



Μάθημα 2^ο

ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ - ΙΝΕΣ

Χρήστος Παπακωνσταντίνου

Ίνες

- Οι ίνες κάνουν τα σύνθετα υλικά ισχυρότερα, πιο δύσκαμπτα και πιο σκληρά.
- Μερικές ίνες έχουν και άλλες ιδιότητες εξίσου σημαντικές με τις παραπάνω, όπως χαμηλή πυκνότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα και θερμική αντίσταση.

Τύποι Ινών

- Οι πιο συνηθισμένες ίνες είναι οι:
 - Άνθρακα (γραφίτη)
 - Γυαλιού
 - αρωματικού πολυαμιδίου (Κέβλαρ)
-
- Βόριου
 - Πιριτίου

Τύποι Ινών

- Οργανικής και ανόργανης χημικής σύστασης
- Οργανικής
Αρωματικού πολυαμιδίου (Aramid - Κέβλαρ)
Πολυαιθυλενίου
- Ανόργανης
Άνθρακα (γραφίτη)
Γυαλιού
Βορίου
Πυριτίου

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΙΝΩΝ

Υλικό	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας (%)
<i>Άνθρακας</i>			
Υψηλής αντοχής	215-235	3500-4800	1.4-2.0
Υπέρ- υψηλής αντοχής	215-235	3500-6000	1.5-2.3
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας	350-500	2500-3100	0.5-0.9
Υπέρ-υψηλού μέτρου ελαστικ	500-700	2100-2400	0.2-0.4
<i>Γυαλί</i>			
E	70-75	1900-3000	3.0-4.5
Z ή AZ	70-75	1900-3000	3.0-4.5
S	85-90	3500-4800	4.5-5.5
<i>Αραμίδιο</i>			
Χαμηλού μέτρου ελαστικότητας (Κέβλαρ 29)	70-80	3500-4100	4.3-5.0
υψηλού μέτρου ελαστικότητας (Κέβλαρ 49, Twaron	115-130	3500-4000	2.5-3.5

Μορφές Ινών

- Οι ίνες (εκτός του βορίου) παράγονται ως θύσανοι (tows) λεπτών νημάτων ινών.
- Άνθρακονήματα και Aramid => οι θύσανοι κατασκευάζονται ως ένα ελεύθερο δέμα από εκατοντάδες, χιλιάδες νήματα, χωρίς στρέψη, το οποίο ονομάζεται "tow" και μοιάζει με "στουπί"

Μορφές Ινών

- Υαλονήματα => οι θύσανοι κατασκευάζονται ως ένα ελεύθερο δέμα από εκατοντάδες, χιλιάδες νήματα, με στρέψη, το οποίο ονομάζεται «yarn» και μοιάζει με «πλεξούδα»

Θύσανοι ινών



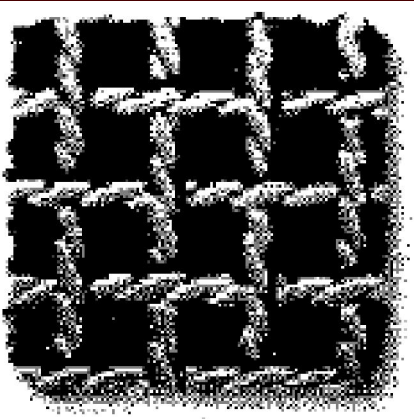
Ταινίες μιας Διεύθυνσης

- Οι μη υφαντές ταινίες αποτελούνται, συνήθως, από "tows", τα οποία ψεκάζονται σε καλούπια, χωρίς να δημιουργούνται κενά.
- Για να παραμείνουν οι ίνες στη θέση τους προεμποτίζονται με ρητίνη, η οποία είναι μερικώς πολυμερισμένη έτσι ώστε να είναι παχύρρευστη με σχετικά υψηλό ιξώδες ή με ένα θερμοπλαστικό πολυμερές. Για να μην κολλήσει η ρητίνη σε άλλα επίπεδα της ταινίας, επικαλύπτεται με ένα αποκολλητικό χαρτί "release paper", το οποίο είναι επικαλυμμένο με σιλικόνη.

Υφαντά

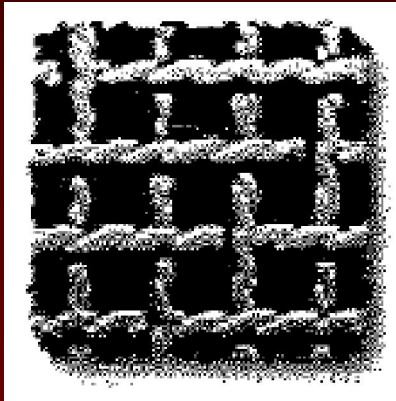
- Απλή πλέξη (Plain Weave)
- Η Διαγώνια πλέξη (Twill)
- Η πλέξη Satin
- Η Καλαθωτή πλέξη (Basket weave)
- Η πλέξη LENO

Απλή πλέξη (Plain Weave)



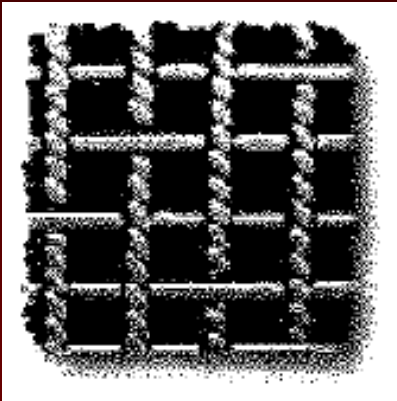
Θύσανοι ινών διασταυρώνονται κάθετα μεταξύ τους και βρίσκονται εναλλάξ η μία ομάδα πάνω από την άλλη. Η πλέξη αυτή χαρακτηρίζεται ως η πλέον σταθερή.

Διαγώνια πλέξη (Twill)



Αυτός ο τύπος πλέξης χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη πυκνότητα ινών ανά μονάδα επιφάνειας από ότι η απλή πλέξη, ενώ έχει διαφορετική μορφή αν κοιτάξουμε το ύφασμα από τις δύο όψεις του.

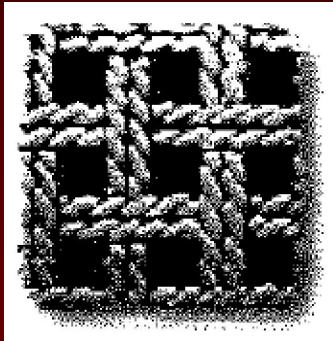
Η πλέξη Satin



Σε αυτόν τον τύπο πλέξης η μπροστινή επιφάνεια κυριαρχείται από τις διαμήκεις θυσάνους ινών (warp) ενώ έχει διαφορετική μορφή αν κοιτάξουμε το ύφασμα από τις δύο όψεις του.

