



# **ΝΕΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΕ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

**Β.Ι. Παπάζογλου, Δ.Ι. Παντελής, Ν.Γ. Τσούβαλης**  
**Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας**  
**Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών**

**Συμπόσιο για τον εορτασμό των 170 χρόνων του Ε.Μ.Π.**  
**«Το Ε.Μ.Π. στην Πρωτοπορία της Έρευνας και Τεχνολογίας»**  
**Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, 4 Δεκεμβρίου 2007**

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- **ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

Υψηλή ειδική αντοχή

Υψηλή δυσθραυστότητα

Υψηλή αντοχή σε κόπωση

Υψηλή αντοχή σε διάβρωση

Καλή συγκολλησιμότητα

- **ΚΥΡΙΑΡΧΙΑ ΧΑΛΥΒΑ**

- **ΝΕΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ**

Νέοι τύποι χαλύβων (HSLA, Ανοξειδωτοι χάλυβες, αντιδιαβρωτικοί χάλυβες)

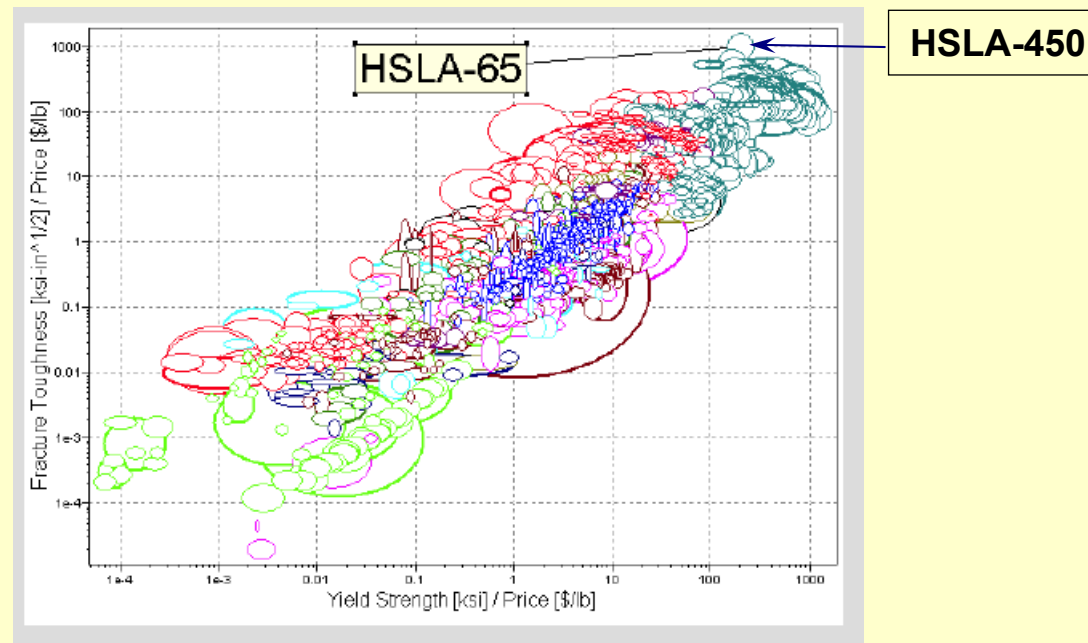
Κράματα αλουμινίου

Σύνθετα υλικά

## ΜΙΚΡΟΚΡΑΜΑΤΩΜΕΝΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (HSLA steels)

- ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (όριο διαρροής > 275 MPa, έως 900 MPa)
- ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ
- ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ ΔΥΣΘΡΑΥΣΤΟΤΗΤΑ
- ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΥΨΗΛΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ

Σήμερα το 12% της παγκόσμιας παραγωγής χαλύβων  
Κοστίζουν περίπου 25% περισσότερο από κοινούς χάλυβες

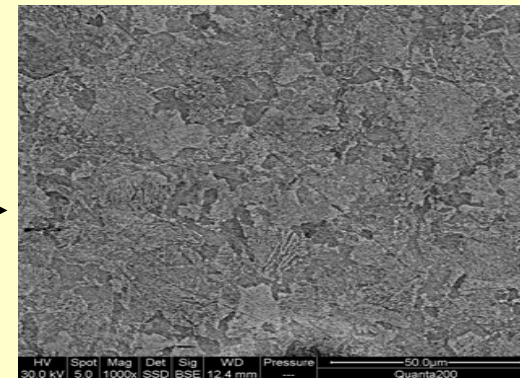
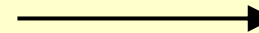


