποφυγή δημιουργίας συγκέντρωσης τάσεων.

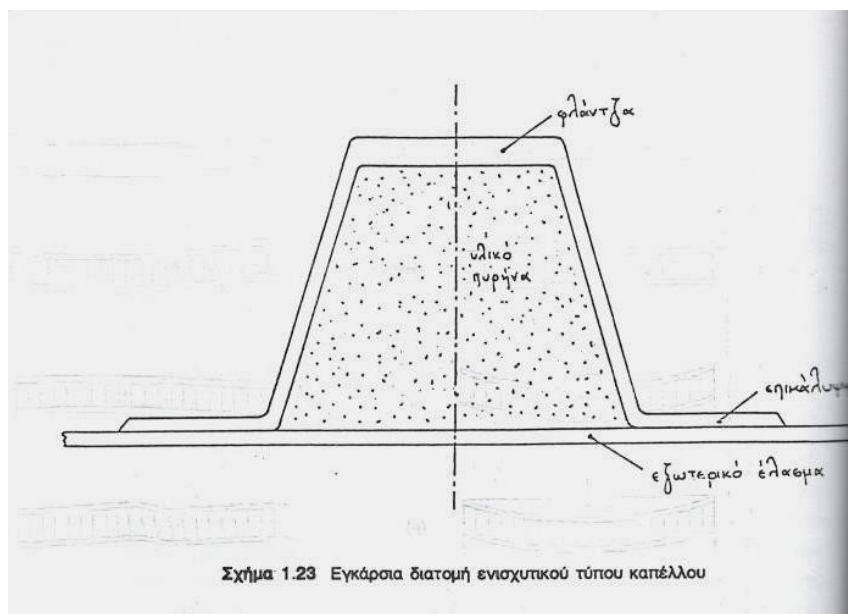


Σχήμα 1.22 Τυπικές συνδέσεις σε σκάφη από G.R.P.