Χρησιμοποιείται ευρύτατα στην βιομηχανία παραγωγής συνθέτων υλικών.

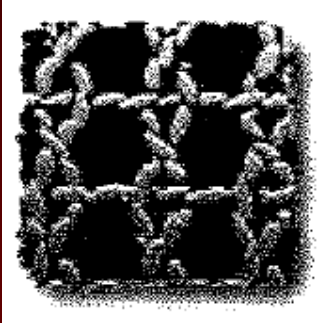
Η Καλαθωτή πλέξη (Basket weave)



Αυτός ο τύπος πλέξης είναι μία παραλλαγή της απλής πλέξης στον οποίο δύο ή περισσότερες διαμήκεις θύσανοι διασταυρώνονται με δύο ή περισσότερους εγκάρσιους θυσάνους ινών.

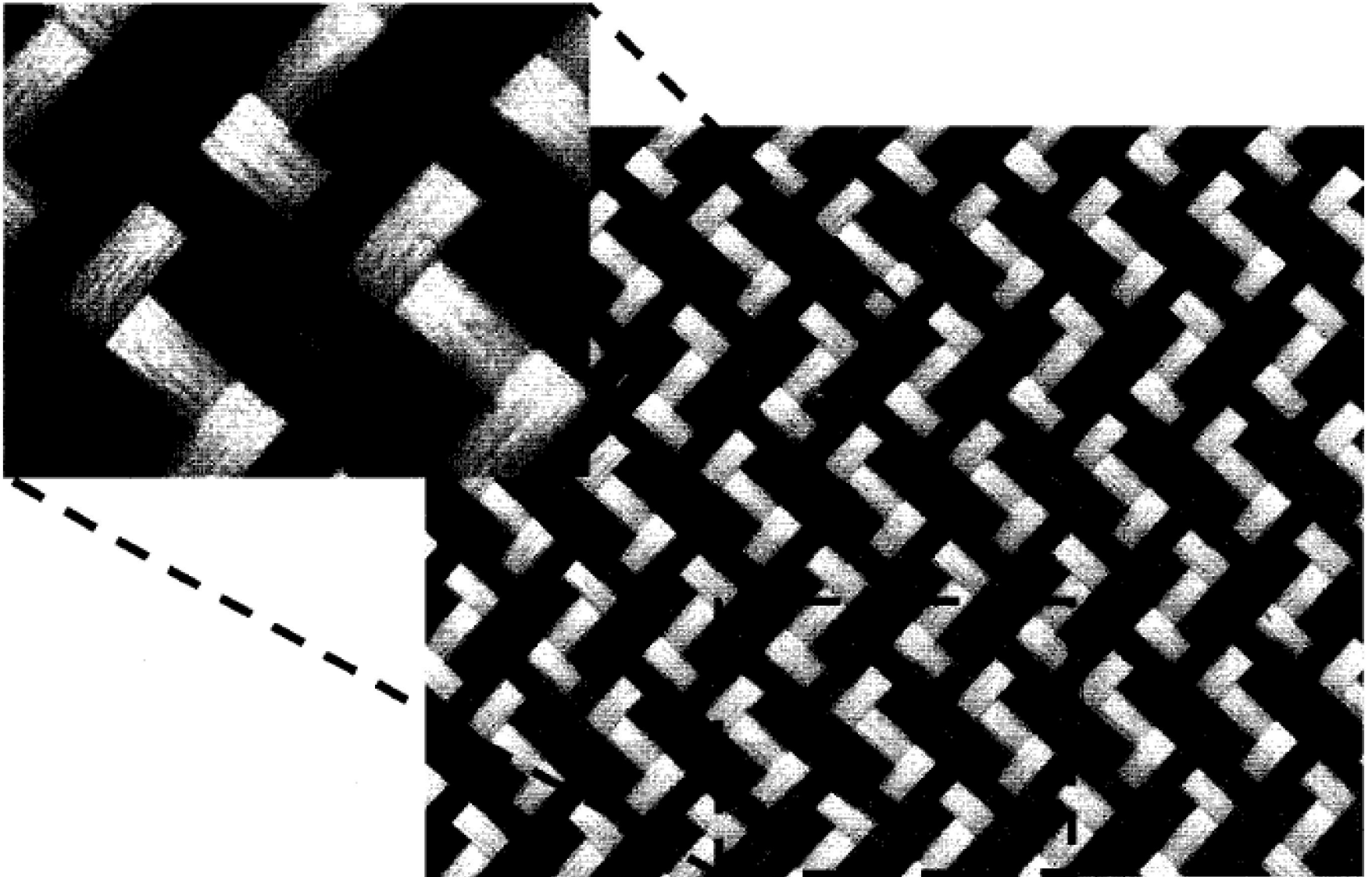
Η πλέξη αυτή είναι ισχυρότερη από την απλή αλλά λιγότερο σταθερή γιατί παρουσιάζει μία σχετική χαλαρότητα.