## HSLA Steels (συν.)

### ΧΑΛΥΒΑΣ GRADE A

- Φερριτοπερλιτική μικροδομή (65% περλίτης – 35% φερρίτης)
- Αριθμός κοκκομετρίας  $n = 9$  με μέση διάμετρο κόκκου  $17 \mu\text{m}$

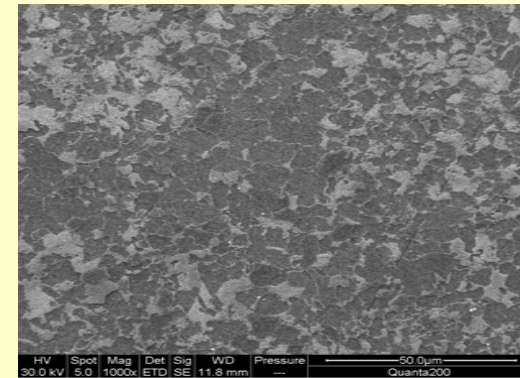
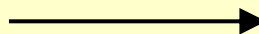
SEM x1000



### ΧΑΛΥΒΑΣ AH-36

- Φερριτοπερλιτική μικροδομή (30% περλίτης – 70% φερρίτης)
- Αριθμός κοκκομετρίας  $n = 10$  με μέση διάμετρο κόκκου  $12 \mu\text{m}$

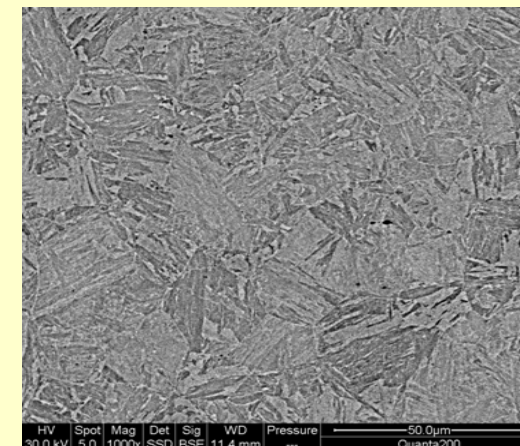
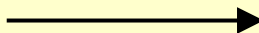
SEM x1000



### ΧΑΛΥΒΑΣ HSLA-275

- Περλιτική μικροδομή
- Αριθμός κοκκομετρίας  $n = 8$  με μέση διάμετρο κόκκου  $25 \mu\text{m}$
- Πολυάριθμα σωματίδια. Πιθανότατα διάφορες φάσεις-κατακρημνίσματα
- Διενέργεια μικροαναλύσεων ακτίνων X για εξακρίβωση της χημικής σύστασης αυτών των σωματιδίων

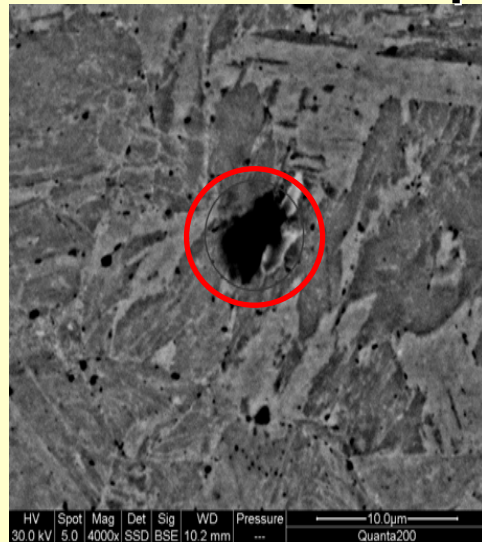
SEM x1000



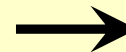
## HSLA Steels (συν.)

- Ανιχνεύθηκαν Fe, C, Mn, Ti, Al, O, και N
- Με βάση τις μικροαναλύσεις, καθένα από τα σωματίδια περιέχει σε διάφορους συνδυασμούς τα εξής:
  - σεμεντίτη ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )
  - οξειδία του σιδήρου ( $\text{Fe}_x\text{O}_y$ ) και του τιτανίου ( $\text{Ti}_x\text{O}_y$ ),
  - νιτρίδια ή/και καρβονιτρίδια του τιτανίου ( $\text{TiN}_3$  ή  $\text{TiN}_x\text{C}_y$ ),
  - μαγγάνιο μόνο του ή σε μορφή καρβιδίων ( $\text{Mn}_x\text{C}_y$ )
  - αλουμίνιο, που φαίνεται να οφείλεται σε εξωγενείς παράγοντες (πάστα αλούμινας κατά τη στίλβωση)

