



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.):
"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΘΕΡΜΟΑΝΘΕΚΤΙΚΩΝ
ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΜΗΤΡΑ ΡΗΤΙΝΗ ΦΑΙΝΟΛΗΣ –
ΦΟΡΜΑΛΔΕΪΔΗΣ ΜΕ ΜΕΣΟΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΙΝΕΣ
ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΛΙΤΗ – ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ
ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Κ. ΚΑΛΛΕΡΓΗ

Διπλωματούχου Χημικού Μηχανικού Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

Ι. ΣΙΜΙΤΖΗΣ

Ομ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.):
"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"**

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΘΕΡΜΟΑΝΘΕΚΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΜΗΤΡΑ ΡΗΤΙΝΗ ΦΑΙΝΟΛΗΣ – ΦΟΡΜΑΛΔΕΪΔΗΣ ΜΕ ΜΕΣΟΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΛΙΤΗ – ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Κ. ΚΑΛΛΕΡΓΗ

Διπλωματούχου Χημικού Μηχανικού Ε.Μ.Π.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Ι. ΣΙΜΙΤΖΗΣ, Ομ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ν. ΤΣΟΥΒΑΛΗΣ, Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Λ. ΖΟΥΜΠΟΥΛΑΚΗΣ, Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγκεκριμένη εργασία εκπονήθηκε στην Εργαστηριακή Μονάδα «Προηγμένα και Σύνθετα Υλικά» στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας μου για το Διατμητικό Πρόγραμμα «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών». Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για την ανάθεση και εκπόνηση της εργασίας σε όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίησή της και ειδικότερα:

- Στον Καθηγητή κ. Ι.Χρ. Σμιτζή για την ανάθεση της εργασίας, το ενδιαφέρον που επέδειξε, τις ουσιαστικές συμβουλές του και την πολύτιμη υποστήριξή του καθόλη τη διάρκεια της εργασίας.
- Στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Λουκά Ζουμπουλάκη για την συμβολή και υποστήριξη του, καθώς και για την ουσιαστική βοήθειά του στις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των δοκιμίων.
- Στην Υπ. Διδάκτορα κα Μαρκέλλα Πιζάνια για την ουσιαστική βοήθειά της στην διεξαγωγή των πειραμάτων και για την λεπτομερειακή βασική διόρθωση του κειμένου της μεταπτυχιακής εργασίας. Επίσης την Δρ. Λίτσα Γεωργίου για την βοήθεια που προσέφερε σε ορισμένες φάσεις των πειραμάτων.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του προσωπικού του Εργαστηρίου για την πολύτιμη βοήθειά τους, καθώς και για την διευκόλυνση για τον χειρισμό του εξοπλισμού του Εργαστηρίου που απαιτήθηκε. Επίσης ευχαριστώ και το γιο μου για την υπομονή που επέδειξε όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα σύνθετα υλικά ινών άνθρακα με φαινολικές ρητίνες χρησιμοποιούνται για περισσότερο από 20 χρόνια με εξαιρετικά αποτελέσματα για να παράξουν προϊόντα από καλούπια, τα οποία χρησιμοποιούνται στα μεταφορικά μέσα, όπως λεωφορεία και τρένα, καθώς και σε κατασκευές, όπου απαιτούνται υλικά που να αντέχουν στη φωτιά και σε υψηλή θερμοκρασία.

Αυτά τα υλικά δεν καίγονται με την τυπική έννοια, ενώ σε περιπτώσεις πυρκαγιάς παράγουν χαμηλά επίπεδα καπνού και τοξικών αερίων. Η ικανότητά τους να παράγουν κομμάτια υλικών με περίπλοκο σχήμα, με υψηλό λόγο μηχανικής αντοχής προς πυκνότητα, χαμηλή συντήρηση και κόστος, μαζί με την ευκολία στην εγκατάσταση έχει αναγνωρισθεί ως η κατάλληλη λύση για την παραγωγή υλικών τα οποία αντέχουν στην φωτιά.

Στόχος της παρούσης εργασίας είναι η κατασκευή συνθέτων υλικών ινών άνθρακα με μήτρα ρητίνη φαινόλης - φορμαλδεΐδης (νεολάκης) και η αντικατάσταση της ρητίνης με περλίτη με σκοπό την αύξηση των αντοχών του σύνθετου υλικού χωρίς να αυξηθεί το βάρος του σύνθετου υλικού, καθώς και ο προσδιορισμός θερμικών ιδιοτήτων, οι οποίες επηρεάζουν την θερμομονωτική ικανότητα του υλικού. Σημειώνεται ότι ο περλίτης έχει χαμηλή πυκνότητα, οπότε δεν επιβαρύνει το σύνθετο υλικό από απόψεως πρόσθετου βάρους.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε περλίτης για να αντικαταστήσει την νεολάκη σε ποσοστό 10%, 15% και 20% και μελετήθηκαν οι μηχανικές και θερμικές ιδιότητες των συνθέτων υλικών. Η αντικατάσταση νεολάκης με περλίτη, με δεδομένο ότι ο περλίτης είναι ανόργανο υλικό, συντελεί, ώστε αφενός να περιορίζεται ακόμη περισσότερο η έκλυση αερίων και αφετέρου να εμποδίζεται η διάδοση της φλόγας και η εξάπλωση πυρκαγιάς.

Όσον αφορά το πειραματικό μέρος, πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο παραγωγή ρητίνης φαινόλης - φορμαλδεΐδης και πιο συγκεκριμένα ρητίνης νεολάκης. Κατόπιν κατασκευάστηκαν δοκίμια συνθέτων υλικών ινών άνθρακα με μήτρα νεολάκη και περλίτη ως πρόσθετο.

Η σκλήρυνση της νεολάκης πραγματοποιήθηκε με εξαμεθυλοτετραμίνη (HEXA), η οποία επιτελεί το ρόλο του σκληρυντή, ώστε σε μοριακό επίπεδο να δημιουργηθούν διασταυρώσεις πλέγματος στη μήτρα.

Τα σύνθετα υλικά κατασκευάστηκαν ακολουθώντας τα εξής βήματα:

- Προδιαπότιση των ινών άνθρακα με την ρητίνη, από κατάλληλο διάλυμά της που περιέχει και τον σκληρυντή.
- Προσκλήρυνση σε πυριαντήριο με αρχική μορφοποίηση ινών άνθρακα – νεολάκης (μήτρα) ως φύλλα ή ταινίες.
- Τελική σκλήρυνση στρώσεων ταινιών ή φύλλων μέσα σε κατάλληλο καλούπι, ως θερμομόρφωση με πίεση σε θερμοπρέσσα. Μεταξύ των στρώσεων, πέραν του στερεού μείγματος νεολάκης – σκληρυντή, προστέθηκε και κατάλληλη ποσότητα περλίτη.

Εν συνεχεία, δοκίμια των συνθέτων υλικών που κατασκευάστηκαν, μετρήθηκαν ως προς την αντοχή τους σε κάμψη και διάτμηση. Σχετικά με τις ιδιότητες, οι οποίες επηρεάζουν τις θερμομονωτικές ικανότητες του υλικού, προσδιορίστηκε ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας. Συγκεκριμένα, αυτός προσδιορίστηκε για δίσκο νεολάκης με 10% περλίτη, καθώς και για ορισμένα θερμομονωτικά υλικά για λόγους συγκρίσεως. Προκειμένου για την θερμική σταθερότητα των συνθέτων υλικών προσδιορίστηκε επίσης η απώλεια βάρους των επί μέρους συστατικών τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Πραγματοποιήθηκαν, επίσης, χαρακτηρισμοί της μήτρας και του προσθέτου. Συγκεκριμένα, έγινε ανάλυση με SEM και ανάλυση με EDAX για τον περλίτη, καθώς και FTIR για την νεολάκη.

Διαπιστώθηκε ότι τα σύνθετα υλικά που κατασκευάστηκαν έχουν καλές μηχανικές ιδιότητες, καθώς και καλές θερμομονωτικές ιδιότητες λόγω της νεολάκης και του περλίτη που χαρακτηρίζονται ως θερμομονωτικά υλικά.

Abstract

The composite materials of carbon fibers with phenolic resins are used for more than 20 years with excellent results to produce products by molding that are used in vehicles, such as buses and trains, and in structures needed materials to withstand in fire and high temperature

These materials are not burned by the typical meaning, while in cases of fires they produce low levels of smoke and toxic gases. Their ability to produce pieces of materials with a complicated shape, with high ratio of mechanical strength to density, low maintenance and cost, with ease of installation have been recognized as the proper solution for the production of materials which are resistant to fire.

The aim of the present work is the manufacture of composite materials of carbon fibers with matrix of phenol - formaldehyde resin (novolac) and the replacement of the resin with perlite to increase the strength of the composite material without increasing the weight of the composite material and the determination of thermal properties which influences the thermo-isolation ability of the material. It is noticed that the perlite has low density without adding an additional weight to the composite material.

In the present work, the perlite was used to replace the novolac in the percentage of 10%, 15% and 20% and the mechanical and thermal properties of the composite materials were studied. The replacement of novolac with perlite, taking into consideration that perlite is an inorganic material, contributes both to limit the evolve of gases and to prevent the spreading of flames and the propagation of fire.

Concerning the experimental part, phenol - formaldehyde resin and specifically novolac was produced in the Laboratory. Then, specimens of composite materials of carbon fibers with matrix novolac and perlite as additive were manufactured.

The curing of novolac took place with hexamethylenetetramine (HEXA), which is the curing agent in order to create crosslinks in molecular level into the matrix.

The composite materials were manufactured according to the following steps:

- Preimpregnation of carbon fibers with the resin by a proper solution containing also the curing agent.
- Pre-curing in an oven, leading to an initial forming of the carbon fibers – novolac (matrix) as sheets or tapes.
- Final curing of laminates as tapes or sheets in a proper molding by thermoforming under pressure in a thermopress. Besides the solid mixture of novolac – curing agent, an appropriate amount of perlite was added between the laminates.

Subsequently, specimens of composite materials manufactured were measured for their strength to bending and shear. In relation to the properties which influence the thermo-isolation ability of the material, the coefficient of the thermal conductivity was determined. Concretely, this coefficient was determined for a disc of novolac with 10 % perlite, and for certain thermo-isolated materials for comparison reasons. Concerning the thermal stability of the composite materials, the weight losses of their separate constituents in high temperatures were determined. The matrix and the additive were characterized. Indeed, SEM-analysis and EDAX-analysis for the perlite, and FTIR for the novolac.

It was found out that the composite materials manufactured have good mechanical properties and good thermo-isolating properties due to the novolac and perlite which are characterized as thermo-isolating materials.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
Πρόλογος	1
Περίληψη	2
Abstract	4
Περιεχόμενα	5
A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	10
1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ : ΑΝΘΡΑΚΑΣ	11
1.1. Γενικά	11
1.2. Αλλοτροπικές μορφές άνθρακα	12
1.21. Διαμάντι	13
1.22. Γραφίτης	14
1.221. Πυρολυτικός Γραφίτης	15
1.222. Υαλώδης άνθρακας	16
1.223. Πολυκρυσταλλικός άνθρακας	16
1.224. Νανοσωλήνες άνθρακα	17
1.2241. Σύνθεση νανοσωλήνων άνθρακα	17
1.2242. Δομή νανοσωλήνων άνθρακα	18
1.225. Φουλλερένια	19
1.226. Γραφένια	21
1.227. Διαφορές μεταξύ γραφίτη και ιών άνθρακα	23
2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΣΟΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ : ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ	24
2.1. Γενικά	24
2.2. Παραγωγή ιών άνθρακα από κυτταρίνη	25
2.3. Παραγωγή ιών άνθρακα από πίσσα	25
2.4. Παραγωγή ιών άνθρακα από πολυακρυλονιτρίλιο	26
2.5. Δομή ιών άνθρακα	30
2.6. Ιδιότητες ιών άνθρακα	31
2.61. Πλεονεκτήματα ιών άνθρακα	32
2.62. Μειονεκτήματα ιών άνθρακα	32
2.7. Κατηγοριοποίηση και τύποι ιών άνθρακα	32

2.8. Επιφανειακή επεξεργασία ινών άνθρακα από πολυακρυλονιτρίλιο	34
2.9. Ποιοτικός έλεγχος των ινών άνθρακα	35
3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΣΟΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ : ΠΕΡΛΙΤΗΣ	37
3.1. Γενικά	37
3.2. Δομή πυριτίου	38
3.3. Βιομηχανική παραγωγή του περλίτη	39
3.4. Κοκκομετρία του περλίτη	40
3.5. Ιδιότητες και χρήσεις του περλίτη	41
4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	43
4.1. Γενικά	43
4.2. Κατηγοριοποίηση και διαχωρισμός συνθέτων υλικών	43
4.3. Μήτρα	47
4.4. Πρόσθετα πολυμερών	48
4.41. Πληρωτικά πολυμερών	49
4.42. Απαιτήσεις κονιόμορφων προσθέτων	49
4.5. Γενικά περί διεπιφανειών ινών μήτρας	50
4.6. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων υλικών με ίνες	51
4.61. Παράγοντες που επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών	52
4.62. Φαινόμενα αστοχίας συνθέτων υλικών	53
4.7. Μέθοδοι παραγωγής συνθέτων υλικών	57
4.71. Εφαρμογές συνθέτων υλικών	61
4.72. Εφαρμογές συνθέτων υλικών ινών άνθρακα	61
4.8. Μονωτικά υλικά	66
5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	70
B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	72
6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΗΤΡΑ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΡΗΤΙΝΗΣ ΦΑΙΝΟΛΗΣ-ΦΟΡΜΑΛΔΕΥΔΗΣ	73
6.1. Πολυμερή	73
6.2. Ταξινόμηση/διαχωρισμός πολυμερών	73

6.3. Γενικά	77
6.4. Ρητίνες νεολάκης	79
6.5. Ρητίνες Α βαθμίδας συμπύκνωσης ρεζόλης (Resoles)	81
6.6. Ρητίνες Β βαθμίδας συμπύκνωσης (Resitol)	81
6.7. Ρητίνες Γ βαθμίδας συμπύκνωσης	81
6.8. Σκλήρυνση φαινολικών ρητινών	82
6.81. Γενικά	82
6.82. Σκλήρυνση φαινολικών ρητινών	83
6.9. Θερμική επεξεργασία	84
6.10. Γιατί χρησιμοποιούμε ρητίνες φαινόλης φορμαλδεύδης	85
6.11. Εργαστηριακή παρασκευή φαινόλης φορμαλδεύδης	85
6.12. Ποσοτικός προσδιορισμός της ελεύθερης φορμαλδεύδης	86
6.13. Παρατηρήσεις για την διεξαγωγή των πειραμάτων παρασκευής νεολάκης	88
7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	89
7.1. Εργαστηριακή διαδικασία για την κατασκευή των συνθέτων υλικών	89
7.2. Περιγραφή των διατάξεων της πειραματικής διαδικασίας για την παραγωγή διαποτισμένων ινών άνθρακα	89
7.3. Σκλήρυνση - Μορφοποίηση	92
7.31. Αρχική (μερική) σκλήρυνση	92
7.32. Τελική σκλήρυνση	92
7.33. Μορφοποίηση με θερμοπρεσσάρισμα	92
7.34. Υπολογισμός μιγμάτων για την κατασκευή συνθέτων υλικών	93
7.35. Τελική σκλήρυνση των δοκιμίων με θερμοπρέσσα	96
8^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	97
8.1. Γενικά	97
8.2. Διαδικασία μετρήσεων κάμψης και διάτμησης	98
8.3. Αποτελέσματα μηχανικών μετρήσεων σε κάμψη και διάτμηση των κατασκευασθέντων συνθέτων υλικών	100
8.31. Δοκιμή σε κάμψη	101
8.32. Δοκιμή σε διάτμηση	106
8.4. Παρατηρήσεις που προκύπτουν από την διεξαγωγή των πειραμάτων για τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων	114
8.5. Συμπεράσματα που προκύπτουν από την διεξαγωγή των πειραμάτων για την μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων	114

9^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	117
9.1. Θερμομόνωση - θερμομονωτικά υλικά	117
9.11. Σημασία της θερμομόνωσης	117
9.12. Βασικές αρχές της θερμομόνωσης	117
9.2. Τρόποι μετάδοσης της θερμότητας	117
9.21. Μετάδοση της θερμότητας με θερμική αγωγή	117
9.22. Μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά (συναγωγή)	118
9.23. Μετάδοση της θερμότητας με θερμική ακτινοβολία	119
9.3. Χαρακτηριστικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων	120
9.31. Γενικά	120
9.4. Πειραματική διαδικασία προσδιορισμού θερμικής αγωγιμότητας	122
9.41 Προετοιμασία δοκιμίων νεολάκης - περλίτη για την μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας	122
9.42 Πειραματική διάταξη μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας	123
9.43 Μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας	124
9.5. Αποτελέσματα μετρήσεων	125
9.51 Σύγκριση πειραματικών τιμών και αποτελεσμάτων	131
9.6. Παρατηρήσεις που προκύπτουν από την διεξαγωγή των πειραμάτων για την μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας	132
10^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	134
10.1. Ανάλυση του περλίτη με περίθλαση των ακτίνων X (EDAX)	134
10.11 Γενικά	134
10.2. Πειραματική διαδικασία και αποτελέσματα	140
10.3. Σχόλια για την ανάλυση δειγμάτων περλίτη με EDAX	144
10.4. Ανάλυση με SEM δειγμάτων περλίτη	145
10.41 Γενικά	145
10.42 Θεωρία μικροσκοπίων	146
10.43 Περιγραφή της διάταξης του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης	146
10.431 Βασικές αρχές της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης	146
10.432 Περιγραφή του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης	147
10.5. Πειραματική διαδικασία και αποτελέσματα	151
10.6. Σχόλια επί των στοιχειακών αναλύσεων με SEM	155
10.7. Αναλύσεις με FTIR δειγμάτων νεολάκης	156

10.71 Γενικά	156
10.72 Φασματοφωτόμετρα υπέρυθρης ακτινοβολίας	158
10.73 Παρασκευή δειγμάτων	158
10.74 Φασματοσκοπία Υπέρυθρου με μετασχηματισμό Fourier	159
10.8. Μετρήσεις πύρωσης	164
10.9. Σχόλια επι των αποτελεσμάτων πύρωσης	167
10.10. Υπολογισμός πυκνοτήτων	170
10.11 Παρατηρήσεις	171
11^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	172
11.1. Γενικά Συμπεράσματα	172
11.2. Προτάσεις	176
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	177
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	181
1. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ	181
2. MSDS ΥΛΙΚΩΝ	192
3. ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	

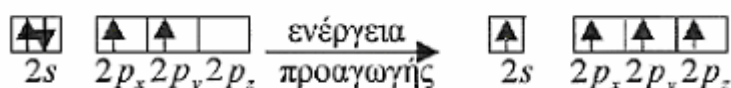
A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ: ΑΝΘΡΑΚΑΣ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Ο άνθρακας βρίσκεται ελεύθερος στη φύση σε διάφορες μορφές, κρυσταλλικές (αδάμας, γραφίτης) ή άμορφες (γαιάνθρακες). Είναι ένα αμέταλλο στοιχείο το οποίο είναι 19^ο σε σειρά αφθονίας κατά βάρος στο φλοιό της γης. Ο άνθρακας είναι το έκτο στοιχείο του περιοδικού συστήματος και έχει το μικρότερο ατομικό αριθμό από κάθε άλλο στοιχείο της στήλης IV του Περιοδικού Πίνακα.

Κάθε άτομο άνθρακα έχει 6 ηλεκτρόνια τα οποία καταλαμβάνουν τα $1s^2$, $2s^2$ και $2p^2$ ατομικά τροχιακά. Στην κρυσταλλική φάση τα ηλεκτρόνια σθένους δημιουργούν τα τροχιακά $2s$, $2p_x$, $2p_y$ και $2p_z$ τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό ομοιοπολικών δεσμών στα διάφορα υλικά του άνθρακα. Η ανάμιξη των $2s$ και $2p$ ατομικών τροχιακών ονομάζεται υβριδισμός και μπορεί να προκύψουν στον άνθρακα τρεις πιθανοί υβριδισμοί sp , sp^2 , sp^3 , ενώ άλλα στοιχεία της ομάδας IV, όπως το πυρίτιο, Si, και το γερμάνιο, Ge, εμφανίζουν πρωτίστως sp^3 υβριδισμό.



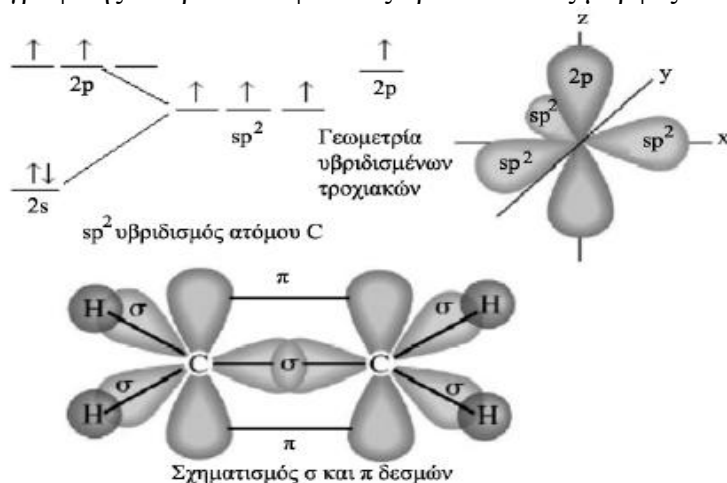
Ο άνθρακας διαφέρει από το Si και το Ge ως προς το γεγονός ότι δεν έχει άλλα εσωτερικά ατομικά τροχιακά, εκτός από τα σφαιρικά $1s$ η απουσία κοντινών εσωτερικών τροχιακών διευκολύνει τους υβριδισμούς που περιλαμβάνουν μόνο τα s και τροχιακά σθένους.

Οι διάφοροι τύποι δεσμών συνδέονται με ορισμένες δομικές διατάξεις:

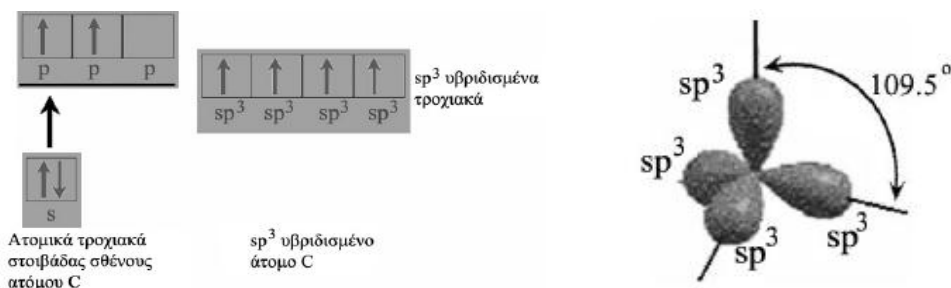
Ο δεσμός sp προκαλεί δομές αλυσίδας, ο δεσμός sp^2 επίπεδες δομές, και ο sp^3 τετραεδρικές δομές.

Ο άνθρακας έχει την ικανότητα να σχηματίζει δεσμούς με άλλα άτομα άνθρακα, καθώς και με άλλα στοιχεία και να δίνει μακρομοριακές ενώσεις και για το λόγο αυτό είναι το βασικότερο στοιχείο οργανικών ενώσεων στην γη.

Το διαμάντι και ο γραφίτης θεωρούνται φυσικές κρυσταλλικές μορφές του καθαρού άνθρακα.



Σχήμα 1. Υβριδισμός sp^2 στον άνθρακα



Σχήμα 2. Υβριδισμός sp^3 στον άνθρακα

Στο εμπόριο λόγω των πολλών εφαρμογών κυκλοφορούν διάφορες άνθρακα οι σπουδαιότεροι των οποίων περιγράφονται παρακάτω:

Ανθρακες και γραφίτες, συγκεκριμένα διογκωμένοι γραφίτες, ειδικοί γραφίτες για χρήση στην πυρηνική ενέργεια, απορροφητικοί γραφίτες, πυρίμαχος άνθρακας και γραφίτης, υαλώδης άνθρακας, πυρολυτικός γραφίτης, γραφίτες και άνθρακες οι οποίοι περιέχουν άλατα, γραφίτες διαποτισμένοι με μέταλλα, γραφίτες και άνθρακες διαποτισμένοι με κράματα μετάλλων, γραφίτες και άνθρακες που περιέχουν καρβίδια, υλικά που περιέχουν ρητίνες, συγκεκριμένα φθοριωμένες ρητίνες, άνθρακες για καταλυτική χρήση, συσσωματώματα άνθρακα και γραφίτη ή μεταλλογραφιτικών συνθέσεων συνδεδεμένα ή όχι με ρητίνες, σύνθετα υλικά με βάση τον άνθρακα, σύνθετα υλικά αποτελούμενα από μέταλλο και κεραμικό υλικό. (1,2,5,6)

1.2. ΑΛΛΟΤΡΟΠΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Πολλά στοιχεία και ενώσεις παρουσιάζουν περισσότερες από μια κρυσταλλικές δομές κάτω από διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **πολυμορφισμός** ή **αλλοτροπία**.

Ένα χημικό στοιχείο εκτίθεται σε αλλοτροπία (allotropy) όταν εμφανίζεται με δύο ή περισσότερες ταυτόσημες μορφές με διαφορετική φυσική κατάσταση. Οι αλλότροπες μορφές γενικά διαφέρουν σε φυσικές ιδιότητες, όπως είναι το χρώμα και η σκληρότητα μπορεί επίσης να διαφέρουν σε μοριακή δομή η χημική δραστηριότητα αλλά είναι συνήθως όμοιες στις περισσότερες χημικές ιδιότητες.

Μέχρι το 1985 ήταν γνωστές 6 κρυσταλλικές αλλότροπες μορφές του άνθρακα: ο α- και ο β- γραφίτης, ο αδάμας, μια σπάνια εξαγωνική δομή του αδάμαντα (londaleite), ο χαοΐτης και ο άνθρακας IV.

Ο χαοΐτης και ο άνθρακας IV είναι λευκού χρώματος αλλότροπες μορφές. Οι δομές τους δεν είναι ακριβώς γνωστές αλλά πιστεύεται ότι προέρχεται από επανάληψη ομάδων άνθρακα άνθρακα οι οποίοι συνδέονται με τριπλό δεσμό. Η ανακάλυψη των νέων μοριακών δομών του άνθρακα με την ονομασία φουλερένια και αργότερα των νανοσωλήνων άνθρακα αύξησε τον αριθμό των αλλοτροπικών μορφών του.

Τα φουλερένια και οι νανοσωλήνες κατατάσσονται στα νανοϋλικά.

Νανοϋλικά ονομάζονται τα υλικά των οποίων οι δομικοί λίθοι ανήκουν στην τάξη του νανομέτρου.

Ο γραφίτης, το διαμάντι, το μόριο του φουλερενίου, καθώς και οι νανοσωλήνες άνθρακα αποτελούν δομές με βάση το ίδιο στοιχείο, τον άνθρακα. Ωστόσο διαφέρουν ως προς το είδος των

δεσμών οι οποίοι σχηματίζονται μεταξύ των ατόμων τους, με αποτέλεσμα το καθένα να έχει ιδιαίτερη μοριακή ή κρυσταλλική δομή και κατ' επέκταση ιδιότητες.

Κάθε μία από τις δομές που αναφέρθηκαν περιγράφεται από ένα χαρακτηριστικό φάσμα Raman. Η σκέδαση Raman είναι μια πολύ χρήσιμη τεχνική φασματοσκοπίας για τη μελέτη δομών σαν αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ακτινοβολίας με αυτές. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της σκέδασης Raman είναι η αλλαγή στη συχνότητα του σκεδαζόμενου φωτός, η συχνότητα δηλαδή της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας είναι διαφορετική από αυτή της προσπίπτουσας.

Η ικανότητα ενός στοιχείου να σχηματίζει τέτοιου είδους αλλοτροπικές (allotropic) μορφές δεν είναι αποκλειστικό χαρακτηριστικό του άνθρακα. Άλλα στοιχεία της τέταρτης ομάδας του περιοδικού πίνακα, όπως το πυρίτιο ή το γερμάνιο έχουν επίσης αυτήν την ιδιότητα. Ωστόσο, ο άνθρακας είναι ιδιαίτερος ως προς τον αριθμό και την ποικιλία των αλλοτροπικών μορφών που δίνει. Για παράδειγμα, το διαμάντι είναι το σκληρότερο γνωστό υλικό, ενώ ο γραφίτης ένα από τα μαλακότερα. Το διαμάντι είναι διαφανές στο ορατό φως, ενώ ο γραφίτης αδιαφανής. Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερθούν τέσσερις συγκεκριμένες ανθρακικές δομές, αυτή του διαμαντιού, του γραφίτη (με ιδιαίτερη αναφορά στον πυρολυτικό γραφίτη), των νανοσωλήνων άνθρακα και του φουλερενίου.

Ανάλογα με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την παρασκευή των γραφιτικών υλικών και τον τρόπο κατεργασίας τους, προκύπτουν τα παρακάτω είδη:

1. Ο πυρολυτικός γραφίτης
2. Ο υαλώδης άνθρακας
3. Οι ίνες άνθρακα
4. Ο πολυκρυσταλλικός γραφίτης

Στις παραπάνω μορφές ο άνθρακας παρουσιάζεται με υβριδισμό sp^2 .

Παρακάτω περιγράφονται οι διάφορες δομές του άνθρακα ως προς τη δομή, τις ιδιότητες και τον τρόπο παρασκευής τους. (5,6,11)

1.21. ΔΙΑΜΑΝΤΙ

Ιδιαίτερης σημασίας μορφή άνθρακα είναι το διαμάντι, καθώς χαρακτηρίζεται από εξαιρετικές ιδιότητες, όπως:

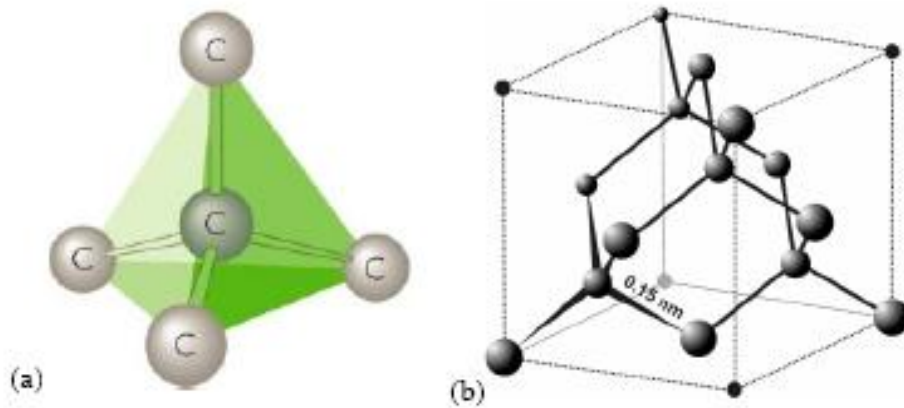
1. Έχει την υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα από οποιοδήποτε στερεό σε θερμοκρασία δωματίου, πέντε φορές μεγαλύτερη από αυτή του χαλκού
2. Είναι ιδανικό οπτικό υλικό ικανό να μεταδώσει φως από το μακρύ υπέρυθρο μέχρι το υπεριώδες, ενώ έχει ασυνήθιστα μεγάλο δείκτη διάθλασης
3. Είναι με διαφορά το σκληρότερο γνωστό υλικό.

Στο διαμάντι κάθε άτομο άνθρακα ενώνεται με τα γειτονικά του μέσω υβριδικών sp δεσμών σχηματίζοντας ένα κανονικό τετράεδρο με ίσες μεταξύ τους γωνίες των 109 μοιρών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3(a). Τα άτομα ισαπέχουν μεταξύ τους με μήκος δεσμού 0,154nm και η ενέργεια είναι 711kJ/mol.

Η κρυσταλλική δομή του διαμαντιού μπορεί να αναπαρασταθεί ως από ένα εδροκεντρωμένο πλέγμα Bravais με βάση δύο όμοια άτομα στις θέσεις (0,0,0) και (1/4,1/4,1/4). Κάθε μοναδιαία κυψελίδα διαμαντιού έχει επομένως 8 άτομα (βλέπε Σχήμα 3(b)).

Τέτοια δομή, εκτός από το διαμάντι, είναι κοινή και στους ημιαγωγούς, όπως το γερμάνιο ή το πυρίτιο.

Επιπλέον, η πυκνότητά του, ίση με 3,515 g/cm³, είναι μεγαλύτερη από αυτή του γραφίτη, ίση με 2,26 gr/cm³. (11)



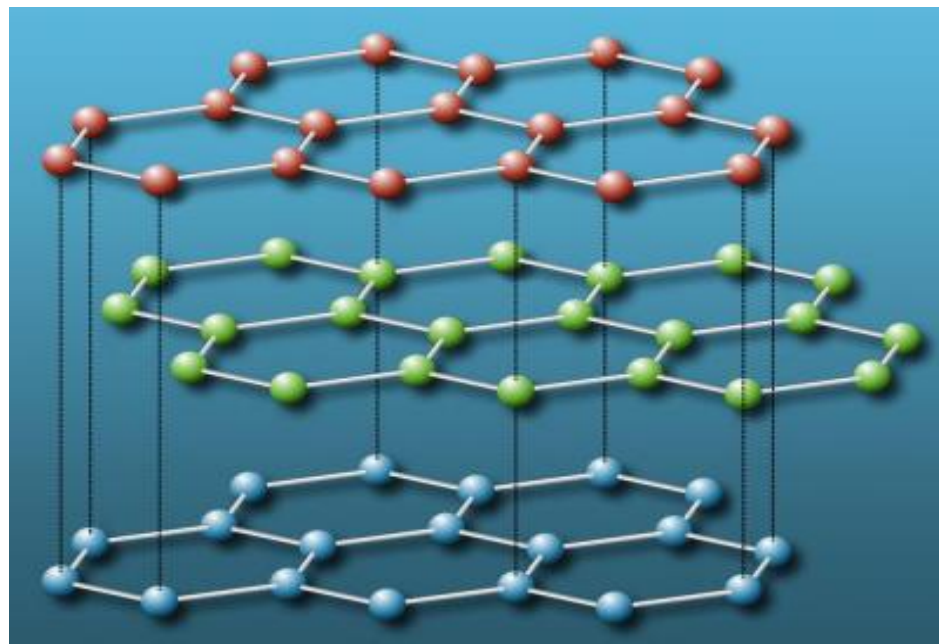
Σχήμα 3. Κρυσταλλική δομή διαμαντιού

1.22. ΓΡΑΦΙΤΗΣ

Ο γραφίτης (graphite) έχει τρισδιάστατη δομή αποτελούμενος από παράλληλα στρώματα ατόμων άνθρακα τοποθετημένα σε εξαγωνικό πλέγμα. Τα άτομα συγκρατούνται στο πλέγμα με υβριδικούς sp^2 δεσμούς. Η αλληλεπίδραση μεταξύ γειτονικών φύλλων είναι μικρή συγκρινόμενη με την ισχύ των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ατόμων στο επίπεδο του κάθε φύλλου.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, ενώ η απόσταση μεταξύ δύο ατόμων στο ίδιο φύλλο είναι $1,42\text{\AA}$, η απόσταση μεταξύ δύο φύλλων είναι $3,35\text{\AA}$, αρκετά δηλαδή μεγαλύτερη.

Η συγκεκριμένη τιμή της απόστασης μεταξύ των φύλλων οφείλεται στο εύρος των π δεσμών, οι λοβοί των οποίων είναι κάθετοι στο επίπεδο του κάθε φύλλου. Οι ιδιότητες ενός ιδανικού κρυστάλλου γραφίτη διαφέρουν εξετάζοντας τη συμπεριφορά του στο επίπεδο των γραφιτικών φύλλων ή στη διεύθυνση κάθετα σε αυτά, εμφανίζοντας μεγάλη ανισοτροπία. (5,6,11)

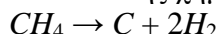


Σχήμα 4. Δομή γραφίτη

1.221. ΠΥΡΟΛΥΤΙΚΟΣ ΓΡΑΦΙΤΗΣ

Ο κοινός γραφίτης (molded graphite) παράγεται με την πυρόλυση στερεών, ανόργανων πρόδρομων ενώσεων παράγωγων του πετρελαίου ή πολυμερή. Ωστόσο, ο πυρολυτικός γραφίτης (pyrolytic carbon/graphite, pyrographite) παράγεται με τη βοήθεια αέριων πρόδρομων ενώσεων με τη μέθοδο της χημικής απόθεσης από ατμό. Ο πυρολυτικός γραφίτης βρίσκει εφαρμογή κυρίως ως υμένιο επίστρωσης άλλων υλικών, όπως ο κοινός γραφίτης ή ίνες άνθρακα. Ο πυρολυτικός γραφίτης εμφανίζει τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα ως επίστρωση από άλλες μορφές άνθρακα. Το υμένιο μπορεί να παρασκευαστεί αρκετά λεπτό, ενώ με την αφαίρεση του υποστρώματος παραμένει ως συμπαγές υλικό.

Η γενική αντίδραση που διέπει τη διαδικασία της χημικής εναπόθεσης είναι:



Το μεθάνιο είναι συνήθης πρόδρομη ένωση και γενικά πυρολύεται στους 1100°C ή περισσότερο και σε ένα εύρος πιέσεων από 0,001 atm έως 1 atm. Άλλες κοινές πρόδρομες ενώσεις είναι το αιθυλένιο, το ακετυλένιο και το προπυλένιο.

Ο πυρολυτικός γραφίτης αποτελείται από κρυσταλλίτες γραφίτη οι οποίοι μπορεί να φτάσουν μέχρι και αρκετές εκατοντάδες νανόμετρα. Το μέγεθος των κρυσταλλιτών μπορεί να προσδιοριστεί με φασματογραφία ακτίνων X ή με φασματοσκοπία Raman.

Οι κρυσταλλίτες χαρακτηρίζονται από διάφορους βαθμούς προσανατολισμού. Όταν αυτοί είναι παράλληλοι μεταξύ τους οι ιδιότητες του υλικού τείνουν σε αυτές ενός ιδανικού κρυστάλλου γραφίτη. Η τελική δομή μπορεί να είναι κιονική (columnar), λαμέλλας (laminar) ή ισοτροπική, ανάλογα με τις συνθήκες εναπόθεσης οι οποίες καθορίζονται από τη θερμοκρασία, πίεση και αποσύνθεση των πρόδρομων αέριων ενώσεων.

Ένας συνθετικός μονοκρυσταλλικός γραφίτης επονομαζόμενος καμινωτικός γραφίτης χρησιμοποιείται συνήθως στις επιστημονικές έρευνες. Οι κρύσταλλοι καμινωτικού γραφίτη σχηματίζονται στην επιφάνεια τηγμάτων σιδήρου με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και λαμβάνονται ως κρύσταλλοι από τέτοια διαλύματα σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι νιφάδες του καμινωτικού γραφίτη είναι συχνά μεγαλύτερες από τις φυσικές νιφάδες γραφίτη, ωστόσο οι νιφάδες αυτές είναι δυνατόν να περιέχουν προσμίξεις.

Όταν ο προσανατολισμός των κρυσταλλιτών είναι πολύ υψηλός αναφερόμαστε σε πυρολυτικό γραφίτη υψηλού προσανατολισμού (highly ordered pyrolytic graphite, HOPG). Μια συνήθης εφαρμογή του είναι σαν υπόστρωμα για τη μελέτη άλλων υλικών λόγω της επίπεδης επιφάνειας του και της αμελητέας αντιδραστικότητας του.

Όσον αφορά τις δομές εκτός της ισότροπης, οι μηχανικές ιδιότητες του πυρολυτικού γραφίτη αυτές είναι παρόμοιες με του ιδανικού γραφίτη και εμφανίζουν βελτίωση αυξανόμενης της θερμοκρασίας μέχρι ωστόσο το όριο των 2600°C όπου μειώνονται απότομα.

Η θερμική αγωγιμότητα στο επίπεδο των γραφιτικών φύλλων αν και υψηλή δεν είναι ίση με αυτή του ιδανικού γραφίτη. Στην κάθετη διεύθυνση λειτουργεί σαν θερμικός μονωτής.

Παρόμοια ισχύουν για την ηλεκτρική αγωγιμότητα, κατά την οποία αν και στο επίπεδο των φύλλων ο πυρολυτικός γραφίτης εμφανίζει αγωγιμότητα στην κάθετη διεύθυνση παρουσιάζει συμπεριφορά μονωτή. Τέλος, χαρακτηρίζεται από πολύ έντονη διαμαγνητική συμπεριφορά.

Όσον αφορά την ισοτροπική δομή, αυτή βρίσκεται μηχανικά σταθερότερη και πιο ανθεκτική από τις άλλες δομές, καθώς τα γραφιτικά φύλλα δεν μπορούν να μετατοπιστούν σχετικά μη όντας πια παράλληλα μεταξύ τους. (5,6,11)

1.222. ΥΑΛΩΔΗΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Ο υαλώδης άνθρακας παρασκευάζεται κατά τη θέρμανση πολυακρυλονιτριλίου ή πολυμερών φαινόλης - φορμαλδεΐδης στους 1000°C έως 3000°C σε υψηλή πίεση και δεν γραφίτοποιείται. Λόγω της θερμικής κατεργασίας του κατά την παρασκευή του αποκτά μεγάλο πορώδες (95% έως 97% αέρας) και η επιφάνεια του είναι περίπου 67 cm²/cm³.

Ο υαλώδης άνθρακας έχει πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες και, σε αντίθεση με τον γραφίτη, είναι σκληρός και δεν είναι διαπερατός από το νερό ή τους οργανικούς διαλύτες. (5,6,11)

1.223. ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΣ ΓΡΑΦΙΤΗΣ

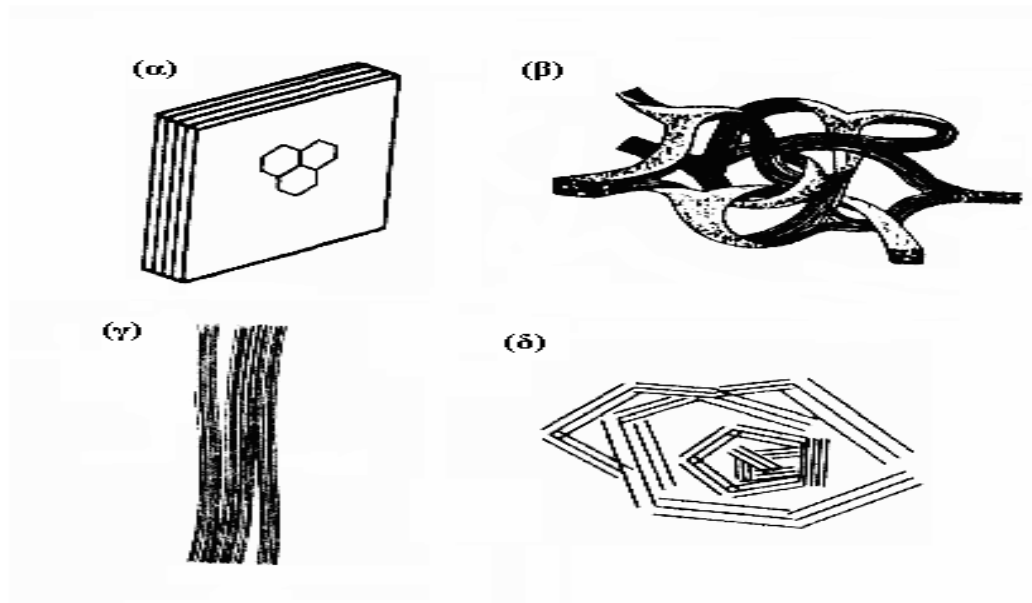
Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ηλεκτρόδια γραφίτη τα οποία χρησιμοποιούνται σε φασματοσκοπικές εφαρμογές, τα ηλεκτρόδια πάστας γραφίτη και τα μεικτά ηλεκτρόδια γραφίτη. Ο όρος πολυκρυσταλλικός γραφίτης αναφέρεται στα μικροκρυσταλλικά σωματίδια γραφίτη στα οποία οι στιβάδες sp² διατάσσονται παράλληλα σε συγκεκριμένη απόσταση, αλλά οι κρύσταλλοι βρίσκονται σε τυχαία διάταξη. Ο πολυκρυσταλλικός γραφίτης παρασκευάζεται συνήθως από κλάσματα πετρελαίου (κυρίως υδρογονανθράκων υψηλού μοριακού βάρους) με κατεργασία τους σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ο γραφίτης, ο οποίος χρησιμοποιείται για κατασκευή ηλεκτροδίων, αρχικά μορφοποιείται στους 700°C και στη συνέχεια γραφίτοποιείται στους 2500°C. Χρησιμοποιείται σε φασματοσκοπικές αναλύσεις λόγω της υψηλής καθαρότητάς του.

Η σκόνη γραφίτη είναι η πιο συνηθισμένη μορφή πολυκρυσταλλικού. Η πάστα γραφίτη παρασκευάζεται με ανάμιξη γραφίτη με οργανικό διαλύτη χαμηλής πτητικότητας. Τα ηλεκτρόδια πάστας διαλύτη περιέχουν 60% -70% άνθρακα και οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται να είναι χημικά αδρανείς.

Στη συνέχεια τα υλικά αυτά γραφίτοποιούνται σε θερμοκρασία 2500°C. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθούν υδρογονάνθρακες χαμηλού μοριακού βάρους για την παρασκευή υπό μορφή σκόνης άνθρακα. Κοινό χαρακτηριστικό στα υλικά αυτά είναι το πορώδες το οποίο διαμορφώνεται κατάλληλα ανάλογα με τις εφαρμογές.

Η πάστα γραφίτη, δηλαδή ο γραφίτης υπό μορφή σκόνης, διατίθεται εμπορικά σε μεγάλη ποικιλία πυκνότητας πορώδους και μεγέθους κόκκων. Είναι πορώδης και διαπερατός από αέρια. (5,6,11)



Σχήμα 5. Οι τέσσερις τύποι sp^2 του άνθρακα α. πυρολυτικός γραφίτης, β. υαλώδης άνθρακας, γ. ίνες άνθρακα, δ. πολυκρυσταλλικός γραφίτης

1.224. ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Ένας νανοσωλήνας άνθρακα (carbon nanotubes) μπορεί να περιγραφεί σαν ένα γραφιτικό φύλλο (graphene) τυλιγμένο σε σχήμα κυλίνδρου με διάμετρο της τάξεως των νανομέτρων. Αποτελεί επομένως μονοδιάσταση νανοδομή, ενώ και ο λόγος μήκους προς διάμετρο μπορεί να ξεπερνά το 10000.

Η ανακάλυψή τους αποδίδεται πολύ συχνά λανθασμένα στον Sumio Iijima για λογαριασμό της NEC το 1991. Ωστόσο, ήδη από το 1952 είχαν δημοσιευτεί εικόνες σωλήνων από άνθρακα διαμέτρου 50nm από τους Radushkevich και Lukyanovich σε ρώσικο επιστημονικό περιοδικό. Επιπλέον, νανοσωλήνες άνθρακα είχαν παραχθεί και παρατηρηθεί και άλλες φορές κάτω από διάφορες συνθήκες ήδη πριν τον 1991. Το 1976 μια επιστημονική εργασία των Oberlin, Endo and Koyama περιλάμβανε εικόνες κοίλων ινών άνθρακα με διαμέτρους νανομέτρων παρασκευασμένα με χρήση κάποιας τεχνική εναπόθεσης ατμού. Ωστόσο η αναφορά του Sumio Iijima υπήρξε ιδιαίτερης βαρύτητας, καθώς τράβηξε το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας στον τομέα αυτό. Οι νανοσωλήνες μπορεί να είναι πολυφλοικοί (multi-wall nanotubes, MWNT) με ένα κεντρικό σωλήνα να περιβάλλεται από ένα ή περισσότερα στρώματα γραφίτη ή μονοφλοικοί (single-wall nanotubes, SWNT) όπου υπάρχει μόνο ένας σωλήνας και καθόλου επιπλέον στρώματα γραφίτη. Όταν νανοσωλήνες ομαδοποιούνται προκύπτουν οι λεγόμενες συστοιχίες νανοσωλήνων (nanotubes bundles). Σε μια συστοιχία νανοσωλήνων κοινά προσανατολισμένοι μονοφλοικοί νανοσωλήνες συγκρατούνται μεταξύ τους με ασθενείς δυνάμεις van der Waals σχηματίζοντας ένα δύο διαστάσεων τριγωνικό πλέγμα. Η σταθερά του πλέγματος αυτού είναι 1,7nm, ενώ η απόσταση μεταξύ σωλήνων είναι 0,315nm. Η σύνθεση συστοιχιών διευκόλυne την παραγωγή πρακτικών ποσοτήτων νανοσωλήνων.(11)

1.2241. ΣΥΝΘΕΣΗ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Νανοσωλήνες άνθρακα μπορούν να παρασκευαστούν μέσω διαφόρων τεχνικών, όπως:

1. Εξάχνωση ηλεκτροδίων άνθρακα με τη χρήση ηλεκτρικού τόξου εκκένωσης (electric-arc discharge technique).
2. Φωτοδιάσπαση γραφίτη με τη χρήση laser (laser ablation, laser evaporation technique). Ποσότητα άνθρακα εξατμίζεται με ακτινοβολία από laser σε υψηλή θερμοκρασία και αδρανή ατμόσφαιρα. Οι παραγόμενοι σωλήνες έχουν μικρή διασπορά ως προς τη διάμετρο.
3. Καταλυτική χημική απόθεση από ατμό (catalytical chemical vapor deposition, CCVD). Αέριες ενώσεις του άνθρακα (συνήθως υδρογονανθράκων ή μονοξειδίου του άνθρακα) διασπώνται καταλυτικά με τη χρήση μεταλλικών καταλυτών (Fe, Co, Ni) υποστηριγμένων σε υποστρώματα οξειδίων μετάλλων ή αιωρούμενων στην αέρια φάση.

Τα προϊόντα μπορεί να είναι πολυφλοικοί νανοσωλήνες ή μονοφλοικοί ανάλογα με τις παραμέτρους της μεθόδου. Γενικά, ενώ οι πολυφλοικοί νανοσωλήνες μπορούν να συντεθούν και χωρίς τη χρήση καταλύτη, οι μονοφλοικοί απαιτούν την παρουσία του. Το μέγεθος μάλιστα των καταλυτικών σωματιδίων καθορίζει και τη διάμετρο του νανοσωλήνα. Αν και υπάρχουν και άλλες μέθοδοι παρασκευής, εδώ αναφέρθηκαν οι πιο σημαντικές.

Στη συνέχεια, από τις μεθόδους σύνθεσης τις οποίες αναφέραμε παραπάνω θα εξεταστεί αναλυτικότερα η καταλυτική χημική απόθεση από ατμό, η οποία χρησιμοποιείται και για τη σύνθεση νανοϊνών άνθρακα. Η σημαντικότητα της έγκειται στα πλεονεκτήματα χρήσης της έναντι των άλλων, δηλαδή της εξάχνωσης ηλεκτροδίων άνθρακα μέσω εκκένωσης ηλεκτρικού τόξου και της φωτοδιάσπασης με χρήση laser. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι:

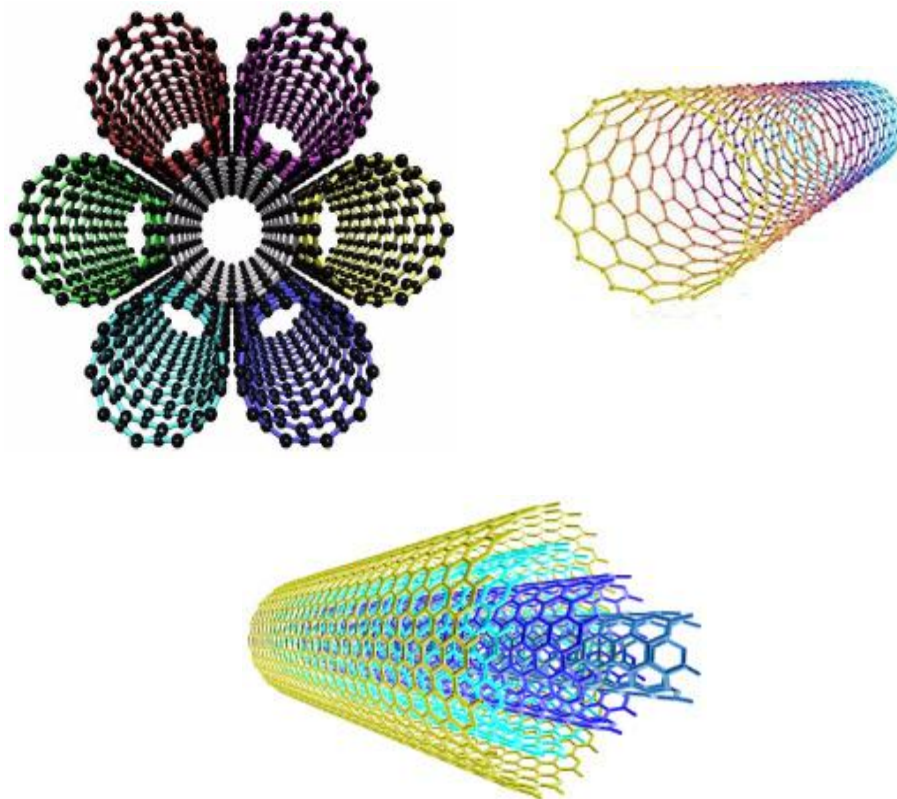
1. Οι θερμοκρασίες όπου τη χαρακτηρίζουν είναι αρκετά χαμηλότερες (τάξεως 700°C-1400°C) από αυτές των άλλων (> 3000°C).
2. Χαρακτηρίζεται από καλύτερη ικανότητα ελέγχου της δομής του τελικού προϊόντος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επομένως για να δώσει δομές νανοσωλήνων άνθρακα κατάλληλες για διάφορες χρήσεις σε αντίθεση με τις άλλες όπου δίνουν υψηλά «εναγκαλισμένες» δομές (entangled forms) με αρκετές προσμίξεις. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί ότι σημαντική έρευνα γίνεται πάνω στην επίτευξη μεγαλύτερου ελέγχου.

Η αντιδρούσα ένωση μετατρέπεται σε αέρια μορφή με πυρόλυση και είναι συνηθέστερα ακετυλένιο, αιθυλένιο, μεθάνιο ή μονοξείδιο του άνθρακα. Οι χαρακτηριστικοί χρόνοι της CVD μπορεί να είναι από λεπτά έως ώρες, εν αντιθέσει με τις άλλες μεθόδους που είναι μικροί (μs - ms).

Κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες (για παράδειγμα με χρήση μεταλλικών καταλυτών ενσωματωμένων στους μεσοπόρους διοξειδίου του πυριτίου) δίνει δέσμες νανοσωλήνων άνθρακα, προσανατολισμένους μεταξύ τους (aligned carbon nanotube bundles). Νανοσωλήνες τέτοιας δομής αποτελούν πολύ καλούς υποψηφίους για τη χρήση ως διατάξεις εκπομπής πεδίου σε ηλεκτρονικά κυκλώματα. (11)

1.2242. ΔΟΜΗ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Για την περιγραφή της δομής ενός νανοσωλήνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί η έννοια του χειραλικού διανύσματος $h C$ (chiral vector). Θεωρώντας το νανοσωλήνα σαν αποτέλεσμα δίπλωσης ενός γραφίτη δισδιάστατου φύλλου το διάνυσμα $h C$ υποδεικνύει την διεύθυνση της δίπλωσης αυτής. Κατά αυτόν τον τρόπο, μετά τη δίπλωση, το άτομο στην αρχή και το τέλος του διανύσματος $h C$ συμπίπτουν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται νανοσωλήνας άνθρακα.



Σχήμα 6. Διάφοροι τύποι μονοφλοιικών, πολυφλοιικών νανοσωλήνων άνθρακα

1.225. ΦΟΥΛΛΕΡΕΝΙΑ

Τα φουλερένια (fullerenes) ανακαλύφθηκαν το 1985 από τους Harold Kroto, James R. Heath, Sean O'Brien, Robert Curl και Richard Smalley. Οι Kroto, Curl και Smalley βραβεύτηκαν με βραβείο Νόμπελ Χημείας το 1996 για την ανακάλυψη αυτής της οικογένειας ενώσεων. Το πιο σταθερό φουλερένιο είναι αυτό το οποίο αποτελείται από 60 άτομα άνθρακα ($60 C$) και έχει σχεδόν σφαιρική δομή. Ωστόσο, φουλερένια με 70, 76 ή 84 άτομα άνθρακα είναι εξίσου κοινά. Το όνομα τους προέρχεται από τον αρχιτέκτονα Richard Buckminster Fuller, ο οποίος κατέστησε δημοφιλή το γεωδαιτικό θόλο, καθώς ο δεύτερος έχει παρόμοιο σχήμα με αυτό του μορίου.

Τα φουλερένια είναι γενικά σταθερά μόρια και απαιτούν θερμοκρασίες της τάξεως των 1000 και άνω για να διασπαστούν οι δεσμοί μεταξύ των ανθράκων οι οποίοι το αποτελούν. Ανάλυση με ακτίνες X ή σκέδαση νετρονίων ενός μοριακού κρυστάλλου $60 C$ μπορεί να φανερώσει τη σφαιρική δομή του μορίου, καθώς και τη διάμετρο του. Επιπλέον φασματοσκοπία NMR δίνει ένα φάσμα μίας μόνο κορυφής, υποδεικνύοντας πως όλα τα άτομα άνθρακα του μορίου είναι ισοδύναμα γεγονός το οποίο επίσης παραπέμπει σε σφαιρική δομή.

Τρία ηλεκτρόνια από κάθε άνθρακα συμμετέχοντας σε sp^2 υβριδικά ενώνουν τους άνθρακες μεταξύ τους με σ δεσμούς. Υπάρχουν δύο είδη δεσμών στο μόριον, ένας μεταξύ ανθράκων στην κοινή ακμή μιας πενταγωνικής και μιας εξαγωνικής έδρας, καθώς και ένας στην κοινή ακμή δύο εξαγωνικών εδρών.

Η σκέδαση με νετρόνια μας δίνει μήκη δεσμών $0,1455nm$ και $0,1391nm$ αντίστοιχα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα άτομα άνθρακα σε ένα φύλλο γραφίτη χαρακτηρίζονται επίσης από ίδιου τύπου υβριδικά (sp^2), όπως το φουλερένιο. Αυτού του είδους υβριδικά δίνουν τρεις ισχυρούς σ δεσμούς πάνω στο ίδιο επίπεδο και έναν ασθενή π σε κάθετη διεύθυνση. Καθώς οι σ δεσμοί

είναι κορεσμένοι ο γραφίτης θεωρείται χημικά αδρανής. Στην περίπτωση του φουλερενίου ωστόσο, λόγω της κυρτότητας του μορίου, οι σ δεσμοί παύουν να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, ενώ επίσης το νέφος των π ηλεκτρονίων παραμορφώνεται κάνοντας το φουλερένιο περισσότερο ενεργό χημικά.

Η διάμετρος του μορίου του $60 C$ βρίσκεται από διάφορες φασματοσκοπικές μεθόδους ίση με $0,710nm$. Προκειμένου να βρεθεί η ενεργός διάμετρος του μορίου θα πρέπει να συνυπολογιστεί το εύρος του ηλεκτρονικού νέφους των π-ηλεκτρονίων, το οποίο είναι ίσο με $0,335nm$ και τελικά η διάμετρος του μορίου βρίσκεται $1,380nm$.

Το φουλερένιο $60 C$ εμφανίζει 3 είδη αξόνων συμμετρίας: 2ης, 3ης και 5ης τάξεως, συνολικά σε αριθμό 21. Εμφανίζει επίσης 15 διαφορετικά επίπεδα συμμετρίας. Τέλος, παραμένει αναλλοίωτο σε αντιστροφή των αξόνων του συστήματος αναφοράς.

Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω βρίσκεται πως είναι πιθανές 120 διαφορετικές διαδικασίες συμμετρίας σημείου. Αυτό καθιστά το μόριο του $60 C$ το περισσότερο συμμετρικό.

Η συμμετρία αυτή πηγάζει από την σχεδόν τέλεια σφαιρικότητα του μορίου. Αυτή επιτυγχάνεται με την ύπαρξη πενταγωνικών εδρών, καθώς είναι αυτά τα οποία εισάγουν κυρτότητα στο μόριο. Η ύπαρξη δύο γειτονικών πενταγώνων σε ένα φουλερένιο, επιβαρύνει τη σταθερότητα του μορίου, καθώς έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένη κυρτότητα και κατ' επέκταση μεγαλύτερη παραμόρφωση.

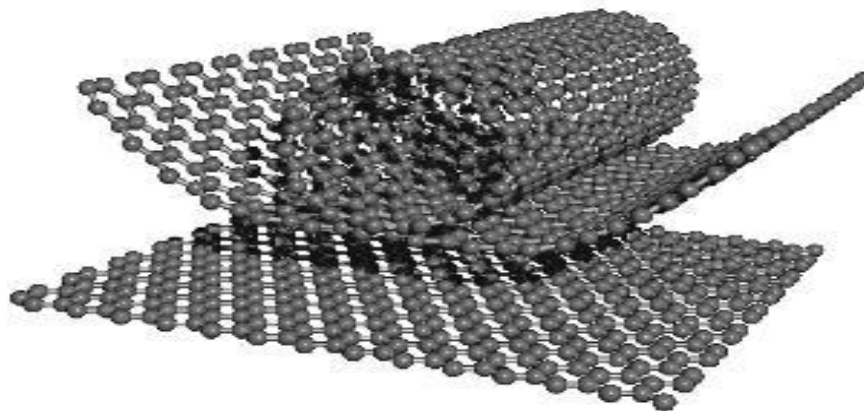
Είναι επομένως ενεργειακά συμφέρον κάθε πεντάγωνο να βρίσκεται απομονωμένο και αυτό υποδεικνύει ο κανόνας του απομονωμένου πενταγώνου (isolated pentagon rule). Λόγω των παραπάνω κάθε φουλερένιο αποτελείται από ούτε περισσότερα ούτε λιγότερα 12 πεντάγωνα, ενώ το μικρότερο δυνατό φουλερένιο είναι το $20 C$, το οποίο αποτελείται από 12 πεντάγωνα μόνο.

Όσον αφορά την ηλεκτρονική δομή ενός μεμονωμένου μορίου φουλερενίου, αυτή χαρακτηρίζεται από HOMO με πέντε εκφυλισμένα ενεργειακά επίπεδα και LUMO με τρία εκφυλισμένα ενεργειακά επίπεδα. Καθώς τα πέντε ενεργειακά επίπεδα της HOMO είναι κατειλημμένα από δέκα ηλεκτρόνια (και πιο συγκεκριμένα π ηλεκτρόνια) το ατομικό φουλερένιο θεωρείται μονωτής.

Τέλος, το μοριακό υλικό που προκύπτει με βάση του φουλερένιο ονομάζεται φουλερίτης (fullerite) και έχει εδροκεντρομένη δομή. Επιπλέον, με προσθήκη ατόμων, ιόντων, μορίων ή ριζών στα διαμοριακά κενά του κρυστάλλου του φουλερίτη προκύπτει το λεγόμενο φουλερίδιο (fulleride). (11)



Σχήμα 7. Φουλερένιο



Σχήμα 8. Νανοσωλήνας άνθρακας σαν προϊόν δίπλωσης γραφιτικού φύλλου

1.226. ΓΡΑΦΕΝΙΑ

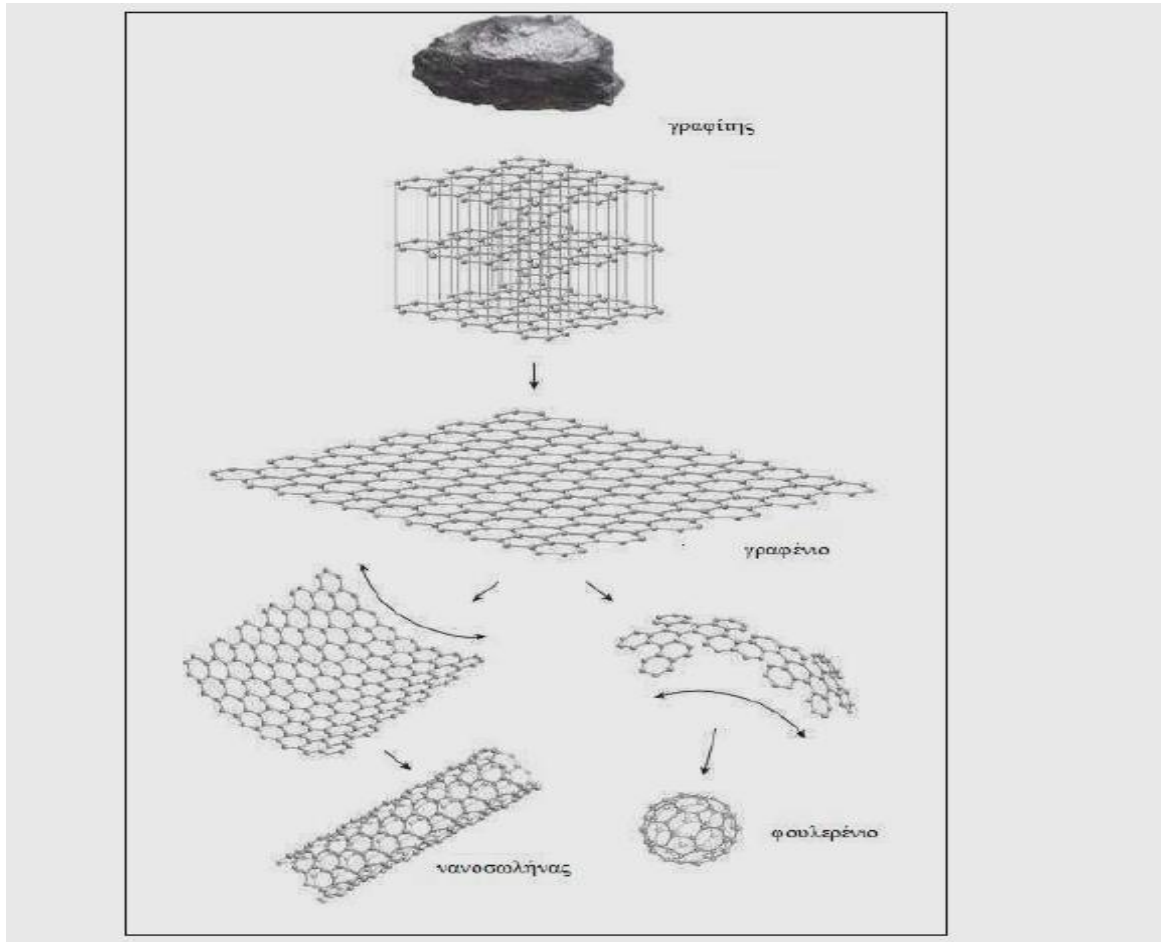
Ο όρος γραφένιο εμφανίστηκε το 1987 προκειμένου να περιγράψει μονά φύλλα γραφίτη ως ένα από τα συστατικά των ενώσεων παρεμβολής γραφίτη.

Στρώσεις μονού στρώματος γραφίτη παρατηρήθηκαν σε ακατέργαστα υλικά κύρια στην αιθάλη. Υπήρξαν πολλές προσπάθειες για απομόνωση πολύ λεπτών ταινιών γραφίτη με μηχανική αποφλοιώση αλλά δεν κατορθώθηκε να παραχθούν επίπεδα γραφενίου.

Ένα σημαντικό βήμα προόδου στην επιστήμη του γραφενίου ήρθε όταν ο Andre Geim και ο Kostya Novoselov στο Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ κατάφεραν να εξάγουν μονοατομικού πάχους κρυσταλλίτες (γραφένιο) από ακατέργαστο γραφίτη το 2004.

Οι ερευνητές έβγαλαν στρώματα γραφενίου από γραφίτη και τα μετέφεραν σε λεπτό διοξείδιο του πυριτίου πάνω σε δίσκο πυριτίου σε μια διαδικασία που αποκαλείται μικρομηχανική διάσπαση. Το διοξείδιο του πυριτίου απομονωμένο ηλεκτρικά από το γραφένιο αλληλεπίδρασε ασθενώς με το γραφένιο, παρέχοντας στρώματα ουδέτερα φορτισμένα.

Από την άλλη πλευρά, αν και είναι αναπόσπαστο μέρος των 3D υλικών, το γραφένιο θεωρήθηκε ότι δεν μπορεί να υπάρξει σε ελεύθερη κατάσταση και ότι είναι ασταθές στο σχηματισμό κυρτών δομών, όπως η αιθάλη, τα φουλερένια και οι νανοσωλήνες.



Σχήμα 9. Σχηματική διαμόρφωση νανοσωλήνων, φουλερενίων και γραφενίων

Το γραφένιο προσφέρει μια εξαιρετική αναλογία συμπυκνωμένης ύλης. Το γραφένιο θεωρήθηκε ότι δεν μπορεί να υπάρξει σε ελεύθερη κατάσταση και ότι είναι ασταθές στην διαμόρφωση κυρτών μορφών, όπως είναι η αιθάλη, οι νανοσωλήνες.

Το μοντέλο έγινε πραγματικότητα όταν βρέθηκε μόνιμα ελεύθερο γραφένιο και ιδίως όταν η πειραματική του παρακολούθηση συμφωνούσε με την μεταφορά φορτίου (φερμιόνια DIRAC).

Τα γραφένια σύμφωνα με ένα απλό ορισμό είναι επίπεδα από μονοστρωματικά άτομα άνθρακα συσκευασμένα σε ένα δισδιάστατο πλέγμα κυψελών και αποτελεί βασικό στοιχείο για την οικοδόμηση γραφιτικών υλικών όλων των διαστάσεων. Το 2004 οι Ρώσοι ερευνητές πήραν γραφένιο από μηχανική αποφλοιώση του γραφίτη. Χρησιμοποίησαν συνεκτική ταινία για να χωρίσουν επανειλημμένα κρύσταλλους γραφίτη σε όλο και περισσότερο λεπτότερα κομμάτια. Η ταινία με τις επικολημένες οπτικά διαφανείς νιφάδες διαλύθηκε σε ακετόνη και μετά από μερικά περαιτέρω βήματα, οι νιφάδες συμπεριλαμβανομένων των μονοστρωμάτων είχαν κατακαθίσει σε ένα πλακίδιο πυριτίου. Τα μεμονωμένα ατομικά στρώματα απομονώθηκαν σε ένα οπτικό μικροσκόπιο.

Ένα χρόνο αργότερα, οι ερευνητές απλοποίησαν την τεχνική και άρχισαν την ξηρά απόθεση, αποφεύγοντας το στάδιο που το γραφένιο επιπλέει σε ένα υγρό. Οι σχετικά μεγάλοι κρυσταλλίτες (πρώτα, μόνο μερικά μικρόμετρα σε μέγεθος αλλά, τελικά, μεγαλύτεροι από 1 χιλιοστό και ορατοί με γυμνό μάτι) λήφθηκαν από αυτή την τεχνική. Αναφέρεται συχνά ως μέθοδος κολλητικών

ταινιών ή σχεδιαστική μέθοδος. Το τελευταίο όνομα εμφανίστηκε επειδή η ξηρά απόθεση μοιάζει με σχέδιο ενός κομματιού γραφίτη.

Η μείωση του οξειδίου του πυριτίου ήταν πιθανώς η ιστορικά πρώτη μέθοδος σύνθεσης γραφενίου. Ο P. Boehm ανέφερε μονοστρωματικές νιφάδες οξειδίου του γραφίτη από το 1962. Σε αυτό το πρώιμο έργο αποδείχθηκε η ύπαρξη μονοστρωματικών νιφάδων οξειδίου του γραφίτη.

Η συμβολή του Boehm πρόσφατα αναγνωρίστηκε από τον νομπελίστα για την έρευνα του πάνω στο γραφένιο, Andre Geim. Η αποφλοίωση οξειδίου του γραφίτη μπορεί να επιτευχθεί με ταχεία θέρμανση και να παράγει σε μεγάλο βαθμό εξαπλωμένη σκόνη άνθρακα με μικρό ποσοστό νιφάδων γραφενίου.

Η μείωση μονοστρωματικών φιλμ οξειδίου του γραφίτη π.χ. από υδραζίνη, ανόπτηση σε αργό/υδρογόνο, αναφέρθηκε ότι παράγει φιλμ γραφενίου. Ωστόσο, η ποιότητα του γραφενίου που παράγεται από μείωση του οξειδίου του γραφίτη είναι χαμηλότερη συγκρινόμενη με π.χ. το γραφένιο που προέρχεται με την τεχνική Scotch tape και οφείλεται στην ελλιπή απομάκρυνση των διάφορων λειτουργικών ομάδων με τις υπάρχουσες μεθόδους μείωσης.

- Κρυσταλλική ανάπτυξη γραφενίου σε καρβίδιο πυριτίου

Μια άλλη μέθοδος είναι η θέρμανση καρβιδίου του πυριτίου σε υψηλές θερμοκρασίες (> 1100 °C) για να μειωθεί σε γραφένιο. Η διαδικασία αυτή παράγει ένα δείγμα μεγέθους που εξαρτάται από το μέγεθος του χρησιμοποιούμενου υποστρώματος SiC. Η επιφάνεια του καρβιδίου του πυριτίου χρησιμοποιείται για τη δημιουργία γραφενίου, το πυρίτιο ή ο άνθρακας, επηρεάζουν ιδιαίτερα το πάχος, την κινητικότητα και την πυκνότητα του φορέα γραφενίου.

- Κρυσταλλική ανάπτυξη γραφενίου πάνω σε υποστρώματα μετάλλου

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί την ατομική δομή ενός υποστρώματος μετάλλου για την έναρξη της ανάπτυξης του γραφενίου.

- Πυρόλυση του αιθοξειδίου του νατρίου (sodium ethoxide) για την παραγωγή γραφενίου

Μια πρόσφατη δημοσίευση έχει περιγράψει μια διαδικασία για την παραγωγή γραφενίου ποσοτήτων γραμμάριου, από τη μείωση της αιθανόλης από νάτριο, ακολουθούμενη από την πυρόλυση των παραγώγων του αιθοξειδίου, καθώς και το πλύσιμο με νερό για την αφαίρεση των αλάτων νατρίου.

Συμπερασματικά διευκρινίζεται ότι:

1. Το διαμάντι και ο γραφίτης είναι οι κρυσταλλικές δομές του άνθρακα
2. Άμορφος άνθρακας δημιουργείται όταν ένα υλικό καίγεται με λιγότερο οξυγόνο απ' ό,τι χρειάζεται για να καεί πλήρως ο άνθρακας. Δημιουργείται έτσι μια μαύρη κάπνα, η οποία συνήθως χρησιμοποιείται λόγω της μαλακής υφής του για μελάνια, χρώματα, σε ελαστικά κλπ.(11)

1.227. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΓΡΑΦΙΤΗ ΚΑΙ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο άνθρακας αποτελείται από άτομα τα οποία ευρίσκονται διατεταγμένα σε μεγάλα φύλλα εξαγωνικών δακτυλίων.

Σύμφωνα με Αμερικάνικα Πανεπιστήμια, οι ίνες άνθρακα είναι πολυμερές το οποίο προέρχεται από επεξεργασία γραφίτη και αυτή η διαδικασία είναι που κάνει την διαφορά μεταξύ ινών άνθρακα και γραφίτη.

Η μετατροπή μιας μακριάς αλυσίδας ατόμων άνθρακα σε ίνες άνθρακα πραγματοποιείται μέσω τάνυσης, καθώς και με θερμική επεξεργασία.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΣΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ: ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

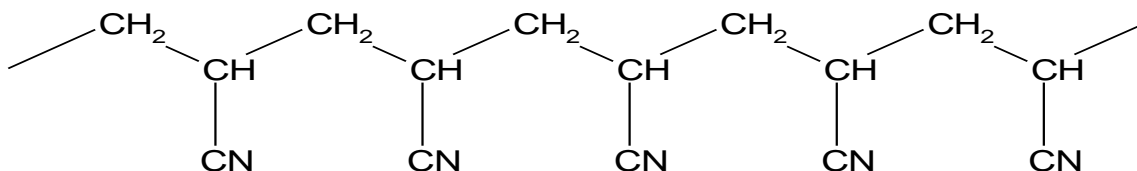
Οι ίνες άνθρακα είναι ένα υλικό που παρουσιάζει την μορφή του γραφίτη. Όπως έχει ήδη επισημανθεί τα άτομα του άνθρακα είναι διατεταγμένα με την μορφή φύλλων τα οποία αποτελούνται από εξαγωνικούς αρωματικούς δακτύλιους. Πολλά φύλλα μαζί δημιουργούν μία λωρίδα, η οποία μαζί με άλλες λωρίδες δημιουργούν την ίνα άνθρακα.

Οι ίνες άνθρακα όταν χρησιμοποιούνται σαν ενισχυτικό μέσο μαζί με άλλα υλικά, όπως είναι οι εποξειδικές ρητίνες, οι φαινολικές ρητίνες, κεραμικά, μέταλλα κλπ ονομάζονται «ινώδης φάση» των σύνθετων υλικών. Τα άλλα υλικά δηλαδή οι εποξειδικές ρητίνες, οι φαινολικές ρητίνες, τα κεραμικά κλπ. τα οποία ευρίσκονται σε μεγαλύτερη αναλογία ονομάζονται «μήτρα» των σύνθετων υλικών.

Για την παραγωγή των ινών άνθρακα ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία τα στάδια της οποίας εν συντομία είναι τα κάτωθι:

- Νηματοποίηση – οξείδωση για την παραγωγή ενός πρόδρομου σταδίου
- Σταθεροποίηση της ίνας, η οποία την προστατεύει από πιθανή τήξη, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν κατά την διάρκεια της επεξεργασίας.
- Ανθρακοποίηση
Κατά την διάρκεια της ανθρακοποίησης πραγματοποιείται απομάκρυνση των ανόργανων υλικών και των αλειφατικών ανθρακικών αλυσίδων, ενώ απομένει η ίνα αποτελούμενη από γραφιτικά επίπεδα σε μορφή πλέγματος εξαγωνικών κυψελίδων.
- Γραφίτοποίηση
Κατά την διάρκεια της γραφίτοποίησης η οποία πραγματοποιείται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία η ίνα αποκτά τις τελικές ιδιότητες οι οποίες σχετίζονται με τις πολύ υψηλές αντοχές.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ινών άνθρακα είναι τα κάτωθι:
Στην περίπτωση παραγωγής ινών από πολυακρυλονιτρίλιο (PAN) ή από κυτταρίνη, σημείο εκκίνησης της παραγωγής είναι υφασμάτινες ίνες, ενώ, στην περίπτωση παραγωγής από πίσσα, οι ίνες προκύπτουν κατευθείαν από την ινοποίηση της πρώτης ύλης με την μέθοδο της υγρής ινοποίησης ή της ινοποίησης του διαλύματος.