Ελάσματα ενισχυμένα με δοκούς

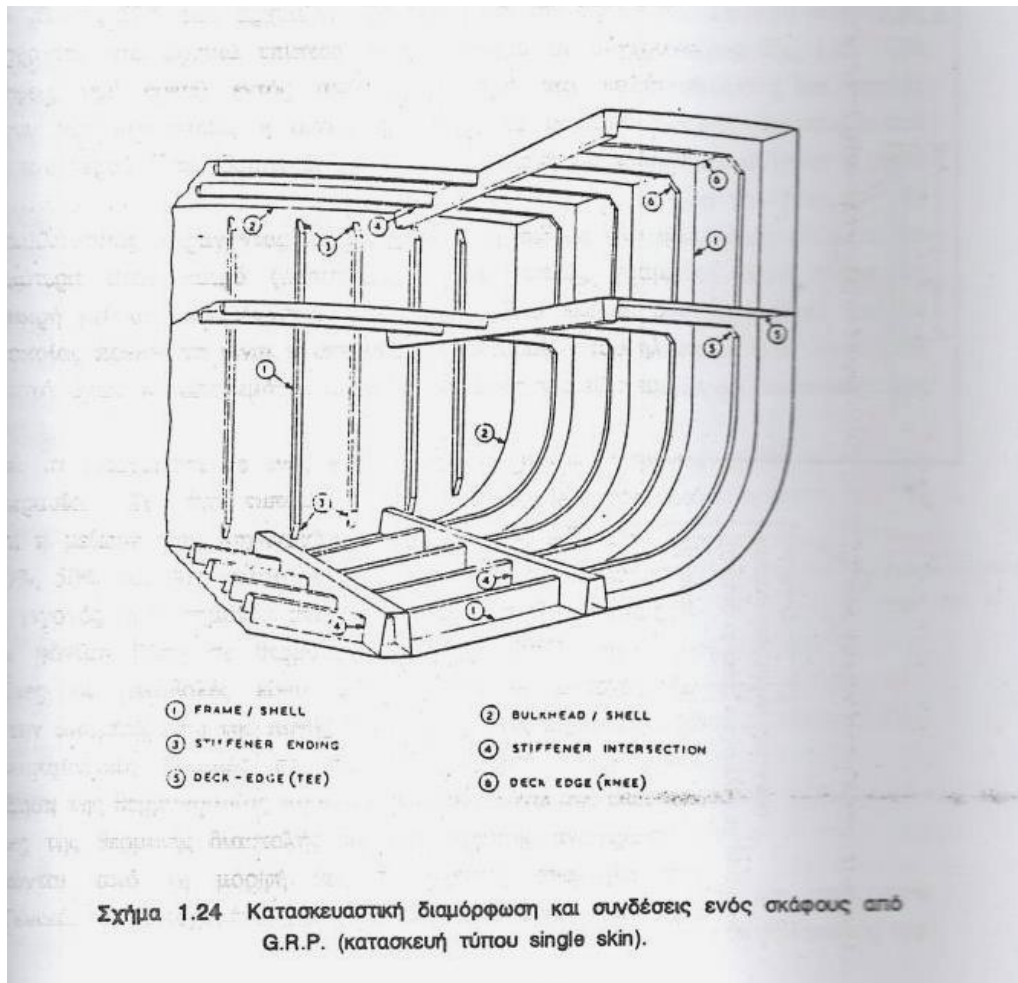
Η κατασκευή πλαστικών σκαφών με τη μορφή αυτή ακολουθεί σχεδόν τον ίδιο δρόμο με αυτόν των ξύλινων σκαφών ή των μεταλλικών πλοίων. Το σκάφος αποτελείται από ένα περίβλημα από *laminates*, το οποίο υποστηρίζεται από διαμήκη και εγκάρσια ενισχυτικά, τα οποία με τη σειρά τους διαμορφώνουν τις διαστάσεις των ελασμάτων και προσδίδουν ακαμψία σε όλη τη κατασκευή.

Ο περισσότερο χρησιμοποιούμενος τύπος ενισχυτικών είναι τα ενισχυτικά τύπου καπέλλου (*hat type stiffeners*), όπως φαίνεται στο σχήμα 1.23. Αυτά αποτελούνται από ένα εσωτερικό υλικό το οποίο κολλιέται πρόχειρα πάνω στο ήδη κατασκευασμένο laminate, και πάνω από το οποίο επιστρώνονται οι διάφορες στρώσεις υλικού. Οι στρώσεις αυτές του υλικού φτάνουν μέχρι το laminate και το επικαλύπτουν για ένα ορισμένο μήκος. Το εσωτερικό υλικό του ενισχυτικού, το λεγόμενο υλικό πυρήνα, είναι συνήθως αφρός P.V.C., η αντοχή του οποίου είναι πολύ μικρή.



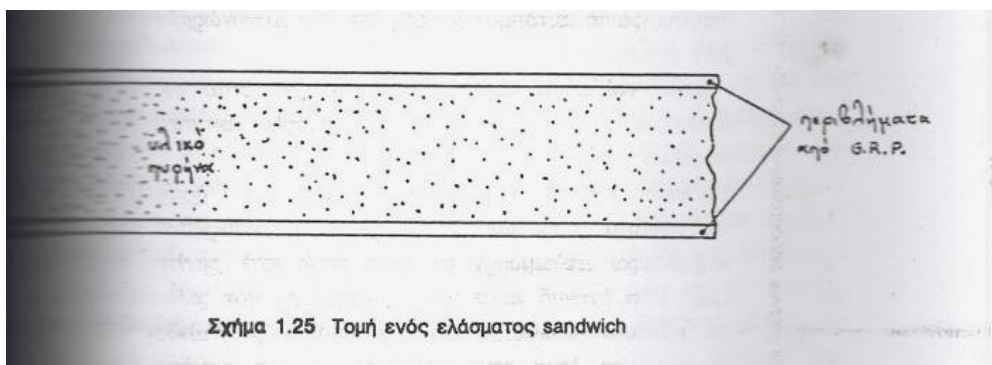
Σχήμα 1.23 Εγκάρσια διατομή ενισχυτικού τύπου καπέλλου