Η πλέξη LENO

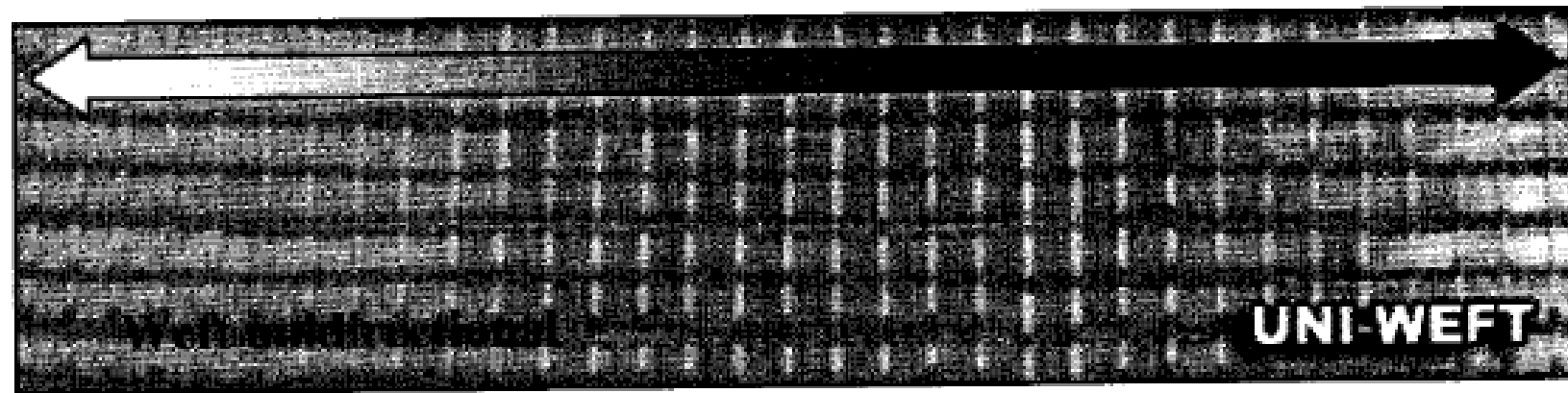
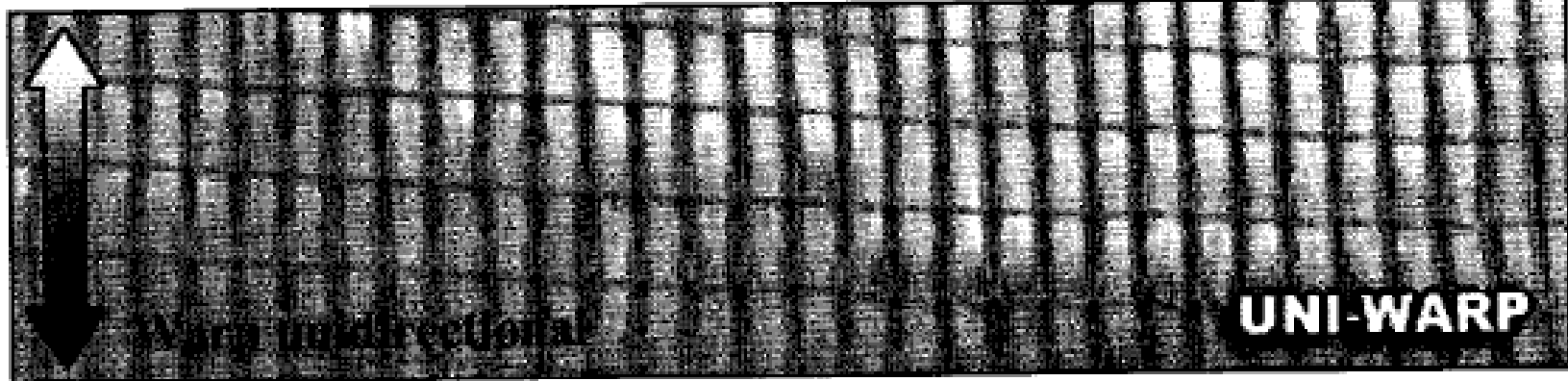


Αυτός ο τύπος πλέξης χαρακτηρίζεται ως μία "κλειδωμένη" πλέξη η οποία περιορίζει στο ελάχιστο την μετατόπιση των θυσάνων.

Διαγώνια πλέξη



Unidirectional-Bidirectional



Ινες Άνθρακα

- PAN based

βασίζονται στο Πολυ-Ακριλο-Νιτρίλιο

Υψηλή αντοχή – Χαμηλό μέτρο ελαστικότητας

- Char-based (ακριβή πρώτη ύλη αλλά φτηνή / εύκολη διαδικασία)

βασίζονται στην πίσσα από πετρέλαιο ή κάρβουνο
(φτηνή πρώτη ύλη αλλά ακριβή διαδικασία)

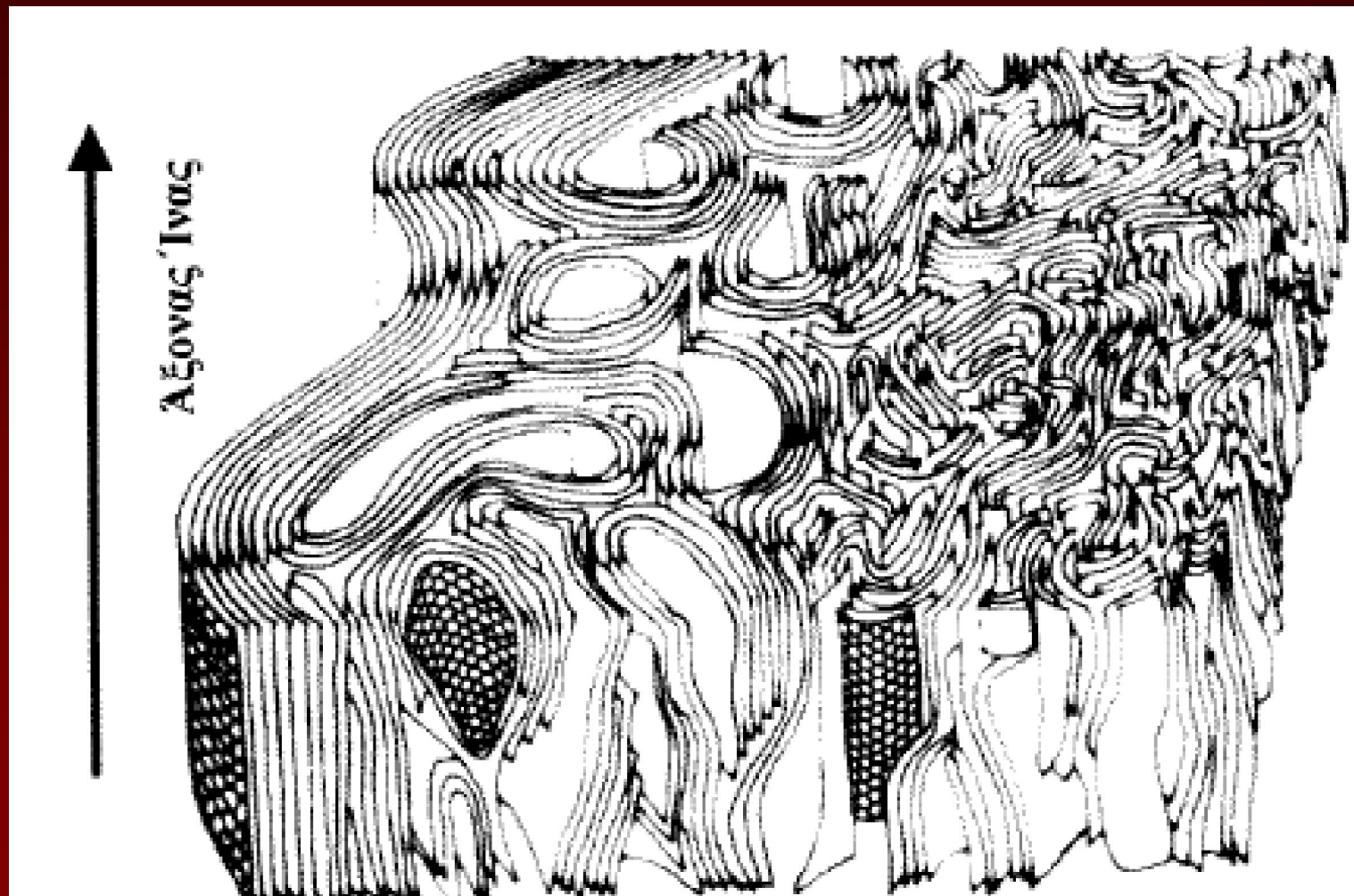
Χαμηλή αντοχή – Υψηλό μέτρο ελαστικότητας

(Dupont, Nippon, Mitsubishi, Tonen, Osaka Gas Co.)

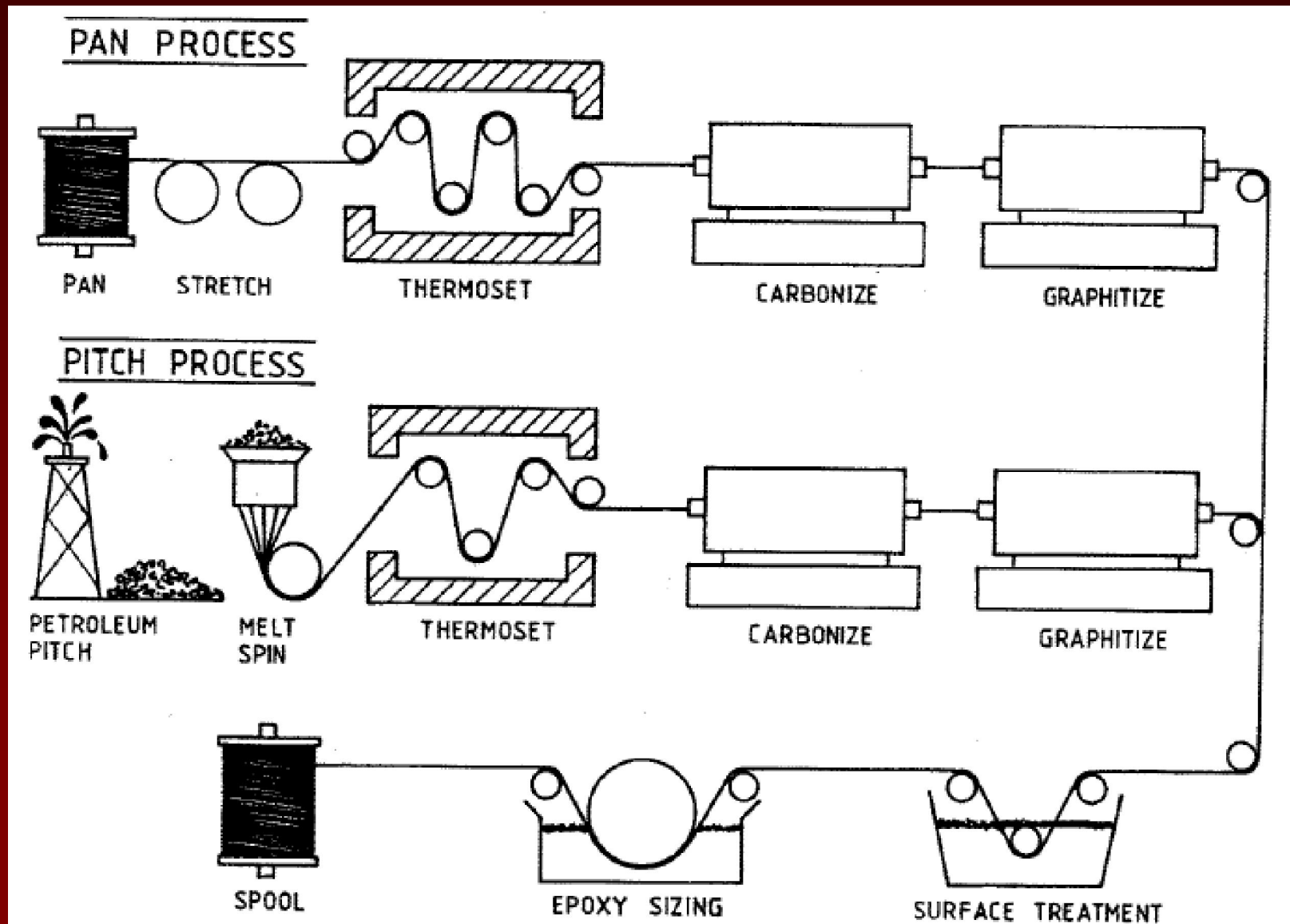
Ινες Άνθρακα

Προγονικό Υλικό και τύπος	Μέτρο Ινας (GPa)	Αντοχή Ινας (GPa)	Ποικνύ- τητα (g/cm ³)	Ειδικό Μέτρο (Mm)	Ειδική Αντοχή (Mm)	Ειδική Αντίσταση (μΩ.m)
PitchP-100	724	2.2	2.15	33.6	.102	2.5
PANH45	441	1.76	1.9	23.2	.093	7.8
PitchP-55	380	2.1	2.0	19.0	.105	7.5
PANHMS	370	2.75	1.86	19.9	.148	10
PANT650/42	290	4.83	1.787	16.2	.270	13
PANT-300	230	3.2	1.76	13.1	.182	18
PitchP25W	160	1.4	1.9	8.4	.074	13