Τέλος, χρησιμοποιούνται ακόμη ίνες άνθρακα από πίσσα (μετά από νηματοποίηση). (5,6,11)

2.2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΠΟ ΚΥΤΤΑΡΙΝΗ

Η κυτταρίνη είναι ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές. Η διαδικασία που ακολουθείται για την μετατροπή της κυτταρίνης σε ίνες άνθρακα περιλαμβάνει τα στάδια που έχουν περιγραφεί παραπάνω. Συγκεκριμένα: Διαδικασία νηματοποίησης οξείδωσης, διαδικασία σταθεροποίησης σε περιβάλλον με αέρα ή οξυγόνο, ανθρακοποίηση και γραφίτοποίηση.

Στη σταθεροποίηση παρατηρείται κερματισμός της αλυσίδας ή αποπολυμερισμός. Εξαιτίας αυτού, η σταθεροποίηση υπό πίεση δεν ενδείκνυται για την παραγωγή ινών από PAN.

- Η σταθεροποίηση είναι μία οξειδωτική διεργασία που περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:
 1. Απομάκρυνση της φυσικής υγρασίας της ίνας σε θερμοκρασία 25-150°C
 2. Αφυδάτωση των ινών κυτταρίνης σε θερμοκρασία 150-240°C
 3. Σπάσιμο της δομής της κυτταρίνης με ταυτόχρονη έκλυση νερού, μονοξειδίου και διοξειδίου σε θερμοκρασία 240-400°C.
 4. Σχηματισμός αρωματικών δακτυλίων.
- Η ανθρακοποίηση πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες από 400-700°C όπου υπερσχύει η δημιουργία στιβάδων παρόμοιων του γραφίτη.
- Η γραφίτοποίηση πραγματοποιείται στους 700-2700°C με εφαρμογή τάσης.
Κατά τον σχηματισμό της γραφίτικής δομής καταστρέφεται ο προσανατολισμός της ίνας κυτταρίνης και η γραφίτική ίνα που προκύπτει δεν παρουσιάζει προσανατολισμό.
- Εφαρμογή τάσης κατά την διάρκεια της γραφίτοποίησης
- Η διαδικασία της ανθρακοποίησης περιλαμβάνει θέρμανση στους 1000°C σε άζωτο.
- Η διαδικασία της γραφίτοποίησης πραγματοποιείται σε θερμοκρασία 3000°C.

Η επιβολή πίεσης στην θερμοκρασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τον προσανατολισμό των γραφίτικών επιπέδων λόγω της πλαστικότητας την οποία αποκτούν μέσω πολλαπλής ολισθητικής λειτουργίας των γραφίτικών επιπέδων, καθώς και του φαινομένου της διάχυσης.

Σήμερα δεν παράγονται ίνες άνθρακα με βάση την κυτταρίνη. Αυτό οφείλεται αφενός στην χαμηλή απόδοση της παραγωγής ινών άνθρακα από κυτταρίνη (20-30% από κυτταρίνη σε σχέση με την παραγωγή ινών άνθρακα από PAN όπου η απόδοση κυμαίνεται στο 55%).

Ένα ακόμη μειονέκτημα της παραγωγής ινών άνθρακα από κυτταρίνη αποτελεί το γεγονός ότι ο προσανατολισμός των γραφίτικών στοιβάδων γίνεται κατά την γραφίτοποίηση, η οποία πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες πάνω από 2000°C, σε αντίθεση με τις ίνες από πολυακρυλονιτρίλιο όπου ο προσανατολισμός με τανυσμό γίνεται κατά το στάδιο της σταθεροποίησης σε θερμοκρασίες 200-300°C. (1,2,6)

2.3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΠΟ ΠΙΣΣΑ

Ίνες άνθρακα παρασκευάζονται από πίσσα διαφόρων μορφών, όπως η πετρελαϊκή άσφαλτο, η λιθανθρακόπισσα, PVC κλπ.

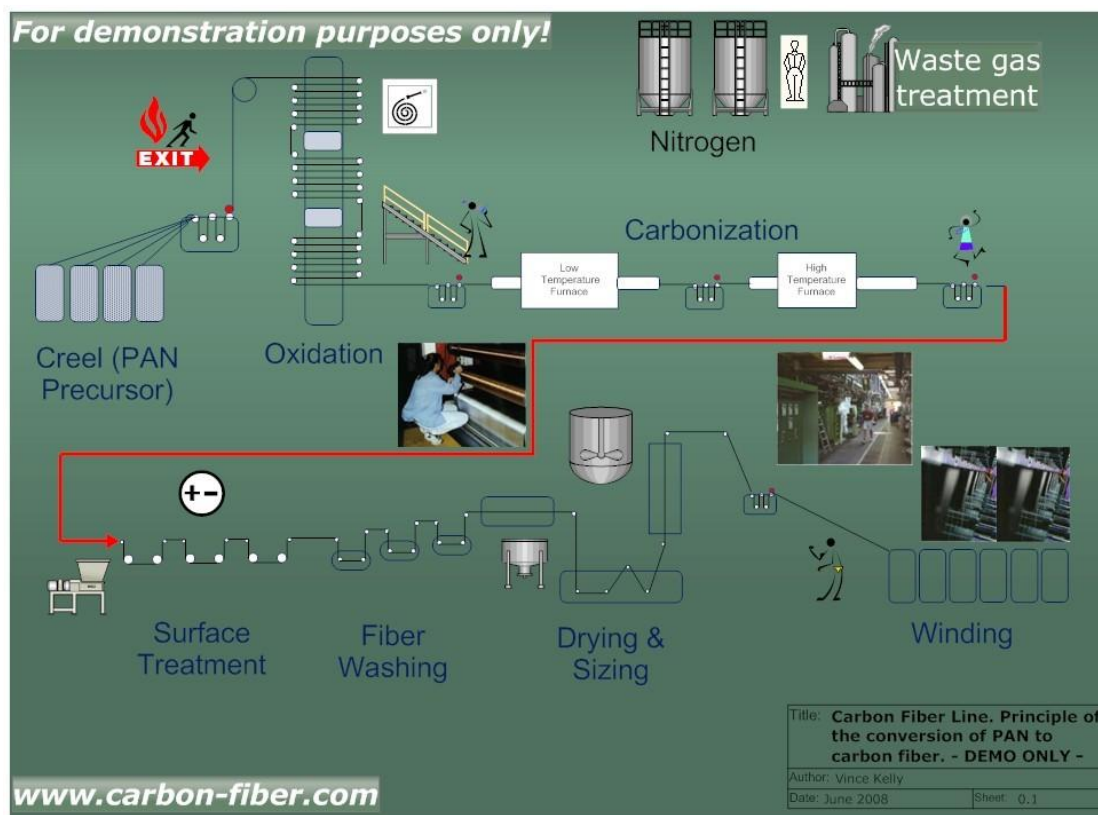
Για την παραγωγή ινών άνθρακα από πίσσα ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: Με θερμική επεξεργασία πάνω από 350°C τα υλικά αυτά μετατρέπονται σε μεσοφασική πίσσα, η οποία είναι ανισότροπη και περιέχει τμήματα υγρών κρυστάλλων. Ακολουθεί νηματοποίηση και οι ίνες λόγω υδροδυναμικών φαινομένων αποκτούν μεγάλου βαθμού αξονικό προσανατολισμό.

Με σταθεροποίηση και ανόπτηση στους 2000°C γίνεται βελτίωση του προσανατολισμού των γραφίτικών επιπέδων. Με τον τρόπο αυτό παρασκευάζονται ίνες με πολύ μεγάλο μέτρο ελαστικότητας μέχρι και 7×10⁵ MPa. Ωστόσο οι ίνες αυτές συγκρινόμενες με τις ίνες από πολυακρυλονιτρίλιο έχουν μικρότερες αντοχές.

Θερμική επεξεργασία σε θερμοκρασίες μέχρι 3000°C προκαλεί ανακατάταξη των γραφιτικών στοιβάδων, η οποία ενισχύεται περισσότερο με ταυτόχρονο τανυσμό της ίνας. Από πίσσα παράγονται ίνες άνθρακα προερχόμενες από την μεσοφασική πίσσα και οι οποίες είναι κατάλληλες ως μέσα ενίσχυσης. Η Ιαπωνία είναι η χώρα στην οποία παράγονται σχεδόν το 100% των ινών άνθρακα από πίσσα.

Η ιστροπική πίσσα, η οποία παράγεται από π.χ. τηγμένο βινυλοχλωρίδιο οδηγεί με τανυσμό σε προσανατολισμένες ίνες. Δημιουργούνται με αυτόν τον τρόπο θερμοπλαστικές ίνες οι οποίες με αυξημένο ρυθμό ψύξης οξειδώνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες <100°C. Ακολουθεί οξείδωση και δημιουργία διασταυρώσεων. Οι ίνες μετά υπόκεινται σε ανθρακοποίηση χωρίς ιδιαίτερο προσανατολισμό το κόστος των οποίων είναι χαμηλό και μπορεί να χρησιμοποιηθούν για μόνωση κατασκευών. (1,2,6)

2.4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΠΟ ΠΟΛΥΑΚΡΙΛΟΝΙΤΡΙΛΙΟ

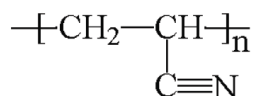


Σχήμα 10. Παραγωγή ινών άνθρακα από πολυακρυλονιτρίλιο

Ως ίνες άνθρακα χαρακτηρίζονται οι ίνες οι οποίες περιέχουν τουλάχιστον 90% άνθρακα και οι οποίες παράγονται από πυρόλυση ινών πολυακρυλονιτρίλιου. Η μέθοδος παραγωγής των αυτών των ινών περιλαμβάνει οξείδωση και θερμική πυρόλυση του πολυακρυλονιτρίλιου.

Οι πρώτες ίνες άνθρακα χρησιμοποιήθηκαν από τον Edison το 1879, ο οποίος τις χρησιμοποίησε στις πρώτες ηλεκτρικές λάμπες. Μόλις το 1960 παράχθηκαν για εμπορικούς σκοπούς ίνες άνθρακα οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν σε πολεμικά αεροπλάνα.

Το πολυακρυλονιτρίλιο είναι ένα πολυμερές που παράγεται από το μονομερές ακρυλονιτρίλιο:

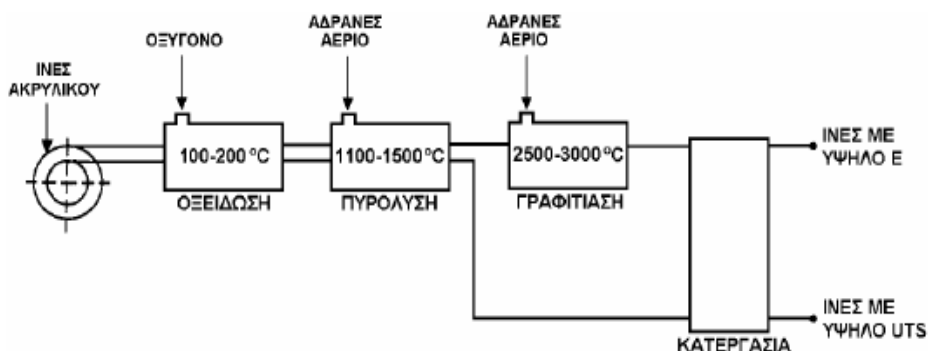


Παρουσιάζει εξαιρετικές αντοχές, μεγάλες αντοχές σε δοκιμές θλίψης, σχετική ακαμψία και χαμηλό κόστος.

Το πολυακρυλονιτρίλιο είναι οργανικό συμπολυμερές του ακρυλονιτρίλιου και ενός άλλου μονομερούς, όπως το ακρυλικό μεθύλιο, το μεθακρυλικό μεθύλιο και το οξικό βινύλιο. Το πολυακρυλονιτρίλιο παράγεται από το ακρυλονιτρίλιο το οποίο χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ακρυλικών ινών, ρητινών, όπως ABS, AS, συνθετικών ελαστικών, ακρυλοαμιδίων κλπ. Το ακρυλονιτρίλιο παρασκευάζεται σήμερα στην βιομηχανία με την μέθοδο Sohio. Η μέθοδος Sohio χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη προπυλένιο και αμμωνία.

Η παραγωγή ινών άνθρακα με βάση τις ίνες PAN πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια, τα οποία περιλαμβάνουν:

- Την ινοποίηση
- Την σταθεροποίηση / οξείδωση
- Την ανθρακοποίηση
- Την γραφίτιοποίηση



Σχήμα 11. Τα στάδια παραγωγής ινών άνθρακα

Οι ίνες πολυακρυλονιτρίλιου ινοποιούνται είτε με υγρή είτε με ξηρή ινοποίηση. Οι ίνες ξηραίνονται στους 100°C. Η τυπική διάμετρος των ινών πολυακρυλονιτρίλιου είναι περίπου 15μm και μετά την επεξεργασία παράγονται ίνες άνθρακα με διάμετρο 7μm.

Στην υγρή ινοποίηση το πολυακρυλονιτρίλιο εμβαπτίζεται σε μπάνιο και εξωθούνται μέσα από ένα κύπελλο μετάλλου (φιλιέρα). Στο κύπελλο υπάρχουν 12000 τρύπες από όπου εξωθούνται οι ίνες πολυακρυλονιτρίλιου. Οι ίνες ύστερα πλένονται και ξηραίνονται. Ύστερα με τανυσμό αυξάνει ο προσανατολισμός των ινών και προετοιμάζονται για το επόμενο στάδιο. Ο αριθμός των

τρυπών, ο βαθμός τανυσμού, ο διαλύτης είναι μερικές από τις βασικές παραμέτρους για την ινοποίηση του πολυακρυλονιτριλίου.

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ξηρή ινοποίηση, η οποία χρησιμοποιεί τον αέρα για την εξώθηση των ινών.

➤ Σταθεροποίηση / οξείδωση

Η θερμική σταθεροποίηση των πρόδρομων ινών πολυακρυλονιτριλίου πραγματοποιείται σε θερμοκρασία 200-300°C. Η διαδικασία προκαλεί την διάσπαση πολλών από τους υφιστάμενους δεσμούς υδρογόνου, οξειδώνει το υλικό και θέτει τις βάσεις για τη δημιουργία της εξαγωνικής δομής. Κατά τη διαδικασία της σταθεροποίησης πραγματοποιούνται αντιδράσεις αφυδρογόνωσης, οξείδωσης και κυκλοποίησης των κυανικών ομάδων που οδηγούν στον σχηματισμό ενός συμπυκνωμένου δακτυλίου τύπου πυριδίνης που παρουσιάζει την δομή ανεμόσκαλας και η οποία μπορεί να προχωρήσει για περαιτέρω ανθρακοποίηση. Συμπύκνωση των ομάδων νιτριλίου αρχίζει περίπου στους 180°C και ολοκληρώνεται στους 300°C παρουσία οξυγόνου.

Το οξυγόνο παίζει σημαντικό ρόλο και οδηγεί σε κυκλοποίηση των κυανικών ομάδων, καθώς ο τριπλός δεσμός C-N μετατρέπεται σε διπλό δεσμό C-N. Η κυκλοποίηση αποτελεί την κύρια αντίδραση σταθεροποίησης, ενώ παρατηρείται και ισχυρό εξώθερμο, το οποίο πρέπει να ελέγχεται για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση της ίνας. Απαιτείται παραμονή της ίνας σε θερμοκρασίες περίπου 200°C για να σταθεροποιηθεί η ίνα και να αποκτήσει χαρακτηριστικό μαύρο χρώμα ανθεκτικότητα. Υψηλότερες θερμοκρασίες προκαλούν έντονες εξώθερμες αντιδράσεις με αποτέλεσμα την σημαντική μείωση του βάρους της ίνας.

Ακολουθεί αφυδρογόνωση κατά την οποία άτομα υδρογόνου αποσπώνται από κάθε δακτύλιο σχηματίζοντας την τελική ακόρεστη δομή της σταθεροποιημένης ίνας σε θερμοκρασία 300-400°C.

Στη συνέχεια αφού οι ίνες έχουν σταθεροποιηθεί θερμαίνονται περίπου στους 1500-2500°C για ορισμένο χρόνο, συνήθως λεπτά, σε αδρανή ατμόσφαιρα απουσία οξυγόνου.

Έτσι εμποδίζεται η ανάφλεξη της ίνας, ενώ συγχρόνως παρατηρούμε και μείωση του βάρους των ινών που οφείλεται σε απόσπαση ομάδων νιτριλίου και αμμωνίας που προέρχεται από την απόσπαση ιμινομάδων οι οποίες ευρίσκονται στις άκρες του κυκλοποιημένου μακρομορίου. Επίσης, κατά την οξείδωση απομακρύνεται CO, CO₂, N₂ καθώς και άλλα αέρια. Επίσης λαμβάνουν χώρα και ενδομοριακές αντιδράσεις ανάμεσα σε ομάδες CN.

Τα εναπομείναντα άτομα άνθρακα δημιουργούν κρυστάλλους που είναι συνδεδεμένοι ισχυρά και ευθυγραμμισμένοι παράλληλα κατά μήκος της ίνας.

Για τη διεργασία της σταθεροποίησης έχουν προταθεί πληθώρα οξειδωτικών μέσων τόσο σε υγρή όσο και σε αέρια φάση.

Ως υγρά μέσα οξείδωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- Λουτρά μετάλλων, όπως Fe, Cu, Ni
- Οξειδωτικά λουτρά
- Διαλύματα οξέων Lewis

Ως αέρια μέσα οξείδωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν :

- Ατμόσφαιρα O₃-O₂-N₂
- Ατμόσφαιρα οξειδίων αζώτου (N₂O, N₂O₂, NO₂)
- Ατμόσφαιρα οξειδίων θείου (SO₂, SO₃)

Η σταθεροποίηση των ινών PAN γίνεται με οξείδωση με ατμοσφαιρικό αέρα, ενώ συγχρόνως επιδιώκεται η παρεμπόδιση της συστολής των ινών PAN η και η κατάλληλη επιμήκυνση τους.

Κατά τη διάρκεια της οξείδωσης έχουμε συστολή των ινιδίων, η οποία εξαρτάται από την θερμική επεξεργασία, καθώς και από τις ιδιότητες των ινών PAN.

Η αυξημένη συστολή μπορεί να οφείλεται σε χαλάρωση των πολυμερικών αλυσίδων ή σύμφωνα με μία άλλη άποψη στον σχηματισμό κόμπων στην δομή ανεμόσκαλας που δημιουργείται.

Οξείδωση με ταυτόχρονο τανυσμό μπορεί να οδηγήσει σε ελαχιστοποίηση της συστολής και άλλοτε σε συνολική αύξηση του μήκους της ίνας.

➤ Ανθρακοποίηση

Η ανθρακοποίηση (πυρόλυση) των σταθεροποιημένων ινών γίνεται απουσία οξυγόνου σε αδρανή ατμόσφαιρα συνήθως αζώτου ή αργού σε κενό. Οι συνθήκες της ανθρακοποίησης και κυρίως η θερμοκρασία παίζει τον βασικό ρόλο στις επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Οι θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται στο στάδιο αυτό για την επεξεργασία των ινών κυμαίνονται από 1000°C έως 1100°C προκειμένου να κατασκευασθούν ίνες υψηλών αντοχών.

Σε θερμοκρασίες γύρω στους 1000°C παράγονται ίνες άνθρακα με σχετικά χαμηλό μέτρο ελαστικότητας και χαμηλή αντοχή σε τάση. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες μέχρι 1400°C παράγονται ίνες τύπου HT με υψηλή αντοχή εφελκυσμού (4GPa) και μέτριο μέτρο ελαστικότητας (230 GPa).

Η ανθρακοποίηση σε υψηλότερες θερμοκρασίες από 2500°C μέχρι 2800°C (γραφιτοποίηση) δίνει ίνες τύπου HM με υψηλό μέτρο ελαστικότητας (400 GPa), ενώ μειώνεται η αντοχή εφελκυσμού.

Κατά τη διάρκεια της ανθρακοποίησης παρατηρείται απομάκρυνση και άλλων ενώσεων πλην του άνθρακα και τελικά αρχίζει η ανάπτυξη δομής παρόμοιας με του γραφίτη. Τα κύρια προϊόντα της σχάσης είναι HCN, NH₃, N₂ κύρια στην περιοχή των 1000°C. Γενικά μόνο το 50% του αρχικού βάρους της πρόδρομης ίνας καταλήγει σε ίνα άνθρακα. (Στις ίνες PAN το ποσοστό του άνθρακα είναι περίπου 70%). Το χαρακτηριστικό της ανθρακοποίησης είναι απαιτείται λίγος χρόνος για να επιτευχθεί.

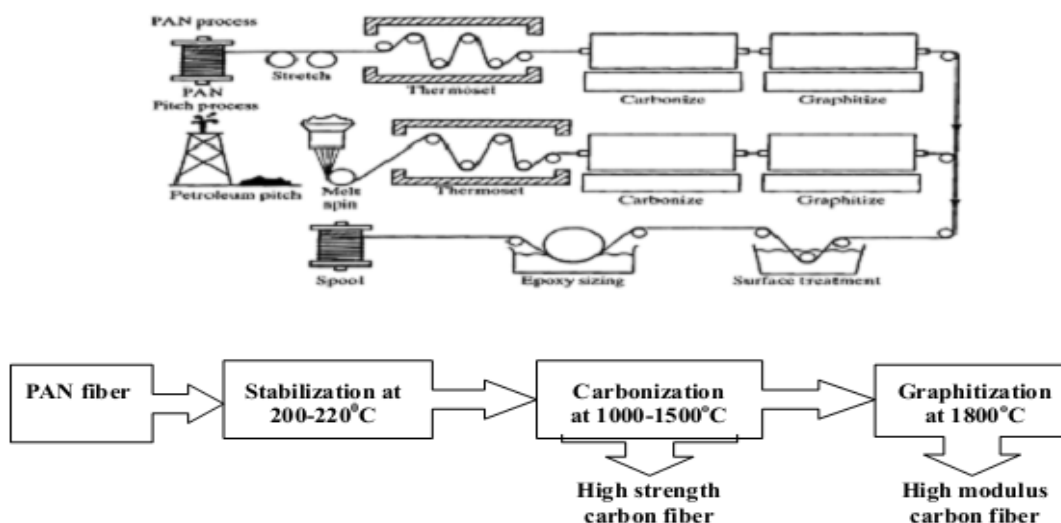
Κατά την πυρόλυση το βασικότερο προϊόν της αντίδρασης είναι το HCN σε ποσοστό 15-18% και το CO₂ σε ποσοστό 7-12%. Κατά την διάρκεια της ανθρακοποίησης η ίνα υπόκειται συρρίκνωση μέχρι 10%. Εάν εφαρμοσθεί τανυσμός η συρρίκνωση μπορεί να αποφευχθεί, ενώ συγχρόνως βελτιώνονται σημαντικά οι μηχανικές ιδιότητες της ίνας. Οι παραγόμενες ίνες από το στάδιο αυτό της πυρόλυσης χαρακτηρίζονται ως ίνες υψηλής αντοχής γιατί το μέτρο ελαστικότητας τους κυμαίνεται γύρω στα 200 GPa. (1,2,6,37,38)

➤ Γραφιτοποίηση

Η γραφιτοποίηση γίνεται εφόσον χρειασθούν να παραχθούν ίνες άνθρακα πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας. Η θερμική επεξεργασία μπορεί να φθάσει σε θερμοκρασίες μέχρι 3000°C. Ως προστατευτικό αέριο χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά το αργό. Παρουσία αζώτου και σε θερμοκρασία πάνω από 2500°C σχηματίζεται δικυάνιο. Συχνά γίνεται γραφιτοποίηση υπό κενό.

Το μέτρο ελαστικότητας των ινών άνθρακα μετά από αυτήν την επεξεργασία μπορεί να ξεπεράσει τα 400 GPa και η διάμετρος τους είναι περίπου 10μm.

Η εφελκυστική αντοχή τους κυμαίνεται γύρω τα 2000 MPa, ενώ η περιεκτικότητα σε άνθρακα των ινών που έχουν υποστεί γραφιτοποίηση ξεπερνά το 99% και η πυκνότητα τους είναι 1,9 g/cm³.



Σχήμα 12. Παραγωγή ινών άνθρακα από πολυακρυλονιτρίλιο και πίσσα

2.5. ΔΟΜΗ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Οι ίνες άνθρακα είναι μακριές λεπτές ίνες με διάμετρο 0.005-0.010 mm και αποτελούνται κυρίως από άτομα άνθρακα σε ποσοστό μεγαλύτερο από 99%. Η απόσταση ανάμεσα στα επίπεδα είναι μεγαλύτερη από 0.34nm, ενώ για τα γραφιτικά επίπεδα είναι περίπου 0.3440 nm.

Το δομικό στοιχείο των ινών άνθρακα είναι τα μονοϊνίδια προσανατολισμένα παράλληλα στον άξονα της ίνας. Κάθε ινίδιο έχει δομή στοιβάδων που προσομοιάζουν τα γραφιτικά επίπεδα πλέγματα τα οποία συγκρατούνται μεταξύ τους με δυνάμεις Van der Waals.

Τα γραφιτικά επίπεδα άνθρακα αποτελούνται από sp^2 - υβριδισμένα άτομα που συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας δισδιάστατα φύλλα από βενζολικούς δακτυλίους.

Ανάλογα με την τελική θερμοκρασία γραφίτοποίησης τα γραφιτικά πλέγματα μπορεί να είναι εκτεταμένα και συνεχή κατά μήκος της ίνας και άλλοτε όχι, ενώ δεν παρουσιάζουν την τυπική A-B-A τοποθέτηση κατά τον άξονα z.

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την απόσταση μεταξύ των στιβάδων (όπου στον γραφίτη είναι ελαφρά μικρότερη και σταθερότερη) δομικά διαφοροποιεί τις ίνες άνθρακα από γραφίτη.

Το 1978 οι Bennett και Johnson σχετικά με τη δομή των ινών άνθρακα αναφέρθηκαν σε μία ετερογένεια επιδερμίδας –πυρήνα, η οποία προέρχεται από την τριών διαστάσεων αλληλοεισδυόντων επιπέδων στιβάδων, υπό μορφή κρυσταλλιτών οι οποίοι περικλείουν βελονοειδείς πόρους. Στην επιδερμίδα βρίσκονται οι κρυσταλλίτες παράλληλα προς την εξωτερική επιφάνεια του ινιδίου, ενώ στο εσωτερικό των ινών οι κρυσταλλίτες είναι μικρότεροι και δεν εμφανίζουν κανένα προτιμώμενο προσανατολισμό (τυχαία κατανομή με πολλές πτυχώσεις και κενά).

Η μεγάλη διαφορά στις μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες μεταξύ διαφόρων ινών εξηγείται από τον διαφορετικό προσανατολισμό που αποκτούν τα επίπεδα πλέγματα κατά την παραγωγή και την ύπαρξη διαφορετικών ατελειών σε αυτά.

Η διαφορά μεταξύ των HT- και HM- ινών είναι ότι οι κρυσταλλίτες των HT- ινών είναι ουσιαστικά μικρότεροι δεν παρουσιάζουν ανομοιογένεια μεταξύ εξωτερικής επιφάνειας και

εσωτερικού και τα επίπεδα των στιβάδων έχουν έναν χαμηλότερο προσανατολισμό, έτσι ώστε στις ίνες HT- ίνες άνθρακα δε διακρίνεται κάποια περιοχή επιδερμίδας.

Αντίθετα, οι HM- ίνες παρουσιάζουν έντονο τα φαινόμενο της επιδερμίδας με εξωτερική επιφάνεια που περιέχει μεγάλους και καλά προσανατολισμένους κρυσταλλίτες.

Ωστόσο, οι HM- ίνες παρά το μεγάλο προτιμώμενο προσανατολισμό τους στην περιοχή της επιδερμίδας εμφανίζουν επίσης πολλούς και μεγάλους ελαττωματικά διευθετημένους κρυσταλλίτες. (1,2,6,37,38)



Σχήμα 13. Εμπορικές ίνες άνθρακα

2.6. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Η αντοχή σε εφελκυσμό και το μέτρο ελαστικότητας των ινών άνθρακα βελτιώνεται με την ανθρακοποίηση υπό τάση. Στις ίνες με υψηλό μέτρο ελαστικότητας οι κρυσταλλίτες είναι διευθετημένοι γύρω από το διαμήκη άξονα της ίνας με τα στρώματα να είναι προσανατολισμένα παράλληλα στον άξονα.

Η αντοχή των ινών οφείλεται στις συνθήκες της παραγωγικής διαδικασίας, στην θερμοκρασία επεξεργασίας, καθώς και στην παρουσία ελαττωμάτων και ατελειών. Στις ίνες με βάση PAN η αντοχή αυξάνει μέχρι ένα μέγιστο στους 1300°C, και μετά μειώνεται σταδιακά, ενώ το μέτρο ελαστικότητας δείχνει μία αύξηση με την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι ίνες άνθρακα είναι πολύ εύθραυστες και τα στρώματα τους συνδέονται με ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς όπου κατά την κάμψη η ίνα αποτυγχάνει σε πολύ μικρή τάση.

Η πυκνότητα των ινών άνθρακα είναι πολύ χαμηλή 1.76g/cm³ γεγονός που οδηγεί σε εξαιρετικό ειδικό μέτρο το οποίο σε συμβατικά υλικά, όπως τα μέταλλα είναι της τάξης των 250-300 GPa, ενώ στις ίνες άνθρακα φθάνει θεωρητικά μέχρι 1200 GPa.

Όσον αφορά στις φυσικές ιδιότητες του στοιχειακού άνθρακα εμφανίζονται και στην ινώδη μορφή του με την αλλοτροπική δομή του γραφίτη. Οι ίνες άνθρακα δεν παρουσιάζουν σημείο τήξης υπό κανονική πίεση, έχουν μικρή τάση ατμών μέχρι υψηλές θερμοκρασίες, υψηλό σημείο εξάχνωσης και πολύ χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής, που δίνει στην ίνα ένα μεγάλο βαθμό σταθερότητας ως προς τις διαστάσεις τους.

Επίσης, οι ίνες άνθρακα είναι χημικά αδρανή υλικά με υψηλή στα περισσότερα οξέα, άλατα και διαλύτες εκτός ισχυρών οξειδωτικών μέσων, ενώ δεν απορροφούν σχεδόν καθόλου νερό. Η

θερμική σταθερότητα τους είναι αξιοσημείωτη απουσία οξυγόνου μέχρι 3000°C, καθώς είναι άτηκτες και άφλεκτες, ενώ παρουσία οξυγόνου καίγονται γύρω στους 400°C.

Δεν έχουν παρατηρηθεί μαγνητικές ιδιότητες στις ίνες άνθρακα, ενώ εμφανίζουν καλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα κατά τον παράλληλο στα γραφίτικα επίπεδα άξονα, η οποία οφείλεται σε μη εντοπισμένα π-ηλεκτρόνια που ευρίσκονται στον χώρο μεταξύ των επιπέδων αυτών. (1,2,6)

2.61. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Χαμηλή πυκνότητα και χαμηλό ειδικό βάρος (περίπου το ¼ του χάλυβα)
- Υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, ειδική δυσκαμψία (λόγος της εφελκυστικής αντοχής ή της δυσκαμψίας προς την πυκνότητα αντίστοιχα)
- Χαμηλός συντελεστής θερμικής διαστολής
- Θερμική σταθερότητα σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο πέραν των 3000°C
- Καλή αντίσταση σε ερπυσμό
- Χημική σταθερότητα, ιδιαίτερα απέναντι στα ισχυρά οξέα
- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα
- Χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση (1,2,6)

2.62. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

- Ανισοτροπία (στο διαμήκη άξονα σε σχέση με τον εγκάρσιο)
- Χαμηλή παραμόρφωση έως τη θραύση
- Μικρή αντοχή σε θλίψη σε σχέση με τον εφελκυσμό
- Τάση οξειδωσης και μετατροπής σε αέριο όταν θερμαίνονται με αέρα πάνω από 400°C.

2.7. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Οι ίνες άνθρακα του εμπορίου κατηγοριοποιούνται:

A/ Λόγω της τιμής του μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής τους σε εφελκυσμό σε:

- Πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας, τύπος Ultra High Modulus (μέτρο ελαστικότητας >500 GPa).
Παράγονται από πυρόλυση σε θερμοκρασίες πάνω από 2000°C με ταυτόχρονο τανυσμό. Χρησιμοποιούνται ίνες οι οποίες προέρχονται από PAN καθώς και ίνες από καθαρή μεσόφαση πίσσας.
- Υψηλού μέτρου ελαστικότητας, High Modulus (μέτρο ελαστικότητας μεταξύ 350-500 GPa).
Για την παραγωγή ινών με υψηλό μέτρο ελαστικότητας χρησιμοποιούνται ίνες πολυακρυλονιτριλίου και ίνες πίσσας.
- Μεσαίου μέτρου ελαστικότητας IM (μέτρο ελαστικότητας μεταξύ 200-350 GPa).
- Χαμηλού μέτρου ελαστικότητας και υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό, High Tensile (μέτρο ελαστικότητας < 100GPa, αντοχή σε εφελκυσμό > 3 GPa).
- Πολύ υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό, Super High Tensile (αντοχή σε εφελκυσμό πάνω από 4500 MPa).

Παρασκευάζονται από ίνες PAN, συνήθως από ίνες HT, με σημαντική διαφορά την διάμετρο που είναι 4-6 μm έναντι των 8-10 μm.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά ινών άνθρακα.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ	HT -ΙΝΕΣ	HM-ΙΝΕΣ
Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	180-230	350-420
Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	2500-3500	2000-2300
% περιεκτικότητα σε άνθρακα	95-98	99
Πυκνότητα (g/cm ³)	1,8	1,9
Μέγιστη θερμοκρασία χρήσης (°C)	2000	2500

B/ Ανάλογα με την τελική θερμοκρασία της θερμικής επεξεργασίας κατά την παραγωγή τους, οι ίνες άνθρακα ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Ίνες άνθρακα: είναι ίνες με περιεχόμενο 80-98% σε στοιχειακό άνθρακα. Παράγονται από ανθρακούχα υλικά με θερμική επεξεργασία μέχρι περίπου 1600°C.
- Ίνες γραφίτη: είναι ίνες με περιεχόμενο σε στοιχειακό άνθρακα μεγαλύτερο του 98%. Παράγονται με θερμική επεξεργασία των ινών άνθρακα σε θερμοκρασία πάνω από 2400°C.

Από το 1986, η διεθνώς αποδεκτή γενική κατάταξη και χαρακτηρισμός των ινών είναι ο παρακάτω:

- Ίνες άνθρακα
- Ίνες γραφίτη
- Μη συνεχής ίνα άνθρακα
- Ύφασμα από ίνες άνθρακα.

Συχνά δεν γίνεται διάκριση μεταξύ των δύο αυτών κατηγοριών και η ονομασία ίνες άνθρακα αποδίδεται και στις δύο κατηγορίες ινών. Η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο που συνδέονται τα στρώματα των ατόμων μεταξύ τους.

Ο γραφίτης είναι ένα κρυσταλλικό υλικό με τρισδιάστατο προσανατολισμό των στρωμάτων του όπου τα άτομα συνδέονται με ασθενείς δεσμούς Van der Waals και τα οποία προσδίδουν μαλακή και ευαίσθητη υφή.

Οι ίνες άνθρακα αντιστοιχούν σε δισδιάστατο προσανατολισμό των στρωμάτων τους και έχουν υψηλές μηχανικές ιδιότητες και καλή θερμική αγωγιμότητα.

Γ/ Κατάταξη ανάλογα με το πρόδρομο υλικό των ινών:

- Ίνες άνθρακα βασισμένες σε PAN. Προέρχονται από το πολυακρυλονοτρίλιο.
- Ίνες άνθρακα βασισμένες σε πίσσα. Προέρχονται από κατάλληλες μορφές πίσσας.
- Ίνες άνθρακα βασισμένες σε μεσόφαση πίσσας (MPP). Προέρχονται από μεσογενή πίσσα, έπειτα από την μετατροπή της σε μεσόφαση κατά την διάρκεια της ινοποίησης με περιστροφή (spin) και εφόσον οι ίνες έχουν υποστεί ανθρακοποίηση.

- Ίνες άνθρακα βασισμένες σε ισοτροπική πίσσα. Προέρχονται από ανθρακοποίηση των ινών από ισοτροπική πίσσα.
- Ίνες άνθρακα βασισμένες σε κυτταρίνη (rayon).
- Ίνες άνθρακα ανεπτυγμένες σε αέρια φάση. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι ίνες άνθρακα που παράγονται σε ατμόσφαιρα υδρογονανθράκων παρουσία καταλυτών, όπως σίδηρος. (1,2,35).

2.8 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΠΟ ΠΟΛΥΑΚΡΥΛΟΝΙΤΡΙΛΙΟ

Η επεξεργασία ινών άνθρακα οι οποίες προέρχονται από πολυακρυλονιτρίλιο βασίζεται στην επιφανειακή επεξεργασία τους, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με χημικές, ηλεκτροχημικές ή με τεχνικές πλάσματος.

Με τις τεχνικές αυτές επιτυγχάνεται αύξηση της επιφανειακής τραχύτητας με σκοπό να βελτιώσει τη διασύνδεση μεταξύ ινών και μήτρας του σύνθετου υλικού.

Ο επιφανειακός δεσμός μεταξύ των ινών άνθρακα και της θερμοσκληρυνόμενης ρητίνης αυξάνεται, καθώς στην επιφάνεια των ινών άνθρακα δημιουργούνται επαφές/ αγκυρώσεις μεταξύ των ινών και της μήτρας.

Για την τροποποίηση των ινών άνθρακα χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι όπως:

- οξείδωση των ινών σε αέρια φάση,
- οξείδωση των ινών σε υγρή φάση,
- ηλεκτροχημική οξείδωση,
- οξείδωση με πλάσμα, ηλεκτροαπόθεση κ.α.

Η τεχνική της τροποποίησης της επιφάνειας των ινών άνθρακα με πλάσμα πραγματοποιείται σε ατμόσφαιρα αργού ή οξυγόνου. Η επεξεργασία με πλάσμα σε ατμόσφαιρα οξυγόνου έχει σαν αποτέλεσμα την απομάκρυνση ατόμων άνθρακα υπό μορφή μονοξειδίου ή διοξειδίου, ενώ επιδιορθώνει σφάλματα της επιφάνειας ελαττώνοντας τυχόν ατέλειες της επιφάνειας των ινών άνθρακα.

Η τεχνική για να παραχθούν σύνθετα υλικά ινών άνθρακα, οι οποίες να παρουσιάζουν πολύ καλές συγκολλητικές ικανότητες με ρητίνες, είναι η επεξεργασία αυτών με οξείδωση σε υδατικά διαλύματα οξέων, όπως θειικό, υδροχλωρικό, ή νιτρικό ή αλάτων των οξέων ή σε ηλεκτροχημικά διαλύματα στα οποία η πυκνότητα ρεύματος κυμαίνεται από 0.05 έως 0.5A/m² και ο χρόνος επεξεργασίας κυμαίνεται από 0.02 μέχρι 8 A.V.min/m², ενώ συγχρόνως διατηρείται συνεχής ροή των ινών άνθρακα μέσα στο ηλεκτρολυτικό διάλυμα οι οποίες λειτουργούν ως άνοδο.

Η ηλεκτροχημική οξείδωση είναι σχετικά φθηνή μέθοδος, σχετικά εύκολα ελεγχόμενη, με περιορισμένες ποσότητες αποβλήτων, ενώ το κυριότερο από εμπορικής πλευράς είναι η ποιο διαδεδομένη πρακτική γιατί επιτρέπει συνεχής ροή των ινών άνθρακα.

Η μέθοδος αυτή πλέον της βελτίωσης των συγκολλητικών ικανοτήτων των ινών άνθρακα προσδίδει στις ίνες άνθρακα και αντοχή στη θερμότητα και στην οξείδωση. Με τον όρο δυναμικό σε τέτοιου είδους επεξεργασίες θεωρούμε το δυναμικό μεταξύ ινών άνθρακα οι οποίες ευρίσκονται σε υδατικό διάλυμα οξέων ή αλάτων και μιας καθόδου.

Στην ηλεκτροχημική επεξεργασία ινών άνθρακα χρησιμοποιούνται οξέα, όπως θειικά, νιτρικά, υδροχλωρικά, φωσφορικά, και άλατα αυτών ή και μείγματα αλάτων και οξέων. Αμμωνιακά άλατα θειικού οξέως χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την διαδικασία της επιφανειακής επεξεργασίας των ινών άνθρακα.

Η οξειδωση των ινών άνθρακα δηλαδή η προσθήκη ατόμων οξυγόνου προσδίδει στην επιφάνεια των ινών χημικούς δεσμούς για καλύτερη πρόσφυση, καθώς και τραχύτητα της επιφάνειας, ενώ συγχρόνως αυξάνεται η ελεύθερη επιφάνεια με αύξηση των ενεργών χημικών ομάδων, όπως τα καρβοξυλικά οξέα.

Η ηλεκτρολυτική επεξεργασία σε μεγάλο βαθμό των ινών άνθρακα από ένα σημείο και πέρα ελαττώνει τις αντοχές των ινών άνθρακα σε μηχανική καταπόνηση, καθώς και την αντοχή σε στην θερμική οξειδωση.

Οι παράμετροι οι οποίοι επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ηλεκτρολυτική επεξεργασία των ινών άνθρακα είναι το μέτρο ελαστικότητας των ινών άνθρακα, ο τύπος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται η πυκνότητα του ρεύματος, η ελεύθερη επιφάνεια των ινών άνθρακα, ο χρόνος ηλεκτρόλυσης. (10)

2.9 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Οι πολύ μικρές διαστάσεις των ινών άνθρακα δεν επιτρέπουν ακριβή οπτικό έλεγχο.

Για να παραχθούν ίνες άνθρακα σταθερής ποιότητας θα πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά παράμετροι, όπως ο χρόνος η θερμοκρασία η χημική σύσταση σε κάθε φάση της παραγωγής.

Πίνακας 2. Συγκριτικός πίνακας ιδιοτήτων διαφόρων υλικών και ινών.

	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Θερμοκρασία τήξης (°C)	Μέγιστη θερμοκρασία χρήσης (°C)
Ανόργανα					
Γυαλί					
<i>E-glass</i>	75	2100-3400	2.54	900-1200	550
<i>C-Glass</i>	80	2500-4400	2.50	1400-1600	650
<i>S-glass</i>	84	2800-4800	2.48	1400-1600	650
<i>SiO₂ (χαλαζιάς)</i>	72	3500-4500	2.20	1720	1100
<i>Αμίαντος</i>	200	2400	2.5		
Άνθρακας					
<i>High Modulus</i>	350-420	1900-2300	1.9	-	2500
<i>High Strength</i>	180-230	2500-3400	1.8	-	200
<i>Graphite</i>	250	1700	1.38		
Κεραμικά					
<i>SiC</i>	480	2300	3.2	-	900
<i>Al₂O₃ (Αλουμίνα)</i>	500	2000	4	-	800
Μέταλλα					
<i>Χάλυβας</i>	210	3100	7.8		
<i>Τιτάνιο</i>	115	1900	4.61		
<i>Αργίλιο</i>	73	620	2.63		
<i>Βηρύλλιο</i>	300	1700	1.82		
<i>Βόριο(αμέταλλο)</i>	400	3400	2.52		
Οργανικά					
Πολυμερή					
<i>Kevlar-29</i>	60	2700	1.45	-	200
<i>Kevlar-49</i>	130	3600	1.45	-	200
<i>Kevlar-149</i>	180	3400	1.45	-	
<i>PE</i>	119-270	2600-3200			

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΣΟΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ: ΠΕΡΛΙΤΗΣ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Ο περλίτης είναι άμορφο ηφαιστειακό υλικό γυαλί με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Έχει την ασυνήθιστη ιδιότητα να διογκώνεται όταν βρεθεί σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία. Όταν φτάσει τους 650-900°C ο περλίτης μαλακώνει, δεδομένου ότι έχει υαλώδη χημική σύσταση και το νερό το οποίο είναι παγιδευμένο στην δομή του διαφεύγει και αυτό με συνέπεια να δημιουργείται διόγκωση του υλικού από 7 έως 15 φορές. Η φαινόμενη πυκνότητα του διογκωμένου περλίτη είναι περίπου 1100 kg/m³ (1.1 g/cm³).

Αντίστοιχα, η φαινόμενη πυκνότητα του αδιόγκωτου περλίτη είναι μεταξύ των τιμών 30-150 kg/m³.

Λόγω της χαμηλής φαινόμενης πυκνότητας του διογκωμένου περλίτη έχουν αναπτυχθεί πολλές εμπορικές εφαρμογές. Σε οικοδομικά υλικά χρησιμοποιείται σε ελαφροβαρή κονιάματα, μονωτικά υλικά, θερμοηχομονωτικές πλάκες οροφής κλπ., καθώς επίσης και σε χυτήρια και σε κρυογενικές μονώσεις. Τα ανόργανα πολυμερή είναι άκαυστα αντέχουν σε υψηλές και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, έχουν χαμηλούς συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας και μεγάλο χρόνο ζωής.

Ο περλίτης είναι ηφαιστειακό, υαλώδες αργιλοπυριτικό πέτρωμα λευκού χρώματος, το οποίο περιέχει και κρυσταλλικό νερό σε ποσοστό 2-6 %. Το πρωτογενές ορυκτό, όταν θερμανθεί για σύντομο χρόνο στους 1200-1300°C, διογκώνεται και σχηματίζει μια αφρώδη μάζα δεκαπλασίου έως εικοσαπλασίου περίπου όγκου από τον αρχικό. Η ιδιότητα του αυτή χρησιμοποιείται από την βιομηχανία για την δημιουργία ενός κοκκώδους υλικού με πλούσιο πορώδες, το οποίο έχει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού. Το νερό συγκρατείται κυρίως στους μικρούς πόρους, ενώ στους μεγαλύτερους που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων του περλίτη παραμένει αέρας και μετά την διαβροχή του υλικού.

Στην Ελλάδα υπάρχουν σημαντικά κοιτάσματα περλίτη στα νησιά Μήλο, Αντίπαρο, Νίσυρο, Κω, κ.λ.π. Σήμερα, ο ελληνικός περλίτης προέρχεται κυρίως από τη Μήλο.

Καταστροφικές πυρκαγιές, όπως αυτές που συνέβησαν στην Γαλλία μεταξύ του 1970 και 1973, υπήρξαν η αφορμή εξέλιξης υλικών άκαυστων και μεγάλης αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες για την επένδυση των σπιτιών και σηράγγων. Η διεθνής επιστημονική κοινότητα στράφηκε στην ανάπτυξη ανόργανων πολυμερών υλικών, τα οποία είναι ανθεκτικά στην φωτιά και την υψηλή θερμοκρασία, για την παραγωγή δομικών στοιχείων κτιρίων και σηράγγων. Η παρασκευή ανόργανων αργιλοπυριτικών υλικών άμορφης έως ημικρυσταλλικής δομής από πρώτες ύλες πλούσιες σε αλουμίνιο και πυρίτιο (υπό συνθήκες που προσεγγίζουν τις υδροθερμικές συνθήκες παραγωγής ορισμένων αργιλοπυριτικών ορυκτών) υπήρξε το θεμέλιο για την δημιουργία άκαυστων υλικών των λεγόμενων γεωπολυμερών. Πρώτη ύλη μπορούν να αποτελέσουν φυσικά ορυκτά, βιομηχανικά παραπροϊόντα και απόβλητα.

Τα ανόργανα πολυμερή υλικά είναι άκαυστα, αντέχουν σε υψηλές και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, έχουν χαμηλούς συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας και έχουν μεγάλο χρόνο ζωής. Ακόμα, τα ανόργανα πολυμερή παρουσιάζουν αντοχή σε διαβρωτικά περιβάλλοντα και σε διαδοχικούς κύκλους ψύξης - θέρμανσης, καθώς και καλές μηχανικές ιδιότητες. Η παραγωγή ανόργανων πολυμερών, γίνεται κατά κανόνα με περιορισμένες δαπάνες ενέργειας σε σχέση με άλλες βιομηχανίες θερμομονωτικών, καθώς δεν είναι αναγκαίες υψηλές θερμοκρασίες για την παραγωγή τους. (13,16)

3.2 ΔΟΜΗ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Το βασικό δομικό στοιχείο των πυριτικών ορυκτών και των γεωπολυμερών είναι το τετράεδρο πυριτίου, το οποίο αποτελείται από ένα ιόν πυριτίου σε κεντρική θέση, που περιστοιχίζεται από τέσσερα ιόντα οξυγόνου σχηματίζοντας έτσι ένα τετράεδρο.

Ο δεσμός μεταξύ οξυγόνου και πυριτίου είναι πολύ ισχυρός και ενδιάμεσος μεταξύ ιοντικού και ομοιοπολικού δεσμού. Τα τετράεδρα μπορούν να είναι ασύνδετα μεταξύ τους ή να συνδυάζονται σε ποικιλία σχηματισμών. Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό δεκατέσσερα (14). Αυτό σημαίνει πως ο πυρήνας του αποτελείται από 14 πρωτόνια, 14 νετρόνια και γύρω από αυτόν κινούνται 14 ηλεκτρόνια. Τα τέσσερα κινούνται στον εξωτερικό φλοιό και είναι αυτά που το πυρίτιο μπορεί να χάσει όταν συνδεθεί με άλλα στοιχεία. Για τον λόγο αυτόν λέγεται τετρασθενές. Το οξυγόνο έχει ατομικό αριθμό 8, στον εξωτερικό φλοιό του κινούνται 6 ηλεκτρόνια και για την συμπλήρωση της εξωτερικής του στοιβάδας, τείνει να πάρει 2 ηλεκτρόνια και άρα είναι δισθενές.

Για να επιτευχθεί σύνδεση μεταξύ πυριτίου και οξυγόνου, το πυρίτιο αποβάλλει τέσσερα ηλεκτρόνια από τη στοιβάδα M για να μεταβεί σε πιο σταθερή μορφή δηλαδή σε εξωτερική στοιβάδα L με 8 ηλεκτρόνια. Το οξυγόνο θα πρέπει να προσλάβει δύο ηλεκτρόνια για να μεταβεί σε πιο σταθερή μορφή, δηλαδή να συμπληρώσει 8 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα. Το πυρίτιο δίνει λοιπόν τα ηλεκτρόνια του σε τέσσερα άτομα οξυγόνου και γίνεται σταθερό. Κάθε ένα άτομο οξυγόνου για να γίνει και αυτό σταθερό χρειάζεται να προσλάβει άλλο ένα ηλεκτρόνιο από ένα άλλο άτομο πυριτίου. Έτσι δημιουργείται μια σταθερή επαναλαμβανόμενη ένωση Si-O-Si με αποτέλεσμα τον σχηματισμό γεφυρών οξυγόνου που ενώνουν τα άτομα του πυριτίου.

Η δυνατότητα των τετραέδρων πυριτίου να σχηματίσουν, ορυκτά αποτελούμενα από πυριτικές αλυσίδες (αλυσσοπυριτικά), φύλλα (φυλλοπυριτικά), δακτύλιους (κυκλοπυριτικά) και τρισδιάστατες δομές (τεκτοπυριτικά) είναι από μόνη της ένδειξη της δυνατότητας της ένωσης Si-O να παράγει διάφορες κρυσταλλικές δομές. Ειδικά για την παραγωγή τρισδιάστατων πλεγμάτων στα πυριτικά υλικά (τεκτοπυριτικά) η ύπαρξη Al είναι ιδιαίτερα σημαντική. Το μέγεθος του ιόντος αλουμινίου του επιτρέπει να εισέρχεται σε θέσεις τετραεδρικές και οκταεδρικές και η ιδιότητα αυτή συνεισφέρει σημαντικά στην ποικιλία των πυριτικών δομών, καθώς το τρισθενές Al, υποκαθιστά το τετρασθενές Si. Η αναλογία μεταξύ των ιόντων αλουμινίου και πυριτίου οδηγεί στον σχηματισμό διαφορετικών αλυσίδων.

Ο περλίτης είναι ένα υαλώδες, όξινο, ηφαιστειακό πέτρωμα, το οποίο συχνά περιέχει κρυστάλλους ορυκτών, όπως ο χαλαζίας, αστρίοι, βιοτίτη, πλαγιόκλαστα, ορθόκλαστα και κεροστίβη. Ο περλίτης σχηματίζεται κατά την άνοδο του μάγματος στην επιφάνεια του φλοιού. Η απότομη στερεοποίηση του μάγματος έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ηφαιστειακών γυαλιών, όπως ο οψιδιανός και η κίσηρη. Το νερό που περιέχει ο περλίτης προέρχεται από μια δευτερογενή ενυδάτωση του οψιδιανού. Για τον σχηματισμό του περλίτη, ένα θαλάσσιο περιβάλλον περιλαμβάνει τις κατάλληλες συνθήκες, καθώς το νερό συμβάλλει στην ταχύτητα ψύξης της υάλου και ταυτόχρονα είναι διαθέσιμο για να προκαλέσει την δευτερογενή ενυδάτωση του οψιδιανού. Ο περλίτης απαντάται στην Ελλάδα στα νησιά Μήλο, Κω, Νίσυρο, Λέσβο και Αντίπαρο. Ο ιστός του περλίτη χαρακτηρίζεται από την διάταξη του υαλώδους υλικού κατά συγκεντρικά σφαιρίδια των οποίων οι διαστάσεις μπορούν να είναι από ένα χιλιοστό μέχρι αρκετά εκατοστά. Τα σφαιρίδια μοιάζουν με μαργαριτάρια- πέρλες (pearls). Λόγω του σχήματος και της μαργαριταρώδους λάμψης τους δίνουν στο πέτρωμα το όνομα περλίτης.

Ο περλίτης παρουσιάζει πολύ μικρές διακυμάνσεις στην χημική του σύσταση. Μια αντιπροσωπευτική χημική σύσταση κοκκώδους περλίτη που απαντάται στο κοίτασμα της Μήλου, παρουσιάζει αυξημένο ποσοστό διοξειδίου του πυριτίου (70-73%), οξειδίου του αλουμινίου (14-15%) και μικρότερα ποσοστά οξειδίων του καλίου (2-5%), του νατρίου (2-4%) και νερό (2-5%). Το νερό αυτό είναι συνδεδεμένο ενδοκρυσταλλικά μέσα στον περλίτη.

Πίνακας 3. Φυσικά χαρακτηριστικά περλίτη.

Φυσικά χαρακτηριστικά	
Χρώμα:	Λευκό μέχρι υπόλευκο
Μορφή:	Κόκκοι
Οσμή:	Άοσμο
Σημείο μαλακύνσεως:	890-1100 °C
Σημείο τήξης:	1250-1350 °C
PH:	6.6-8.0
Ειδική θερμότητα:	0,2 cal/g °C
Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ κυμαίνεται γύρω στα 0,04 Kcal/m/h °C	

Πίνακας 4. Χημικά χαρακτηριστικά περλίτη.

Χημικά χαρακτηριστικά - τυπική χημική ανάλυση	
Διοξείδιο του πυριτίου:	72-76%
Οξείδιο αργιλίου:	11-17%
Οξείδιο καλίου:	4-5%
Οξείδιο νατρίου:	2,9-4,0%
Δεσμευμένο κρυσταλλικό νερό:	2-3%
Διαλυτότητα: Διαλυτός σε ζεστό αλκαλικό διάλυμα και κανονικό διάλυμα υδροφθορικού οξέος. Ελαφρά διαλυτός σε συμπυκνωμένα ανόργανα οξέα. Πολύ ελαφρά διαλυτός σε διαλύματα οργανικών οξέων και συμπυκνωμένα μαλακά οξέα.	

Ο περλίτης λόγω της χημικής αδράνειας που τον χαρακτηρίζει δεν αποτελεί υλικό επικίνδυνο για τον ανθρώπινο οργανισμό και το περιβάλλον. Παρ' όλα αυτά το υπέρλεπτο απόρριμμα που προκύπτει από την παραγωγική του διαδικασία μπορεί να χαρακτηριστεί ως ερεθιστικό για τα ανθρώπινα μάτια και το αναπνευστικό σύστημα. Για τον λόγο αυτό απομακρύνεται μέσω ειδικών συστημάτων υγρών κονιοσυλλεκτών από την παραγωγική διαδικασία.(13,16).

3.3 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΠΕΡΛΙΤΗ

Η συστηματική έρευνα για τον περλίτη άρχισε στην Αμερική από το 1941. Οι πρώτες προδιαγραφές για τις χρήσεις του περλίτη θεσπίστηκαν με την ίδρυση του ινστιτούτου τυποποίησης προϊόντων του περλίτη, το 1949, οπότε και ξεκίνησε η αναζήτηση νέων εφαρμογών. Σήμερα ο περλίτης χρησιμοποιείται σε περισσότερες από μια εφαρμογές.

Εξάγεται από το έδαφος σε επιφανειακές εκμεταλλεύσεις και στην συνέχεια αποθηκεύεται σε σωρούς απ' όπου τροφοδοτείται σε σιαγωνινό θραυστήρα προς πρωτογενή θραύση μέχρι το μέγεθός του να φτάσει κατά προσέγγιση τα 1.6 εκατοστά του μέτρου. Από το σημείο αυτό ο περλίτης υφίσταται ξήρανση, ταξινόμηση και δευτερογενή θραύση. Το υπερμέγεθος της δευτερογενούς θραύσης ανατροφοδοτείται στον πρωτογενή θραυστήρα και το υπόλοιπο αποθηκεύεται πριν την αποστολή του σε εγκαταστάσεις διόγκωσης.

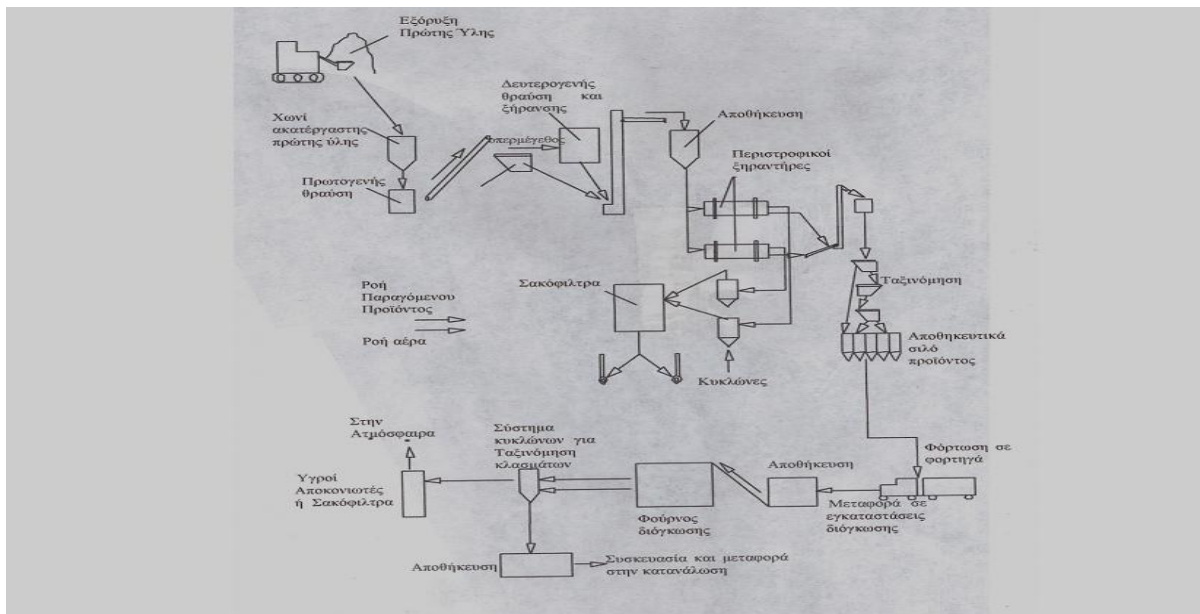
Οι μεγάλες ποσότητες λεπτομερών, που παράγονται καθ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας απομονώνονται μέσω αερο-ταξινόμησης σε διάφορα στάδια της παραγωγής.

Για την ολοκλήρωση της διόγκωσης, το πέτρωμα είτε προθερμαίνεται στους 430°C, είτε τροφοδοτείται απευθείας στην κάμινο στο εσωτερικό της οποίας η θερμοκρασία μπορεί να ποικίλει από τους 760°C μέχρι και τους 980°C.

Η προθέρμανση μειώνει τον όγκο των παραγόμενων κατά την διόγκωση λεπτομερών, οδηγώντας σε ευκολότερα ελεγχόμενη ομοιογένεια πυκνότητας στο τελικό προϊόν.

Στις υψηλές θερμοκρασίες της καμίνου, ο περλίτης αρχίζει να υφίσταται μαλάκυνση και μεταβαίνει σε μια πλαστική κατάσταση όπου, το εγκλωβισμένο στο υλικό κρυσταλλικό νερό ελευθερώνεται σαν ατμός. Το φαινόμενο αυτό είναι υπεύθυνο για την αύξηση του όγκου του περλίτη, ο οποίος μπορεί να διογκωθεί από τέσσερις μέχρι και είκοσι φορές σε σχέση με το αρχικό του μέγεθος.

Τελικά, μυζητικό σύστημα ροφά τα ελαφριά πλέον περλιτικά σωματίδια έξω από την κάμινο και τα μεταφέρει μέσα σε κυκλώνα όπου ταξινομούνται βάση μεγέθους, ενώ ταυτόχρονα, η λεπτομερής σκόνη απομακρύνεται από τα απαέρια της διαδικασίας με την χρήση σακόφιλτρων ή αποκονιωτών. Μετά τη διόγκωση, το προϊόν του περλίτη ταξινομείται και αποθηκεύεται μέχρι την μεταφορά του προς κατανάλωση. (13,16)



Σχήμα 14. Βιομηχανική παραγωγή περλίτη

3.4. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΛΙΤΗ

Από τις βιομηχανικά παραγόμενες κοκκομετρίες περλίτη οι λεπτομερέστερες με το μικρότερο φαινόμενο βάρος χρησιμοποιούνται για εφαρμογές κρυσταλλικής μόνωσης, οι μέσου μεγέθους βρίσκουν εφαρμογή σε οικοδομικές μονώσεις, ενώ για εφαρμογές στην φυτοκομία χρησιμοποιούνται οι μεγαλύτερου μεγέθους κοκκομετρίες.

Πίνακας 5. Εμπορικές κοκκομετρίες διογκωμένου περλίτη της Μήλου.

Όνομασία	Κοκκομετρία (mm)	Φαινόμενο βάρος (kg/m ³)	Κύριες χρήσεις
ΠΕΡΛΟΜΙΝ Α	0-4.0	100-120	Οικοδομή-Μονώσεις
ΠΕΡΛΟΜΙΝ Α1	0-2.5	95-115	Οικοδομή-Μονώσεις
ΠΕΡΛΟΜΙΝ Β	0-1.5	50-60	Κρυογενική Μόνωση
ΠΕΡΛΟΜΙΝ C	0-1	45-55	Κρυογενική Μόνωση
PERLOFLOR	1.0-5.0	105-130	Γεωργία Γενικά

3.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΕΡΛΙΤΗ

Οι άπειρες κλειστές κυψελίδες σε κάθε κόκκο διογκωμένου προσδίδουν στο υλικό πολλές ιδιότητες:

- Θερμομόνωση
- Ελαφρότητα
- Ηχομόνωση
- Πυροπροστασία
- Φυσικό ανόργανο υλικό (άφθαρτο στο χρόνο και φιλικό προς το χρήστη και το περιβάλλον)
- Δεν επηρεάζει τα μέταλλα

Ο περλίτης, όπως ειπώθηκε, στη φυσική του μορφή είναι πυριτικό πέτρωμα. Η διαφορά του από άλλα ηφαιστιογενή πετρώματα είναι ότι, όταν πυρακτωθεί απότομα σε μία θερμοκρασία 870°C περίπου, διογκώνεται 4-20 φορές τον αρχικό του όγκο. Η διόγκωση αυτή οφείλεται στη παρουσία κρυσταλλικού νερού στο πέτρωμα, το οποίο κατά την πυράκτωση εξαerώνεται και προκαλεί διόγκωση.

Ο περλίτης χρησιμοποιείται σε ποικιλία εφαρμογών καλύπτοντας ανάγκες στον κατασκευαστικό, βιομηχανικό και στον τομέα της φυτοκομίας. Το εύρος της χρήσης του είναι ενδεικτικό των εξαιρετικών του τεχνικών ιδιοτήτων, μερικές από τις οποίες είναι η χημική του αδράνεια, οι άριστες μονωτικές του ιδιότητες, η αντοχή του στις υψηλές θερμοκρασίες και στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Ακόμα δεν καίγεται και δεν προσβάλλεται από μύκητες, ενώ εμφανίζει ανθεκτικότητα στα περισσότερα οξέα.

Το 75% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής του περλίτη χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό σε κατασκευές. Οι άριστες μονωτικές ιδιότητες του διογκωμένου περλίτη σε συνδυασμό με το μικρό του ειδικό βάρος τον έχει καταστήσει σαν ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μονωτικά ελευθέρας ροής για την πλήρωση κοιλοτήτων.

Συμπληρώνει τους πόρους του μπετόν προσδίδοντας θερμική μόνωση, βελτιώνει την ηχομόνωση και την αντοχή σε περίπτωση πυρκαγιάς, ενώ παρουσιάζει ανθεκτικότητα σε σήψη και τερμίτες. Η πιο συνήθης χρήση του είναι σαν υποδαπέδια ελευθέρας ροής μόνωση, ή σε μίξη με τσιμέντο Πόρτλαντ και νερό προς παραγωγή περλομπετόν. Το περλομπετόν είναι άριστο μονωτικό και ελαφρύ δομικό υλικό, το οποίο εκτός από ελαφροβαρές και μονωτικό είναι και πυράντοχο, ανθεκτικό στην θλίψη και έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για εσωτερική κάλυψη καμινάδων και για τις μονώσεις οροφής και υποδαπέδιες.

Με ανάμιξη διογκωμένου περλίτη ειδικής κοκκομετρίας, συνδετικών κονιών, τσιμέντου και υδρασβεστίου παράγονται περλοεπιχρίσματα, τα οποία είναι θερμομονωτικά, πυροπροστατευτικά, ελαφρά και ατμοπερατά και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, όπως οι μονώσεις κλιβάνων και ψυκτικών θαλάμων.

Στη βιομηχανία ο περλίτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικιλία εφαρμογών. Μερικές από αυτές είναι στην παραγωγή υψηλής απόδοσης πληρωτικών υλικών, πλαστικών, χρωμάτων και κονιών για γεωθερμικά φρέατα. Ακόμα χρησιμοποιείται σαν ενδιάμεσο διηθητικό φίλτρο κατά τον διαχωρισμό υγρού από στερεό σε βιομηχανίες μύρας, κρασιού, νερού, ζάχαρης, συστήματα καθαρισμού νερού, χημικών και φαρμάκων, καθώς και σαν λειαντικός παράγοντας σε σαπούνια, καθαριστικά και βερνίκια.

Οι ιδιότητες του περλίτη να αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες και να παρέχει θερμική μόνωση τον κάνουν κατάλληλο για ποικίλες εφαρμογές στα χυτήρια μετάλλων, καθώς και στην βιομηχανία των πυρίμαχων. Είναι δυνατή η χρήση του και για μόνωση χαμηλών θερμοκρασιών και κρυογονικών δοχείων, καθώς εμποδίζει την μετάδοση της θερμότητας και διατηρεί τα υγρά και τα αέρια σε χαμηλές θερμοκρασίες. (13,16)

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για καινούργια υλικά έδωσε σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη των σύνθετων υλικών. Τα ελαφρά και υψηλών προδιαγραφών σύνθετα πολυμερή υλικά αντικαθιστούν τα μέταλλα σε πολλές εφαρμογές. Τα σύνθετα υλικά δημιουργούνται, όταν δύο υλικά ενωθούν, για να δώσουν ένα συνδυασμό ιδιοτήτων που δεν μπορούν να επιτευχθούν από τα αρχικά υλικά.

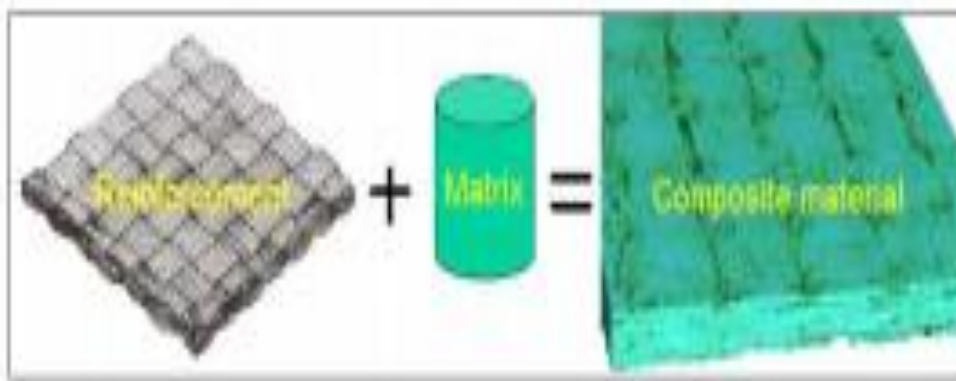
Παραδείγματα υλικών που δεν μπορούν να χαρακτηρισθούν ως σύνθετα υλικά είναι τα συνήθη μέταλλα, τα οποία μπορεί να περιέχουν ανεπιθύμητες ακαθαρσίες ή κραματοποιημένα στοιχεία, καθώς και πλαστικά, τα οποία περιέχουν μικρές ποσότητες ειδικών προσθέτων.

Επίσης, τα κράματα των μετάλλων δεν χαρακτηρίζονται ως σύνθετα υλικά, αν και αποτελούνται από δύο ή περισσότερα υλικά, γιατί αυτά ευρίσκονται σε μικροσκοπική κλίμακα (κάτω από 0,1mm).

Επομένως, τα σύνθετα υλικά θα πρέπει να αποτελούν συνδυασμό συστατικών μερών, οι ιδιότητες του ενός από τα μέρη αυτά να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από του άλλου (πάνω από 5 φορές) και η περιεκτικότητα κατ όγκο να μην είναι πολύ μικρή (πάνω από 10%).

Με άλλα λόγια, σύνθετα είναι τα υλικά, τα οποία μακροσκοπικά αποτελούνται από δύο ή περισσότερα χημικά ευδιάκριτα συστατικά μέρη, τα οποία έχουν μία συγκεκριμένη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ τους.

Ένα τυπικό σύνθετο υλικό αποτελείται από μία συνεχή μήτρα (ή φέρον υλικό) (matrix) του ενός συστατικού μέσα στην οποία είναι διεσπαρμένο το δεύτερο συστατικό, με την μορφή σωματιδίων ή ινών. (1,2,26,27)



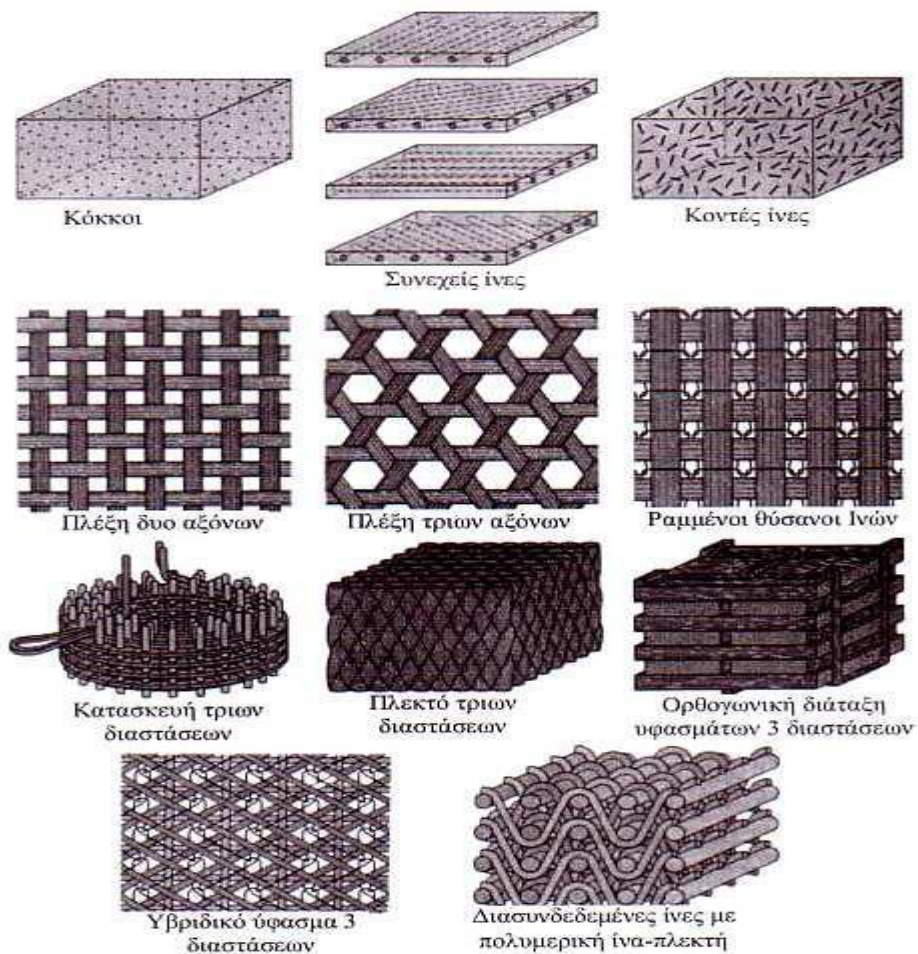
Σχήμα 16. Υλικά παραγωγής συνθέτων υλικών

4.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Α/ Ανάλογα με την γεωμετρία τους διακρίνονται σε:

- ινώδη
- πολυστρωματικά
- σωματιδιακά

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κατάταξη των σύνθετων υλικών ανάλογα με την γεωμετρία τους.



Σχήμα 17. Ινώδη, πολυστρωματικά, σωματιδιακά σύνθετα υλικά

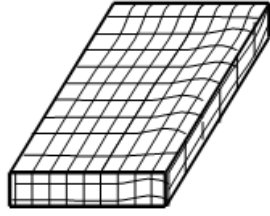
Β/ Κατατάσσονται επίσης ανάλογα με την φύση της μήτρας σε σύνθετα υλικά με:

- μεταλλική
- κεραμική
- πολυμερική
- ανθρακικές

Στην τελευταία περίπτωση που είναι και η συνηθέστερη διακρίνονται σε θερμοπλαστικές και θερμοσκληρυνόμενες μήτρες. Συνήθως και το ενισχυτικό μέσο είναι επίσης πολυμερές, όπως π.χ. αραμιδικές ίνες, ίνες άνθρακα, ίνες γυαλιού.

Γ/ Μία επιπλέον διάκριση των ινωδών συνθέτων υλικών στηρίζεται στο λόγο μήκους προς διάμετρο (L/D) των ινών, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως:

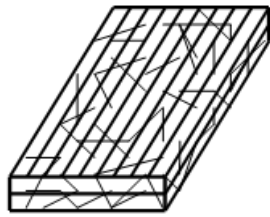
- Συνεχείς ή μεγάλου μήκους ίνες, όταν L/D είναι μεγαλύτερο του 100
- Ασυνεχείς ή κοντές ίνες, όταν L/D είναι μικρότερο του 100
- Νηματίδια ή τριχίδια (whiskers) με διάμετρο D μικρότερο του $1\mu\text{m}$ και $L=100\mu\text{m}$.



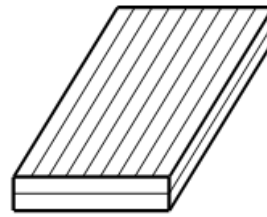
(α) Σύνθετο υλικό πλεκτών ινών.



(β) Σύνθετο υλικό ασυνεχών ινών.



(γ) Υβριδικό σύνθετο υλικό.



(δ) Σύνθετο υλικό συνεχών ινών.

Σχήμα 18. Τρόποι κατασκευής συνθέτων υλικών

Στη σύγχρονη εποχή η ανάπτυξη των σύνθετων υλικών ξεκίνησε το 1906 με την παραγωγή της φαινολικής ρητίνης Bakelite. Το 1924 κατασκευάστηκαν από αυτές μαζί με ξυλώδη υλικά πρεσσαρισμένες πλάκες Formica. Το 1935 εφευρέθηκαν οι ίνες γυαλιού, το 1938 οι εποξειδικές ρητίνες, καθώς επίσης και οι ίνες nylon.

Το 1960 παρουσιάστηκε ένα αυξημένο ενδιαφέρον στην τεχνολογία των συνθέτων υλικών, όπου οι ίνες βορίου και οι ίνες άνθρακα έγιναν διαθέσιμες.

Το 1961 εφευρέθηκαν εφευρέθηκαν στην Ιαπωνία και στην Αγγλία οι ίνες άνθρακα με πρόδρομο υλικό ίνες πολυακρυλονιτριλίου. Το 1965 εφευρέθηκαν οι αραμιδικές ίνες με την εμπορική ονομασία Kevlar.

Γύρω στα 1950 άρχισε μια ευρεία τεχνική εφαρμογή των ενισχυμένων πολυμερών με ίνες γυαλιού. Έτσι δημιουργήθηκε ένα δομικό υλικό συνδυασμός ινών γυαλιού, οι οποίες έχουν υψηλή αντοχή εφελκυσμού μαζί με εποξειδική ρητίνη ως φέρον υλικό.

Σε αντίθεση με τις ίνες γυαλιού, οι ίνες άνθρακα και οι αραμιδικές ίνες έχουν υψηλό μέτρο ελαστικότητας. Γενικότερα, τέτοιες ίνες αποτελούνται κυρίως από ελαφριά στοιχεία, όπως βόριο, άνθρακα, βηρύλλιο, καθώς επίσης από καρβίδια, νιτρίδια, πυριτίδια και οξείδια. Αυτές οι ίνες εμφανίζουν πολύ ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες.

Το φέρον υλικό, το οποίο αρχικά ήταν θερμοπλαστικό, παρουσιάζει περιορισμούς κυρίως σε υψηλές θερμοκρασίες. Συνήθεις πολυεστερικές ρητίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι θερμοκρασία 100°C, ενώ οι εποξειδικές ρητίνες υψηλών θερμοκρασιών μέχρι την θερμοκρασία των 200°C. Το τελευταίο χρονικό διάστημα έχουν αναπτυχθεί ρητίνες, οι οποίες αντέχουν σε θερμοκρασίες μέχρι 400°C για μικρό χρονικό διάστημα.

Για υψηλότερες θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται ως φέροντα υλικά ελαφρά μέταλλα, όπως αλουμίνιο, καθώς επίσης κράματα ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως κεραμικά υλικά π.χ. καρβίδιο του πυριτίου κλπ.

Οι υψηλές τιμές της ειδικής αντοχής και της ειδικής δυσκαμψίας των συνθέτων υλικών συγκρινόμενες με αυτές των παραδοσιακών κατασκευαστικών υλικών έχουν καταστήσει τα σύνθετα υλικά την πρώτη επιλογή σε κατασκευές όπου το μικρό βάρος είναι παράγοντας πρωταρχικής σημασίας.

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που έχουν οδηγήσει τα σύνθετα υλικά στην πρώτη μεταξύ των κατασκευαστικών υλικών για ένα μεγάλο πλήθος θαλάσσιων, αεροδιαστημικών και δομικών εφαρμογών είναι:

- Το μικρό βάρος
- Η υψηλή αντοχή
- Η εξαιρετική αντοχή σε διάβρωση
- Η πολύ καλή συμπεριφορά σε κόπωση, κρούση και στη διάδοση ρωγμών.
- Ο πολύ χαμηλός βαθμός συντελεστής θερμικής διαστολής
- Η απουσία ραφών και συγκολλήσεων
- Ο απαιτούμενος μηχανολογικός εξοπλισμός που είναι αρκετά πιο φθηνός.
- Παράγονται σε εύκαμπτη και ποικίλη μορφή.
- Έχουν ανθεκτικότητα στην διάβρωση.

Τα μειονεκτήματα, όπως τα μεγάλα επίπεδα ερπυσμού, η μικρή αντίσταση σε μηχανικές φθορές, η ευαίσθητη συμπεριφορά σε δύσκολες συνθήκες περιβάλλοντος καθώς και το αρκετά υψηλό τους κόστος αποτελούν παράγοντες που γίνονται μέρα με τη μέρα μικρότερης σημασίας εξαιτίας της συνεχούς ανάπτυξης της τεχνολογίας στην παραγωγή νέων και καλύτερων ινών. (6,7,11,26,27)

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά διαφόρων ινών.

ΙΝΕΣ	Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)	Αντοχή σε εφελκυσμό (GPa)	Πυκνότητα (g/cm ³)
Kevlar 29	70	2.9	1.45
Kevlar 49	135	2.9	1.45
Άνθρακα HS	235	3.5	1.76
>> IM	295	5.6	1.74
>> HM	400	-	1.86
>> UHM	690	3.3	2.17
Γυαλί E-Glass	72 - 75	3.5	2.54
Χάλυβας	200	0.7 – 2.0	7.8



Εμπορικές ίνες άνθρακα



Εμπορικές αραμιδικές ίνες



Εμπορικές ίνες υάλου

Σχήμα 19. Εμπορικές ίνες για σύνθετα υλικά

4.3. ΜΗΤΡΑ

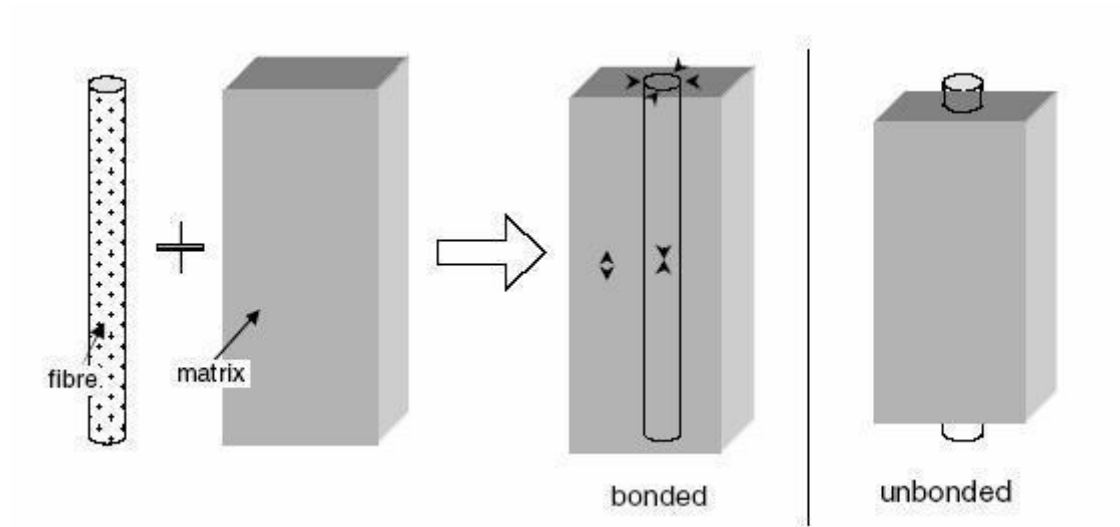
Μήτρα είναι το στερεό υλικό που περιβάλλει τις ίνες και τις συγκρατεί στην επιθυμητή θέση τις προστατεύει από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και μεταφέρει φορτία μεταξύ των ινών. Το υλικό της μήτρας μπορεί να είναι μέταλλο, πολυμερές, άνθρακας ή κεραμικό.

Στις συνήθεις κατασκευές χρησιμοποιούνται δύο είδη ρητινών σαν πολυμερή μήτρες, οι θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες (thermosetting resins), οι οποίες σκληραίνουν μόνιμα κατά την διάρκεια της διαδικασίας πολυμερισμού και σκλήρυνσης και οι θερμοπλαστικές ρητίνες (thermoplastic resins) που είναι πολυμερή, τα οποία σε αυξημένες θερμοκρασίες συνήθως 150-200°C μαλακώνουν και μπορεί να μορφοποιηθούν.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της ρητίνης είναι οι μηχανικές ιδιότητες, η συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες και σε συνθήκες πυρκαγιάς κ.α.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, η μήτρα αναλαμβάνει αμελητέο ποσοστό του φορτίου, αλλά ο ρόλος της είναι πολύ σημαντικός στα σύνθετα υλικά και έγκειται στα εξής:

- Συγκρατεί τις ίνες στην επιθυμητή διεύθυνση και θέση
- Εξασφαλίζει την μεταφορά των φορτίων στις ίνες
- Προστατεύει τις ίνες από εξωτερικούς παράγοντες που μπορεί να τις φθείρουν
- Καθορίζει αρκετές από τις μηχανικές ιδιότητες των συνθέτων υλικών (διατμητική, θλιπτική αντοχή κάθετα στην διεύθυνση των ινών). (6,7,11,26,27)



Σχήμα 20. Σύνθετα υλικά

4.4 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Η ενσωμάτωση πρόσθετων στοιχείων στα πολυμερή υλικά προσθέτει σε αυτά πολύ χρήσιμες ιδιότητες.

Ο όρος πρόσθετα υλικά αναφέρεται σε εκείνα τα υλικά που διασπείρονται μέσα στο πολυμερές χωρίς να προκαλέσουν σημαντική αλλαγή στη δομή του.

Από τα υλικά αυτά εξαιρούνται οι καταλύτες, τα μέσα σκλήρυνσης και άλλα υλικά που προκαλούν αλλαγές στη δομή του πολυμερούς.

1. Πρόσθετα που τροποποιούν τις μηχανικές ιδιότητες
 - A/ Πλαστικοποιητές
 - B/ Εγκλείσματα
 - Γ/ Μέσα δυσκαμψίας
2. Πρόσθετα που τροποποιούν τις ιδιότητες επιφανείας
3. Πρόσθετα για τη μείωση του κόστους
 - A/ Διαλύτες
 - B/ Κοκκώδη εγκλείσματα
4. Πρόσθετα που βοηθούν την διεργασία παραγωγής
 - A/ Σταθεροποιητές
 - B/ Λιπαντικά
 - Γ/ Θιξοτροπικά μέσα
5. Πληρωτικά υλικά

4.41. ΠΛΗΡΩΤΙΚΑ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Συνήθως, χρησιμοποιούνται κοκκώδη πληρωτικά υλικά όπως η κονιοποιημένη κυτταρίνη, το άμυλο, το κονιοποιημένο ελαστικό, ο κοκκώδης άνθρακας, η άμμος, οι άργιλοι, οξειδία μετάλλων, ανθρακικό ασβέστιο, γυαλί κ.ά.

Πίνακας 7. Πληρωτικά υλικά πολυμερών.

Κοκκώδη οργανικά	Κοκκώδη ανόργανα		Ινώδη οργανικά	Ινώδη ανόργανα
Ξυλάλευρο Φελλός Κελύφη καρπών Άμυλο Άνθρακας Πρωτεΐνες	Γυαλί CaCO ₃ Αλουμίνα Οξείδιο Βηρυλλίου Οξείδιο σιδήρου Μαγνησία MgCO ₃ Πυριτικά Πυριτικό βάριο Ανθρακικό Πυρίτιο	TiO ₂ ZnO Ζιρκόνια Ενυδατωμένη Αλουμίνα Οξείδιο Αντιμονίου Σκόνη μετάλλων SiO ₂ Τιτανικό κάλιο Άργιλοι Δισουλφίδιο Μολυβενίου	Κυτταρίνη Μαλλί Άνθρακας Αραμιδική ίνα Naylon Πολυεστέρας	Αμίαντος Γυαλί Ίνες μετάλλου Τιτανικό Κάλιο Βόριο Αλουμίνα Μέταλλα CaSO ₄

4.42. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΟΝΙΟΜΟΡΦΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ

1. Αναμειξιμότητα και κινητικότητα των πρόσθετων υλικών

Στην προσπάθεια να βελτιωθεί κάποια ιδιότητα ενός συνθέτου, μέσω της προσθήκης ενός πρόσθετου υλικού, μπορεί προκληθεί μη επιθυμητή υποβάθμιση άλλων ιδιοτήτων του υλικού. Γι' αυτό η τελική επιλογή του πρόσθετου υλικού μπορεί να επηρεάσει την τελική λειτουργία του συνθέτου υλικού.

Η σωστή διαδικασία ενσωμάτωσης του πρόσθετου στην μήτρα του πολυμερούς επηρεάζει την λειτουργία του. Η αναμειξιμότητα επηρεάζεται από την μοριακή έλξη μεταξύ πρόσθετου και πολυμερούς να επηρεάζονται από την μοριακή έλξη σε μοριακό επίπεδο.

2. Μετανάστευση και κατανάλωση των πρόσθετων υλικών.

Τα υλικά, τα οποία προστίθενται δεν πρέπει να εξαερώνονται από την μήτρα, ούτε να εκρέει στην επιφάνεια της μήτρας. Το πρόσθετο υλικό πρέπει να έχει μια χαμηλή τάση ατμών σε μεγάλες θερμοκρασίες και δεν πρέπει να καθιζάνει ή να κρυσταλλοποιείται έξω από την μήτρα αφήνοντας κατάλοιπα. Επίσης το πρόσθετο δεν πρέπει να εκχυλίζεται από υγρά, τα οποία μπορεί να έλθουν σε επαφή με την μήτρα.

Ανόργανα και αδιάλυτα πρόσθετα δεν εμφανίζουν το φαινόμενο της εκχύλισης, ενώ πρόσθετα, όπως πλαστικοποιητές μικρού μοριακού βάρους, μπορεί να εκρεύσουν στην επιφάνεια.

3. Τοξικότητα των πρόσθετων υλικών

Ειδικά για πολυμερή, τα οποία πρόκειται να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα, ισχύουν ειδικές διατάξεις σχετικά με τα πρόσθετα αυτών των πολυμερών.

4.5. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΙΝΩΝ ΜΗΤΡΑΣ

Η επίδραση των διεπιφανειών στις θερμικές, μηχανικές ή ηλεκτρικές ιδιότητες των συνθέτων υλικών είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η φύση της διεπιφάνειας παίζει καθοριστικό ρόλο για τις ιδιότητες του σύνθετου υλικού είτε έχουμε συνεχείς ή κοντές ίνες είτε σωματίδια αλλά σε κάθε περίπτωση ο ακριβής ρόλος της διεπιφάνειας είναι διαφορετικός.

Στη διεπιφάνεια μεταξύ της ενίσχυσης και της ρητίνης υπάρχει μία ασυνέχεια στην χημική φύση, την κρυσταλλική και μοριακή δομή, τις μηχανικές και άλλες φυσικές ιδιότητες.

Η διεπιφάνεια είναι ο πρωτεύων παράγοντας αντοχής στην θραύση σύνθετων υλικών. Γενικά, σύνθετα υλικά με ασθενείς διεπιφάνειες έχουν μικρή αντοχή και σκληρότητα, αλλά μεγάλη αντίσταση στην θραύση, ενώ υλικά με ισχυρές διεπιφάνειες έχουν μεγάλη αντοχή και σκληρότητα, αλλά είναι ψαθυρά.

Η φύση της σύνδεσης μεταξύ της πολυμερικής μήτρας και της ίνας εξαρτάται από την ατομική διευσθέτηση και τις χημικές ιδιότητες της ίνας αλλά και τη μοριακή διευσθέτηση και χημική σύσταση της πολυμερικής μήτρας.

Η σύνδεση των δύο επιφανειών αποδίδεται σε πέντε κυρίως μηχανισμούς, οι οποίοι μπορούν να συμβαίνουν στην διεπιφάνεια είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμούς.

Οι μηχανισμοί αυτοί είναι:

- Συνάφεια / διαβροχή

Στην περίπτωση δύο στερεών επιφανειών σε επαφή, η φυσική τραχύτητα σε μικροκλίμακα εμποδίζει την πλήρη επαφή τους, εκτός από μεμονωμένες θέσεις. Επίσης στις επιφάνειες επικάθονται ξένες ουσίες, ροφημένα αέρια, καθώς και χημικές επιφανειακές ενώσεις. Το πρόβλημα αυτό είναι έντονο στα σύνθετα υλικά που ενισχύονται με ίνες. Η επιφάνεια των ινών θα πρέπει να διαβραχεί από την πολυμερική ίνα και να καλυφθούν οι λόφοι και οι κοιλάδες της διεπιφάνειας.

- Διάχυση

Η αμοιβαία διάχυση μορίων της επιφάνειας ενός πολυμερούς μέσα στο μοριακό πλέγμα δημιουργεί δεσμούς που εξαρτώνται από την εμπλοκή των μοριακών αλυσίδων και τον αριθμό των μορίων που συμμετέχουν. Στην αμοιβαία διάχυση οφείλεται ο σύνδεσμος μεταξύ ινών και πολυμερούς, όταν οι ίνες έχουν προδιαποτισθεί με ρητίνη πριν ενσωματωθούν στην πολυμερική μήτρα.

- Ηλεκτροστατική έλξη

Δυνάμεις έλξης μεταξύ δύο επιφανειών εμφανίζονται όταν η μία επιφάνεια έχει θετικό ηλεκτρικό φορτίο και η άλλη αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο.

- Χημικός δεσμός

Τέτοιου είδους σύνδεση επιτυγχάνεται όταν υπάρχει κατάλληλη ομάδα στην μία επιφάνεια που είναι δυνατόν να σχηματίσει χημικό δεσμό με αντίστοιχη ομάδα της άλλης επιφάνειας.

- Μηχανική συνοχή

Μια ρητίνη, η οποία διαβρέχει πλήρως την επιφάνεια της ίνας, ακολουθεί κάθε λεπτομέρεια αυτής της επιφάνειας. Η ισχύς της διεπιφάνειας σε τάση μπορεί να μην είναι μεγάλη, γιατί εξαρτάται από τον τρόπο που η ρητίνη έχει αγκιστρωθεί στην επιφάνεια. Η

αντοχή σε διάτμηση όμως μπορεί να είναι μεγάλη γιατί εξαρτάται από τον βαθμό τραχύτητας της επιφάνειας της ίνας. Σημαντικό ρόλο παίζουν και οι εσωτερικές τάσεις που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια της παραγωγής και διαμόρφωσης των συνθέτων υλικών. Κατά την σκλήρυνση των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών μπορεί να συμβεί συρρίκνωση στην διεπιφάνεια ή τάσεις διάτμησης ή επιμήκυνσης. Κατά την διάρκεια του εμποτισμού το διαλυμένο πολυμερές δημιουργεί ένα οριακό στρώμα στην επιφάνεια της ίνας με πάχος που εξαρτάται από τις μοριακές αλυσίδες του πολυμερούς και την ισχύ των ενδομοριακών δεσμών μεταξύ ατόμων ή ομάδων ατόμων του πολυμερούς. Στην διεργασία αυτή, η οποία στην ουσία είναι ρόφηση του πολυμερούς, αναπτύσσεται μία δυναμική ισορροπία κατά την οποία τα τμήματα των αλυσίδων του πολυμερούς καλύπτουν βαθμηδόν την επιφάνεια. Η ισχύς των επιδράσεων ποικίλει από τις ασθενείς τύπου Van der Waals δυνάμεις μέχρι δυνάμεις χημορρόφησης, που είναι ισοδύναμες με δυνάμεις χημικών δεσμών.

- Έλεγχος της διεπιφάνειας
Ο έλεγχος της διεπιφάνειας μπορεί να γίνει είτε με χρήση καταστροφικών δοκιμών, είτε με τη χρήση μη καταστροφικών δοκιμών. Μη καταστροφικές δοκιμές (NTD), οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των μη καταστροφικών δοκιμών, είναι η μέθοδος των υπερήχων, η μέθοδος υπέρυθρης φωτογράφισης, απλές ακουστικές μέθοδοι.(18,21,22)

4.6. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΙΝΕΣ

Οι ιδιότητες των συνθέτων υλικών ενισχυμένων με ίνες προβλέπονται από τον κανόνα των μιγμάτων.

Έτσι η πυκνότητα ενός σύνθετου υλικού ενισχυμένων με ίνες δίνεται από τη σχέση:

$$P_c = F_m * P_m + F_f * P_f$$

όπου m και f αναφέρονται στην μήτρα και στις ίνες αντίστοιχα.

Ομοίως ο κανόνας των μιγμάτων προβλέπει την ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα των συνθέτων αυτών υλικών κατά μήκος των ινών αν αυτές είναι ομοιοπροσανατολισμένες και συνεχείς:

$$K_c = F_m * K_m + F_f * K_f$$

$$\Sigma_c = F_m * \Sigma_m + F_f * \Sigma_f$$

όπου K και Σ η θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, αντίστοιχα.

Η παραμόρφωση του σύνθετου υλικού κατά την διεύθυνση των ινών και η ιδανική σύνδεση των δύο υλικών συνεπάγεται ότι:

$$\epsilon_c = \epsilon_m = \epsilon_f$$

Όσον αφορά στο μέτρο ελαστικότητας αυτό μπορεί να προβλεφθεί ικανοποιητικά από τον κανόνα των μιγμάτων όταν το φορτίο εφαρμόζεται παράλληλα σε ομοιοπροσανατολισμένες και συνεχείς ίνες:

$$E_c = F_m * E_m + F_f * E_f$$

Αν το μέτρο ελαστικότητας των ινών είναι πολύ μεγαλύτερη από το μέτρο ελαστικότητας της μήτρας, όπως συνήθως συμβαίνει στην πράξη, τότε η ελαστικότητα καθορίζεται από τις ίνες εκτός και αν το κλάσμα του όγκου είναι πολύ μικρό.

Αν το εφαρμοζόμενο φορτίο είναι πολύ μεγάλο το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$E_c = F_f * E_f$$

Ένα χαρακτηριστικό των σύνθετων υλικών είναι ότι στα υλικά αυτά η δυσκαμψία δεν μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Η συμπεριφορά αυτή είναι σημαντικά διαφορετική από εκείνη του χάλυβα.

Αν το φορτίο είναι κάθετο στις ίνες κάθε στοιχείο δρα ανεξάρτητο από το άλλο. Ισχύει τότε η τάση στην μήτρα και στις ίνες ότι είναι ίδια. Το μέτρο ελαστικότητας τότε είναι:

$$1/E_c = F_m/E_m + F_f/E_f$$

Η παραμόρφωση του πλέγματος είναι ένας από τους κύριους παράγοντες για την μείωση της αντοχής του σύνθετου υλικού.

Σαν αποτέλεσμα η αντοχή είναι πάντα μικρότερη από αυτή που προβλέπεται από τον κανόνα των μιγμάτων.

Η αντοχή εφελκυσμού είναι σημαντικό πρόβλημα κατά τον σχεδιασμό των στρώσεων συνθέτων υλικών και είναι συχνά η αιτία αστοχίας.

Η αντοχή εφελκυσμού εξαρτάται από το πόσο καλή είναι η διεπιφανειακή σύνδεση μεταξύ ινών και μήτρας. Λόγω του νόμου των μιγμάτων για τις ίνες και τη μήτρα έχουμε:

$$\Sigma t = \Sigma f V_f + \Sigma f (1 - V_f)$$

Το τι θα συμβεί εξαρτάται από το κλάσμα όγκου των ινών και από το αν η παραμόρφωση θραύσης της ίνας E_f είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την παραμόρφωση θραύσης της μήτρας. Εάν η παραμόρφωση θραύσης της ίνας είναι μεγαλύτερη από την παραμόρφωση θραύσης της μήτρας και ο όγκος των ινών V_f είναι μεγάλος, τότε οι ίνες παραλαμβάνουν το μεγαλύτερο φορτίο μέχρι $\Sigma t = \Sigma f * V_f$. (1,2,7,30)

4.61. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η ανισοτροπικότητα των σύνθετων υλικών οδηγεί σε χαρακτηριστικά μηχανικής συμπεριφοράς που είναι διαφορετικά από εκείνα των συμβατικών ισοτροπικών υλικών, όπως είναι τα μέταλλα.

Στα ανισοτροπικά υλικά η εφαρμογή μιας ορθής τάσης οδηγεί όχι μόνο σε έκταση κατά την διεύθυνση της τάσης, αλλά και συστολή κατά την κάθετη προς αυτήν και σε διατμητική παραμόρφωση.

Οι υψηλές αντοχές σε ένα σύνθετο υλικό εμφανίζονται στον άξονα της ενίσχυσης για το λόγο αυτό θα πρέπει να είναι με ακρίβεια γνωστές οι διευθύνσεις των τάσεων και το σύνθετο να προσανατολίζεται κατάλληλα.

Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την μηχανική συμπεριφορά των σύνθετων υλικών είναι οι εξής:

- *Λόγος λεπτότητας ή λόγος προσανατολισμού*

Οι διαστάσεις των ινών χαρακτηρίζονται από το λόγο L/D , όπου L το μήκος της ίνας και D η διάμετρος της ίνας. Η ψαθυρότητα των ινών συχνά οφείλεται συχνά σε επιφανειακές ατέλειες. Κάνοντας τη διάμετρο όσο το δυνατόν μικρότερη, η ίνα έχει μικρότερη επιφάνεια και άρα λιγότερες από αυτές τις ατέλειες που μπορεί να είναι η αιτία έναρξης ρωγμής λόγω ψαθυρότητας.

Το μήκος των ινών παίζει και αυτό ρόλο στην αντοχή φορτίων εφόσον μακριές ίνες αντέχουν μεγαλύτερο φορτίο.

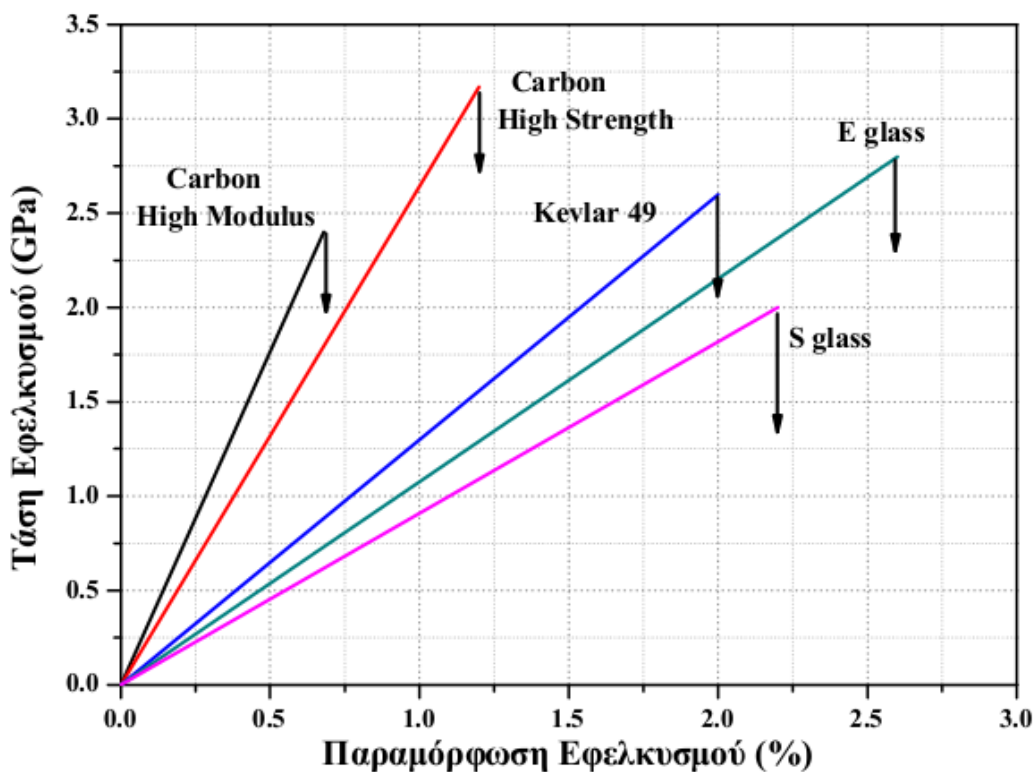
- *Κλάσμα όγκου των ινών*

Μεγαλύτερο κλάσμα όγκου ινών θεωρητικά βελτιώνει την αντοχή και ανελαστικότητα του σύνθετου υλικού. Ωστόσο έχει παρατηρηθεί ότι η αύξηση της αναλογίας ινών σε σύνθετο υλικό δεν αυξάνει αυτόματα τις αντοχές του γιατί η ρητίνη δεν καλύπτει πλήρως τις ίνες.

- *Προσανατολισμός των ινών*

Τυχαίες προσανατολισμένες ίνες με μικρό λόγο προσανατολισμού μπορούν να δίνουν ιστροπική συμπεριφορά αλλά δεν επιτυγχάνονται τις βέλτιστες μηχανικές ιδιότητες.

Όπως ήδη ειπώθηκε, χρησιμοποιώντας ομοιοπροσανατολισμένες ίνες, η βέλτιστη αντοχή μπορεί να επιτευχθεί εάν το φορτίο είναι παράλληλο με τις ίνες, ενώ οι ιδιότητες αυτές θα είναι αρκετά μικρότερες εάν το φορτίο είναι κάθετο στην διεύθυνση των ινών. (1,2,7,30)



Σχήμα 21. Τάση εφέλκυσμού και παραμόρφωση εφέλκυσμού διαφόρων ινών

4.62. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η κύρια αιτία που οδηγεί σε αστοχία ένα υλικό εκτός από τη φθορά και τη διάβρωση είναι η παραμόρφωση με την οποία μεταβάλλεται το σχήμα ενός υλικού.

Ένα είδος μηχανικής αστοχίας το οποίο εμφανίζεται στα σύνθετα υλικά είναι η αποκόλληση, η οποία εμφανίζεται στις επιφάνειες των συνθέτων υλικών.

Σαν αποτέλεσμα, όταν τα υλικά αυτά βρεθούν κάτω από κρίσιμο συνδυασμό εντατικών πιέσεων και καταστάσεων να προκύπτει διάρρηξη του δεσμού πρόσφυσης και κατά συνέπεια να αποτελούν εστίες εκκίνησης ρωγμών.

Ανάλυση αστοχίας στα σύνθετα υλικά

Στα σύνθετα υλικά οι κύριες αιτίες της αστοχίας των υλικών είναι:

- Σπάσιμο των ινών
- Αποκόλληση των ινών (δηλαδή διαχωρισμός των ινών και της μήτρας).
- Μικρορωγμές στην πολυμερή ίνα.
- Αποφλοιώση πολυστρωματικών υλικών.

Οι τρόποι αστοχίας των σύνθετων υλικών μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικούς τύπους:

- Αστοχία εντός του στρώματος (Interlaminar)
- Αστοχία μεταξύ διαδοχικών στρωμάτων (Intralaminar)
- Αστοχία, η οποία διατρέχει το μέγιστο μέρος ή το σύνολο των στρωμάτων (Translaminar)

Σπάσιμο των ινών

Στην αρχή οι ίνες είναι ανέπαφες. Εάν καταπονηθούν σημαντικά κοντά στην άκρη της ρωγμής οι ίνες θα σπάσουν. Αμέσως πίσω από την ρωγμή οι ίνες θα βγουν έξω από τη μήτρα. Η πίεση κοντά στην άκρη της ρωγμής μπορεί να ωθήσει τις ίνες να ξεκολλήσουν από την μήτρα πριν σπάσουν. Στα μεταλλικά υποστρώματα η πλαστική παραμόρφωση απαιτεί σημαντική ενέργεια και έτσι είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί.

Αποκόλληση των ινών

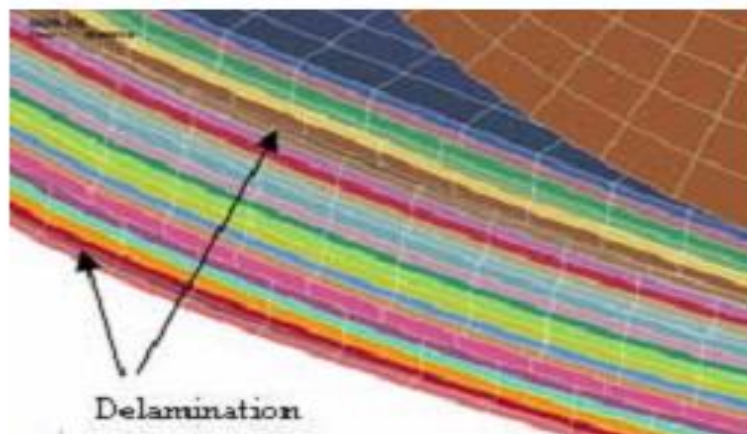
Η κακή πρόσφυση μεταξύ ίνας και μήτρας έχει σαν αποτέλεσμα την αποκόλληση των ινών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, διάφοροι μέθοδοι για την βελτίωση της πρόσφυσης μεταξύ ίνας και μήτρας.

Μικρορηγιμάτωση πολυμερούς ίνας

Οι μικρορωγμές της μήτρας είναι πολύ συχνό φαινόμενο, το οποίο υποβαθμίζει τις θερμομηχανικές ιδιότητες του υλικού. Μια ακόμη αρνητική επίπτωση των μικρορωγμών είναι η θραύση των ινών, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν οδούς για την είσοδο των διαβρωτικών υγρών μέσα στο υλικό.

Αποφλοιώση πολυστρωματικών υλικών

Η αποφλοιώση πολυστρωματικών υλικών ευρίσκεται στην κορυφή των χειρότερων καταστάσεων για ένα σύνθετο υλικό γιατί μπορεί να υποβαθμίσει τόσο πολύ τις ιδιότητες του, ώστε να το καταστήσει χωρίς καμία χρησιμότητα για τις εφαρμογές που προορίζεται. Ο διεπιφανειακός διαχωρισμός που προκαλείται από την αποκόλληση μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρο λυγισμό, διείδυση υγρασίας, δυσκαμψία. Η αποκόλληση οφείλεται στην ανάπτυξη σημαντικών διατμητικών τάσεων στην επιφάνεια υποστρώματος και οφείλεται κυρίως στην μικρή διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας. Η αστοχία αυτή είναι ψαθυρής μορφής. Η αντοχή της διεπιφάνειας εξαρτάται από την αντοχή της ρητίνης και από την πρόσφυση.



Σχήμα 22. Αποφλοϊώση σύνθετου υλικού (delamination)

Για τη βελτίωση των ιδιοτήτων των συνθέτων υλικών σε διάφορες συνθήκες φόρτισης χρησιμοποιούνται πολλαπλές στρώσεων συνεχείς ίνες, με κάθε στρώμα να έχει διαφορετικό προσανατολισμό ή με την παραγωγή υφασμάτων (από ίνες) στα οποία οι διαφορετικοί προσανατολισμοί των ινών οφείλονται στην πλέξη του υφάσματος.

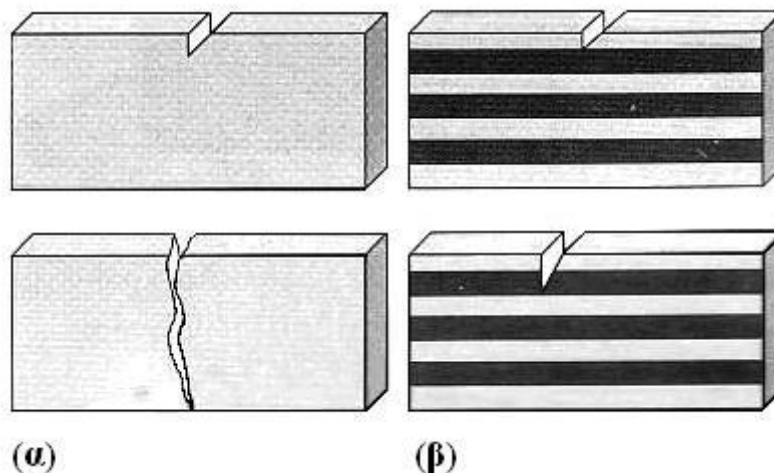
Αν το φορτίο είναι σε μία διεύθυνση τότε οι ίνες πρέπει να προσανατολισθούν παράλληλα με το φορτίο. Αν το υλικό φορτίζεται από δύο κατευθύνσεις τότε δημιουργείται ορθογώνιο σχήμα ινών. Ίνες μπορεί να προστεθούν και σε άλλες διευθύνσεις για να αντέξει το σύνθετο υλικό και σε επιπρόσθετες υψηλές πιέσεις.

Παρόλο που η ανελαστικότητα και η αντοχή μειώνονται σε σχέση με αυτές των ομοιοπροσανατολισμένων ινών οι ιδιότητες γίνονται πιο ομοιογενείς και το σύνθετο είναι πιο ικανό να αντέξει τις καταπονήσεις ιδιαίτερα στο επίπεδο που περιέχονται οι ίνες.

Τα σύνθετα υλικά έχουν γενικά μικρότερη δυσκαμψία από τα μεταλλικά υλικά. Επειδή όμως είναι ταυτόχρονα και πολύ πιο ελαφριά από τα μέταλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελάσματα μεγαλύτερου πάχους. Ένα μεταλλικό έλασμα θα μεταβεί από την ελαστική στην πλαστική συμπεριφορά και θα καταρρεύσει ολόκληρο.

Στα πολύστρωτα ελάσματα θα αστοχεί κάθε φορά και από μία στρώση, προκαλώντας στα ενδιάμεσα στάδια αλλαγές στην αντοχή και στην δυσκαμψία, οδηγώντας τελικά σε αστοχία.

Στα υλικά αυτά θα δημιουργηθούν πριν την κατάρρευση ρωγμές στις στρώσεις.



Σχήμα 23. Ρωγμές στις στρώσεις σύνθετου υλικού

Στα σύνθετα υλικά περισσότερο διαδεδομένη είναι η αστοχία μεταξύ δύο διαδοχικών στρώσεων (αποκόλληση delamination), η οποία μπορεί να διατηρήσει σε κάποιο βαθμό την ακεραιότητα του υλικού.

Στα μέταλλα συνήθως θα δημιουργηθεί μία ρωγμή, η οποία τελικά θα προκαλέσει την αστοχία του υλικού.

Τα σύνθετα υλικά δεν έχουν όριο διαρροής αλλά συμπεριφέρονται σχεδόν ελαστικά (στην πλειοψηφία των περιπτώσεων) μέχρι την θραύση.

Η αντοχή σε δυσκαμψία ενός σύνθετου υλικού είναι διαφορετική όταν αυτό φορτίζεται σε εφελκυσμό, θλίψη ή κάμψη.

Η αστοχία από κόπωση στα σύνθετα υλικά εμφανίζεται προοδευτικά αρχίζοντας με αποκόλληση των ινών από τη μήτρα ακολουθούμενη από ρηγμάτωση της μήτρας.

Οι ρωγμές στην συνέχεια διαδίδονται παράλληλα με τις ίνες μέχρι να αδυνατίσει το υλικό, ώστε να σπάσουν οι ίνες.

Τα χαρακτηριστικά κόπωσης των σύνθετων υλικών θα πρέπει να σημειωθεί ότι είναι πολύ βελτιωμένα σε σχέση με εκείνα των μετάλλων.

Οι αρχικές ατέλειες στα σύνθετα υλικά (σπασμένες ίνες αποχωρισμός στρώσεων, ρηγμάτωση ρητίνης, αποκόλληση ινών, μπορούν να είναι πολύ μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στα μέταλλα(ρωγμές) αλλά η ανάπτυξη της βλάβης (διάδοση ρωγμής)στα μέταλλα είναι πολύ πιο απότομη και συνεπώς εν δυνάμει πολύ πιο επικίνδυνη από ότι στα σύνθετα υλικά.

Τα κυριότερα μεγέθη που εξετάζονται για τη διάδοση μιας ρωγμής μέσα στο σύνθετο υλικό είναι η ενέργεια θραύσης, καθώς και ο συντελεστής έντασης τάσεων. Τα μεγέθη αυτά δεν είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία ρωγμών παρά μόνο για τη διάδοσή τους. Στις εποξικές και πολυεστερικές ρητίνες η ενέργεια θραύσης και η αντίσταση στη διάδοση των ρωγμών είναι σε σχέση με άλλα υλικά σε χαμηλά επίπεδα. Με την προσθήκη κόκκων σε αυτές τις μήτρες η αντίσταση τους στην διάδοση των ρωγμών αρχίζει να αυξάνεται. Αιτία των αυξήσεων αυτών είναι ότι οι κόκκοι παρεμβαίνουν στο μέτωπο της ρωγμής και δυσκολεύουν την διάδοσή της.

Αρχικά το μέτωπο της ρωγμής συναντά τους κόκκους, οι οποίοι δημιουργούν ισχυρές επιφάνειες και ακινητοποιούν τη ρωγμή στα σημεία εκείνα που ευρίσκονται σε επαφή με την επιφάνεια του κόκκου.

Στο δεύτερο στάδιο η ρωγμή αρχίζει να καμπυλώνεται ανάμεσα στους κόκκους και κινείται γύρω από την επιφάνεια των κόκκων.

Στο τρίτο στάδιο η ρωγμή έχει καμπυλωθεί τόσο, ώστε να έχουμε τον σχηματισμό ενός νέου μετώπου πίσω από την σειρά των κόκκων.

Σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση του σύνθετου υλικού αποτελεί και ο βαθμός σκλήρυνσης της μήτρας. Η αύξηση των ιδιοτήτων της μήτρας οδηγεί σε αύξηση των ιδιοτήτων του σύνθετου υλικού.

Το φαινόμενο αυτό δεν είναι αναλογικό και συγκεκριμένα απαιτείται μεγάλη αύξηση των ιδιοτήτων της μήτρας με σκοπό τη μικρή βελτίωση στα χαρακτηριστικά του συνθέτου.

Ο βαθμός σκλήρυνσης ενός συνθέτου υλικού και ο βαθμός συγκόλλησης μεταξύ των διαδοχικών φύλλων pre-preg επηρεάζουν δραματικά την συμπεριφορά του κατά την κρούση. Πολλές λεπτές στρώσεις ενισχύσεων είναι καλύτερες από λίγες στρώσεις μεγάλου πάχους. Οι αραμιδικές ίνες εμφανίζουν τις καλύτερες ιδιότητες στην κρούση.

Τα σύνθετα υλικά εμφανίζουν υψηλές αντοχές αντοχών σε κρούση έναντι πολλών μετάλλων και κραμάτων με συνέπεια να αντέχουν περισσότερο στην πιο απαιτητική δομή κρούσης που είναι η βαλλιστική κρούση.

Όσον αφορά την συμπεριφορά των συνθέτων υλικών υπό την επίδραση της θερμοκρασίας, παρατηρείται ότι αυτά διατηρούν και μερικές φορές αυξάνουν σημαντικά την αντοχή και την δυσκαμψία τους σε χαμηλές θερμοκρασίες (μέχρι 50°C).

Σε υψηλές θερμοκρασίες, η δυσκαμψία και η αντοχή αποτελούν ένα πρόβλημα, καθώς μόνο οι φαινολικές ρητίνες φαίνεται να παρουσιάζουν μια σταθερή με ελαφρά πτωτική τάση, τη στιγμή που οι ιδιότητες των πολυεστερικών ρητινών πέφτουν κατακόρυφα σε θερμοκρασίες άνω των 100°C.

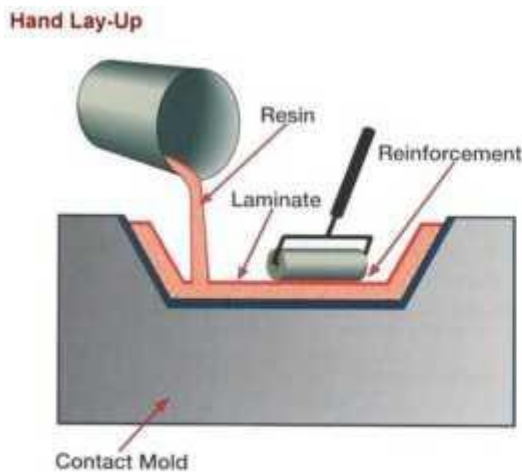
Οι ίνες άνθρακα διατηρούν το μεγαλύτερο μέρος της αντοχής τους και της δυσκαμψίας τους σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 1000°C. Η αντοχή των αραμιδικών μειώνεται περίπου 60% στους 300°C. (1,2,7,30)

4.7. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

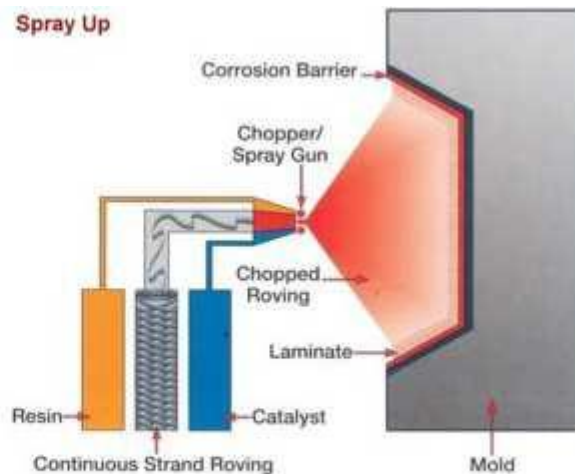
Η κατασκευή χυτών αντικειμένων από σύνθετο υλικό με μήτρα από θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές περιλαμβάνει την επιλογή της ρητίνης, την διαπότιση της ίνας οπλισμού με αυτή και την μορφοποίηση με ταυτόχρονη σκλήρυνση, καθώς επίσης και ενδεχόμενη μετεπεξεργασία.

Πολυμερή με ίνες άνθρακα κατασκευάζονται με:

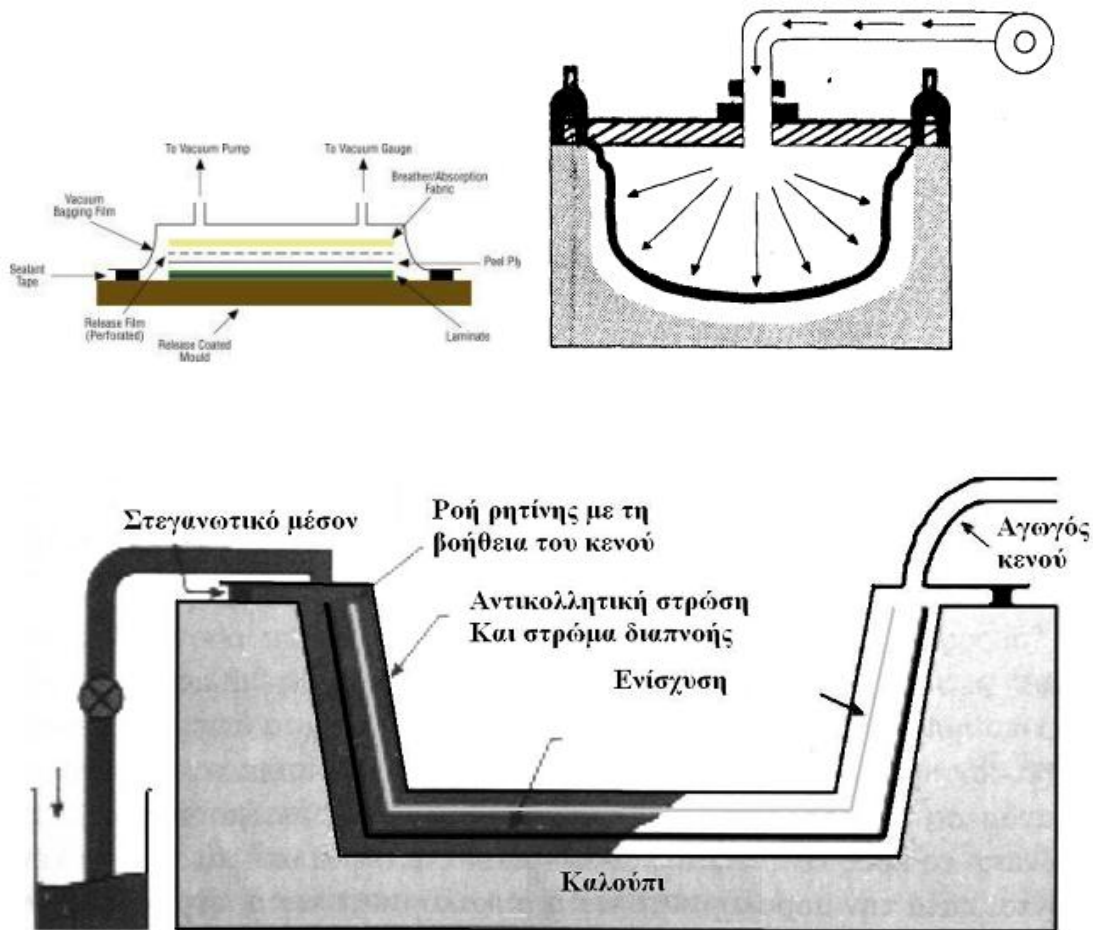
- A/ Πολύστρωση δια χειρός
- B/ Ψεκασμός ινών –ρητίνης
- Γ/ Χαμηλή πίεση
- Δ/ Μεθόδους υψηλών πιέσεων
- E/ Μεθόδους περιτυλίξεως
- ΣΤ/ Μεθόδους περιστροφικής μορφοποίησης
- Z/ Μεθόδους διαμόρφωσης κατανομής
- H/ Συνεχή πολυστρωμάτωση



(α)



(β)



Σχήμα 24. Παρασκευή χυτών αντικειμένων από σύνθετα υλικά

Τεχνικές πολυστρώσεως, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παρασκευή συνθέτων υλικών είναι:

- Το υγρό θερμοπρεσσάρισμα (για ρητίνες χαμηλού ιξώδους χωρίς την χρησιμοποίηση διαλύτη)
- Το ξηρό θερμοπρεσσάρισμα των pre-preg
- Περιτύλιξη των ινών
- Επίστρωση με το χέρι

Στην επίστρωση με το χέρι οι ενισχυτικές ίνες τοποθετούνται στην επιφάνεια του καλούπιού και διαβρέχονται με ένα υγρό πολυμερές

- Επίστρωση με ψεκασμό

Στην επίστρωση με ψεκασμό η ίνα ψεκάζεται με την ρητίνη, τον απαραίτητο καταλύτη και τον επιταχυντή από πιστόλι ψεκασμού. Το μίγμα μορφοποιείται στην τελική του κατάσταση πιεζόμενο με ρολούς στο χέρι.

Η επίστρωση αρχίζει συνήθως με την εφαρμογή μιας εξωτερικής επικάλυψης από ρητίνη (gel coat), η οποία εναποτίθεται στο καλούπι με ψεκασμό ή πινέλο.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την διαδικασία αυτή πολλά πρόσθετα και να παραχθούν προϊόντα, όπως θαλάσσια σκάφη, δεξαμενές.

- Μορφοποίηση με πίεση

Η μορφοποίηση με πίεση αντικαθιστά την ατμοσφαιρική πίεση με πίεση αέρα ή υγρών με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται μεγαλύτερες υψηλότερες πιέσεις και επομένως μεγαλύτερο περιεχόμενο σε ίνες και μικρότερος όγκος κενών. Επίσης με την βοήθεια της θερμότητας επιτυγχάνεται η επιτάχυνση του πολυμερισμού και της πλήρης σκλήρυνσης του συνθέτου υλικού, η οποία οδηγεί στην πλήρη ανάπτυξη της ίνας σε αντοχή και δυσκαμψία.

Οι κυριότερες μέθοδοι μορφοποίησης με πίεση είναι:

A/ Μορφοποίηση με σάκο κενού

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή ένα ελαστικό διάφραγμα τοποθετείται επάνω από το καλούπι και το μη σκληρυμένο ακόμη πολύστρωτο. Στην συνέχεια αναρροφάται ο αέρας από τον χώρο κάτω από το διάφραγμα έτσι, ώστε το πολύστρωτο να φορτισθεί από την πίεση. Μια παραλλαγή της μεθόδου αυτή είναι η προσθήκη της ρητίνης αφού έχει δημιουργηθεί το κενό.

B/ Μορφοποίηση με ασκό πίεσης όπου αντί να αναρροφάται ο αέρας από τον χώρο κάτω από το διάφραγμα διοχετεύεται αέρας με πίεση στον χώρο πάνω από αυτόν.

Γ/ Μορφοποίηση σε θερμαινόμενο θάλαμο πίεσης

Ο θερμαινόμενος θάλαμος πίεσης χρησιμοποιεί ένα θερμοκρασιακό πρόγραμμα όπου εφαρμόζεται ταυτόχρονα πίεση και θερμοκρασία σε αντικείμενο, το οποίο έχει προέλθει από μορφοποίηση με σάκο κενού.

Δ/ Μέθοδος περιέλιξης ινών

Η κατασκευή πραγματοποιείται τυλίγοντας ίνες γύρω από ένα αξονικό καλούπι, το οποίο καθορίζει την γεωμετρία. Οι ίνες είναι σε μορφή συνεχών πλεξίδων ινών και είτε διαποτίζονται με ρητίνη αμέσως πριν τυλιχθούν στο καλούπι είτε είναι προεμποτισμένες με μερικά στερεοποιημένη ρητίνη. Η σκλήρυνση λαμβάνει χώρα επάνω στο καλούπι ή μέσα στον φούρνο αν απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες

E/ Μέθοδος έκχυσης ρητίνης

Στην περίπτωση όπου απαιτούνται κατασκευές με απόλυτα καθορισμένη γεωμετρία και λείες και ομαλές επιφάνειες ενδείκνυται η χρήση δύο καλουπιών, ενός αρσενικού και ενός θηλυκού. Μία από τις τεχνικές αυτές είναι η μέθοδος έκχυσης ρητίνης (resin injection molding) κατά την οποία αρχικά τοποθετούνται στο ανοικτό καλούπι οι ίνες. Αφού κλείσει το καλούπι η ρητίνη εκχύνεται με πίεση στην ειδικά διαμορφωμένη κοιλότητα.

Η ρητίνη εισέρχεται από το κανάλι έκχυσης και ρέει ανάμεσα από τις ενισχυτικές ίνες προς το κανάλι διαφυγής.

ΣΤ/ Διαμόρφωση με εξολκέα

Η διαμόρφωση με εξολκέα επιτυγχάνει την εξόλκηση θερμοπλαστικού ή θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς πλέγματος γύρω από ίνες για δημιουργία απλών προϊόντων με σταθερή διατομή. Ίνες συνεχείς ή διασταυρούμενες έλκονται από μπομπίνες περνούν από λουτρό ρητίνης για επικάλυψη και συγκεντρώνονται πριν από την εισαγωγή τους σε θερμαινόμενη μήτρα για την διαμόρφωση και την παραγωγή ορισμένου σχήματος.

Z/ Άλλες μέθοδοι

Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή συνθέτων υλικών είναι η μέθοδος μορφοποίησης με ζεύξη μητρών, όπου κοντές ή διασταυρούμενες ίνες τοποθετούνται σε μήτρα δύο τμημάτων και το σχήμα δημιουργείται όταν κλείσει η μήτρα. Άλλη μέθοδος είναι η συνεχής μορφοποίηση ελασμάτων για την παραγωγή φύλλων ή φύλλων με αυλακώσεις.

Μέθοδος προδιαπότισης «pre-preg»

Η μέθοδος προδιαπότισης είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη σήμερα για την μορφοποίηση συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ενίσχυση ινών άνθρακα ή αραμιδικών ινών σε μορφή ταινιών ή φύλλων.

Το pre-preg μπορεί να οριστεί ως ένα σύστημα ινών προμηχανικά έτοιμο προς χύτευση. Είναι μία προκαταρκτική μορφή του σύνθετου υλικού, η οποία αποτελείται από έναν αριθμό παράλληλων ινών διαποτιζόμενο με διάλυμα θερμοσκληρυνόμενης ρητίνης – σκληρυντή. Ο διαλύτης απομακρύνεται στην συνέχεια με θέρμανση και με αυτόν τον τρόπο διαμορφώνεται ένα σχετικά άκαμπτο φύλλο που περιέχει τις ίνες και τη ρητίνη σε κατάσταση μερικής σκλήρυνσης.

Μια τυπική διάταξη αποτελείται από ένα σύνολο κυλίνδρων που οδηγούν την ίνα μέσα από ένα λουτρό διαπότισης, το οποίο περιέχει το διάλυμα ρητίνης σκληρυντή. Στην συνέχεια υπάρχει ο κύλινδρος ή η πλάκα περιτύλιξης των ινών, η οποία προχωρά κάθετα στον άξονα της ίνας με σταθερό βήμα, ώστε να εξασφαλίζει την κατάλληλη απόσταση μεταξύ των παράλληλων ινών και τη δημιουργία φύλλου.

Γενικά, η άνοδος της πίεσης και της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της διεργασίας αυξάνει το ποσό της ρητίνης που διαποτίζει την ίνα, ενώ αύξηση του ρυθμού παραγωγής μειώνει αυτές τις ποσότητες.

Η φάση της διαπότισης μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο έχουμε διαπότιση της ίνας με περίσσεια ρητίνης μέχρι πλήρους κορεσμού.

Στο δεύτερο στάδιο με την εφαρμογή πίεσης, η περίσσεια της ρητίνης που ευρίσκεται επιφανειακά της ίνας απομακρύνεται και στο εξωτερικό της ίνας υπάρχει ελάχιστη ποσότητα ρητίνης.

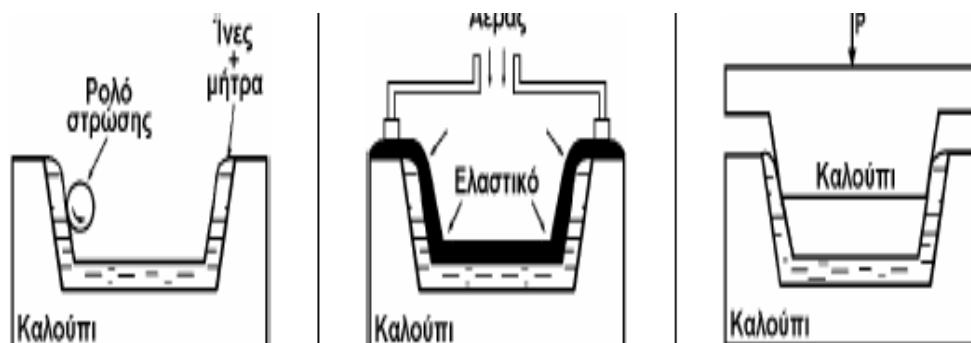
Τέλος, τα φύλλα αφού κοπούν στο κατάλληλο σχήμα τοποθετούνται σε ειδικό καλούπι με πρόσθετη ποσότητα ρητίνης μεταξύ τους για να επέλθει καλύτερη συγκόλληση. Το σύνθετο υλικό σχηματίζεται τελικά με μορφοποίηση υπό πίεση και θερμοκρασία. Οι συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας και χρόνου θερμοπρεσσαρίσματος καθορίζονται από την φύση του υλικού της μήτρας.

Ιδιαίτερη επίδραση στις τελικές ιδιότητες του σύνθετου υλικού έχει ο βαθμός σκλήρυνσης του σύνθετου την στιγμή που θα ξεκινήσει η μορφοποίηση.

Για την παραγωγή συνθέτων υλικών σε βιομηχανική κλίμακα σημαντικό ρόλο παίζει η αποθήκευση του διαποτισμένου σύνθετου υλικού.

Αν το υλικό αποθηκευθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για μεγάλο χρονικό διάστημα τότε θα παρατηρηθεί δημιουργία σταυροδεσμών με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των ιδιοτήτων του υλικού.

Για το λόγο αυτό τα σύνθετα pre-preg υλικά μπορούν να παραμείνουν έτοιμα για χρήση μετά από κατάψυξη. (22)



Σχήμα 25. Σχηματική παράσταση διαμόρφωσης σύνθετων υλικών

4.71. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Σύνθετα υλικά με αραμιδικές ίνες ή ίνες άνθρακα και μήτρα εποξειδική ή φαινολική ρητίνη χρησιμοποιούνται κυρίως στην διαστημική τεχνολογία και στην αεροναυπηγική.

Οι εφαρμογές των δύο τελευταίων κατηγοριών συνθέτων υλικών ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια επεκτείνεται συνεχώς και σε άλλους συμβατικούς τομείς της τεχνολογίας, όπως στις κατασκευές του οικοδομικού τομέα.

Το κυριότερο μειονέκτημα των αραμιδικών ινών και των ινών άνθρακα είναι η υψηλή τιμή τους, η οποία όμως έχει μειωθεί σημαντικά λόγω της βιομηχανικής παραγωγής τους σε αρκετές χώρες.

Σύνθετα υλικά με ανόργανες ίνες, όπως οι ίνες βορίου, είναι σαφώς ακριβότερες σε σχέση με τις αναφερθέντες ίνες, με αποτέλεσμα τον περιορισμό των εφαρμογών τους μόνο σε ειδικές εφαρμογές όπου απαιτούνται ελαφρές κατασκευές και πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Μεγάλη ακαμψία (υψηλό μέτρο ελαστικότητας) και υψηλή αντοχή με μικρό βάρος συνηγορούν υπέρ των ινών άνθρακα και των ινών βορίου.

Μεγάλη αντοχή σε κρούση συνηγορεί υπέρ των αραμιδικών ινών.

4.72. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

A/ Αυτοκινητοβιομηχανία

Τα σύνθετα υλικά έχουν επιτρέψει στην αυτοκινητοβιομηχανία να χαμηλώσουν την καταναλισκόμενη από τα αυτοκίνητα ενέργεια λόγω χαμηλού ειδικού βάρους τους.

Η μη μεγάλη εξάπλωση των σύνθετων υλικών στην αυτοκινητοβιομηχανία οφείλεται κύρια στο υψηλό κόστος τους και στην αντοχή τους σε υψηλές θερμοκρασίες.

Πόρτες, προφυλακτήρες, καπό, αεροτομές, πλαίσια οροφής και γενικά εξωτερικά μέρη του αυτοκινήτου κατασκευάζονται ήδη από σύνθετα υλικά.

Τελευταία η χρήση τους αυξάνεται μες την κατασκευή αεραγωγών, βαλβίδων, γραναζιών, κύρια από φαινολική πολυμερική μήτρα.

Η χρήση σε αυτοκίνητα της Formula 1 συνθέτων υλικών είναι γενικευμένη.

Δομικά πλαίσια, πλαϊνά οροφής, καθίσματα και πατώματα λεωφορείων και τρένων κατασκευάζονται από σύνθετα υλικά φαινόλης ρητίνης λόγω της αντοχής τους σε αυξημένες θερμοκρασίες.



Σχήμα 26. Εφαρμογές συνθέτων υλικών σε αυτοκίνητα

Β/ Ναυπηγική

Μικρά σκάφη, ιστιοπλοϊκά, ταχύπλοα κατασκευάζονται αποκλειστικά από σύνθετα υλικά. Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται και ως υλικά επισκευής σε γέφυρες προβλήτες και αποβάθρες με εξωτερική κάλυψη τσιμέντου.

Όσον αφορά στο μηχανολογικό εξοπλισμό τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται σε προπέλες όπου πλεονεκτούν λόγω βάρους έναντι του χάλυβα και λόγω της μειωμένης γαλβανικής διάβρωσης, καλώδια εξαιτίας της αγωγιμότητας των ινών άνθρακα, σωληνώσεις, αντλίες, βαλβίδες, εναλλάκτες θερμότητας, με στόχο την μείωση του βάρους και την μείωση της διάβρωσης.



Σχήμα 27. Εφαρμογές συνθέτων υλικών στην ναυπηγική

Γ/ Διαστημική

Πολύ μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εφαρμογές των σύνθετων υλικών στην διαστημική τεχνολογία. Μεγάλοι δορυφόροι αποτελούνται από 25% σύνθετα υλικά ινών άνθρακα, τα οποία συνυπάρχουν με άλλα υλικά σε τμήματα των δορυφόρων, όπως ηλιακοί πίνακες, κεραίες μαζί με τις βάσεις τους.

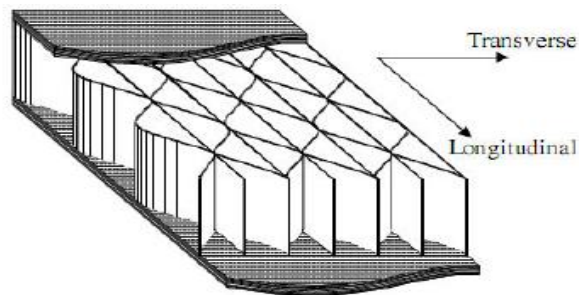
Στους ηλιακούς πίνακες έχουν χρησιμοποιηθεί ίνες εξαιρετικού υψηλού μέτρου ελαστικότητας με συνέπεια την ελάττωση του βάρους των πινάκων αυτών. Επίσης στην κατασκευή των μπροστινών τμημάτων της ατράκτου διαστημικών οχημάτων χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά άνθρακα- άνθρακα λόγω της μεγάλης θερμοκρασιακής αντοχής των ινών και της μήτρας, η οποία μπορεί να υπερβεί τους 3000°C.

Δ/ Αεροναυπηγική

Στην αεροναυπηγική χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις τύποι συνθέτων υλικών:

- Σύνθετα μεταλλικής μήτρας (Al, Mg, Ti, δηλαδή ελαφρά μέταλλα)
- Σύνθετα οργανικής μήτρας και στρωματικά σύνθετα (sandwich)
- Μεταλλικές μήτρες τιτανίου ή μήτρες αλουμινίου ενισχυμένες με διασπορές σωματιδίων ή ίνες SiC είναι από τα πλέον συνηθέστερα σύνθετα υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αεροπλάνων.

Λόγω της ιδιαίτερης κατασκευής και γεωμετρίας, καθώς και της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας οι κατασκευές από υβριδικά σάντουιτς χρησιμοποιούνται ευρέως στην αεροναυπηγική (1,2)



Σχήμα 28. Υβριδικά σάντουιτς για την αεροναυπηγική

Τα ευρωπαϊκά αεροπλάνα πλέον χρησιμοποιούν σε πολύ μεγάλο βαθμό σύνθετα υλικά θερμοσκληρυνόμενης μήτρας εποξειδικής ρητίνης ή φαινολικής ρητίνης.

Στα ελικόπτερα η χρήση σύνθετων υλικών από ίνες άνθρακα ή αραμιδικές είναι πολύ διαδεδομένη στην κατασκευή στροφείων, ατράκτων, και άλλων μερών, ωστόσο η αδυναμία των σύνθετων υλικών σε ορισμένα μηχανικά μέρη του ελικοπτερού περιορίζει τη δυνατότητα ολοκληρωτικής χρήσης στο 50%.

Στα πολεμικά αεροπλάνα όπου η σχέση κόστους για την κατασκευή συνήθως παραβλέπεται η χρήση σύνθετων υλικών από ίνες άνθρακα ή αραμιδικές ίνες ή ίνες βορίου είναι πολύ διαδεδομένη.

Η τάση στην αεροναυπηγική είναι η αύξηση της χρήσης συνθέτων υλικών για την εξοικονόμηση ενέργειας και την ελάττωση του βάρους.

Με τη χρήση μη καταστρεπτικών ελέγχων και την χρήση θερμικής κάμερας είναι δυνατόν να εντοπισθούν τυχόν σφάλματα στις κατασκευές και να τοποθετηθεί μάλωμα σύνθετου υλικού μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο επισκευής.

Αναμένεται πολύ σύντομα η χρήση συνθέτων υλικών με ίνες άνθρακα να αποτελέσουν το 100% της συνολικής μάζας των αεροσκαφών με δεδομένη την περαιτέρω μείωση του κόστους παραγωγής των σύνθετων υλικών, εξ αιτίας νέων καινοτομιών και μεθόδων παραγωγής.

Σήμερα έχει κατασκευασθεί το πρώτο αεροπλάνο 100% από σύνθετα υλικά. Το *Boeing 787 Dreamliner* είναι ό,τι καλύτερο έχει να επιδείξει η αεροναυπηγική βιομηχανία από τεχνολογικής απόψεως και ο βασικός στόχος είναι να μειωθεί σημαντικά το μέσο κόστος ανά πτήση. Η κατασκευή του αποτέλεσε μια πρόκληση για τους μηχανικούς, καθώς ο σχεδιασμός του ξεκίνησε από το μηδέν και έπρεπε να ξεπεραστούν όλα τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν και που σχετίζεται με την κατασκευή, το σχεδιασμό και τη συμπεριφορά του αεροσκάφους σε βάθος χρόνου. Η πρώτη επιβατική πτήση προβλεπόταν να γίνει το τελευταίο τρίμηνο του 2010.



Σχήμα 29. Αεροσκάφος Boeing 787 Dreamliner κατασκευασμένο από 80% σύνθετα υλικά

Το 787 πετάει ήδη με ταχύτητα 0.85 Mach και είναι το πιο γρήγορο στην κατηγορία του αεροπλάνο με την λιγότερη αναλογικά κατανάλωση ενέργειας. Μετακινείται με 20% λιγότερη κατανάλωση καυσίμου ανά επιβάτη.

Οι παραγγελίες έχουν ήδη φτάσει τα 500 αεροπλάνα και είναι το πρώτο επιβατικό αεροπλάνο, το οποίο στην πλειοψηφία του είναι φτιαγμένο από σύνθετα υλικά αντί αλουμινίου.

Ε/ Αθλητισμός

Πολλά όργανα για διάφορα σπορ έχουν κατασκευασθεί από σύνθετα υλικά ινών άνθρακα και αραμιδικών ινών. Στην δεκαετία του 80η μεγαλύτερη ποσότητα ινών άνθρακα καταναλωνόταν για την κατασκευή μπάστουνιων του γκολφ, ρακετών του τένις, κονταριών του επί κοντώ, μπάστουνια και σανίδες του σκι.

Σήμερα η χρήση ινών άνθρακα με εποξειδικές ή φαινολικές ρητίνες για την κατασκευή σκελετών αγωνιστικών αυτοκινήτων και αγωνιστικών ποδηλάτων και μοτοσικλετών έχει αντικαταστήσει την χρήση αλουμινίου.

ΣΤ/Βιομηχανία

Στη χημική βιομηχανία χρησιμοποιούνται ήδη δοχεία, σωλήνες, βαλβίδες και σιλό από σύνθετα υλικά ινών γυαλιού και ρητινών. Σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα τοποθετούνται ως

επιφανειακές επικαλύψεις γιατί είναι πού ανθεκτικά έναντι ισχυρών οξέων και βάσεων, ενώ τέτοιου είδους σύνθετα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή αντιδραστήρων, οι οποίοι θα μπορούν να θερμαίνονται απευθείας λόγω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του επιφανειακού υλικού.

Στην ηλεκτροτεχνία χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά ινών άνθρακα στις καινούργιες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, όπου λόγω ελαττώσεως του βάρους των ροτόρων μπορεί να αυξηθεί ο αριθμός των στροφών τους και η ισχύς τους.

Στην μικροηλεκτρονική η επανάσταση έχει γίνει με τους φορητούς υπολογιστές, όπου η μείωση του βάρους εξαιτίας της χρήσης σύνθετων υλικών με ίνες άνθρακα είναι χαρακτηριστική.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των ινών άνθρακα είναι επίσης αξιοσημείωτη γεγονός που τις καθιστά χρήσιμες σε πλήθος εφαρμογών, όπως θερμαντικών στοιχείων, ως ασπίδες σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, καθώς και ως ηλεκτρόδια.

Στην οικοδομική οι ίνες γυαλιού βρίσκουν ήδη σημαντικές εφαρμογές σε πλάκες και θόλους φωτισμού, σε ψυκτικούς χώρους (όπου κατασκευάζονται ολόκληροι τοίχοι από σύνθετα υλικά ινών γυαλιού και ρητίνης, σε πισίνες και σε χώρους με μεγάλη υγρασία.

Ανεμογεννήτριες, καθώς και μπαταρίες είναι κατασκευασμένες από σύνθετα υλικά.

Z/ Δομικές κατασκευές

Τα σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα στις κατασκευές αποτελούνται από ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής εμποτισμένες με θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη. Οι συνήθεις ίνες είναι από γυαλί ή αραμιδικές ίνες ή ίνες άνθρακα.

Οι ίνες άνθρακα χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως λόγω των μεγάλων τιμών του μέτρου ελαστικότητας, καθώς και τις μικρές τιμές της παραμόρφωσης αστοχίας.

Ιδιαίτερα, εάν χρησιμοποιηθούν ίνες άνθρακα υψηλού μέτρου ελαστικότητας, οι παραμορφώσεις αστοχίας τους είναι δραματικά μικρές.

Η εφαρμογή των συνθέτων υλικών, ως οπλισμός σε συμβατικές κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, αντικαθιστώντας τον χάλυβα, έχει τύχει ιδιαίτερου ενδιαφέροντος στην Ιαπωνία. Παρουσιάζει όμως αρκετά προβλήματα.

Επειδή τα υλικά αυτά είναι ψαθυρά το στοιχείο που οπλίζεται με αυτού του είδους τα υλικά παρουσιάζει ψαθυρή αστοχία. Είναι χαρακτηριστικό ότι αν η αστοχία προέλθει από υπέρβαση της αστοχίας του σύνθετου υλικού (στην εφελκυσόμενη ζώνη) είναι καταστροφική και ξαφνική.

Ενώ εάν η αστοχία προέρχεται από υλικό με ψαθυρότητα αλλά και με κάποιο μικρό βαθμό πλαστικότητας είναι λιγότερο καταστροφική.

Για αυτό και οι σχετικές οδηγίες του ACI απαιτούν για σχεδιασμό σε κάμψη πρόσθετο συντελεστή ασφαλείας 1.43 και 2 αν η αστοχία οφείλεται σε οπλισμό.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η χρήση ράβδων οπλισμού από σύνθετα υλικά δεν είναι ακόμη για ευρεία κατανάλωση.

Αποτελεί όμως λύση για εξειδικευμένες απαιτήσεις, όπως για κατασκευές σε ιδιαίτερα έντονο διαβρωτικό περιβάλλον (π.χ. σε λιμενικά έργα) ή σε κατασκευές όπου απαιτούν χαμηλή ηλεκτρική ή θερμική αγωγιμότητα, καθώς και σε στοιχεία που γειτνιάζουν με εξοπλισμό ευαίσθητο στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Μία ακόμη ιδιαίτερη χρήση των σύνθετων υλικών αποτελεί η εφαρμογή τους ως τένοντες προέντασης.

Στον παρακάτω πίνακα συγκρίνεται ο χάλυβας με διάφορες ίνες του εμπορίου από όπου προκύπτουν οι παραπάνω παρατηρήσεις.

Πίνακας 8. Σύγκριση Μηχανικών ιδιοτήτων ινών και χάλυβα.

Ιδιότητες	Χάλυβας	Αραμιδικές ίνες	Ίνες Άνθρακα	Ίνες γυαλιού
Όριο διαρροής (MPa)	276-517	όχι	όχι	όχι
Εφελκυστική αντοχή (MPa)	483-690	1720-2540	600-3690	483-1600
Μέτρο ελαστικότητας (MPa)	200	41-125	120-580	35-51
Παραμόρφωση διαρροής (%)	1.4-2.5	όχι	όχι	όχι
Παραμόρφωση αστοχίας (%)	6-12	1.9-4.4	0.5-1.7	1.2-3.1
Πυκνότητα (kg/m ³)	7900	1250-1400	1500-1600	1250-2100

Χωρίς αμφιβολία η πλέον επιτυχής εφαρμογή των συνθέτων υλικών αφορά τον τομέα των επεμβάσεων.

Η χρήση σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή με την μορφή υφασμάτων ή ελασμάτων αποτελεί σήμερα την πλέον σύγχρονη τεχνική στον τομέα της ενίσχυσης των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Έχει όμως περιορισμένη εφαρμογή καλύπτοντας κυρίως τις αδυναμίες μεμονωμένων στοιχείων και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συνολική αντισεισμική ενίσχυση του συνόλου της κατασκευής.

Η ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά είναι η εξέλιξη των χαλύβδινων επικολητών ελασμάτων. Τα σύνθετα υλικά έχουν μικρό ειδικό βάρος και υψηλή εφελκυστική αντοχή, ενώ δεν είναι ευαίσθητα σε διάβρωση.

4.8. ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Μία από τις βασικές παραμέτρους του σύγχρονου σχεδιασμού κατασκευών και κτιρίων είναι η μόνωση και ειδικότερα η θερμομόνωση.

Με την πρόβλεψη για θερμομόνωση στις κατασκευές λαμβάνονται όλα τα κατάλληλα εκείνα μέτρα, ώστε να παρεμποδίζεται η διαφυγή από ένα χώρο προς την ατμόσφαιρα ή προς ένα άλλο ψυχρότερο χώρο ή και αντίστροφα.

Η θερμομόνωση σε μία κατασκευή ουσιαστικά παρέχει σε αυτό ένα προστατευτικό περίβλημα, το οποίο μειώνει την μετάδοση θερμότητας από και προς το εσωτερικό του.

Στις κατασκευές αυτές αποφεύγεται η μετάδοση θερμότητας προς το περιβάλλον εάν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μικρότερη από αυτό της κατασκευής και το αντίστροφο εάν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από αυτό της κατασκευής. Η μείωση των θερμικών απωλειών από και προς τους χώρους μιας κατασκευής έχει ως συνέπεια τη μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας με την οποία τροφοδοτούνται διάφορα συστήματα θέρμανσης – ψύξης.

Οι βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα υλικό και λαμβάνονται υπόψη πριν την εφαρμογή του σε δομικές κατασκευές είναι:

- i. Η θερμομονωτική του ικανότητα
- ii. Το εύρος των θερμοκρασιών στο οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί

- iii. Η αντοχή του στην υγρασία
- iv. Η αντοχή του στη φωτιά
- v. Η ηχομονωτική του ικανότητα.

Κάθε ένα από τα παραπάνω χαρακτηριστικά εκφράζεται με τα αντίστοιχα μεγέθη που προσμετρώνται σύμφωνα με συγκεκριμένους κανονισμούς προτύπων και έχουν καθιερωθεί από σχετικούς οργανισμούς, όπως A.S.T.M και D.I.N.

Τα μεγέθη που εκφράζουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι σε αντιστοιχία:

- i. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- ii. Η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας
- iii. Ο συντελεστής αντίστασης στην διάχυση υδρατμών.
- iv. Η πυραντοχή του υλικού.

Η πυραντοχή ενός υλικού κατατάσσεται στις παρακάτω κατηγορίες:

A1: άκαυστο μη αναφλέξιμο

A2: αναφλέγονται για χρόνο κάτω από 20 δευτερόλεπτα.

B1: υλικά που αντιστέκονται στην φωτιά.

B2: κανονικά υλικά

B3: εύφλεκτα υλικά

- v. Ο βαθμός απορρόφησης του ήχου.

Με την ευρεία έννοια μονωτικά υλικά ορίζονται τα υλικά εκείνα, τα οποία προστατεύουν το περιβάλλον από ανεπιθύμητες επιδράσεις, όπως ηλεκτρικές μονώσεις, ηχομονώσεις θερμομονώσεις, κ.λ.π.

Σήμερα κυκλοφορούν στην αγορά μεγάλο πλήθος θερμομονωτικών υλικών, τα οποία χωρίζονται σε οργανικά μονωτικά και σε ορυκτά μονωτικά υλικά. Το πλεονέκτημα των συνθετικών μονωτικών υλικών βασίζεται κύρια στο χαμηλό κόστος. Μειονεκτούν όμως σε τρεις βασικούς τομείς: την πυραντίσταση, την συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και στην διάρκεια ζωής.

Ορυκτά μονωτικά υλικά είναι οι βερμικουλίτες, ο περλίτης και ο αμιάντος. Σύνθετα μονωτικά υλικά είναι οι πετροβάμβακες, οι υαλοβάμβακες και οι κεραμοβάμβακες.

Τα κυριότερα οργανικά θερμομονωτικά υλικά είναι η διογκωμένη πολυστερίνη, η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη, ο αφρός πολυουρεθάνης.

- Διογκωμένη πολυστερίνη

Ο αφρός πολυστερίνης παράγεται από διόγκωση πολυμερισμένου στυρολίου. Αποτελείται από 2% πολυστερίνη και 98% αέρα εγκλωβισμένο μέσα σε μεγάλο αριθμό κυψελίδων ανάλογα με την πυκνότητα. Συναντάται σε μορφή πλάκας και σε χύδην μορφή. Η διογκωμένη πολυστερίνη έχει καλή θερμομονωτική ικανότητα $\lambda = 0,30$ έως $0,41$ W/m*K. Παρουσιάζει καλή αντοχή στην διάχυση υδρατμών και στην απορρόφηση υγρασίας. Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης κυμαίνεται από -70 έως 90°C . Είναι εύφλεκτο υλικό και κατατάσσεται στις κατηγορίες πυραντοχής B1 και B2. Η διογκωμένη πολυστερίνη προσβάλλεται από έντομα τρωκτικά και ποικιλία διαλυτών. Επηρεάζεται από την ηλιακή ακτινοβολία και σε εκτεταμένη έκθεση στον ήλιο σκληραίνει και θρυμματίζεται. Δεν παρουσιάζει ηχομονωτικές ιδιότητες.

- Αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη έχει όμοια σύσταση με την διογκωμένη πολυστερίνη αλλά προέρχεται από διαφορετική μέθοδο επεξεργασία. Για την παραγωγή της χρησιμοποιείται η πολυστερίνη, ενώ ως προωθητικό αέριο για την διόγκωση της χρησιμοποιείται το διοξείδιο του άνθρακα. Βοηθητικές ύλες, όπως χρωστικές ουσίες, δίνουν στην εξηλασμένη πολυστερίνη ένα χαρακτηριστικό χρώμα ανάλογα με την εταιρεία που παράγονται και προωθούνται στην αγορά.

Έχει καλές θερμομονωτικές ιδιότητες με συντελεστή λ που κυμαίνεται μεταξύ 0.025% και 0.035%, ανάλογα με την πυκνότητα του υλικού. Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης της είναι από -60°C έως -70°C . Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στον εφελκυσμό (0.030 έως 0.035 N/mm^2). Προσβάλλεται από την ηλιακή ακτινοβολία και πρέπει να προστατεύεται από αυτή με επιχρίσματα ή ανάμεσα από άλλα δομικά υλικά. Είναι εύφλεκτο υλικό και κατατάσσεται στις B1 και B2 κατηγορίες πυραντοχής.

- **Αφρός πολουρεθάνης**

Ο αφρός πολουρεθάνης είναι σκληρυμένος αφρός του οποίου οι πόροι είναι κυλινδρικές σφαιρικές ή άλλου είδους καμπύλες επιφάνειες. Χρησιμοποιείται σε μορφή σκληρών πλακών ή και σε μορφή κομματιών αφρού ανάμεσα από φύλλα αλουμινίου.

Αποτελεί το θερμομονωτικό υλικό το οποίο έχει από τους πλέον μικρούς συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0.02 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Η αντοχή σε εφελκυσμό κυμαίνεται από 0.20 έως 0.30 N/mm^2 και χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά μικρή προσρόφηση υγρασίας. Είναι αδιάβροχο υλικό λόγω της κλειστής δομής των κυψελίδων του. Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης του είναι από -50°C έως 120°C . Δεν είναι πυριάντοχο υλικό και κατατάσσεται στις B1 και B2 κατηγορίες πυριαντοχής. Ο αφρός πολουρεθάνης επηρεάζεται πολύ από την ηλιακή ακτινοβολία και θρυμματίζεται. Δεν χρησιμοποιείται ως ηχομονωτικό υλικό.

- **Υαλοβάμβακας**

Από τα κυριότερα ανόργανα θερμομονωτικά υλικά είναι ο υαλοβάμβακας. Τα βασικά συστατικά του είναι άμμος δολομίτης ασβεστόλιθος ανθρακική σόδα και αλούμινα. Ο υαλοβάμβακας συναντάται με την μορφή παπλώματος, πλάκες, σε ρολά με ή χωρίς επένδυση αλουμινίου. Ο υαλοβάμβακας πρέπει να προστατεύεται από την διείσδυση της υγρασίας. Τους καλοκαιρινούς μήνες είναι όμως δυνατόν να στεγνώνει. Παρουσιάζει καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά, καθώς ανήκει στις A1 και A2 κατηγορίες πυριαντοχής, η οποία μειώνεται με υλικά, τα οποία προσδίδουν συνοχή στις ίνες, όπως ρητίνες φαινόλης φορμαλδεΐδης, σιλικόνες ή ορυκτέλαια. Διαθέτει ανθεκτικότητα σε μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος εφαρμογής από -100°C έως 500°C . Έχει μικρή αντοχή στον εφελκυσμό και εμφανίζει σχετικά μικρή αντοχή στην συμπίεση, η οποία εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού.

- **Πετροβάμβακας**

Είναι το πιο διαδεδομένο υλικό θερμομόνωσης στην δυτική Ευρώπη. Αποτελείται από ίνες και παρασκευάζεται από ανόργανα υλικά και πιο συγκεκριμένα από διάφορα πετρώματα, όπως βασάλτης, μεταβασάλτη, ασβεστόλιθο, δολομίτη και βωξίτη.

Στο εμπόριο συναντάται σε μορφή πλάκας ή παπλώματος με ή χωρίς επένδυση αλουμινίου, καθώς και σε μορφή κοχυλιών. Ο πετροβάμβακας έχει υψηλή πυκνότητα (30 kg/m^3). Έχει ιδιαίτερο καλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0.033 έως 0.045 $\text{W/m}\cdot\text{K}$. Επηρεάζεται σημαντικά από την υγρασία. Ο πετροβάμβακας αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες λόγω των πρώτων υλών από τα οποία κατασκευάζεται. Χρησιμοποιείται κύρια στην βιομηχανία αλλά και στις περισσότερες κατοικίες στην δυτική Ευρώπη. (47)

Τα δομικά υλικά ανάλογα με την τιμή του λ διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

A. Φυσικοί λίθοι με $\lambda = 2,7$ έως $4,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

B. Κάθε φύσης δομικό υλικό με $\lambda=0,1$ έως $2,7 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Γ. Θερμομονωτικά υλικά με $\lambda = 0,04$ έως $0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Πίνακας 9. Συγκριτικές τιμές θερμομονωτικών υλικών.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ							
A/A	ΥΛΙΚΟ		ΥΑΛΟΒΑΒΚΑΣ FIBRUS GLASS	ΠΕΤΡΟΒΑΒΚΑ Σ MINERAL FABER	ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ - DOW	ΔΙΟΓΚΟΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	ΑΦΡΟΣ ΠΛΑΥΡΕΘΑΝΗΣ
1	Πυκνότητα [kg/m ³]	ελάχιστο	13	30	20	8	30
		μέγιστο	100	180	80	50	80
2	Συντελεστής θερμικής Αγωγιμότητας λ [W/mK]	ελάχιστο	0,030	0,033	0,025	0,029	0,020
		μέγιστο	0,045	0,045	0,035	0,041	0,027
3	Εύρος χρήσης (°C)	ελάχιστο	-100	-100	-60	-80	-50
		μέγιστο	500	750	75	80	120
4	Κατηγορία πυραντοχής (*)		A1, A2 ,B1	A1, A2 ,B2	B1, B2	B1, B2	B1, B2
5	Αντοχή στον εφελκυσμό [N/mm ²]	ελάχιστο	0,005	-	0,30	0,15	-
		μέγιστο	0,005	-	0,35	0,52	-
6	Όριο θραύσης [N/mm ²]	ελάχιστο	0,00500	0,00012	-	0,09000	-
		μέγιστο	0,00500	0,00500	-	0,22000	-
7	Πρόσθετα προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-	ΌΧΙ	ΌΧΙ	ΌΧΙ	ΌΧΙ	ΝΑΙ

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Πέραν από την ανάγκη για χρησιμοποίηση συνθέτων υλικών με υψηλές τιμές μηχανικών ιδιοτήτων (όπως αντοχή σε κάμψη και αντοχή σε διάτμηση), υπάρχει επίσης μεγάλο ενδιαφέρον για χρησιμοποίηση σε διάφορες τεχνολογικές εφαρμογές συνθέτων υλικών που να συνδυάζουν καλές μηχανικές ιδιότητες με θερμικές ιδιότητες, όπως θερμοανθεκτικότητα, μονωτικές ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες κλπ. Σε αυτές τις εφαρμογές, μήτρες όπως είναι οι εποξειδικές ρητίνες αποκλείονται, σε αντίθεση με τις φαινολικές ρητίνες. Οι τελευταίες είναι θερμοανθεκτικές λόγω της αρωματικής δομής τους. Σύνθετα υλικά μιας φαινολικής ρητίνης με ίνες άνθρακα συνδυάζουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες με κατάλληλη θερμοανθεκτικότητα. Από την άλλη μεριά, μερικά ανόργανα υλικά, όπως είναι ο περλίτης έχουν μονωτικές ιδιότητες σε υψηλές θερμοκρασίες. Ο περλίτης έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς, ως ένα ελαφρύ υλικό, στο μπετό και στα κονιάματα. Ο περλίτης σε διογκωμένη μορφή προσφέρει θερμική μόνωση, αντοχή στη φωτιά και άλλες επιθυμητές ιδιότητες, όταν χρησιμοποιείται σε τσιμέντο πόρτλαντ ή σε μείγματα βασιζόμενα σε γύψο. Έχουν ερευνηθεί διάφορες μέθοδοι προκειμένου να επιτυγχάνεται θερμική μόνωση σε κτίρια. Η κατασκευή δομικών υλικών με υψηλή αντίσταση στη θερμική αγωγιμότητα αποτελεί ένα σημαντικό μέρος αυτών των ερευνητικών προσπαθειών. Ο περλίτης είναι ένα πολύ χρήσιμο υλικό για θερμική μόνωση και είναι ένα σύνηθες υλικό στην Ελλάδα. Οι θερμικές και ήχο-μονωτικές ιδιότητές του περλίτη μαζί με το χαμηλό βάρος του τον καθιστούν ένα εξαιρετικό υλικό για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα πρόσθετο σε σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας. Ακολουθώς παρατίθενται κάποια πρόσθετα στοιχεία για τα επί μέρους υλικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται ήδη ευρύτατα σε εφαρμογές, όπου η μείωση του βάρους και οι μηχανικές αντοχές έχουν τον κύριο ρόλο, όπως στις κατασκευές. Η ενίσχυση των σύνθετων υλικών με άλλα ανόργανα υλικά, όπως πυρίτιο, αλούμινα, ανθρακικό ασβέστιο, έχει μελετηθεί κατά το παρελθόν. Το πρόβλημα που δημιουργείται συνήθως από αυτή του είδους την ενίσχυση είναι η μικρή αναμεξιμότητα (συμβατότητα) μεταξύ μήτρας και ανόργανου υλικού, η οποία προκαλεί διαχωρισμό φάσεων. Η προσθήκη κεραμικών υλικών, όπως η αλούμινα, αυξάνει τις μηχανικές ιδιότητες των συνθέτων υλικών, όμως λόγω της μεγάλης πυκνότητάς τους τελικά αυξάνει και η πυκνότητα του τελικού σύνθετου υλικού, δηλαδή το βάρος του.

Οι ίνες άνθρακα αποτελούν πλέον ένα υλικό, το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα σε κατασκευές, όπου επιδιώκεται σημαντική μείωση του βάρους της κατασκευής, με ταυτόχρονα υψηλές αντοχές σε μηχανικές καταπονήσεις. Οι ίνες άνθρακα παρουσιάζουν υψηλό μέτρο ελαστικότητας και υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό. Για το λόγο αυτό σε συνδυασμό με τις φαινολικές ρητίνες δημιουργούν σύνθετα υλικά με καλές μηχανικές ιδιότητες. Οι φαινολικές ρητίνες κατατάσσονται στις ρητίνες οι οποίες θεωρούνται θερμοανθεκτικές επειδή αντέχουν σε θερμοκρασίες μέχρι 250°C. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην κατασκευή αμαξωμάτων για τρένα και λεωφορεία. Όταν καίγονται, παράγουν σχετικά χαμηλές ποσότητες καπνού και αυτός είναι ένας λόγος που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις κατασκευές.

Ο περλίτης είναι ανόργανο ηφαιστειακό υλικό, το οποίο με κατάλληλη διαδικασία μετατρέπεται σε υλικό με χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και χρησιμοποιείται ως θερμομονωτικό υλικό.

Σκοπός αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας είναι η κατασκευή συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας που να συνδυάζουν κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες με θερμομονωτικές ιδιότητες. Η μεθοδολογία για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος είναι η χρησιμοποίηση ινών άνθρακα απεριόριστου μήκους («φυτίλι» συνεχών ινών άνθρακα / continuous carbon fibers) σε χαμηλό ποσοστό κατόγκο, που να οδηγεί όμως σε σημαντική βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του συνθέτου υλικού. Η ρητίνη νεολάκη, ως μήτρα και ο περλίτης σε χαμηλή αναλογία, ως πρόσθετο, θα

χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με ίνες άνθρακα, διότι τόσο οι φαινολικές ρητίνες, όσο και ο περλίτης έχουν καλή συμπεριφορά κατά την καύση / πυρόλυση, δηλαδή συντελούν στη πυροπροστασία της κατασκευής. Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας επιδιώκεται να αντικατασταθεί μέρος της φαινολικής ρητίνης με περλίτη, να γίνουν μετρήσεις οι οποίες αφορούν τις μηχανικές ιδιότητες του παραγόμενου σύνθετου υλικού με και χωρίς ίνες άνθρακα, μετρήσεις της θερμικής αγωγιμότητας θερμομονωτικών υλικών καθώς και του σύνθετου υλικού, το οποίο αποτελείται από ρητίνη φαινόλης - φορμαλδεΰδης και περλίτη.

Πιο συγκεκριμένα παρασκευάζεται εργαστηριακά ρητίνη φαινόλης-φορμαλδεΰδης (νεολάκη) και ακολούθως κατασκευάζονται σύνθετα υλικά αποτελούμενα από ρητίνη φαινόλης-φορμαλδεΰδης (νεολάκη), ίνες άνθρακα και περλίτη σε αναλογία 10%, 15% και 20% αντίστοιχα. Η κατασκευή των δοκιμίων των σύνθετων υλικών περιλαμβάνει την κατασκευή ορθογωνίων δοκιμίων με την μέθοδο της προδιάπλισης σε διάλυμα ρητίνης φαινόλης- φορμαλδεΰδης με διαλύτη, με την οποία προκύπτουν ελάσματα / στρώσεις, όπου ακολούθως αυτά τοποθετούνται επάλληλα μέσα σε κατάλληλο καλούπι και μορφοποιούνται σε θερμοπρέσσα προς ενιαία, συμπαγή δοκίμια με ταυτόχρονη σκλήρυνση της ρητίνης (δημιουργία διασταυρώσεων πλέγματος σε μοριακό επίπεδο).

Κατόπιν προσδιορίζονται οι μηχανικές ιδιότητες των συνθέτων υλικών και συγκεκριμένα η αντοχή σε κάμψη και η αντοχή σε διάτμηση και ακολουθεί ο προσδιορισμός του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ορισμένων θερμομονωτικών υλικών, όπως πολυουρεθάνη, εξηλασμένη πολυστερίνη, ρητίνη φαινόλης-φορμαλδεΰδης (νεολάκη) με 10% περλίτη. Επί πλέον πραγματοποιούνται μετρήσεις με περίθλαση ακτίνων X (XRD) για τον περλίτη, μετρήσεις με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) σε συνδυασμό με EDAX, με σκοπό την ανάλυση του περλίτη, καθώς επίσης γίνεται ανάλυση με φασματοσκοπία υπερύθρου Fourier (FTIR) της σκληρυμένης νεολάκης. Τέλος προσδιορίζεται η αντοχή στους 200°C των επί μέρους συστατικών υλικών των συνθέτων υλικών με προσδιορισμό της απώλειας βάρους τους. Τα αποτελέσματα συσχετίζονται και σχολιάζονται.

B: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΗΤΡΑ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΡΗΤΙΝΗΣ ΦΑΙΝΟΛΗΣ – ΦΟΡΜΑΛΔΕΪΔΗΣ

6.1 ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Η λέξη πολυμερές είναι σύνθετη και προέρχεται από το πολύς και μέρος.

Πολυμερισμός ονομάζεται η χημική αντίδραση της συνένωσης των μονομερών για το σχηματισμό του πολυμερούς

Τα μακρομόρια είναι μόρια μεγάλου μοριακού βάρους που σχηματίζονται από τη συνένωση (= πολυμερισμό) απλούστερων δομικά μορίων (= μονομερή)

Τα πολυμερή είναι τα προϊόντα του πολυμερισμού, δηλαδή μακρομόρια που σχηματίζονται από τη συνένωση πολλών μικρών ίδιων δομικά μορίων (τα μονομερή).

6.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ/ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

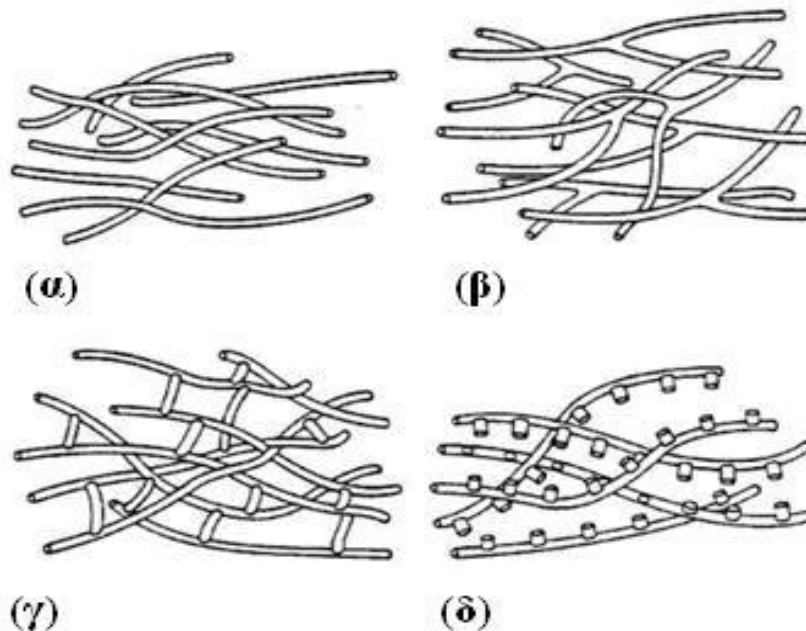
Όσον αφορά την αρχιτεκτονική της πολυμερικής αλυσίδας, υπάρχουν τέσσερις τύποι βάσει των οποίων μπορεί να υπάρξει περαιτέρω διαχωρισμός:

α/ Γραμμικό: Τα μόριά του έχουν τη μορφή απλής αλυσίδας και αναπτύσσονται σε μια διάσταση του χώρου.

β/ Διακλαδωμένο: Η μακρομοριακή αλυσίδα αναπτύσσεται σε δύο διαστάσεις και παίρνει την μορφή διακλαδώσεων

γ/ Διασταυρούμενο (crosslinked) ή πλέγμα: Τα μόριά του αποτελούνται από αλυσίδες που συνδέονται μεταξύ τους με διασταυρούμενες συνδέσεις σχηματίζοντας πλέγμα που αναπτύσσεται στις τρεις διαστάσεις του χώρου.

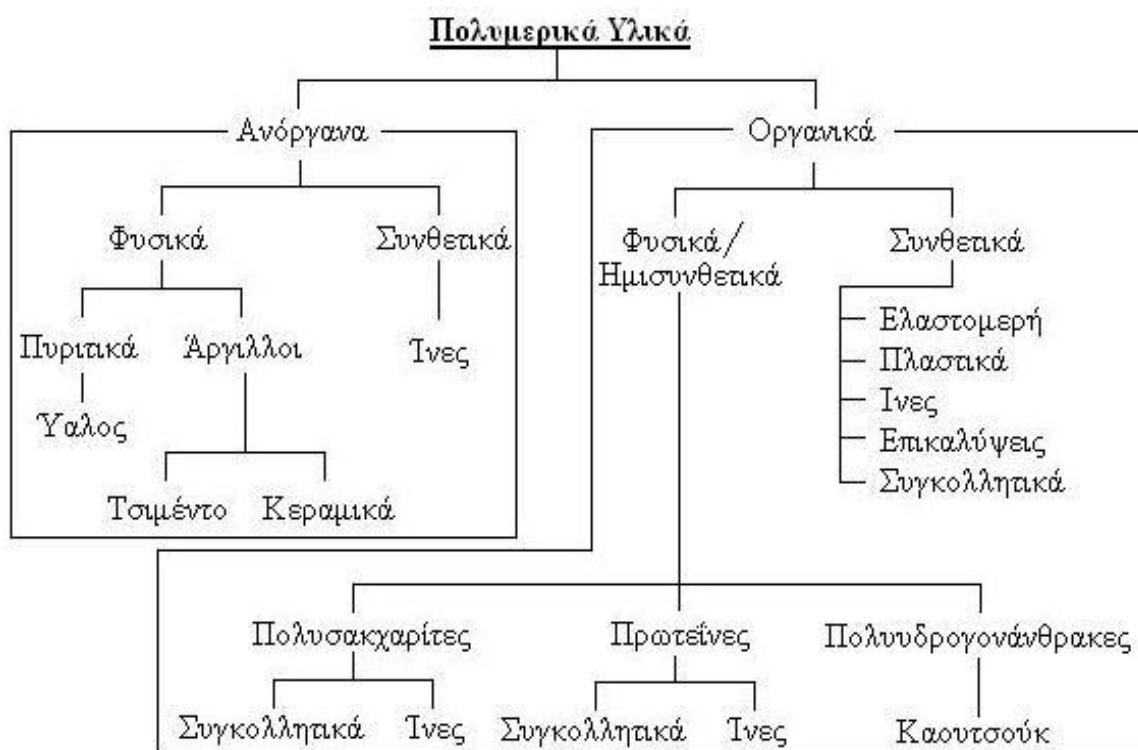
δ/ Με πλευρικές ομάδες: Πάνω στην κύρια αλυσίδα υπάρχουν και ελεύθερες πλευρικές ομάδες.



Σχήμα 30. Ταξινόμηση με βάση την αρχιτεκτονική δομή

Τα πολυμερή μπορούν διαχωρισθούν βάσει της προέλευσης και της χημικής σύστασης τους σε:

- **Φυσικά:** Λαμβάνονται απευθείας από τη φύση, όπως το μαλλί και το μετάξι.
- **Ημισυνθετικά:** Προκύπτουν από το χημικό μετασχηματισμό φυσικών προϊόντων. Μερικά παραδείγματα είναι παραγωγή πολυμερών από κυτταρίνη, πρωτεΐνες, παράγωγα σακχάρων, φυσικά ελαστικά και φυτικές ρητίνες.
- **Συνθετικά:** Καλούνται τα πολυμερή των οποίων τα μονομερή που τα συνθέτουν δεν υπάρχουν στη φύση, όπως το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και το νάυλον, τα οποία είναι τεχνητά, ενώ συγχρόνως είναι και μη ανανεώσιμα.



Σχήμα 32. Ταξινόμηση πολυμερικών υλικών με βάση την προέλευσή τους

Η κατάταξη αυτή των πολυμερών παρουσιάζει μεγάλη σημασία και πρακτική εφαρμογή εφόσον με τον τρόπο αυτό αναγνωρίζεται σε ποια κατηγορία ανήκει κάποιο πολυμερές και έχει ενδείξεις σχετικά με τη μοριακή δομή του και γενικότερα με τη φυσική συμπεριφορά του.

Ανάλογα με την συμπεριφορά τους για παράδειγμα όταν θερμαίνονται με βάση την μηχανοθερμική συμπεριφορά τους τα πολυμερή διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: **θερμοπλαστικά, θερμοσκληρυνόμενα και τα ελαστομερή.**

- Τα **Θερμοπλαστικά** αποκτούν πλαστικότητα και μορφοποιούνται με την επίδραση της θερμοκρασίας και της πίεσης. Το φαινόμενο αυτό είναι αντιστρεπτό και το πολυμερές μπορεί να θερμανθεί και να μεταβεί στην πλαστική κατάσταση, χωρίς καμία χημική μεταβολή. Επίσης τήκονται διαποτίζονται (φουσκώνουν, διογκώνονται) από διαλύτες και διαλύονται. Τα μόρια τους είναι γραμμικά ή διακλαδωμένα.

- Τα **Θερμοσκληρυνόμενα**, τα οποία στην τελική φάση επεξεργασίας με την επίδραση της θερμότητας αποκτούν διασταυρούμενες ενώσεις προς σχηματισμό πλέγματος. Τα μόρια δηλαδή συνδέονται σταθερά με κύριους δεσμούς μεταξύ τους (θεωρητικά υπάρχει ένα μοναδικό τεράστιο μόριο) και έτσι επιτυγχάνεται τέτοια συνοχή στο πλέγμα ώστε δεν μπορεί πλέον το πολυμερές να μεταβεί στην πλαστική κατάσταση. Το δημιουργούμενο πλέγμα είναι πολύ συνεκτικό με αποτέλεσμα το φαινόμενο να είναι μη αντιστρεπτό, δηλ. το πολυμερές δεν μπορεί να μεταβεί στην πλαστική κατάσταση με τη θέρμανση. Τα θερμοσκληρυνόμενα ή θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή είναι συνήθως πολύ σκληρά, ανθεκτικά στη θερμότητα, δεν μορφοποιούνται με πλαστικότητα είναι άτηκτα, αδιάλυτα και διαποτίζονται μόνο πολύ λίγο από διαλύτες.
- Τα **Ελαστομερή**, τα οποία έχουν ανεπτυγμένη την ιδιότητα της ελαστικότητας ελαστομερούς και εφελκόμενα παρουσιάζουν μεγάλη επιμήκυνση με ταχεία και πλήρη επαναφορά (όταν παύσει να εξασκείται η εφελκύουσα δύναμη). Τα μακρομόρια αυτών των πολυμερών εμφανίζουν μερικές διασταυρούμενες συνδέσεις, πού όμως δεν είναι εκτεταμένες ώστε να δώσουν πλέγμα. Αυτές οι διασταυρώσεις παίζουν δηλαδή το ρόλο ενδιάμεσων γεφυρών που δεν επιτρέπουν καμιά μόνιμη πλαστική μεταβολή της μορφής του υλικού αλλά όταν παύσει να εξασκείται η εξωτερική δύναμη φροντίζουν να λάβει πάλι το υλικό την αρχική του μορφή, καθόσον τα τμήματα των αλυσίδων λόγω της θερμικής κινήσεως λαμβάνουν την αρχική τους περιπλεγμένη θέση. Έτσι, διατηρούν μεγάλη ελαστικότητα και κατά τον εφελκυσμό παρουσιάζουν μεγάλη επιμήκυνση, με ταχεία και πλήρη επαναφορά. Τα ελαστομερή είναι άτηκτα,αδιάλυτα αλλά διαποτίζονται από διαλύτες.

Ανάλογα με τη χρήση που έχουν τα πολυμερή χωρίζονται σε τρεις απλές κατηγορίες:

- **Πολυμερή ευρείας χρήσης:**
Είναι τα πολυμερή που παράγονται σε βιομηχανικό επίπεδο, είναι προϊόντα μαζικής παραγωγής και χρησιμοποιούνται ευρέως σε ποικίλα πεδία της καθημερινής ζωής και ως εκ τούτου, έχουν χαμηλό κόστος.
- **Μηχανολογικά πολυμερή:**
Έχουν σαφώς ανώτερες μηχανικές ιδιότητες από τα πολυμερή ευρείας χρήσης και αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της έρευνας, καθώς ο σκοπός για τον οποίον χρησιμοποιούνται τα συγκεκριμένα πολυμερή είναι για να αντικαταστήσουν τα μέχρι τώρα συμβατικά υλικά είτε ως αυτοτελή υλικά είτε ως μητρικά υλικά τα οποία εφόσον ενισχυθούν θα δώσουν τις επιθυμητές ιδιότητες.
- **Προηγμένα πολυμερή:**
Είναι τεχνολογικά ανώτερα υλικά, με ξεχωριστές ιδιότητες. Πολυμερικά υλικά με εξαιρετική αντοχή σε κρούση, με μεγάλη σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες ή ακόμη και με ηλεκτρική αγωγιμότητα που απέχει κατά λίγες τάξεις μεγέθους από μέταλλα είναι λογικό να αποτελούν μια ξεχωριστή κατηγορία στην επιστήμη και τεχνολογία των πολυμερών. Ανάλογα με την εφαρμογή και τη διαδικασία παραγωγής τους το κόστος αυτών των υλικών μπορεί να είναι ιδιαίτερα υψηλό. Τέτοια πολυμερή είναι τα συζυγή τα οποία χρησιμοποιούνται ως αγωγοί ηλεκτρικού ρεύματος και σε φωτοεκπομπούς διόδους τα υδροκρυσταλλικά τα οποία αξιοποιούνται για τεχνολογικές εφαρμογές, όπως LCD (Liquid Crystal Displays) τηλεοράσεις και διάφοροι άλλοι τύποι νανοδομημένων συμπολυμερών, τα οποία προορίζονται για συγκεκριμένες εφαρμογές.
- **Πλαστικά:**
Η λέξη πλαστικά συνήθως αναφέρεται σε υλικά που:
 - χαρακτηρίζονται από μικρή αντοχή και ακαμψία
 - παρουσιάζουν θερμοκρασιακά όρια επεξεργασίας

- υπό την επίδραση εξασκούμενης δύναμης παραμορφώνονται συνεχώς (δηλ. "έρπουν"). Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά αποτελούν σαφώς **μειονεκτήματα** σε σύγκριση με πιο παραδοσιακά υλικά, όπως τα μέταλλα, το ξύλο ή τα κεραμικά..

Αλλά τότε γιατί χρησιμοποιούνται σε τόσο τεράστιες και συνεχώς αυξανόμενες ποσότητες, ενώ η κατανάλωση του χάλυβα μειώνεται.

Σημειωτέον ότι το 1981 η κατ' όγκον κατανάλωση πλαστικών **υπερέβη** την κατανάλωση χάλυβα (!) και η διαφορά αυτή συνεχώς αυξάνει.

Η αυξημένη αυτή κατανάλωση δικαιολογείται από ορισμένα **πλεονεκτήματα** που εμφανίζουν τα πολυμερή σε σχέση με άλλα υλικά.

Αναφέρουμε χαρακτηριστικά ορισμένα πλεονεκτήματα των πλαστικών:

- ❖ μορφοποιούνται εύκολα και παίρνουν το σχήμα μητρών πολύπλοκης μορφής με ελάχιστη προσπάθεια στην επεξεργασία και στο τελείωμα,
- ❖ έχουν χαμηλή πυκνότητα, δηλ. είναι προϊόντα χαμηλού ειδικού βάρους,
- ❖ είναι θερμικοί και ηλεκτρικοί μονωτές,
- ❖ παρουσιάζουν διάφορες άλλες χρήσιμες ειδικές ιδιότητες, π.χ. είναι υλικά συχνά εύκαμπτα, μερικές φορές διαφανή.

Νέοι τύποι πολυμερών και σύνθετων υλικών ενισχυμένων με συνθετικές ίνες παρουσιάζουν υψηλή απόδοση και μακρά διάρκεια χρήσης. Χρησιμοποιούνται εκτενώς στην αεροπορική και διαστημική βιομηχανία, όχι μόνο σε πολεμικά αεροσκάφη (π.χ. το βομβαρδιστικό μαχητικό αεροσκάφος Stealth αποτελείται κατά 65% από πολυμερικά σύνθετα υλικά), αλλά επίσης στην πολιτική αεροπορία. Για παράδειγμα, στο Boeing 767 περίπου 3% του **δομικού** του βάρους αποτελείται από πολυμερικά σύνθετα υλικά, ενώ στο υπό κατασκευή Boeing 777 το ποσοστό αυτό θα φθάσει περίπου το 30%.

Τα πολυμερή και σύνθετα υλικά υψηλής απόδοσης κοστίζουν, όπως είναι φυσικό, πολύ περισσότερο. Χρησιμοποιούνται σε **λίγα**, αλλά **ακριβά**, τεμάχια στις εφαρμογές αεροσκαφών ή στο διάστημα. Όλο και περισσότερο μεγαλύτερη σημασία δίνεται στη χρήση τους σε εφαρμογές αυτοκινήτων. (5,6,7)

6.3. ΓΕΝΙΚΑ

Οι φαινολικές ρητίνες είναι ομάδα ρητινών στην οποία περιέχονται συνθετικές θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες οι οποίες προέρχονται από την αντίδραση φαινολών με φορμαλδεΰδες. Από τις πλέον διαδεδομένες μορφές φαινολικών ρητινών είναι ο βακελίτης. Οι φαινολικές ρητίνες είναι περισσότερο γνωστές για την παραγωγή προϊόντων τα οποία σχηματίζονται από καλούπια, όπως προϊόντα για ηλεκτρικά κυκλώματα, μέρη αεροπλάνων, προϊόντων καθημερινής χρήσης, επικαλυπτικά, κόλλες κ.λ.π.

Οι φαινολικές ρητίνες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην αεροπορική βιομηχανία γιατί παρουσιάζουν αυξημένες αντοχές στην θερμότητα έναντι των άλλων εμπορικών ρητινών καθώς και αυξημένες αντοχές στην τριβή. Τα προϊόντα της καύσης των φαινολικών είναι σχετικά ποιο ακίνδυνα σε σχέση με τις άλλες εμπορικές ρητίνες.

Τα πιο γνωστά προϊόντα θερμοσκληρυνόμενων φαινολικών ρητινών είναι οι βακελίτες.

Η φαινόλη αντιστοιχεί στην κατηγορία των φαινολών και αντιστοιχεί στον τύπο HOC_6H_5 . Σε καθαρή μορφή η φαινόλη είναι λευκή και κρυσταλλική και έχει χαρακτηριστική οσμή. Παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό και έχει όξινο χαρακτήρα. Για το λόγο αυτό ονομάζεται και φαινικό οξύ. Η παραγωγή της φαινόλης πραγματοποιείται αν τήξουμε με καυστικό νάτριο το βενζοσουλφονικό οξύ σε θερμοκρασία περίπου 300°C , ή με οξείδωση παρουσία κατάλληλων καταλυτών του βενζολίου σε υψηλές θερμοκρασίες.

Η φαινόλη που λαμβάνεται με απόσταξη της πISSασφάλτου του ορυκτού άνθρακα αντιπροσωπεί το 10% της παγκόσμιας παραγωγής.

Η φορμαλδεΰδη (CH_2O) είναι η απλούστερη αλειφατική αλδεΰδη, είναι αέρια και έχει σημείο ζέσεως -21°C . Η φορμαλδεΰδη είναι άχρωμο αέριο, ενώ έχει ερεθιστική οσμή και είναι πολύ δραστική, διαλυτή στην αλκοόλη και στο νερό. Παρασκευάζεται βιομηχανικώς με οξείδωση της μεθανόλης σε αέρια φάση με παρουσία από χαλκό ή άργυρο.

Η φορμαλδεΰδη χρησιμοποιείται με τη μορφή του υδατικού της διαλύματος περιεκτικότητας περίπου 37% σε φορμαλδεΰδη το οποίο είναι γνωστό ως φορμαλίνη ή φορμόλη και παρουσιάζει αντισηπτικές και απολυμαντικές ιδιότητες.

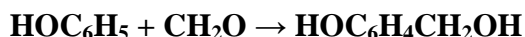
Οι ρητίνες φαινόλης - φορμαλδεΰδης σαν ομάδα κατασκευάζονται από αντιδράσεις πολυμερισμού οι οποίες καταλύονται από οξέα ή βάσεις. Η φορμαλδεΰδη σαν διάλυμα περιέχει κύρια σε ισορροπία με ολιγομερή μεθυλενογλυκόλης, η δραστικότητας της οποίας εξαρτάται από την θερμοκρασία και το pH.

Αντί για φορμαλδεΰδη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ειδικές περιπτώσεις άλλες υποκατεστημένες φαινόλες, όπως κρεσόλη ή ρεσορκινόλη ή υδροκινόνη και άλλες αλδεΰδες, όπως φουρφουράλες.

Ο πολυμερισμός των φαινολών πραγματοποιείται με αντικατάσταση της φορμαλδεΰδης στον αρωματικό δακτύλιο με αντίδραση συμπύκνωσης.

Η φορμαλδεΰδη συμπεριφέρεται σαν ένα διδραστικό μονομερές, ενώ η φαινόλη συμπεριφέρεται σαν ένα τριδραστικό μονομερές.

Οι φαινόλες είναι δραστικές σε δύο θέσεις όρθο και μία πάρα (θέσεις 2, 4 και 6) επιτρέποντας 3 μονάδες φορμαλδεΰδης να είναι σε επαφή. Η αρχική αντίδραση σε όλες τις περιπτώσεις ξεκινάει από την παραγωγή και την κατασκευή υδροξυμεθυλικής φαινόλης.



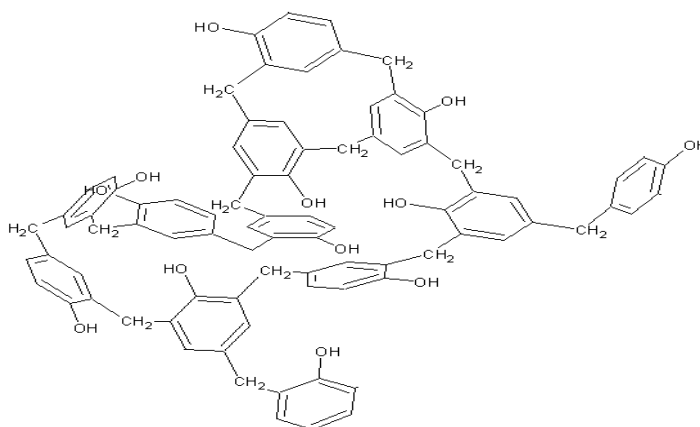
Οι υδροξυμεθυλικές ομάδες είναι ικανές να αντιδράσουν ή σε άλλες ελεύθερες όρθο και πάρα θέσεις ή με άλλες υδροξυμεθυλικές ομάδες.



Η πρώτη αντίδραση παράγει γέφυρες μεθυλενίου και η δεύτερη δημιουργεί αιθερικές γέφυρες.

Το διφαινύλιο $(\text{HOC}_6\text{H}_4)_2\text{CH}_2$ είναι ποιο γνωστό με την ονομασία δισφαινόλη F το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή εποξειδικών ρητινών.

Οι φαινολικές ρητίνες χρησιμοποιούνται με την μορφή νεολάκης (Novolac) και ρεζολών (resols). (15)



Σχήμα 33. Ρητίνη φαινόλης φορμαλδεΐδης σε 3D διαστάσεις

6.4 ΡΗΤΙΝΕΣ ΝΕΟΛΑΚΗΣ (Novolac)

Το όνομα αυτό δόθηκε σε φαινολικές ρητίνες από τον Leo Bacheland. Οι ρητίνες νεολάκης είναι θερμοπλαστικά υλικά και απαιτούν την προσθήκη ενός σκληρυντικού μέσου για να πραγματοποιηθεί η σκλήρυνση της ρητίνης. Είναι ρητίνη δύο σταδίων και δεν φέρει ελεύθερες μεθυλομάδες. Η χημεία της νεολάκης χαρακτηρίζεται από υψηλή ταχύτητα συμπυκνώσεως με συνέπεια η συγκέντρωση των μεθυλοφαινολών να είναι χαμηλή σε όλη τη διάρκεια της αντίδρασης.

Οι ρητίνες νεολάκης χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία με τον όρο «συνθέσεις για καλούπια φαινόλης - φορμαλδεΐδης». Με τον όρο αυτό εννοούμε ρητίνες οι οποίες είναι ικανές να τροφοδοτήσουν καλούπια στις οποίες το κύριο συστατικό τους είναι η ρητίνη νεολάκης και σαν σκληρυντικό μέσο χρησιμοποιείται δότης μεθυλενομάδων. Ο βαθμός σκλήρυνσης της νεολάκης είναι τέτοιος ώστε να επιτυγχάνεται ροή όταν εφαρμόζεται πίεση σε θερμαινόμενο καλούπι και η οποία μετέπειτα μπορεί να σκληρυνθεί και να μετατραπεί μετά από εφαρμογή θερμοκρασίας και πίεσης σε αδιάλυτο και άτηκτο στερεό.

Οι ρητίνες νεολάκης παράγονται εάν η αναλογία των mole μεταξύ φορμαλδεΐδης και φαινόλης είναι μεγαλύτερη από 1. Συνήθως χρησιμοποιούνται μικρότερες ποσότητες φορμαλδεΐδης με επικρατέστερη τιμή του λόγου φαινόλης /φορμαλδεΐδης την 1:0.8. Για να προχωρήσει η αντίδραση μπορεί να χρειάζεται και η παρουσία όξινου καταλύτη, όπως HCl, H₂SO₄, οξαλικό οξύ με το κατάλληλο pH.

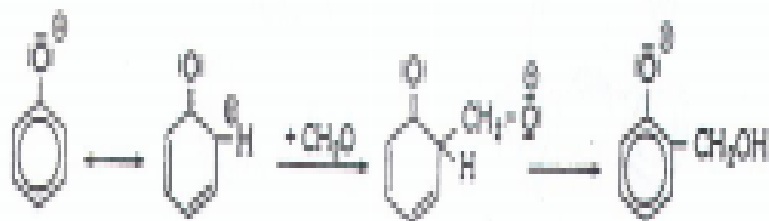


Σχήμα 34. Πρωτονίωση της φαινόλης σε όξινες συνθήκες

Η παραγωγή των ρητινών νεολάκης πραγματοποιείται σε δύο στάδια χρησιμοποιώντας γενικά περίσσεια φαινόλης, με συνέπεια να μην υπάρχουν πλέον δραστικές μεθυλομάδες και πρέπει να αναμιχθεί με αλδεΐδη για να προχωρήσει περαιτέρω η αντίδραση.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται η εξαμεθυλενοτετραμίνη ή HEXA ή HMTA και τελικά να παραχθεί σκόνη νεολάκης μετά από ξήρανση.

Άλλες αλδεύδες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δότες μεθυλενομάδων είναι η παραφορμαλδεύδη, τα πολυοξυμεθυλένια και οι οποίες αλδεύδες είναι ικανές να προσφέρουν μεθυλενομάδες οι οποίες θα μετατρέψουν την νεολάκη σε αδιάλυτο και άτηκτο στερεό.



Σχήμα 35. Πρόσληψη φορμαλδεΐδης από φαινόλη με ηλεκτρονιόφιλη υποκατάσταση

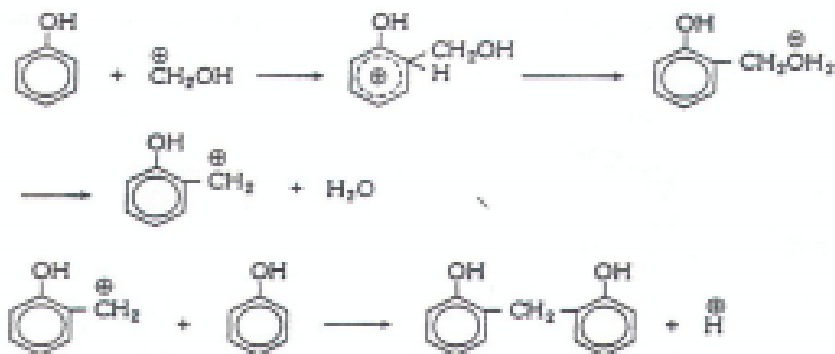
Η αρχική αντίδραση πραγματοποιείται μεταξύ μεθυλενογλυκόλης και φαινόλης, δηλαδή η προσθήκη φορμαλδεΐδης σε μία ελεύθερη ενεργή θέση όρθο ή πάρα και δίνει η αντίδραση μεθυλόλη.

Το δεύτερο βήμα είναι η συμπίκνωση του μεθυλενίου με μία ελεύθερη θέση άλλου ενεργού δακτυλίου ή με άλλη μεθυλόλη ώστε να σχηματισθεί γέφυρα από μεθυλένιο.

Αποτέλεσμα της αντίδρασης αυτή είναι η δημιουργία μεθυλενογέφυρας σε θέσεις όρθο και πάρα στον φαινολικό αρωματικό δακτύλιο.

Η θέση πάρα είναι θεωρητικά δύο φορές πιο ενεργή σε σχέση με την θέση όρθο, αλλά δημιουργούνται διπλάσιες θέσεις όρθο σε σχέση με θέσεις πάρα. Έτσι η αναλογία μεταξύ όρθο-όρθο, όρθο-πάρα και πάρα-πάρα είναι περίπου ίσες.

Διακλαδώσεις σε αυτές τις θέσεις μπορούν να συμβούν σε οποιοδήποτε σημείο της αντίδρασης και σε οποιαδήποτε από αυτές τις τρεις θέσεις.



Σχήμα 36. Σχηματική παρουσίαση σχηματισμού νεολάκης με όξινο καταλύτη

Η αντίδραση τερματίζεται όταν η φορμαλδεΐδη εξαντλείται, συνήθως αφήνοντας υπόλοιπο 10% φαινόλη που δεν έχει αντιδράσει.

Συνήθως χρειάζεται απόσταξη για να απομακρυνθεί η περίσσεια φαινόλης και νερού.

Η νεολάκη που παρασκευάστηκε δεν είναι ικανή να αντιδράσει περαιτέρω χωρίς την παρουσία μέσου που να δημιουργεί διασταυρώσεις.

Επειδή η προσθήκη του μέσου απαιτείται για να ολοκληρωθεί η σκλήρυνση της νεολάκης, οι κατασκευαστές ρητινών νεολάκης ονομάζουν τις ρητίνες αυτές ως δύο σταδίων ή δύο βημάτων προϊόντα. Για το λόγο αυτό, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, χρησιμοποιούμε σαν σκληρυντή ή

σκληρυντικό μέσο την εξαμεθυλενοτετραμίνη ή HEXA ή εξαμίνη ή HMTA, ως πηγή φορμαλδεΐδης. (15)

6.5 ΡΗΤΙΝΕΣ Α ΒΑΘΜΙΔΑΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΡΕΖΟΛΗΣ (Resoles)

Οι ρητίνες ρεζόλης θεωρούνται θερμοσκληρυνόμενα υλικά. Οι ρητίνες αυτές αποτελούνται από μικρού μοριακού βάρους προϊόντα τα οποία θεωρούνται μονομερή.

Οι ρητίνες ρεζόλης είναι προϊόντα της αντίδρασης φαινόλης φορμαλδεΐδης στην οποία η αναλογία των mole μεταξύ φορμαλδεΐδης και φαινόλης είναι μεγαλύτερη από 1.

Στην περίπτωση των αλκαλικών αντιδράσεων οι συνηθέστερες τιμές της μοριακής αναλογίας φαινόλης / φορμαλδεΐδης είναι 1,2 έως 1,5. Σε ειδικές περιπτώσεις ο λόγος αυτός παίρνει τιμές 1:2 έως 1:3.

Η αντίδραση πραγματοποιείται παρουσία αλκαλικού μέσου. Πρόκειται για μία περίπτωση σταδιακού πολυμερισμού στον οποίο χρησιμοποιείται αλκαλικός καταλύτης. Το μέγεθος του μορίου στην αλκαλική αντίδραση ελέγχεται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, από την χρησιμοποιούμενη στοιχειομετρία του μίγματος της αντίδρασης.

Οι ρητίνες α βαθμίδας είναι διαλυτές σε υδατικά διαλύματα αλκαλίων.

Ανάλογα με την έκταση της αντίδρασης το προϊόν που παράγεται κατατάσσεται σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

Ρητίνες α βαθμίδας συμπύκνωσης (Resoles), στις ρητίνες β βαθμίδας συμπύκνωσης (Resitol) και στις ρητίνες γ βαθμίδας συμπύκνωσης. (15)

6.6. ΡΗΤΙΝΕΣ Β ΒΑΘΜΙΔΑΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (Resitol)

Αποτελούνται από μόρια πολυμερούς τα οποία είναι κανόνα γραμμικά με μία μικρή αναλογία διασταυρώσεων συνδέσμων. Οι συνδέσεις των αρωματικών πυρήνων είναι κατά ένα μέρος μεταξύ μεθυλενικών ομάδων και κατά ένα μέρος αιθερικών ομάδων.

Οι ρητίνες αυτές είναι αδιάλυτες σε υδατικά διαλύματα αλκαλίων, ενώ είναι πλήρως ή εν μέρη διαλυτές σε οξυγονούχους οργανικούς διαλύτες. Είναι επίσης σκληρές εύθραυστες και θερμοπλαστικές.

6.7. ΡΗΤΙΝΕΣ Γ ΒΑΘΜΙΔΑΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Οι συνδέσεις των ρητινών αυτής της βαθμίδας γίνονται κυρίως με ομάδες μεθυλενίου.

Οι ρητίνες αυτής της βαθμίδας είναι αδιάλυτες σε οργανικούς διαλύτες, δύστηκτες, θερμοσκληρυνόμενες και τα μόρια τους έχουν την μορφή πυκνού πλέγματος.

Αυτά τα υλικά περιέχουν συνδέσεις μεθυλενομάδων τα οποία ευρίσκονται σε θέσεις όρθο και πάρα ως προς τις φαινολικές υδροξυομάδες με τον ίδιο τρόπο όπως και στις ρητίνες νεολάκης. Σε αντίθεση με τις ρητίνες νεολάκης, οι ρητίνες ρεσόλης παρουσιάζουν τελικές ομάδες. (15)

6.8. ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΦΑΙΝΟΛΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ (CURING)

Τα μακρομόρια των διαφόρων πολυμερών διαφέρουν όχι μόνο ως προς την σύσταση της αλυσίδας και την σύνδεση ή την διαδοχή των δομικών μονάδων αλλά επίσης διαφέρουν και στην μοριακή αρχιτεκτονική. Η τελευταία, όπως περιγράφηκε παραπάνω, καθορίζεται από τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους οι επιμέρους μακρομοριακές αλυσίδες. Διακρίνονται γραμμικές (ή μη διακλαδωμένες) αλυσίδες, διακλαδωμένες και πλέγματα αλυσίδων.

Στα πολυμερή πλέγματος υπάρχουν διασταυρούμενες συνδέσεις των αλυσίδων των μακρομορίων ή διασταυρώσεις ή σταυροδεσμοί έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα πλέγμα που μπορεί να αναπτύσσεται σε δύο ή και στις τρεις διαστάσεις του χώρου. Γενικά το πλέγμα μπορεί να δημιουργηθεί με χημική διασταύρωση οπότε προκύπτουν χημικά πλέγματα πολυμερών ή για φυσική διασταύρωση οπότε προκύπτουν φυσικά πλέγματα πολυμερών.

Η φυσική διασταύρωση προκύπτει π.χ. με δημιουργία κάποιου κόμπου μεταξύ αλυσίδων, με τοπική αναδίπλωση μεταξύ αλυσίδων μεταξύ δύο αλυσίδων.

Η παρουσία κατά τον πολυμερισμό ενώσεων με περισσότερες από δύο δραστικές ομάδες οδηγεί στον σχηματισμό διακλαδωμένων μακρομορίων και μακρομορίων πλέγματος. Όταν η ένωση είναι αδιάλυτη σε όλους τους διαλύτες, τότε ομιλούμε για πλέγμα.

Τα μακρομόρια πλέγματος είναι αδιάλυτα σε όλους τους διαλύτες, όμως ανάλογα με τον βαθμό των διασταυρώσεων μπορούν να διαποτίζονται από διαλύτη περισσότερο ή λιγότερο. Συνήθως στις διασταυρώσεις πλέγματος χρησιμοποιείται ένα κατάλληλο μέσο το οποίο λόγω του μεγάλου μήκους των μακρομορίων αρκεί ακόμη και σε μικρή ποσότητα για να προκαλέσει ολοκληρωτική διασταύρωση πλέγματος δηλαδή σύνδεση όλων των μακρομορίων του πλέγματος. (1,2,15)

6.81. ΓΕΝΙΚΑ

Η σκλήρυνση είναι μία αντίδραση πολυμερισμού ή μεταπολυμερισμού όπου με τη τελευταία έννοια υποδηλώνεται ότι ακολουθεί νέος πολυμερισμός μετά τον πολυμερισμό που προηγήθηκε. Η αντίδραση σκλήρυνσης μπορεί να λάβει χώρα σε ήπιες ή υψηλότερες θερμοκρασίες σε διάλυμα, μίγμα ή τήγμα.

Κατά την πορεία της σκλήρυνσης το μίγμα ρητίνης σκληρυντή διέρχεται σταδιακά από μία κατάσταση πήγματος (gel, σημείο ζελαρίσματος), στην οποία το υλικό καθίσταται δύσχηστο και ακολουθεί πλήρης σκλήρυνση, η οποία οδηγεί στο θερμοσκληρυνόμενο υλικό. Η τελική σκλήρυνση καθορίζεται πειραματικά από την θερμοκρασία, την αναλογία ρητίνης –σκληρυντή και την πίεση.

Η επιλογή του κατάλληλου σκληρυντή εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής, τις επιθυμητές φυσικές ιδιότητες και τις συνθήκες επεξεργασίας.

Οι σκληρυντές επηρεάζουν σημαντικά τους χημικούς δεσμούς που δημιουργούνται καθώς και το βαθμό πολυμερισμού.

Έτσι οι σκληρυντές και η σκλήρυνση επηρεάζουν την χημική σταθερότητα, τις ηλεκτρικές και τις μηχανικές ιδιότητες και τη θερμική σταθερότητα των θερμοσκληρυνόμενων υλικών.

Ως σκληρυντές χρησιμοποιούνται αρωματικές, αλειφατικές ή κυκλοαλειφατικές αμίνες ή ανυδρίτες οξέων.

Οι πιο σημαντικές αλειφατικές αμίνες είναι η αιθυλενοδιαμίνη (EDA), η διαιθυλενοτριαμίνη (DETA), η τριαιθυλενοτετραμίνη (TETA), η τετρααιθυλοτετραμίνη (HEXA).

Η χρήση των αλειφατικών αμινών οδηγεί σε ισχυρά συνδεδεμένα δίκτυα με καλές φυσικές ιδιότητες, καλή χημική σταθερότητα και αντοχή σε διαλύματα, αλλά παρουσιάζει χαμηλή ευκαμψία και σκληρότητα.

Οι αρωματικές αμίνες είναι λιγότερο δραστικές από τις αλειφατικές και απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες για τη σκλήρυνση. Είναι στερεές σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και απαιτούν κάποια θέρμανση για να αποκτήσουν ικανοποιητική διαλυτότητα.

Οι ανυδρίτες οξέων αποτελούν σημαντική κατηγορία σκληρυντών και χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις σκλήρυνσης εν θερμώ.

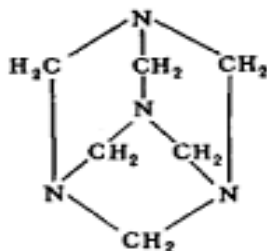
Κατά την αντίδραση των ρητινών με ανυδρίτες οξέων σε θερμοκρασίες άνω των 100 °C και παρουσία βασικού καταλύτη οι διασταυρωμένες δομές της ρητίνης που δημιουργούνται προκύπτουν από εστεροποίηση κατά την οποία αντιδρά ανά καρβοξύλιο του ανυδρίτη με το υδροξύλιο και σχηματισμό εστέρα, ακολουθούμενη από αντίδραση του άλλου καρβοξυλίου με τον εποξειδικό δακτύλιο.

Τυπικοί ανυδρίτες που χρησιμοποιούνται είναι αυτοί του φθαλικού και του εξυδροφθαλικού οξέος. (15)

6.82. ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΦΑΙΝΟΛΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Για την σκλήρυνση πολυμερών φαινόλης φορμαλδεΐδης και ιδιαίτερα της νεολάκης χρησιμοποιούνται αμίνες, από τις οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον η εξαμεθυλενοτετραμίνη (HEXA), η παραφορμαλδεΐδη και τα πολυοξυλομεθυλένια.

Οι παραπάνω ενώσεις προσδίδουν τις απαραίτητες ομάδες μεθυλενίου στην νεολάκη έτσι ώστε να δημιουργήσουν ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές αδιάλυτο και σκληρό.

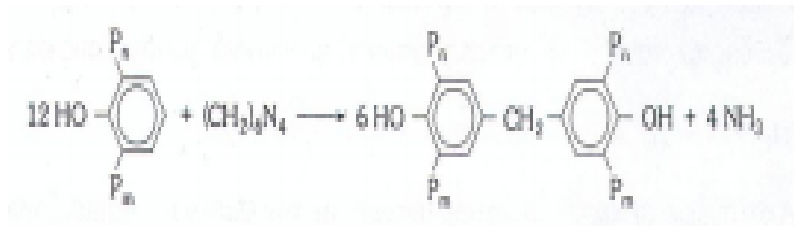


Σχήμα 37. Η δομή της HEXA

Η HEXA χρησιμοποιείται ευρύτατα στην βιομηχανία ως πηγή φορμαλδεΐδης σε θερμοκρασίες σκλήρυνσης. Η σκλήρυνση με εξαμεθυλενοτετραμίνη γίνεται με σκοπό να συνδεθούν οι αρωματικοί δακτύλιοι της νεολάκης μέσω γεφυρών μεθυλενίου, και διμεθυλενίου σε θερμοκρασίες πάνω από 180°C.

Αυτές οι συνδέσεις γίνονται κατά προτίμηση στην θέση 4 του φαινολικού συγκροτήματος με απομάκρυνση αμμωνίας.

Ένα σοβαρό χαρακτηριστικό το οποίο διαθέτει η HEXA και χρησιμοποιείται για την σκλήρυνση των φαινολικών ρητινών είναι ότι αντιδρά απευθείας με τη ρητίνη χωρίς να παράγει ελεύθερη φορμαλδεΐδη. Η HEXA σκληραίνει την ρητίνη και δημιουργεί διασταυρώσεις με συνέπεια την μετατροπή της ρητίνης σε αδιάλυτο στερεό. Λόγω των γωνιών των δεσμών και της ανάπτυξης του πολυμερούς στις τρεις διαστάσεις σχηματίζεται ένα πολυμερές αναπτυσσόμενο και στις τρεις διαστάσεις με αρωματικές φαινολικές ομάδες οι οποίες είναι υπεύθυνες για την σκληρότητα της ρητίνης.



Σχήμα 38. Σκλήρυνση φαινολικών ρητινών

6.9. ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η θερμική επεξεργασία των ρητινών γνωστή και ως curing είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνη για την ποιότητα και τις μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών. Σε ένα τέτοιο τρισδιάστατο δίκτυο, τις τελικές ιδιότητες καθορίζουν το πλήθος των διασταυρώσεων με δεσμούς και το μήκος των μακρομοριακών αλυσίδων. Η θερμική επεξεργασία κατά την διάρκεια της οποίας συμβαίνουν οι χημικές αντιδράσεις συνήθως περιλαμβάνουν (ανάλογα με το είδος των συστατικών) διαδικασίες θέρμανσης και ψύξης με ελεγχόμενο ρυθμό και επιβολή πίεσης ή και κενού αέρος.

Μετά την διαδικασία αυτή μπορεί να ακολουθηθεί επιπλέον θερμική κατεργασία υψηλής θερμοκρασίας (post curing), για ορισμένο χρονικό διάστημα έτσι ώστε να σταθεροποιηθούν οι ιδιότητες του σύνθετου υλικού.

Η θερμική κατεργασία των ρητινών πραγματοποιείται σε κοινό φούρνο όπου διασφαλίζονται οι απαιτούμενες συνθήκες είτε πρόκειται για ρητίνη η οποία πρόκειται να σκληρυνθεί, είτε για προδιαποτισμένες ίνες με ρητίνη.

Η θερμική επεξεργασία που θα επιλεγεί θα πρέπει να έχει τέτοιο προφίλ ώστε να επιτρέπει τον πολυμερισμό της ρητίνης σε όλο τον όγκο της, να βελτιστοποιεί τη διάρκεια του πολυμερισμού και να απομακρύνει τα αέρια που εκλύονται κατά την διάρκεια της διεργασίας.

Πολύ μεγάλη σημασία έχει ο ρυθμός ανόδου και η σταδιακή πτώση της θερμοκρασίας καθώς και το θερμοκρασιακό εύρος της κατεργασίας.

Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του curing τόσο υψηλότερη τιμή έχει η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης Tg της μήτρας.

Ένα μεγάλο πρόβλημα της θερμικής κατεργασίας είναι η εμφάνιση πόρων στο εσωτερικό του σύνθετου υλικού που προέρχονται από τον εγκλωβισμό φυσαλίδων αέρα κατά την παρασκευή του.

Οι θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες σε σύγκριση με τις θερμοπλαστικές ρητίνες έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες που δεν εξαρτώνται τόσο από τη θερμοκρασία και παρουσιάζουν υψηλότερη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης.

Οι θερμοσκληρυνόμενες παρουσιάζουν χαμηλό ιξώδες σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών κατά την θερμική κατεργασία με αποτέλεσμα να ρέουν εύκολα δια μέσου της φάσης ενίσχυσης και να επιτυγχάνεται μεγαλύτερος βαθμός πρόσφυσης με αυτή.

Μειονέκτημα στα συστήματα αυτά είναι ο μεγάλος συντελεστής θερμικής διαστολής εξ αιτίας του οποίου αναπτύσσονται θερμικές στο σύνθετο υλικό. (15)

6.10. ΓΙΑΤΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ ΡΗΤΙΝΕΣ ΦΑΙΝΟΛΗΣ – ΦΟΡΜΑΛΔΕΪΔΗΣ

Οι ρητίνες φαινόλης-φορμαλδεΐδης χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην αεροπορική βιομηχανία λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν οι ρητίνες αυτές σε περίπτωση φωτιάς. Η χαμηλή τοξικότητα που παρουσιάζουν, ο χαμηλός καπνός και οι σχετικά χαμηλές φλόγες που παρουσιάζονται όταν αυτές ευρίσκονται σε περιβάλλον πυρκαγιάς, έχουν καταστήσει τις ρητίνες αυτές τα πλέον κατάλληλα υλικά για εσωτερικά μέρη αεροπλάνων, πλοίων και τρένων.

Η σχηματιζόμενη ρητίνη νεολάκης πριν την σκλήρυνση είναι άμορφη και θερμοπλαστική. Είναι στερεή σε θερμοκρασία δωματίου και είναι ρευστή σε θερμοκρασία 150-220°C. Το μοριακό βάρος της κυμαίνεται μεταξύ 250 και 900. Το μοριακό βάρος της φαινόλης είναι 94 g /mole. Μοριακό βάρος 500 σημαίνει ότι περίπου 5 φαινολικοί δακτύλιοι αντιστοιχούν στην νεολάκη αυτή.

Οι νεολάκες είναι διαλυτές σε πολλούς οργανικούς διαλύτες αλλά αδιάλυτες στο νερό.

Ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό των φαινολικών ρητινών είναι η ικανότητα τους να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες κάτω από μηχανικό φορτίο χωρίς να αποσυντίθενται ή να συμβαίνει ερπυσμός.

Η καύση φαινολικών ρητινών παράγει κύρια υδρογόνο, νερό και διοξείδιο του άνθρακα.

Ο καπνός, ο οποίος παράγεται από την καύση των φαινολικών ρητινών, είναι μικρός σε όγκο και χαμηλός σε τοξικότητα.

Αυτός είναι και λόγος που χρησιμοποιούνται τα υλικά αυτά ευρύτατα στην αεροπορική βιομηχανία και στις μεταφορές.

6.11. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΦΑΙΝΟΛΗΣ -ΦΟΡΜΑΛΔΕΪΔΗΣ

Για την παραγωγή ρητίνης νεολάκης χρησιμοποιείται η διαδικασία του σταδιακού πολυμερισμού φαινόλης – φορμαλδεΐδης παρουσία όξινου καταλύτη.

Το τελικό προϊόν είναι θερμοπλαστικό και διαλυτό σε οργανικούς διαλύτες.

Τα αντιδραστήρια και οι ποσότητες που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται παρακάτω:

Φαινόλη 217 g, φορμαλδεΐδη 162 g, οξαλικό οξύ 3,3 g

Χρησιμοποιήθηκε φαινόλη καθαρότητας 99,5% με μοριακό βάρος 94,11 μοριακό τύπο C₆H₆O της εταιρείας MERCK.

Το διάλυμα της φορμαλδεΐδης που χρησιμοποιήθηκε ήταν περιεκτικότητας 37% κ.ό., της εταιρείας MERCK.

Οι ίνες άνθρακα που χρησιμοποιήθηκαν κατασκευάστηκαν στην Γερμανία από την εταιρεία Tenax τύπου HTS 800 (πυκνότητα 1,77 g/cm³).

Η φαινόλη αφού πρώτα τριφθεί, η φορμαλδεΐδη καθώς και το οξαλικό οξύ τοποθετούνται σε αντιδραστήρα 2 λίτρων εφοδιασμένου με σύστημα αναδύσεως καθώς και σύστημα ψύξεως των ατμών νερού που προέρχονται από την συμπύκνωση της φαινόλης –φορμαλδεΐδης.

Πιο συγκεκριμένα στον αντιδραστήρα προστίθεται:

- Φορμαλδεΐδη 434 g,
- Φαινόλη 324 g,
- Οξαλικό οξύ 6,6 g,

Μετά τη φόρτωση τίθεται σε λειτουργία το σύστημα αναδέυσεως και ρυθμίζεται η θερμοκρασία στους 105°C. Μετά από 3 ώρες το περιεχόμενο της φιάλης αποχύνεται σε φόρμα αλουμινίου και αφήνεται προς στερεοποίηση.

Ακολούθως, τοποθετείται η φόρμα αλουμινίου με την ρητίνη νεολάκης στο πυριατήριο σε θερμοκρασία 130 °C για περίπου 6 ώρες.(5)

Η σκληρυμένη νεολάκη τρίβεται και ύστερα κοσκινίζεται σε κόσκινο με mesh κάτω από 300 μm.

6.12. ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ % ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΦΟΡΜΑΛΔΕΥΔΗΣ

Σκοπός του προσδιορισμού της ελεύθερης φορμαλδεΐδης είναι να προσδιοριστεί η πορεία της πολυσυμπύκνωσης της αντίδρασης φαινόλης φορμαλδεΐδης.

Η ελεύθερη φορμαλδεΐδη προσδιορίζεται ποσοτικά συναρτήσει του χρόνου της υδροχλωρικής υδροξυλαμίνης.

Η θερμοκρασία ρυθμίζεται στους 105 °C. Μετά από 20 min λαμβάνεται δείγμα 5 ml και ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία για τον προσδιορισμό της ελεύθερης φορμαλδεΐδης.

1. Αραίωση με 10 ml νερό
2. Προσθήκη 3 σταγόνων διαλύματος δείκτη BROMOPHENOL –BLAU
3. Προσθήκη 10 ml 10% διαλύματος υδροχλωρικής υδροξυλαμίνης
4. Μετά από 30 sec τιτλοδότηση του διαλύματος με 0,5 διάλυμα NaOH.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται κάθε περίπου 20 min. Με βάση την παραπάνω διαδικασία κατασκευάστηκε διάγραμμα της % ελεύθερης φορμαλδεΐδης συναρτήσει του χρόνου με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 10, με σκοπό την παρακολούθηση της πορείας της πολυσυμπυκνώσεως φαινόλης-φορμαλδεΐδης με την μέθοδο της υδροχλωρικής υδροξυλαμίνης.

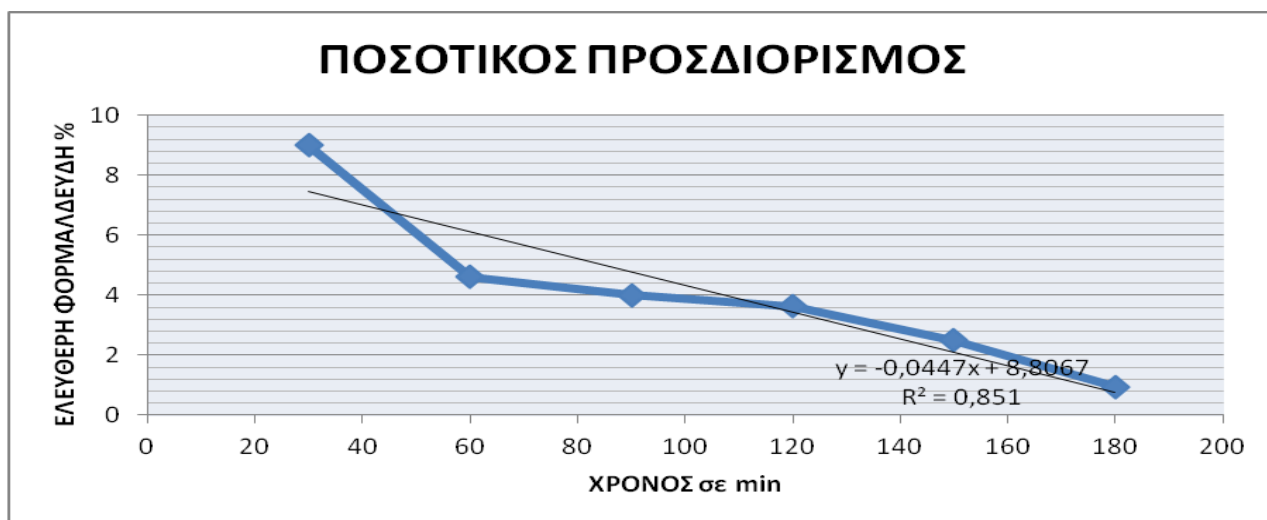
Το ποσοστό της επί της % ελεύθερης φορμαλδεΐδης υπολογίστηκε έμμεσα από την ποσότητα NaOH η οποία καταναλώθηκε κατά την τιτλοδότηση από την σχέση:

$$\% \text{ ελεύθερη φορμαλδεΐδη} = \text{ml (NaOH)} \times N (\text{NaOH}) \times 1.9 \times 3,00/\text{ml (δείγμα)}$$

Με βάση την παραπάνω σχέση προσδιορίστηκε ο παρακάτω πίνακας για τον υπολογισμό της ελεύθερης φορμαλδεΐδης.

Πίνακας 10. Ποσοτικός προσδιορισμός ελεύθερης φορμαλδεΐδης.

NaOH (ml)	ΧΡΟΝΟΣ (min)	% ελεύθερη φορμαλδεΐδη
27,5	30	9,00
14,1	60	4,60
12,3	90	4,00
11,1	120	3,63
7,1	150	2,50
2,9	180	1,00



Σχήμα 39. Ποσοτικός προσδιορισμός ελεύθερης φορμαλδεΐδης

Όπως είναι αναμενόμενο με την πάροδο του χρόνου το ποσοστό της ελεύθερης φορμαλδεΐδης μειώνεται αφού καταναλώνεται για τον σχηματισμό του πολυμερούς.

Τέλος υπολογίσθηκε η κατανάλωση ή η επί τοις εκατό απόδοση του μονομερούς

% απόδοση μονομερούς: $\alpha = m(\text{προϊόντων}) / m(\text{μονομερών})$

$m(\text{οξαλικού οξέος}) = 6,6 \text{ g.}$

$m(\text{φαινόλης}) = 434 \text{ g.}$

$m(\text{φορμαλδεΐδης}) = 324 \text{ g (35\%)}$

$m_1 = 16 \text{ g}$

$m_2 = 559,8 \text{ g (πριν τη ξήρανση)}$

$m_3 = 523,4 \text{ g (μετά την ξήρανση)}$

$m(\text{προϊόντων}) = m_3 - m_1 = 523,4 - 38 = 486 \text{ g.}$

$$m (\text{μονομερών}) = m \text{ φαινόλης} + m \text{ φορμαλδεΐδης} = 434 + 324 * 0,35 = 434 + 113,4 = 547,4\text{g}$$

Αντικαθιστούμε στον παραπάνω τύπο και προκύπτει $\alpha = 486 / 547,4 = 89 \%$

Η παραπάνω απόδοση δείχνει να δημιουργεί ρητίνη φαινόλης-φορμαλδεΐδης, η οποία μετά από την σκλήρυνση της στο πυριατήριο είναι σκληρή και σπάει δύσκολα.

Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκε ρητίνη φαινόλης – φορμαλδεΐδης, η οποία προέκυψε μετά από 2 ώρες πολυμερισμό από την στιγμή που η θερμοκρασία ήταν 105°C ή 2,5 ώρες από την στιγμή έναρξης της θέρμανσης.

Η ρητίνη αυτή, μετά την σκλήρυνση της στο πυριατήριο και συγκεκριμένα στους 140°C μπορεί να λειοτριβηθεί σχετικά εύκολα, ενώ μπορεί να παραμείνει ικανό χρονικό διάστημα για αποθήκευση χωρίς να σκληρύνει.

Η % απόδοση του μονομερούς είναι: $434 + 324 * 0,35 = 434 + 113,4 = 547,4\text{g}$

Μετά την ξήρανση: $399,6 / 547,4 = 0,73$, $\alpha = 73\%$.

Για την παρασκευή και σύνθεση της νεολάκης χρησιμοποιήθηκαν οι εγκαταστάσεις και τα όργανα του εργαστηρίου.

Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων παρασκευάστηκαν περίπου 7 kg νεολάκης εκ των οποίων περίπου 2 kg, μετά το πυριατήριο είχε σκληρύνει σε μεγάλο βαθμό, είχε αποκτήσει πορτοκαλί χρώμα και δεν μπορούσε να λειοτριβηθεί.(5)

6.13. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΝΕΟΛΑΚΗΣ

1. Επειδή κατά την διάρκεια των εργαστηριακών ασκήσεων, οι οποίες αφορούσαν την κατασκευή ρητίνης φαινόλης –φορμαλδεΐδης, ελαμβάνοντο τακτικά δείγματα από τον αντιδραστήρα για την μέτρηση της απόδοσης της αντίδρασης, είναι πιθανό να αλλάζει η στοιχειομετρία των αντιδρώντων υλικών λόγω διαφυγής των ατμών της φορμαλδεΐδης. Αυτός είναι ένας από τους κύριους λόγους η οποία επηρεάζει τον βαθμό απόδοσης, την στοιχειομετρία της αντίδρασης και τελικά την σκλήρυνση και το παραγόμενο προϊόν.
2. Μεγάλος βαθμός απόδοσης δείχνει να οδηγεί σε προϊόν το οποίο μετά την θέρμανση στο πυριατήριο έχει σκληρυνθεί αρκετά και είναι δύσκολο αργότερα να τριφθεί σε σκόνη κάτω από 300 μm .
Για το λόγο αυτό προτείνεται ο τερματισμός της αντίδρασης να γίνεται σε δύο ώρες, χωρίς ενδιάμεσα την λήψη δειγμάτων παρά μόνο στο τέλος της αντίδρασης.
3. Οι παραπάνω παρατηρήσεις οδηγούν σε προϊόν το οποίο μπορεί να αποθηκευθεί, χωρίς να έχει σκληρυνθεί αρκετά και έτσι μπορεί να τριφθεί εύκολα.

7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

7.1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η κατασκευή των συνθέτων υλικών πραγματοποιήθηκε στην Εργαστηριακή Μονάδα Προηγμένων και Συνθέτων Υλικών με εξοπλισμό του εργαστηρίου.

Πιο συγκεκριμένα παρασκευάζεται εργαστηριακά ρητίνη φαινόλης-φορμαλδεΐδης (νεολάκη) και ακολούθως κατασκευάζονται σύνθετα υλικά αποτελούμενα από ρητίνη φαινόλης- φορμαλδεΐδης (νεολάκη), ίνες άνθρακα και περλίτη σε αναλογία 10%, 15% και 20% αντίστοιχα. Η κατασκευή των δοκιμίων των σύνθετων υλικών περιλαμβάνει την κατασκευή ορθογωνίων δοκιμίων με την μέθοδο της προδιαπότισης σε διάλυμα ρητίνης φαινόλης- φορμαλδεΐδης με διαλύτη, με την οποία προκύπτουν ελάσματα / στρώσεις, όπου ακολούθως αυτά τοποθετούνται επάλληλα μέσα σε κατάλληλο καλούπι και μορφοποιούνται σε θερμοπρέσσα προς ενιαία, συμπαγή δοκίμια με ταυτόχρονη σκλήρυνση της ρητίνης (δημιουργία διασταυρώσεων πλέγματος σε μοριακό επίπεδο).

7.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΙΑΠΟΤΙΣΜΕΝΩΝ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Για την παραγωγή των διαποτισμένων ινών άνθρακα οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των συνθέτων υλικών χρησιμοποιήθηκαν οι κάτωθι διατάξεις :



Σχήμα 40. Διάταξη προδιαπότισης

Η διάταξη αυτή αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

- Κύλινδρο ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα από οριζόντιο άξονα και φέρει τυλιγμένη την ίνα άνθρακα.
- Σύστημα οδήγησης της ίνας αποτελούμενο από 6 τροχαλίες το οποίο εξασφαλίζει την κατάλληλη κλίση της ίνας τόσο κατά την διαβροχή της όσο και κατά την τοποθέτηση της στην πλάκα περιτύλιξης χωρίς να την τραυματίζει με τις αλλαγές της.

- Λουτρό με κεκλιμένα άκρα στο οποίο με τροχαλίες οι ίνες βυθίζονται και διαβρέχονται
- Πλάκα περιέλιξης, η οποία αποτελείται από αλουμίνιο και έχει μήκος 20 cm και πλάτος 22 cm. Η πλάκα περιστρέφεται γύρω από άξονα που φέρει σε όλο το μήκος του κοχλία, με βήμα 3,5 mm, τοποθετημένο κάθετα στον άξονα της ίνας, εξασφαλίζοντας έτσι σταθερή απόσταση μεταξύ των παράλληλων ινών.



Σχήμα 41. Πλάκα περιέλιξης

Διάταξη αρχικής (μερικής) σκλήρυνσης

Για τη μερική σκλήρυνση των ινών άνθρακα και του μίγματος νεολάκης /HEXA χρησιμοποιείται αρχικά φούρνος (πυριαντήριο) ECOCELL/1KW/220 VOLT.

Διάταξη μορφοποίησης δοκιμίων

Για την τελική μορφοποίηση των δοκιμίων χρησιμοποιείται μεταλλική μήτρα (καλούπι)

Το καλούπι αποτελείται από τέσσερις θέσεις, από τις οποίες προκύπτουν δύο διπλά δοκίμια διαφορετικού πλάτους.

Πιο συγκεκριμένα δύο με πλάτος 1 cm και δύο με πλάτος 1,7 cm. Όλα τα δοκίμια έχουν μήκος 21cm και πάχος 3 mm. Το καλούπι είναι ανοικτό στα άκρα των δοκιμίων, ώστε να απομακρύνεται η περίσσεια της ρητίνης και να αποφεύγεται ο εγκλωβισμός αερίων που πιθανόν να παράγονται κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης. Τα διάφορα τμήματα του καλουπιού συγκρατούνται με βίδες. Το μεταλλικό καλούπι φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 42. Το μεταλλικό καλούπι

Διάταξη τελικής σκλήρυνσης των δοκιμίων

Για την τελική σκλήρυνση των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε θερμοπρέσσα τύπου CARVER Inc/Model 3856

Επίσης, για τη ζύγιση των ποσοτήτων της ρητίνης και του σκληρυντή χρησιμοποιήθηκε απλός ζυγός OHAUS PORTABLE ADVANCED/ MODEL NO CT 1200V/ Capacity: 1200 x 0.1g, συνεχούς τάσης λειτουργίας.

Πριν τη διαπότιση των ινών άνθρακα η πλάκα περιέλιξης τυλίγεται με αλουμινόχαρτο και ψεκάζεται με αντικολλητικό σπρέι (Teflon), έτσι ώστε να είναι δυνατή η εύκολη αποκόλληση των ινών από την πλάκα.

Το λουτρό διαβροχής πληρούται από την κατάλληλη αναλογία νεολάκης και HEXA, μεθανόλης και νερού.

Η μεθανόλη χρησιμοποιείται για να διαλύσει την νεολάκη, ενώ το νερό για να διαλύσει την HEXA.

Η αναλογία μεθανόλης και νερού είναι 4/1.

Για τον λόγο αυτό και στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας ετοιμάστηκε διάλυμα 270 ml. Η ποσότητα αυτή υπολογίστηκε με βάση την περιεκτικότητα του λουτρού διαβροχής των ινών ο όγκος του οποίου υπολογίστηκε σε 300 ml. Το διάλυμα αυτό αποτελείται από 216 ml μεθανόλης και 54 ml νερού.

Το διάλυμα περιέχει στερεά νεολάκης και HEXA (αναλογία νεολάκης και HEXA 14/1 κ.β.) σε αναλογία 20% κατά βάρος στερεών (σε γραμμάρια) ανά όγκο διαλυτών (σε milliliters).

-Υπολογισμός διαλύματος διαβροχής

Το διάλυμα αυτό περιέχει 20% σε αρχικά στερεά συστατικά. Τα 270 ml θα περιέχουν 20% σωματίδια, δηλαδή 54 g νεολάκης και HEXA. Η αναλογία νεολάκης και HEXA είναι 14/1 κ.β. Άρα τα 54 g νεολάκης και HEXA αποτελούνται από 50,4 g νεολάκης και 3,6 g HEXA.

Στα στερεά σωματίδια, νεολάκη και HEXA, έγινε μείωση του μεγέθους τους με τριβή σε γουδί και στον βαθμό που οι κόκκοι να περνούν από κόσκινο 300 μm.

Η συνολική ποσότητα του μίγματος που απαιτείται για να είναι δυνατή η πλήρης διαπότιση της ίνας είναι, όπως περιγράφηκε είναι 270 ml. Η ίνα έχει τοποθετηθεί στο σύστημα των τροχαλιών, όπου το ένα άκρο προέρχεται από κύλινδρο όπου είναι τυλιγμένη η ίνα άνθρακα και το άλλο άκρο έχει στερεωθεί στην πλάκα περιέλιξης.

Κατά την περιστροφή της πλάκας, ή ίνας, αφού πρώτα διέλθει από το λουτρό διαπότισης σε χρόνο ώστε να διαποτιστεί πλήρως, τυλίγεται στην πλάκα λόγω του σταθερού βήματος του κοχλία, ενώ ταυτόχρονα ξετυλίγεται από τον κύλινδρο που την περιέχει.

Όταν η επιφάνεια της πλάκας καλυφθεί από ίνες διακόπτεται η διαδικασία διαβροχής και περιτύλιξης, αποκόβεται η ίνα και το ελεύθερο άκρο της στερεώνεται στην πλάκα.

-Προτείνεται το υπόλοιπο από το λουτρό διαπότισης να εγχυθεί στην πλάκα με τις ίνες άνθρακα, ώστε να υπάρχει και μία δεύτερη επιφανειακή διαπότιση των ινών.

Πρέπει ακόμη σχολαστικά να προσεχθεί οι ίνες να μην επικαλύψουν η μία στην άλλη κατά την διάρκεια της περιτύλιξης και να είναι ευθυγραμμισμένες.

7.3. ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ

Η πορεία της διαδικασίας σκλήρυνσης της νεολάκης αποτελείται από δύο στάδια, τα οποία περιγράφονται παρακάτω:

7.31 ΑΡΧΙΚΗ (ΜΕΡΙΚΗ) ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ

Η πλάκα ξεβιδώνεται από τον άξονα της και στην συνέχεια τοποθετείται στον φούρνο (πυριαντήριο) με σκοπό τη μερική σκλήρυνσης του συστήματος ινών- ρητίνης.

Ο χρόνος και η θερμοκρασία του φούρνου παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην τελική ποιότητα του σύνθετου υλικού επειδή επηρεάζουν άμεσα την σκλήρυνση της ρητίνης.

Η πλάκα απομακρύνεται από τον φούρνο τη στιγμή που το μίγμα διαπότισης έχει φτάσει στο σημείο πήγματος.

Το μίγμα της διαπότισης θα πρέπει ούτε να είναι πολύ ρευστό ούτε πολύ σκληρυμένο.

Στην συγκεκριμένη εργασία το μίγμα νεολάκης- ινών άνθρακα τοποθετείται στο πυριαντήριο για 5 ώρες στους 140 °C.

7.32. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΕΛΙΚΗΣ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ

Η πλάκα μετά την αρχική σκλήρυνση απομακρύνεται από τον φούρνο και αφού ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στην συνέχεια κόβονται οι σκληρυμένες ίνες στην καμπυλότητα που έχει δημιουργηθεί στις ίνες από την πλάκα περιτύλιξης.

7.33. ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΘΕΡΜΟΠΡΕΣΣΑ

Στην συνέχεια οι ίνες τοποθετούνται στο καλούπι με την παρακάτω σειρά:

Στον πυθμένα του καλουπιού τοποθετήθηκε μίγμα νεολάκης και HEXA σε αναλογία 7:2.

Το καλούπι αποτελείται από 4 χώρους οι οποίοι δημιουργούν 4 παράλληλα καλούπια, δύο εξ αυτών με πλάτος $W=1,7$ cm, και 2 με πλάτος $W=1$ cm. Κάθε ένα από αυτά τα καλούπια έχουν μήκος $L=21$ cm. Το πάχος των δοκιμίων αυτών καθορίζεται με ειδικές λάμες έτσι ώστε να έχουν πάχος $T=0,3$ cm.

Η πυκνότητα των ινών άνθρακα με βάση τον κατασκευαστή τους ισούται με $\rho_c=1,77$ g/cm³.

Μία ίνα άνθρακα μήκους $L=21$ cm έχει βάρος $M= 0.3408$ g.

Όγκος των δοκιμίων:

A. Πλατιά δοκίμια : $L \times W \times T = 21 \times 1,7 \times 0,3 = 10,71 \text{ cm}^3$

B. Στενά δοκίμια : $L \times W \times T = 21 \times 1 \times 0,3 = 6,30 \text{ cm}^3$

Μάζα των δοκιμίων:

A. Πλατιά δοκίμια: $M_w = V \times P_f \times P_c = 10,71 \times 15/100 \times 1,77 = 2.844$ g

B. Στενά δοκίμια: $M_n = V \times P_f \times P_c = 6,30 \times 15/100 \times 1,77 = 1,673$ g.
 $M_t = 4,517$ g

Με βάση τον παραπάνω υπολογισμό για 15% κ.ό. ίνες άνθρακα χρειάζονται

A. Πλατιά δοκίμια $M_w/M=8,35$ ίνες, άρα 8 ίνες

B. Στενά δοκίμια $M_n/M=4,91$ ίνες, άρα 5 ίνες

Για την σκλήρυνση της νεολάκης χρησιμοποιείται σκόνη HEXA σε αναλογία 7: 2 κ.β.

Προστέθηκε περλίτης σε αναλογία 10 % στό μίγμα νεολάκης και HEXA , χωρίς ίνες άνθρακα, και 10%, 15% και 20% περλίτης στο μίγμα νεολάκης και HEXA αντίστοιχα με 15% ίνες άνθρακα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11. Κατασκευασθέντα σύνθετα υλικά.

Κωδικός συνθέτου	Περιεκτικότητα (% w/w) σε νεολάκη - HEXA (N)	Περιεκτικότητα (% w/w) σε περλίτη (P)	Περιεκτικότητα (% v/v) σε ίνες άνθρακα (CF)
N-CF15	100	0	15
N-P10	90	10	0
N-P10-CF15	90	10	15
N-P15-CF15	85	15	15
N-P20-CF15	80	20	15

7.34. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΙΓΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

A. Υπολογισμός μίγματος νεολάκης και HEXA με 15% κ.ό. ίνες άνθρακα (N-CF15)

Η αναλογία νεολάκης προς HEXA είναι 7:2. Θα χρησιμοποιηθούν 42 g νεολάκης και 12 g HEXA. Για μεν το πλατύ δοκίμιο θα χρειασθούμε 8 ίνες άνθρακα, για δε το στενό δοκίμιο, θα χρειασθούμε 5 ίνες άνθρακα, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως.

Η παραπάνω αναλογία θα πρέπει να διατηρείται σταθερή για την παραγωγή συνθέτου υλικού με 15 % ίνες άνθρακα.

B. Υπολογισμός μίγματος νεολάκης και HEXA και 10% κ.β. περλίτη (N-P10).

Η αναλογία νεολάκης προς HEXA είναι 7:2.

Θα χρησιμοποιήσουμε 42 g νεολάκης και 12 g HEXA.

- Έστω ότι θα χρησιμοποιήσουμε 10% σε περλίτη χωρίς ίνες άνθρακα
- θα αντικαταστήσουμε 10% μίγματος νεολάκης και HEXA με 10% περλίτη.

Τότε θα ισχύει:

Στα $(54 + \chi)$ g μίγματος νεολάκης και HEXA αντιστοιχούν χ g περλίτη

Στα 100 g μίγματος νεολάκης και HEXA αντιστοιχούν 10 g περλίτη

Οπότε $\chi=6$ g περλίτη.

Δηλαδή τα 60 g μίγματος περιέχουν 42 g νεολάκης 12 g HEXA και 6 g περλίτη

Η παραπάνω αναλογία θα πρέπει να διατηρείται σταθερή για την παραγωγή συνθέτου υλικού με 10% περλίτη.

Γ. Υπολογισμός μίγματος νεολάκης και HEXA με 10% κ.β. περλίτη και 15% κ.ό. ίνες άνθρακα (N-P10-CF15):

Η αναλογία νεολάκης προς HEXA είναι 7:2.

Θα χρησιμοποιήσουμε 42 g νεολάκης και 12 g HEXA.

- Έστω ότι θα χρησιμοποιήσουμε 10% σε περλίτη και 15% ίνες άνθρακα
- θα αντικαταστήσουμε 10% μίγματος νεολάκης και HEXA με 10% περλίτη.

Τότε θα ισχύει:

Στα $(54 + \chi)$ g μίγματος νεολάκης και HEXA αντιστοιχούν χ g περλίτη

Στα 100 g μίγματος νεολάκης και HEXA αντιστοιχούν 10 g περλίτη

Οπότε $\chi=6$ g περλίτη

Δηλαδή, τα 60 g μίγματος περιέχουν 42 g νεολάκης 12 g HEXA και 6 g περλίτη

Για το πλατύ δοκίμιο θα χρειαστούμε 8 ίνες άνθρακα και για το στενό δοκίμιο 5 ίνες άνθρακα.

Η παραπάνω αναλογία θα πρέπει να διατηρείται σταθερή για την παραγωγή συνθέτου υλικού με 10% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.

Δ. Υπολογισμός μίγματος νεολάκης και HEXA με 15% κ.β. περλίτη και 15% κ.ό. ίνες άνθρακα (N-P15-CF15)

Η αναλογία νεολάκης προς HEXA είναι 7:2.

Θα χρησιμοποιήσουμε 42 g νεολάκης και 12 g HEXA.

- Έστω ότι θα χρησιμοποιήσουμε 15% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα
- Θα αντικαταστήσουμε 15% μίγματος νεολάκης και HEXA με 15% περλίτη

Τότε θα ισχύει:

Στα $(54 + \chi)$ g μίγματος νεολάκης και HEXA αντιστοιχούν χ g περλίτη

Στα **100 g** μίγματος νεολάκης και HEXA αντιστοιχούν **15 g περλίτη**

Οπότε $\chi=9,5$ g περλίτη

Δηλαδή, τα 63,5 g μίγματος περιέχουν 42 g νεολάκης 12 g HEXA και 9,5 g περλίτη

Για το πλατύ δοκίμιο θα χρειαστούμε 8 ίνες άνθρακα και για το στενό δοκίμιο 5 ίνες άνθρακα.
Η παραπάνω αναλογία θα πρέπει να διατηρείται σταθερή για την παραγωγή συνθέτου υλικού με 15% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.

Ε. Υπολογισμός μίγματος νεολάκης και HEXA με 20% κ.β. περλίτη και 15% κ.ό. ίνες άνθρακα (N-P20-CF15)

Η αναλογία νεολάκης προς HEXA είναι 7:2.
Θα χρησιμοποιήσουμε 42 g νεολάκης και 12 g HEXA.

- Έστω ότι θα χρησιμοποιήσουμε 20% περλίτη
- Θα αντικαταστήσουμε 20% μίγματος νεολάκης και HEXA με 20% περλίτη.

Τότε θα ισχύει:

Στα **(54 + χ) g** μίγματος νεολάκης και HEXA αντιστοιχούν **χ g περλίτη**

Στα **100 g** μίγματος νεολάκης και HEXA αντιστοιχούν **20 g περλίτη**

Οπότε $\chi=13,5$ g περλίτη

Δηλαδή τα 67,5 g μίγματος περιέχουν 42 g νεολάκης 12 g HEXA και 13,5 g περλίτη

Η παραπάνω αναλογία θα πρέπει να διατηρείται σταθερή για την παραγωγή συνθέτου υλικού με 20% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα

Ακολούθως τοποθετήθηκαν με την ακόλουθη σειρά στο καλούπι τα κάτωθι υλικά:

Στο κάτω μέρος του καλουπιού και σε επαφή με το μέταλλο του καλουπιού τοποθετήθηκε στρώμα νεολάκης /HEXA σε αναλογία 7:2 και περλίτης κατ' αντιστοιχία με τις παραπάνω αναλογίες 10%, 15% και 20% κ.β. στο μίγμα νεολάκης και HEXA.

- Κατασκευή πλατιών δοκιμίων

Στα δύο πλατιά μέρη του καλουπιού και πάνω από το στρώμα HEXA /νεολάκης /περλίτη (όπου υπάρχει) τοποθετούνται 4 ίνες εμποτισμένων ινών άνθρακα. Πάνω από τις 4 εμποτισμένες ίνες άνθρακα τοποθετείται ένα στρώμα νεολάκης/HEXA και περλίτη με την ίδια σύσταση με το προηγούμενο. Πάνω από αυτό το στρώμα τοποθετούνται παράλληλα άλλες 4 ίνες προεμποτισμένων ινών, έτσι ώστε το άθροισμα των ινών να είναι 8. Τελευταία τοποθετείται ένα ακόμη στρώμα νεολάκης/HEXA/περλίτη σε σταθερή αναλογία με τα υπόλοιπα στρώματα.

- Κατασκευή στενών δοκιμίων

Τα στενά δοκίμια κατασκευάστηκαν με τον ίδιο τρόπο. Το μόνο που διαφέρει από την προηγούμενη κατασκευή είναι ο αριθμός των ινών. Στο κάτω στρώμα τοποθετήθηκαν 3 προεμποτισμένες ίνες άνθρακα και στο πάνω στρώμα 2 προεμποτισμένες ίνες. Το συνολικό άθροισμα των ινών στα δοκίμια είναι όπως υπολογίστηκε 5 ίνες. Η αναλογία νεολάκης/HEXA/περλίτη (όπου υπάρχει) παραμένει σταθερή για όλα τα στρώματα του καλουπιού.

7.35. ΤΕΛΙΚΗ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΟΠΡΕΣΣΑ

Η τελική σκλήρυνση των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε με τοποθέτηση του καλουπιού στην θερμοπρέσσα.



Σχήμα 43. Θερμοπρέσσα

Κατ' αρχήν, χωρίς επιβολή πίεσης θερμαίνεται το καλούπι στην θερμοπρέσσα για 20 λεπτά σε θερμοκρασία 140°C Ακολούθως αυξάνουμε την θερμοκρασία στους 170°C και την πίεση στα 13 MPa για 40 λεπτά.

Μετά το πέρας της θέρμανσης αφήνεται για 24 ώρες υπό πίεση στην θερμοπρέσσα και ακολουθεί αφαίρεση του καλουπιού από αυτήν.

Τα δοκίμια αφαιρούνται από το καλούπι και ετοιμάζονται για τις μετρήσεις που πρόκειται να ακολουθήσουν.

8^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

8.1. ΓΕΝΙΚΑ

Δοκιμασία Κάμψης

Η δοκιμασία κάμψεως (bending) αποτελεί μία στατική δοκιμασία. Κατά τη δοκιμασία αυτή το επίμηκες δοκίμιο στηρίζεται στα δύο άκρα του και στο μέσον του δοκιμίου ασκείται δύναμη, ενώ καταγράφεται ή υπολογίζεται η ασκούμενη δύναμη και η αντίστοιχη μετατόπιση του βέλους κάμψης του μέσου του δοκιμίου.

Σε αντίθεση με την δοκιμασία εφελκυσμού, η δοκιμασία κάμψης προσφέρει το πλεονέκτημα ότι λείπουν όλα τα προβλήματα στερεώσεως του δοκιμίου στις αρπάγες της μηχανής εφελκυσμού.

Η δοκιμασία της κάμψης εξασφαλίζει μία μονοσήμαντη μονοαξονική κατάσταση τάσεων, ενώ κατά την δοκιμασία εφελκυσμού το δοκίμιο λόγω της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ αρπάγης και δοκιμίου καταπονείται πολυαξονικά.

Κατά την δοκιμασία της κάμψης συνθέτων υλικών συνεχούς ενισχύσεως με ίνες άνθρακα πρέπει το εξωτερικό φορτίο να μεταφέρεται από την μήτρα προς την ίνα.

Με αυτό τον τρόπο παρέχεται μία μαρτυρία για την δομική ακεραιότητα του σύνθετου υλικού.

Για να μετρηθούν πραγματικές τιμές πρέπει ο λόγος της απόστασης της στήριξης (L) προς το πάχος του δοκιμίου (d) δηλαδή ο λόγος L/d να κυμαίνεται μεταξύ 40 και 60.

Δοκιμασία Διάτμησης

Η δοκιμασία διάτμησης (shear) αποτελεί και αυτή μία στατική δοκιμασία. Η έννοια της διάτμησης ισοδυναμεί με την έννοια «τμήση» ή ψαλιδισμός.

Κατά την δοκιμασία αυτή η στήριξη του δοκιμίου και η άσκηση της δύναμης γίνεται όπως στην δοκιμασία της κάμψης με τη διαφορά ότι η απόσταση στήριξης είναι πολύ μικρή.

Τα σύνθετα υλικά συνεχούς ενίσχυσης με ίνες μαζί με μία εφελκυστική και θλιπτική καταπόνηση συχνά υφίστανται και μία διατμητική καταπόνηση.

Λόγω της διαστρωματικής δομής αυτών των υλικών αποκτά η διάτμηση μεγάλη σημασία, επειδή με την διατμητική καταπόνηση οι στρώσεις μπορούν να αποχωρισθούν.

Αυτό το διαχωριστικό φαινόμενο «αποπολύστρωση» (delamination) εξαρτάται από την κατάσταση των δεσμών μήτρας /ίνας και οδηγεί σε συμπεράσματα για την συνάφεια μεταξύ ίνας και μήτρας.

Ένα ποσοτικό μέτρο για την κατάσταση δεσμών και την συνάφεια ίνας μήτρας αποτελεί η διαστρωματική διατμητική αντοχή.

Για τον προσδιορισμό της διαστρωματικής διατμητικής αντοχής χρησιμοποιούνται ορισμένες μέθοδοι, όπως είναι η εφελκυστική διατμητική δοκιμασία, και η καμπτική διατμητική δοκιμασία.

Η καμπτική διατμητική δοκιμασία πραγματοποιείται μόνο για ένα περιορισμένο λόγο L/d (L/d =4 έως 6). Εάν ξεπερασθεί αυτή η περιοχή τότε εμφανίζεται εφελκυστική ή θλιπτική θραύση. Αντίθετα για πολύ μικρό λόγο L/d γίνεται θραύση με μορφή απότομου κτυπήματος.

Η διατμητική αντοχή μετράται κατά μήκος της ίνας κατά την οποία η διατμητική τάση μεγιστοποιείται.

8.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΜΨΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Στα παραγόμενα δοκίμια έγιναν μετρήσεις σε δοκιμές κάμψης και δοκιμές διάτμησης. Τα δοκίμια περιείχαν 15% κ.ό. ίνες άνθρακα, ενώ μία; Ακόμη περίπτωση δεν περιείχε ίνες άνθρακα.

Διεξαγωγή των μετρήσεων

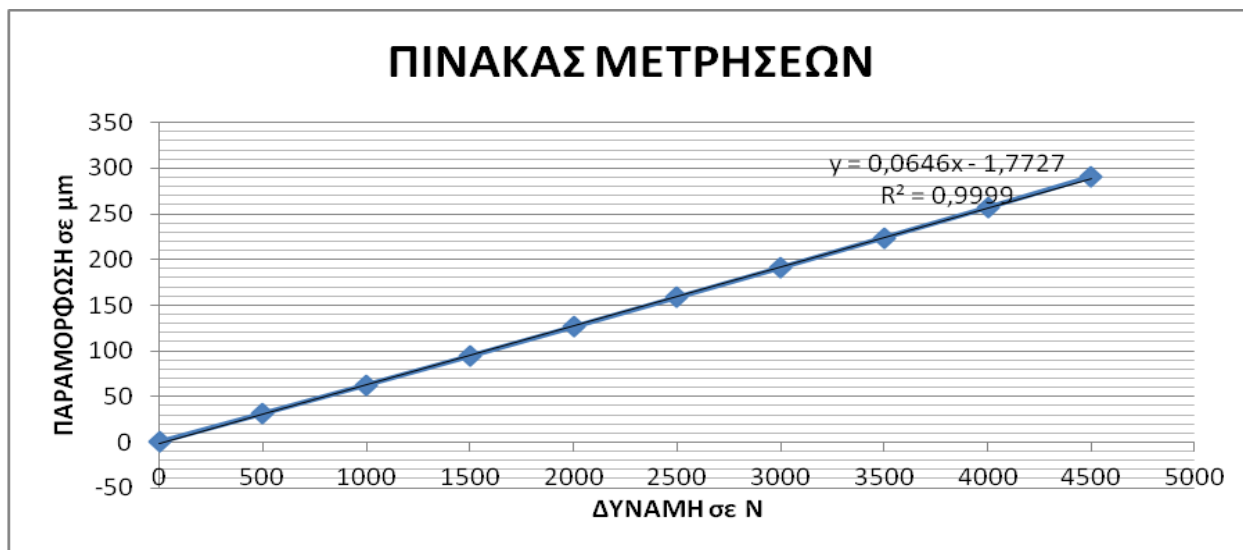
Η αντοχή σε κάμψη και η αντοχή σε διάτμηση μετρήθηκαν με την μέθοδο των τριών σημείων όπου το φορτίο F ασκείται στο μέσο της απόστασης των σημείων στήριξης. Για την μέτρηση των αντοχών χρησιμοποιείται συσκευή στο οποίο η δύναμη μετρήθηκε με δυναμόμετρο ακρίβειας 1Kp ή 9,81N και το βέλος κάμψης με βελόμετρο ακρίβειας εκατοστού του mm. (1 Kp/mm =10MPa)

Το δοκίμιο στηρίζεται μεταξύ δύο σημείων και εφαρμόζεται δύναμη σε διάφορα σημεία των δοκιμίων. Για την μέτρηση της κάμψης χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια με διαστάσεις 1,7cm*21cm* 0,3cm, ενώ για τη δοκιμή της διάτμησης τα δοκίμια με διαστάσεις 1cm*21cm*0,3cm. Κάθε μία από τις μεθόδους ακολουθεί διαφορετικό πρότυπο.

Για τις δοκιμές σε κάμψη και διάτμηση χρησιμοποιείται ένα ειδικό δυναμόμετρο, το οποίο με την άσκηση πίεσης μετρά σε αναλογική ένδειξη την προκύπτουσα παραμόρφωση δηλαδή το βέλος κάμψης. Ο κατασκευαστής του δυναμομέτρου παρέχει πίνακα για την αναγωγή των μετρήσεων, ως ακολούθως:

Πίνακας 12. Αντιστοιχία μεταξύ δύναμης και τιμής παραμόρφωσης

A/A	Δύναμη σε N	Τιμή παραμόρφωσης σε μm
1	0	0,0
2	500	31,1
3	1000	62,6
4	1500	94,2
5	2000	126,2
6	2500	158,5
7	3000	191,1
8	3500	224,0
9	4000	257,0
10	4500	290,8



Σχήμα 44. Αντιστοίχιση μεταξύ Δύναμης – Παραμόρφωσης

- Αντοχή σε κάμψη

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ακολουθεί το πρότυπο DIN –53452, όπου η απόσταση μεταξύ των σημείων στήριξης είναι 10 cm (ή 100 mm).

Η αντοχή σε κάμψη δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma = 3/2 * P / b * L / d^2$$

όπου :

σ: η αντοχή σε κάμψη (MPa)

P: το εφαρμοζόμενο φορτίο που αντέχει το δοκίμιο (N)

L: η απόσταση μεταξύ των σημείων στήριξης (mm)

b: το πλάτος του δοκιμίου (mm)

d: το πάχος του δοκιμίου (mm)

- Αντοχή σε διάτμηση

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ακολουθεί το πρότυπο ASTM –NORM D 2344-65T, όπου η απόσταση μεταξύ των σημείων στήριξης είναι 10mm.

Η αντοχή σε διάτμηση δίνεται από τον τύπο:

$$T = 0,75 * P / (b * d)$$

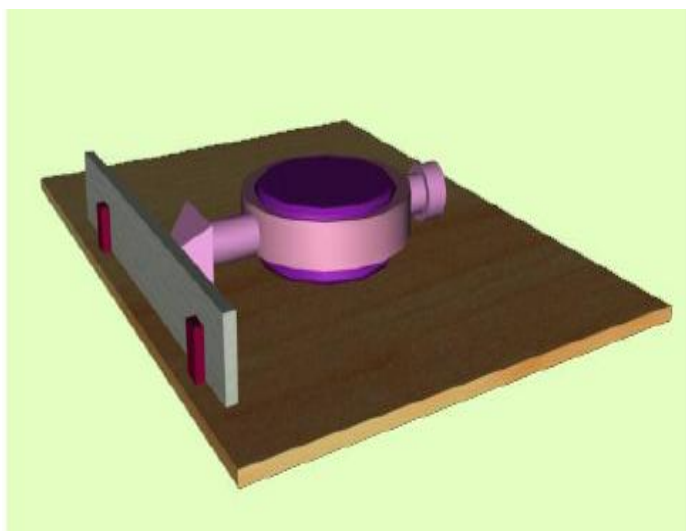
Όπου:

T: η αντοχή σε διάτμηση (MPa)

P: το εφαρμοζόμενο φορτίο που αντέχει το δοκίμιο (N)

b: το πλάτος του δοκιμίου (mm)

d: το πάχος του δοκιμίου (mm)



Σχήμα 45. Συσκευή μέτρησης κάμψης και διάτμησης

8.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΘΕΝΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Για τον υπολογισμό της κάμψης και της διάτμησης θα πρέπει να υπολογιστεί ο μέσος όρος του πάχους των δοκιμίων.

Η μέτρηση του πάχους έγινε με παχύμετρο και καταγράφηκαν οι ακόλουθες τιμές και μέσοι όροι:

Πίνακας 13: Μέσος όρος δοκιμίων

ΠΛΑΤΙΑ ΔΟΚΙΜΙΑ (mm)											
3,2	3,3	3,1	3,1	3,3	3,4	3,3	3,4	3,2	3,2	3,2	3,1

$$\underline{M.O. = 38,8/12 = 3,23 \text{ mm}}$$

Πίνακας 14: Μέσος όρος δοκιμίων

ΣΤΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ (mm)											
3,1	3,3	3,2	3,2	3,3	3,4	3,2	3,2	3,1	3,3	3,1	3,2

$$\underline{M.O. = 38,6/12 = 3,21 \text{ mm}}$$

8.31. ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

1. Για το δοκίμιο το οποίο κατασκευάστηκε με νεολάκη/HEXA 7:2 και ίνες άνθρακα 15% χωρίς περλίτη (**N-CF15**) καταγράφηκαν οι παρακάτω τιμές από το δυναμόμετρο κάμψης:

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΜΨΗΣ ΣΤΑ ΠΛΑΤΙΑ ΔΟΚΙΜΙΑ (μm)				
5,50	5,10	7,50	7,40	Τιμές παραμόρφωσης σε μm
88,40	82,00	120,60	118,90	Δύναμη σε N



Σχήμα 46. Δοκιμή σε κάμψη ΔΟΚΙΜΙΟ (1)

Με βάση τον Πίνακα του δυναμόμετρου προκύπτει ότι στα 500 N αντιστοιχούν σε 31,1 παραμόρφωση ($500/31.1=16,07$). Στο διάστημα από 0-500 N του πίνακα 12 ευρίσκονται οι τιμές μέτρησης της παραμόρφωσης που έχουμε μετρήσει οπότε και περιμένουμε μία ευθεία γραμμή στα διαγράμματα.

Max τιμή :	7,50 μm	120,60 N
Min τιμή :	5,10 μm	82,00 N
Μέσος όρος:	6,38 μm	102,45 N

Με βάση τον τύπο $\sigma = 3/2 * P * L / b * d^2$ υπολογίζουμε την κάμψη σε MPa:

$$P_{\max} = 120,6 \text{ N}, L = 100 \text{ mm}, b = 17 \text{ mm}, d = 3,23 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\max} = P * 1,5 * 100 / 17 * 10,433 = P * 150 / 177,36 = P * 0,845 = 120,6 * 0,845 = 102 \text{ MPa}$$

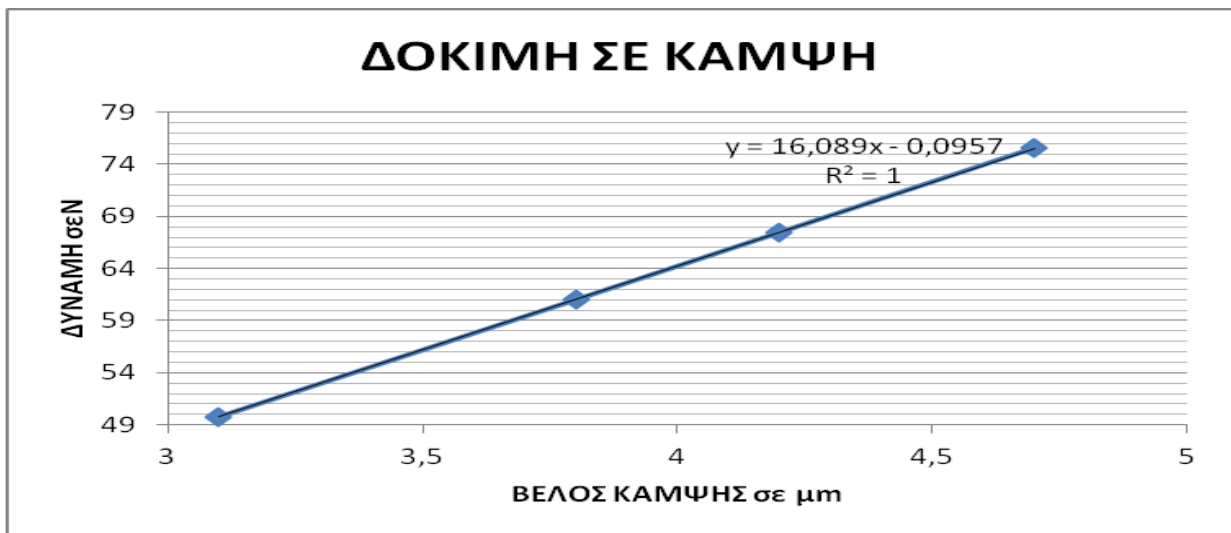
$$\sigma_{\max} = 120,6 * 0,845 = 102,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = 82,00 * 0,845 = 69,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{μ.ο.}} = 102,45 * 0,845 = 86,60 \text{ MPa}$$

2. Για το δοκίμιο το οποίο κατασκευάστηκε με νεολάκη/HEXA 7:2 και περλίτη 10% χωρίς ίνες άνθρακα (**N-P10**) καταγράφηκαν οι παρακάτω τιμές από το δυναμόμετρο κάμψης:

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΜΨΗΣ ΣΤΑ ΠΛΑΤΙΑ ΔΟΚΙΜΙΑ (μm)				
3,10	3,80	4,20	4,70	Τιμές παραμόρφωσης σε μm
49,80	61,00	67,50	75,53	Δύναμη σε N



Σχήμα 47. Δοκίμη σε κάμψη ΔΟΚΙΜΙΟ (2)

Max τιμή:	4,70 μm	75,53 N
Min τιμή:	3,10 μm	49,80 N
Μέσος όρος :	4,00 μm	63,50 N

$$P_{\max} = 75,52 \text{ N}, L = 100 \text{ mm}, b = 17 \text{ mm}, d = 3,23 \text{ mm}$$

$$\sigma = P_{\max} * 0,845 = 75,53 * 0,845 = 63,80 \text{ MPa}$$

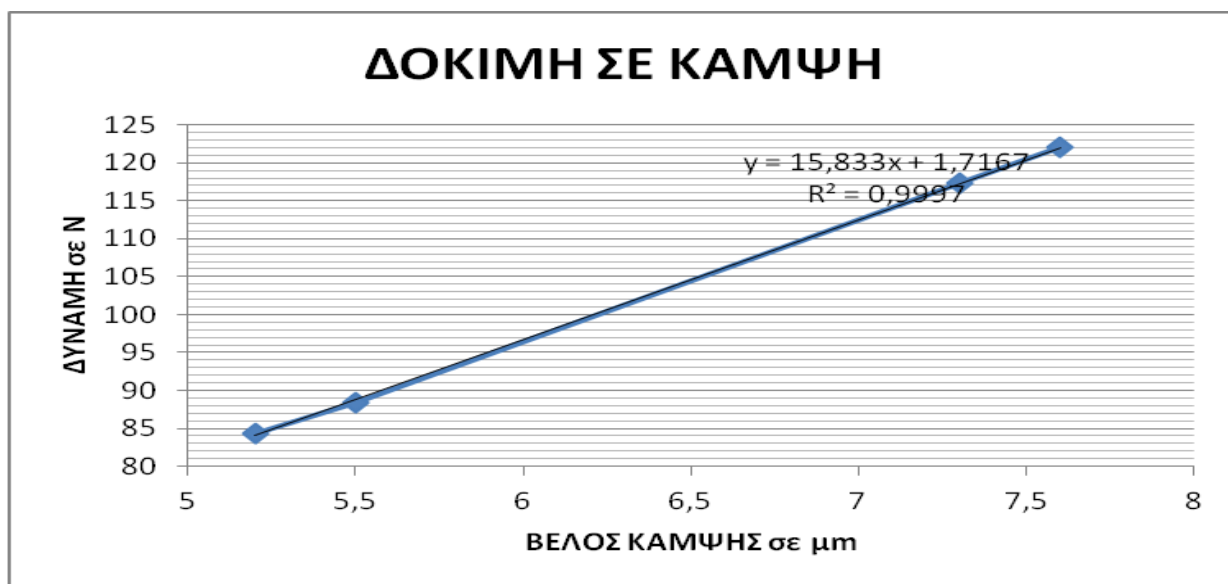
$$\sigma_{\max} = 75,53 * 0,845 = 63,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = 49,80 * 0,845 = 42,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{μ.ο.}} = 63,50 * 0,845 = 53,60 \text{ MPa}$$

3. Για το δοκίμιο το οποίο κατασκευάστηκε με νεολάκη /HEXA και περλίτη 10% και ίνες άνθρακα 15% (N-P10-CF15) καταγράφηκαν οι παρακάτω τιμές από το δυναμόμετρο κάμψης :

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΜΨΗΣ ΣΤΑ ΠΛΑΤΙΑ ΔΟΚΙΜΙΑ				
7.6	7.3	5.5	5.2	Τιμές παραμόρφωσης σε μm
122.10	117,30	88,40	84,40	Δύναμη σε N



Σχήμα 48. Δοκιμή σε κάμψη ΔΟΚΙΜΙΟ (3)

Max τιμή :	7,60 μm	122,10 N
Min τιμή:	5,20 μm	84,40 N
Μέσος όρος :	6,40 μm	103,00 N

$$P_{\max} = 122,1 \text{ N}, L = 100 \text{ mm}, b = 17 \text{ mm}, d = 3,23 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\max} = P_{\max} \cdot 0,845 = 122,1 \cdot 0,845 = 103,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = 122,10 \cdot 0,845 = 103,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = 84,40 \cdot 0,845 = 69,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{M.O.}} = 103,00 \cdot 0,845 = 87,00 \text{ MPa}$$

4. Για το δοκίμιο το οποίο κατασκευάστηκε με νεολάκη /HEXA και περλίτη 15% και ίνες άνθρακα 15% (**N-P15-CF15**) καταγράφηκαν οι τιμές από το δυναμόμετρο κάμψης :

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΜΨΗΣ ΣΤΑ ΠΛΑΤΙΑ ΔΟΚΙΜΙΑ				
5,50	7,50	5,20	5,10	Τιμές παραμόρφωσης σε μm
88,40	120,52	83,56	82,00	Δύναμη σε N



Σχήμα 49. Δοκιμή σε κάμψη ΔΟΚΙΜΙΟ (4)

Max τιμή :	7,50 μm	120,52 N
Min τιμή :	5,10 μm	82,00 N
Μέσος όρος	5,83 μm	93,70 N

$$P_{\max} = 120,52 \text{ N}, L = 100 \text{ mm}, b = 17 \text{ mm}, d = 3,23 \text{ mm}$$

$$\sigma = P_{\max} * 0,845 = 120,52 * 0,845 = 102,00 \text{ MPa}$$

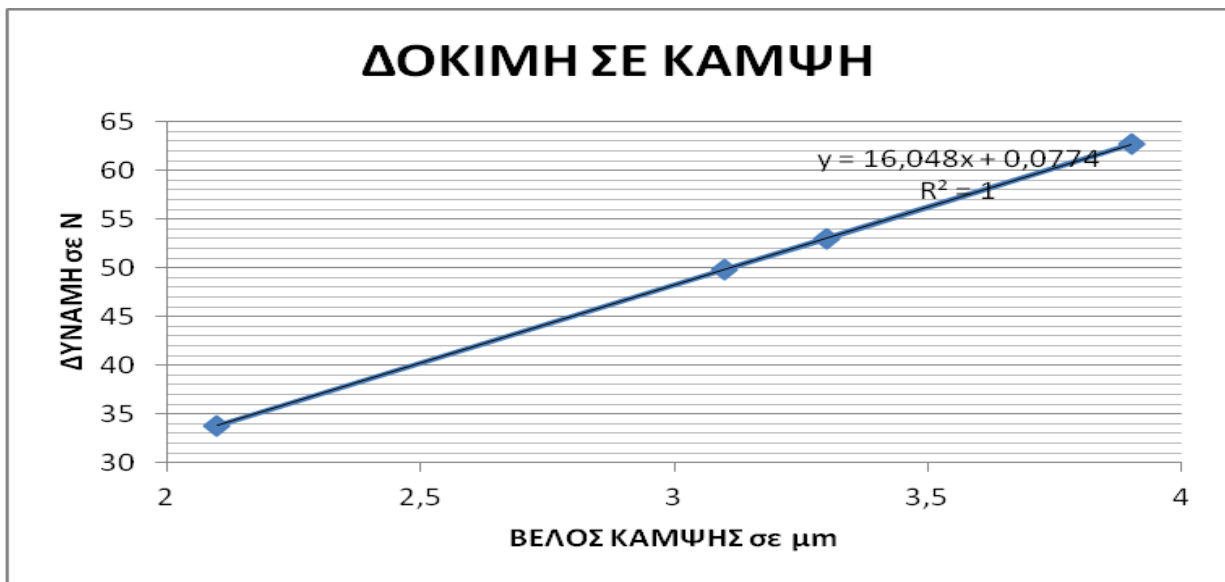
$$\sigma_{\max} = 120,60 * 0,845 = 102,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = 82,00 * 0,845 = 69,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{M.O.}} = 93,70 * 0,845 = 79,20 \text{ MPa}$$

5. Για το δοκίμιο το οποίο κατασκευάστηκε με νεολάκη /HEXA και περλίτη 20% και ίνες άνθρακα 15% (N-P20-CF15) καταγράφηκαν οι παρακάτω τιμές από το δυναμόμετρο κάμψης :

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΚΑΜΨΗΣ ΣΤΑ ΠΛΑΤΙΑ ΔΟΚΙΜΙΑ				
3,10	3,30	3,90	2,10	Τιμές παραμόρφωσης σε μm
49,80	53,00	62,70	33,80	Δύναμη σε N



Σχήμα 50. Δοκιμή σε κάμψη ΔΟΚΙΜΙΟ (5)

Max τιμή :	3,90 μm	62,70 N
Min τιμή:	2,10 μm	33,80 N
Μέσος όρος :	3,10 μm	49,80 N

$$P_{\max} = 62,43 \text{ N}, L = 100 \text{ mm}, b = 17 \text{ mm}, d = 3,23 \text{ mm}$$

$$\sigma = P_{\max} * 0,845 = 62,43 * 0,845 = 52,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = 62,70 * 0,845 = 53,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = 33,80 * 0,845 = 28,60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{M.O.}} = 49,80 * 0,845 = 42,00 \text{ MPa}$$

8.32. ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

1. Για το δοκίμιο το οποίο κατασκευάστηκε με νεολάκη/HEXA 7:2 και 15% ίνες άνθρακα χωρίς περλίτη (**N-CF15**) καταγράφηκαν οι παρακάτω τιμές από το δυναμόμετρο διάτμησης :

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΤΑ ΣΤΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ						
50,90	58,80	51,20	55,40	65,80	62,00	Τιμές παραμόρφωσης σε μm
818	945	823	890	1057,5	996,4	Δύναμη σε N



Σχήμα 51. Δοκιμή σε διάτμηση ΔΟΚΙΜΙΟ (1)

Max τιμή:	65,80 μm	1057,50 N
Min τιμή:	51,20 μm	823,00 N
Μέσος όρος :	57,35 μm	921,60 N

Η αντοχή σε διάτμηση δίνεται από τον τύπο :

$$T=0,75*P/(b*d)$$

όπου b= 10mm και d=3,21mm

$$T=P_{max}*0,75/(10*3,21)=P_{max} *0,75/32,1=P_{max}*0,023 \text{ MPa}$$

$$T_{max} = P_{max} * 0,023=1057,5 * 0,023 = 24,32 \text{ MPa}$$

$$T_{min} = P_{min} * 0,023= 823,0 * 0,023 = 19,00 \text{ MPa}$$

$$T_{M.O.} = P_{M.O.} * 0,023= 921,6 * 0,023 = 21,20 \text{ MPa}$$

2. Για το δοκίμιο το οποίο κατασκευάστηκε με νεολάκη/HEXA 7:2 και περλίτη 10% χωρίς ίνες άνθρακα (**N-P10**) καταγράφηκαν οι παρακάτω τιμές από το δυναμόμετρο διάτμησης:

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΤΑ ΣΤΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ						
46,0	50,0	48,0	62,0	47,5	61,9	Τιμές παραμόρφωσης σε μm
739,2	803,5	771,4	996,4	763,3	994,7	Δύναμη σε N



Σχήμα 52. Δοκιμή σε διάτμηση ΔΟΚΙΜΙΟ (2)

Max τιμή :	62,0 μm	996,35 N
Min τιμή:	46,0 μm	739,20 N
Μέσος όρος :	52,5 μm	844,80 N

$$T = P_{\max} * 0,023 = 996,4 * 0,023 = 23,00 \text{ MPa}$$

$$T_{\max} = P_{\max} * 0,023 = 996,35 * 0,023 = 23,00 \text{ MPa}$$

$$T_{\min} = P_{\min} * 0,023 = 739,20 * 0,023 = 17,00 \text{ MPa}$$

$$T_{\text{Μ.Ο.}} = P_{\text{Μ.Ο.}} * 0,023 = 844,80 * 0,023 = 19,50 \text{ MPa}$$

3. Για το δοκίμιο το οποίο κατασκευάστηκε με νεολάκη /HEXA και περλίτη 10% και ίνες άνθρακα 15% (N-P10-CF15) καταγράφηκαν οι παρακάτω τιμές από το δυναμόμετρο διάτμησης:

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΣΤΑ ΠΛΑΤΙΑ ΔΟΚΙΜΙΑ							
67,5	66,9	58,8	56,0	48,0	50,1	62,0	Τιμές παραμόρφωσης σε μm
1084,7	1075,0	945,0	900,0	771,3	806,1	996,4	Δύναμη σε N



Σχήμα 53. Δοκιμή σε διάτμηση ΔΟΚΙΜΙΟ (3)

Μαx τιμή :	67,50 μm	1084,70 N
Μin τιμή:	48,00 μm	771,30 N
Μέσος όρος :	58,47 μm	939,60 N

$$T = P_{\max} * 0,023 = 1085,5 * 0,023 = 25 \text{ MPa}$$

$$T_{\max} = P_{\max} * 0,023 = 1084,7 * 0,023 = 25,00 \text{ MPa}$$

$$T_{\min} = P_{\min} * 0,023 = 771,3 * 0,023 = 17,80 \text{ MPa}$$

$$T_{\text{Μ.Ο.}} = P_{\text{Μ.Ο.}} * 0,023 = 939,6 * 0,023 = 21,60 \text{ MPa}$$

4. Για το δοκίμιο το οποίο κατασκευάστηκε με νεολάκη /HEXA και περλίτη 15% και ίνες άνθρακα 15% (N-P15-CF15) καταγράφηκαν οι παρακάτω τιμές από το δυναμόμετρο διάτμησης :

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΣΤΑ ΠΛΑΤΙΑ ΔΟΚΙΜΙΑ					
48,3	51,2	53,5	63,5	55,6	Τιμές παραμόρφωσης σε μm
776,2	822,7	859,7	1020,5	893,5	Δύναμη σε N



Σχήμα 54. Δοκιμή σε διάτμηση ΔΟΚΙΜΙΟ (4)

Max τιμή :	63,50 μm	1020,50 N
Min τιμή:	48,30 μm	776,20 N
Μέσος όρος :	54,42 μm	874,50 N

$$T = P_{\max} * 0,023 = 1020,5 * 0,023 = 23,50 \text{ MPa}$$

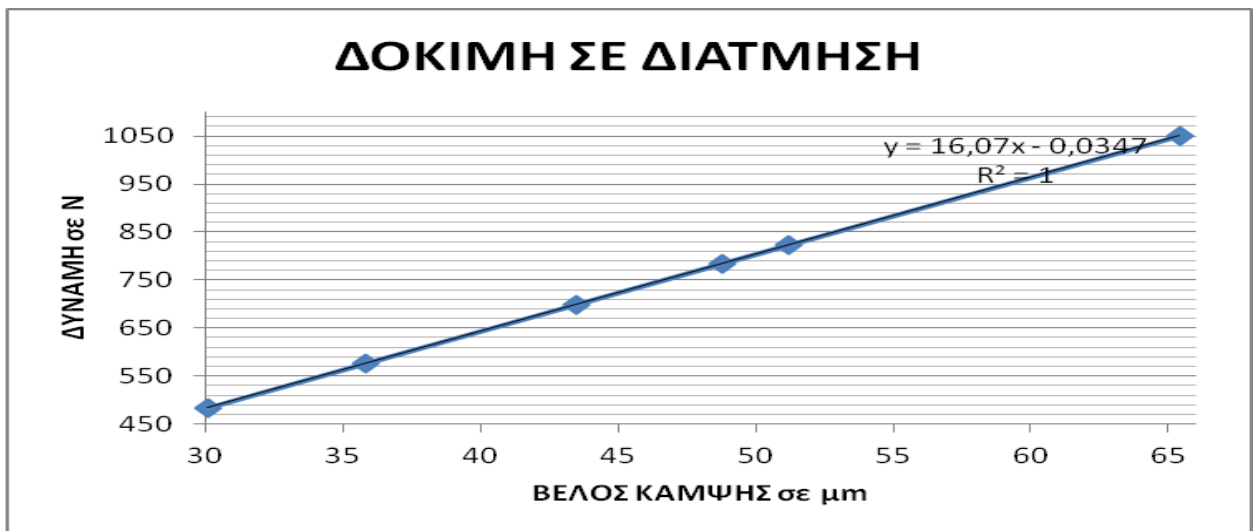
$$T_{\max} = P_{\max} * 0,023 = 1020,5 * 0,023 = 23,50 \text{ MPa}$$

$$T_{\min} = P_{\min} * 0,023 = 776,2 * 0,023 = 17,90 \text{ MPa}$$

$$T_{\text{M.O.}} = P_{\text{M.O.}} * 0,023 = 874,5 * 0,023 = 20,10 \text{ MPa}$$

5. Για το δοκίμιο το οποίο κατασκευάστηκε με νεολάκη /HEXA και περλίτη 20% και ίνες άνθρακα 15% (N-P20-CF15) καταγράφηκαν οι παρακάτω τιμές από το δυναμόμετρο διάτμησης.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΣΤΑ ΠΛΑΤΙΑ ΔΟΚΙΜΙΑ						
48,8	65,4	43,5	35,8	30,1	51,2	Τιμές παραμόρφωσης σε μm
784,2	1051,0	699,0	575,3	483,7	822,7	Δύναμη σε N



Σχήμα 55. Δοκιμή σε διάτμηση ΔΟΚΙΜΙΟ (5)

Max τιμή :	65,40 μm	1051,00 N
Min τιμή:	30,10 μm	483,70 N
Μέσος όρος :	45,80 μm	736,00 N

$$T = P_{\max} * 0,023 = 1051 * 0,023 = 24,17 \text{ MPa}$$

$$T_{\max} = P_{\max} * 0,023 = 1051 * 0,023 = 24,20 \text{ MPa}$$

$$T_{\min} = P_{\min} * 0,023 = 483,7 * 0,023 = 11,12 \text{ MPa}$$

$$T_{\text{M.O.}} = P_{\text{M.O.}} * 0,023 = 736,0 * 0,023 = 17,00 \text{ MPa}$$

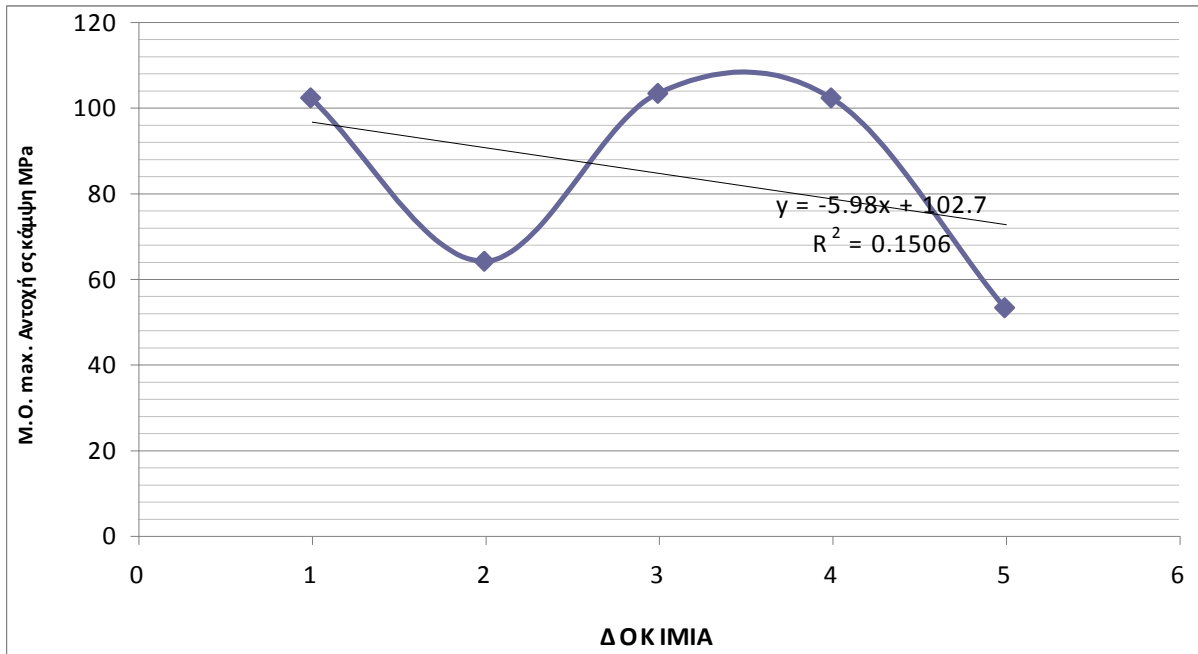
Πίνακας 15. Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων αντοχής σε κάμψη.

A/A	Περιγραφή/ Κωδικός δοκιμίου	M.O.max αντοχής σε κάμψη (MPa)	M.O.min αντοχής σε κάμψη (MPa)	M.O. αντοχής σε κάμψη (MPa)
1	ΝΕΟΛΑΚΗ/HEXA 7:2, ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ 15% N-CF15	102,00	69,30	86,60
2	ΝΕΟΛΑΚΗ/HEXA 7:2, ΠΕΡΛΙΤΗΣ 10% N-P10	63,80	42,00	53,60
3	ΝΕΟΛΑΚΗ/HEXA 7:2, ΠΕΡΛΙΤΗΣ 10%, ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ 15% N-P10-CF15	103,00	69,30	87,00
4	ΝΕΟΛΑΚΗ/HEXA 7:2, ΠΕΡΛΙΤΗΣ 15%, ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ 15% N-P15-CF15	102,00	69,30	79,20
5	ΝΕΟΛΑΚΗ/HEXA 7:2, ΠΕΡΛΙΤΗΣ 20%, ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ 15% N-P20-CF15	53,00	28,60	42,00

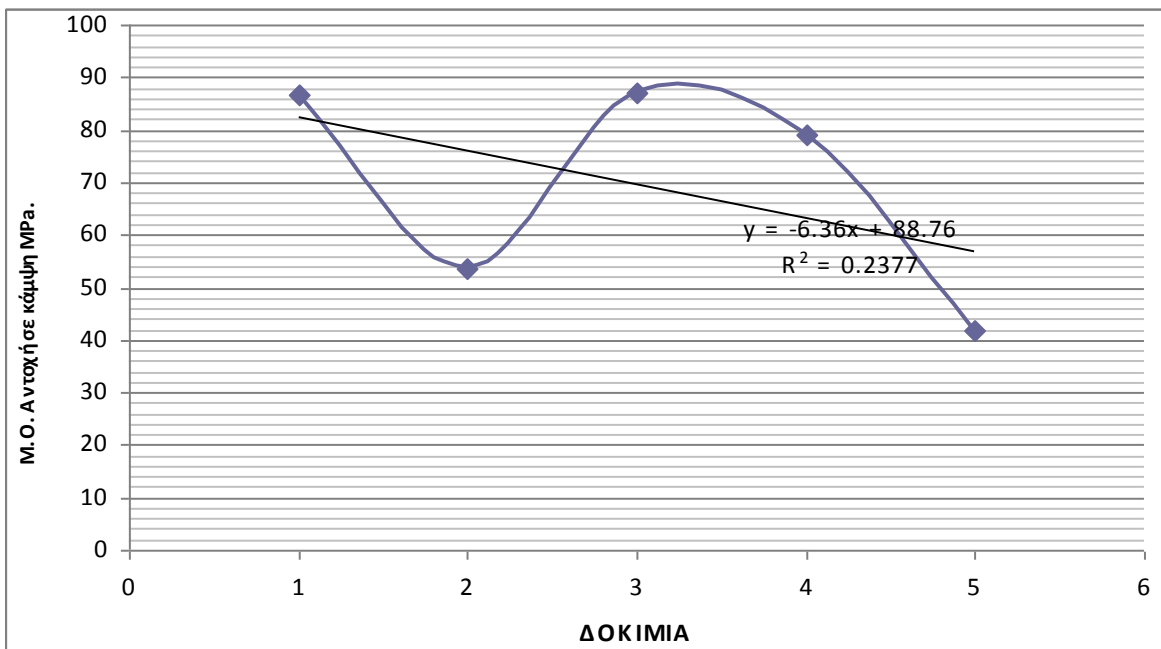
Πίνακας 16. Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων αντοχής σε διάτμηση.

A/A	Περιγραφή/ Κωδικός δείγματος	M.O. max αντοχής σε διάτμηση (MPa)	M.O. min αντοχής σε διάτμηση (MPa)	M.O. αντοχής σε διάτμηση (MPa)
1	ΝΕΟΛΑΚΗ/HEXA 7:2, ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ 15% N-CF15	24,32	19,00	21,20
2	ΝΕΟΛΑΚΗ/HEXA 7:2, ΠΕΡΛΙΤΗΣ 10% N-P10	23,00	17,00	19,50
3	ΝΕΟΛΑΚΗ/HEXA 7:2, ΠΕΡΛΙΤΗΣ 10%, ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ 15% N-P10-CF15	25,00	17,80	21,60
4	ΝΕΟΛΑΚΗ/HEXA 7:2, ΠΕΡΛΙΤΗΣ 15% ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ 15% N-P15-CF15	23,50	17,90	20,10
5	ΝΕΟΛΑΚΗ/HEXA 7:2, ΠΕΡΛΙΤΗΣ 20%, ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ 15% N-P20-CF15	24,20	11,12	17,00

ΣΧΗΜΑΤΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

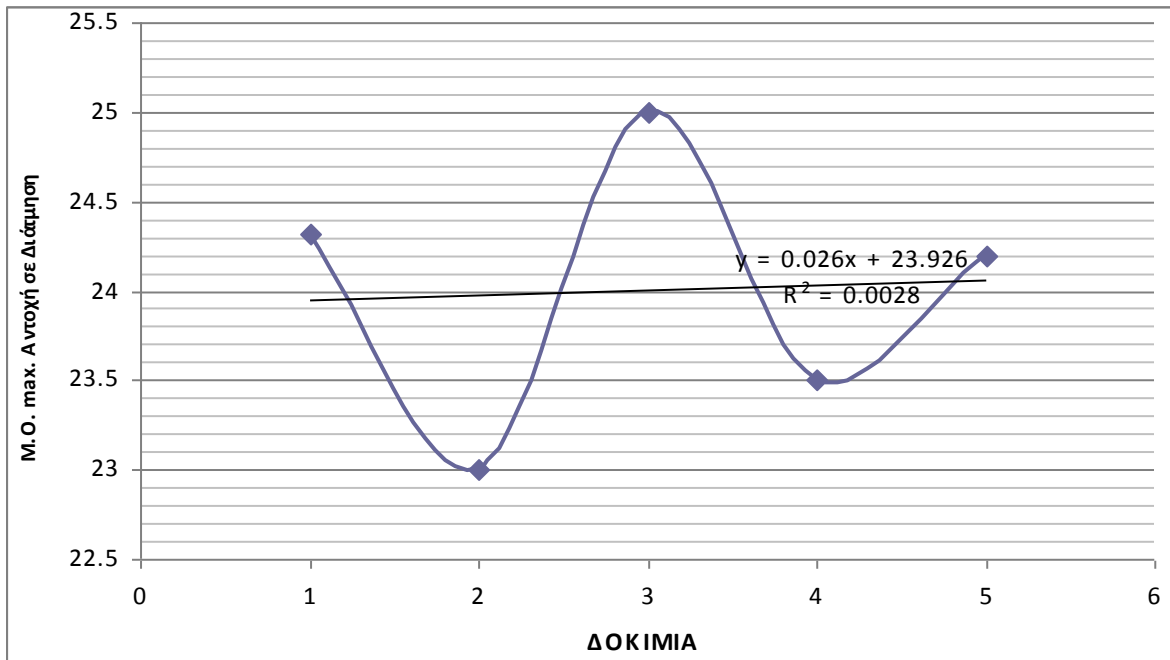


Σχήμα 56. Μέσοι όροι των MAX τιμών αντοχής σε κάμψη που προέκυψαν από τα 5 δοκίμια

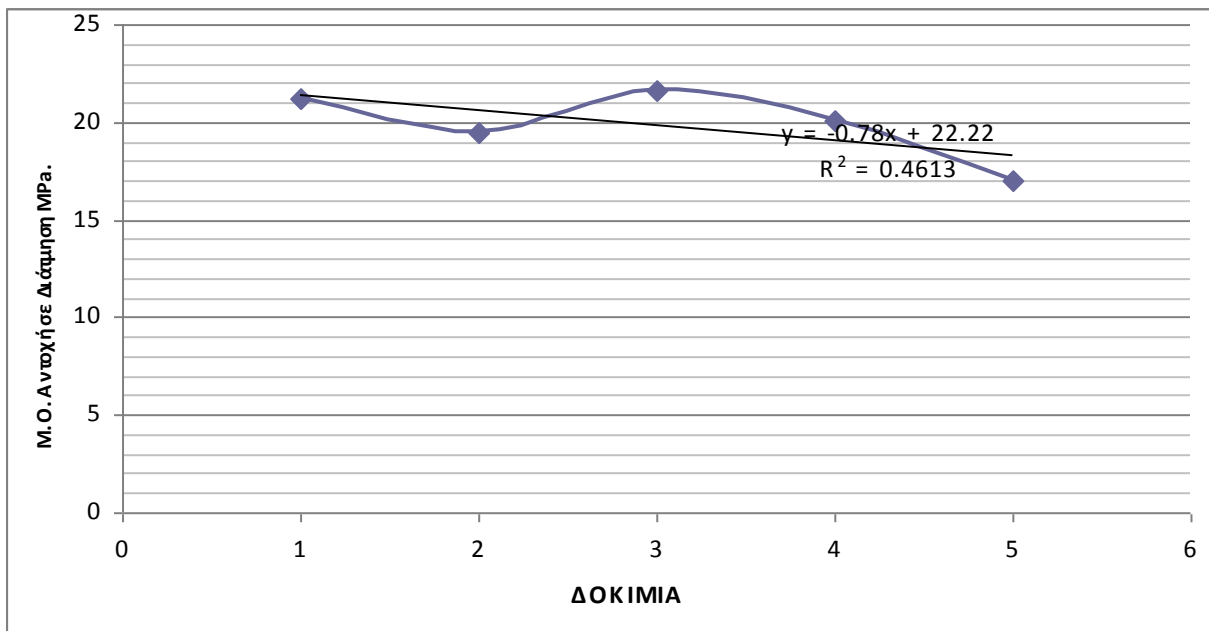


Σχήμα 57. Μέσοι όροι των τιμών αντοχής σε κάμψη που προέκυψαν από τα 5 δοκίμια

ΣΧΗΜΑΤΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ



Σχήμα 58. Μέσοι όροι των MAX τιμών αντοχής σε διάτμηση που προέκυψαν από τα 5 δοκίμια.



Σχήμα 59. Μέσοι όροι των τιμών αντοχής σε διάτμηση που προέκυψαν από τα 5 δοκίμια.

8.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ.

1. Κατά την προδιαπότιση των ινών στο δοχείο προδιαπότισης θα πρέπει οι ίνες να ευρίσκονται συνέχεια μέσα στο λουτρό προδιαπότισης.
2. Η ταχύτητα τύλιξης των ινών να είναι αρκετά χαμηλή, έτσι ώστε να γίνεται καλή διαβροχή των ινών, με ικανό τανυσμό, για να μπορούν οι ίνες να περιτυλίγονται ευθύγραμμα στον τετράγωνο μεταλλικό δίσκο, και σε απόσταση η μία από την άλλη, έτσι ώστε να ξεχωρίζουν ικανοποιητικά και να μπορούν να κοπούν, μοναδικά, η μία ίνα από την άλλη.
3. Στο τέλος της περιτύλιξης το υγρό διαπότισης ρίχνεται στην πλάκα περιέλιξης με σκοπό την πλήρη προδιαπότιση των ινών.
4. Πριν την τελική σκλήρυνση των ινών στον φούρνο, κόβεται κάθε ίνα ξεχωριστά, τανύζεται όσο γίνεται με το χέρι ξεχωριστά η μία από την άλλη και τοποθετείται σε αλουμινένιο τετράγωνο δίσκο, ο οποίος προηγουμένως έχει διαποτισθεί με spray Teflon για να μην κολλήσουν οι ίνες.
5. Ακολούθως οι ίνες μετά την σκλήρυνση στο φούρνο διατηρούνται ευθύγραμμες και είναι πλέον έτοιμες για να τοποθετηθούν στο καλούπι μορφοποίησης.
6. Στο καλούπι μορφοποίησης τοποθετούνται οι ίνες ευθύγραμμα και συμμετρικά κατά μήκος του καλουπιού.

8.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την διεξαγωγή των πειραμάτων συμπεραίνουμε τα κάτωθι:

➤ Μέσες τιμές κάμψης

1. Σχετικά με τις μέσες τιμές οι οποίες προέκυψαν από την διεξαγωγή των πειραμάτων τις καλύτερες μέσες τιμές παρουσιάζουν τα δοκίμια νεολάκης τα οποία δεν περιέχουν περλίτη και είναι ενισχυμένα με 15% ίνες άνθρακα.
Τα δοκίμια αυτά παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ομοιογένεια κατά μήκος του δοκιμίου.
2. Δεύτερη καλύτερη μέση τιμή παρουσιάζει το δοκίμιο το οποίο περιέχει 10% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.
Τα δοκίμια αυτά περιέχουν την μικρότερη % περιεκτικότητα σε περλίτη.
3. Την χειρότερη μέση τιμή παρουσιάζει το δοκίμιο με 20% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα λόγω μεγάλης ανομοιογένειας που παρουσιάζεται στο δοκίμιο από την μεγάλη περιεκτικότητα του περλίτη.
4. Την μικρότερη διασπορά μέσων τιμών φαίνεται ότι παρουσιάζει το δοκίμιο νεολάκης το οποίο δεν περιέχει περλίτη λόγω ομοιογένειας.

5. Δεύτερη καλύτερη διασπορά μέσων τιμών παρουσιάζει το δοκίμιο νεολάκης με 10% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.
6. Την χειρότερη διασπορά μέσων τιμών δείχνει το δοκίμιο με 20% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα λόγω ανομοιογένειας που παρουσιάζεται από την αυξημένη περιεκτικότητα σε περλίτη.
Στο δοκίμιο αυτό είναι πολύ εμφανής η ανομοιογένεια συνολικά του δοκιμίου η οποία παρουσιάζεται με κενά στο δοκίμιο και κακή συνοχή μεταξύ νεολάκης και ινών άνθρακα.

➤ Μέγιστες τιμές κάμψης

1. Σχετικά με τις μέγιστες τιμές οι οποίες προέκυψαν από την διεξαγωγή των πειραμάτων τις καλύτερες τιμές φαίνεται ότι παρουσιάζουν τα δοκίμια νεολάκης τα οποία δεν περιέχουν περλίτη και είναι ενισχυμένα με 15% ίνες άνθρακα.
2. Δεύτερη καλύτερη μέγιστη τιμή παρουσιάζει το δοκίμιο το οποίο περιέχει 10% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.
Η ύπαρξη περλίτη στα δοκίμια μέχρι ένα ορισμένο ποσοστό περλίτη ενισχύει τα δοκίμια στην δοκιμή διάτμησης.
3. Τη χειρότερη μέγιστη τιμή παρουσιάζει το δοκίμιο με 20% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.
4. Τη μικρότερη διασπορά μέγιστων τιμών φαίνεται ότι παρουσιάζει το δοκίμιο νεολάκης το οποίο δεν περιέχει περλίτη.
5. Δεύτερη καλύτερη διασπορά μέγιστων τιμών παρουσιάζει το δοκίμιο νεολάκης με 10% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.
6. Την χειρότερη διασπορά μέσων τιμών δείχνει το δοκίμιο με 20% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα .
Στο δοκίμιο αυτό είναι πολύ εμφανής η ανομοιογένεια συνολικά του δοκιμίου.

➤ Μέγιστες τιμές διάτμησης

1. Σχετικά με τις μέγιστες τιμές οι οποίες προέκυψαν από την διεξαγωγή των πειραμάτων τις καλύτερες τιμές φαίνεται ότι παρουσιάζουν τα δοκίμια νεολάκης τα οποία περιέχουν 10% περλίτη και είναι ενισχυμένα με 15% ίνες άνθρακα.
Στην περίπτωση της δοκιμής διάτμησης, λόγω της μικρής απόστασης μεταξύ των σημείων στήριξης δεν εμφανίζεται μεγάλος βαθμός ανομοιογένειας, ενώ συγχρόνως ο περλίτης σε ποσότητα 10% ενισχύει το υλικό.
2. Δεύτερη καλύτερη μέγιστη τιμή παρουσιάζουν τα δοκίμια νεολάκης τα οποία δεν περιέχουν περλίτη παρά μόνο 15% ίνες άνθρακα.
Τα δοκίμια αυτά δείχνουν μεγάλη οπτική ομοιογένεια λόγω της μη ύπαρξης περλίτη, ενώ η ομοιογένεια αυτή είναι ο λόγος ο οποίος ενισχύει την διάτμηση.
3. Τη χειρότερη μέγιστη τιμή παρουσιάζει το δοκίμιο με 10% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.
Οι τιμές στη διάτμηση των δοκιμίων επηρεάζονται από την ύπαρξη περλίτη, ο οποίος φαίνεται να ενισχύει τα δοκίμια της νεολάκης.
4. Τη μικρότερη διασπορά μέγιστων τιμών φαίνεται ότι παρουσιάζει το δοκίμιο νεολάκης το οποίο δεν περιέχει περλίτη.
5. Δεύτερη καλύτερη διασπορά μέγιστων τιμών παρουσιάζει το δοκίμιο νεολάκης με 10% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.
6. Τη χειρότερη διασπορά μέσων τιμών δείχνει το δοκίμιο με 20% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.

Στο δοκίμιο αυτό η ανομοιογένεια συνολικά του δοκιμίου επηρεάζεται από την ύπαρξη τοπικά του περλίτη.

➤ Μέσες τιμές διάτμησης

1. Σχετικά με τις μέσες τιμές διάτμησης οι οποίες προέκυψαν από την διεξαγωγή των πειραμάτων τις καλύτερες τιμές φαίνεται ότι παρουσιάζουν τα δοκίμια νεολάκης τα οποία περιέχουν 10% περλίτη και είναι ενισχυμένα με 15% ίνες άνθρακα.
2. Δεύτερη καλύτερη μέγιστη τιμή παρουσιάζει το δοκίμιο το οποίο περιέχει 10% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.
3. Τη χειρότερη μέγιστη τιμή παρουσιάζει το δοκίμιο με 20% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα λόγω της ανομοιογένειας από την ύπαρξη του περλίτη σε μεγάλο ποσοστό.
4. Τη μικρότερη διασπορά μέγιστων τιμών φαίνεται ότι παρουσιάζει το δοκίμιο νεολάκης το οποίο δεν περιέχει περλίτη.
5. Δεύτερη καλύτερη διασπορά μέγιστων τιμών παρουσιάζει το δοκίμιο νεολάκης με 10% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα.
6. Τη χειρότερη διασπορά μέσων τιμών δείχνει το δοκίμιο με 20% περλίτη και 15% ίνες άνθρακα .

Στο δοκίμιο αυτό είναι πολύ εμφανής η ανομοιογένεια συνολικά του δοκιμίου.

9^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

9.1. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ – ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

9.11. ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

Μία καλή θερμική μόνωση μπορεί να εξασφαλίσει:

- Την οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας
- Τον περιορισμό του αρχικού κόστους για την αγορά συστημάτων θέρμανσης/ ψύξης
- Την υγιεινή, άνετη και ευχάριστη διαβίωση στους χώρους διαβίωσης
- Την βελτίωση της προστασίας του περιβάλλοντος

9.12. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

Στην επόμενη παράγραφο περιγράφονται και αναλύονται μερικές από τις βασικές αρχές θερμομόνωσης.

Είναι γνωστό ότι ανάμεσα σε δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες προκαλείται συνεχής ροή θερμότητας από το θερμότερο σώμα προς το ψυχρότερο σώμα.

Αυτή η ροή θερμότητας είναι αδύνατον να εμποδιστεί πλήρως και μπορεί μόνο να περιοριστεί ως προς την ένταση και την διάρκεια της.

Αυτό είναι κατορθωτό μόνο όταν υπάρχει έλεγχος των θερμικών απωλειών.

Ο επιδιωκόμενος έλεγχος και ο περιορισμός των θερμικών απωλειών επιτυγχάνεται με την θερμομόνωση των κατασκευών.

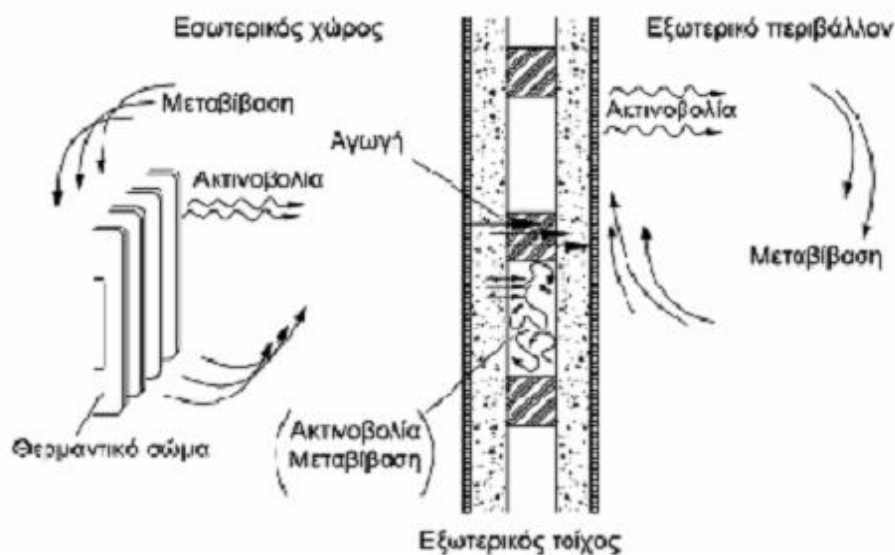
9.2. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η θερμότητα μεταδίδεται στον χώρο με τρεις διαφορετικούς τρόπους :

Με αγωγή, με μεταφορά (ή συναγωγή) και με ακτινοβολία.

9.21 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΗ

Μετάδοση με θερμική αγωγή ονομάζεται η μετάδοση της θερμότητας από μόριο σε μόριο στα στερεά, υγρά και αέρια σώματα. Αυτή βασίζεται στην ιδιότητα των μορίων των υλικών σωμάτων να προσλαμβάνουν θερμότητα από γειτονικά μόρια υψηλότερης θερμοκρασία και να μεταδίδουν την θερμότητα τους σε γειτονικά μόρια με χαμηλότερης θερμοκρασίας.



Σχήμα 60. Μεταφορά θερμότητας σε τοίχο κατοικίας.

Στα στερεά σώματα η μετάδοση της θερμότητας επιτυγχάνεται εύκολα λόγω της πολύ μικρής απόστασης μεταξύ των μορίων κάθε σώματος.

Στα υγρά, την αγωγιμότητα βοηθούν οι ελαστικές κρούσεις των μορίων. Στα μέταλλα, η ροή μετάδοσης θερμότητας με αγωγή οφείλεται στην διάχυση των ελευθέρων ηλεκτρονίων.

Για ομοιογενή στρώση υλικού είναι

$$Q = \lambda/d * F * (T1-T2) * z \text{ σε } (W * h)$$

όπου:

Q: η ποσότητα της θερμότητας η οποία διέρχεται διαμέσου του υλικού όταν $T1 > T2$ σε βατώρες $(W * h)$

λ : ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού σε βατ ανά μέτρο και βαθμό Κέλβιν $(W/m * K)$

d: το πάχος του υλικού σε (m)

F: το εμβαδόν του υλικού σε τετραγωνικά μέτρα (m^2)

T1: η θερμοκρασία της μίας επιφάνειας του υλικού σε βαθμούς Κέλβιν (K)

T2: η θερμοκρασία της άλλης επιφάνειας του υλικού σε βαθμούς Κέλβιν (K)

και z ο χρόνος ροής της θερμότητας σε ώρες (h).

9.22. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΜΕΤΑΦΟΡΑ (ΣΥΝΑΓΩΓΗ)

Μετάδοση με μεταφορά ονομάζεται η μετάδοση της θερμότητας με την μετακίνηση θερμών μορίων υγρών ή αερίων διαμέσου του χώρου. Αυτή βασίζεται στην δυνατότητα της μεταβίβασης της θερμότητας σε υγρά ή αέρια σώματα μέσω αυτής της μετακίνησης.

Με τη μέθοδο αυτή η φυσική κυκλοφορία του αέρα προκαλεί μετάδοση της θερμότητας.

Για τη μετάδοση θερμότητας μεταξύ υλικού και αέρα ισχύει η σχέση:

$$Q = A * F * (T_L - T_0) * Z \text{ σε } (W * h)$$

όπου:

Q: η ποσότητα της θερμότητας η οποία μεταβιβάζεται από τον αέρα στην επιφάνεια του υλικού, όταν $T_L > T_0$ σε βατώρες (W*h)

A: ο συντελεστής θερμικής μεταβίβασης μεταξύ της επιφάνειας του υλικού και του αέρα που ευρίσκεται σε επαφή με αυτή σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο και βαθμό Κέλβιν ($W/m^2 * K$)

F: το εμβαδόν της επιφάνειας του υλικού σε τετραγωνικά μέτρα (m^2)

T_L : η μέση θερμοκρασία του αέρα σε κάποια απόσταση από την επιφάνεια του υλικού σε βαθμούς Κέλβιν (K)

T_0 : η θερμοκρασία του υλικού σε βαθμούς Κέλβιν (K)

Z= ο χρόνος ροής της θερμότητας σε ώρες (h)

9.23. ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Μετάδοση με θερμική ακτινοβολία ονομάζεται η ανταλλαγή θερμότητας με την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μεταξύ των επιφανειών στερεών σωμάτων με διαφορετική θερμοκρασία που απέχουν μεταξύ τους και διαχωρίζονται από τον αέρα.

Για τη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία ισχύει η σχέση:

$$Q=AS *F* (T1-T2)*Z \quad \text{σε (W*h)}$$

όπου

Q: η ποσότητα της θερμότητας την οποία ακτινοβολεί η θερμότερη επιφάνεια σε βατώρες (W*h)

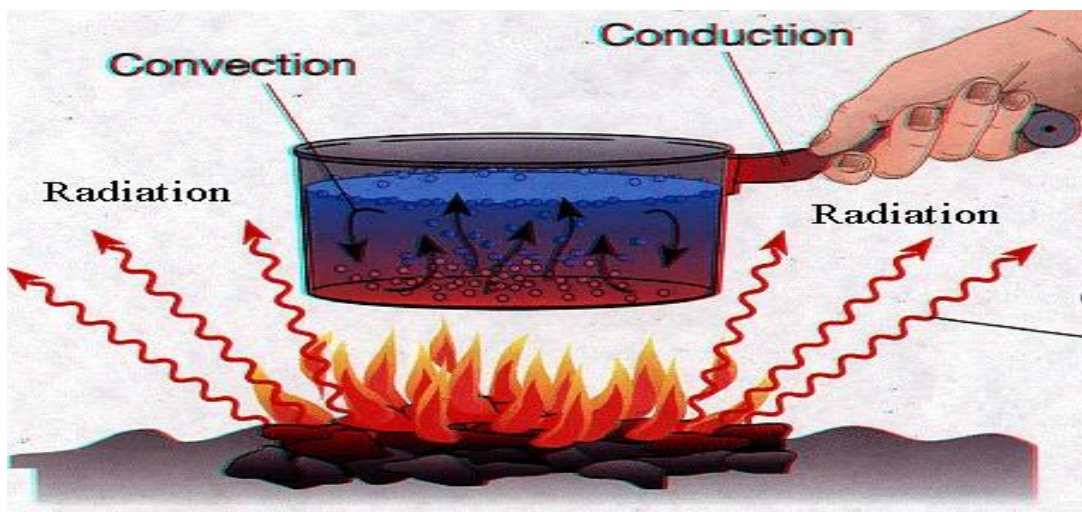
AS: ο συντελεστής θερμικής ακτινοβολίας σε βατ ανά τετραγωνικό μέτρο και ανά βαθμό Κέλβιν ($W*m^2/K$)

F: το εμβαδόν της θερμότερης επιφάνειας

T1: η θερμοκρασία της θερμότερης επιφάνειας σε βαθμούς Κέλβιν (K)

T2: η θερμοκρασία της επιφάνειας του άλλου σώματος σε βαθμούς Κέλβιν (K)

Z: ο χρόνος ροής σε ώρες (h)



Σχήμα 61. Τρόποι μετάδοσης θερμότητας

Σημείωση :

Convection : μεταφορά

Conduction : αγωγή

Radiation : ακτινοβολία

9.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Μερικές από τις πιο χαρακτηριστικές των δομικών στοιχείων είναι οι παρακάτω:

-**η θερμομονωτική ικανότητα** δηλαδή η αντίσταση στην θερμοδιαφυγή των δομικών στοιχείων. Αυτή εξαρτάται από τις ιδιότητες που έχουν τα υλικά όπως η θερμική αγωγιμότητα, η περιεκτικότητα τους σε υγρασία και το πάχος τους.

-**ο βαθμός διαπερατότητας** του αέρα διαμέσου των δομικών στοιχείων που εξαρτάται από το είδος της κατασκευής, την επιφάνεια των ανοιγμάτων

-**η ειδική θερμοχωρητικότητα c:** η ειδική θερμοχωρητικότητα δίνει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες η οποία απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία 1 Kg του υλικού κατά έναν βαθμό Κέλβιν ή η ποσότητα ενέργειας σε kcal που χρειάζεται για να υψωθεί η θερμοκρασία της μάζας του υλικού κατά 1°C.

Η ειδική θερμοχωρητικότητα μετράται σε βατώρες ανά χιλιόγραμμο και ανά βαθμό Κέλβιν. ($W \cdot h / kg \cdot K$) ή σε ($Kcal / kg \cdot ^\circ C$)

-**η θερμοχωρητικότητα (Q):** η οποία ορίζεται ως η ικανότητα ενός σώματος να αποθηκεύει κάποια ποσότητα θερμότητας όταν θερμαίνεται.

Η θερμοχωρητικότητα υπολογίζεται από τον τύπο $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, όπου ΔT η διαφορά θερμοκρασίας, m η μάζα του υλικού, c η ειδική θερμοχωρητικότητα του.

-**ο συντελεστής θερμοχωρητικότητας S,** ο οποίος εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας σε βατώρες, η οποία απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός κυβικού μέτρου (m^3) κατά 1 βαθμό Κελσίου ($1^\circ C$)

Ο συντελεστής θερμοχωρητικότητας μετράται βατώρες ανά κυβικό μέτρο και ανά βαθμό Κέλβιν ($W \cdot h / m^3 \cdot K$).

-**ο συντελεστής θερμοχωρητικότητας W** οποίος εκφράζει την ποσότητα της ενέργειας που αποθηκεύεται σε 1 τετραγωνικό μέτρο (m^2) στοιχείου κατασκευής, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του στοιχείου και του αέρα που το περιβάλλει είναι 1 βαθμός Κελσίου

Η μονάδα μέτρησης αυτού του συντελεστή είναι: $Kcal / m^2 \cdot ^\circ C$. (28,31)

9.31. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Από τούς πλέον σπουδαιότερους συντελεστές της μονωτικής ικανότητας των υλικών είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.

Η θερμική αγωγιμότητα (thermal conduction) είναι ένα φαινόμενο με το οποίο μεταφέρεται θερμότητα από περιοχές υψηλής θερμοκρασίας μιας ουσίας προς περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας.

Η ιδιότητα που χαρακτηρίζει την ικανότητα ενός υλικού να μεταφέρει θερμότητα (transfer heat) ή αλλιώς η ταχύτητα με την οποία μεταφέρεται θερμότητα διαμέσου του υλικού δηλώνεται από την

θερμική αγωγιμότητα (thermal conductivity, heat conductivity) ή τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (coefficient of thermal conductivity).

-ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ είναι χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού το οποίο καθορίζει την θερμομονωτική του ικανότητα και αναφέρεται σε ομοιογενή υλικά.

Όσο μικρότερη είναι η τιμή του λ τόσο περισσότερο αποτελεσματικό είναι το υλικό ως θερμομονωτικό.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δίνει την ποσότητα σε βατώρες η οποία ρέει σε 1 ώρα μέσα από ένα στρώμα υλικού που έχει επιφάνεια 1m^2 και πάχος 1m όταν η πτώση της θερμοκρασίας προς την κατεύθυνση της ροής της θερμότητας (διαφορά θερμοκρασίας των δύο επιφανειών) είναι 1K και το σύστημα ευρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση το οποίο σημαίνει ότι η θερμοκρασία τοπικά παραμένει σταθερή με τον χρόνο.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μετράται σε βατ ανά μέτρο και βαθμό Κέλβιν ($\text{W/m}^*\text{K}$).

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δεν είναι σταθερό μέγεθος αλλά μία γραμμική συνάρτηση που αυξάνεται σε συνάρτηση με την θερμοκρασία Συνήθως υπολογίζεται με μια μέση τιμή. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας επηρεάζεται κύρια από την θερμοκρασία και μάλιστα αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Με βάση την τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας τα υλικά διακρίνονται σε:

-καλούς αγωγούς : υλικά που έχουν μεγάλο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (π.χ. μέταλλα)

-κακούς αγωγούς : υλικά που έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

Η θερμική αγωγιμότητα λ των συνήθων πολυμερών είναι πολύ κατώτερη από αυτή των μετάλλων.

Η θερμότητα μεταφέρεται στα στερεά υλικά τόσο με κύματα πλεγματικών δονήσεων δηλαδή με φωνόνια όσο και με ηλεκτρόνια. Μία αγωγή θερμότητας συνδέεται με κάθε ένα από αυτούς τους μηχανισμούς. (συνήθως επικρατεί ο ένας από τους δύο) και η συνολική θερμική αγωγιμότητα είναι το άθροισμα των δύο συνεισφορών δηλαδή της θερμικής αγωγιμότητας με πλεγματικές δονήσεις (φωνόνια) και θερμικής αγωγιμότητας με ηλεκτρόνια.

Στα πολυμερή η μεταφορά ενέργειας γίνεται με δόνηση και περιστροφή της αλυσίδας του μακρομορίου. Το πλάτος της θερμικής αγωγιμότητας εξαρτάται από τον βαθμό κρυσταλλικότητας.

Ένα πολυμερές με υψηλή κρυσταλλική δομή και τάξη θα έχει μία μεγαλύτερη αγωγιμότητα από ότι το ισοδύναμο άμορφο υλικό.

Αυτό οφείλεται στην περισσότερη αποτελεσματική ισόβαθμη (coordinated) δόνηση των μακρομορίων για κρυσταλλική κατάσταση.

Στα πολυμερή η θερμότητα δεν μεταφέρεται από ηλεκτρόνια αλλά με ελαστικά κύματα (φωνόνια=phonons).

Η θερμική αγωγιμότητα των πολυμερών είναι πολύ χαμηλή. Η τιμή του λ των άμορφων πολυμερών και των ελαστομερών εξαρτάται από το είδος του πολυμερούς και την θερμοκρασία.

Η θερμική αγωγιμότητα μάλλον αυξάνει συναρτήσει της θερμοκρασίας και παίρνει μία μέγιστη τιμή κοντά στην θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως.

Η θερμική αγωγιμότητα κρυσταλλικών πολυμερών ελαττώνεται έντονα στις θερμοκρασίες τήξεως τους λόγω δραστηκής μειώσεως της πυκνότητας στοιβάξεως τους σε αυτές τις θερμοκρασίες.

Αυξάνοντας τον βαθμό πολυμερισμού, αυξάνοντας την κρυσταλλικότητα, ελαττώνοντας τις διακλαδώσεις και δημιουργώντας εκτεταμένες διασταυρώσεις πλέγματος συντελούν στην υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα του πολυμερούς.

Τα πολυμερή χρησιμοποιούνται συχνά ως θερμικοί μονωτές λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας.

Πολυμερή με την μορφή αφρού ή κυψελίδων είναι καλοί θερμικοί μονωτές.

Επειδή η θερμική αγωγιμότητα των πολυμερών είναι πολύ χαμηλή τα πολυμερή είναι πολύ καλοί μονωτές θερμότητας, ενώ τα αφρώδη πολυμερή είναι ακόμη καλύτεροι μονωτές θερμότητας.(28,31)

9.4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Η διαδικασία προσδιορισμού του συντελεστή της θερμικής αγωγιμότητας πραγματοποιήθηκε μέσω κατασκευής της Εργαστηριακής Μονάδας Προηγμένων και Συνθέτων Υλικών.



Σχήμα 62. Συσκευή μέτρησης του συντελεστή της θερμικής αγωγιμότητας (εργαστηριακή ιδιοκατασκευή)

9.41 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΝΕΟΛΑΚΗΣ ΠΕΡΛΙΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Α/ Από τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τον υπολογισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των συνθέτων υλικών κατασκευάστηκε θερμομονωτικό υλικό το οποίο αποτελείται από νεολάκη και ΗΕΧΑ σε αναλογία 7:2 και περλίτης 10% κ.β.

Μετρήθηκε το υλικό αυτό γιατί οπτικά και μηχανικά παρουσίαζε τις καλύτερες ιδιότητες.

Για τον προσδιορισμό της θερμικής αγωγιμότητας του σύνθετου υλικού νεολάκης και περλίτη χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω υπολογισμοί:

νεολάκη: 420 g.

ΗΕΧΑ: 120 g

περλίτης: 60 g

(Η αναλογία νεολάκης – ΗΕΧΑ διατηρείται σταθερή 7:2).

Η ποσότητα του περλίτη προέκυψε από τον κάτωθι υπολογισμό:

- Στα 100 g του συνολικού μίγματος νεολάκης και ΗΕΧΑ υπάρχουν 10 g περλίτης
- Στα 540 +χ χ ;

$\chi=60$ g περλίτη για να σχηματίσουμε ένα δείγμα με 10% κ.β περλίτη.

B/ Μετρήθηκαν ακόμη δοκίμια πολυουρεθάνης προερχόμενης από το εμπόριο, πολυουρεθάνη με ίνες άνθρακα και εξηλασμένη πολυστερίνη εμπορίου.

9.42 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Για την μέτρηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε συσκευή, η οποία αποτελείται από δύο μέρη:

A/ Από την συσκευή και διάταξης ρύθμισης και μέτρησης της θερμοκρασίας

B/ Από την διάταξη τύπου μικρού κλιβάνου όπου ευρίσκεται τα δοκίμια μονωμένα καθώς και τα θερμοστοιχεία για την μέτρηση της θερμοκρασίας.

Η διάταξη αυτή αποτελείται από την θερμαντική πλάκα και εκατέρωθεν αυτής ευρίσκονται τα δοκίμια. Περιμετρικά των δοκιμίων ευρίσκεται η μόνωση.

Σε κάθετη τομή της διάταξης μέτρηση διακρίνουμε τα κάτωθι, από κάτω προς τα πάνω, στρώματα:

1. Μόνωση
2. Μεταλλική πλάκα ψύξεως
3. Δοκίμιο (α)
4. Μεταλλική πλάκα θέρμανσης
5. Δοκίμιο (β)
6. Μεταλλική πλάκα ψύξεως
7. Μόνωση

Τα σημεία τοποθέτησης των 4 θερμοστοιχείων ευρίσκονται στις παρακάτω θέσεις:

Θερμοστοιχείο (1) : Σημείο επαφής της κάτω επιφάνειας του (α) δοκιμίου με την πλάκα ψύξεως. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ T1 ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟΥ 1

Θερμοστοιχείο (2) : Σημείο επαφής της πάνω επιφάνειας του (α) δοκιμίου με την πλάκα θερμάνσεως. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ T2 ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟΥ 2

Θερμοστοιχείο (3) : Σημείο επαφής της κάτω επιφάνειας του (β) δοκιμίου με την πλάκα θερμάνσεως. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ T3 ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟΥ 3

Θερμοστοιχείο (4) : Σημείο επαφής της πάνω επιφάνειας του (β) δοκιμίου με την πλάκα ψύξεως. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ T4 ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟΥ 4

ΣΗΜΕΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	ΚΑΘΕΤΗ ΤΟΜΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
	ΜΟΝΩΣΗ
	ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΠΛΑΚΑ
T4 ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟΥ 4 T3 ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟΥ 3	ΔΟΚΙΜΙΟ (β)
SET POINT	ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΠΛΑΚΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
T2 ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟΥ 2 T1 ΘΕΡΜΟΣΤΟΙΧΕΙΟΥ 1	ΔΟΚΙΜΙΟ (α)
	ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΠΛΑΚΑ
	ΜΟΝΩΣΗ

Σχήμα 63. Κάθετη διατομή συσκευής μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας.

9.43 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας υπολογίζεται από τούς τύπους:

$$\lambda = \Phi * S_m / 2 A * (\Theta_{wm} - \Theta_{km})$$

$$\Phi = Q/t = P * x/y$$

όπου:

A: μέση επιφάνεια δοκιμίου (cm²)

S_m: μέσο πάχος δοκιμίων (cm)

Θ_{wm} = 1/2 (T₂ + T₃) °C

Θ_{km} = 1/2 (T₁ + T₄) °C

Φ: ροή θερμότητας, η οποία υπολογίζεται από τον παραπάνω τύπο.

Φ = Ισχύς αντιστάσεων θερμαντικής πλάκας * χρόνο που δούλεψαν = 2.128 W * x/y (σε Watt)

x = ο χρόνος που το σύστημα δίνει θερμότητα σε μία ορισμένη χρονική περίοδο

ψ = η χρονική περίοδος που το σύστημα έδωσε για χρόνο χ θερμότητα.

Ο συντελεστής 2 συμμετέχει γιατί έχουμε 2 δοκίμια

$$S_m = 1/2 (S_1 + S_2) \text{ σε cm,}$$

όπου S₁ και S₂ το μέσο πάχος των δοκιμίων αντίστοιχα.

Θ_{w1} και Θ_{w2}: οι μέσες θερμοκρασίες των επιφανειών των δοκιμίων που ευρίσκονται σε επαφή με την θερμαντική πλάκα: σε °C

Θ_{wm} = 1/2 (Θ_{w1} + Θ_{w2}): ο μέσος όρος των μέσων θερμοκρασιών των επιφανειών των δύο δοκιμίων που ευρίσκονται σε επαφή με την θερμαινόμενη πλάκα: σε °C

Θκ1 και Θκ2 οι μέσες θερμοκρασίες των επιφανειών των δοκιμίων που **δεν** ευρίσκονται σε επαφή με την θερμαντική πλάκα: σε °C

Θkm=1/2 (Θκ1+Θκ2): ο μέσος όρος των μέσων θερμοκρασιών των επιφανειών των δύο δοκιμίων που **δεν** ευρίσκονται σε επαφή με την θερμαινόμενη πλάκα: σε °C

9.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

- Το πρώτο δείγμα που μετρήθηκε είναι σύνθετο θερμομονωτικό υλικό το οποίο αποτελείται από πολουρεθάνη με ίνες άνθρακα. Οι μετρήσεις οι οποίες ελήφθησαν από την συσκευή μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας είναι οι κάτωθι:

Πίνακας 17. Αποτελέσματα μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας δοκιμίου πολουρεθάνης και ινών άνθρακα

Set point (°C)	Ώρα	Χρόνος ροής θερμότητας (sec)	Ένδειξη θερμοκρασίας ρυθμιστή (°C)	Θερμοκρασία θερμοστοιχείων (°C)			
				T1	T2	T3	T4
	10:45	15	34,5	33,8	35,5	36,0	33,7
	11:00	10	38,5	33,8	36,6	36,6	33,8
	11:15	5	40,3	33,9	37,8	37,8	33,8
44	11:30	5	41,2	33,9	38,6	38,6	34,0
	11:45	10	42,0	34,0	39,4	39,4	34,1
	12:00	5	43,0	34,0	40,7	40,6	34,2
	12:05		44	34,1	41,8	41,7	34,2
	12: 10		44	34,1	41,7	41,7	34,1

Για τον υπολογισμό του λ, τα πάχη των δοκιμίων μετρήθηκαν και υπολογίστηκε ο μέσος όρος:

M.O. πάχους δοκίμιο (α) = 5,131 cm

M.O. πάχους δοκίμιο (β) = 4,220 cm

M.O. πάχους δοκιμίων = 4,6757 cm

M.O. της επιφάνειας = 706,5 cm²

Οι παραπάνω υπολογισμοί του M.O. του πάχους και του M.O. της επιφάνειας βασίσθηκαν και σε προηγούμενες μετρήσεις.

Ο υπολογισμός του συντελεστή της θερμικής αγωγιμότητας πραγματοποιείται σε δύο εύρη θερμοκρασιών.

Ο πρώτος υπολογισμός πραγματοποιείται για το θερμοκρασιακό εύρος από 34 °C έως 44°C,

Ο δεύτερος υπολογισμός πραγματοποιείται για το θερμοκρασιακό εύρος από 38,5°C έως 44°C.

➤ Πρώτος υπολογισμός

$$\Phi = 2128 \text{ W} * x/\psi = 2128 \text{ W} * 50/90 * 60 = 106400/5400 = 19,70 \text{ W}$$

$$S_m = 4,6757 \text{ cm}$$

$$A = 706,5 \text{ cm}^2$$

$$\Theta_{wm} = 1/2 (T_1 + T_4) = 1/2 (33,95 + 33,98) = 33,96 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Theta_{km} = 1/2 (T_2 + T_3) = 1/2 (39,51 + 39,05) = 39,28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 19,7 * 4,6757/2 * 706,5 * (39,02 - 33,96) = 19,7 * 4,6757/2 * 706,5 * 5,06 = 92,1/1413 * 0,01 * 278,21 = 92,1/3931 = \mathbf{0,023 \text{ W/K}\cdot\text{m}}$$

➤ Δεύτερος υπολογισμός

$$\Phi = 2128 \text{ W} * x/\psi = 2128 \text{ W} * 35/80 * 60 = 74480/4800 = 15,51 \text{ W}$$

$$S_m = 4,6757 \text{ cm}$$

$$A = 706,5 \text{ cm}^2$$

$$\Theta_{wm} = 1/2 (T_1 + T_4) = 1/2 (33,97 + 34,02) = 34,00 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Theta_{km} = 1/2 (T_2 + T_3) = 1/2 (39 + 39,48) = 39,24 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 15,51 * 4,6757/2 * 706,5 * (39,24 - 34) = 15,51 * 4,6757/2 * 706,5 * 5,24 = 72,52/1413 * 0,01 * 278,24 = 72,52 / 3931,5 = \mathbf{0,018 \text{ W/K}\cdot\text{m}}$$

Αποτελέσματα

Πρώτος υπολογισμός συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) W/K*m	Δεύτερος υπολογισμός συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) W/K*m	Μέσος όρος συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) W/K*m
0,023	0,018	0,020

- Το δεύτερο δείγμα που μετρήθηκε είναι θερμομονωτικό υλικό το οποίο αποτελείται από πολουρεθάνη. Οι μετρήσεις οι οποίες ελήφθησαν από την συσκευή μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας είναι οι κάτωθι

Πίνακας 18. Αποτελέσματα μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας δοκιμίου πολουρεθάνης

Set point ($^\circ\text{C}$)	Ώρα	Χρόνος ροής θερμότητας (sec)	Ένδειξη θερμοκρασίας ρυθμιστή ($^\circ\text{C}$)	Θερμοκρασία θερμοστοιχείων ($^\circ\text{C}$)			
				T1	T2	T3	T4
	10:10	20	33,8	33,2	33,8	33,8	32,9

	10:20	10	38,5	33,3	36,6	36,9	33,1
	10:30	10	40,7	33,3	38,3	38,7	33,1
44	10:40	6	42,6	33,4	39,4	40,3	33,3
	10:45	3	44,1	33,5	41,4	41,4	33,4
	10:50		44,4	33,6	41,7	42,1	33,5

Για τον υπολογισμό του λ , τα πάχη των δοκιμίων μετρήθηκαν και υπολογίστηκε ο μέσος όρος:

M.O. πάχους δοκίμιο (α)=3,518 cm

M.O. πάχους δοκίμιο (β)=3,935 cm

M.O. πάχους δοκιμίων = 3,7265 cm

M.O. της επιφάνειας δοκιμίων = 706,5 cm²

Οι παραπάνω υπολογισμοί του M.O. του πάχους και του M.O. της επιφάνειας βασίσθηκαν και σε προηγούμενες μετρήσεις.

Ο υπολογισμός του συντελεστή της θερμικής αγωγιμότητας πραγματοποιείται σε δύο εύρη θερμοκρασιών.

Ο πρώτος υπολογισμός πραγματοποιείται για το θερμοκρασιακό εύρος από 33,8 °C έως 44,4 °C.

Ο δεύτερος υπολογισμός πραγματοποιείται για το θερμοκρασιακό εύρος από 38,5 °C έως 44,4 °C.

➤ Πρώτος υπολογισμός :

$$\Phi = 2128 \text{ W} \cdot x/\psi = 2128 \text{ W} \cdot 49/40 \cdot 60 = 104272/2400 = 43,45 \text{ W}$$

$$S_m = 3,7265 \text{ cm}$$

$$A = 706,5 \text{ cm}^2$$

$$\Theta_{wm} = 1/2 (T_1 + T_4) = 1/2 (33,38 + 33,21) = 33,29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Theta_{km} = 1/2 (T_2 + T_3) = 1/2 (38,53 + 38,86) = 38,70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 43,45 \cdot 3,7265 / 2 \cdot 706,5 \cdot (38,70 - 33,29) = 162 / 2 \cdot 706,5 \cdot 5,41 = 162 / 1413 \cdot 0,01 \cdot 278,41 = 162 / 3934 = \mathbf{0,041 \text{ W/K} \cdot \text{m}}$$

➤ Δεύτερος υπολογισμός :

$$\Phi = 2128 \text{ W} \cdot x/\psi = 2128 \text{ W} \cdot 29/30 \cdot 60 = 61712/1800 = 34,28 \text{ W}$$

$$S_m = 3,7265 \text{ cm}$$

$$A = 706,5 \text{ cm}^2$$

$$\Theta_{wm} = 1/2 (T_1 + T_4) = 1/2 (33,42 + 33,28) = 33,35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Theta_{km} = 1/2 (T_2 + T_3) = 1/2 (39,48 + 39,88) = 39,68 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 34,28 \cdot 3,7265 / 2 \cdot 706,5 \cdot (39,68 - 33,35) = 127,7 / 2 \cdot 706,5 \cdot 6,33 = 127,7 / 1413 \cdot 0,01 \cdot 279,33 = 127,7 / 3947 = \mathbf{0,032 \text{ W/K} \cdot \text{m}}$$

Αποτελέσματα

Πρώτος υπολογισμός συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) W/K*m	Δεύτερος υπολογισμός συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) W/K*m	Μέσος όρος συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) W/K*m
0,041	0,032	0,036

- Το τρίτο δείγμα που μετρήθηκε είναι θερμομονωτικό υλικό το οποίο αποτελείται από εξηλασμένη πολυστερίνη. Οι μετρήσεις οι οποίες ελήφθησαν από την συσκευή μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας είναι οι κάτωθι:

Πίνακας 19. Αποτελέσματα μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας δοκιμίου εξηλασμένης πολυστερίνης

Set point (°C)	Ωρα	Χρόνος ροής θερμότητας (sec)	Ένδειξη θερμοκρασίας ρυθμιστή (°C)	Θερμοκρασία θερμοστοιχείων (°C)			
				T1	T2	T3	T4
	10:18	20	30,7	31,1	31,5	31,5	31,1
	10:28		35,8	31,7	34,5	34,6	31,7
	10:38	6	37,7	31,7	35,6	35,8	31,7
44	10:48	10	40,3	31,7	37,9	38,0	31,8
	10:58	10	43,9	31,8	40,6	40,6	31,8
	11:03	8	44,3	31,8	42,5	42,6	31,8
	11:05		45,2	31,8	42,9	42,9	31,8

Για τις μετρήσεις ελήφθησαν υπόψη οι κάτωθι μετρήσεις :

M.O. διαμέτρου κυκλικού δίσκου δοκιμίου (α) : 28,4 cm

M.O. διαμέτρου κυκλικού δίσκου δοκιμίου (β) : 27,8 cm

M.O. διαμέτρου των δύο κυκλικών δίσκων : $28,4 + 27,8 / 2 = 28,1$ cm

M.O. επιφάνειας των δύο κυκλικών δίσκων : $\pi d^2 / 4 = 620$ cm²

M.O. πάχους δοκιμίων: 5 cm

Οι παραπάνω υπολογισμοί του M.O. του πάχους και του M.O. της επιφάνειας βασίσθηκαν και σε προηγούμενες μετρήσεις.

Ο υπολογισμός του συντελεστή της θερμικής αγωγιμότητας πραγματοποιείται σε δύο εύρη θερμοκρασιών.

Ο πρώτος υπολογισμός πραγματοποιείται για το θερμοκρασιακό εύρος από 30,7 °C έως 45,2 °C. Ο δεύτερος υπολογισμός πραγματοποιείται για το θερμοκρασιακό εύρος από 35,8 °C έως 45,2 °C.

➤ Πρώτος υπολογισμός:

$$\Phi = 2128 \text{ W} \cdot x/\psi = 2128 \text{ W} \cdot 54/50 \cdot 60 = 114912/3000 = 38,3 \text{ W}$$

$$S_m = 5 \text{ cm}$$

$$A = 620 \text{ cm}^2$$

$$\Theta_{wm} = 1/2 (T_1 + T_4) = 1/2 (31,65 + 31,67) = 31,66 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Theta_{km} = 1/2 (T_2 + T_3) = 1/2 (37,94 + 38,00) = 37,97 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 38,3 \cdot 5/2 \cdot 620 \cdot (37,97 - 31,66) = 38,3 \cdot 5/2 \cdot 620 \cdot 6,31 = 191,5 / 1240 \cdot 0,01 \cdot 279,31 = 191,5 / 3463,5 = \mathbf{0,055 \text{ W/K}\cdot\text{m}}$$

➤ Δεύτερος υπολογισμός:

$$\Phi = 2128 \text{ W} \cdot x/\psi = 2128 \text{ W} \cdot 34/27 \cdot 60 = 72352/1620 = 44,66 \text{ W}$$

$$S_m = 5 \text{ cm}$$

$$A = 620 \text{ cm}^2$$

$$\Theta_{wm} = 1/2 (T_1 + T_4) = 1/2 (31,76 + 31,78) = 31,77 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Theta_{km} = 1/2 (T_2 + T_3) = 1/2 (39,9 + 39,98) = 39,94 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 44,6 \cdot 5/2 \cdot 620 \cdot (39,94 - 31,77) = 44,6 \cdot 5/2 \cdot 620 \cdot 8,17 = 233 / 1240 \cdot 0,01 \cdot 281,17 = 233 / 3486,5 = \mathbf{0,066 \text{ W/K}\cdot\text{m}}$$

Αποτελέσματα

Πρώτος υπολογισμός θερμικής αγωγιμότητας (λ) W/K·m	Δεύτερος υπολογισμός θερμικής αγωγιμότητας (λ) W/K·m	Μέσος όρος (λ) W/K·m
0,055	0,066	0,06

➤ Το τέταρτο δείγμα που μετρήθηκε είναι θερμομονωτικό υλικό το οποίο αποτελείται από νεολάκη με 10% περλίτη. Οι μετρήσεις οι οποίες ελήφθησαν από την συσκευή μέτρησης της θερμικής αγωγιμότητας είναι οι κάτωθι:

Πίνακας 20. Αποτελέσματα μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας δοκιμίου νεολάκης με 10% περλίτη

Set point (°C)	Ώρα	Χρόνος ροής θερμότητας (sec)	Ένδειξη θερμοκρασίας ρυθμιστή (°C)	Θερμοκρασία θερμοστοιχείων (°C)			
				T1	T2	T3	T4
	11:40	20	29,3	30,3	31,0	31,0	30,4
	11:50	10	35,4	31,4	34,8	34,9	31,3
	12:00	10	38,3	31,4	37,0	37,1	31,5
44	12:08	10	40,7	31,7	39,2	39,1	31,9
	12:16	6	42,8	32,7	41,1	41,1	32,7
	12:24		43,7	33,1	41,6	41,7	33,3

Για τις μετρήσεις ελήφθησαν υπόψη οι κάτωθι μετρήσεις:

M.O. διαμέτρου κυκλικού δίσκου δοκιμίου (α) : 28,6 cm

M.O. διαμέτρου κυκλικού δίσκου δοκιμίου (β) : 28,2 cm

M.O. διαμέτρου των δύο κυκλικών δίσκων : $28,6 + 28,2 / 2 = 28,4 \text{ cm}$

M.O. επιφάνειας των δύο κυκλικών δίσκων : $\pi d^2 / 4 = 633,0 \text{ cm}^2$

M.O. πάχους δοκιμίων: $2,5 + 1,8 / 2 = 2,15 \text{ cm}$

Ο υπολογισμός του συντελεστή της θερμικής αγωγιμότητας πραγματοποιείται σε δύο εύρη θερμοκρασιών.

Ο πρώτος υπολογισμός πραγματοποιείται για το θερμοκρασιακό εύρος από 29,3 °C έως 43,7 °C.

Ο δεύτερος υπολογισμός πραγματοποιείται για το θερμοκρασιακό εύρος από 35,4 °C έως 43,7 °C.

➤ Πρώτος υπολογισμός:

$$\Phi = 2128 \text{ W} * x/\psi = 2128 \text{ W} * 56 / 44 * 60 = 119168 / 2640 = 45,13 \text{ W}$$

$$S_m = 2,15 \text{ cm}$$

$$A = 633,0 \text{ cm}^2$$

$$\Theta_{wm} = 1/2 (T1+T4) = 1/2 (31,76 + 31,85) = 31,80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Theta_{km} = 1/2 (T2+T3) = 1/2 (37,45 + 37,48) = 37,47 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 45,13 * 2,15 / 2 * 633 * (37,47 - 31,80) = 45,13 * 2,15 / 2 * 633 * 5,67 = \\ &= 97,02 / 1266 * 0,01 * 278,67 = 97,02 / 3527,9 = \mathbf{0,027 \text{ W/K}\cdot\text{m}} \end{aligned}$$

➤ Δεύτερος υπολογισμός

$$\Phi = 2128 \text{ W} * x/\psi = 2128 \text{ W} * 36 / 34 * 60 = 76608 / 2040 = 37,55 \text{ W}$$

$$S_m = 2,15 \text{ cm}$$

$$A = 633,0 \text{ cm}^2$$

$$\Theta_{wm} = 1/2 (T1+T4) = 1/2 (32,06 + 32,14) = 32,10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Theta_{km} = 1/2 (T_2+T_3)=1/2 (38,74 +38,78)=38,76 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 37,55 * 2,15 / 2 * 633 * (38,76 - 32,10) = 37,55 * 2,15 / 2 * 633 * 6,67 = 80,73 / 1266 * 0,01 * 279,67 = 80,73 / 3540,6 = 0,022 \text{ W/K*m}$$

Αποτελέσματα

Πρώτος υπολογισμός συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) W/K*m	Δεύτερος υπολογισμός συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) W/K*m	Μέσος όρος συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) W/K*m
0,027	0,022	0,024

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Πίνακας 21. Συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας δομικών υλικών

ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (λ) W/K*m	
	Πειραματικές τιμές	Τιμές βιβλιογραφίας
Ενισχυμένη πολυουρεθάνη	0,020	0,020-0,030
Πολυουρεθάνη	0,036	0,030-0,050
Εξηλασμένη πολυστερίνη	0,060	0,035-0,050
Νεολάκη με 10% περλίτη	0,024	

Οι τιμές της βιβλιογραφίας προέρχονται από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010 του Τ.Ε.Ε.

9.51. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από τον συγκεντωτικό πίνακα τιμών των συντελεστών της θερμικής αγωγιμότητας προκύπτει ότι διαφορά των πειραματικών τιμών από τις τιμές της βιβλιογραφίας προκύπτει για την εξηλασμένη πολυστερίνη.

Οι άλλες τιμές ευρίσκονται εντός του εύρους των θεωρητικών τιμών.

Η νεολάκη με 10% περλίτη παρουσιάζει πολύ καλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και είναι εφάμιλη των θερμομονωτικών υλικών που χρησιμοποιούνται σήμερα στις κατασκευές δομικών έργων.

9.6 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

1. Οι ιδιότητες μετάδοσης θερμότητας ενός δείγματος μπορεί να αλλάζουν λόγω:
Α/ της μεταβλητότητας της σύνθεσης του υλικού
Β/ της υγρασίας
Γ/ του χρόνου
Δ/ της μέσης θερμοκρασίας του δείγματος
Ε/των θερμικών διεργασιών που έχουν προηγηθεί κατά την διαδικασία παραγωγής του δείγματος
Οι παραπάνω παράγοντες είναι ενδεικτικοί και επηρεάζουν σε κάποιο βαθμό την μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας.
Βασικοί δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας είναι η μέση θερμοκρασία και η θερμοκρασιακή διαφορά στις άκρες του δείγματος.
2. Η αξιολόγηση και η εκτίμηση του συντελεστή της θερμικής αγωγιμότητας είναι μία πολύπλοκη συνάρτηση της πειραματικής διάταξης, των σχετιζομένων οργάνων και του είδους του δείγματος.
Όταν η μέση θερμοκρασία μέτρησης της αγωγιμότητας είναι κοντά σε θερμοκρασία δωματίου, η μέθοδος θα πρέπει να εμφανίζει μια καλή επαναληψιμότητα και σχετική ακρίβεια όταν μετρηθούν δείγματα από παρόμοιο υλικό, όπως π.χ. βιομηχανική εξηλασμένη πολυστερίνη της εταιρείας DOW CHEMICALS, πάχους 5 cm.
Η μέτρηση με την ιδιοκατασκευή του εργαστηρίου του συντελεστή της θερμικής αγωγιμότητας παρουσίασε ικανοποιητική επαναληψιμότητα.
3. Σε συμπαγή υλικά με μεγάλη θερμική αγωγιμότητα θα πρέπει να υπάρχει πολύ καλή επαφή μεταξύ των δειγμάτων και των επιφανειών.
Οι επιφάνειες να μην έχουν ρωγμές ή γρατζουνιές ή οτιδήποτε άλλο που θα επιτρέψει στην θερμότητα να φύγει πιο γρήγορα από ότι στα άλλα σημεία της επιφάνειας. Οι θερμικές διαστρεβλώσεις μέσα στο δείγμα είναι αιτία για σοβαρά λάθη.
Η εφαρμογή κάθετης πίεσης μέσω αλουμινένιου δίσκου κατά την διάρκεια της παρασκευής των δειγμάτων βοηθά προς την κατεύθυνση αυτή.
Οι επιφάνειες των δειγμάτων θα πρέπει να είναι επίπεδες για να αποφεύγονται θερμικά βραχυκυκλώματα με τις μεταλλικές επιφάνειες θέρμανσης και ψύξης.
4. Η θερμική αντίσταση επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της τάσης του ηλεκτρικού ρεύματος και θα πρέπει να μετρηθεί και αυτή και να υπολογιστεί κατά την διάρκεια της μέτρησης.
5. Κατά την διάρκεια πραγματοποίησης της μέτρησης, θα πρέπει περιμετρικά του δείγματος να αποφευχθεί απώλεια θερμότητας.
Μια πολύ σημαντική πορεία ροής θέρμανσης είναι και αυτή κατά μήκος των αντιστάσεων.
Η παρουσία μιας ισόθερμης επιφάνειας καθίσταται απαραίτητη για την διεξαγωγή των μετρήσεων με θερμοκρασία παρόμοια με την μονάδα θέρμανσης. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν οι μεταλλικές επιφάνειες εκατέρωθεν των δειγμάτων.

Επιπλέον είναι σημαντικό να μονωθεί περιμετρικά το δείγμα με δίσκο μονωτικού υλικού και μονωτική κολλητική ταινία επειδή πρέπει να περιοριστούν στο ελάχιστο οι απώλειες θερμότητας περιμετρικά των δειγμάτων καθώς και των επιφανειών θέρμανσης και ψύξης.

6. Τα θερμοστοιχεία θα πρέπει να τοποθετούνται όσο γίνεται πιο εσωτερικά στα δείγματα και σε ίδιες θέσεις έτσι ώστε οι μετρήσεις να γίνονται με πιο ακριβή και καθορισμένο τρόπο.
Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας σε άκαμπτα δοκίμια είναι η επιβολή εξωτερικά μίας μικρής δύναμης ώστε να εξασφαλίζεται μια ισοκατανεμημένη πίεση, ενώ και τα θερμοστοιχεία τοποθετούνται στο ίδιο επίπεδο και στο ίδιο σημείο εσωτερικά των δειγμάτων.
7. Μετρήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα και εφόσον το σύστημα μέτρησης ευρίσκεται σε ισορροπία.
Στα δείγματα που μετρήθηκαν ο χρόνος αυτός κυμαίνεται από 4 έως 6 min για τα δείγματα που μετρήθηκαν.
8. Όσο μικρότερου πάχους και πυκνότητας είναι το υλικό, τόσο αυξάνει η πιθανότητα για εύρεση λανθασμένου συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.
9. Τα θερμοστοιχεία 1 και 4 καθώς και τα θερμοστοιχεία 2 και 3 πρέπει να δείχνουν σχεδόν ίδιες τιμές για να έχουμε σωστές ενδείξεις.

10^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

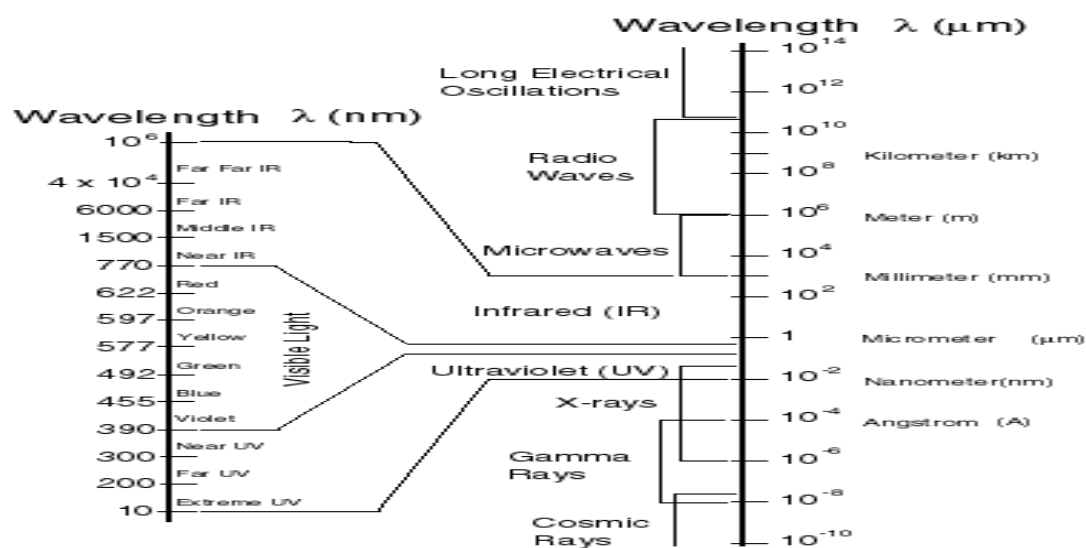
10.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΛΗΤΗ ΜΕ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD)

10.11. ΓΕΝΙΚΑ

Στις 8 Νοεμβρίου του 1895, ο Γερμανός καθηγητής **Wilhelm Conrad Röntgen** (Ραίντγκεν, 1845-1923), στο πανεπιστήμιο Wuerzburg (Franken), ανακάλυψε τις ακτίνες Χ, ενώ εκτελούσε πειράματα για τη μελέτη φαινομένων ιονισμού λόγω πρόσκρουσης. Κατά τη διάρκεια αυτών των πειραμάτων, που διεξάγονταν με πολύ υψηλές τάσεις (30-50kV), ο ερευνητής παρατήρησε ότι ένα χαρτί καλυμμένο με φθορίζον υλικό έλαμπε όση ώρα λειτουργούσε ο καθοδικός σωλήνας, ακόμα και όταν το χαρτί αυτό μεταφερόταν σε διπλανή αίθουσα. Κάποια στιγμή ο Röntgen είδε να απεικονίζεται στη φθορίζουσα οθόνη το χέρι του, όπου τα οστά απορροφούσαν περισσότερο την ακτινοβολία απ' ό,τι ο περιβάλλον ιστός. Αυτή η (άγνωστη) ακτινοβολία ονομάστηκε καταρχήν Χ, και μετά το θάνατο του ερευνητή, ακτινοβολία Röntgen.

Οι ακτίνες Χ είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσεως, πολύ μικρού μήκους κύματος, το οποίο περιλαμβάνεται στην περιοχή από 10 έως 0.01 nm. Τα όρια αυτά επικαλύπτονται μερικώς με δύο άλλες περιοχές των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων: την περιοχή των υπεριωδών ακτίνων και την περιοχή των ακτίνων γ, αντιστοίχως. Η μόνη διαφορά αυτών των ακτίνων από τις ακτίνες Χ του ίδιου μήκους κύματος, είναι ο διαφορετικός τρόπος παραγωγής τους. Οι ακτίνες γ εκπέμπονται κυρίως κατά τη μεταστοιχείωση ραδιενεργών ατόμων, οι υπεριώδεις ακτίνες ακτινοβολούνται από πολύ θερμά σώματα ή εκπέμπονται από ιονισμένα αέρια, ενώ οι ακτίνες-Χ παράγονται κυρίως κατά την πρόσκρουση ταχύτατα κινούμενων ηλεκτρονίων σε μεταλλικό σώμα.

Κατά την απότομη μεταβολή της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων, ποσοστό περίπου 99% μετατρέπεται σε θερμότητα, ενώ μόλις το 1% αυτής εκπέμπεται ως ακτινοβολία Χ. Ακτίνες Χ μπορούν επίσης να παραχθούν και δευτερογενώς κατά την πρόσπτωση πρωτογενούς δέσμης σε ένα σώμα (φθορισμός).



Σχήμα 64. Ανάλυση του φάσματος σε μm

Σημείωση :

wavenumber : κυματαριθμός

wavelength : μήκος κύματος

visible light: ορατό φώς

Gamma Rays: Ακτίνες Γ

Cosmic Rays: Κοσμική ακτινοβολία

radiowaves: ραδιοκύματα

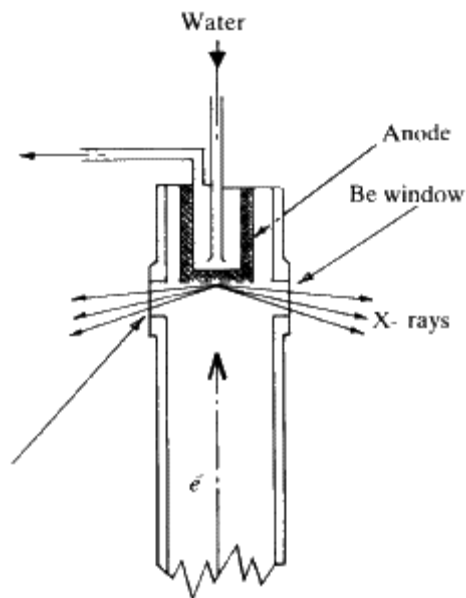
microwaves: μικροκύματα

infrared (IR): υπέρυθρη

Ultraviolet (UV) : υπεριώδης

X-rays: Ακτίνες X

Στην έρευνα της δομής των κρυστάλλων χρησιμοποιούνται ακτίνες X με μήκος κύματος που βρίσκεται σε εξαιρετικά μικρή περιοχή, συνήθως από 0.5 έως 3 Å. Ακτίνες των οποίων το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο από 2 Å, όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, χαρακτηρίζονται ως «μαλακές», ενώ όσες έχουν μήκος κύματος μικρότερο του 1Å ως «σκληρές». Οι πρώτες απορροφούνται ευκολότερα και για αυτόν τον λόγο είναι περισσότερο επικίνδυνες για τους ζώντες οργανισμούς. Στην ιατρική χρησιμοποιούνται ακτίνες X με μήκος κύματος μικρότερο του 0.1 Å. Της ίδιας τάξης μήκους κύματος είναι και οι ακτίνες X που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία για τον έλεγχο χυτών αντικειμένων, συγκολλήσεων κλπ. Στο Σχήμα 31 παριστάνεται ο σωλήνας παραγωγής ακτίνων X.



Σχήμα 65. Σωλήνας παραγωγής ακτίνων X

Σημείωση :

water : νερό

anode : άνοδος

X-rays: Ακτίνες X

Be window: Παράθυρο βηρυλλίου

Ιδιότητες που έχουν οι ακτίνες X και δεν έχουν οι άλλες φωτεινές ακτίνες είναι:

1. Η μεγάλη διαπεραστική τους ικανότητα, που οφείλεται στο πολύ μικρό μήκος κύματος που έχουν. Όταν βομβαρδίσουμε ένα υλικό σώμα, π.χ. έναν ανθρώπινο οργανισμό με ακτίνες X, το διαπερνούν σε βαθμό που εξαρτάται από το μήκος κύματός τους και από την πυκνότητα του σώματος. Τα κόκκαλα π.χ. έχουν πιο μεγάλη πυκνότητα από τις σάρκες και γι' αυτό οι ακτίνες X, ενώ διαπερνούν τις σάρκες, δεν διαπερνούν τα κόκκαλα.

2. Ιονίζουν τα σώματα που διαπερνούν κι έτσι προκαλούν βιολογικές επιδράσεις στους ζωντανούς ιστούς.

3. Προκαλούν το φθορισμό διαφόρων σωμάτων

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η ακτινοβολία X αποτελεί τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που περιλαμβάνεται κυρίως μεταξύ 10^3 και 10^{-2} Å. Για την μελέτη του, χρησιμοποιήθηκε εκτεταμένα τα φασματόμετρο ακτίνων-X, που επινοήθηκε από τον πατέρα Bragg και η αντίστοιχη παραλλαγή του για φωτογραφικές πλάκες. Πολύ νωρίς διαπιστώθηκε ότι το φάσμα εκπομπής των ακτίνων X από μια αντικαθόδο ήταν δύο ειδών :

A) Συνεχές φάσμα, με μορφή πλατειάς ταινίας με σαφώς καθορισμένο όριο προς την πλευρά των μικρών μηκών κύματος (λ_{\min}). Το συνεχές αυτό φάσμα ονομάζεται «λευκή» ακτινοβολία σε αναλογία με την ορατή περιοχή. Το καθορισμένο αυτό κάτω όριο (λ_{\min}), δίνεται από την σχέση Einstein:

$$\lambda = hc/Ve = 12400/V \text{ (Å)}$$

όπου :

V: η τάση σε Volts

c: η ταχύτητα του φωτός

e: το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο και

h: η σταθερά του Plank

B) Γραμμικό φάσμα, το οποίο υπό μορφή ραβδώσεων εμφανίζεται πάνω στο συνεχές υπόβαθρο με πολύ μεγαλύτερη ένταση. Οι ραβδώσεις αυτές μπορεί να είναι οργανωμένες σε μια ή περισσότερες ομάδες έντονων γραμμών. Κάθε ομάδα αποτελείται από μικρό αριθμό γραμμών διαφορετικής εντάσεως, οι οποίες αντιστοιχούν σε ορισμένα μήκη κύματος, χαρακτηριστικά του στοιχείου της αντικαθόδου. Γι' αυτό, αυτά τα μήκη κύματος ονομάζονται χαρακτηριστική ακτινοβολία της αντικαθόδου.

Κάθε ομάδα απέχει σημαντικά από την επόμενη. Αρχίζοντας από τα μικρότερα προς τα μεγαλύτερα μήκη κύματος οι ομάδες ονομάζονται κατά σειρά K, L, M, N... και αντιστοιχούν στις στιβάδες του ατομικού μοντέλου Bohr. Από αυτές τις ομάδες η K είναι πολύ πιο έντονη των άλλων και αποτελείται από δύο γειτονικές ραβδώσεις την $K\alpha$ και $K\beta$ με σχέση εντάσεων $I_{K\alpha}/I_{K\beta} = 6.5$ και $\lambda_{K\alpha} > \lambda_{K\beta}$. Με κατάλληλο φίλτρο απορρόφησης της $K\beta$, απομονώνεται η $K\alpha$. Η $K\alpha$ χρησιμοποιείται αποκλειστικά στις ακτινογραφικές έρευνες των κρυστάλλων που απαιτούν μονοχρωματική ακτινοβολία.

Η συχνότητα ν των χαρακτηριστικών γραμμών κάθε στοιχείου συνδέεται με τον ατομικό αριθμό Z με την σχέση:

$$V = A(Z - B) \text{ (νόμος του Moseley)}$$

όπου A και B σταθερές που εξαρτώνται από την τάξη της ομάδας στον περιοδικό πίνακα των στοιχείων.

Συνήθως και τα δύο είδη ακτινοβολίας X συνυπάρχουν στην δέσμη από μια αντικάθοδο. Για χαμηλές όμως τάσεις λειτουργίας του σωλήνα, είναι δυνατό η χαρακτηριστική ακτινοβολία να είναι τόσο μεγάλου μήκους κύματος, δηλαδή τόσο μαλακή, ώστε να απορροφάται τελείως από το παράθυρο του σωλήνα και να μην εμφανίζεται στο φάσμα. Το φάσμα απορρόφησης των ακτίνων X είναι εξαιρετικά απλό για όλα τα στοιχεία και αποτελείται από ελάχιστες μόνο χαρακτηριστικές γραμμές. Οι γραμμές απορρόφησης ονομάζονται συνήθως ακμές απορρόφησης.

Πολλά πειράματα για την μελέτη των ακτίνων X, έγιναν χρησιμοποιώντας κρυστάλλους. Ο Von Laue μάλιστα, ανακάλυψε ότι ένας κρύσταλλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φράγμα περίθλασης για τις ακτίνες X. Έτσι ο Bragg σε συνεργασία με τον γιο του, για να εξετάσει καλύτερα την αντανάκλαση των ακτίνων αυτών από τους κρυστάλλους, ανέπτυξε το φάσμα των ακτίνων X.

Από τα παραπάνω καθίσταται φανερό πως οι ακτίνες – X αντιδρούν με την ύλη όταν προσπίπτουν σε αυτή. Η ύλη απορροφά μέρος των ακτίνων – X, και κατά μεγάλο μέρος τις σκεδάζει ή τις περιθλά ή τις ανακλά. Αναλόγως με το τι συμβαίνει κατά την αλληλεπίδραση ακτίνων –X και ύλης εμφανίζονται τα εξής φαινόμενα:

1. Compton. Πρόκειται για φαινόμενο σκέδασης των ακτίνων –X, όταν αυτές προσπίπτουν στην ύλη. Στο φαινόμενο αυτό το μήκος κύματος των ακτίνων – X μεταβάλλεται με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σύμπτωση μήκους κύματος εισερχομένων με μήκος κύματος εξερχομένων ακτίνων – X. Το φαινόμενο δεν απασχολεί την Επιστήμη της Δομής της Ύλης αλλά άλλους κλάδους.
2. Bragg σκέδαση (περίθλαση) ή Thomson φαινόμενον. Ο νόμος Bragg $n\lambda = 2d\sin\theta$ είναι η βάση επίλυσης της πλειοψηφίας των κρυσταλλογραφικών προβλημάτων. Εδώ έχουμε σταθερό μήκος ακτίνων –X κατά την είσοδο τους και κατά την έξοδο τους από την ύλη.
3. Fluorescence (Φθορισμός). Η ιδιότητα του φθορισμού της ύλης όταν αυτή αντιδρά με ακτίνες – X είναι πολύ σημαντική και βοηθά στην επίλυση πολλών προβλημάτων. Έχει δε τεράστιο πεδίο εφαρμογών. Κατά την εκδήλωση του φαινομένου αυτού το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μεταβάλλεται.
4. Φαινόμενο Beer. Ο νόμος Beer ($I = I_0 e^{-\mu d}$) αναφέρεται στην απορρόφηση των ακτίνων – X από την ύλη. Η απορρόφηση είναι σημαντικός παράγοντας στην εξέταση υλικών με ακτίνες – X και εξετάζεται ενδελεχώς από τη επιστημονική κοινότητα που ασχολείται με ακτίνες – X. Αυτή καθαυτή η απορρόφηση έχει ευρύ πεδίο εφαρμογών.
5. Δημιουργία Photoelectrons. Η δημιουργία φωτοηλεκτρονίων κατά την επίδραση ακτίνων – X και ύλης δεν απασχολεί των τομέα έρευνας της Κρυσταλλογραφίας.

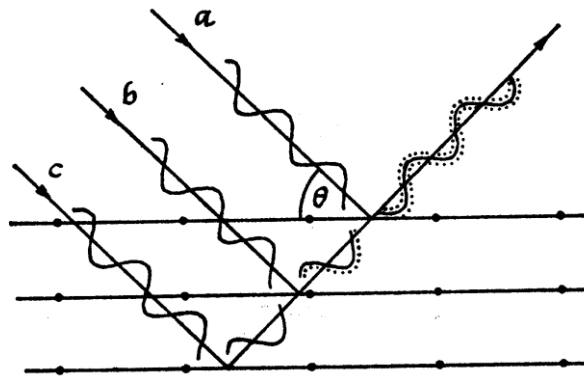
Στην οπτική περιοχή, η μελέτη του φάσματος και της κατανομής της ενέργειας στα διάφορα μήκη κύματος επιτυγχάνεται κυρίως με δύο μεθόδους:

1. της διάθλασης από πρίσματα και
2. της περίθλασης από κατάλληλο φράγμα.

Επειδή όμως και οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν δυσκολίες, η κυριότερη μέθοδος έρευνας του φάσματος στηρίζεται στην περίθλαση των ακτίνων X από τους κρυστάλλους οι οποίοι ενεργούν ως φυσικά τρισδιάστατα φράγματα. Η χρησιμοποίηση αυτή των κρυστάλλων είναι άμεση συνέπεια της θεώρησης του φαινομένου της περίθλασης από τον Bragg (υιό) σαν

ισοδύναμου με ανάκλαση της προσπίπτουσας δέσμης από τα διάφορα δικτυωτά επίπεδα του κρυστάλλου. Η περίθλαση των ακτίνων X είναι μία από τις πιο σημαντικές εξελίξεις της επιστήμης. Όπως ήδη ειπώθηκε η περίθλαση μελετάται περισσότερο στην κρυσταλλογραφία, κι αυτό γιατί τα μήκη κύματος των ακτίνων X είναι περίπου ίσα με τις αποστάσεις μεταξύ των ατόμων μέσα στον κρύσταλλο.

Ο William L. Bragg έδειξε ότι οι ακτίνες X συμπεριφέρονται ως δημιουργοί της απεικόνισης της κρυσταλλικής δομής, όταν αυτές περιθλώνται σε έναν κρύσταλλο. Η διασπορά από ένα μέσο συνεχές σε δύο διαστάσεις, όπως ένα επίπεδο ατόμων σε μια δομή κρυστάλλου, καλείται ανάκλαση. Εντούτοις, οι όροι περίθλαση και ανάκλαση μπορούν να χρησιμοποιηθούν αδιακρίτως και οι δύο. Έτσι αν ακτίνες X πέσουν σε ένα επίπεδο ατόμων με γωνία πρόσπτωσης θ , οι ακτίνες θα διαπεράσουν τα στρώματα των ατόμων και θα δώσουν την απεικόνισή τους. Αυτό μπορούμε να το δούμε και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 66. Ανάκλαση ακτίνων X από παράλληλα επίπεδα

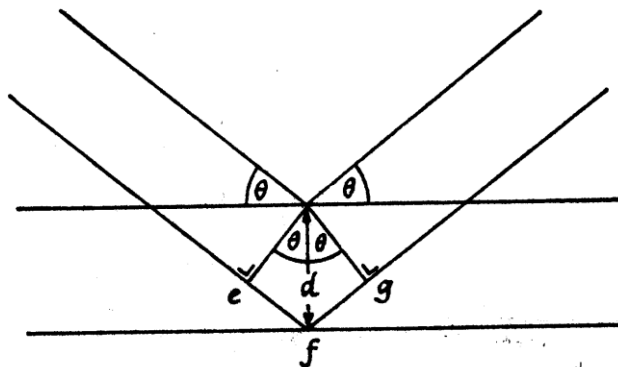
Από το παραπάνω σχήμα βλέπουμε ότι η a ακτίνα ανακλάται από το πρώτο επίπεδο, η b από το δεύτερο και η c από το τρίτο κ.τ.λ. Αυτές οι ακτίνες όμως βρίσκονται σε φάση. Οι περιθλώμενες ακτίνες που βρίσκονται σε φάση πρέπει να ικανοποιούν τον νόμο του Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

όπου:

- n: ακέραιος αριθμός,
- λ : το μήκος κύματος των ακτίνων X,
- d: η απόσταση μεταξύ των επιπέδων των ατόμων και
- θ : η συμπληρωματική της γωνίας πρόσπτωσης.

Αυτό μπορούμε να το δούμε και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 67. Ανάκλαση ακτίνων X

Οι παράμετροι λοιπόν που βρίσκονται στην διάθεση ενός πειραματικού ερευνητή είναι το μήκος κύματος λ της ακτινοβολίας και η γωνία θ . Ζητούμενο είναι τα διαφορετικά d . Έτσι τυπικά μπορεί κανείς να μεταβάλλει είτε το μήκος κύματος της ακτινοβολίας με σταθερή γωνία είτε τη γωνία με σταθερό μήκος κύματος μέχρι να πάρει σύμφωνη σκέδαση. Έτσι είτε:

- κρατάμε σταθερό το θ και μεταβάλλουμε το λ (Μέθοδος Laue).
- κρατάμε σταθερό το λ και μεταβάλλουμε τη γωνία θ (Μέθοδοι κόνεως και περιστροφής).

Μέθοδος Κόνεως (Debye- Scherrer)

Στη μέθοδο αυτή ο κρύσταλλος αλέθεται σε σκόνη, έτσι ώστε να αποτελείται από μικρούς (της τάξεως μερικών μm), κόκκους με τυχαίους προσανατολισμούς. Αυτό σημαίνει ότι για μονοχρωματική ακτινοβολία εδώ, κάθε κόκκος θα δώσει σύμφωνη σκέδαση για συγκεκριμένες γωνίες. Θα συμπεριφέρεται δηλαδή ως ανεξάρτητος κρύσταλλος. Όμως τυχαία θα υπάρχουν αρκετές ομάδες κόκκων με τον ίδιο πάντα προσανατολισμό. Στη μέθοδο αυτή όμως ως σημείο αναφοράς για τις γωνίες πρόσπτωσης θ λαμβάνεται η εξωτερική επιφάνεια του δείγματος.

Έτσι όταν οι ακτίνες – X προσπίπτουν στο δείγμα με συγκεκριμένη γωνία τότε μόνον οι κόκκοι οι οποίοι τυχαία συμβαίνει να έχουν παράλληλα με την επιφάνεια εκείνα τα επίπεδα ίσο-απόστασης d , ώστε για την γωνία πρόσπτωσης θ να επαληθεύεται η εξίσωση Bragg $\lambda=2d\sin\theta$ θα δώσουν σήμα (ανάκλαση).

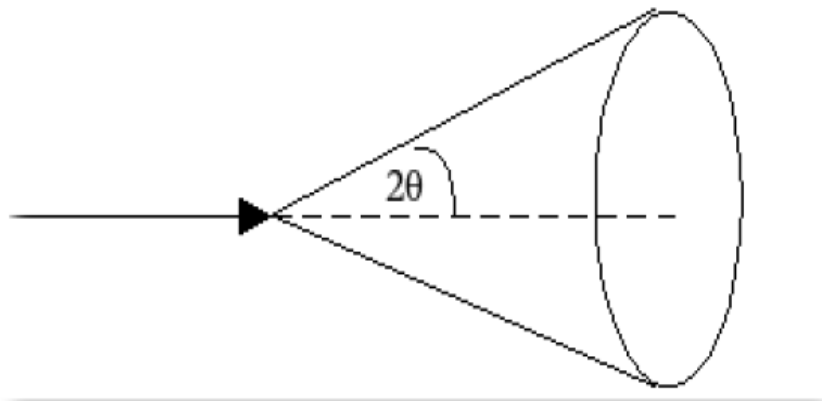
Η ανάκλαση αυτή (για την συγκεκριμένη γωνία) θα προέρχεται μόνον από την ομάδα επιπέδων τα οποία είναι παράλληλα με την επιφάνεια του δείγματος. Καθώς το δείγμα θα περιστρέφεται θα ελθουν άλλες ομάδες επιπέδων (άλλοι κόκκοι) σε θέση ώστε τα νέα επίπεδα να δώσουν ανάκλαση. Έτσι θα έχουμε ανακλάσεις για πολλά επίπεδα πάντα βέβαια σε διαφορετικές γωνίες.

Πόσα επίπεδα θα έχουμε εξαρτάται από το πλήθος των κόκκων στους οποίους έχει θρυμματισθεί κατά τη άλεση ο αρχικός κρύσταλλος. Αν είχαμε ενιαίο μονοκρύσταλλο και μονοχρωματική ακτινοβολία θα παίρναμε μία μόνον ανάκλαση εφόσον περιστρέφαμε τον κρύσταλλο μόνο κατά έναν άξονα. Όταν αναφερόμαστε σε μία ανάκλαση εννοούμε μία ζώνη ανακλάσεων. Π.χ. όταν πρόκειται για την 200 εννοούμε και τις 400, 600. κ.λ.π. ή όταν πρόκειται για την 111 εννοούμε και συμπεριλαμβάνουμε όλα τα πολλαπλάσια της 222, 333, κ.λ.π.

Αν έχουμε μια μονοχρωματική δέσμη, ανεξάρτητα από την γωνία με την οποία προσπίπτει στο δείγμα, πάντα θα υπάρχουν ορισμένοι κόκκοι με τον κατάλληλο προσανατολισμό ώστε να ικανοποιούν την συνθήκη Bragg και να δώσουν έτσι σύμφωνη σκέδαση.

Στη μέθοδο της σκόνης έχουμε μεταβολή της γωνίας μεταξύ της προσπίπτουσας και της σκεδασμένης δέσμης (2θ). Ένα συγκεκριμένο επίπεδο μπορεί να έχει οποιοδήποτε

προσανατολισμό. Στην πραγματικότητα έχουμε τέτοια επίπεδα με κάθε δυνατό προσανατολισμό. Συνεπώς ο γεωμετρικός τύπος σκεδαζόμενων δεσμών είναι ένας κώνος με κορυφή το δείγμα και άνοιγμα γωνίας 4θ για κάθε μία από τις γωνίες θετικής συμβολής. (51,52,53)



Σχήμα 68. Μέθοδος Κώνεως: Μεταβολή της γωνίας μεταξύ της προσπίπτουσας και της σκεδασμένης δέσμης (2θ).

10.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X του περλίτη. Το δείγμα προετοιμάστηκε ως εξής:

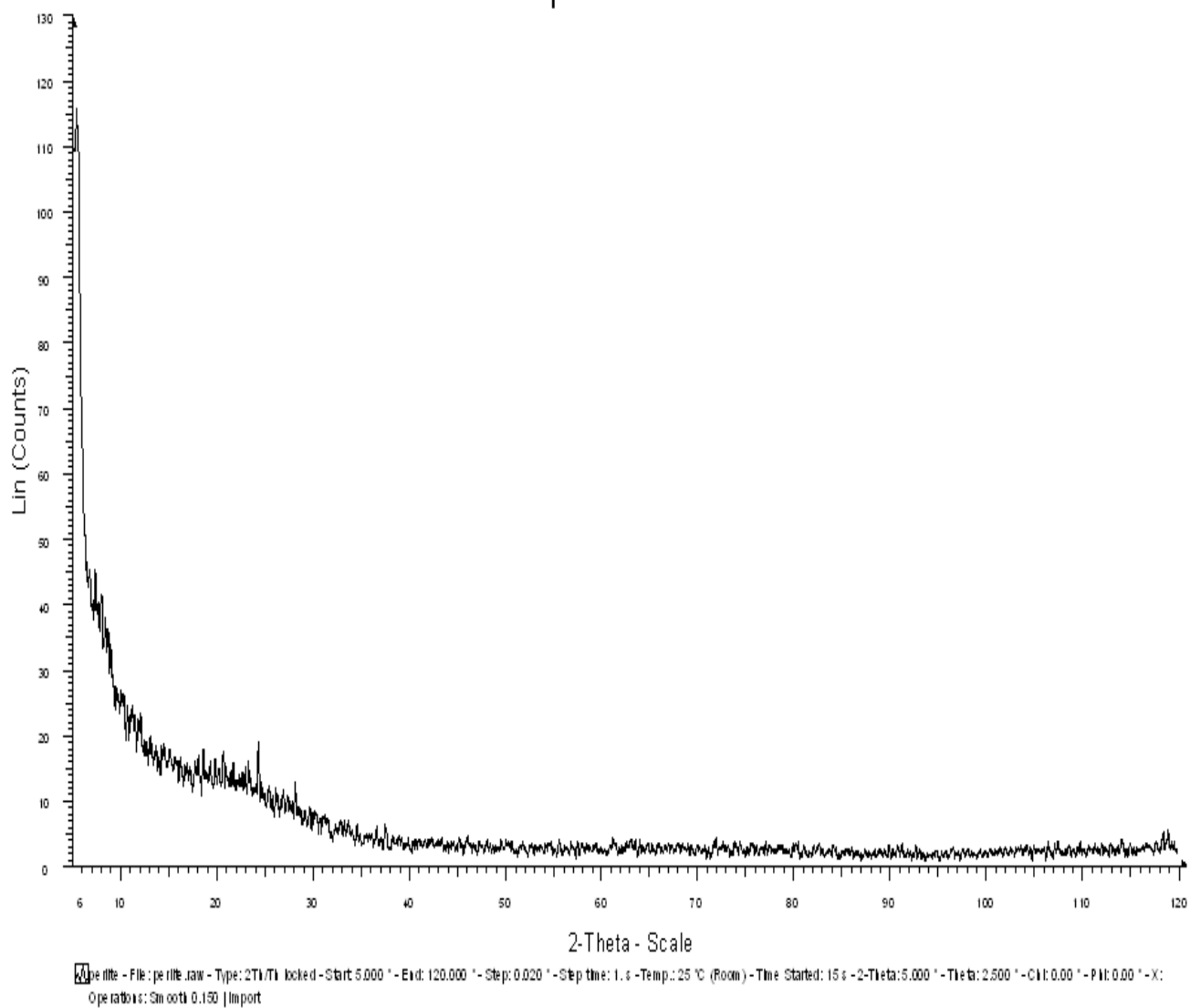
Κοσκινίστηκαν 10 περίπου κιλά περλίτη με κόσκινο το οποίο αφήνει να περνάει υλικό κάτω από 300 μm . Ακολούθως έγινε διαχωρισμός σε τέσσερα μέρη και ελήφθησαν δύο δείγματα.

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε στα δύο δείγματα.

α. Το πρώτο δείγμα περιείχε περίπου μερικά γραμμάρια περλίτη και χρησιμοποιήθηκε απευθείας ως δείγμα για XRD.

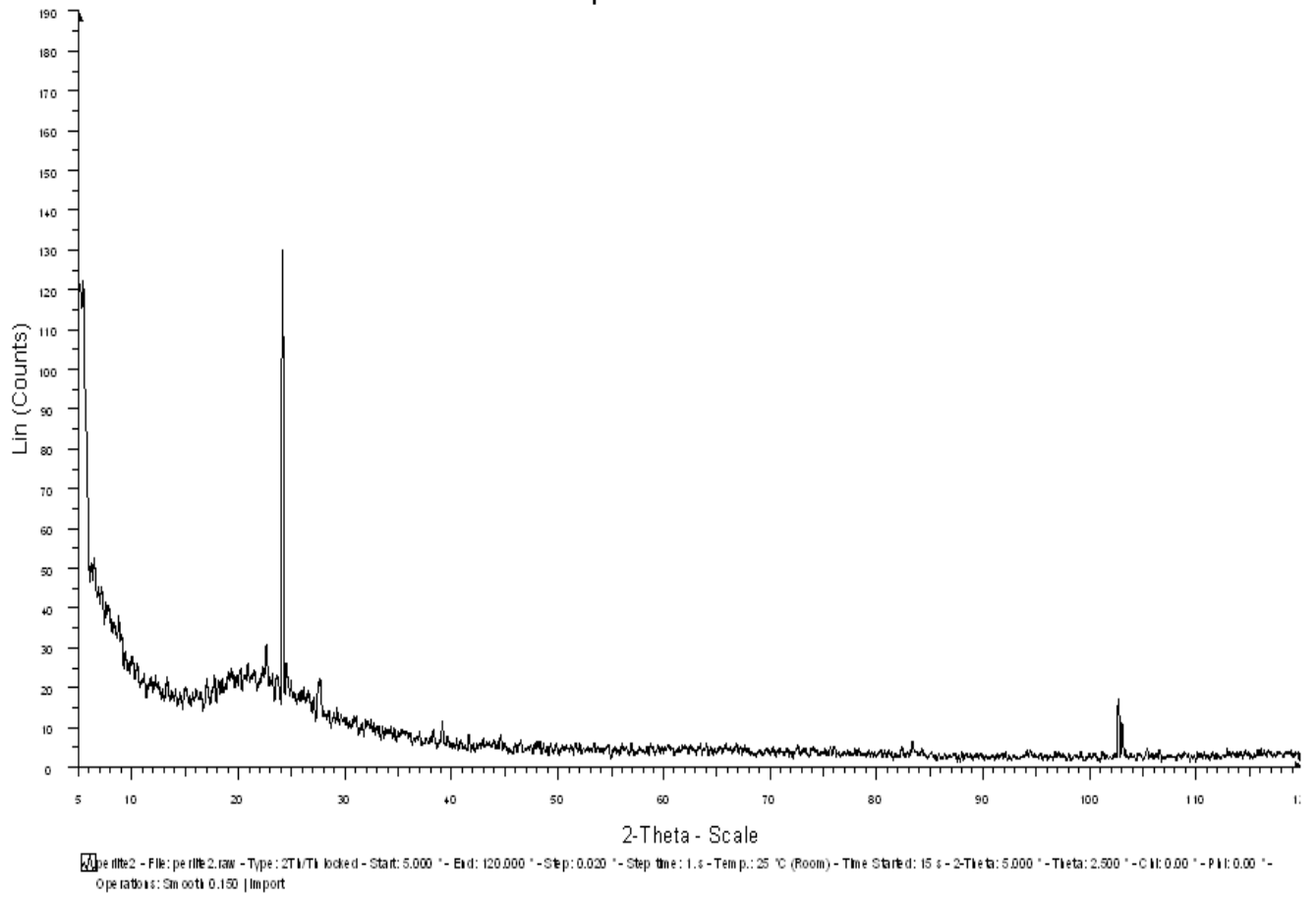
β. Το δεύτερο δείγμα περλίτη τοποθετήθηκε σε πυριαντήριο για 5 ώρες στους 200°C και χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα για XRD.

perlite

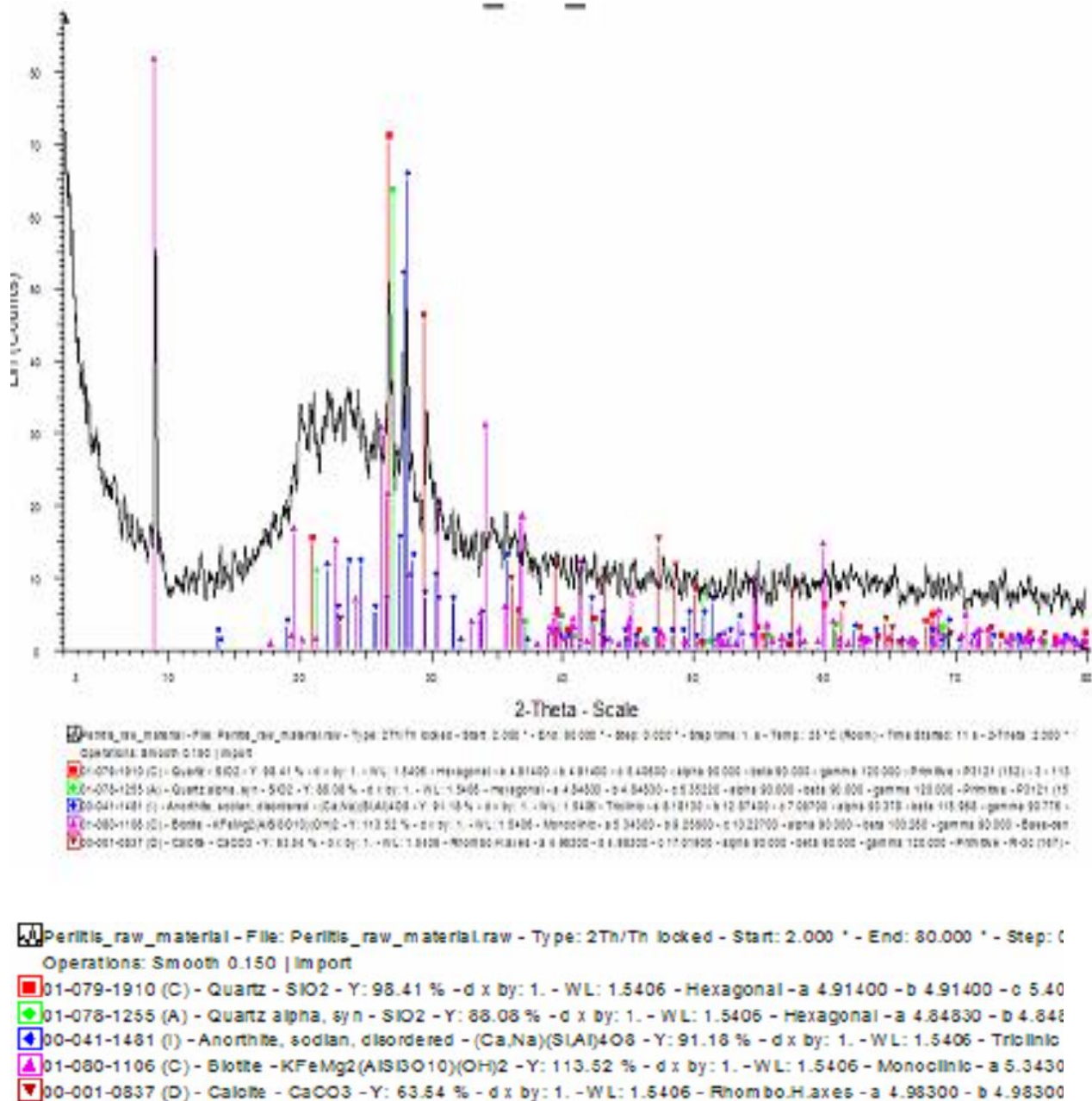


Σχήμα 69. (1) XRD περλίτη

perlite2



Σχήμα 70. (2) XRD περλίτη ο οποίος έχει ξηρανθεί στους 200 °C για 5 ώρες.



Σχήμα 71. (3) ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΛΙΤΗ ΜΕ XRD (ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 13,16)

10.3. ΣΧΟΛΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΕΡΛΙΤΗ ΜΕ XRD

«Ο περλίτης είναι ένα υαλώδες, όξινο, ηφαιστειακό πέτρωμα το οποίο συχνά περιέχει κρυστάλλους ορυκτών όπως ο χαλαζίας, αστρίοι, βιοτίτη, πλαγιόκλαστα, ορθόκλαστα και κεροστίλβη. Ο περλίτης σχηματίζεται κατά την άνοδο του μάγματος στην επιφάνεια του φλοιού. Η απότομη στερεοποίηση του μάγματος έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ηφαιστειακών γυαλιών όπως ο οψιδιανός και η κίσηρις. Το νερό που περιέχει ο περλίτης προέρχεται από μια δευτερογενή ενυδάτωση του οψιδιανού. Για τον σχηματισμό του περλίτη, ένα θαλάσσιο περιβάλλον περιλαμβάνει τις κατάλληλες συνθήκες καθώς το νερό συμβάλλει στην ταχύτητα ψύξης της υάλου και ταυτόχρονα είναι διαθέσιμο για να προκαλέσει την δευτερογενή ενυδάτωση του οψιδιανού.»

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω ο περλίτης είναι ένα άμορφο υλικό το οποίο περιέχει κρυστάλλους ορυκτών όπως χαλαζίας, αστρίοι, βιοτίτης κλπ.

2. Οι εικόνες (1) και (2) αναφέρονται σε ανάλυση δειγμάτων περλίτη οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα Εργαστήρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Η εικόνα (3) προέρχεται από την βιβλιογραφία και συγκεκριμένα από ανάλυση περλίτη, η οποία πραγματοποιήθηκε σε Εργαστήριο των μεταλλειολόγων του Ε.Μ.Π. Στην εικόνα (3) είναι αναπτυγμένες οι κορυφές κρυστάλλων όπως του βιοτίτη, του χαλαζία, του αστρίου, και άλλων κορυφών τα οποία δεν είναι άμεσα ορατά στις εικόνες (1) και (2) όπου στις φωτογραφίες αυτές κυριαρχεί ο άμορφος χαρακτήρας του περλίτη. Με μεγαλύτερη ανάλυση των δειγμάτων αυτών διακρίνονται οι κορυφές του βιοτίτη, του χαλαζία, του άνθρακικού ασβεστίου κ.λ.π

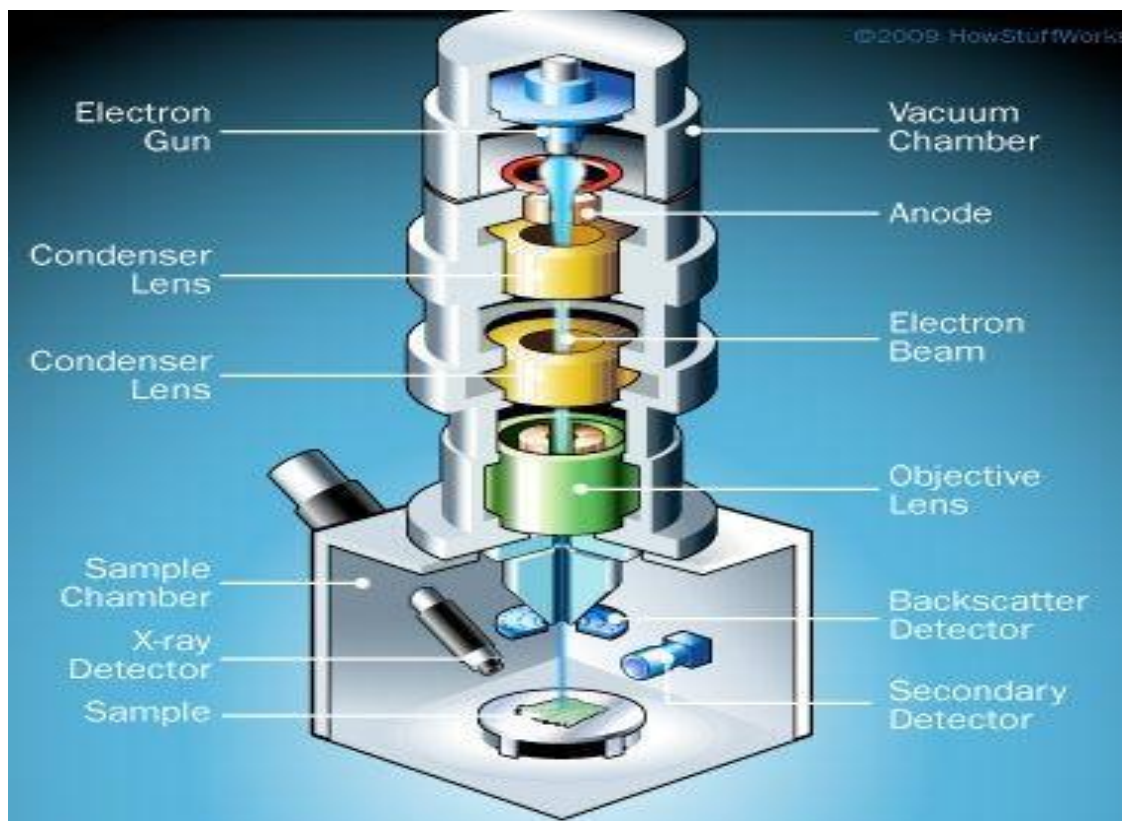
3. Ο περλίτης παρουσιάζει πολύ μικρές διακυμάνσεις στην χημική σύστασή του. Μια αντιπροσωπευτική χημική σύσταση κοκκώδους περλίτη που απαντάται στο κοίτασμα της Μήλου, παρουσιάζει αυξημένο ποσοστό διοξειδίου του πυριτίου (70-73%), οξείδιο του αλουμινίου (14-15%) και μικρότερα ποσοστά οξειδίων του καλίου (2-5%), του νατρίου (2-4%) και νερό (2-5%). Το νερό αυτό, είναι συνδεδεμένο ενδοκρυσταλλικά μέσα στον περλίτη.

Στην περίπτωση των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκε διογκωμένος περλίτης. ο οποίος είχε θερμανθεί μέχρι τους 1000°C και λόγω της χρήσης αυτής δεν υπήρχε κρυσταλλικό νερό.

10.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ SEM ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΕΡΛΙΤΗ

10.41. ΓΕΝΙΚΑ

Για την στοιχειακή ανάλυση των δειγμάτων του περλίτη χρησιμοποιήθηκε αναλυτής SEM, δηλ. εφαρμόστηκε η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης. Στις επόμενες παραγράφους αναφέρονται οι βασικές αρχές λειτουργίας του αναλυτή SEM.



Σχήμα 72. Αναλυτής SEM

Σημείωση :

Electron gun: Σύστημα συγκλίσεως ηλεκτρονίων

Condenser lens: Συγκεντρωτικός φακός

Sample chamber: Θάλαμος δοκιμίου

X-ray detector: Ανιχνευτής ακτίνων X

Vacuum chamber: Θάλαμος κενού

Anode: Ανοδος

Electron beam: Δέσμη ηλεκτρονίων

Objective lens: Αντικειμενικός φακός

Backscatter detector: Ανιχνευτής οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων

Secondary detector: Ανιχνευτής δευτερευογενών ηλεκτρονίων.

10.42 ΘΕΩΡΙΑ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Η διάκριση των μικροσκοπίων σε κατηγορίες βασίζεται κατά κύριο λόγο στην ακτινοβολία που χρησιμοποιούν και η οποία χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματός της. Η διακριτική ικανότητα ενός οπτικού συστήματος δίδεται από τον τύπο:

$$d = 0,61 \lambda/A$$

d = διακριτική ικανότητα, $0,61$ μία σταθερά, λ = το μήκος κύματος της ακτινοβολίας

A = το αριθμητικό άνοιγμα του φακού

Για τα Ηλεκτρονικά Μικροσκόπια Σάρωσης ισχύει $\lambda=0,1 \text{ } 150/V$ όταν σύμφωνα με την θεωρία του De Broglie $V=80KV$ τότε θεωρητικά η διακριτική ικανότητα ισούται με $d=0,004 \text{ nm}$ και η πραγματική $d=0,15 \text{ nm}$.

Η διακριτική ικανότητα του ματιού είναι $0,2 \text{ mm}$, του οπτικού μικροσκοπίου $0,2\mu\text{m}$ και του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου είναι $0,2 \text{ nm}$

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Τα μικροσκόπια, τα οποία κυριαρχούν στην αγορά είναι:

-ΟΠΤΙΚΑ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

-ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

-ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ X

-ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ

Τα ηλεκτρονικά μικροσκόπια αναπτύσσονται με μεγάλο ρυθμό. Γενικά έχουν επικρατήσει δύο τύποι ηλεκτρονικών μικροσκοπίων:

-Scanning electron microscope (SEM) : Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης

-Transmission electron Microscope (TEM) : Ηλεκτρονική μικροσκοπία διέλευσης

Παραλλαγές των παραπάνω είναι:

-Τα μικροσκόπια σάρωσης μεταβλητού κενού

-Τα περιβαλλοντικά ηλεκτρονικά μικροσκόπια σάρωσης

Ενώ άλλες πιο εξειδικευμένες παραλλαγές είναι:

-3-D electron beam (Roughness Analyzing Microscope)

-FIB focused Ion Beam, Dual Beam

-SEM field Emission Scanning Electron Microscope

-Transmission Electron Abberation corrected Microscope.

10.43 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ (Scanning Electron Microscope, SEM)

Στις επόμενες παραγράφους αναφέρονται οι βασικές αρχές λειτουργίας του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης SEM.

10.431 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΣΑΡΩΣΗΣ

Το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (ΗΜΣ) χρησιμεύει για την παρατήρηση επιφανειών και σε συνδυασμό με κατάλληλα συστήματα μικροανάλυσης (ELECTRON PROBE MICROANALYSIS –EPMA) για τη στοιχειακή ανάλυση συγκεκριμένων περιοχών της υπό παρατήρηση εικόνας. Το ΗΜΣ έχει διακριτική ικανότητα που φτάνει τα 3nm . Χρησιμοποιεί μια

δέσμη ηλεκτρονίων μικρής διαμέτρου για να σαρώσει μια ορθογώνια περιοχή της επιφάνειας του δοκιμίου. Συγχρόνως και σε απόλυτο συγχρονισμό σαρώνεται μία αντίστοιχη επιφάνεια φθορίζουσας οθόνης που βρίσκεται στο άκρο ενός καθοδικού σωλήνα (CATHODE RAY TUBE-CRT), ακριβώς όπως συμβαίνει και στην οθόνη μιας συνηθισμένης τηλεόρασης.

Η δέσμη των ηλεκτρονίων παράγεται από ένα νήμα βολφραμίου και ένα σύστημα ανόδου καθόδου όπου εφαρμόζεται υψηλή τάση συνήθως της τάξης 15-40KV. Τα ηλεκτρόνια της δέσμης προσπίπτουν στην επιφάνεια του δοκιμίου διεγείρουν μία μικρή μάζα γύρω από το σημείο της σύγκρουσης και προκαλούν τη δευτερογενή εκπομπή ηλεκτρονίων χαμηλής ενέργειας (δευτερογενή ηλεκτρόνια-secondary electrons). Τα ηλεκτρόνια αυτά συλλέγονται από ανιχνευτή (detector) και η παραγόμενη τάση ενισχύεται και διοχετεύεται στον καθοδικό σωλήνα.

Η ένταση της δέσμης που προσπίπτει πάνω στην οθόνη του καθοδικού σωλήνα μεταβάλλεται ηλεκτρονικά ανάλογα με την ένταση της δέσμης των δευτερογενών ηλεκτρονίων. Έτσι πάνω στην φθορίζουσα οθόνη σχηματίζεται ανάγλυφη η εικόνα της επιφάνειας που σαρώνεται πάνω στο δοκίμιο.(52,53,54)

10.432 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ

1.ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ

- Η στήλη (η κολόνα) του μικροσκοπίου(electron Column)
- Ο θάλαμος του δοκιμίου (specimen chamber)
- Το σύστημα δημιουργίας κενού (vacuum pumping system)
- Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου (electronic control)
- Το σύστημα εικόνας (imaging system)

➤ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ – ΚΕΝΟΥ (VACUM PUMPING SYSTEM)

Για τη λειτουργία του μικροσκοπίου είναι απαραίτητο να υπάρχει υψηλό κενό λόγω συγκρούσεων ηλεκτρονίων του αέριου περιβάλλοντος εάν υπήρχε, ηλεκτρονίων και ιόντων κλπ. Έτσι μέσα στην κολόνα δημιουργείται υψηλό κενό και διατηρείται με συμπληρωματική άντληση στην διάρκεια της παρατήρησης. Είναι πράγματι δυνατόν το δοκίμιο να απελευθερώνει εγκλεισμένα αέρια λόγω του υψηλού κενού. Για τον ίδιο λόγο πρέπει να αποφεύγονται υλικά τα οποία παρουσιάζουν υψηλή τάση ατμών ή αποσυντίθεται από την πρόσπτωση των ηλεκτρονίων.

Η κλασική αντλία κενού που χρησιμοποιείται είναι αντλία ελαίου διαχύσεως που παράγει κενό 10.000.000 torr. Πιό σύγχρονες είναι οι στροβιλομοριακές αντλίες με σκοπό τη μείωση της τάσης των ατμών του ελαίου, που στις αντλίες διαχύσεως συμπυκνώνεται σε μονομοριακό στρώμα στην επιφάνεια του δοκιμίου μειώνοντας την διαχωριστική ικανότητα.

➤ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΣΑΡΩΣΗΣ

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων που σαρώνει την επιφάνεια του εξεταζόμενου δοκιμίου ενώ τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται δημιουργούν ένα οπτικό σήμα μετά τη συλλογή και την ενίσχυση τους. Η διάταξη αποτελείται από πηγή ηλεκτρονίων που δημιουργεί την αρχική δέσμη που εστιάζεται και οδεύει προς την επιφάνεια του υλικού.

Τα ηλεκτρόνια παράγονται από ένα νήμα διαμέτρου 0.25 mm το οποίο είναι κατασκευασμένο από βολφράμιο (tungsten).Μία μικρή τάση η οποία εφαρμόζεται στις άκρες του

νήματος έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη θερμοκρασίας 2500° C. Το νήμα βρίσκεται στο άνω μέρος της στήλης του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου μέσα στο οποίο επικρατεί υψηλό κενό και χρησιμεύει ως κάθοδος .

Η άνοδος θετικά φορτισμένη με μία τάση 5-30 KV βρίσκεται σε χαμηλότερη στάθμη της στήλης του μικροσκοπίου και έλκει πολύ ισχυρά τα ηλεκτρόνια που παράγονται από το νήμα. Καθώς αυξάνεται το ρεύμα του νήματος φθάνει σε ένα σημείο που δεν αυξάνεται πλέον ο αριθμός των ηλεκτρονίων .Αυτή η κατάσταση ονομάζεται πλέον κορεσμός του νήματος και μεγαλύτερη αύξηση συνεπάγεται υπερθέρμανση και εξάχνωση του νήματος. Για την συμπύκνωση του ηλεκτρονικού νέφους σε δέσμη ηλεκτρονίων το νήμα περιβάλλεται από ένα κύλινδρο αρνητικά φορτισμένο ο οποίος δρά ως πλέγμα και εστιάζει τα ηλεκτρόνια σε μία κηλίδα διαμέτρου ακριβώς πάνω από την άνοδο η οποία είναι μία μεταλλική πλάκα.

Μια από τις κυριότερες παραμέτρους είναι η φωτεινότητα β.

➤ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ

Η διάθλαση των ηλεκτρονίων, η εστίαση κλπ προκαλείται από μαγνητικά πεδία που παράγονται από κυλινδρικούς φακούς δηλαδή από σωληνοειδή πηνία.

Σε ένα ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οι μαγνητικοί φακοί συγκεντρώνουν την δέσμη των ηλεκτρονίων σε μία κηλίδα μικρής διαμέτρου επομένως σμικρύνουν.

➤ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΜΕΣΑ ΣΤΗ ΣΤΗΛΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ

Η διαμόρφωση και η διαδρομή της δέσμης προσδιορίζεται από δύο συστήματα ηλεκτρονικών φακών. Στο άνω μέρος της στήλης ευρίσκονται δύο συγκεντρωτικού φακοί οι οποίοι παράγουν δύο διαδοχικές συγκλίσεις της δέσμης ηλεκτρονίων.

Η δέσμη αυτή εστιάζεται σε ένα σημείο στην επιφάνεια του δοκιμίου από τον αντικειμενικό φακό που ευρίσκεται στο κάτω μέρος της στήλης ακριβώς πάνω από το δοκίμιο. Η σάρωση γίνεται με τη βοήθεια πηνίων σάρωσης τα οποία ενεργοποιούνται από τη μεταβαλλόμενη τάση που παράγει η γεννήτρια σάρωσης.

Καθώς το δοκίμιο απομακρύνεται από τον αντικειμενικό φακό παρατηρούμε τα κάτωθι:

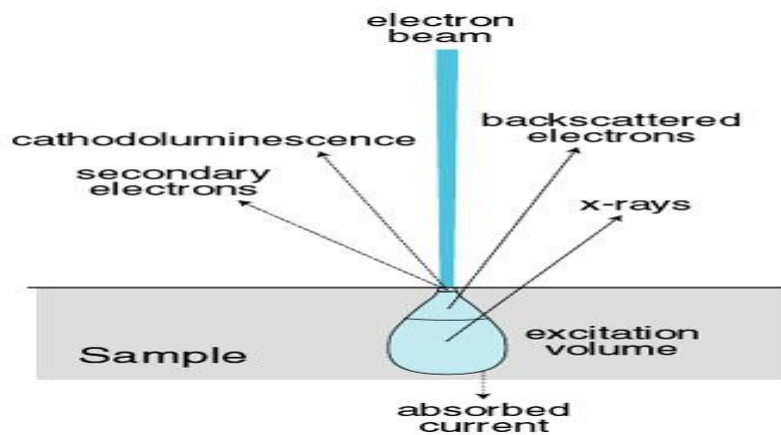
- η απόσταση εργασίας αυξάνει
- η σμίκρυνση (demagnification) αυξάνει
- η διάμετρος της κηλίδας (spot size) μεγαλώνει
- η γωνία απόκλισης α (divergence angle) μειώνεται

Η μείωση του ρεύματος του φακού έχει μεγάλη επίδραση στην ποιότητα της εικόνας. Οδηγεί σε μείωση της σμίκρυνσης και αυξάνει την εστιακή απόσταση του φακού f , με αποτέλεσμα να μειώνεται η διακριτική ικανότητα λόγω αύξησης του μεγέθους της διαμέτρου της κηλίδας. Αντίθετα αυξάνεται το βάθος του πεδίου όταν αυξάνεται η απόσταση εργασίας , επειδή η γωνία απόκλισης της δέσμης γίνεται μεγαλύτερη.

Όταν η δέσμη ηλεκτρονίων χτυπάει το δοκίμιο παράγει:

1.Οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια (back scattered electrons)

Από τις ελαστικές και μη ελαστικές συγκρούσεις ανάμεσα στα επιφανειακά άτομα και τα πρωτογενή ηλεκτρόνια μπορούν να παραχθούν τα οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια με ενέργειες ανάμεσα στα 5 και 50 eV. Αυτά δίνουν πληροφορίες για τη σύσταση, την κρυσταλλογραφία και την τοπογραφία της επιφάνειας.



Σχήμα 73. Παραγωγή ηλεκτρονίων μετά από σύγκρουση ακτίνων με δοκίμιο

Σημείωση :

electron beam: Δέσμη ηλεκτρονίων

cathodoluminescence: καθοδοφωτοβολία

backscattered electrons: Οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια

x-rays: Ακτίνες X

sample: Δείγμα

absorbed current: Αποροφούμενο ρεύμα

excitation volume: Χώρος διέγερσης

secondary electrons: Δευτερεύοντα ηλεκτρόνια

Η ελαστική σκέδαση παράγει ελαστικά σκεδαζόμενα ηλεκτρόνια δέσμης, τα οποία δεν ανιχνεύονται από το σύστημα καθώς και τα οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια.

Όταν τα ηλεκτρόνια δέσμης φθάσουν στην επιφάνεια του δείγματος διεισδύουν σε βάθος που εξαρτάται από τον ατομικό αριθμό.

Τα οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια έχουν ενέργεια συγκρινόμενης με αυτής της προσπίπτουσας δέσμης ηλεκτρονίων. Ο αριθμός των οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων τα οποία παράγονται αυξάνει καθώς ο ατομικός αριθμός του δοκιμίου αυξάνει. Έτσι εάν ο ατομικός αριθμός 2 ομάδων από άτομα του δοκιμίου διαφέρει πάνω από 3 μονάδες αυτές οι ομάδες μπορούν να ξεχωρίσουν στην εικόνα. Το στοιχείο με το υψηλότερο ατομικό αριθμό θα δείχνει πιο φωτεινό στην οθόνη. Εκείνα τα ηλεκτρόνια που σκεδάζονται προς τα πίσω με γωνία 180° μοιρών είναι τα οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια. Έχουν μεγαλύτερη ενέργεια και εκπέμπονται από μεγαλύτερο βάθος από το δείγμα.

Η ανίχνευση γίνεται χρησιμοποιώντας ως ανιχνευτή τον ημιαγωγό στερεάς κατάστασης ο οποίος είναι προσαρμοσμένος στην έξοδο της κολώνας. Μετρώνται οι κτύποι των ηλεκτρονίων στον ανιχνευτή οι οποίοι μετατρέπονται σε ένταση και σχηματίζεται η εικόνα.

2. Δευτερογενή ηλεκτρόνια (Secondary electrons)

Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια προέρχονται από μη ελαστική σκέδαση. Όταν τα ηλεκτρόνια της δέσμης συγκρούονται με τα ηλεκτρόνια του ατόμου μερικά από τα χαλαρά συγκρατούμενα ηλεκτρόνια μπορεί να φύγουν από το άτομο και τότε ονομάζονται δευτερογενή ηλεκτρόνια.

Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια είναι χαμηλής ενέργειας (50eV) και εκπέμπονται κοντά στην επιφάνεια ενώ εκείνα τα οποία εκπέμπονται από μεγαλύτερο βάθος απορροφούνται εύκολα από την μάζα του δείγματος. Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια παράγονται με δύο κυρίως μηχανισμούς:

- Καθώς η δέσμη εισέρχεται στην επιφάνεια
- Καθώς η οπισθοσκεδαζόμενη δέσμη εξέρχεται από την επιφάνεια

Πιο σημαντικός μηχανισμός είναι ο δεύτερος αφού η πιθανότητα να δημιουργηθεί αυτός είναι 10 φορές από τον πρώτο. Επομένως, αναμένεται να υπάρχει μεγαλύτερη εκπομπή δευτερογενών ηλεκτρονίων εκεί που είναι μεγάλη και η εκπομπή οπισθοσκεδαζόμενων. Γι αυτό οι εικόνες των δευτερογενών και των οπισθοσκεδαζόμενων δεν διαφέρουν πολύ. Η συλλογή των δευτερογενών ηλεκτρονίων γίνεται με την βοήθεια ενός συλλέκτη το οποίο είναι ένα πλέγμα με θετικό δυναμικό. Η διακύμανση στην ένταση των ηλεκτρονίων επηρεάζει την φωτεινότητα ενός καθοδικού σωλήνα, ο οποίος σαρώνεται συγχρονισμένα από την δέσμη ηλεκτρονίων.

Ακτίνες X

Οι ακτίνες X οι οποίες παράγονται κατά την διάρκεια του φαινομένου διακρίνονται:

- σε ακτίνες X (X-RAYS) συνεχείς και χαρακτηριστικές.
- Auger ηλεκτρόνια

Ακτίνες X (X-RAYS)

Όταν ένα ηλεκτρόνιο σκεδάζεται μη ελαστικά σε αλληλεπίδραση με τον πυρήνα ενός ατόμου επιβραδύνεται και μέρος της ενέργειας του αποδίδεται σαν ακτίνες X. Αποτέλεσμα αυτού είναι ένα ευρύ φάσμα ακτίνων X με μέγιστη ενέργεια εκείνη του προσπίπτοντος ηλεκτρονίου. Το φάσμα αυτό δεν χρησιμεύει στην στοιχειακή ανάλυση γιατί δεν είναι χαρακτηριστικό του στοιχείου.

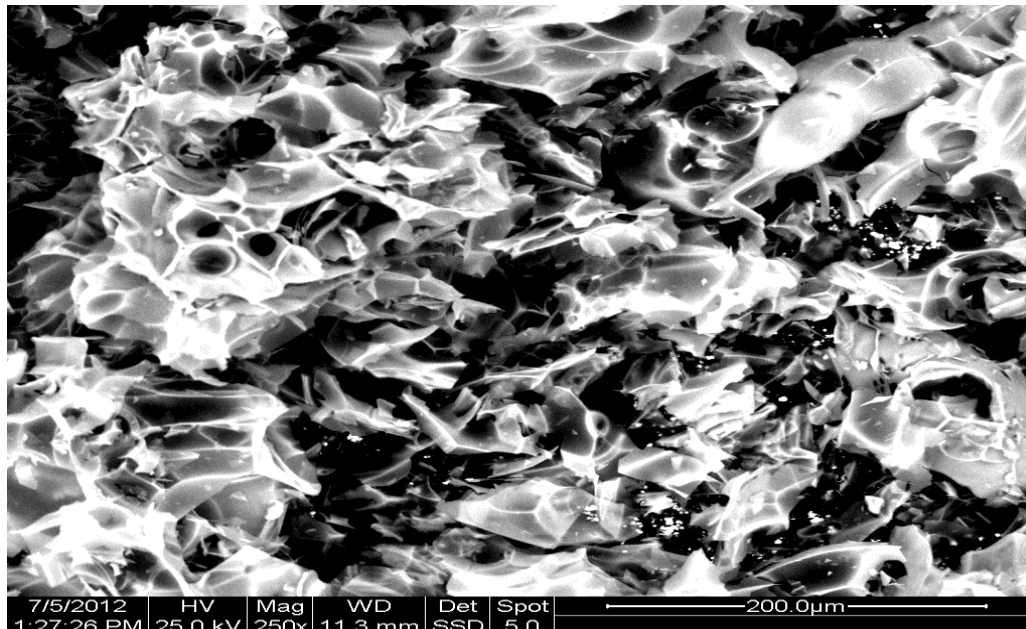
Οι ακτίνες X, οι οποίες χαρακτηρίζουν ένα άτομο δημιουργούνται, όταν ένα ηλεκτρόνιο φεύγει από την εσωτερική στοιβάδα με συνέπεια ένα ηλεκτρόνιο από υψηλότερη ενεργειακή στοιβάδα καλύπτει το κενό πέφτοντας στην χαμηλότερη στοιβάδα εκπέμποντας την διαφορά ενέργειας σαν ακτίνες X. Η ενέργεια αυτών των ατόμων είναι χαρακτηριστική της μετάπτωσης και κατά συνέπεια του ατόμου.

Auger ηλεκτρόνια

Τα ηλεκτρόνια Auger παράγονται όταν οι εκπεμπόμενες από το δείγμα ακτίνες X εκδιώξουν ηλεκτρόνια από άλλη στιβάδα κατά την έξοδο τους από το δείγμα. (52,53,54)

10.5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με την μέθοδο SEM αναλύθηκαν δείγματα περλίτη. Τα δείγματα που αναλύθηκαν αφορούν περλίτη του εμπορίου, καθώς και περλίτη ο οποίος θερμάνθηκε για 5 ώρες σε κλίβανο.



Σχήμα 74. Ανάλυση των δειγμάτων του περλίτη με SEM

EDAX ZAF Quantification (Standardless)
 Element Normalized
 SEC Table : User c:\edax32\eds\genuser.sec

Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	8.56	13.52	0.0122	1.0343	0.1383	1.0005
O K	48.89	57.97	0.1332	1.0186	0.2673	1.0005
NaK	2.66	2.19	0.0083	0.9553	0.3274	1.0044
AlK	5.62	3.95	0.0326	0.9518	0.6014	1.0138
SiK	30.67	20.72	0.2000	0.9801	0.6651	1.0005
K K	2.44	1.18	0.0194	0.9275	0.8565	1.0011
CaK	0.51	0.24	0.0043	0.9511	0.8890	1.0004
FeK	0.66	0.22	0.0057	0.8724	1.0027	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element Net Inte. Backgrd Inte. Error P/B

C K	10.51	1.49	4.22	7.06
O K	184.68	2.00	0.90	92.37
NaK	21.42	4.92	3.15	4.36

AlK	100.30	6.01	1.28	16.68
SiK	525.04	6.11	0.53	85.87
K K	38.61	5.40	2.20	7.15
CaK	7.97	5.74	6.68	1.39
FeK	5.53	3.88	7.96	1.42

C:\EDS\USR\Simitzis\markella_5_7_2012\P1_map.spc
Label :Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
Acquisition Time : 13:28:42 Date : 4-Aug-2012

kV: 24.99 Tilt: 0.20 Take-off: 36.34 AmpT: 102.4
Det Type:SUTW, Sapphire Res: 127.91 Lsec: 68

EDAX ZAF Quantification (Standardless)
Element Normalized
SEC Table : User c:\edax32\eds\genuser.sec

Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	4.74	7.84	0.0063	1.0378	0.1283	1.0005
O K	47.50	58.98	0.1284	1.0220	0.2642	1.0005
NaK	2.66	2.30	0.0084	0.9586	0.3266	1.0049
AlK	5.80	4.27	0.0337	0.9550	0.5992	1.0154
SiK	34.31	24.26	0.2230	0.9834	0.6606	1.0007
K K	2.94	1.49	0.0230	0.9311	0.8390	1.0019
CaK	0.94	0.47	0.0079	0.9547	0.8720	1.0007
FeK	1.11	0.40	0.0097	0.8757	0.9978	1.0000
Total	100.00	100.00				

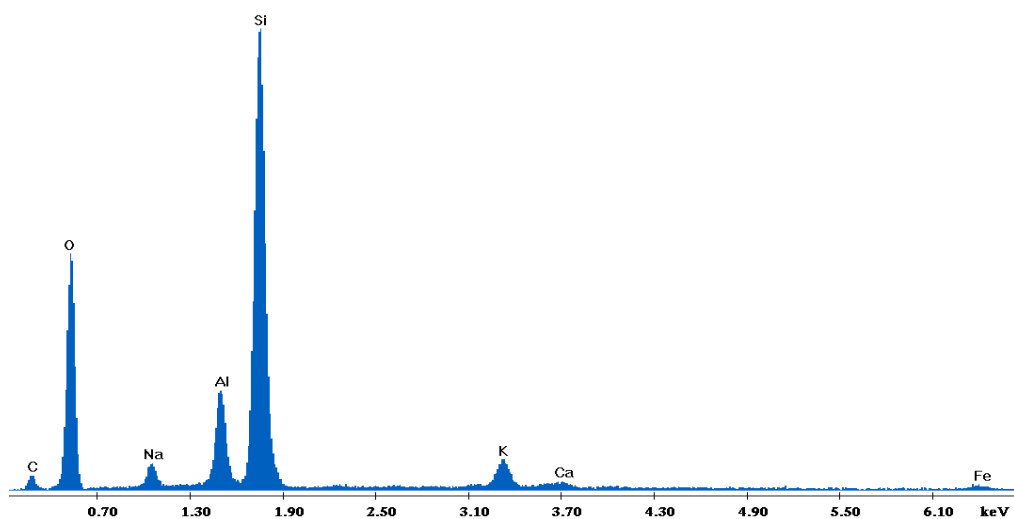
Element Net Inte. Backgrd Inte. Error P/B

C K	6.96	2.40	6.97	2.90
O K	229.27	2.68	0.94	85.55
NaK	27.72	6.76	3.28	4.10
AlK	133.85	8.52	1.30	15.71
SiK	756.79	8.16	0.52	92.75
K K	59.36	7.70	2.06	7.71
CaK	18.72	8.40	4.50	2.23
FeK	12.12	6.14	5.76	1.97

C:\EDS\USR\Simitzis\markella_5_7_2012\P2_map.spc
Label :Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
Acquisition Time : 13:45:19 Date : 4-Aug-2012

kV: 24.99 Tilt: 0.20 Take-off: 36.00 AmpT: 102.4
Det Type:SUTW, Sapphire Res: 127.91 Lsec: 50

Label A: Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)

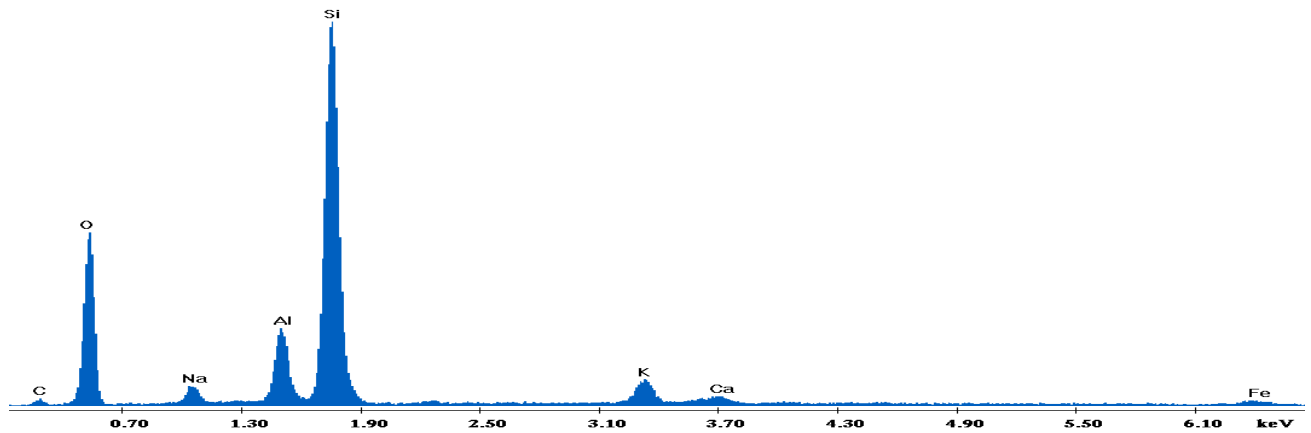


Σχήμα 75. (1) ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΛΙΤΗ ΜΕ SEM

Πίνακας 22: Χημική ανάλυση περλίτη

	ΠΕΡΛΙΤΗΣ % ΑΝΑΛΥΣΗ Κ.Β	
ΣΤΟΙΧΕΙΑ		
C	8,56	13.52
O	48,89	57.97
Na	2,66	2.19
Al	5,62	3.95
Si	30,67	20.72
K	2,44	1.18
Ca	0,51	0.24
Fe	0,66	0.22

Label A: Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)



Σχήμα 76 (2) ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΛΙΤΗ ΜΕ SEM

Πίνακας 23: Χημική ανάλυση περλίτη στους 200°C

	ΠΕΡΛΙΤΗΣ % ΑΝΑΛΥΣΗ Κ.Β	
ΣΤΟΙΧΕΙΑ		
C	4.74	7.84
O	47.50	58.98
Na	2.66	2.30
Al	5.80	4.27
Si	34.31	24.26
K	2.94	1.49
Ca	0.94	0.47
Fe	1.11	0.40

10.6. ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΜΕ SEM

1. Από την φωτογραφική ανάλυση με SEM προκύπτει ότι ο περλίτης αποτελείται από κενά, τα οποία προσδίδουν στον περλίτη μικρό φαινόμενο ειδικό βάρος και θερμομονωτική ικανότητα.
Τα κενά αυτά προέρχονται από την βίαιη εξαγωγή της υγρασίας και του κρυσταλλικού νερού. Στα κενά αυτά οφείλεται η μεγάλη θερμομονωτική ικανότητα του περλίτη.
2. Όπως περιγράφεται από τούς πίνακες της χημικής ανάλυσης με SEM, ο περλίτης είναι ανόργανο υλικό, το οποίο αποτελείται από πυρίτιο, αλούμινα, σίδηρο, και άλλα ανόργανα υλικά.
3. Η ανάλυση των δειγμάτων δείχνει ότι η χημική σύσταση του περλίτη μεταβάλλεται και δεν είναι σταθερή.

10.7. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΜΕ FTIR ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΟΛΑΚΗΣ

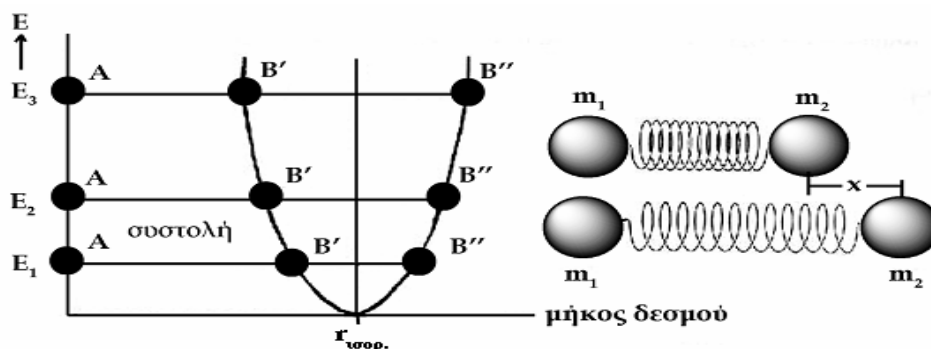
Στην επόμενη παράγραφο περιγράφονται οι βασικές αρχές λειτουργίας της ανάλυσης δειγμάτων νεολάκης με την μέθοδο του FTIR.

10.71 ΓΕΝΙΚΑ

Η **υπέρυθρη φασματοσκοπία** (Infrared Spectroscopy, IR) θεωρείται σημαντική φασματοσκοπική τεχνική στην Οργανική Χημεία, λόγω της ευκολίας λήψης φασμάτων και της σύγκρισής τους με φάσματα γνωστών οργανικών ενώσεων. Χρησιμοποιείται ευρύτατα κατά τη σύνθεση χημικών ενώσεων και για την πιστοποίηση της καθαρότητάς τους.

Στην περιοχή υπερύθρου του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (IR) συμβαίνουν απορροφήσεις που οφείλονται σε δονήσεις ή κάμψεις των δεσμών των μορίων για ενώσεις με μόνιμη διπολική ροπή, που μεταβάλλεται κατά την παραμόρφωση του μορίου και απορροφούν ισχυρά στην περιοχή υπερύθρου. Εκτός από τις δονήσεις και τις κάμψεις υπάρχουν και άλλα είδη παραμόρφωσης της δομής των μορίων, όπως όταν αυτό σείεται (wagging), κλυδωνίζεται (rocking), στρεβλώνεται (twisting), ή έχει ψαλιδωτή κίνηση (scissoring), κ.λπ.

Εάν μελετηθεί ένα σταθερό διατομικό μόριο (π.χ. HCl), θα παρατηρηθούν ελκτικές και απωστικές δυνάμεις μεταξύ των ηλεκτρονικών τροχιών και των πρωτονίων του πυρήνα που δημιουργούν μια κατάσταση ισορροπίας. Η ισορροπία αυτή, με την ενέργεια του μορίου στην κατώτερη ή θεμελιώδη ενεργειακή στάθμη, έχει ως αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση του μήκους του δεσμού μεταξύ των ατόμων. Κάθε λοιπόν προσπάθεια μεταβολής του μήκους του δεσμού θα απαιτήσει απορρόφηση ενέργειας από το περιβάλλον.



Σχήμα 77. Ενεργειακό δυναμικό διατομικού μορίου

Εάν τώρα το μόριο από το κατώτερο επίπεδο απορροφήσει μια ποσότητα ενέργειας (ακτινοβολία) $h\nu'$, όπου $\nu' = 2\nu$, θα πρέπει να διεγερθεί και να πάει στο ενεργειακό επίπεδο E_2 . Ωστόσο, σύμφωνα με την κβαντομηχανική υπάρχουν μόνο ορισμένες επιτρεπόμενες **μεταβάσεις** (transitions) μεταξύ των διαφόρων ενεργειακών επιπέδων (στάθμες) για έναν αρμονικό ταλαντωτή, δηλαδή μόνο για $\Delta E = E_{n+1} - E_n = h\nu$.

Εάν οι δονήσεις του διατομικού μορίου περιλαμβάνουν αλλαγές στη διπολική ροπή του, τότε το μόριο αλληλεπιδρά με την υπέρυθη περιοχή του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ανάλογα με τη μετάβαση προκαλεί απορρόφηση ή εκπομπή ενέργειας, που μπορεί να καταγραφεί με ένα φασματοφωτόμετρο.

Σε ένα απλό αρμονικό ταλαντωτή η διαφορά ενέργειας μεταξύ των ενεργειακών σταθμών

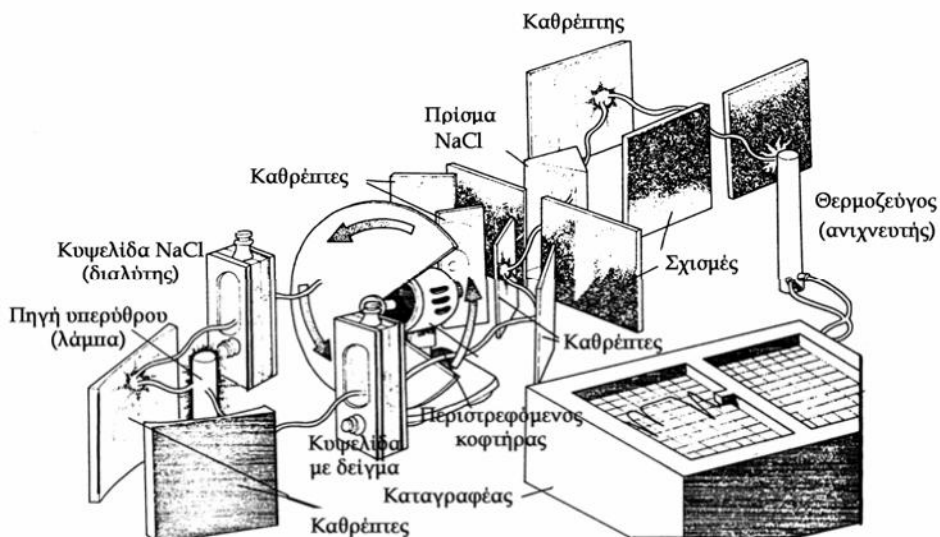
είναι ίδια, αφού βρίσκονται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους. Κάτι τέτοιο θα δημιουργούσε μεγάλη σύγχυση στα φάσματα IR, ωστόσο τα μόρια στην πραγματικότητα δεν συμπεριφέρονται κατά αυτόν τον τρόπο, δηλαδή δεν είναι ενωμένα με ένα ιδανικό ελατήριο, χωρίς τριβές και εκτελώντας αρμονική κίνηση.

Στα πολυατομικά μόρια το φάσμα IR γίνεται πιο πολύπλοκο λόγω της επίδρασης των συχνοτήτων δόνησης και περιστροφής του μορίου στις διάφορες περιοχές απορρόφησης. Ωστόσο, η μελέτη των φασμάτων τους είναι η προέκταση των θεωρητικών συμπερασμάτων των φασμάτων των απλών μορίων.

Εάν φανταστούμε ένα μόριο με N άτομα, τότε η θέση κάθε ατόμου στο χώρο καθορίζεται από τις τρεις ισότιμες συντεταγμένες x , y και z . Ο ολικός αριθμός των τιμών των συντεταγμένων είναι $3N$, δηλαδή το μόριο έχει $3N$ **βαθμούς ελευθερίας** (degrees of freedom) κινήσεων στο χώρο. Εάν ορισθούν οι τρεις συντεταγμένες τότε σημαίνει ότι έχουν ορισθεί το μήκος των δεσμών και οι μεταξύ τους γωνίες. Έτσι, το μόριο είναι ελεύθερο να κινηθεί στον τρισδιάστατο χώρο χωρίς αλλαγή του σχήματός του.

Μπορεί με αυτό τον τρόπο να αναφερθεί κάποιος σε μια τέτοια κίνηση γνωρίζοντας τη θέση του κέντρου βάρους του μορίου σε σχέση με τις τρεις συντεταγμένες. Η κίνηση του μορίου χρησιμοποιεί 3 από τους $3N$ βαθμούς ελευθερίας, αφήνοντας $3N-3$ αχρησιμοποίητους. Σε γενικές γραμμές, το ίδιο μπορεί να θεωρηθεί και για την περιστροφή ενός μη γραμμικού μορίου όταν αναλυθεί στα συστατικά μέρη των τριών καθέτων αξόνων συμμετρίας. Ο καθορισμός των αξόνων αυτών απαιτεί άλλους τρεις βαθμούς ελευθερίας, έτσι το μόριο έχει τελικά $3N-6$ βαθμούς ελευθερίας στη διάθεσή του για να κινηθεί στο χώρο. Για ένα μη γραμμικό μόριο με N άτομα μπορούν να υπάρξουν $3N-6$ διαφορετικές δονήσεις, ενώ για ένα γραμμικό μόριο, που δεν υπάρχει περιστροφή γύρω από τον άξονα του δεσμού, οι βαθμοί ελευθερίας είναι $3N-5$.

Παρά την πολυπλοκότητα των φασμάτων IR, υπάρχουν μερικές βασικές αρχές που βοηθούν στη συστηματική μελέτη τους. Έτσι για παράδειγμα, μόρια που έχουν την ίδια χαρακτηριστική ομάδα ατόμων (π.χ. CH_3 , $\text{C}\equiv\text{C}$, NO_2 , NH_2 , OH , κλπ) απορροφούν περίπου στην ίδια περιοχή υπερόθρου, καθώς και οργανικά μόρια με παρόμοιο σκελετό ατόμων άνθρακα.



Σχήμα 78. Φασματοφωτόμετρο Υπέρυθρης Φασματοσκοπίας

Με βάση την εμπειρία και τις έρευνες πολλών επιστημόνων, οι απορροφήσεις των οργανικών ενώσεων στο IR προέρχονται από δύο βασικές τάξεις δονήσεων (ή ταλαντώσεων): τις **δονήσεις των χαρακτηριστικών ή δραστικών ομάδων** (characteristic or functional group vibrations) και τις **δονήσεις σκελετού** (skeletal vibrations).

10.72. ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΑ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΙΒΟΛΙΑΣ

Σχηματική εικόνα για τη λειτουργία ενός φασματοφωτόμετρου IR παρατίθενται στο Σχήμα 39, στο οποίο φαίνονται η πορεία που ακολουθεί το φως. (48,49,50)

10.73. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Η ποιότητα του φάσματος εξαρτάται κατά μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της ουσίας που εξετάζουμε (απουσία υγρασίας, καθαρότητας κλπ) και από τον τρόπο παρασκευής του δείγματος. Τα φάσματα αερίων είναι δυνατό να ληφθούν με τη χρήση καταλλήλων κυψελίδων (cells) που είναι κατασκευασμένες από ορυκτό NaCl.

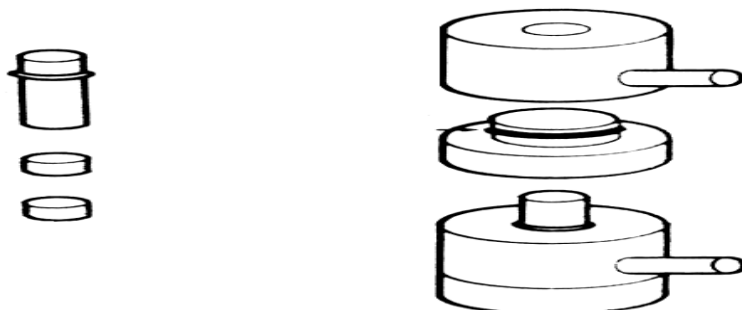
Τα φάσματα υγρών χημικών ουσιών λαμβάνονται με δύο τρόπους. Ο απλούστερος είναι να εναποθεθούν 1-2 σταγόνες του υγρού (απολύτως ξηρού) πάνω σε ένα πλακίδιο ορυκτού NaCl και να το συμπιεσθεί με ένα άλλο ώστε να δημιουργηθεί ένα λεπτό φιλμ του υγρού μεταξύ τους. Για παχύρρευστα υγρά χρησιμοποιείται διάλυμα Nujol ή άλλος διαλύτης (πρέπει όμως να αφαιρεθούν τις απορροφήσεις τους από το τελικό φάσμα). Τα πλακίδια NaCl καθαρίζονται με ξηρούς διαλύτες και φυλάσσονται σε ξηραντήρες με αρκετή ποσότητα Silica gel. Για δείγματα που περιέχουν μικρές ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται πλακίδια CaF₂.

Για τις στερεές ουσίες υπάρχουν τρεις τεχνικές:

(α) Τα δισκία KBr παρασκευάζονται αναμιγνύοντας ποσότητα της ουσίας με KBr. Συνήθως αναμιγνύονται 10-20 mg ουσίας με 200 mg KBr και ανακατεύονται πολύ καλά με τη βοήθεια μικρού γουδιού και γουδοχέρι από αχάτη. Το μίγμα πιέζεται σε 10-14 tonnes με ταυτόχρονη εφαρμογή κενού για την παραλαβή ιχνών υγρασίας (Σχήμα 79). Το δισκίο έχει διάμετρο ~13 mm και πάχος ~0.3 mm.

(β) Η ουσία διασκορπίζεται (διάλυμα) σε Nujol (υγρή παραφίνη) ανακατεύοντας την σε ένα μικρό γουδί. Το παρασκεύασμα τοποθετείται μεταξύ πλακιδίων ορυκτού NaCl και συμπιέζεται σε λεπτό φιλμ. Το Nujol απορροφά σε ορισμένες γνωστές συχνότητες που αφαιρούνται από το φάσμα. Συνήθως οι απορροφήσεις του σκεπάζουν τις περιοχές απορρόφησης των ομάδων C—H (δονήσεις τάσης ~3000 cm⁻¹) και C—H (δονήσεις κάμψης ~1400 cm⁻¹). Στην περίπτωση που δεν θέλουμε οι απορροφήσεις αυτές να σκεπάζουν τις απορροφήσεις της ουσίας μας χρησιμοποιούμε εξαχλωροβουταδιένιο ή φθοριομένους υδρογονάνθρακες. Το Nujol χρησιμοποιείται γιατί διαλύει μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων.

(γ) Παρασκευάζεται λεπτό φιλμ της ουσίας με διάλυση σε διαλυτικό χαμηλού σ.ζ. και εξάτμιση του διαλύματος πάνω σε ένα πλακίδιο NaCl.



Σχήμα 79. Κατασκευή δειγμάτων νεολάκης με KBr.

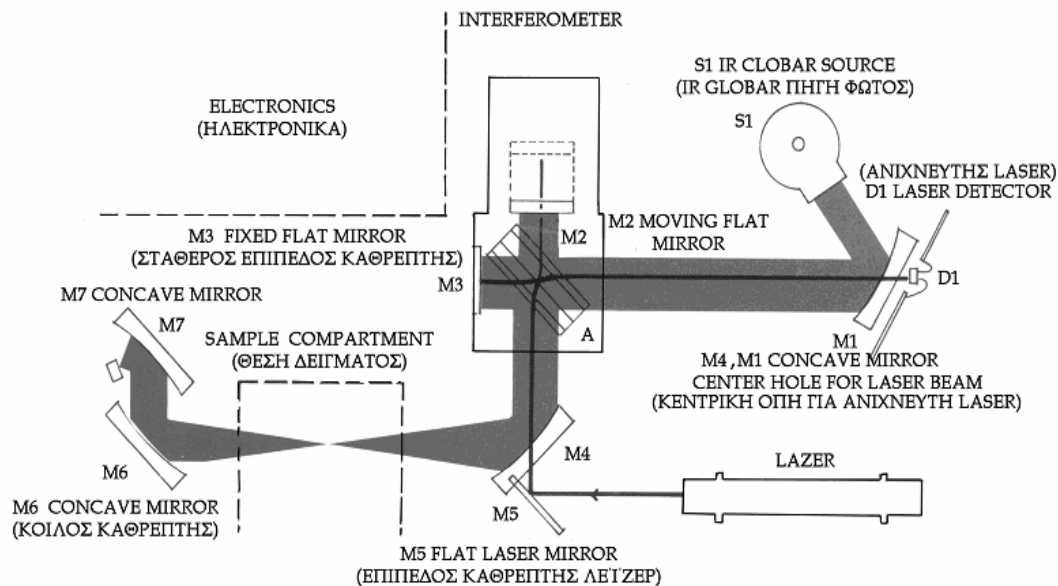
10.74. Φασματοσκοπία Υπερύθρου με Μετασχηματισμό Fourier

Η φασματοσκοπία IR χρησιμοποιείται κυρίως στην περιοχή $4000-650\text{ cm}^{-1}$, ωστόσο αρκετά χρήσιμες πληροφορίες για τη δομή πολλών οργανικών ενώσεων μπορούμε να παρατηρήσουμε και στην περιοχή $400-10\text{ cm}^{-1}$, που καλείται άπω υπέρυθρη (far infrared). Η άπω υπέρυθρη περιοχή είναι η περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπου απορροφούν το δευτέριο, το τρίτιο, οι παραμορφώσεις του σκελετού οργανικών ενώσεων, οι δονήσεις στρέβλωσης του κορμού διαφόρων οργανικών ενώσεων, οι δονήσεις διαφόρων μοριακών δομών, οι δεσμοί υδρογόνου ($200-50\text{ cm}^{-1}$) κ.λπ.

Στην περιοχή όμως αυτή η ευαισθησία του φασματοφωτομέτρου IR είναι περιορισμένη και οι εντάσεις των απορροφήσεων πολύ μικρές, με αποτέλεσμα ο «θόρυβος» να σκεπάζει τις ταινίες απορρόφησης. Η αδυναμία των κοινών φασματοφωτομέτρων IR (και άλλων μεθόδων φασματοσκοπίας, όπως θα δούμε στα φάσματα ^{13}C) υπερνικήθηκε με τη **φασματοσκοπία IR με μετασχηματισμό Fourier** (Fourier Transform IR Spectroscopy, F.T.-IR).

Η ανάλυση κατά Fourier ή μετασχηματισμός Fourier είναι η ανάλυση μιας μαθηματικής συνάρτησης ή μιας πειραματικά λαμβανομένης καμπύλης με τη μορφή μιας τριγωνομετρικής σειράς. Χρησιμοποιείται ως μέθοδος προσδιορισμού των αρμονικών συστατικών ενός πολύπλοκου περιοδικού κύματος.

Η μέθοδος βασίζεται στην καταγραφή του φάσματος με **συμβολομετρικές μετρήσεις** (interferometric measurements) που υπερτερούν των κοινών μηχανισμών σάρωσης του φάσματος.



Σχήμα 80. Φασματοφωτόμετρο FTIR

Συνοπτικά, με βάση το Σχήμα 44, η λειτουργία του φασματοφωτομέτρου IR είναι η ακόλουθη: φως από τη λάμπα της πηγής διαχωρίζεται με καθρέπτες σε δύο δέσμες, μια που περνάει μέσα από το δείγμα (πλακίδιο με KBr, υγρό, αέριο ή διάλυμα σε Nujol) και μία μέσα από τον αέρα ως δέσμη αναφοράς. Η δέσμη αναφοράς μπορεί να βυθισθεί (η έντασή της) με ένα εξωτερικό οπτικό εξασθενητή (reference beam attenuator) ώστε να αρχίσουμε τη σάρωση του φάσματος μέσα στα περιθώρια του βαθμολογημένου χαρτιού. Οι δύο δέσμες ανακλώνται από τον κοφτήρα (που περιστρέφεται 10 φορές το δευτερόλεπτο) προκαλώντας τις δύο δέσμες να πέσουν πάνω στο φράγμα περίθλασης εναλλασσόμενα. Καθώς το φράγμα περίθλασης περιστρέφεται αργά-αργά (σάρωση του φάσματος), ανακλά δέσμες φωτός με διαφορετικές συχνότητες προς τον ανιχνευτή, που με το θερμοστοιχείο του μετατρέπει την ενέργεια της υπέρυθρης ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Όταν το δείγμα απορροφήσει ακτινοβολία ορισμένης συχνότητας, ο ανιχνευτής δέχεται εναλλασσόμενα (από τον κοφτήρα) μία ισχυρή δέσμη (αναφοράς) και μία ασθενή δέσμη (δείγματος). Αυτό προκαλεί τη δημιουργία εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος από τον ανιχνευτή στον ενισχυτή. Ο ενισχυτής είναι κατασκευασμένος ώστε να ενισχύει μόνο εναλλασσόμενο ρεύμα. Ο ενισχυτής συνδέεται με το σερβοκινητήρα που θέτει σε λειτουργία την οπτική σφήνα ή τον εξασθενητή, που με τη σειρά του ανεβοκατεβαίνει μέσα στη δίοδο της δέσμης αναφοράς ώστε ο ανιχνευτής να δέχεται φως ίσης έντασης και από τις δύο δέσμες. Η κίνηση αυτή του εξασθενητή, που είναι συνδεδεμένος με τη γραφίδα του καταγραφέα, επιτρέπει την καταγραφή των απορροφήσεων στο βαθμολογημένο φασματοσκοπικό χαρτί του IR.

Το συμβολόμετρο (interferometer) είναι μια πλάκα (A) κατασκευασμένη από ημιδιαφανές υλικό, συνήθως KBr που δεν απορροφά την IR, και κατεργασμένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ανακλά το 50% της ακτινοβολίας που πέφτει πάνω της. Η πλάκα διαιρεί την ακτινοβολία σε δύο ίσα μέρη και στέλνει το 1/2 στον καθρέπτη M1 και το άλλο 1/2 στον καθρέπτη M2. Οι δύο δέσμες ανακλώνται στους καθρέπτες και γυρνούν στην πλάκα-διαχωριστή (plate-beam splitter) της δέσμης του φωτός, όπου συνενώνονται πάλι σε μια δέσμη φωτός με κατεύθυνση το δείγμα της ουσίας και μετά στον ανιχνευτή.

Η μονοχρωματική δέσμη φωτός που εκπέμπεται από την πηγή και συνενώνεται στην πλάκα A

υπόκειται σε θετική ή αρνητική συμβολή ανάλογα με τις αποστάσεις του από τους καθρέπτες M1 και M2. Εάν οι αποστάσεις αυτές είναι ίσες ή διαφέρουν κατά πολλαπλάσιο του μήκους κύματος (ολόκληροι ή ακέραιοι αριθμοί) της μονοχρωματικής δέσμης, τότε δημιουργείται θετική συμβολή που δίνει μια δέσμη φωτός μεγάλης έντασης. Εάν όμως οι αποστάσεις της A από τους M1 και M2 είναι μισοί ολόκληροι αριθμοί (1/2, κλπ) του μήκους κύματος, τότε οι δέσμες φωτός ανακλώνται στους καθρέπτες, επανέρχονται στην A και εξουδετερώνονται.

Στη μονάδα συμβολόμετρου, ο καθρέπτης M2 κινείται αργά προς την πλάκα A ή απομακρύνεται από αυτή. Με τον τρόπο αυτό ο ανιχνευτής θα δέχεται ακτινοβολία εναλλασσόμενης έντασης λόγω φαινομένου συμβολής. Η πηγή μπορεί να εκπέμπει μια σειρά από μονοχρωματικές ακτινοβολίες (ν_1, ν_2, \dots κ.λπ) που θα δημιουργήσουν στον ανιχνευτή ένα περίπλοκο μίγμα ακτινοβολιών με εναλλασσόμενες εντάσεις. Με τη βοήθεια του μετασχηματισμού Fourier τα κενά αυτά μετατρέπονται στο κανονικό φάσμα IR. Συνήθως η καταγραφή των σημάτων στον ανιχνευτή γίνεται κάθε 0,001 sec και κάθε πληροφορία συσσωρεύεται σε ένα από τα 1000 σημεία του προγραμματισμένου φάσματος. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής επεξεργάζεται τις πληροφορίες (εντάσεις απορροφήσεων σε διάφορες συχνότητες), εκτελεί τους μετασχηματισμούς Fourier σε ελάχιστα sec και παρουσιάζει κανονικό φάσμα, που έχει αναλυθεί σε 1000 σημεία, έτοιμο για καταγραφή στο βαθμολογημένο φασματογραφικό χαρτί.

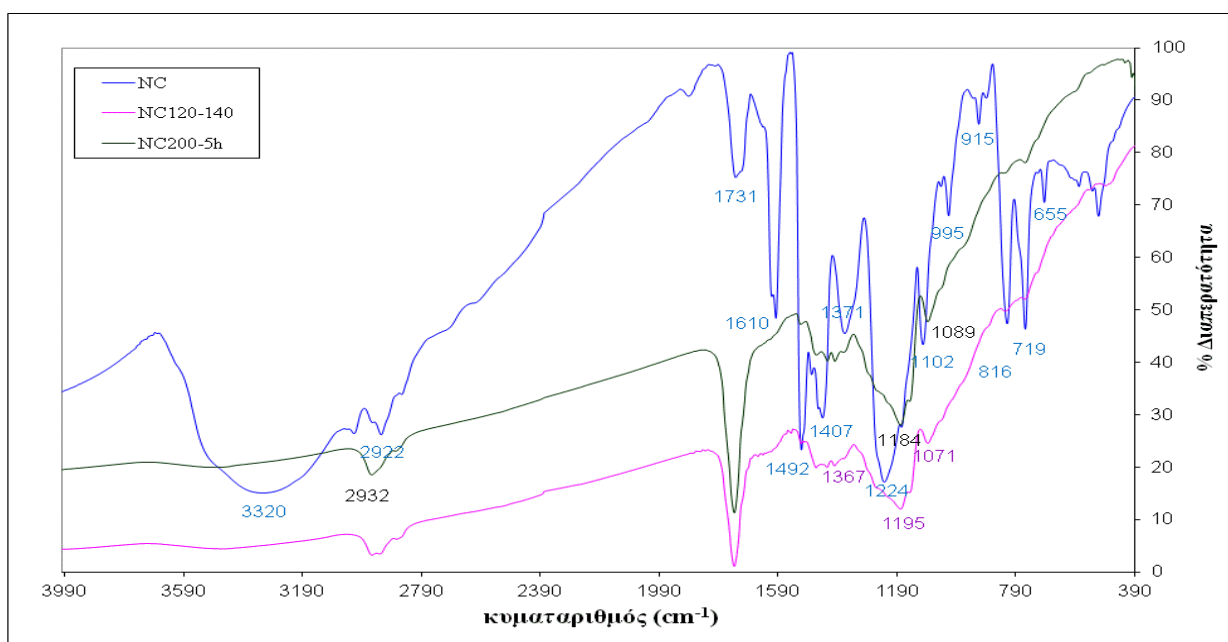
Η όλη διαδικασία γίνεται σε 1-2 δευτερόλεπτα, και μετά από 20-100 σαρώσεις του φάσματος ο "θόρυβος" έχει μειωθεί σημαντικά ενώ οι εντάσεις των απορροφήσεων βελτιώνονται σε σημαντικό βαθμό. Η ικανότητα διαχωρισμού των φασματικών γραμμών για το F.T.-IR στην περιοχή $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ είναι περίπου 4 cm^{-1} . Η ικανότητα αυτή μπορεί να βελτιωθεί με αύξηση των σημείων συγκέντρωσης πληροφοριών για το φάσμα και την απόσταση κίνησης του M2. Τα πλεονέκτημα του F.T.-IR είναι η ταχύτητά του. Ενώ στη συμβατική μέθοδο κάθε σημείο εξετάζεται διαδοχικά, στο συμβολόμετρο όλα τα σημεία εξετάζονται συγχρόνως και μετά διαχωρίζονται με ταχύτατο υπολογισμό από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Με F.T.-IR μπορεί να γίνει σάρωση όσες φορές χρειαστούν για την εξουδετέρωση του "θόρυβου", να αφαιρεθεί ένα φάσμα από ένα άλλο (διάλυμα, προσμίξει), να μεγενθύνουμε τμήματα του φάσματος και να επεξεργασθεί στην οθόνη του υπολογιστή κ.λπ. (48,49,50)

Πίνακας 24. Χαρακτηριστικές κορυφές στην φασματοσκοπία υπέρυθρου (IR)

		Absorption Peaks	
	Functional Group	Wavenumber, cm^{-1}	Wavelength, μm
O—H	Aliphatic and aromatic	3600–3000	2.8–3.3
NH ₂	Also secondary and tertiary	3600–3100	2.8–3.2
C—H	Aromatic	3150–3000	3.2–3.3
C—H	Aliphatic	3000–2850	3.3–3.5
C≡N	Nitrile	2400–2200	4.2–4.6
C≡C—	Alkyne	2260–2100	4.4–4.8
COOR	Ester	1750–1700	5.7–5.9
COOH	Carboxylic acid	1740–1670	5.7–6.0
C=O	Aldehydes and ketones	1740–1660	5.7–6.0
CONH ₂	Amides	1720–1640	5.8–6.1
C=C—	Alkene	1670–1610	6.0–6.2
ϕ -O—R	Aromatic	1300–1180	7.7–8.5
R—O—R	Aliphatic	1160–1060	8.6–9.4

10.75 Παρατηρήσεις με FT-IR σε δείγματα : Νεολάκης με HEXA σε θερμοκρασία περιβάλλοντος , σκληρυμένη νεολάκη σε θερμοκρασία 120-140 °C, σκληρυμένη νεολάκη σε θερμοκρασία 200 °C.



Σχήμα 81. Φάσματα FTIR νεολάκης με εξαμεθυλενοτετραμίνη (αναλογία 7:2) πριν την σκλήρυνση (NC) και μετά την σκλήρυνση σε θερμοκρασία 120- 140 °C για 30 min (NC 120-140) και στους 200 °C για 5 h (NC 200- 5h) (35,36)

Πίνακας 25. Περιγραφή των κυματαριθμών IR για τα παραχθέντα υλικά.

Κυματαριθμός κορυφής (cm ⁻¹)	Χαρακτηριστική ομάδα	Υλικά		
		NC	NC 120-140	NC 200- 5h
3320	OH/OH stretching vibrations	+	-	-
2930	CH ₂ , CH ₃ /CH stretching vibrations	+	+	+
1730	COOH saturated / C=O stretching vibrations	+	+	+
1610	C=C without conjugation or conjugation in aromatic ring	+	n	n
1490	CH ₂ , CH ₃ /CH bending, asymmetric	+	+	+
1410	CH ₃ /CH ₃ symmetric bending	+	+	+
1365	OH/ bending	+	+	+
1245	CH/bending, χαρακτηριστική κορυφή της εξαμεθυλενοτετραμίνης			
1200	aromatic ring			
1120	asymmetric ring			
1070				
995	χαρακτηριστική κορυφή της εξαμεθυλενοτετραμίνης			
915	ring, asymmetric	+	n	n
815	two neighbor H/para – distribution, etc.	+	+	+
720	3 neighbor H/ or 4 neighbor H/meta – or ortho – distribution, etc.	+	+	+
655	5 neighbor H/ monosubstitution	+	+	+

Σημείωση

Stretching vibrations: Δονήσεις τάσης

Asymmetric ring: Ασύμμετρος δακτύλιος

Saturated: κορεσμένο

Conjunction: σύνδεση

Aromatic ring: Αρωματικός δακτύλιος

Monosubstitution: μονοσποκατάσταση

Neighborn: Γειτονικά

10.8. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΥΡΩΣΗΣ ΣΕ 200 °C

➤ Περλίτης

Ο διογκωμένος περλίτης είναι υλικό το οποίο προέρχεται από ηφαιστειογενή υλικά τα οποία υπόκεινται σε πύρωση στους 1000 °C με συνέπεια το κρυσταλλικό νερό και η υγρασία να ατμοποιούνται και να φεύγουν ενώ συγχρόνως δημιουργούνται θύλακοι οι οποίοι γεμίζουν με αέρα και οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τις καλές θερμομονωτικές ιδιότητες του υλικού καθώς και για την χαμηλή φαινόμενη πυκνότητα του υλικού.

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε στους 200 °C για 5 ώρες σε πυριατήριο και μετρήθηκε η ελάττωση του βάρους του υλικού ανά μία ώρα. Στον παρακάτω πίνακα υπολογίζεται η % ελάττωση του βάρους του περλίτη. Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκε αλουμινένιο δοχείο βάρους 2,4295 g στο οποίο τοποθετήθηκαν 10 g περλίτη.

Τα αποτελέσματα καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 26. Αποτελέσματα πύρωσης περλίτη

Βάρος υποδοχέα: 2,4295 g Βάρος περλίτη: 10 g					
Συνολικό βάρος :12,4295					
Αρχικό βάρος	1^η ώρα	2^η ώρα	3^η ώρα	4^η ώρα	5^η ώρα
12,4295	12,3619	12,3502	12,3475	12,3390	12,3380
Διαφορά Βάρους (g)	0,0676	0,0793	0,0820	0,0905	0,0915
Απώλεια Βάρους (%)	0, 676	0,793	0,820	0,905	0,915

Παρατηρείται ότι ο περλίτης έχει πολύ μικρή απώλεια βάρους, η οποία πρέπει να αποδοθεί σε υγρασία που μπορεί να περιέχεται στο υλικό.

➤ **Τρες άνθρακα**

Η παραγωγή των ιών άνθρακα προϋποθέτει το στάδιο της πυρόλυσης. Άρα δεν αναμένεται να υποστούν φθορά σε θερμοκρασία 200 °C.

Μία μείωση του βάρους οφείλεται σε επιφανειακή επεξεργασία των ιών κατά την διάρκεια της κατασκευής τους, η οποία συνήθως περιλαμβάνει επικάλυψη της ίνας με ένα πολυμερές για λόγους κυρίως προστασίας της κατά τον χειρισμό της. Η μέτρηση της μείωσης του βάρους των ιών άνθρακα πραγματοποιήθηκε μετά από θέρμανση στους 200°C για 5 ώρες σε πυριαντήριο και μετρήθηκε η ελάττωση του βάρους του υλικού ανά μία ώρα.

Στον παρακάτω πίνακα υπολογίζεται η % ελάττωση του βάρους των ιών άνθρακα. Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκε αλουμινένιο δοχείο βάρους 2,4337 g. στο οποίο τοποθετήθηκαν 10 g ιών άνθρακα.

Τα αποτελέσματα καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 27. Αποτελέσματα πύρωσης ιών άνθρακα από την 1^η ώρα έως την 10^η ώρα

Βάρος υποδοχέα:2,4337 g Βάρος ιών άνθρακα: 10 g					
Συνολικό βάρος :12,4337					
Αρχικό βάρος (g)	1^η ώρα	2^η ώρα	3^η ώρα	4^η ώρα	5^η ώρα
12,4337	9,8688	9,8208	9,7995	9,7826	9,7793
Διαφορά Βάρους (g)	2,5650	2,6130	2,6340	2,6511	2,6544
Απώλεια Βάρους (%)	25,65	26,13	26,34	26,51	26,54

Βάρος υποδοχέα :2,4337 g Βάρος ιών άνθρακα: 10 g				
Συνολικό βάρος :12,4337				
Αρχικό βάρος (g)	6^η ώρα	7^η ώρα	8^η ώρα	9^η ώρα
12,4337	9,7635	9,7530	9,7525	9,7515
Διαφορά Βάρους (g)	2,670	2,680	2,6812	2,6822
Απώλεια Βάρους (%)	26,70	26,80	26,81	26,82

Πίνακας 28. Αποτελέσματα πύρωσης ινών άνθρακα από την 5^η ώρα έως την 10^η ώρα σε σχέση με την 5^η ώρα

Βάρος υποδοχέα:2,4337 g Βάρος ινών άνθρακα: 10 g Συνολικό βάρος :12,4337				
Αρχικό βάρος (g)	6^η ώρα	7^η ώρα	8^η ώρα	9^η ώρα
9,7793	9,7635	9,7530	9,7525	9,7515
Διαφορά Βάρους (g)	0,0158	0,0263	0,0268	0,0278
Απώλεια Βάρους (%)	0,158	0,263	0,268	0,278

Η αρχική απώλεια βάρους της ίνας πρέπει να αποδοθεί στην απομάκρυνση της επικαλύψεως του πολυμερούς, καθώς και της περιεχόμενης υγρασίας στην ίνα. Πολύ μικρή απώλεια βάρους μπορεί να οφείλεται στην απομάκρυνση κάποιων οξυγονούχων ομάδων που μπορεί να περιέχονται στην ίνα άνθρακα. Είναι χαρακτηριστικό, ότι οι απώλειες βάρους πρακτικά ολοκληρώνονται μέσα στην 1^η ώρα της πυρώσεως των ινών άνθρακα στους 200 °C.

➤ **Νεολάκη**

Η νεολάκη είναι το υλικό, το οποίο θα υποστεί θεωρητικά την μεγαλύτερη απώλεια βάρους, εφόσον είναι το οργανικό υλικό του σύνθετου υλικού.

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε στους 200 °C για 5 ώρες σε πυριατήριο και μετρήθηκε η ελάττωση του βάρους του υλικού ανά μία ώρα. Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκε αλουμινένιο δοχείο βάρους 2,4421 gr. στο οποίο τοποθετήθηκαν 10 g νεολάκη. Υπολογίζεται η % ελάττωση του βάρους της νεολάκης και τα αποτελέσματα καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 29. Αποτελέσματα πύρωσης νεολάκης

Βάρος υποδοχέα :2,4421 g Βάρος νεολάκης : 10 g Συνολικό βάρος :12,4421					
Αρχικό βάρος (g)	1^η ώρα	2^η ώρα	3^η ώρα	4^η ώρα	5^η ώρα
12,4421	11,5910	11,4324	11,3234	11,2716	11,2203
Διαφορά Βάρους (g)	0,8511	1,009	1,119	1,170	1,222
Διαφορά Βάρους (%)	8,511	10,09	11,19	11,70	12,22

Παρατηρείται ότι στην 1^η ώρα η απώλεια βάρους είναι περί το 8,5 %, ενώ κατόπιν ο ρυθμός μειώνεται. Στην αρχική απώλεια συμμετέχει και η περιεχόμενη υγρασία στην νεολάκη. Η απώλεια βάρους της νεολάκης είναι μικρότερη σε σχέση με άλλα, συνήθη, πολυμερή, λόγω της δομής των αρωματικών δακτυλίων της νεολάκης, οι οποίοι παρουσιάζουν θερμική σταθερότητα. Καθόλη την θερμική επεξεργασία, η νεολάκη διατήρησε την δομή της και δεν έλειωσε (είναι άλλωστε θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές).

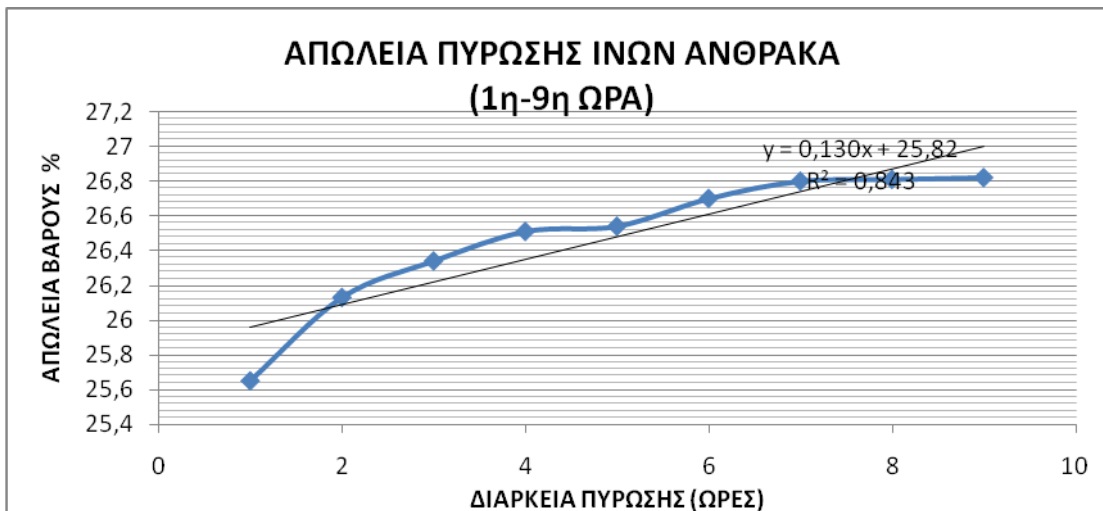
10.9. ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΥΡΩΣΗΣ

Ο περλίτης, οι ίνες άνθρακα και η νεολάκη τοποθετήθηκαν για 5 ώρες στους 200 °C, με σκοπό να μετρηθεί η μείωση του βάρους των υλικών αυτών, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των συνθέτων υλικών.

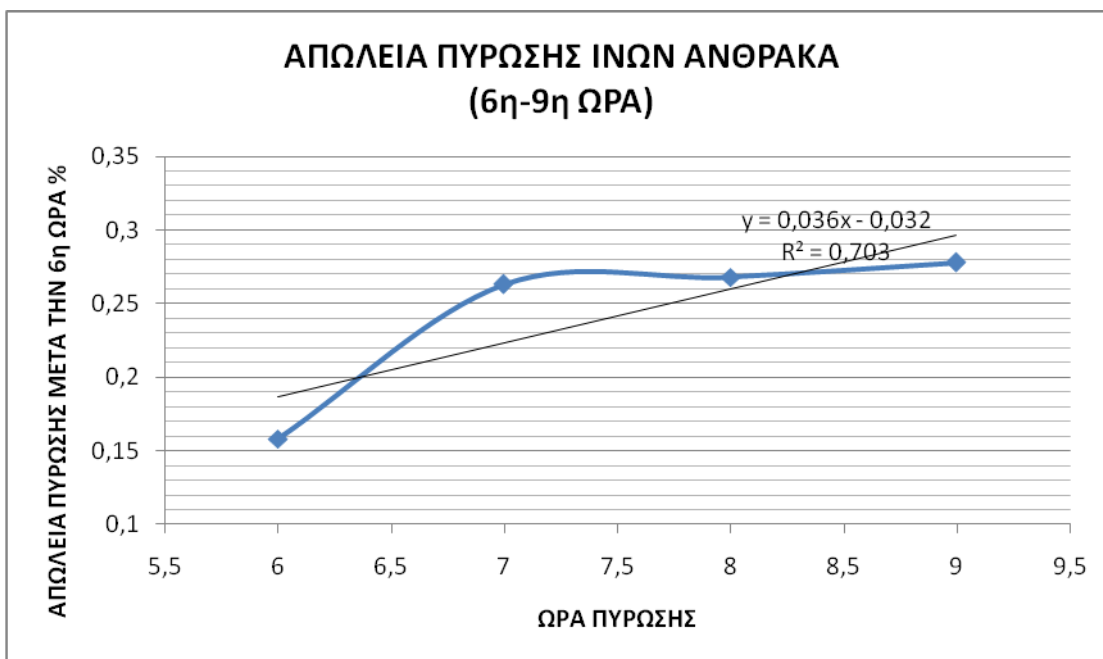
1. Ο περλίτης έχει πολύ μικρή απώλεια βάρους, η οποία πρέπει να αποδοθεί σε υγρασία που μπορεί να περιέχεται στο υλικό.

2. Οι ίνες άνθρακα έδειξαν μία μεγάλη αρχική μείωση του βάρους, η οποία όμως δικαιολογείται από την επεξεργασία και προστασία των ινών άνθρακα με πολυμερή, τα οποία προστατεύουν τις ίνες άνθρακα από φθορά. Είναι χαρακτηριστικό, ότι οι απώλειες βάρους πρακτικά ολοκληρώνονται μέσα στην 1^η ώρα της πυρώσεως των ινών άνθρακα στους 200 °C. Μετά την 4^η ώρα έως την 10^η ώρα, η ελάττωση του βάρους είναι μόλις 0, 27% δηλ. πρακτικά το υλικό (οι ίνες άνθρακα) είναι σταθερό.

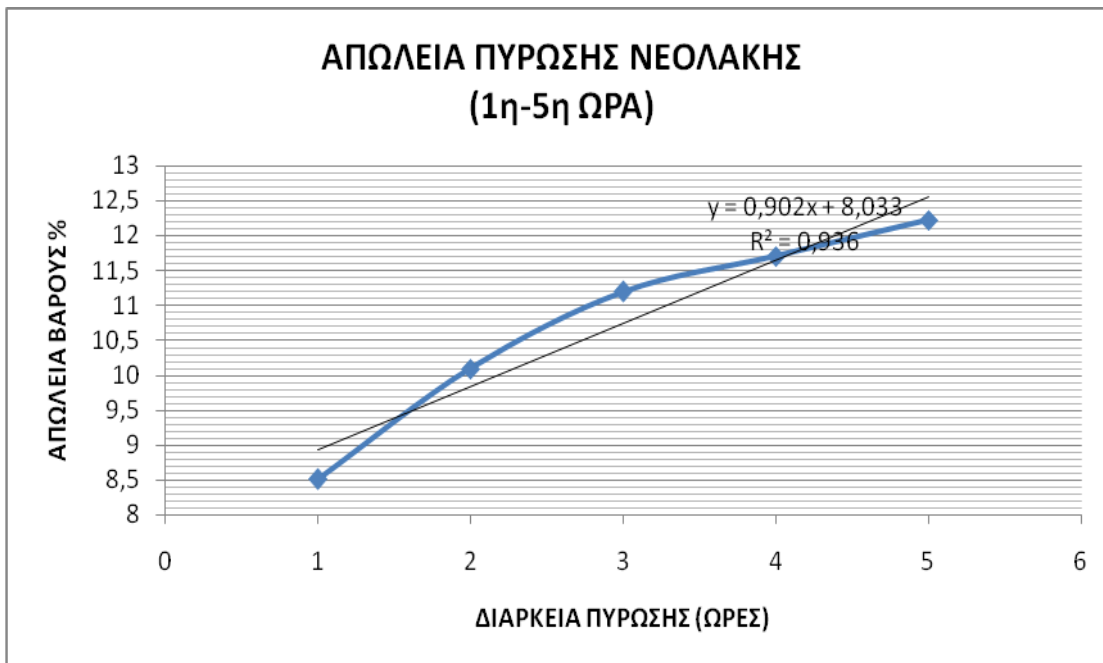
3. Όσον αφορά την νεολάκη παρατηρείται ότι την 1^η ώρα η απώλεια βάρους είναι περί το 8,5 %, ενώ κατόπιν ο ρυθμός μειώνεται. Στην αρχική απώλεια συμμετέχει και η περιεχόμενη υγρασία στην νεολάκη. Η απώλεια βάρους της νεολάκης είναι μικρότερη σε σχέση με άλλα, συνήθη, πολυμερή, λόγω της δομής των αρωματικών δακτυλίων της νεολάκης, οι οποίοι παρουσιάζουν θερμική σταθερότητα. Καθόλη τη θερμική επεξεργασία, η νεολάκη διατήρησε την δομή της και δεν έλειωσε (είναι άλλωστε θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές).



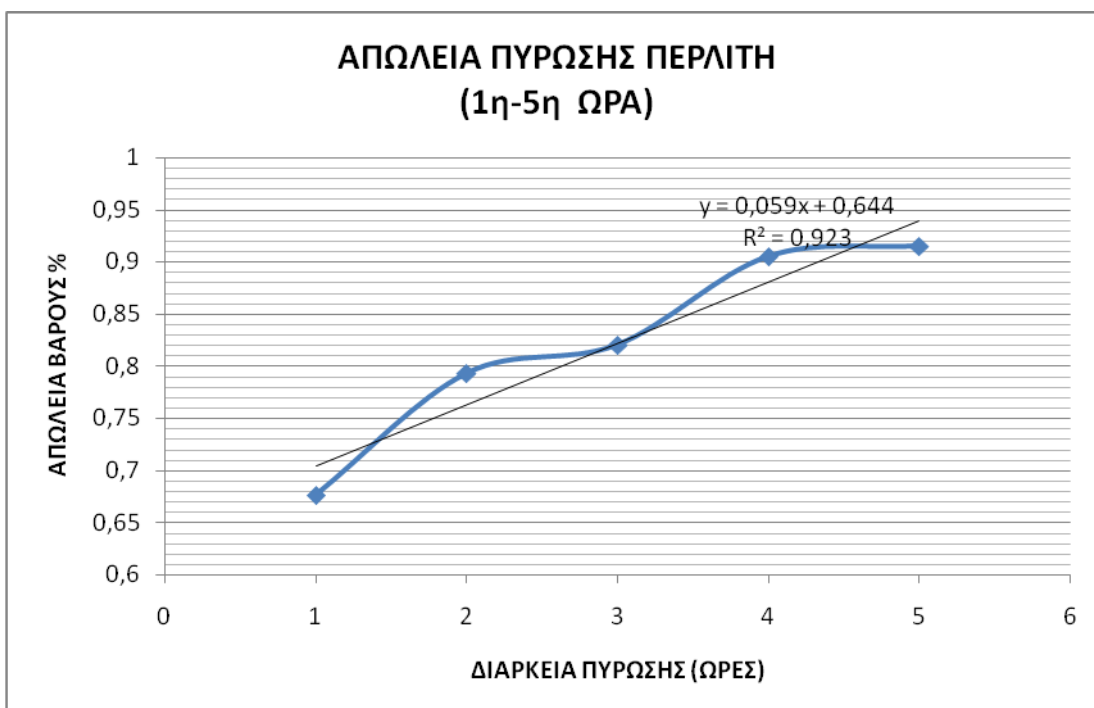
Σχήμα 83. Απώλεια πύρωσης ιών άνθρακα



Σχήμα 84. Απώλεια πύρωσης ιών άνθρακα



Σχήμα 85. Απώλεια πύρωσης νεολάκης



Σχήμα 86. Απώλεια πύρωσης περλίτη

10.10 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο προσδιορίζονται και υπολογίζονται οι θεωρητικές και πειραματικές αντίστοιχα πυκνότητες των υλικών, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των συνθέτων υλικών, καθώς οι πυκνότητες αυτών.

➤ Πυκνότητα των ινών άνθρακα

Η πυκνότητα των ινών σύμφωνα με τον κατασκευαστή των ινών είναι: **1,77 g/cm³**.

➤ Υπολογισμός της φαινόμενης πυκνότητας του περλίτη

Η φαινόμενη πυκνότητα του περλίτη υπολογίστηκε με τον παρακάτω τρόπο:
Σε δοκιμαστικό σωλήνα τοποθετήθηκαν 10ml περλίτη και ακολούθως ζυγίστηκε η ποσότητα του περλίτη. Από τον τύπο $d=m/V$ υπολογίστηκε ότι η φαινόμενη πυκνότητα του περλίτη ισούται με **0,12 g/cm³**.

Πιο συγκεκριμένα:

Ζυγίστηκαν 500 g περλίτη, από την συνολική ποσότητα του περλίτη των 10 κιλών περίπου, τα οποία ήταν συσκευασμένα σε μεγάλη σακούλα. Από την ποσότητα αυτή και μετά από προσεκτική ανάμιξη για να μην υπάρξει διαχωρισμός ζυγίστικαν περίπου 50g. Από τα 50 g στον ίδιο δοκιμαστικό σωλήνα των 10 ml, τοποθετήθηκε η αντίστοιχη ποσότητα των 10 ml περλίτη και ζυγίστηκε.

Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε 3 φορές και ο μέσος όρος υπολογίστηκε σε **0,12 g/cm³**.

➤ Υπολογισμός της φαινόμενης πυκνότητας της νεολάκης

10ml σκληρυμένης και τριμμένης σκόνης νεολάκης κάτω από 300 μm, τοποθετήθηκε σε δοκιμαστικό σωλήνα και ακολούθως ζυγίστηκε η ποσότητα της νεολάκης.

Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε 3 φορές.

Από τον τύπο $d=m/V$ υπολογίστηκε το φαινόμενο βάρος της νεολάκης.

Η φαινόμενη πυκνότητα της νεολάκης υπολογίστηκε σε **1,17 g/cm³**.

➤ Πυκνότητα της HEXA

Η πυκνότητα της HEXA στους 20°C από την βιβλιογραφία είναι **1,33 g/cm³**.

Η φαινόμενη πυκνότητα της HEXA υπολογίστηκε όπως και παραπάνω με την μέθοδο του δοκιμαστικού σωλήνα. Σε δοκιμαστικό σωλήνα 10ml τοποθετήθηκε αντίστοιχη όγκου ποσότητα τριμμένη HEXA με κοκκομετρία κάτω από 300 μm.

Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε 3 φορές.

Ο μέσος όρος της φαινόμενης πυκνότητας (bulk density) υπολογίστηκε σε **0,83 g/cm³**.

➤ Πυκνότητα του σύνθετου υλικού φαινόλης- φορμαλδεΐδης με 10% περλίτη

Η φαινόμενη πυκνότητα του σύνθετου υλικού φαινόλης-φορμαλδεΐδης με 10% περλίτη υπολογίστηκε από τον δίσκο φαινόλης-φορμαλδεΐδης με 10% περλίτη.

Το βάρος του δίσκου υπολογίστηκε 602 g.

Η φαινόμενη πυκνότητα του δίσκου υπολογίστηκε από τον τύπο: $d=m/V$, όπου $V=\pi*d^2/4*h=$

όπου η διάμετρος $d=28,2\text{ cm}$, το πάχος $h=1,8\text{cm}$, η μάζα $m=602\text{gr}$,
ο όγκος $V=3,14*28,2*28,2/4*1,8=4495/4=1124\text{ cm}^3$

Άρα $d=602\text{ g}/1124\text{ cm}^3=0,53\text{ g/cm}^3$

10.11. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Η αντικατάσταση της νεολάκης με αντίστοιχη ποσότητα περλίτη δεν επιβαρύνει με επί πλέον βάρος το σύνθετο υλικό δοθέντος ότι η φαινόμενη πυκνότητα της νεολάκης είναι περίπου 10 φορές παραπάνω από την φαινόμενη πυκνότητα του περλίτη.

Άρα ελαττώνεται το βάρος του σύνθετου υλικού και αυξάνεται η αντίσταση στην φωτιά του σύνθετου υλικού δεδομένου ότι ο περλίτης είναι ανόργανο υλικό, ενώ συγχρόνως μειώνεται αντίστοιχα η ποσότητα του καπνού και των παραγόμενων αερίων.

11. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

11.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας παρασκευάστηκε εργαστηριακά ρητίνη φαινόλης φορμαλδεΐδης και ειδικότερα νεολάκη.

Εξετάσθηκαν οι μηχανικές ιδιότητες συνθέτων υλικών τα οποία κατασκευάστηκαν από ρητίνη φαινόλης-φορμαλδεΐδης, ίνες άνθρακα και περλίτη.

Μετρήθηκε η θερμική αγωγιμότητα θερμομονωτικών υλικών όπως πολυουρεθάνη, εξηλασμένη πολυστερίνη, σύνθετο υλικό φαινόλης φορμαλδεΐδης με 10% περλίτη.

Πραγματοποιήθηκαν επίσης μετρήσεις EDAX και SEM στον περλίτη καθώς και μετρήσεις FTIR στην νεολάκη.

Επίσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις υπολογισμού απώλειας μέσω πύρωσης και τέλος ορισμένες μετρήσεις πυκνότητας.

Από τα παραπάνω προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα:

ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΦΑΙΝΟΛΗΣ ΦΟΡΜΑΛΔΕΪΔΗΣ

1. Σε ολόκληρη την διάρκεια της παρασκευής θα πρέπει να διατηρείται σταθερή θερμοκρασία και να αποφεύγεται η οποιοδήποτε απώλεια ατμών από τον αντιδραστήρα, ενώ συγχρόνως πρέπει να διατηρείται η ψύξη του αντιδραστήρα σταθερή.
2. Οποιαδήποτε μεταβολή των παραμέτρων αυτών θα οδηγήσει σε προϊόν με προβλήματα.

ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΡΟΔΙΑΠΟΤΙΣΗ ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

1. Η προδιαπότιση πρέπει να πραγματοποιείται με τις ίνες άνθρακα συνεχώς εμβαπτισμένες στο λουτρό προδιαπότισης. Ο χρόνος προδιαπότισης θα πρέπει να είναι αρκετός, ώστε η διαβροχή των ινών να είναι ικανοποιητική.
2. Η περιτύλιξη των ινών πρέπει να είναι ευθύγραμμη πάνω στο τετράγωνο πλαίσιο περιέλιξης και να αποφεύγεται η επικάθηση της μίας ίνας πάνω στην άλλη.
3. Μετά το τέλος της περιτύλιξης το λουτρό της προδιαπότισης χύνεται πάνω στην πλάκα περιέλιξης για καλύτερη διαπότιση.
4. Οι ίνες αφήνονται να στεγνώσουν για 24 ώρες και μετά είναι δυνατόν να κοπούν από την πλάκα περιέλιξης, να ταυνοθούν και να οδηγηθούν για την τελική σκλήρυνση.

ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

➤ 1^η περίπτωση

Σύνθετα υλικά ρητίνης φαινόλης-φορμαλδεΐδης με 15% ίνες άνθρακα.

1. Αντοχή σε κάμψη

Τα σύνθετα αυτά υλικά παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο βαθμό αντοχής σε κάμψη, η οποία οφείλεται στην καλή πρόσφυση μεταξύ ινών άνθρακα και της ρητίνης φαινόλης φορμαλδεΐδης.

Οι ίνες άνθρακα έχουν υποστεί επιφανειακή επεξεργασία με συνέπεια την αύξηση της πρόσφυσης μεταξύ ινών άνθρακα και της ρητίνης.

3. Αντοχή σε διάτμηση

Η αντοχή σε διάτμηση εμφανίζει και αυτή τις μεγαλύτερες τιμές στο σύνθετο υλικό φαινόλης-φορμαλεΐδης και ινών άνθρακα.

➤ 2^η περίπτωση

Σύνθετα υλικά υλικά ρητίνης φαινόλης-φορμαλδεΐδης με 10% περλίτη

1. Αντοχή σε κάμψη

Η αντοχή σε κάμψη του δοκιμίου αυτού είναι χαμηλότερη από ότι του δοκιμίου, το οποίο είναι ενισχυμένο με τις ίνες άνθρακα και αυτό είναι αναμενόμενο. Ο περλίτης λόγω της κοκκομετρίας του επηρεάζει μάλλον αρνητικά το δοκίμιο λόγω της ανομοιογένειας που μπορεί να προκαλεί σε ορισμένα σημεία του δοκιμίου.

2. Αντοχή σε διάτμηση

Η αντοχή σε διάτμηση των δοκιμίων αυτών δεν επηρεάζεται σημαντικά από την ανομοιογένεια δεδομένου ότι και η απόσταση μεταξύ των σημείων στήριξης είναι μικρότερη από ότι στην δοκιμή αντοχής στην κάμψη.

Η αντοχή σε διάτμηση των δοκιμίων αυτών είναι η μικρότερη από την πρώτη περίπτωση, αφού δεν υπάρχουν οι ίνες άνθρακα για να το ενισχύσουν.

➤ 3^η περίπτωση

Σύνθετα υλικά ρητίνης φαινόλης-φορμαλδεΐδης με 15% ίνες άνθρακα και 10% περλίτη

1. Αντοχή σε κάμψη

Η αντοχή σε κάμψη των συνθέτων αυτών υλικών είναι χαμηλότερη από την πρώτη περίπτωση.

Οπτικά τα δοκίμια αυτά παρουσιάζουν σχετική ομοιογένεια, ενώ οι μηχανικές αντοχές είναι σχετικά καλές.

2. Αντοχή σε διάτμηση

Η αντοχή σε διάτμηση των δοκιμίων αυτών είναι σχετικά καλές μιας και η ομοιογένεια είναι σχετικά καλή.

➤ 4^η περίπτωση

Σύνθετα υλικά ρητίνης φαινόλης-φορμαλδεΐδης με 15% ίνες άνθρακα και 15% περλίτη

1. Αντοχή σε κάμψη

Με την αύξηση του ποσοστού του περλίτη είναι πλέον εμφανής οπτικά η ανομοιογένεια των δοκιμίων. Παρόλα αυτά τα δοκίμια παρουσιάζουν μία μικρή αντοχή σε κάμψη.

2. Αντοχή σε διάτμηση

Η αντοχή σε διάτμηση είναι πλέον μικρή, η ανομοιογένεια εμφανής και οι αντοχές που μετρήθηκαν είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού των ινών άνθρακα με την ρητίνη κύρια σε σημεία όπου υπάρχει μία σχετική ομοιογένεια.

➤ 5^η περίπτωση

Σύνθετα υλικά ρητίνης φαινόλης-φορμαλδεΐδης με 15% ίνες άνθρακα και 20% περλίτη

1. Αντοχή σε κάμψη

Η ανομοιογένεια στα δοκίμια αυτά είναι πολύ μεγάλη, ενώ δεν υπάρχει συνοχή μεταξύ ινών και ρητίνης. Έχουν ήδη δημιουργηθεί κενά μεταξύ των ινών και ρητίνης. Σε ορισμένα σημεία εκεί όπου δεν ευρίσκεται περλίτης, υπάρχει σχετική συνάφεια μεταξύ ινών άνθρακα και ρητίνης.

Η αντοχή σε κάμψη είναι πολύ μικρή λόγω της μεγάλης ανομοιογένειας ενώ και οπτικά το δοκίμιο εμφανίζει σημεία με ανομοιογένεια.

2. Αντοχή σε διάτμηση

Η αντοχή σε διάτμηση λόγω της απόστασης των σημείων στήριξης εξαρτάται από την τοπική ομοιογένεια και είναι τυχαία.

Μπορεί να καταγραφούν κάποιες τιμές πολύ μικρές, μεσαίες ή να παρουσιαστεί κάποια μεγάλη τιμή. Οι τιμές αυτές παρατηρούνται λόγω της μικρής απόστασης μεταξύ των σημείων στήριξης και της γενικότερης ομοιογένειας του υλικού λόγω της μικρής απόστασης των σημείων στήριξης.

Η αντοχή σε διάτμηση ενισχύεται από την ύπαρξη του περλίτη ο οποίος λειτουργεί ως υλικό το οποίο ενισχύει την αντοχή σε διάτμηση.

ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Ως θερμομονωτικά υλικά χρησιμοποιούνται υλικά όπως η εξηλασμένη πολυστερίνη, η πολυουρεθάνη, οι φαινολικές ρητίνες κ.λ.π.

Για τους σκοπούς της εργασίας χρησιμοποιήθηκε θερμομονωτικό υλικό το οποίο αποτελείται από ρητίνη φαινόλης-φορμαλδεΐδης (νεολάκη) και 10% περλίτη.

Μετρήθηκε ο συντελεστής της θερμικής αγωγιμότητας των παραπάνω υλικών.

Ο συντελεστής λ της νεολάκης με πρόσθετο τον περλίτη έδειξε πολύ καλά χαρακτηριστικά θερμομονωτικής ικανότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατασκευές αμαξωμάτων λεωφορείων και τρένων δοθέντος ότι και η φαινόμενη πυκνότητα του περλίτη είναι μικρή.

Εν κατακλείδι, η χρήση του περλίτη μέχρι ποσοστού 10 % φαίνεται ότι μπορεί να αντικαταστήσει την νεολάκη με αντίστοιχη μείωση του καπνού και των αερίων.

Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη ότι μέχρι 10% αύξηση θα έχουμε και αντίστοιχη μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του σύνθετου υλικού.

ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΩΛΕΙΑ ΛΟΓΩ ΠΥΡΩΣΗΣ

➤ **Ίνες Ανθρακα**

Οι ίνες άνθρακα παρουσίασαν την μεγαλύτερη ελάττωση βάρους η οποία οφείλεται στην επικάλυψη από ρητίνη η οποία τις προστατεύει από τις φθορές και η οποία υπολογίστηκε περίπου 26%.

Η ελάττωση του βάρους σταθεροποιήθηκε μετά από 10 ώρες παραμονής στους 200°C.

➤ **Νεολάκη**

Η νεολάκη παρουσιάζει συνεχή μείωση βάρους λόγω της αποικοδόμησης της νεολάκης.

Παρόλ' αυτά, η νεολάκη συνέχισε να διατηρεί την σταθερότητά της και δεν έλιωσε στους 200°C για 5 ώρες. Το δοκίμιο αυτό μαύρισε στην εξωτερική του επιφάνεια αλλά διατήρησε την δομή του.

➤ **Περλίτης**

Ο περλίτης παρουσίασε μια ελάττωση του βάρους του, η οποία οφείλεται στην απώλεια υγρασίας καθώς και σε κάποιο πολύ μικρό ποσοστό κρυσταλλικού νερού.

Ο περλίτης ως ανόργανο υλικό κατά την κάυση του δεν δημιουργεί καπνό και για τον λόγο αυτό αντικατέστησε μέρος της ρητίνης.

ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΠΥΚΝΟΤΗΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΝΕΟΛΑΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΛΙΤΗ

Η νεολάκη έχει περίπου 10 φορές παραπάνω την φαινόμενη πυκνότητα του περλίτη. Άρα, αντίστοιχη μείωση της νεολάκης έχει ως συνέπεια την αντίστοιχη μείωση του βάρους, καθώς του καπνού και των τοξικών αερίων που παράγονται από την κάυση της νεολάκης με συνέπεια η χρήση της νεολάκης να γίνεται πιο ελκυστική με την χρήση περλίτη.

11.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Η ανάγκη για μείωση του βάρους και η μεγιστοποίηση των μηχανικών ιδιοτήτων οδηγεί τα σύνθετα υλικά να παίζουν ήδη σημαντικό ρόλο στην κατασκευή ελαφρών οχημάτων.
2. Οι ρητίνες, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην κατασκευή αμαξωμάτων για τρένα και λεωφορεία είναι οι φαινολικές ρητίνες. Οι ρητίνες αυτές αντέχουν μέχρι 250°C, ενώ ο καπνός που παράγεται κατά την καύση αυτών των ρητινών είναι λιγότερο τοξικός σε σχέση με τα προϊόντα καύσης άλλων ρητινών.

Η προσθήκη διογκωμένου περλίτη μειώνει αναλογικά την ποσότητα του παραγόμενου καπνού, ενώ λόγω της θερμομονωτικής ικανότητάς του βελτιώνεται αναλογικά ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του σύνθετου υλικού.

Η προσθήκη διογκωμένου περλίτη σε σύνθετα υλικά ελαττώνει τις μηχανικές ιδιότητες του σύνθετου υλικού με ίνες άνθρακα, αλλά περιορίζει όμως και την παραγόμενη ποσότητα καπνού, ενώ μειώνει την ποσότητα της ρητίνης με αντίστοιχο οικονομικό όφελος μιάς και είναι ανόργανο ηφαιστειακό υλικό του οποίου η τιμή είναι χαμηλή.

Το βάρος του σύνθετου υλικού μειώνεται λόγω της χαμηλής φαινόμενης πυκνότητας του περλίτη.

Προτείνεται για την ενίσχυση της νεολάκης με τις ίνες άνθρακα να χρησιμοποιηθεί περλίτης κοκκομετρίας μέχρι 300 μm, όταν στην κατασκευή υπερισχύουν οι μηχανικές ιδιότητες, ενώ όταν υπερισχύουν οι θερμομονωτικές ιδιότητες να χρησιμοποιηθεί περλίτης μέχρι 2 mm.

Προτείνεται ακόμη να εξετασθεί η συμπεριφορά του σύνθετου υλικού χωρίς τις ίνες άνθρακα με εμπορικό περλίτη, με σκοπό την κατηγοριοποίηση του συνθέτου υλικού σε αντίστοιχες κατηγορίες λόγω της ύπαρξης του περλίτη, καθώς και η σύγκριση των μηχανικών και θερμομονωτικών ιδιοτήτων με τη χρήση περλίτη κάτω από 300 μm ως προς την χρήση εμπορικού περλίτη που χρησιμοποιείται για μόνωση στις κατοικίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ι. Σιμιτζής, Καθ. ΕΜΠ, «Πολυμερή και Σύνθετα υλικά», Μέρος Α, Σημειώσεις για τους φοιτητές του 8^{ου} εξαμήνου Χημικών Μηχανικών / Κατεύθυνση Υλικών, Αθήνα, Ιανουάριος 2007, σελ. 119-128.
2. Ι. Σιμιτζής, Ίνες Άνθρακα Παρασκευή – Ιδιότητες – Τεχνολογικές Εφαρμογές, Τεχνικά Χρονικά τ.1, 1978, σελ. 34-39.
3. Α. Μοροπούλου Καθ. ΕΜΠ, «Υλικά», Μέρος Α, Σημειώσεις για τους φοιτητές του 7^{ου} εξαμήνου Χημικών Μηχανικών, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2006, σελ. 117-146.
4. Γ.Μ.Τσαγκάρης Καθ. ΕΜΠ, «Πολυμερή και Σύνθετα υλικά», Μέρος Β, Σημειώσεις για τους φοιτητές του 8^{ου} εξαμήνου Χημικών Μηχανικών / Κατεύθυνση Υλικών, Αθήνα, Ιανουάριος 2007, σελ. 11-15, 20-60.
5. Ι. Σιμιτζής Καθ. ΕΜΠ, «Εργαστηριακές Ασκήσεις, Πολυμερή και Σύνθετα υλικά» ΕΜΠ, Αθήνα, Ιανουάριος 2007, σελ. 38-43.
6. Ι. Σιμιτζής Καθ. ΕΜΠ, «Τεχνολογία προηγμένων πολυμερών και σύνθετων υλικών» (Σημειώσεις), ΕΜΠ, Αθήνα, 2002 σελ. 16-27.
7. Α.Γ. Ανδρεόπουλος Καθ. ΕΜΠ «Επεξεργασία πολυμερών και σχεδιασμός προϊόντων» Αθήνα 1195 σελ. 36-37.
8. Ν. Τσουβάλης Καθ. ΕΜΠ «Μηχανική Συνθέτων υλικών (Σημειώσεις), ΕΜΠ, Αθήνα 1998 σελ. 1-12 , 16-23 , 27, 32-39, 118-129.
9. Α. Μοροπούλου Καθ. ΕΜΠ «Χαρακτηρισμός Έλεγχος Ποιότητα Διάγνωση Φθοράς και Συντήρηση Δομικών Υλικών, Μεθοδολογία Ενοργάνων & Μη Καταστρεπτικών Τεχνικών Φθορά και Προστασία Υλικών, 9^{ου} Εξαμήνου Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα 2007, σελ. 195-198, 271.
10. Β. Οικονομοπούλου Χ.Μ. ΕΜΠ «Κατασκευή συνθέτων υλικών με ηλεκτροχημικά επεξεργασμένες ίνες άνθρακα» ΕΜΠ, Αθήνα, Ιούλιος 2008, σελ. 1-40.
11. Κ. Κορδάτος Λέκτ. ΕΜΠ «Αλλοτροπικές μορφές άνθρακα. Φουλλερένια Νανοσωλήνες άνθρακα» ΕΜΠ Αθήνα, Δεκέμβριος 2006, σελ. 1-65.
12. J. Simitzis, L. Zoumpoulakis, S. Soulis, D. Triantou, Ch. Pinaka «Electrical Conductivity and Mechanical Strength of Composites Consisting of Phenol Resin, Carbon Fibers and Metals Particles NTUA Section III Material Science and Engineering Oct 2010.
13. Βάου Διπλ. Χ.Μ ΕΜΠ «Αφρώδη θερμομονωτικά ανόργανα πολυμερή υλικά από περλίτη» Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2010, σελ. 1-60.
14. Α. Τσετσέκου Καθ. ΧΜ ΕΜΠ «Σημειώσεις Μαθήματος Κεραμικά» Εκδόσεις ΕΜΠ

Αθήνα 2007.

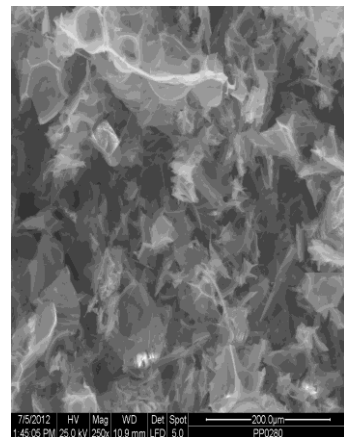
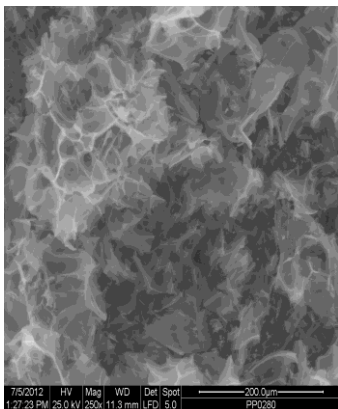
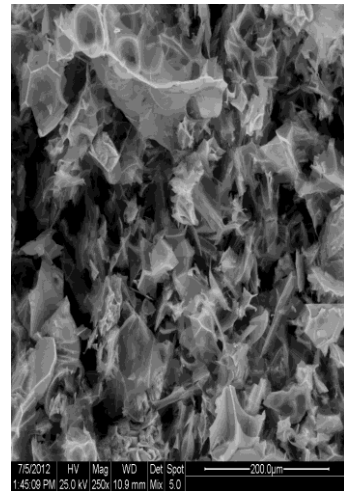
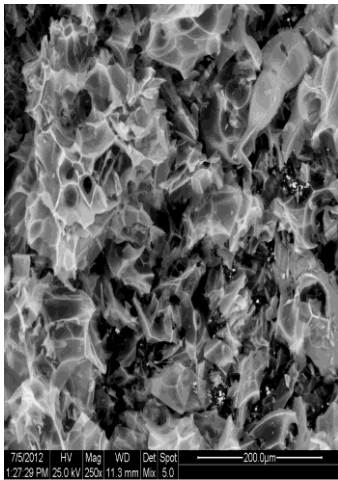
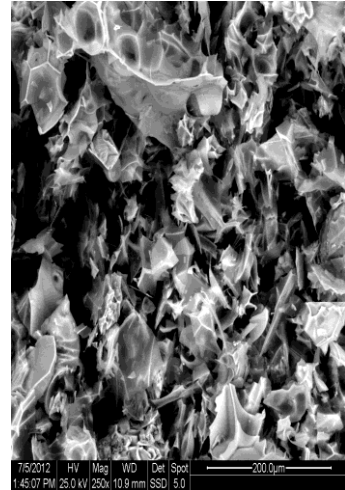
15. Phenolic Novolac and Resols Resins: <http://plenco.com/phenolic-novolac-resols-resins.htm>
16. Θ. Περράκη «Βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα: Περλίτης» Αθήνα 2007.
17. Σύμβουλοι Περιβαλλοντικών έργων A.EL.D.K ECO «Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων: Εγκαταστάσεις επεξεργασίας περλίτη στην θέση Τσαγκαράδα Ν. Μήλου».
18. Α. Μάτσας Διπλ. Μ.Μ. ΕΜΠ «Μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας δομικών μονωτικών υλικών με την μέθοδο της θερμής πλάκας» Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2009.
19. Κουμούτσος, Λυγερού Καθ. ΕΜΠ «Μεταφορά Θερμότητας» Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1991.
20. Perlite processing <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s30.pdf>
21. Ν. Παλιάτσα Πτυχ. Φυσικός «Μελέτη θερμικής γήρανσης λεπτών υμενίων με μετρήσεις ειδικής αγωγιμότητας συνεχούς ρεύματος» Διατριβή ειδίκευσης στην Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών, Πάτρα 2008, Διατμητικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών.
22. Δ. Δελλή Διπλ. Ν.Μ. ΕΜΠ «Οι παραμένουσες τάσεις στα σύνθετα υλικά: Αιτίες ανάπτυξης και μέθοδοι υπολογισμού και μέτρησης τους» Διατριβή ειδίκευσης στην Ναυτική και Θαλάσσια Τεχνολογία και Επιστήμη, Αθήνα 2009.
23. Naim JA. Hu «Matrix microcracking: Damage mechanics of composite materials» Amsterdam, Elsevier Science, 1994.
24. Favre JP «Residual thermal stresses in fibre reinforced composite materials: Mechanical behavior of composite materials», 1988.
25. G. Jeronimidis, AT. Parkyn «Residual stresses in carbon fiber thermoplastic matrix laminate» J compos matter 1988.
26. Γ. Παπανικολάου, Δ. Μουζάκης «Σύνθετα υλικά» 1^η Έκδοση, Κλειδάριθμος, Πάτρα, 2007.
27. Γ. Παπανικολάου, Γ. Μιχαλοπούλου, Μ. Ανυφαντής «Επιστήμη και τεχνολογία των συνθέτων υλικών».
28. Θ. Βάκα Πτυχ. Οικονομίας και Οικολογίας «Υλικά, κατοικία και περιβάλλον» Πτυχιακή εργασία, Αθήνα, 2005.
29. M.M. Schwartz, «Composite materials Handbook», McGraw Hill Book Company.
30. Ν.Γ. Τσούβαλης, Αναπλ. Καθ. ΕΜΠ «Μηχανική Συνθέτων υλικών», Σημειώσεις Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και Τεχνολογία των υλικών», Αθήνα, 1998.

31. Ι.Χ. Σιμιτζής Καθ. ΕΜΠ «Θερμοανλυτικές μέθοδοι και θερμικές ιδιότητες των υλικών», Αθήνα, 2004.
32. Ι.Χ. Σιμιτζής Καθ. ΕΜΠ «Τεχνικά χρονικά», Αθήνα, 1978.
33. Πινάκα Χριστίνα Δρ. Χ.Μ. «Ηλεκτρική αγωγιμότητα και μηχανικές ιδιότητες συνθέτων υλικών Ινών Άνθρακα-Νεολάκης-Μεταλλικών Κόνεων» Μεταπτυχιακή εργασία, Αθήνα, Μάρτιος 2009.
34. J.Simitjis «Polyacrylonitrile» In Handbook of thermoplastic O.Olabisi ed. Marcel Beker, New York, 1997.
35. Γεώργιος Κ. Καλλέργης Χ.Μ. ΕΜΠ «Ενισχυμένα πολυμερή με ίνες Άνθρακα: Σύστημα Εποξειδικής ρητίνης Ινών Άνθρακα» Διπλωματική Εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, 1987.
36. B. Harris, H. Reiter, T. Adam, R.F. Dickson, G. Fernando, «Fatigue behavior of Carbon Fibre reinforced Plastics Composites» Vol. 21, Issue 3, 1990.
37. <http://en.wikipedia.org/wiki/Polyacrylonitrile>
38. <http://www.madehow.com/volume>
39. Krishan K. Chawla «Composite Materials, Science and Engineering» Springer –Verlag, 2nd Edition, New York Inc, 1998.
40. G. March «Prepregs–Raw Material for High–Perfomance Composites reinforced Plastics, Vol 46.
41. Vargese S, Prakash Yadav, S.K. Nema «Investigation of thermal properties of carbon fibre composite with phenolic epoxy» Macromolecular Research Centre, R.Dd Univercity, Jabalpur India.
42. S. Sulaiman, R.Yunus, N.I. Imbrahim, F. Rezaei «Effect of hardener on mechanical properties of carbon fiber reinforced phenolic resin composites» Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 3, No1, 2008.
43. Viveta Srebrenkoska, Gordana Bogoeva-Gageva, Dimko Dimeski «Composite material based on ablative phenolic resin and carbons fibers» J. Serb. Chem. Soc. 74(4) 441-453, 2009.
44. Y.A. Kim, S. Kamio, T. Tajiri, T. Hayashi, S.M. Song and M. Endo, Faculty of Engineering Shinshu University «Enhanced thermal conductivity of carbon fiber/phenolic resin composites by the indroduction of carbon nanotubes» Wakasato, Nagano–shi, Japan.
45. J. Simitzis, K. Karagiannis, L. Zoumpoulakis, Eur. Polym. J. Vol.32, No.7 (1996), pp. 857-863.

46. J. Simitzis, K. Karagiannis, L. Zoumpoulakis, *Polymer International* 38 (1995), pp. 183-189.
47. Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2010 του Τ.Ε.Ε.
48. Σημειώσεις Φασματοσκοπίας Υπερύθρου, Α. Αντωνάκος, ΕΜΠ ΣΕΜΦΕ.
49. http://en.Wikipedia.org/wiki/infrared_spectroscopy.
50. Ε.Ι. Καμίτσος, Γ.Δ. Χρυσικός, Σημ. Φασματοσκοπίας Υπερύθρου, Ινστιτούτο Θεωρητικής και Φυσικής Χημείας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, 2005.
51. Επ. Καθ. Ν.Ε. Ζαφειρόπουλος, Αρχές Σκέδασης, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα, 2004.
52. Γ.Μ. Τσαγγάρης Καθ. ΕΜΠ «Δομή και Ιδιότητες της Στερεάς Κατάστασης», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2001, σελ. 1-35.
53. Μ. Μπουρουσιάν Επ. Καθ. ΕΜΠ «Χημεία Στερεάς Κατάστασης», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2005.
54. Egerton, R. F. «Physical principles of electron microscopy : an introduction to TEM, SEM and AEM», Springer, 2005.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (1)

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ SEM ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΕΡΑΙΤΗ



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (1)

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ



ΣΥΣΚΕΥΗ ΘΕΡΜΟΠΡΕΣΣΑΡΙΣΜΑΤΟΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (1)

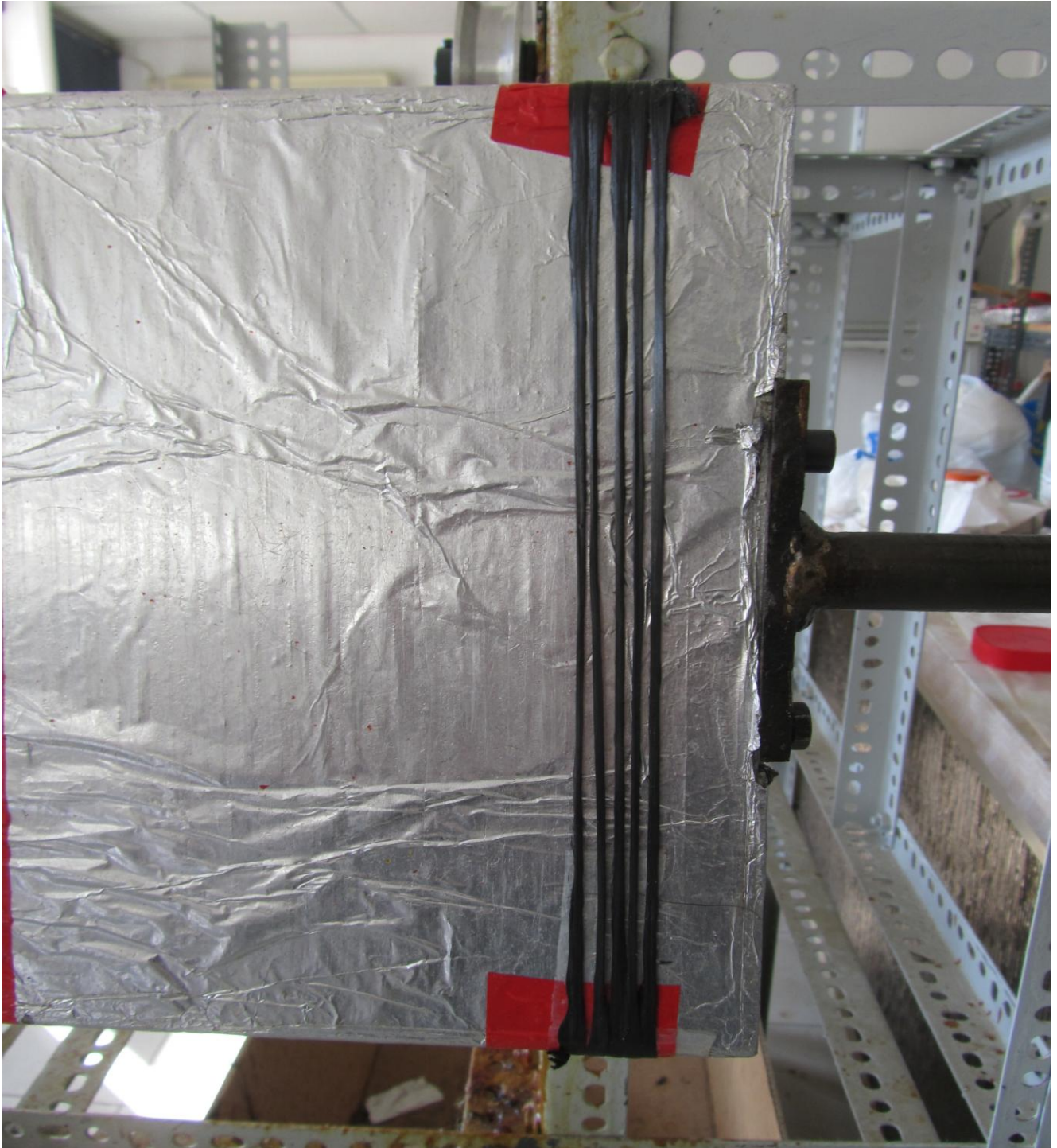
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ



ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ



ΣΥΣΚΕΥΗ ΠΡΟΔΙΑΠΟΤΙΣΗΣ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ



ΠΛΑΚΑ ΠΕΡΙΕΛΙΞΗΣ ΜΕ ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ



ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ



ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ



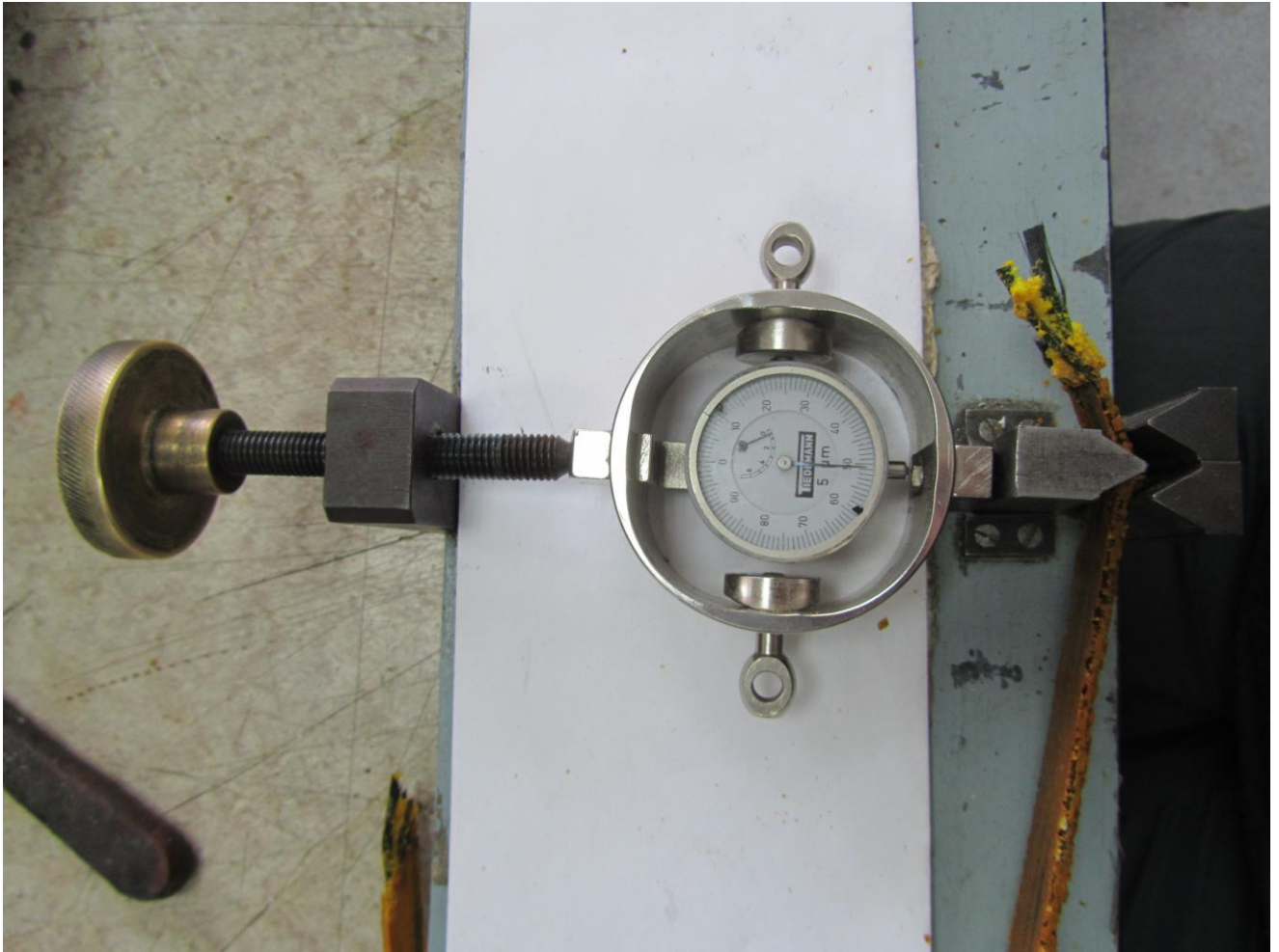
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ



ΚΑΛΟΥΠΙ ΜΕ ΔΟΚΙΜΙΑ ΕΤΟΙΜΟ ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΠΡΕΣΣΑΡΙΣΜΑ



ΔΟΚΙΜΙΑ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΘΕΡΜΟΠΡΕΣΣΑΡΙΣΜΑ



ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΜΨΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (2) MSDS ΥΛΙΚΩΝ

Material Safety Data Sheet (MSDS): Formaldehyde

Section 1: Product Identification			
Product name:	FORMALDEHYDE		
Chemical formula:	N/A		
Synonyms:	Methylene oxide, AC-4553, AC-4554, 41860, 41883		
Supplier:	Chemicals LTD 123 Anywhere St. Ottawa, ON K5R 8N9		
Material uses:	For laboratory use only.		
Section 2: Hazardous Ingredients			
Name	CAS #	%	TLV
1. Formaldehyde	50-00-0	30 – 40	Exposure limits: 0.3 ppm (0.37mg/m ³)
2. Methanol	67-56-1	5 – 15	Exposure limits: 200 ppm (262mg/m ³)
3. Water	7732-18-5	Balance	N/A
Section 3: Physical Data			
Physical state	Clear, colourless liquid with strong formaldehyde odour.		
pH	2.8 – 4.0 (25 degrees Celsius) (37% solution)		
Odour threshold	0.8 – 1ppm		
Percent volatile	100%(V/V)		
Freezing point	Insoluble polymer gradually forms.		
Boiling point	90 - 100		
Specific gravity	1.08 to 1.0975 (Water = 1)		
Vapour pressure	~40 mm of Hg (@ 39°C)		
Vapour density	0.62 to 1.04 (Air = 1)		
Evaporation rate	2.1(n-Butyl acetate = 1) (Methanol).		
Solubility	Miscible in water.		
Section 4: Fire and Explosion Data			
Flash point	50 – 78 degrees Celsius		
Flammability	Lower: 7%; Upper: 73%		
Fire extinguishing procedures	Use DRY chemical, carbon dioxide, alcohol-resistant foam or water spray. Cool containing vessels with flooding quantities of water until well after fire is out.		
Section 5: Reactivity Data			
Stability	Stable. Conditions to avoid: heat, sparks and flame, temperatures below 20°C.		
Incompatibility	May react violently with: acids, alkalis, anhydrides, isocyanates, urea, phenol, oxidizing agents, oxides, organic oxides, reducing agents, ammonia, aniline, magnesium carbonate, performic acid, alkali metals, amines, hydrogen peroxide, nitromethane, nitrogen dioxide, perchloric acid, perchloric acid-aniline mixtures, bases, monomers, water reactive materials, magnesium carbonate hydroxide.		

Section 6: Toxicological Properties

Routes of entry	Inhalation, ingestion, absorption through skin and eyes.
Effects of acute exposure	Death if inhaled or absorbed; severe eye irritation and burns; allergic dermatitis, skin burns; bronchitis, pulmonary oedema; headache, dizziness, nausea, vomiting; abdominal pain; blindness.
Effects of chronic exposure	Nasal cancer, respiratory tract irritation; reproductive disorders, asthma, dermatitis; multiple organ damage.

Section 7: Preventative Measures

Protective clothing and PPE	Wear self-contained breathing apparatus, rubber boots and heavy rubber gloves, and an acid suit.
Handling procedures	Store in a cool place away from heated areas, sparks, and flame. Store in a well ventilated area. Store away from incompatible materials. Do not add any other material to the container. Do not wash down the drain. Do not breathe gas/fumes/vapor/spray. In case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment. Keep container tightly closed. Manipulate under an adequate fume hood. Take precautionary measures against electrostatic discharges. Ground the container while dispensing. Ground all equipment containing material. Use only explosion proof equipment. Use non-sparking tools. Watch for accumulation in low confined areas. Do not use pressure to dispense. Storage temperature depends on methanol content and should be controlled to avoid precipitation or vaporization. Handle and open container with care. Take off immediately all contaminated clothing. This product must be manipulated by qualified personnel. Do not get in eyes, on skin, or on clothing. Wash well after use. In accordance with good storage and handling practices. Do not allow smoking and food consumption while handling.
Spill containment	Evacuate and ventilate the area. Stay upwind: Keep out of low areas. Eliminate all sources of ignition. Dyke the area with sand or a natural barrier. Absorb on sand or vermiculite and place in a closed container for disposal. Use non-sparking tools. Transport outdoors. Wash spill site after material pick up is complete. DO NOT empty into drains. DO NOT touch damaged container or spilled material. Runoff to sewer may create fire or explosion hazard.

Section 8: First Aid Measures

Eye contact	Immediate first aid is needed to prevent eye damage. IMMEDIATELY flush eyes with copious quantities of water for at least 20 minutes holding lids apart to ensure flushing of the entire surface. Seek immediate medical attention. DO NOT use an eye ointment.
Skin contact	Immediate first aid is needed to prevent skin damage. Immediately flush skin with plenty of water for at least 20 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Seek immediate medical attention. Wash contaminated clothing before reusing.
Inhalation	Remove patient to fresh air. Administer approved oxygen supply if breathing is difficult. Administer artificial respiration or CPR if breathing has ceased. Seek immediate medical attention.
Ingestion	If conscious, wash out mouth with water. DO NOT induce vomiting. Seek immediate medical attention.

Section 9: Preparation Information

Prepared by	Chemical Inc. Laboratories
Preparation date	Aug. 16, 2005
Contact information	(555) 555-5555

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Perlite

Not Classified as Hazardous according to criteria of Worksafe Australia

COMPANY DETAILS

Company Name: Ozperl Pty Ltd
Address: 23-25 Wentworth St Greenacre NSW 2190
Emergency Telephone: (02) 96424745
Tel/Fax: Ph: (02) 96424745 Fax: (02) 97425164

IDENTIFICATION

Product Name: PERLITE

Shipping Name (CSN): Applicable
Other Names: Name

UN Number: Not Regulated **DG Class:** Not Regulated
Packaging Group: Regulated **Hazchem Code:** Regulated

Product Use: Extender, flattening agent, filter aid, carrier for pesticides, etc.

Physical Data

Appearance: Odourless white to off white powder.

Melting Point: Not available **Boiling Point:** Not applicable
Vapor Pressure: Not applicable **Specific Gravity:** 2.34 kg/m³
Flash Point: Non applicable **Explosion Data:** Not applicable

Other Properties

Form: Solid

Ingredients

Ingredients:	Name	CAS	Proportion
	Flux calcined diatomaceous earth	68855-54-9	85.00-95.00%
	Cellulose fibre *	65996-61-4	5.00-15.00%
	*May contain, Crystalline silica:	14464-46-1	0-50.00%
	*Cristobalite Quartz	14808-60-1	0-5.00%

HEALTH HAZARD INFORMATION

Health Effects

Acute – Ingestion: No adverse effects expected.

Acute – Eye: Exposure to the dust may cause discomfort due to the particulate nature.

Acute – Skin: Not expected to be a skin irritant.

Acute – Inhalation: Inhalation of dust may result in respiratory irritation.

Chronic: Evidence indicates that repeated or prolonged exposure to Perlite dust could result in lung disorders.

First Aid

Ingestion: Rinse mouth with plenty of water – give plenty of water to drink. If vomiting occurs give further water. Seek medical advice.

Eye: Irrigate with copious quantities of water for 15 minutes. In all cases of eye contamination it is a sensible precaution to seek medical advice.

Skin: Wash contaminated skin with plenty of soap and water. If irritation occurs seek medical advice.

Inhalation: Remove victim from exposure - avoid becoming a casualty. Remove contaminated clothing and loosen remaining clothing. Allow patient to assume most comfortable position. Keep at rest until fully recovered.

Advice to Doctor

Advice to Doctor: Treat symptomatically

PRECAUTIONS FOR USE

Exposure Limits	Name	STEL		TWA		TWA Footnote
		mg/m3	ppm	mg/m3	ppm	
	* May contain Crystalline silica			0.1		

Other Exposure Info.: No value assigned for this specific material by the National Occupational Health & Safety Commission (WorkSafe Australia). However, exposure standards for constituents, Cristobalites (respirable) TWA mg/m³ 0.05 quartz TWA mg/m³ 0.1.

Engineering Controls: Ensure ventilation is adequate to maintain air concentrations below exposure standard. Avoid generating and inhaling dust. Keep containers closed when not in use.

Personal Protection

Protective Equipment: EYE: Safety glasses. Contact lenses pose a special hazard; soft lenses may absorb irritants and all lenses concentrate them. HANDS AND FEET: Wear general protective gloves: ie. Disposable polythene gloves or cotton gloves or light weight rubber gloves, with barrier cream preferably. Always wash hands before eating, drinking or using the toilet. Safety footwear. OTHER: Overalls. Eye wash unit. If dust exists, wear a dust mask/respirator meeting the requirements of AS1715 and AS1716. The local concentration of the material, quantity and condition of use determine the type of personal protective equipment required. For further information consult your Occupational Health and Safety Advisor.

Flammability

Fire Hazards: Non Combustible material. Not considered to be a significant fire risk, however in a fire containers may decompose on heating and produce toxic/ corrosive fumes of sulfuroxides (SOx) and Calcium oxide.

SAFE HANDLING INFORMATIO

N Storage

and

Transport

Storage Precautions: STORAGE REQUIREMENTS Observe manufacturer's storing and handling recommendations. Protect containers against physical damage. Keep dry. Check regularly for spills and leaks. STORAGE INCOMPATIBILITY: None. TRANSPORT: No restrictions.

Shipping Name (CSN): Not Applicable

Spills and Disposal

Spills and Leaks: MINOR SPILLS: Clean up all spills immediately. Wear impervious gloves and safety glasses and approved dust respirator. Use dry clean up procedures and avoid generating dust. Place spilled material in clean, dry sealable, labelled container. DISPOSAL: Recycle where possible. Consult State Land Waste Management Authority for disposal. Bury residue in an authorised landfill.

Fire/Explosion Hazard

Fire/Explos. Hazards: Non Combustible material. Not considered to be a significant fire risk, however in a fire containers may decompose on heating and produce toxic/ corrosive fumes of sulfuroxides (SOx) and Calcium oxide.

Hazchem Code: Not Regulated

OTHER INFORMATION

Packaging & Labelling: Packaging as recommended by manufacturer. Paper bag with sealed plastic liner. Multiply woven plastic or paper bag with sealed plastic liner. Check that containers are clearly labelled.

Toxicology: Inhaling crystalline silica-containing dust can aggravate upper respiratory conditions such as asthma or emphysema. Long term exposure to mineral dust which contains crystalline silica can cause the lung disease silicosis. A recent review by the International Agency for Research into Cancer of public literature on the carcinogenic risk of silica and silicates has concluded that there is limited evidence for the carcinogenicity of crystalline silica to humans'. We believe, however, that there is no possibility of developing cancer where adequate precautions have been adopted to prevent silicosis.

CONTACT POINT

Contact: In the case of an emergency, contact the Technical Manager on (02) 96424745 or, for additional information on this or other products, contact by fax on (02) 97425164. This material safety data sheet and the information contained herein is provided for the sole purpose of enabling persons handling and using the product to do so with safety. The information herein is believed to be an accurate transcription from data sheets provided by the manufacturer.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET -- PHENOL

1. CHEMICAL IDENTITY

Chemical Name: PHENOL Phenol		Chemical Classification:
Synonyms : Carbolic Acid, Mono hydroxy Benzene,Phenic Acid, Phenyl Hydroxide		Trade Name
Formula : C ₆ H ₅ OH	C.A.S. No. 108-95-2	U.N. No. 1671
REGULATED IDENTIFICATION		
Shipping Name :	Phenol	Hazchem Code 2 X
Codes/Label :	Poison, Class 6.	
Hazardous Waste ID No. :	13	

. Phenol 108-95-2 3
2 4

2. PHYSICAL/CHEMICAL DATA

Boiling pt./Range : 181.9 °C Pink liq.	Physical state Solid or Liquid	Appearance: white solid,
Melting/Freezing Pt : 40.9 °C Tarry Odour	Vapour Press 1mm Hg	Odour : Sweet-
Vapour Density 3.24 with (Air=1) Ether	@ 35°C at 40°C Solubility	Others : Miscible Alcohol,
Specific Gravity : 1.058 at (Water = 1) 41°C	in water at 30°C soluble pH 6(Aq. Soln)	

3. FIRE EXPLOSION HAZARD DATA

Flammability (OC) : No	LEL 1.7%	Flash Point °C 85
TDG Flammability (CC) : NA	UEL 8.6%	Flash Point °C 80.5

Auto ignition Temperature	:	715
Explosion sensitivity to impact	:	Stable
Explosion sensitivity to static Electricity	:	Data Not available
Hazardous compression products	:	Emits toxic fumes
Hazardous polymerization	:	Will not occur.

Combustible liquid : Yes : No	Explosive material : No	Corrosive material
Flammable material : No :	Oxidizer : No	Others
Pyrophoric material : No	Organic peroxide : No	

4. REACTIVITY DATA

Chemical Stability	:	Stable
--------------------	---	--------

Incompatibility with other material : **Strong Oxidizers, Butyl - Chloral Chloral Hydrate, Camphor, Lead Acetate, Menthol and Diuretin, Naphthalene**

Reactivity : Violent reaction with Aluminium chloride +Nitrobenzene (120°C), Sodium Nitrate + Trifluoro Acetic acid, Butadiene, Can react with oxidizing materials.

Hazardous : Not Available

Reaction Products

5. HEALTH HAZARD DATA

Routes of entry : Eyes, Skin, Inhalation, Ingestion.

Effects of Exposure : Will burn eyes and skin. The analgesic action may cause loss of sensation of pain

Symptoms : Readily absorbed through the skin, causing increase in heart rate, convulsions and death.

-3-

Phenol

Emergency Inhalation: If victim shows any ill effects, move him to fresh air area, keep him **Treatment** quiet and warm. If breathing stops, give artificial respiration.

Ingestion : Do not induce vomiting , give milk, egg white or large amounts of water.

Skin: Remove the contaminated clothing under water shower. Wash the affected area with plenty of flowing water and soap for 15 mins. Eyes: Immediately flush with plenty of water. Seek Medical Aid immediately for all types of exposure.

LD ₅₀ (oral Rat)	Not listed	mg/Kg	STEL	Not listed
-----------------------------	------------	-------	------	------------

Permissible Exposure limit	5(skin) ppm	19(skin) mg/m ³	Odour threshold	0.05 ppm
----------------------------	-------------	----------------------------	-----------------	----------

TLV (ACGIH)	5 (skin)ppm	19(skin) mg/m ³
-------------	-------------	----------------------------

NFPA Hazard	Health	Flammability	Reactivity
-------------	--------	--------------	------------

Special			
Signals	3	2	0

6. PREVENTIVE MEASURES

Personnel : Avoid contact with liquid and solid. Do not eat or drink at work place.

Protective : Provide fresh air mask for confined areas, rubber gloves, protective Equipment over clothing, rubber shoes and full face shield.

Handling&storage Store in a well ventilated area, away from heat and flame. Out door

Precautions storage is preferred.

7. EMERGENCY FIRST AID MEASURES

FIRE

Fire extinguishing media : Alcohol Foam, Carbon dioxide, Dry chemical Powder.

Special procedure	:	Keep the containers cool by spraying water if exposed to heat or flame
Unusual Hazards	:	Vapors form explosive mixture with air

EXPOSURE

First Aid measures : If inhaled, remove the victim to fresh area, give artificial respiration if required,. If ingested, do not induce vomiting; give the victim milk, egg white and large amount of eyes and skin are

affected wash with plenty of water.

Seek

Medical aid immediately for all types of exposures. Anti

dotes/Dosages : Not available **SPILLS**

Steps to be taken : Use absorbent paper to pick up spilled material. Wash the surface with soap and water.

Waste Disposal method : Seal all waste in vapour tight plastic bags for eventual disposal.

8. **ADDITIONAL INFORMATION /REFERENCES**

Absorption of Phenolic solution through the skin may be very rapid, can cause death in a few minutes to several hours by exposure of as little as 64 square inches of skin. Lesser exposure may cause damage to kidneys, liver, pancreas, spleen, lungs. Causes corrosion of lips, mouth, throat. Ingestion of 15 gms. may be fatal. Potentially explosive reaction with Aluminum chloride + Nitro methane (110°C/110 Bar), Formaldehyde, Peroxydisulphuric acid, Peroxymonosulphuric Acid, Sodium Nitrate + Heat.

9. **Disclaimer:** The information contained in this Safety data sheet is believed to be reliable, but no representation guarantee or warranties of any kind are made as to its accuracy, suitability for a particular application or results to be obtained from them. HOCL makes no warranties expressed or implied in respect of the adequacy of this document for any particular purpose

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Γεώργιος Κ. Καλλέργης

Διεύθυνση οικίας: Πλαστήρα 30, Ν. Σμύρνη
Τηλέφωνα επικοινωνίας: 210 9317338, 6972 406731
Ημερομηνία γέννησης : 07/03/1963
Οικογενειακή κατάσταση: Έγγαμος (1 αγόρι)

ΣΠΟΥΔΕΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Χημικός Μηχανικός

1982-1988

Διπλωματική εργασία

Εργαστήριο Ειδικής Χημικής Τεχνολογίας
Θέμα: “Ένισχυμένα πολυμερή με ίνες άνθρακα”

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΕΙΣ

1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Πολυμερών

1988

Θέμα: “Σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης με ίνες άνθρακα τροποποιημένης ή μη επιφάνειας και δομής”

ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε.

10/2005-σήμερα

Διεύθυνση Διαπίστευσης Φορέων Πιστοποίησης & Ελέγχου

Η εταιρεία Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. είναι ο αρμόδιος Εθνικός Φορέας για την υλοποίηση, εφαρμογή και διαχείριση του Εθνικού Συστήματος Διαπίστευσης (Ν. 2231/1994 & Ν. 3066/2002). Εκ της αρμοδιότητάς αυτής, η εταιρεία αποτελεί τον επίσημο τεχνικό σύμβουλο του κράτους σε θέματα διαπίστευσης.

Για την υλοποίηση του σκοπού της, η εταιρεία πραγματοποιεί αξιολογήσεις Φορέων Πιστοποίησης, Φορέων Ελέγχου και Εργαστηρίων σχετικά με την ικανότητά τους να διενεργούν πιστοποιήσεις, ελέγχους, διακριβώσεις και δοκιμές.

Θέση Εργασίας:

Τεχνικός Διαπίστευσης

Κύριες Αρμοδιότητες:

- Υπεύθυνος διαχείρισης διαπίστευσης **Φορέων Ελέγχου** σύμφωνα με το Πρότυπο **ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17020** (ΕΛΟΤ EN 45004) στα κάτωθι πεδία διαπίστευσης
 - Οδηγίες Νέας Προσέγγισης (υποχρεωτικός τομέας)
 - Εθνικές και Κανονιστικές Διατάξεις (προαιρετικός τομέας)
- Υπεύθυνος διαχείρισης διαπίστευσης Εργαστηρίων Περιβαλλοντικών Δοκιμών και Μετρήσεων σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025 για 1 χρόνο.
- Επικεφαλής Αξιολογητής του Ε.ΣΥ.Δ στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17021 με τεχνική επάρκεια στα κάτωθι πεδία διαπίστευσης:
 - Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 14001

- Συστήματα Διαχείρισης Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία σύμφωνα με το πρότυπο OHSAS 18001
- Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 9001
- Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας σύμφωνα με τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης
- Επικεφαλής Αξιολογητής του Ε.ΣΥ.Δ στον Κανονισμό 761:2001 (EMAS)
- Επικεφαλής Αξιολογητής του Ε.ΣΥ.Δ στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 45011 με τεχνική επάρκεια στα κάτωθι πεδία διαπίστευσης:
 - Δομικά υλικά
 - Εξοπλισμός υπό πίεση
 - Μεταφερτός εξοπλισμός υπό πίεση
 - Υπηρεσίες καταδύσεων αναπνοής
 - Πυροσβεστήρες
 - Επαλήθευση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (EU-ETS)
- Αξιολογητής του Ε.ΣΥ.Δ. στα κάτωθι πρότυπα και πεδία διαπίστευσης
 - ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17020 για τη Διαπίστευση Φορέων Ελέγχου Προϊόντων / Διεργασιών
- Υπεύθυνος για τη λειτουργία της Ειδικής Τεχνικής Επιτροπής Φορέων του Ε.ΣΥ.Δ., ΕΤΕΦ7-Φορείς Ελέγχου (πλην Φορέων Ελέγχου ΚΤΕΟ, ADR & ATP)
- Εκπρόσωπος του Ε.ΣΥ.Δ. στις Ευρωπαϊκές Τεχνικές Επιτροπές
 - Horizontal Harmonization Committee (HHC) της European Co-Operation for Accreditation-EA
 - Certification Committee (CC) της European Co-Operation for Accreditation-EA
 - Inspection Committee (IC) της European Co-Operation for Accreditation-EA
- Ορισμένος από τα αρμόδια όργανα της Ευρωπαϊκής Συνεργασίας για τη Διαπίστευση διαχειριστής του δικτύου της ΕΑ για την Οδηγία Δομικών Προϊόντων (Construction Product Directive Network Convener)
- Συμμετοχή στη συγγραφή Κατευθυντήριων Οδηγιών, Διαδικασιών, Οδηγιών Εργασίας και λοιπών εγγράφων του Συστήματος Διαχείρισης της Ποιότητας του Ε.ΣΥ.Δ.
- Αξιολογητής του Ε.ΣΥ.Δ. για τον δειγματοληπτικό έλεγχο επιχειρήσεων που επιδοτήθηκαν στο πλαίσιο του Προγράμματος “ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΘΕΙΤΕ” κατόπιν σχετικής ανάθεσης στο Ε.ΣΥ.Δ. από τη Διεύθυνση Πολιτικής Ποιότητας του Υπουργείου Ανάπτυξης

ΜΑΘΙΟΣ ΠΥΡΙΜΑΧΑ Α.Ε. (Βουλγαρία)

03/2005-10/2005

Εταιρεία Παραγωγής και Εμπορίας Πυριμάχων, Δομικών Υλικών και Τεχνητών Λίθων

Η εταιρεία **ΜΑΘΙΟΣ ΠΥΡΙΜΑΧΑ Α.Ε.** διαθέτει μονάδες παραγωγής σε Ελλάδα και Βουλγαρία και απασχολεί συνολικά 250 άτομα. Διαθέτει γραφεία σε Γερμανία, Γαλλία, Η.Π.Α. και Μέση Ανατολή. Είναι εισηγμένη στο Χρηματιστήριο Αξιών Αθηνών.

Θέση Εργασίας:

Διευθυντής Έργου (Project Manager) / Διευθυντής Εργοστασίου Παραγωγής Προϊόντων Σκυροδέματος στη Βουλγαρία

Κύριες Αρμοδιότητες:

- Μελέτη, σχεδιασμός και εγκατάσταση εργοστασίου παραγωγής προϊόντων σκυροδέματος (τεχνητοί λίθοι) και δομικών υλικών (κονιάματα)
- Κατάρτιση προϋπολογισμών και χρονοδιαγραμμάτων υλοποίησης έργου
- Παρακολούθηση υλοποίησης και ολοκλήρωσης έργου
- Έναρξη λειτουργίας εργοστασίου, συμπεριλαμβανομένων των διοικητικών τμημάτων (τμήματα πωλήσεων και λογιστηρίου), και παραγωγικής διαδικασίας
- Εποπτεία παραγωγικής δραστηριότητας εργοστασίου
- Παρακολούθηση και διαχείριση της διαδικασίας πιστοποίησης του συνόλου των δραστηριοτήτων της μονάδας σύμφωνα με το πρότυπο ISO 9001:2000

Το εργοστάσιο απασχολούσε 50 άτομα.

ΓΙΟΥΛΑ Α.Ε.

06/1991-02/2005

Εταιρεία παραγωγής προϊόντων γυαλιού (υάλινων περιεκτών)
Τεχνική Διεύθυνση

Η εταιρεία **ΓΙΟΥΛΑ Α.Ε.** κατέχει εξέχουσα θέση στην Ελληνική, Ρουμανική, Βουλγαρική και Ουκρανική αγορά. Στην Ελλάδα απασχολεί 200 άτομα.

Θέση Εργασίας:

Τεχνική Διεύθυνση Ομίλου ΓΙΟΥΛΑ Α.Ε.

Κύριες Αρμοδιότητες:

- Προϊστάμενος κλιβάνων και αναμεικτηρίου αδρανών υλικών (περιλάμβανε την επίβλεψη πλέον των 30 ατόμων, συμπεριλαμβανομένων μηχανικών, ηλεκτρολόγων και ηλεκτρονικών)
- Υπεύθυνος για θέματα σχεδιασμού, εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης αναμεικτών, κλιβάνων, πυρίμαχων υλικών, δομικών πυρίμαχων υλικών, εγκαταστάσεων φυσικού αερίου, νηξέλ, πετρελαίου, LPG
- Υπεύθυνος για την εκπόνηση οικονομοτεχνικών μελετών σχετικά με νέες επενδύσεις στα εργοστάσια του Ομίλου
- Υπεύθυνος για την εκπόνηση ενεργειακών μελετών σχετικά με την ορθολογικότερη χρήση της ενέργειας στα εργοστάσια του Ομίλου
- Υπεύθυνος προγραμματισμού παραγωγής εργοστασίου Αθηνών
- Υπεύθυνος προγραμματισμού και αναπλήρωσης αποθεμάτων πρώτων υλών και ανταλλακτικών (MRP)
- Υπεύθυνος προληπτικής συντήρησης εργοστασίου Αθηνών
- Τεχνικός Υγιεινής και Ασφαλείας εργοστασίου Αθηνών (εκπρόσωπος της εταιρείας έναντι του νόμου και των αρμόδιων αρχών)
- Υπεύθυνος για θέματα Περιβάλλοντος και Περιβαλλοντικής Πολιτικής της εταιρείας ΓΙΟΥΛΑ Α.Ε. (εκπρόσωπος της εταιρείας έναντι του νόμου και των αρμόδιων αρχών)
- Υπεύθυνος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας ανακύκλωσης και διαχείρισης υλικών (γυαλί, χαρτί, πλαστικά) του εργοστασίου Αθηνών

ΚΡΟΝΟΣ Α.Β.Ε.Ε.

12/1990-06/1991

Εταιρεία παραγωγής επιτραπέζιων υάλινων προϊόντων
Τεχνική Διεύθυνση Εργοστασίου

Θέση Εργασίας:

Προϊστάμενος κλιβάνων και αναμεικτηρίου αδρανών υλικών

Κύριες Αρμοδιότητες:

- Υπεύθυνος λειτουργίας και συντήρησης κλιβάνων και αναμεικτηρίου
- Υπεύθυνος προγραμματισμού και αναπλήρωσης αποθεμάτων πρώτων υλών και ανταλλακτικών (MRP)
- Υπεύθυνος Περιβάλλοντος και Περιβαλλοντικής Πολιτικής εταιρείας

ΜΟΝΥΛΑ Α.Β.Ε.Ε.

1/1990-12/1990

Εταιρεία παραγωγής και εμπορίας δομικών και μονωτικών υλικών
Τμήμα Μελετών και Εφαρμογών

Θέση Εργασίας:

Τεχνικός εφαρμογών μονωτικών και δομικών υλικών

Κύριες Αρμοδιότητες:

- Υπεύθυνος για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη μελετών θερμομόνωσης σε βιομηχανικούς πελάτες
- Υπεύθυνος για την εκπόνηση μελετών σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας
- Πωλητής προϊόντων υαλοβάμβακα σε βιομηχανικούς πελάτες

ΣΧΟΛΗ ΑΕΡΟΠΟΡΙΑΣ ΣΤΡΑΤΟΥ

03/1989-10/1989

Κατά την διάρκεια της στρατιωτικής μου θητείας, εργάστηκα ως υπεύθυνος του εργαστηρίου ορυκτελαίων και καυσίμων για χημικές αναλύσεις ορυκτελαίων ελικοπτέρων και αεροσκαφών.

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Εσωτερικός εκπαιδευτής του Ομίλου ΓΙΟΥΛΑ Α.Ε. στα κάτωθι αντικείμενα εκπαίδευσης:

- Διοίκηση Ολικής Ποιότητας / Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας (ISO 9001)
- Περιβάλλον / Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης (ISO 14001, EMAS)
- Υγεία και Ασφάλεια στην Εργασία / Συστήματα Διαχείρισης Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία (ΕΛΟΤ 1801, OHSAS 18001)

Εσωτερικός εκπαιδευτής της Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε. στα κάτωθι αντικείμενα εκπαίδευσης:

- Οδηγίες Νέας Προσέγγισης (Σήμανση CE σε προϊόντα τα οποία διακινούνται στην Ευρώπη)
- Πρότυπα Διαπίστευσης ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17020, ΕΛΟΤ EN 45011, ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17021
- Πρότυπα περιβάλλοντος, ενέργειας, ασφάλειας στην εργασία.

ΛΟΙΠΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

- Ξένες γλώσσες : Αγγλικά (επίπεδο : Lower of Cambridge)
- Γνώσεις χρήσης Η/Υ: Windows 2000, Word, Excel, Powerpoint, Internet, MS Project

ΛΟΙΠΕΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

- Μέλος ΤΕΕ με Αριθμό Μητρώου 55535
- Μέλος Πανελληνίου Συλλόγου Χημικών Μηχανικών
- Μέλος Ελληνικού Υαλουργικού Συνδέσμου
- Μέλος Ελληνικής Εταιρείας Πολυμερών
- Αξιολογητής επενδυτικών προτάσεων ενταγμένος
 - στο Μητρώο Αξιολογητών του Υπουργείου Ανάπτυξης για τη Δράση 3.1.2 “Προσδιορισμός Αξιοπιστίας & Απόδοσης Ενεργειακού Εξοπλισμού και Ενεργειακών Προϊόντων” του Μέτρου 3.1 “Προώθηση Επιχειρηματικής Αριστείας στον Τομέα Ενέργειας”
 - στο Μητρώο Αξιολογητών του ΕΟΜΜΕΧ για τις Δράσεις του ΕΣΠΑ
 - στο Μητρώο Αξιολογητών του ΕΦΕΠΑΕ στους κωδικούς Ενέργειας, Ποιότητας, Περιβάλλοντος και Εμπορίου
 - στο Μητρώο Αξιολογητών του Υπουργείου Οικονομικών για τις Δράσεις του ΕΣΠΑ

ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ

ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “Πρότυπο ΕΛΟΤ 1429 & Οδηγία Εφαρμογής ΕΛΟΤ 1431-1, ΕΛΟΤ 1431-2 και ΕΛΟΤ 1431-3”	5/2009
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 22000” “Πρότυπο ISO/TS 22003”	11/2008
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 22000 – Πρότυπο ISO/TS 22003”	7/2008
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “IAF GD 3:2003 Guidance on Cross Frontier Accreditation - EA-2/13 (rev.00) EA Cross Frontier Policy for Cooperation between EA Members”	7/2008
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “EA-3/01 EA Conditions for the use of Accreditation Marks” “1996 Conditions for use of the National Accreditation Logo by Accredited Laboratories”	7/2008
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “Η Διαπίστευση ως απαραίτητη προϋπόθεση για την κοινοποίηση”	7/2008
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “Οδηγία των Δομικών υλικών”	5/2008
ΙΕΚΕΜ ΤΕΕ “Εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 97/23 σχετικά με εξοπλισμό υπό πίεση”	1/2008
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “Ανάλυση των Απαιτήσεων του Προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025:2005 – Παρουσίαση & Εφαρμογή του Συστήματος Διαχείρισης της Ποιότητας του Ε.ΣΥ.Δ.”	10/2007
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “Ανάλυση των Απαιτήσεων του Προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17021 – Σχεδιασμός και Διεξαγωγή Επιθεωρήσεων σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 19011 – Παρουσίαση και Εφαρμογή του Συστήματος Διαχείρισης της Ποιότητας του Ε.ΣΥ.Δ.”	9/2007
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “Κατάρτιση Διοικητικού και Τεχνικού Προσωπικού στο Εξωτερικό”	5/2007
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “Ανάλυση των απαιτήσεων του Προτύπου EUREPGAP” “Κανονισμοί 852-853-854-882/2004”	4/2007
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “Κατάρτιση σε Οδηγίες Νέας Προσέγγισης του Συμβουλίου της Ε.Ε.”	4/2007
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “Ανάλυση των Απαιτήσεων του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 45011 – Ανάλυση των Απαιτήσεων του Προτύπου ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17020 – Σχεδιασμός και Διεξαγωγή Επιθεωρήσεων σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 19011 – Παρουσίαση και Εφαρμογή του Συστήματος Διαχείρισης της Ποιότητας του Ε.ΣΥ.Δ.”	3/2007
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ “Ερμηνεία και Ανάλυση Αποτελεσμάτων και Πιστοποιητικών Διακρίβωσης”	5/2006
EUROPEAN CO-OPERATION FOR ACCREDITATION - EA Workshop on ISO/IEC 17021:2006	
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε. “ΕΛΟΤ EN ISO 22000:2005 - Συστήματα Διαχείρισης της Ασφάλειας Τροφίμων - Απαιτήσεις για τους Οργανισμούς της Αλυσίδας Τροφίμων”	2/2006
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε.	12/2005

“ΕΛΟΤ 1801 - Συστήματα Διαχείρισης της Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία - Προδιαγραφή”	
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε.	10/2005
“ΕΛΟΤ EN ISO 14001 - Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης - Απαιτήσεις με καθοδήγηση για χρήση”	
ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΠΙΣΤΕΥΣΗΣ (Ε.ΣΥ.Δ.) Α.Ε.	10/2005
“ΕΛΟΤ 1416 - Σύστημα Διαχείρισης της Ασφάλειας των Τροφίμων -Ανάλυση Κινδύνων και Κρίσιμα Σημεία Ελέγχου (HACCP)”	
ΕΛΛΗΝΟΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ	12/2004
“LCCIEB Principles & practice of Management”	
ΕΛΛΗΝΟΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ	5/2004
“The art of project Management”	
ΚΕΚ ΙΒΕΠΕ	5/2004
“Υποσταθμοί Μέσης Τάσης”	
ΕΥΡΩΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ	4/2002
“Αδειοδότηση βιομηχανιών –βιοτεχνιών”	
ΕΥΡΩΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ	1/2002
“Σύνταξη μελέτης εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου της επιχείρησης.”	
INTELTEC ΕΥΡΩΠΗΣ	11/2001
“Στατιστικός έλεγχος διεργασιών”	
ΕΥΡΩΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ	10/2001
“Υγεία και Ασφάλεια –οργάνωση και πρόληψη επαγγελματικών κινδύνων”	
ΕΛΟΤ – ΕΝΩΣΗ ΕΛΛΗΝΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ	2/2001
“Ενημέρωση για το πρότυπο 18001, Υγιεινή και Ασφάλεια”	
EUCAT S.A.	11/1999
“Εσωτερικές επιθεωρήσεις”	
OWENS BROCKWAY, OHIO USA	5/1999
“Glass and raw material technology”	
OWENS-BROCKWAY	5/1999
“In situ stone identification”	
OWENS-BROCKWAY	5/1999
“Cord analysis training”	
Ε.ΚΕ.ΠΕΕ –ΔΕΠΑ	12/1998
“Φυσικό αέριο ”	
“Εισαγωγή του φυσικού αερίου στην Ελληνική Αγορά	
EUCAT , CONTROL AND PLANNING	12/1998
“Εσωτερικοί επιθεωρητές”	
CONTROL AND PLANNING	9/1998
“Εφαρμοσμένο MRP”	
THE CENTER FOR PROFESSIONAL ADVANCEMENT	6/1993
“Fundamentals of glass technology”	
ΕΛΚΕΠΑ	12/1991
“Περιβαλλοντική Διάγνωση Επιχειρήσεων”	
ΚΕΝΤΡΟ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΩΝ ΑΘΗΝΑΣ	12/1990
“5 ^η γενιά προγραμματισμού με Prolog και έμπειρα συστήματα σε μικροϋπολογιστές και τοπικά δίκτυα αυτών”	
ΚΕΝΤΡΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	11/1990
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ	
ΑΝΩΤΑΤΗ ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ	10/1990
“Management για σύγχρονες επιχειρήσεις”	

ΣΥΝΕΔΡΙΑ - ΗΜΕΡΙΔΕΣ

EUROLAB “Accreditation and Market Surveillance”	11/2008
ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ “Ευρωπαϊκή Τυποποίηση και Ελληνική Πραγματικότητα”	5/2008
ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ “Έτος τυποποίησης κανόνων & προδιαγραφών”	5/2008
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ “7 Διεθνές Συνέδριο περιβαλλοντικής επιστήμης και τεχνολογίας”	11/2001
ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΥΑΛΟΥΡΓΙΚΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ/ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ “Διεθνές συνέδριο: Ιστορία ,τεχνολογία και συντήρηση γυαλιού και υαλωδών υλικών του Ελληνικού κόσμου”	9/2001