Στο συνέδριο της ICCS του 1982 επιστήθηκε η προσοχή στο φαινόμενο της αστοχίας του δεσμού μεταξύ του ενισχυτικού και του laminate, ιδίως κάτω από φορτία εκρηκτικής φύσεως. Για το λόγο αυτό προτάθηκε η χρήση βιδών για την καλύτερη ένωση ενισχυτικού-laminate στις επικαλύψεις. Στο σχήμα 1.24 φαίνεται η γενική κατασκευαστική διαμόρφωση της γάστρας ενός πλαστικού σκάφους, κατασκευασμένου με τον υπό συζήτηση τύπο κατασκευής.



Άλλοι κατασκευαστικοί τύποι

Οι κατασκευές sandwich αποτελούνται από δύο λεπτά laminates από G.R.P. υψηλής αντοχής, μεταξύ των οποίων υπάρχει ένα ελαφρώ εσωτερικό υλικό με αρκετά μεγαλύτερο από αυτά πάχος, σχήμα 1.25. Το εσωτερικό αυτό υλικό πυρίνα δεν έχει καλές μηχανικές ιδιότητες και υψηλές αντοχές σε κανένα είδος φόρτισης, παρά μόνο στη θλιπτική. Σκοπός αυτού του κατασκευαστικού τύπου είναι η αύξηση της ακαμψίας του ελάσματος μέσω της αύξησης του πάχους του, με μικρή ταυτόχρονα αύξηση του βάρους. Το βασικό χαρακτηριστικό μιας sandwich κατασκευής είναι το ότι τα περιβλήματα περαλαμβάνουν τα καμπτικά φορτία, ενώ το υλικό πυρήνα τα θλιπτικά και τα διατμητικά. Το υλικό πυρήνα δεν προσφέρει καμία αντίσταση σε κάμψη και επομένως το μέτρο ελαστικότητάς του σε κάμψη θεωρείται μηδέν. Το πιο αδύνατο σημείο μιας τέτοιας κατασκευής είναι ο δεσμός μεταξύ του περιβλήματος και του υλικού πυρήνα. Η αντοχή του δεσμού αυτού έχει πολύ μεγάλη σημασία για τη συμπεριφορά του ελάσματος, γιατί χωρίς το δεσμό αυτό η αντοχή και η ακαμψία του laminate είναι πολύ μικρότερες, αφού τα υλικά συμπεριφέρονται ανεξάρτητα το ένα με το άλλο.



Ένας νέος τρόπος κατασκευής σκαφών από F.R.P. είναι αυτός από κυματοειδή laminates. Όπως και στο σχήμα 1.27, οι διαμήκεις κυματισμοί των ελασμάτων του περιβλήματος της γάστρας το εφοδιάζουν με την απαραίτητη ακαμψία, καθιστώντας περιττή την τοποθέτηση διαμήκων ενισχυτικών και μειώνοντας έτσι το αντίστοιχο κόστος υλικών και κατασκευής.