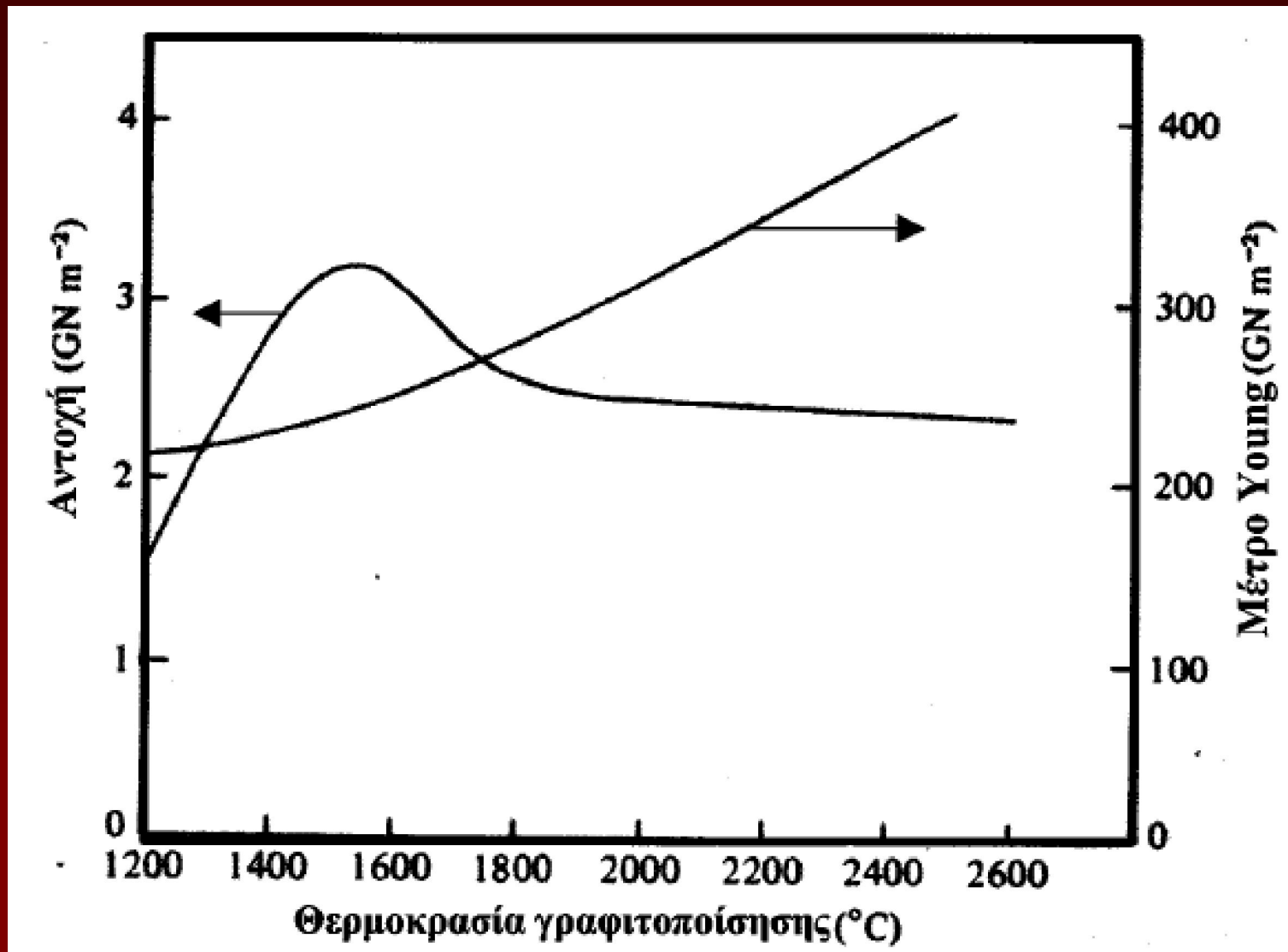
Ινες Άνθρακα – Xray Diffraction



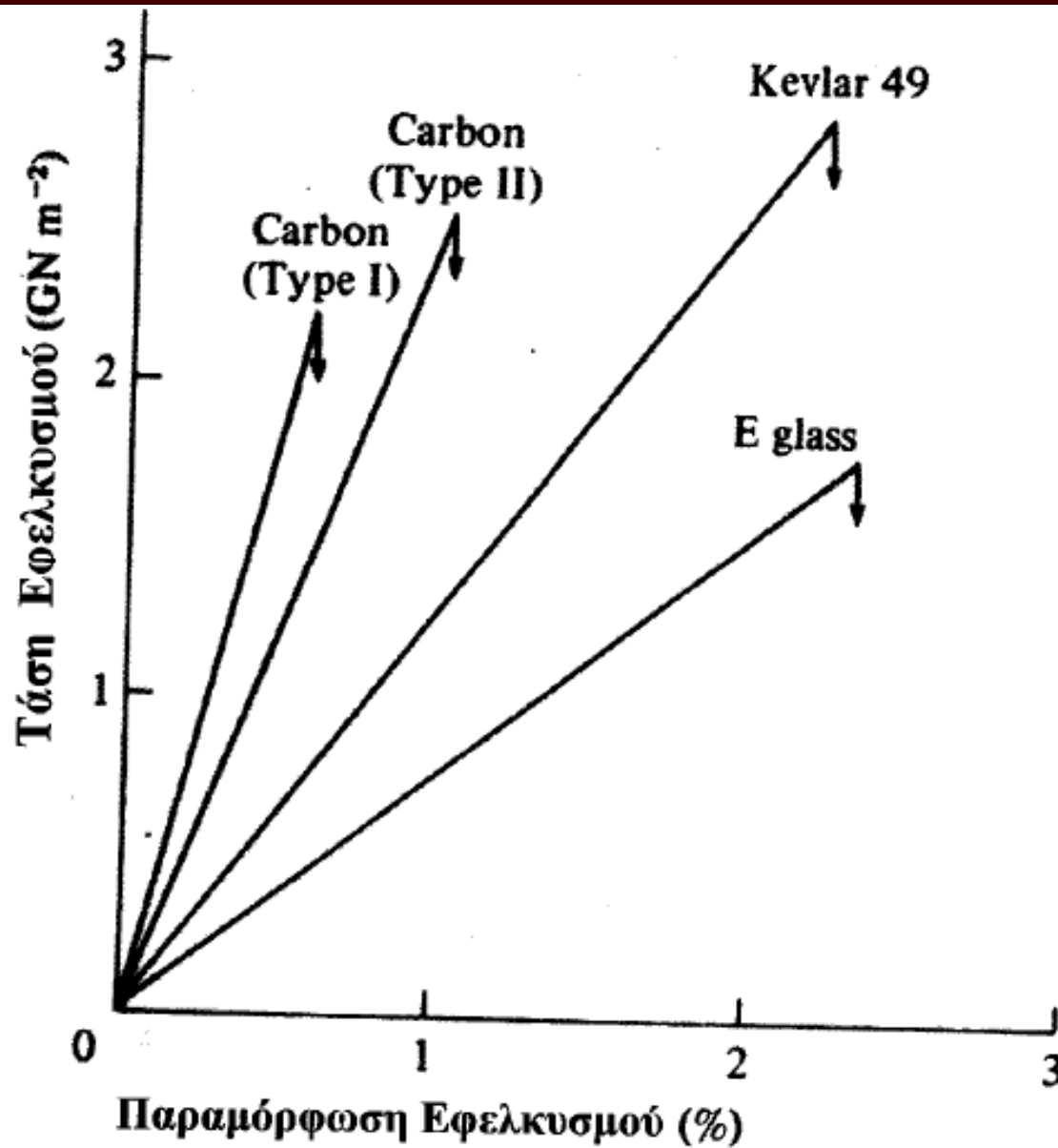
Ινες Άνθρακα – Παραγωγή



ΠΑΝ-Ινες Άνθρακα – Ιδιότητες



ΠΑΝ Ινες Άνθρακα – Ιδιότητες



Συγκριση ιδιοτήτων Ινών

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	Carbon TYPE I	Carbon TYPE II	E -glass	Kevlar 49
Διάμετρος	μm	7,0 - 9,7	7,6 - 8,6	8 - 14	11,9
Πυκνότητα	10 ³ Kg m ⁻³	1,95	1,75	2,56	1,45
Μέτρο E Μέτρο E _⊥	GNm ⁻²	390 12	250 20	76 76	130 —
Παραμ/ση θραύσης	%	0,5	1,0	1,8 - 3,2	2,2 - 2,8
Συντ/της Θερμικής Διαστολής	10 ⁻⁶ °C ⁻¹	α : -0,5-1,2 α _⊥ : 7 - 12	-0,1 - -0,5 7-12	4,9 4,9	-2 59
Θερμική Αγωγιμότητα	W m ⁻¹ °C ⁻¹ //	105	24	1,04	0,04
Ευκαμψία με βάση την ευκαμψία των ινών Carbon TYPE I που θεωρείται =1	----	1,00	1,56	1,44	0,59
Αντοχή σε εφελκυσμό	GNm ⁻²	2,2	2,7	1,4 - 2,5	2,8 - 3,6
Ελάχιστη Ακτίνα Καμπυλότητας	mm	0,71	0,37	0,12	—

Ίνες Γυαλιού

Παράγονται από λιωμένο γυαλί –
εφελκύντάς το μέσα από οπές με ταχύτητα
3000-4000 μέτρα/λεπτό

Τα νήματα ψύχονται με ακτινοβολία και
αγωγή πολύ γρήγορα.

Επικαλύπτονται με ειδική κόλλα η οποία
εμποδίζει τη τριβή όταν αυτά τοποθετούνται
όλα μαζί για να σχηματίσουν την πλεξούδα.

Τύποι Υαλονημάτων

- Ο **τύπος E** (E-glass, E for electrical) είναι ο πιο κοινός τύπος γυαλιού που συνήθως χρησιμοποιείται, έχει μεγάλη αντοχή και μέτρο ελαστικότητας, καλές ηλεκτρικές ιδιότητες και δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες.
- Ο **τύπος C** (C-glass, C for corrosion) είναι ανθεκτικότερος στη χημική διάβρωση σε σχέση με τον τύπο E αλλά είναι πιο ακριβός και χαρακτηρίζεται από μικρότερη αντοχή.
- Ο **τύπος S** είναι πιο ακριβός από τον τύπο E αλλά έχει υψηλότερο μέτρο ελαστικότητας και αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιείται σε ειδικές εφαρμογές, όπως στην βιομηχανία αεροσκαφών.

Υαλονήματα

- Σε αντίθεση με τις ίνες Ανθρακα και Kevlar 49, οι ιδιότητες των ινών γυαλιού είναι ισότροπες, έτσι ώστε π.χ. το μέτρο του Young κατά μήκος και εγκάρσια προς τον άξονα της ίνας να είναι το ίδιο.
- Αυτό είναι άμεση συνέπεια της τρισδιάστατης δομής του γυαλιού.

Υαλονήματα – Ρόλος επικάλυψης

- Ο πιο σημαντικός παράγοντας που προσδιορίζει την αντοχή των ινών είναι οι βλάβες που υφίστανται οι ίνες κατά την παρασκευή τους και ιδιαίτερα κατά το στάδιο της περιέλιξής τους πάνω στο τύμπανο.