### Παράδειγμα μικροανάλυσης σωματιδίων



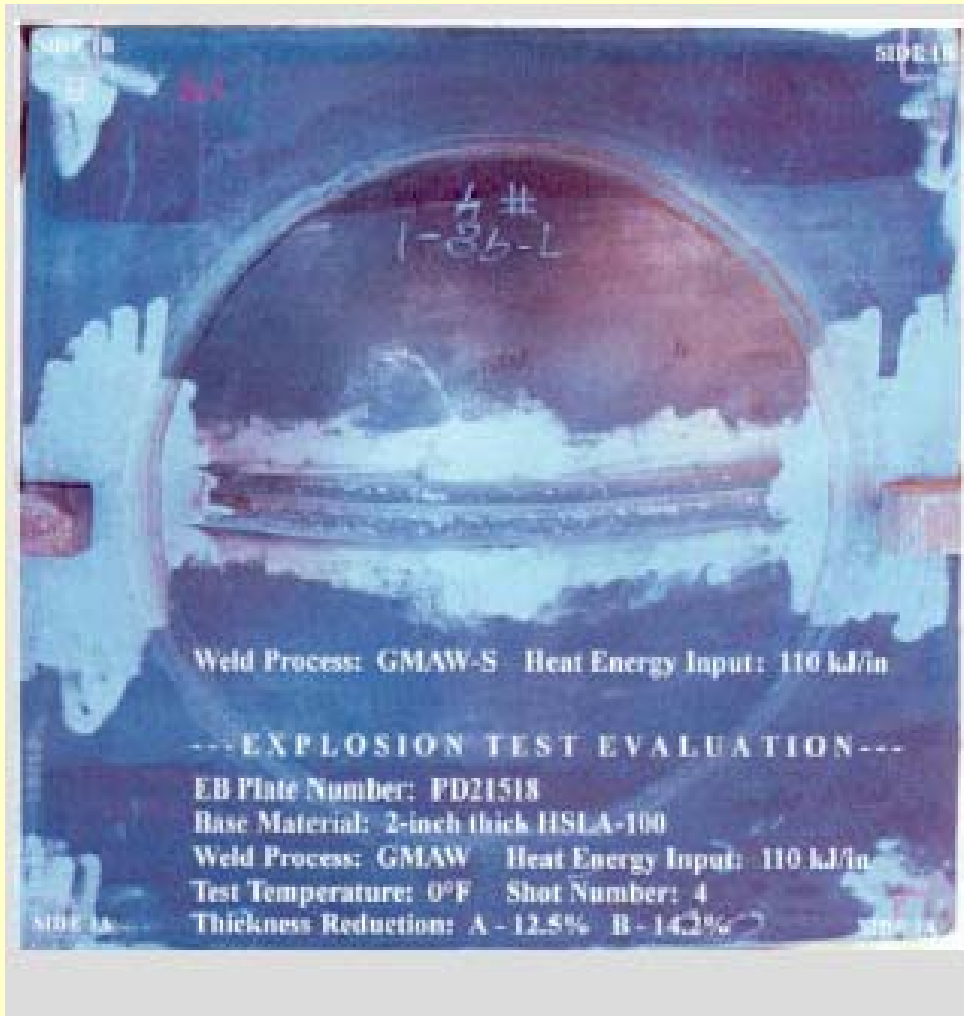
Στοιχείο	% κ.β.
Ti	36,58
Fe	30,27
N	14,36
O	10,41
C	8,39
Total	100



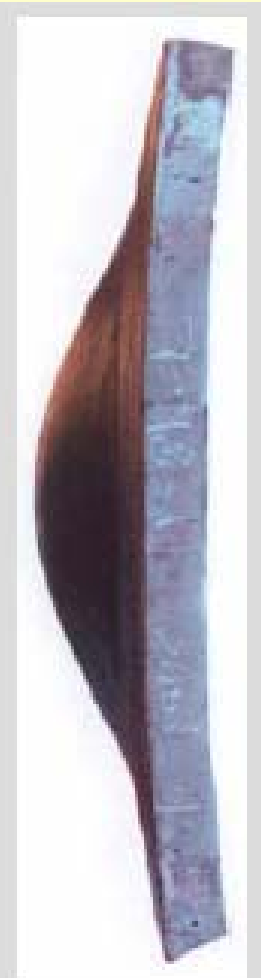
- Σεμεντίτης ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )
- Νιτρίδια ή/και καρβονιτρίδια του τιτανίου
- Οξειδία του σιδήρου
- Οξειδία του τιτανίου

## HSLA Steels (συν.)

### ΕΡΕΥΝΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΑ ΣΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΕΚΡΗΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ



HSLA-690





## HSLA Steels (συν.)

### ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου



Πολεμικά πλοία

## ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

- Αύξηση απαιτήσεων για μεταφορά φορτίων και προϊόντων χημικής και πετροχημικής βιομηχανίας (chemical tankers).
- Διπλοί ανοξείδωτοι χάλυβες (μεγαλύτερος λόγος αντοχής προς βάρος, βελτιωμένες αντιδιαβρωτικές ιδιότητες).
- Βελτίωση ιδιοτήτων με προσθήκη νέων κραματικών στοιχείων σε τυπικούς ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες, π.χ. προσθήκη αζώτου (SS 316LN)

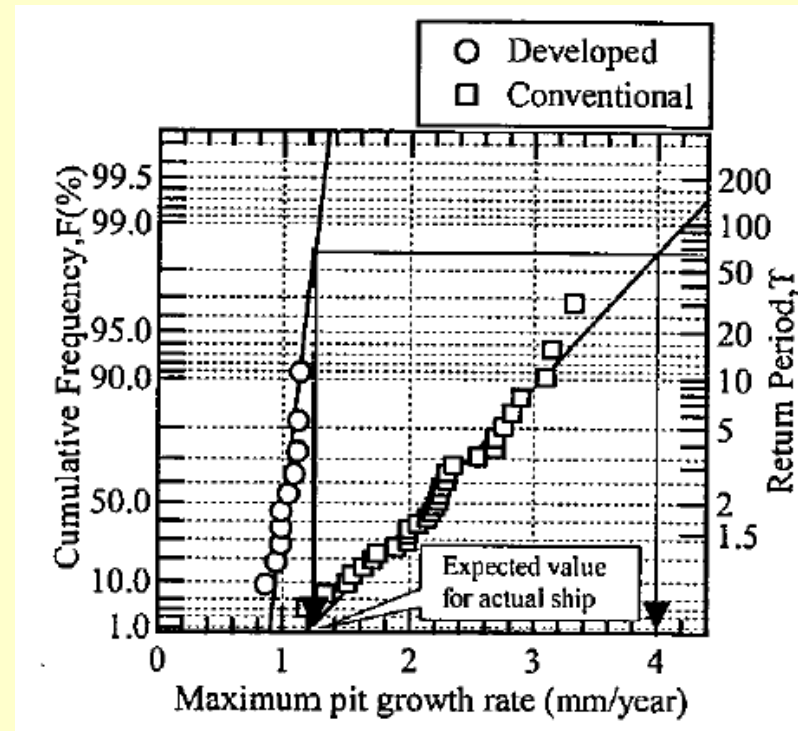




## ΝΕΟΙ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

- Νέα εξέλιξη από Ιαπωνία, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η διάβρωση με βελονισμούς στα ελάσματα πυθμένα των δεξαμενών δεξαμενοπλοίων

	Νέος χάλυβας	Κοινός χάλυβας	AH32
Όριο διαρροής (MPa)	368	349	$\geq 315$
Όριο θραύσης (MPa)	476	481	440-590
Επιμήκυνση (%)	28	26	$\geq 22$
Απορροφ. ενέργεια σε 0° C (J)	297	254	$\geq 31$



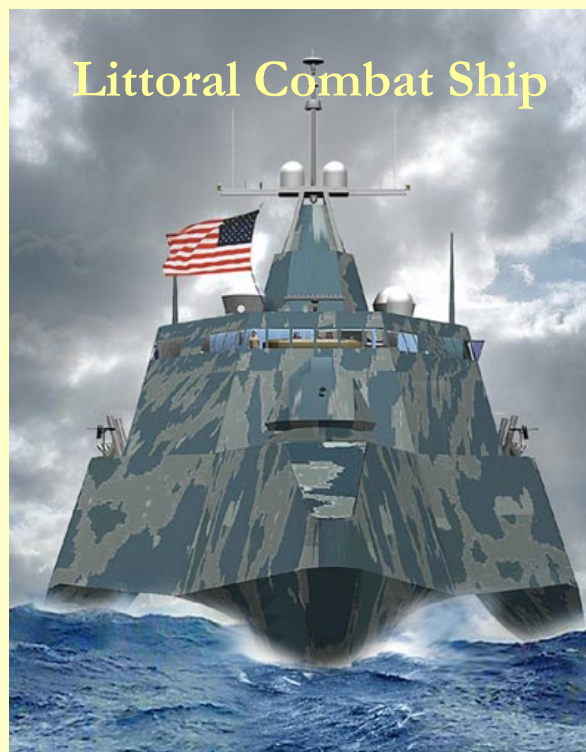
## ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Η ναυπηγική βιομηχανία αναζητά συνεχώς βελτιωμένες κατασκευές και νέες μεθόδους ανέγερσης που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε επανάσταση όσον αφορά στα μελλοντικά αλουμινένια πλοία.