3.5.4 Εφαρμογές των σύνθετων υλικών στη Ναυπηγική

Μικρά σκάφη

Τα ενισχυμένα με ίνες γυαλιού υλικά εξακολουθούν και σήμερα να είναι τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα υλικά για την κατασκευή μικρών σκαφών. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών είναι, ενώ υπάρχει μια πολύ γρήγορα αυξανόμενη ζήτηση για πλαστικές σωστικές βάρκες, πλαστικά *hovercrafts*, πλαστικές πιλοτίνες και πλαστικά σκάφη περιπολίας. Στατιστικά στοιχεία του 1982 δείχνουν ότι στη Μεγάλη Βρετανία το 80% των σκαφών με μήκος 20 m κατασκευάζονται από G.R.P., αναλογία η οποία παραμένει η ίδια από τις αρχές της δεκαετίας του 70. Τελευταία, εκτός από τον όχι και πολύ σημαντικό ανταγωνισμό του ξύλου, αναμένεται άλλος ανταγωνισμός από άλλα βελτιωμένα πλαστικά, ενισχυμένα με ίνες υψηλότερου επιπέδου. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 80 για την κατασκευή ιστοπλοϊκών για αγώνες ανοιχτής θάλασσας. Τα σκάφη αυτά έχουν μήκος από 18 έως και 24 μέτρα και είναι κατασκευασμένα τόσο με μία απλή γάστρα, όσο και με διπλή ή ακόμα και τριπλή γάστρα (*catamarans* ή *trimarans*).

Αλιευτικά

Τα πλαστικά τα ενισχυμένα με ίνες γυαλιού άργησαν να γίνουν αποδεκτά ως ανθεκτικά υλικά κατάλληλα για τη ναυπήγηση αλιευτικών ανοιχτής θάλασσας. Αν και σήμερα αυτό δεν έχει επιτευχθεί ακόμη στον επιθυμητό βαθμό, εντούτοις η αναλογία των πλαστικών αλιευτικών σκαφών είναι μεγάλη και συνεχίζει να αυξάνει. Το G.R.P. είναι σήμερα το περισσότερο χρησιμοποιούμενο υλικό, αντιμετωπίζει όμως ακόμη ισχυρό ανταγωνισμό από το χάλυβα. Ο ανταγωνισμός αυτός θα συνεχιστεί στο μέλλον, οφειλόμενος στη μεγάλη άνοδο της αγοράς των αλιευτικών σκαφών, εξαιτίας της επέκτασης των ορίων κάθε χώρας για αλιεία στα 200 m.

Επιβατηγά και Φορτηγά μετρίου μεγέθους

Σε σκάφη με τέτοια μεγέθη έχει ήδη αναφερθεί ότι το G.R.P. δεν είναι και πολύ ανταγωνιστικό όσον αφορά το κόστος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε ειδικές περιπτώσεις, όπως όταν πρόκειται να μεταφερθούν χημικές ενώσεις που αντιδρούν με τα μέταλλα ή όταν η μείωση του βάρους είναι πρωτεύουσας σημασίας, όπως συμβαίνει στα σκάφη υψηλών επιδόσεων.

Πολεμικά σκάφη

Η πιο σημαντική εφαρμογή των G.R.P. στη ναυπήγηση πολεμικών σκαφών ήταν και είναι η κατασκευή ναρκαλιευτικών. Το G.R.P. ήρθε γύρω στο 1960 να αντικαταστήσει το μέχρι τότε

παραδοσιακό υλικό των ναρκαλιευτικών, το ξύλο, δεδομένου ότι έχει και αυτό παρόμοιες αντιμαγνητικές ιδιότητες. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί ναρκαλιευτικά από *G.R.P.* από όλες τις ισχυρές στη θάλασσα χώρες, τόσο με απλή κατασκευή ενισχυμένη με δοκούς, όσο και με κατασκευή *sandwich* με πάχος στον πυθμένα της τάξης των 150 mm. Τα μήκη τους φτάνουν τα 50 m περίπου, ενώ το εκτόπισμά τους τους 500 με 550 τόνους.