- Η επικάλυψή τους με ειδικό επικαλυπτικό (size coating) στα πρώτα στάδια της παρασκευής τους βοηθάει στην ελαχιστοποίηση των βλαβών (επιφανειακές μικρορωγμές). Μερικές από τις βλάβες είναι αναπόφευκτες και συμβαίνουν τυχαία κατά μήκος της ίνας και αυτό οδηγεί σε διασπορά της αντοχής, η οποία εξαρτάται από το ελεύθερο μήκος των ινών, ακριβώς όπως και στις ίνες του άνθρακα.

Υαλονήματα – Ρόλος επικάλυψης

Η επικάλυψη των ινών εφαρμόζεται επιδερμικά με spray που περιέχει νερό με γαλάκτωμα πολυμερούς. Το είδος του επικαλυπτικού εξαρτάται μεταξύ των άλλων και από τον σκοπό για τον οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθούν οι ίνες και εξυπηρετεί τους ακόλουθους σκοπούς:

- Προφυλάσσει την επιφάνεια των ινών από φθορά.
- Συνδέει τις ίνες μεταξύ τους.
- Λιπαίνει τις ίνες έτσι ώστε να αντέχουν στην τάνυση.
- Τους προσδίδει αντιστατικές ιδιότητες.
- Αυξάνει την πρόσφυση των ινών στην μήτρα.

Ίνες Πολυαιθυλενίου

- Θεωρητικά, οι ίνες αυτές πρέπει να έχουν ένα μέτρο ελαστικότητας της τάξης των 220 GPa. Όμως τεχνικά είναι αδύνατο να έχουμε πλήρη προσανατολισμό των ινών.
- Ο Ward και οι συνεργάτες του (1980) παρήγαγαν ίνες πολυαιθυλενίου με μέτρο Young 60 GPa και αντοχή σε εφελκυσμό 1,3 GPa.
- Ο προσανατολισμός των μακρομορίων επιτυγχάνεται κατά τον εφελκυσμό του πολυαιθυλενίου. Όπως και στην περίπτωση των ινών του άνθρακα, το μέτρο του Young κατά το μήκος των ινών είναι μεγαλύτερο από εκείνο εγκάρσια του άξονα των ινών.

Ίνες Πολυαιθυλενίου

- Είναι δυνατόν να παραχθούν κοντές ίνες υψηλής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας
- Οι ίνες αυτές έχουν αντοχή σε εφελκυσμό 2.6 με 3.2 GPa (εξαρτάται από τον τύπο της ίνας) και μέτρο ελαστικότητας 119 με 170 GPa.
- Το μεγαλύτερο πρόβλημα → Σημείο Τήξης 150° Κελσίου.

Ίνες Πολυαιθυλενίου

Οι αρχικές εφαρμογές των ινών πολυαιθυλενίου ήταν σε σχοινιά και σε πανιά ιστιοπλοϊκών.

- Σύνθετα υλικά με εποξειδικές ρητίνες, που δοκιμάστηκαν με ίνες πολυαιθυλενίου, βρέθηκε ότι έχουν καλή αντίσταση σε κρούση και υψηλή αντοχή εφελκυσμού.
- Τα υβριδικά σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα σε εποξειδικές ρητίνες είναι επίσης υπό έρευνα.

Ίνες Αρωματικού Πολυαμιδίου

Η ονομασία **ARAMID** προήλθε από το:
“**AR**om**A**tic poly**a**M**ID**e”

Η γνωστότερη ονομασία προέρχεται από την εμπορική ονομασία **KEVLAR** της Dupont που εφηύρε και τις ίνες.

Ίνες Αρωματικού Πολυαμιδίου

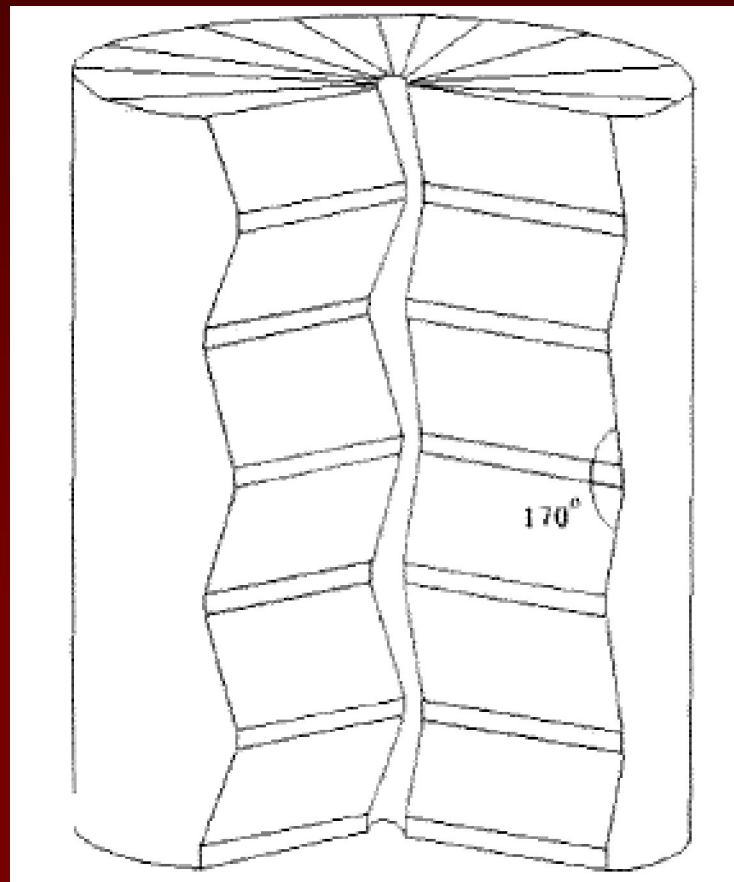
Το μεγαλύτερο προτέρημα των ινών αυτών:
ΑΥΞΗΜΕΝΗ ΣΤΕΡΡΟΤΗΤΑ

Η στερρότητα μετριέται από το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη σε ένα διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης. Αν χρησιμοποιηθεί και η καμπτική τάση, λαμβάνοντας υπ' όψη τις θλιπτικές και εφελκυστικές ιδιότητες, τότε την μεγαλύτερη στερρότητα την παρουσιάζουν τα σύνθετα υλικά, ενισχυμένα με ίνες από αρωματικό πολυαμίδιο.

Ίνες Αρωματικού Πολυαμιδίου

- Η αυξημένη στερρότητα κάνει το υλικό πολύ δύσκολο στο να κοπεί ή να σπάσει.
- Γι' αυτόν τον λόγο έχουν δημιουργηθεί ειδικά εργαλεία για την κοπή των παραπάνω υλικών.
- Λόγω της αυξημένης στερρότητας το υλικό αυτό χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στη στρατιωτική βιομηχανία (αντι-βαλιστική προστασία)

Ίνες Αρωματικού Πολυαμιδίου



Ίνες Αρωματικού Πολυαμιδίου

Κατασκευαστής και Εμπορική Ονομασία	Μέτρο σε Εφελκυσμό (GPa)	Αντοχή σε Εφελκυσμό (GPa)
Dupont: Kevlar 49	124	3.6
# 29	58	3.6
# RI	58	3.6
Enka *: Twaron HM	121	3.15
Twaron	80	3.15
Teijin: Technora	70	3.01

Ίνες Αρωματικού Πολυαμιδίου

- Οι ίνες από αρωματικό πολυαμίδιο σε μορφή "στουπιών" διατίθενται σε ποικιλία αριθμού νημάτων, σύμφωνα με τις παρακάτω προδιαγραφές:
- στις "*Kevlar*" ο αριθμός είναι 1000 και 10000 για σχοινιά, για ύφανση είναι 134, 267, 768 και 1000, 3068 και 5000 για ρολά λεπτών νημάτων.
- στις "*Twaron*" ο αριθμός των λεπτών νημάτων είναι 125, 250, 750, 1000, 2000 ή 5000.

Ίνες Αρωματικού Πολυαμιδίου

- Υφάσματα σε μια μεγάλη ποικιλία είναι διαθέσιμα από τις εταιρίες που υφαίνουν ίνες γυαλιού.
- Υφάσματα από μίγματα ινών αρωματικού πολυαμιδίου με ίνες άνθρακα ή γυαλιού χρησιμοποιούνται ευρέως και μπορεί να περιλαμβάνει ένα "στημόνι" από το ένα υλικό και ένα "υφάδι" από το άλλο ή ένα μίγμα από κορδόνια σε κάποια από τις παραπάνω διευθύνσεις ή και στις δύο.
- Πολτός από ίνες αρωματικού πολυαμιδίου, δηλαδή τεμαχισμένες ίνες μέσα σε καλούπι, χρησιμοποιείται ως αντικαταστάτης του αμιάντου.

Ίνες Βορίου

- Τα νήματα βορίου δεν μοιάζουν καθόλου με τα υπόλοιπα ενισχυτικά.
- παράγονται ως μονά, μεγάλης διαμέτρου νήματα.
- Κάθε νήμα αποτελείται από ένα πυρήνα, είτε από σύρμα τανγκστενίου είτε από ίνα άνθρακα και μια λεπτή στρώση από βόριο, η οποία έχει αποτεθεί με ατμό πάνω σε πυρήνα από μίγμα τριχλωριδικού, υδρογονωμένου βορίου.
- Το βόριο και ο άνθρακας επιλέχθηκαν ως υλικά για την παραγωγή ινών, διότι είναι τα δύο πιο ελαφρά στερεά και είναι πρακτικά στη χρήση τους.

Ίνες Βορίου

- Μεγάλα ποσά από ' prepregs' βορίου χρησιμοποιήθηκαν στη διάρκεια του 1970 στους σταθεροποιητές των αεροσκαφών F-14 & F-15, στο φτερό του αεροσκάφους F-111 και σε τμήματα του αεροσκάφους "B-1".
- Μερικές ίνες βορίου χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση των καλαμιών ψαρέματος καθώς και στα μπαστούνια του γκόλφ, στα σημεία όπου αναπτύσσονται θλιπτικές τάσεις.

Ίνες Αλουμίνας/Πυριτίου

- Για χρήση σε πολύ ψηλές θερμοκρασίες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ίνες:
 - Πυριτίου (1200ο C)
 - Αλουμίνας (1300ο C)
 - Αλουμίνα-Βόριο-Πυρίτιο NEXTEL (1200-1400ο C)

Μήτρες

- Οργανικές
Εποξειδικές (εποξικές) ρητίνες
Πολυεστερικές ρητίνες
Βινυλεστερικές ρητίνες
- Ανόργανες
Γεωπολυμερούς
Άνθρακα

Μήτρες

- Προκειμένου να αναπτυχθεί ισχυρή μηχανική και χημική σύνδεση ινών και ρητίνης, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη συνάφειας μεταξύ τους.
- Επιπλέον, πρέπει να υπάρχει χημική συμβατότητα, έτσι ώστε να μη λάβουν χώρα ανεπιθύμητες αντιδράσεις κατά τη σύνδεσή τους.

Μήτρες

- Οι ρητίνες, από τη φύση τους, είναι τουλάχιστον μία τάξη μεγέθους ασθενέστερες από τις ίνες στις οποίες εμποτίζονται.
- Είναι περισσότερο ευπαθείς, σε σχέση με τις ίνες, στη θερμότητα και γενικά εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στους χημικούς διαλύτες, τα οξέα, τις βάσεις και το νερό.

Μήτρες

- Όλα τα είδη των ρητινών παρουσιάζουν σημαντικές ερπυστικές παραμορφώσεις, σε σχέση με τα παραδοσιακά δομικά υλικά

Μήτρες

- Τα σύνθετα υλικά ινοπλισμένων πολυμερών δε θα μπορούσαν να υπάρξουν χωρίς τις ρητίνες,
- Μεταφέρουν τα φορτία και κατανέμουν τις τάσεις στις ίνες, κάθε στρώσης, του πολυμερούς.
- Με τον τρόπο αυτό επιτρέπουν στο ινοπλισμένο πολυμερές να συμπεριφέρεται σαν ομογενές υλικό.

Εποξειδικές ρητίνες

- μεγάλη αντοχή
- αυξημένη συγκολλητική ικανότητα
- αυξημένη ανθεκτικότητα σε κόπωση
- χαμηλή χημική διάβρωση
- χαμηλή συστολή ξηράνσεως

Εποξειδικές ρητίνες

- ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
- Ο συντελεστής ιξώδους των εποξειδικών ρητινών είναι γενικά μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο συντελεστή, τόσο των πολυεστερικών όσο και των βινυλεστερικών ρητινών.
- Χρειάζονται επίσης περισσότερο χρόνο για να αναπτύξουν πλήρως τις μηχανικές τους ιδιότητες και έχουν υψηλό κόστος, σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες ρητινών.

Πολυεστερικές ρητίνες

- Οι ρητίνες αυτές αποτελούν τον κύριο όγκο των πολυμερών, που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παραγωγής συνθέτων υλικών.
- Πρόκειται για ακόρεστους πολυεστέρες, που παράγονται από την αντίδραση γλυκόζης, είτε με διβασικά οξέα είτε με ανυδρίτες.
- Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των συστατικών τους στοιχείων, οι ιδιότητες των πολυεστερικών ρητινών μπορούν να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.

Πολυεστερικές ρητίνες

- Η χημική αντίδραση, με την οποία παράγονται οι πολυεστέρες είναι σημαντικά εξώθερμη
- Για τον λόγο αυτό απαιτείται μεγάλη προσοχή στη χρήση της ποσότητας της μάζας των αντιδρώντων. Εάν η μάζα είναι μεγάλη, το φύλλο πολυεστέρα μπορεί να αναφλεγεί ή να ρηγματωθεί. Αντίθετα εάν η μάζα είναι μικρή, η θερμότητα που εκλύεται δεν επαρκεί για την ολοκλήρωση της αντίδρασης.

Πολυεστερικές ρητίνες

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Οι πολυεστέρες παρουσιάζουν μέτρια ανθεκτικότητα στους διαλύτες και τα οξέα, ενώ είναι ευπαθείς στις βάσεις και στο νερό υψηλής θερμοκρασίας.
- Είναι γενικά λιγότερο ανθεκτικοί σε κόπωση, συγκριτικά με τις εποξειδικές και τις βινυλεστερικές ρητίνες.
- Η παραμόρφωση θραύσης είναι κατά κανόνα της τάξης του 1%.
- Ωστόσο το κυριότερο μειονέκτημα των πολυεστερικών ρητινών, για χρήση τους σε κατασκευές που κατοικούνται, είναι η δυσάρεστη οσμή, λόγω της χημικής τους σύστασης.

Βινυλεστερικές ρητίνες

- Πρόκειται για υβριδικές ρητίνες, που παράγονται με αλυσιδωτές αντιδράσεις ενός εποξειδικού πολυμερούς, με ακρυλικές ή μεθακρυλικές ενώσεις.
- Εξαιτίας της παρουσίας του εποξειδικού πολυμερούς, οι βινυλεστερικές ρητίνες, σε σχέση με τις πολυεστερικές, είναι περισσότερο εύκαμπτες, σκληρότερες, πιο ανθεκτικές σε κόπωση και λιγότερο χημικά ενεργές.

Βινυλεστερικές ρητίνες

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Οι βινυλεστερικές ρητίνες δεν έχουν τόσο υψηλή αντοχή και ανθεκτικότητα σε κόπωση, όσο οι εποξειδικές.
- Λόγω της χημικής τους σύστασης, αντιμετωπίζουν επίσης το ίδιο πρόβλημα δυσσομίας με τις πολυεστερικές ρητίνες.
- Η συστολή ξηράνσεως είναι γενικά της τάξεως του 5 με 10%.
- Το κόστος τους είναι συνήθως μεταξύ του κόστους των εποξειδικών και των πολυεστερικών ρητινών.

Ιδιότητες Ρητινών

Είδος ρητίνης	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Επιμήκυνση θραύσης (%)	Πυκνότητα (gr/cm ³)
Εποξειδική	55 – 130	1.0 – 4.5	4.0 – 14.0	1.20 – 1.30
Πολυεστερική	35 – 104	2.1 – 4.1	<5.0	1.10 – 1.46
Βινυλεστερική	73 – 81	3.0 – 3.6	3.5 – 5.5	1.12 – 1.32