Εμπορικό πλοίο  
“Benchijigua Express”



Γάστρα Trimaran  
Μήκος: **126.7m**  
Ταχύτητα: 40.5 knots  
Κατασκευή: 2005 από Austal



Στάδιο Κατασκευής του LCS  
Ιούλιος 2006



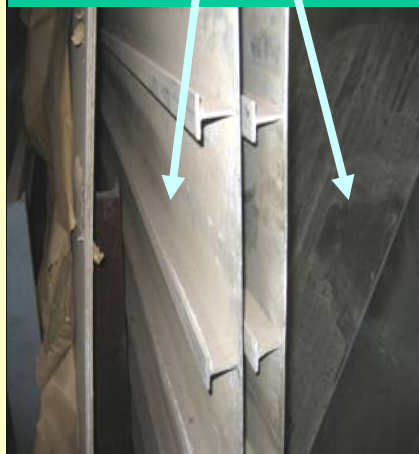
Γάστρα Trimaran  
Εκτόπισμα: 2,637 tons  
Μήκος: **127.8m**  
Ταχύτητα: 40+ knots

# ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ (συν.)

## ΔΙΑΔΟΣΗ ΡΩΓΜΩΝ ΣΕ ΑΛΟΥΜΙΝΕΝΙΕΣ ΝΑΥΠΗΓΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

### Επιλογή δοκιμίων

**Υλικό:**  
Πλάκες με ή  
χωρίς ενισχυτικά

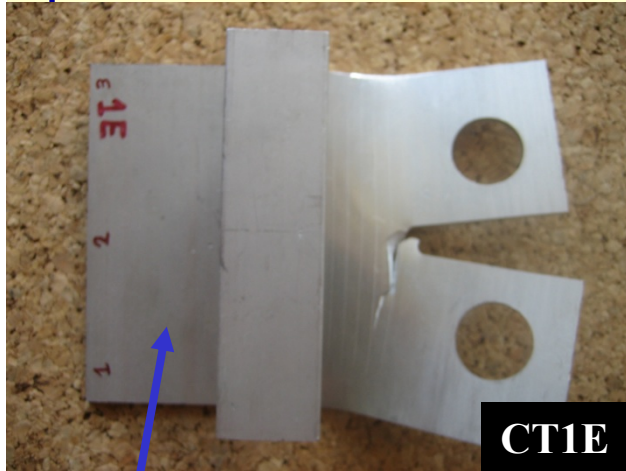


**Συγκολλητά**  
δοκίμια





# ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ (συν.)



**CT1E**

Πλατύ πίσω έλασμα



**CT2E**

Πάχος ελάσματος: 4.1 mm  
Ημικυκλικό άκρο ρωγμής



**CT3E**

Στενό πίσω έλασμα

Ύψος κορμού: 4.1 mm  
Πάχος κορμού: 3 mm  
Μήκος πέλματος: 3 mm  
Πάχος πέλματος: 4 mm



**CTEB**

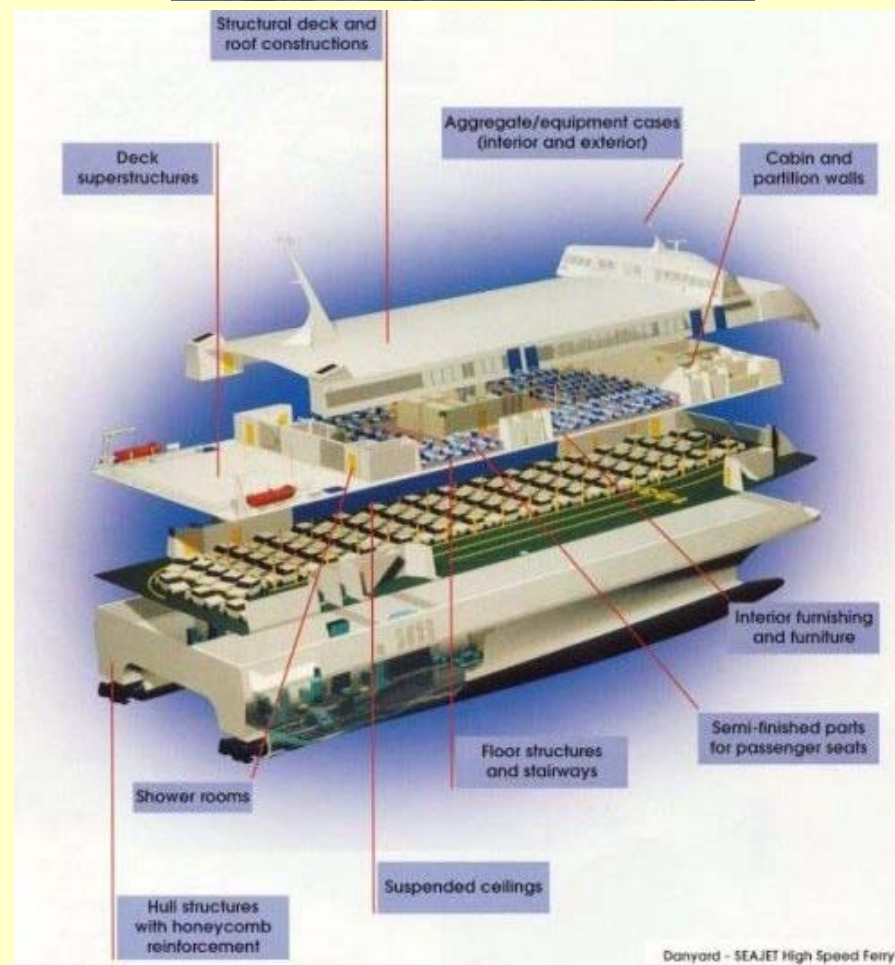
Χωρίς πίσω έλασμα

Δοκίμιο	Ρυθμός μετατόπ. [mm/min]	Μήκος ρωγμής [mm]	Πίσω έλασμα [mm]	Μέγ. δύναμη [kN]	Μετατόπ. έως θραύση [mm]
CT1E	0.5	55	65.0	17.16	3.64
CT2E	1.0	71	20.0	7.85	5.16
CT3E	1.5	71	20.0	10.93	5.55
CTEB	1.0	55	0	4.63	4.26

## ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΑ ΜΕ ΙΝΕΣ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

### • ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

- Ταχύπλοα σκάφη και σκάφη αναψυχής μέχρι 75 m (Mirabella yacht)  
εκτεταμένη χρήση επίπεδων κυψελοειδών πανέλων sandwich





## → Ενισχυμένα με ίνες σύνθετα υλικά

### • ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

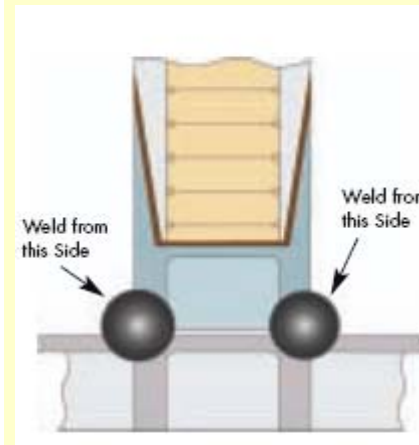
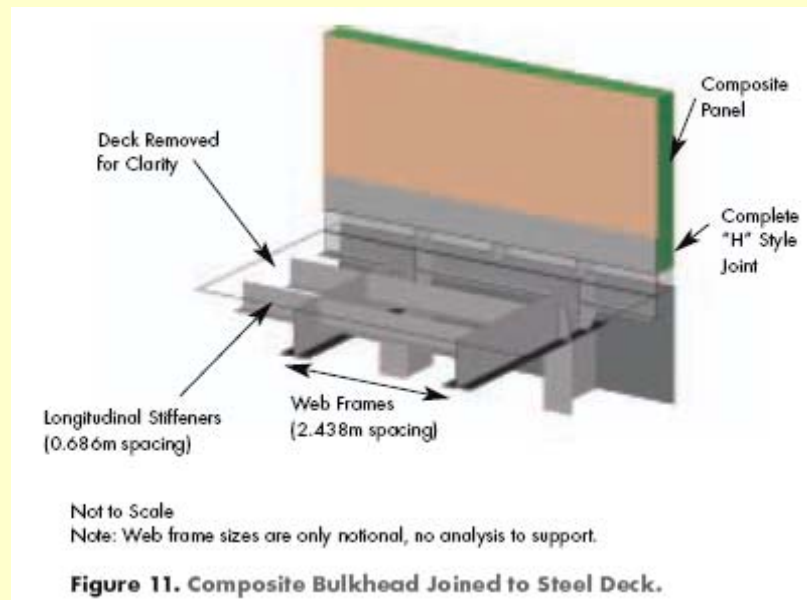
#### – Εμπορικά σκάφη μεγάλου μεγέθους

##### Προβλήματα:

Έλλειψη μεθόδων για την ποσοτική αξιολόγηση κινδύνων από πυρκαγιά  
Πολύπλοκες διαδικασίες έγκρισης και αποδοχής της κατασκευής

##### Λύσεις:

Τμήματα της γάστρας από σύνθετα υλικά ⇒ ανάπτυξη μεθόδων σύνδεσης  
⇒ υβριδικές κατασκευές χάλυβα/GRP



## → Ενισχυμένα με ίνες σύνθετα υλικά

### • ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

#### – Πολεμικά σκάφη

τα μεγέθη διαρκώς αυξάνονται  
κατασκευές sandwich  
προηγμένα συστήματα πυρόσβεσης



PB τύπου Skjold – Νορβηγία –  
εκτεταμένη χρήση οπτικών ινών



Νέα γενιά αντιτορπιλικών – ΗΠΑ –  
υπερκατασκευές από σ.υ.



Φρεγάτα τύπου Lafayette – υπόστεγο  
ελικοπτέρων - Γαλλία



MCMV τύπου Oksøy – Νορβηγία



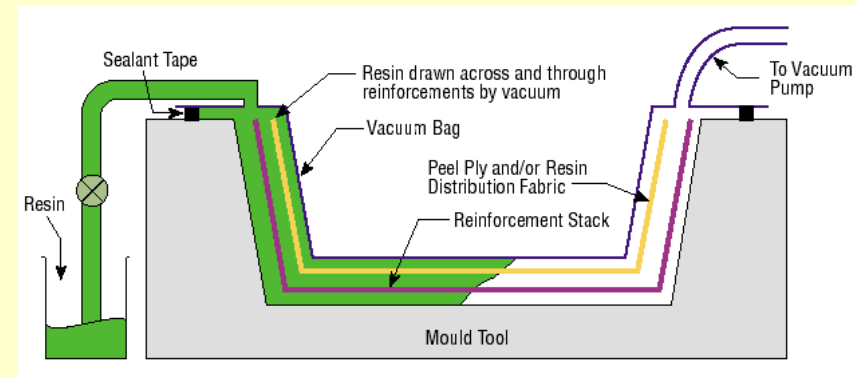
Κορβέτα τύπου Visby – Σουηδία –  
εξ ολοκλήρου από ίνες άνθρακα

## → Ενισχυμένα με ίνες σύνθετα υλικά

### • ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

#### Μέθοδοι έγχυσης ρητίνης (infusion methods)

- Χρήση παλιών καλουπιών
- Χρήση ίδιων ενισχύσεων, διαθεσιμότητα ειδικών ρητινών
- Πολύ υψηλότερη ποιότητα κατασκευής
- Υψηλότερες μηχανικές ιδιότητες
- Προστασία του περιβάλλοντος
- Λογικό κόστος

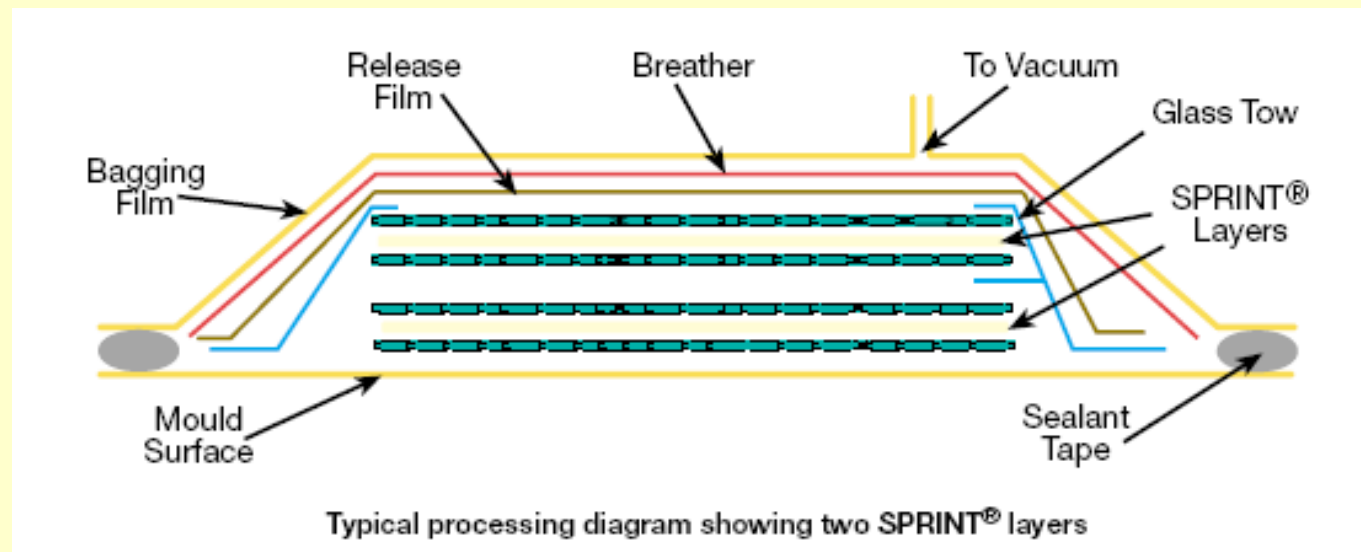


## → Ενισχυμένα με ίνες σύνθετα υλικά

### • ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

#### Μέθοδος SPRINT®

- Ενισχυτικές ίνες εκατέρωθεν φύλλου ρητίνης που εμπεριέχει τον καταλύτη
- Συνδυασμός των πλεονεκτημάτων των προεμποτισμένων ενισχύσεων (pre-pregs) με το γεγονός ότι οι ίνες παραμένουν ξηρές μέχρι τη διαδικασία στερεοποίησης





→ **Ενισχυμένα με ίνες σύνθετα υλικά**

### **ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

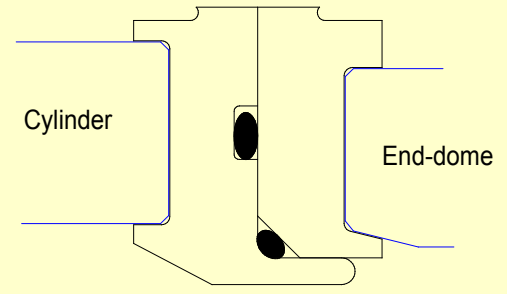
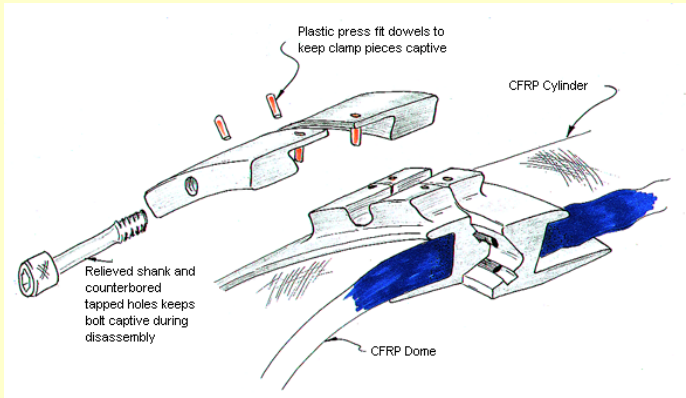
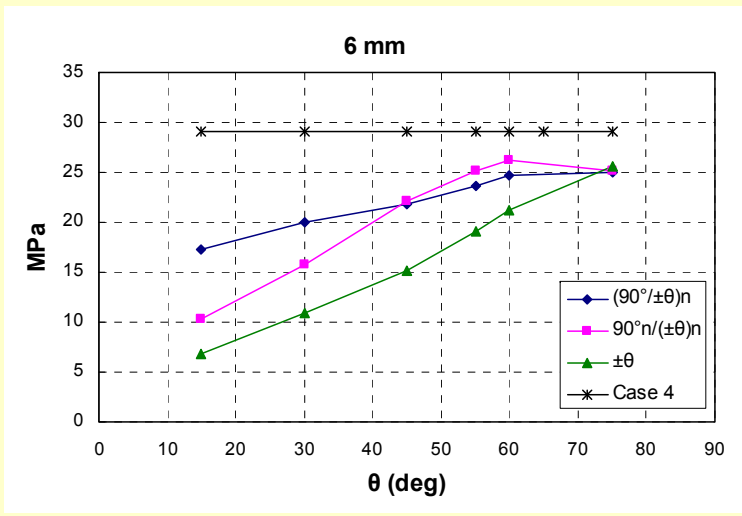
Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής Αυτόνομων Υποβρυχίων Οχημάτων (AUVs) για επιχειρησιακά βάθη έως 6,000 m από σύνθετα υλικά

### **ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

Προσπάθεια μελέτης για την κατασκευή ενός ελληνικού AUV για βάθη μέχρι 4,000 m



→ Ενισχυμένα με ίνες σύνθετα υλικά



→ **Ενισχυμένα με ίνες σύνθετα υλικά**