Άλλες εφαρμογές

Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται και σε ποικίλες άλλες ναυπηγικές εφαρμογές, όπως για την κατασκευή των θόλων στις ηχοβολιστικές συσκευές, πλωτήρων, υποβρυχίων, σωληνώσεων και καταρτιών. Τελευταία μια πρακτική εφαρμογή των υλικών αυτών είναι στις υπερκατασκευές και εξαιτίας του χαμηλού μέτρου ελαστικότητάς τους, αποφεύγεται η αστοχία λόγω κόπωσης που παρουσιάζεται στα άκρα των υπερκατασκευών των χαλύβδινων πλοίων. Τα ενισχυμένα με ίνες γυαλιού πλαστικά μπορούν να αποδειχθούν στο μέλλον συμφέροντα από οικονομικής άποψης για την κατασκευή δεξαμενοπλοίων, αλιευτικών και επιβατηγών-οχηματαγωγών με μήκος μέχρι 80 m. Η κατασκευή σκαφών από *G.R.P.* με μήκος μεγαλύτερο των 100 m θα καταστεί δυνατή μόνο όταν:

- Το κόστος των υλικών και της παραγωγής μειωθεί συγκριτικά με τον χάλυβα,
- Η ακαμψία της κατασκευής αυξηθεί σημαντικά και
- Τα μεγάλα υπόστεγα κατασκευής με το ελεγχόμενο περιβάλλον καταργηθούν, μέσω της εισαγωγής της μεθόδου της προκατασκευής τμημάτων του σκάφους.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, στα πλαίσια του μαθήματος «Επισκευές-Μετασκευές και Επιθεωρήσεις Πλοίου», πραγματοποιήσαμε τα είδη των ναυπηγικών υλικών που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία και την εξέλιξη της χρήσης τους κατά την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, αναφερθήκαμε στις ιδιότητες, τα χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των υλικών αυτών και επισημάναμε τη συγκεκριμένη χρησιμότητά τους για την κατασκευή του πλοίου. Τέλος, δώσαμε ιδιαίτερη έμφαση στην εξέλιξη και την ευρεία χρήση των νέων υλικών, όπως είναι το *G.R.P.*, τονίζοντας τα χαρακτηριστικά τους, διάφορες κατασκευαστικές διατάξεις τους και τις θετικές ή αρνητικές επιπτώσεις που έχουν πάνω στο πλοίο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετώντας τα είδη, τα χαρακτηριστικά, τις ιδιότητες και τη χρήση των ναυπηγικών υλικών στη κατασκευή της γάστρας του πλοίου και της υπερκατασκευής του, παρατηρούμε ότι παίζει ιδιαίτερα σημαντικό και ζωτικό ρόλο η επιλογή του κατάλληλου υλικού σε κάθε μία περίπτωση κατά τη κατασκευή του σκάφους. Λαμβάνοντας υπόψη τα κόστη των υλικών και την ανάγκη χρήσης συγκεκριμένου υλικού σε κάποιο τμήμα του πλοίου, θα πρέπει να επιλέξουμε την οικονομικότερη λύση αλλά ταυτόχρονα και την πιο αξιόπιστη, έτσι ώστε να μην οδηγηθούμε σε τυχόν αστοχίες. Από όσα αναφέρθηκαν στα κεφάλαια που προηγήθηκαν, αξιοσημείωτης παρατήρησης είναι η διείσδυση των σύνθετων υλικών στο τομέα της ναυπηγικής, διότι τα ποικίλα πλεονεκτήματά τους μας οφελούν σε πολλά ζητήματα, όπως η αισθητή μείωση του βάρους και η βελτίωση της αντοχής του σκάφους. Έγινε αντιληπτός ο ανταγωνισμός που υπάρχει ανάμεσα στο χάλυβα και στο *G.R.P.* όσον αφορά τις ιδιότητές τους και τα πλεονεκτήματά του στη κατασκευή του πλοίου. Συμπεράναμε, ωστόσο, ότι το κάθε υλικό έχει ευεργετικά στοιχεία, τα οποία αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση μιας ναυπηγικής κατασκευής και το καθένα από αυτά παίζει πρωτεύοντα ρόλο σε διαφορετικές εφαρμογές, δηλαδή ο χάλυβας στα μεγάλα εμπορικά πλοία και το *G.R.P.* κυρίως στα μικρά σκάφη αναψυχής.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Κατά την ολοκλήρωση της εργασίας θα επιθυμούσα να προτείνω στους αναγνώστες περαιτέρω μελέτη και ενασχόληση με θέματα που αφορούν τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική σήμερα, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στα σύνθετα υλικά, όπως το ενισχυμένο πλαστικό με ίνες γυαλιού και στις υποκατηγορίες του (υαλοπίλημα, υαλοϋφασμα). Επιπλέον, προτείνεται περαιτέρω βιβλιογραφία:

- *American Bureau of Shipping, "Rules for Building and Constructing Steel Vessels", ABS, New York, 1983*
- *AWS, "Guide for Aluminum Hull Welding", ANSI/AWS D3.7-83, American Welding Society, Miami, Florida, 1983*
- *Jones, R.M., Mechanics of Composite Materials, Scripta Book Co., Washington D.C., 1975*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάσκων του μαθήματος, κύριο Φραγκιαδάκη, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και την καθοδήγησή του σχετικά με την βιβλιογραφία, τον κύριο Νικόλαο Τσούβαλη, καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την παροχή των σημειώσεων «Ναυπηγική Τεχνολογία» και τέλος τους γονείς μου, που με βοηθούν καθημερινά να κάνω το όνειρό μου πραγματικότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Παπάζογλου Β. «Ναυπηγική Τεχνολογία», Σημειώσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 1995.
2. Χρυσουλάκη Δ., Παντελή Δ., «Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών», 1996.

ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

1. https://www.google.gr/search?hl=el&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=667&bih=635&q=%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B2%CF%81%CF%89%CF%83%CE%B7+%CF%87%CE%B1%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B1&oq=%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B2%CF%81%CF%89%CF%83%CE%B7+%CF%87%CE%B1%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B1&gs_l=img_3...6978.15249.0.15458.34.17.7.10.12.0.348.2059.0j7j1j2.10.0....0...1ac.1.64.img..7.20.2080.0..0j0i10k1j0i19k1j0i10i19k1j0i24k1j35i39k1.kl3qEb4UKZI#imgrc=S6mqKC6matek8M:

2. https://www.google.gr/search?hl=el&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=667&bih=635&q=%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B2%CF%81%CF%89%CF%83%CE%B7+%CF%87%CE%B1%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B1&oq=%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B2%CF%81%CF%89%CF%83%CE%B7+%CF%87%CE%B1%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B1&gs_l=img_3...6978.15249.0.15458.34.17.7.10.12.0.348.2059.0j7j1j2.10.0....0...1ac.1.64.img..7.20.2080.0..0j0i10k1j0i19k1j0i10i19k1j0i24k1j35i39k1.kl3qEb4UKZI#hl=el&tbm=isch&q=%CE%BF%CE%BB%CE%BA%CE%B9%CE%BC%CE%BF%CF%82+%CF%87%CF%85%CF%84%CE%BF%CF%83%CE%B9%CE%B4%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%82&*&imgrc=UNkWrXB8X3wIdM:

3. https://www.google.gr/search?hl=el&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=667&bih=635&q=%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B2%CF%81%CF%89%CF%83%CE%B7+%CF%87%CE%B1%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B1&oq=%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B2%CF%81%CF%89%CF%83%CE%B7+%CF%87%CE%B1%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B1&gs_l=img_3...6978.15249.0.15458.34.17.7.10.12.0.348.2059.0j7j1j2.10.0....0...1ac.1.64.img..7.20.2080.0..0j0i10k1j0i19k1j0i10i19k1j0i24k1j35i39k1.kl3qEb4UKZI#hl=el&tbm=isch&q=%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CF%85%CE%BC%CE%B9%CE%BD%CE%B9%CE%BF+%CE%BF%CF%81%CF%85%CE%BA%CF%84%CE%BF&*&imgrc=xS-vJC32guTEGM: