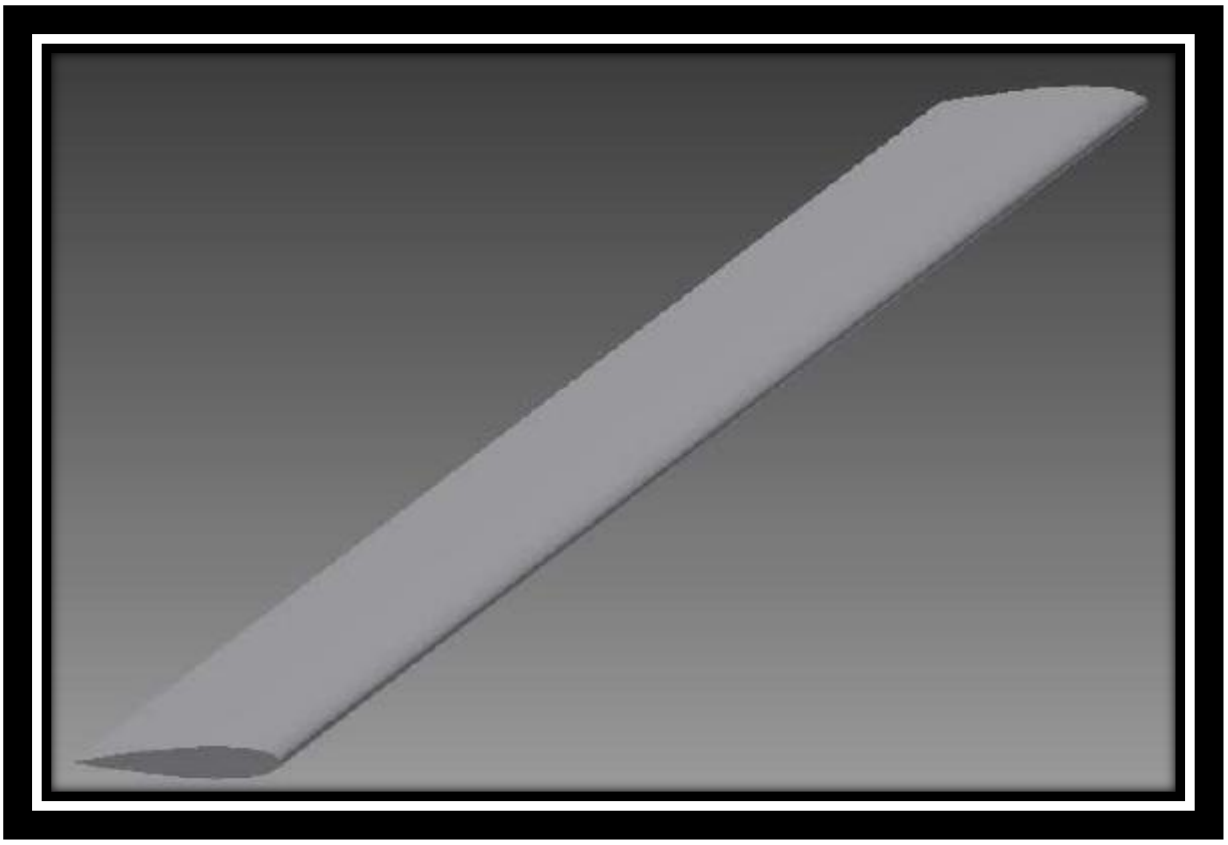
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΕΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΤΕΡΥΓΙΟΥ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΜΕ ΧΥΤΕΥΣΗ ΣΕ ΔΙΑΙΡΕΤΟ ΚΑΛΟΥΠΙ



Καπαδουκάκη Ελευθερία

Χανιά 2015

Επιβλέπον Καθηγητής
Δρ. Δημητρίου Βασίλειος, Επίκουρος Καθηγητής
ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 6
1. Ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα 7
1.1 Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα τύπου Darrieus 7
1.2 Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα τύπου Savonius 10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 12
2. Υλικά 12
2.1 Μέταλλα 13
2.1.1 Σιδηρούχα κράματα 14
I. Χυτοσίδηροι 14
II. Χάλυβας 19
2.1.2 Μη σιδηρούχα κράματα 21
I. Χαλκός 21
II. Αλουμίνιο 22
III. Ορείχαλκος 23
2.2 Κεραμικά 26
2.2.1 Καρβίδιο του πυριτίου 26
2.2.2 Καρβίδιο του βολφραμίου 28
2.2.3 Διαμάντι 29
2.2.4 Κεραμικά υλικά κοπής 33
2.3 Πολυμερή 33
2.3.1 Θερμοπλαστικά 34
I. Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (C2F4)n 34
II. Πολυπροπυλένιο (PP-H) 35
III. Πολυαιθυλένιο (PE) 37
IV. Πολυστυρένιο (C8H8)n 40
V. Πολυβινυλοχλωρίδιο (C2H3Cl)n 42
VI. Μεθακρυλικό μεθύλιο 44
VII. Βακελίτης 47
2.3.2 Θερμοσκληρυνόμενα 48
I. Η ρητίνη 48
II. Βινιλεστέρες 51

2.3.3 Προτεινόμενα υλικά πλήρωσης καλουπιού 51
I. Έγχυτα Κονιάματα Εποξειδικής Βάσης 52
II. Έγχυτα Κονιάματα Πολυουρεθανικής Βάσης - Τεχνολογίας Icosit 54
III. Ελαστομερή 55
2.4 Σύνθετα υλικά 56
2.4.1 Carbon (ανθρακονήματα) 57
2.4.2 Fiberglass (υαλονήματα) 58
2.4.3 Kevlar 60
2.4.4 Πάνελ Πολυπροπυλενίου (Honeycomb with Polyester Fleece Layer) 61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 63
3. Κατεργασιμότητα 63
3.1 Χύτευση 63
3.2 Κατηγορίες χύτευσης 65
3.2.1 Χύτευση σε καλούπια μιας χρήσης 65
I. Αμμοχύτευση 65
II. Χύτευση κελύφους 68
III. Χύτευση με εξατμιζόμενο μοντέλο 69
IV. Χύτευση σε γύψο 69
V. Χύτευση σε κεραμικό καλούπι 70
VI. Τεχνική του χαμένου κεριού 71
3.2.2 Χύτευση σε καλούπια πολλαπλών χρήσεων 74
I. Χύτευση σε μόνιμο καλούπι υπό πίεση 74
II. Χύτευση με χαμηλή πίεση 75
III. Χύτευση σε μήτρα 75
IV. Φυγοκεντρική χύτευση 77
V. Χύτευση σφυρηλάτησης 78
VI. Συνεχής χύτευση 78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 82
4. Υλικά και μέθοδοι εφαρμογής για καλούπι 82
I. Κατεργασίες για τη δημιουργία διαιρετού καλουπιού 82
II. Συναρμολόγηση σκελετού καλουπιού 83
4.1 Υλικά και μέθοδοι εφαρμογής για πτερύγιο 85
4.1.1 Προτεινόμενα υλικά για κατασκευή πτερυγίου 87
4.1.2 Με βάση το υλικό της μήτρας, οι μέθοδοι μορφοποίησης ινωδών σύνθετων υλικών μπορούν να καταταγούν στις εξής κατηγορίες 88
4.2 Μέθοδος Vacuum Infusion 94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 97
5. Συμπεράσματα 97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 99
Βιβλιογραφία 99

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Καθηγητή Εφαρμογών Βασίλη Δημητρίου, του Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, για την δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία. Με την τεράστια υπομονή, το γλυκύτατο λόγο και τις συνεχείς υποδείξεις και συμβουλές του, απέκτησα πιο ώριμο τρόπο σκέψης και σημαντικά εφόδια για την μετέπειτα ζωή μου. Επίσης ευχαριστώ θερμά τον Θεόδωρο Παπαδουλή για τις συνεχείς διορθώσεις, τις πηγές που μου υπέδειξε για να αναζητήσω υλικό και τον χρόνο που μου αφιέρωσε. Επίσης ευχαριστώ την Ελένη Βαριαντζά που με βοήθησε στην μορφοποίση της πτυχιακής.

Χανία 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μέρος καθολικής κατασκευής ανεμογεννήτριας καθέτου άξονα.

Βασιζόμενη στην πτυχιακή εργασία του Νικολάου Φιάλα, γίνεται περιληπτική αναφορά της μοντελοποίησης και κατασκευής του καλουπιού των πτερυγίων ανεμογεννήτριας Darrieus-H. Κατόπιν επικεντρωθήκαμε στην έρευνα για την επιλογή του καταλληλότερου υλικού για την πλήρωση του καλουπιού και την κατασκευή του ανεμοπτερυγίου. Προτεινόμενα υλικά για την πλήρωση του καλουπιού είναι τα έγχυτα κονιάματα εποξειδικής βάσης, τα έγχυτα κονιάματα πολυουρεθανικής βάσης, οι σιλικόνες Dow-Corning και το συνθετικό καουτσούκ.

Με την ολοκλήρωση της πλήρωσης του καλουπιού επέρχεται το στάδιο της χύτευσης του ανεμοπτερυγίου κατά την οποία θα εφαρμοστεί η μέθοδος Vacuum Infusion και ως υλικά προτείνεται να χρησιμοποιηθούν τα: Carbon, Fiberglass, Kevlar και πάνελ πολυπροπυλενίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

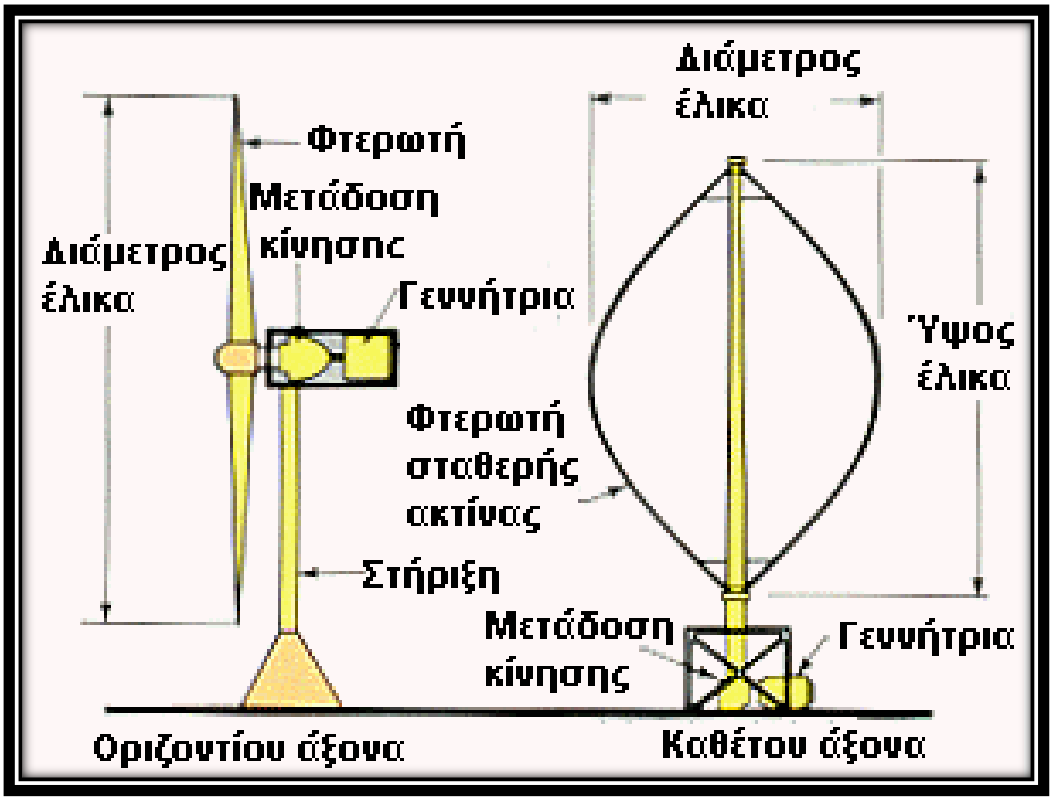
Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με την μελέτη πλήρωσης ενός υπάρχοντος καλουπιού-σκελετού που μας δόθηκε από την πτυχιακή εργασία του Νικόλαου Φιάλα. Με σκοπό την ορθή διεξαγωγή πλήρωσης του σκελετού-καλουπιού (Εικόνα 1.1) πρέπει να επιλεγεί ένα υλικό, το οποίο θα είναι ελαφρύ με σκοπό να δίνει μια λεία τέλεια επιφάνεια στο ανεμοπτερύγιο. Παρακάτω θα αναφερθούν πιο εκτεταμένα ορισμένα υλικά, των οποίων τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες τα καθιστούν καταλληλότερα για την κατασκευή ανεμοπτερυγίου, κάθως επίσης και το κόστος των υλικών. Με την ολοκλήρωση του σταδίου της πλήρωσης του σκελετού επέρχεται το στάδιο της χυτευσής του, κατά την οποία θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα υλικό από τις παρακάτω κατηγορίες, το οποίο θα πλειρεί τις απαραίτητες προϋποθέσεις αλλά και το συμβατό κόστος.[1]



Εικόνα 1.1. Άνω και κάτω τμήμα συναρμολογημένου σκελετού καλουπιού.

1. Ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κατασκευής ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα, η Savonius και η Darrieus. Η Savonius έχει σχήμα S στην κάτοψη, ενώ η Darrieus είναι σαν καλάθι. Ωστόσο, υπάρχουν και ανεμογεννήτριες που είναι συνδυασμός των δύο αυτών τύπων (βλ. Εικόνα 1.2). [1]



Εικόνα 1.2. Βασικά μέρη ανεμογεννητριών.

1.1 Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα τύπου Darrieus

Ο σχεδιασμός της ανεμογεννήτριας καθέτου άξονα Darrieus έγινε από έναν Γάλλο αεροναυπηγό τον George Jean Marie Darrieus το 1931. Οι ανεμογεννήτριες τύπου Darrieus αποτελούνται από καμπτόμενα πτερύγια και λειτουργούν με τη χρήση των δυνάμεων της άντωσης που ασκούνται πάνω στα πτερύγια. Ο αριθμός των πτερυγίων μπορεί να είναι δύο, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.3, τρία ή και περισσότερα. Ο λόγος που τα πτερύγια είναι καμπτόμενα είναι οι μεγάλες καμπτικές τάσεις που προκαλούνται λόγω των φυγοκεντρικών δυνάμεων από την περιστροφή. Οι καμπτικές τάσεις μειώνονται σημαντικά εάν τα πτερύγια έχουν τη μορφή που θα έπαιρνε ένα χαλαρό σχοινί κατά την περιστροφή του. Αυτό συμβαίνει σε μεγάλες ανεμογεννήτριες. Σε μικρότερες, όπου οι φυγοκεντρικές δυνάμεις δεν είναι τόσο

μεγάλες, τα πτερύγια είναι κατακόρυφα ή έχουν διάφορες μορφές ανάλογα με τις παραλλαγές του δρομέα.



Εικόνα 1.3. Ανεμογεννήτρια Darrieus.

Τα πτερύγια τοποθετούνται σε διάταξη 180 ή 120 μοιρών. Η επιλογή του πλήθους των πτερυγίων πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή καθώς ο διπτέρυγος δρομέας έχει έντονη μεταβολή της ροπής με έντονες αποκλίσεις από τη μέση τιμή. Αντίθετα η αεροδυναμική του τριπτέρυγου δρομέα είναι σχετικά σταθερή σε ολόκληρη την περιοχή λειτουργίας του. Επίσης η αεροδυναμική απόδοση του τριπτέρυγου δρομέα είναι κατά κανόνα καλύτερη από αυτής του διπτέρυγου. Βέβαια είναι προφανές ότι ο διπτέρυγος είναι πιο οικονομικός.

Άλλος τρόπος είναι η τοποθέτηση στον άξονα περιστροφής ενός μικρού δρομέα Savonius (περιγράφονται σε ακόλουθη παράγραφο) που χάρη στη μεγάλη ροπή εκκίνησης εξασφαλίζει εκκίνηση χωρίς προβλήματα. Μια τέτοια ανεμογεννήτρια παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.4.



Εικόνα 1.4. Ανεμογεννήτρια Darrieus με βοηθητική Savonius.

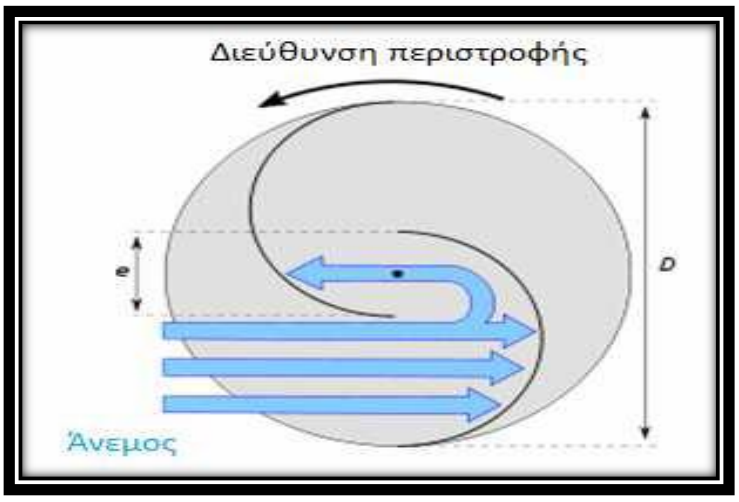
Παραλλαγή της ανεμογεννήτρια Darrieus είναι η Darrieus-H (βλ. Εικόνα 1.5), που έχει πάρει το όνομα της από το σχήμα της που θυμίζει το H. Η διαφορά με την κλασσική Darrieus είναι τα πτερύγια τα οποία είναι κάθετα σε αυτήν την περίπτωση. Λόγω των κάθετων πτερυγίων η ταχύτητα περιστροφής μπορεί να είναι μεγαλύτερη, άρα η απόδοση είναι καλύτερη. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι με την σωστή επιλογή πτερυγίων, μπορεί να επιτευχτεί εκκίνηση χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας ή τη χρήση βοηθητικής Savonius.[1]



Εικόνα 1.5. Ανεμογεννήτρια Darrieus τύπου-Η.

1.2 Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα τύπου Savonius

Στις ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα τύπου Savonius, ο δρομέας ονομάζεται τύπου S λόγω του σχήματος της κάτοψης των πτερυγίων. Όπως παρουσιάζεται και στις Εικόνες 1.6 και 1.7. Η περιστροφή του δρομέα από τον άνεμο δεν οφείλεται μόνο στη διαφορά του συντελεστή αντιστάσεως του κοίλου και του κυρτού πτερυγίου, αλλά και στο διάκενο (e), χάρη στο οποίο ο αέρας περνάει μέσα από αυτό και αυξάνει την πίεση στο πίσω μέρος του κυρτού πτερυγίου, αυξάνοντας έτσι τη ροπή που αναπτύσσεται γύρω από τον άξονα.



Εικόνα 1.6. Λειτουργία ανεμογεννήτριας Savonius.

Ο δρομέας Savonius λόγω του ότι είναι κατακόρυφου άξονα και παρουσιάζει συμμετρία, προσανατολίζεται αυτόματα κατά τη διεύθυνση του ανέμου και δεν έχει συνεπώς την ανάγκη των ακριβών διατάξεων προσανατολισμού του οριζοντίου άξονα. Επίσης το παραγόμενο μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα απ' ευθείας στο έδαφος όπου βρίσκεται και η γεννήτρια. Έτσι μειώνεται το κόστος σε σχέση με του οριζοντίου άξονα, που τα όργανα βρίσκονται στον πύργο. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι το ότι εκκινεί μόνος του και παρουσιάζει μεγάλη ροπή εκκίνησης και λειτουργίας. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα έχουν ωθήσει σε μία σειρά ερευνών με σκοπό την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού για χρήση σε μικρές ισχύς, κυρίως σε οικιακά περιβάλλοντα παρά την αρκετά χαμηλή απόδοσή τους. Στην Εικόνα 1.7 παρουσιάζεται μία τυπική ανεμογεννήτρια Savonius για οικιακή χρήση αλλά και παραλλαγές που μπορούν να έχουν οι ανεμογεννήτριες αυτές για χρήση σε αστικό περιβάλλον.



Εικόνα 1.7. Ανεμογεννήτρια Savonius

Τα πτερύγια των ανεμογεννητριών σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποδίδουν την μέγιστη ισχύ του ανέμου σε ελάχιστο κόστος. Από την αεροδυναμική φόρτιση, το βαθμό απόδοσης και το κόστος κατασκευής γίνεται η επιλογή για το πλήθος των πτερυγίων. Επιπλέον σημαντικός παράγοντας είναι και ο τύπος του πτερυγίου που θα χρησιμοποιηθεί.[1]

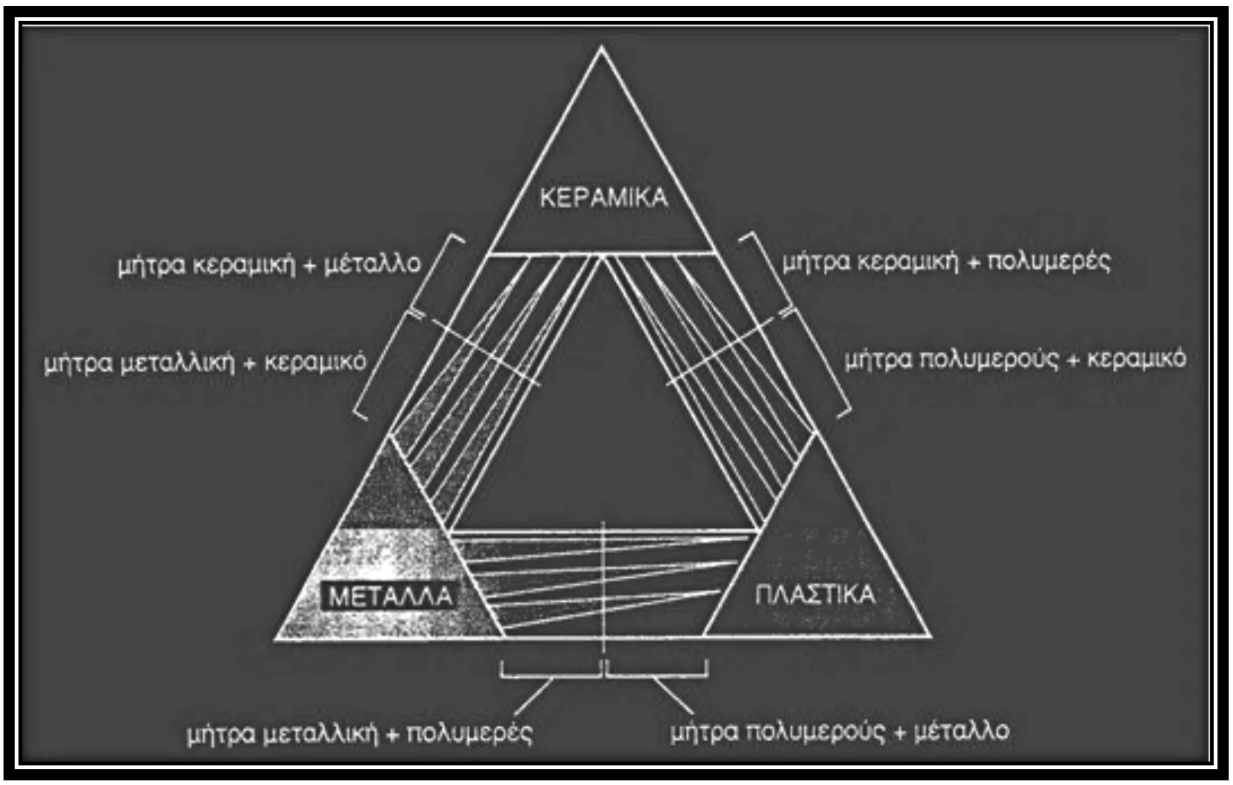
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Υλικά

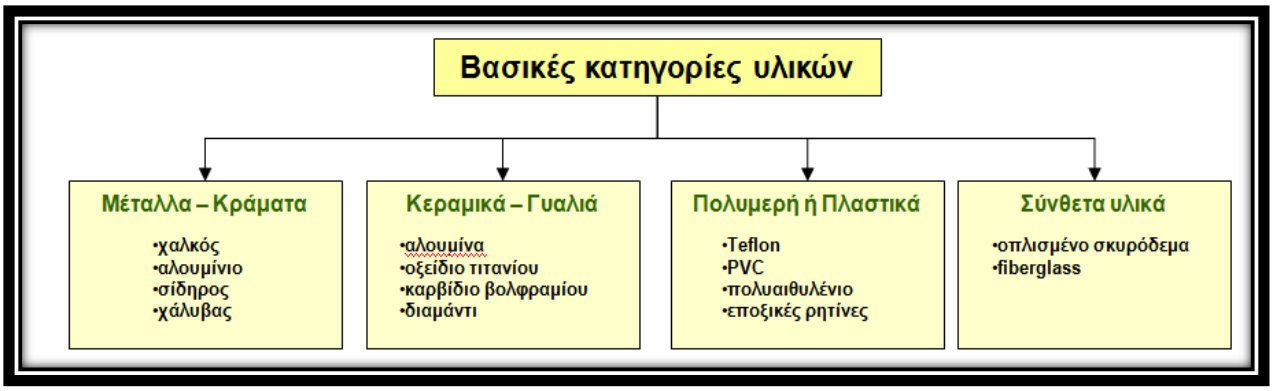
Οι βασικές κατηγορίες υλικών «το λειτουργικό τρίγωνο»

Το "λειτουργικό τρίγωνο" της τεχνολογίας των υλικών αποτελεί το σχήμα που δείχνει την αλληλεπίδραση μεταξύ δομής, ιδιοτήτων και κατεργασιών των υλικών (Εικόνα 2.1).

Έτσι λοιπόν, για να επιτύχουμε κάποιες επιθυμητές ιδιότητες σε ένα υλικό, πρέπει να επέμβουμε στη δομή του. Τις αλλαγές αυτές στη δομή τις προκαλούμε με τις κατάλληλες κατεργασίες. π.χ. όταν θέλουμε να αυξήσουμε τη σκληρότητα ενός χάλυβα, πρέπει να προκαλέσουμε κάποιες συγκεκριμένες αλλαγές στη δομή του. Οι αλλαγές αυτές συντελούνται με τις θερμικές κατεργασίες σκλήρυνσης των χαλύβων (βαφή).[2]



Εικόνα 2.1. Το ΄΄λειτουργικό τρίγωνο΄΄ της αλληλεπίδρασης δομής – ιδιοτήτων – κατεργασιών των υλικών.



Εικόνα 2.2. Βασικές κατηγορίες υλικών.

Στα παρακάτω υποκεφάλαια μελετούνται και αναλύονται οι βασικές κατηγορίες των υλικών οι οποίες είναι: μέταλλα-κράματα, κεραμικά-γυαλιά, πολυμερή ή πλαστικά και σύνθετα υλικά.

2.1 Μέταλλα

Τα μεταλλικά υλικά είναι συνήθως συνδυασμοί μεταλλικών στοιχείων. Περιέχουν μεγάλο αριθμό μη εντοπισμένων ηλεκτρονίων, δηλαδή ηλεκτρονίων που δεν είναι συνδεδεμένα με συγκεκριμένα άτομα. Πολλές ιδιότητες των μετάλλων αποδίδονται άμεσα σε αυτά τα ηλεκτρόνια. Τα μέταλλα είναι εξαιρετικά καλοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος και της θερμότητας και είναι αδιαφανή στο ορατό φως. Μία λειασμένη μεταλλική επιφάνεια έχει λαμπερή εμφάνιση. Επιπλέον, τα μέταλλα έχουν μεγάλη αντοχή, αλλά και παραμορφώνονται εύκολα, γεγονός που συνηγορεί στην ευρεία χρήση τους στις κατασκευές. Τα μέταλλα είναι μια μεγάλη κατηγορία χημικών στοιχείων που εμφανίζουν ορισμένες κοινές ιδιότητες, όπως είναι η λάμψη, η υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα, η δυνατότητα σχηματισμού ελασμάτων (ελατά) και συρμάτων (όλκιμα). Τα περισσότερα, αλλά όχι όλα, έχουν μεγάλη πυκνότητα και είναι σκληρά και ανθεκτικά. Διακρίνονται από τα αμέταλλα, που αποτελούν επίσης τη δεύτερη μεγάλη κατηγορία των στοιχείων, τόσο από τις φυσικές όσο, κυρίως, από τις χημικές τους ιδιότητες. Χαρακτηριστικά μέταλλα είναι ο σίδηρος, ο χαλκός, το αργίλιο (αλουμίνιο).

Με εξαίρεση τον υδράργυρο όλα τα μέταλλα σε θερμοκρασία δωματίου (20° C) είναι στερεά. Έχουν επίσης το χαρακτηριστικό αργυρόλευκο χρώμα, με εξαίρεση τον χαλκό (ερυθρός) και τον χρυσό (κίτρινος). Ο κλάδος που μελετά τις τεχνικές με τις οποίες εξάγονται τα μέταλλα από τα μεταλλεύματα καθώς και ο καθαρισμός τους όπως επίσης και όλες τις απαραίτητες εργασίες λήψης καθαρών μετάλλων ή κραμάτων ή άλλων ενώσεων αυτών

ονομάζεται μεταλλουργία. Τα μέταλλα προσφέρονται για την κατασκευή πλήθους προϊόντων με μεθόδους που αποτελούν το κύριο αντικείμενο της μεταλλοτεχνίας ή "μεταλλοτεχνικής" που αποτελεί ιδιαίτερο κλάδο της Μεταλλογνωσίας. Για την καλύτερη παραγωγή προϊόντων συχνά χρησιμοποιούνται αναμείξεις αυτών, τα κράματα. [3][4]

Μέταλλα- Κράματα. Τέτοια υλικά είναι:

Χυτοσίδηροι	
1	Λευκός χυτοσίδηρος
2	Γκρίζος ή φαίος χυτοσίδηρος
3	Μαλακτός χυτοσίδηρος
4	Όλκιμος χυτοσίδηρος

Πίνακας 2.1. Κατηγορίες Χυτοσιδληρων.

Σιδηρούχα κράματα	Μη σιδηρούχα κράματα
Κραματωμένοι χάλυβες	Κράματα χαλκού
Ανοξείδωτοι χάλυβες	Κράματα αλουμινίου
	Κράματα νικελίου
	Κράματα ψευδαργύρου
	Κράματα μολύβδου [4]

Πίνακας 2.2. Σιδηρούχα και μη σιδηρούχα κράματα.

2.1.1 Σιδηρούχα κράματα

I. Χυτοσίδηροι

Ο χυτοσίδηρος είναι κράμα σιδήρου με άνθρακα σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 2,1% κατά βάρος. Στην πραγματικότητα με τον όρο «χυτοσίδηρος» εννοείται μία οικογένεια κραμάτων τα οποία εκτός από άνθρακα, μπορεί να περιέχουν και άλλα στοιχεία όπως πυρίτιο, κ.λπ. Οι χυτοσίδηροι είναι εύθραυστοι σε σύγκριση με τον χάλυβα, αλλά παρουσιάζουν πιο καλή αντίσταση στην τριβή και την διάβρωση.

Ιδιότητες

Η περιεκτικότητα του χυτοσιδήρου σε άνθρακα μπορεί να φτάσει και το 6,67% (σημείο δημιουργίας καθαρού σεμεντίτη: Fe3C), αλλά σπανίως ξεπερνά το 4,3% (ευτηκτικό σημείο του διαγράμματος φάσεων Fe–C). Εκτός από άνθρακα, οι κοινοί χυτοσίδηροι περιέχουν πυρίτιο (1–3%) και μαγγάνιο (~0,5%), ενώ υπάρχουν και ισχυρά κραματωμένοι χυτοσίδηροι με υψηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο (4–20%) και χρώμιο (~3%).

Γενικά, οι χυτοσίδηροι παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- χαμηλό κόστος παραγωγής,

- χαμηλό σημείο τήξης (1140–1200°C),
- ευκολία χύτευσης σε συγκεκριμένες διαστάσεις,
- ευκολία μηχανουργικής κατεργασίας,
- σχετικά καλή αντίσταση στην μηχανική φθορά και την διάβρωση,
- υψηλή ικανότητα απορρόφησης κραδασμών, και
- σχετικά καλή μηχανική αντοχή (108–340 MPa).

Α) Λευκός χυτοσίδηρος

Ο λευκός χυτοσίδηρος (white cast iron) παράγεται με την ανάτηξη πρωτογενούς χυτοσιδήρου και την γρήγορη ψύξη του τήγματος. Η ταχεία ψύξη του τήγματος προκαλεί τον σχηματισμό μετασταθούς σεμεντίτη (Fe3C) στα όρια των κόκκων περλίτη. Η προσθήκη χρωμίου ευνοεί επίσης τον σχηματισμό μετασταθούς σεμεντίτη.

Ο σεμεντίτης, που είναι λευκός, σπάζει εύκολα και γι' αυτό ο λευκός χυτοσίδηρος είναι πολύ ψαθυρός. Ωστόσο, εξαιτίας του σεμεντίτη, ο λευκός χυτοσίδηρος είναι πιο σκληρός σε σύγκριση με τον φαιό χυτοσίδηρο. Η ταχεία ψύξη τήγματος πρωτογενούς χυτοσιδήρου είναι δύσκολη όταν το καλούπι έχει μεγάλες διαστάσεις. Έτσι, συμβαίνει ορισμένα αντικείμενα φτιαγμένα από χυτοσίδηρο να έχουν σκληρή επιφάνεια από λευκό χυτοσίδηρο και εσωτερικό από πιο μαλακό φαιό χυτοσίδηρο.

Εφαρμογές

Ο λευκός χυτοσίδηρος χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν φθηνό και σκληρό υλικό, όπως π.χ. στην κατασκευή εξαρτημάτων για αντλίες, στην κατασκευή σφαιρών για σφαιρόμυλους λειοτρίβησης υλικών, κ.λπ. Λευκοί χυτοσίδηροι κραματωμένοι με χρώμιο χρησιμοποιούνται για την χύτευση αντικειμένων πολύ μεγάλων διαστάσεων, όπως π.χ. γιγαντιαίες προπέλες βάρους 10 τόνων.



Εικόνα 2.3. Σωλήνωση από λευκό χυτοσίδηρο.

Β) Φαιός χυτοσίδηρος

Ο φαιός χυτοσίδηρος αποτελεί ιδανικό υλικό για μερικά μαγειρικά σκεύη. Ο φαιός ή γκρίζος χυτοσίδηρος (grey cast iron) παράγεται με την ανάτηξη πρωτογενούς χυτοσιδήρου, την προσθήκη πυριτίου και την αργή ψύξη του τήγματος. Η προσθήκη πυριτίου και η αργή ψύξη του τήγματος ευνοούν τον σχηματισμό γραφίτη, που είναι και η πλέον σταθερή φάση στο διάγραμμα Fe–C. Ένα άλλο κραματικό στοιχείο που ευνοεί τον σχηματισμό γραφίτη είναι το δημήτριο. Ο γραφίτης παίρνει την μορφή φύλλων μεταξύ των κόκκων του ευτηκτοειδούς περλίτη (εναλλασσόμενα φύλλα ή «λαμέλες» φερρίτη (α-Fe) – σεμεντίτη (Fe3C)). Επιπλέον, το πυρίτιο και ο φώσφορος ταπεινώνουν το σημείο τήξης του χυτοσιδήρου και γι' αυτό συνυπολογίζονται στο λεγόμενο περιεχόμενο ισοδύναμου άνθρακα. Ο γραφίτης κάνει τον χυτοσίδηρο πιο εύθραυστο, αλλά ταυτοχρόνως αυξάνει την ευκολία μηχανικής κατεργασίας (δρα ως λιπαντικό), την αντίσταση στην διάβρωση και την ικανότητα απορρόφησης κραδασμών.

Εφαρμογές

Οι φαιοί χυτοσίδηροι παρουσιάζουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα και γι' αυτό χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σκευών κουζίνας και φρένων.



Εικόνα 2.4. Ο φαιός χυτοσίδηρος αποτελεί ιδανικό υλικό για μερικά μαγειρικά σκεύη σαν την ρηχή κατσαρόλα.

Γ) Ελατός ή μαλακτός χυτοσίδηρος

Μια ειδική κατηγορία λευκού χυτοσιδήρου είναι ο ελατός ή μαλακός χυτοσίδηρος (malleable iron), ο οποίος παράγεται με ανόπτηση κοινού λευκού χυτοσιδήρου στους 900°C. Κατά την διάρκεια της ανόπτησης, ο σεμεντίτης διασπάται σε γραφίτη, που σχηματίζει σφαιρίδια. Σε σύγκριση με τους όλκιμους χυτοσιδήρους, τα σφαιρίδια γραφίτη στον ελατό χυτοσίδηρο είναι πιο μικρά και πιο διάσπαρτα.



Εικόνα 2.5. Φλάτζα από μαλακτό χυτοσίδηρο.

Εφαρμογές

Ο ελατός χυτοσίδηρος βρίσκει εφαρμογές στην παραγωγή μικρών χυτών αντικειμένων.

Δ) Όλκιμος χυτοσίδηρος

Μια ειδική κατηγορία φαιού χυτοσιδήρου είναι ο όλκιμος χυτοσίδηρος ή χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη (ductile cast iron ή nodular iron), ο οποίος παράγεται με την προσθήκη μαγνησίου (στην μορφή σιδηρομαγνησίου) σε τήγμα πρωτογενούς χυτοσιδήρου. Το μαγνήσιο εμποδίζει την ανάπτυξη των φύλλων γραφίτη ο οποίος με την παρουσία του μαγνησίου σχηματίζει σφαιρίδια. Ο σφαιροειδής γραφίτης προσδίδει στον χυτοσίδηρο πιο υψηλή μηχανική αντοχή (> 400 MPa) και πιο υψηλή αντοχή στην διάβρωση.

Ένας τυπικός όλκιμος χυτοσίδηρος περιέχει περίπου 3,3% C, 2,5% Si, 0,3% Mn και 0,03–0,05% Mg. Εκτός από τους απλούς όλκιμους χυτοσιδήρους, υπάρχουν και οι κραματωμένοι όλκιμοι χυτοσίδηροι, που περιέχουν υψηλά ποσοστά άλλων κραματικών στοιχείων όπως Ni, Cr, κ.ά. Οι κραματωμένοι όλκιμοι χυτοσίδηροι υπόκεινται σε θερμική κατεργασία και διακρίνονται ανάλογα με την κύρια φάση τους (ωστενιτικοί, μπαινιτικοί, κ.λπ.). Ορισμένοι κραματωμένοι όλκιμοι χυτοσίδηροι παρουσιάζουν πολύ υψηλή εφελκυστική αντοχή που φτάνει και τα 1600 MPa (π.χ. ωστενιτικός όλκιμος χυτοσίδηρος ASTM A897 Grade 1600/1300/-).



Εικόνα 2.6. Σωλήνες όλκιμου χυτοσίδηρου.

Εφαρμογές

Οι όλκιμοι χυτοσίδηροι χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών όπως σωληνώσεις αποχετεύσεων, εξαρτήματα μηχανών, εξαρτήματα ανεμογεννητριών, κ.λπ. [5]

ΙΙ. Χάλυβας

Ο χάλυβας (κοινώς ατσάλι) είναι κράμα σιδήρου–άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2,06% κ.β. άνθρακα, λιγότερο από 1,0% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Οι κραματωμένοι χάλυβες, όπως π.χ. οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, κ.λπ., αποτελούν ειδική κατηγορία χαλύβων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων.



Εικόνα 2.7. Ράβδοι από χάλυβα

Ως προς την χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής:

- **Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες** (carbon steels). Περιέχουν άνθρακα (έως 2,06%) και μικρό ποσοστό μαγγανίου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%). Χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλούνται εύκολα. Με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα, οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:
    - χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες (mild steels· C < 0,30%),
    - χάλυβες μέτριου άνθρακα (medium carbon steels· 0,30% < C < 0,60%),
    - χάλυβες υψηλού άνθρακα (high carbon steels· 0,60% < C < 1,00%), και
    - χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα (ultra-high carbon steels· 1,00% < C < 2,00%).

- **Κραματωμένοι χάλυβες** (alloy steels), δηλ. κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι οι:
    - ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, που περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κ.β., όπως π.χ. οι εργαλειοχάλυβες (0,7% < C < 1,4%, Mn < 0,3%), και οι
    - ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες υψηλής κραμάτωσης, όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες (Cr > 10,5%), οι ταχυχάλυβες (C ~ 0.7%, Cr ~4,0%, 5,0% < Mo < 10%, 1,5% < W < 18,0%, 0 % < Co < 8,0%), κ.λπ.

Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

• **χάλυβες διαμόρφωσης**, που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση, κ.λπ.), και

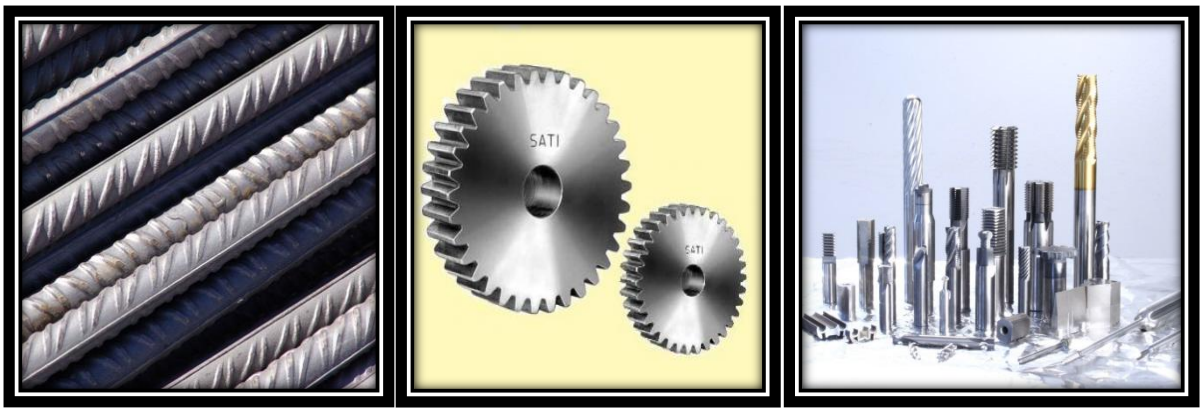
• **χυτοχάλυβες**, που παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή πλινθωμάτων («χελωνών») και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.

Τέλος, συχνά γίνεται λόγος για φερριτικούς, περλιτικούς, μαρτενσιτικούς, μπαινιτικούς κ.λ.π. χάλυβες ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική φάση τους.

Η ονοματολογία των χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως DIN, ASTM, ΕΛΟΤ κ.λπ. Συχνά υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στο όνομα μιας κατηγορίας χάλυβα και την αντοχή της συγκεκριμένης κατηγορίας χάλυβα σε εφελκυσμό. Για παράδειγμα, το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3 ορίζει ότι ο χάλυβας B500C πρέπει να έχει όριο διαρροής μεγαλύτερο από 500 MPa (500 N/mm^2).

Εφαρμογές

- Οι χάλυβες <u>χαμηλής περιεκτικότητας</u> σε άνθρακα χρησιμοποιούνται σε αγωγούς, οπλισμούς κτιρίων και γέφυρες.
- Οι χάλυβες <u>ενδιάμεσης περιεκτικότητας</u> σε άνθρακα χρησιμοποιούνται σε τροχούς και γρανάζια.
- Οι χάλυβες <u>υψηλής περιεκτικότητας</u> σε άνθρακα χρησιμοποιούνται για τρυπάνια, πριόνια και διατρητικά εργαλεία. [6]



Εικόνα 2.8. α) οπλισμοί κτιρίων β) γρανάζια γ) τρυπανια από χάλυβα.

2.1.2 Μη σιδηρούχα κράματα

I. Χαλκός

Σύμφωνα με τους αρχαιολόγους ο χαλκός είναι το πρώτο από τα μέταλλα που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την κατασκευή σκευών, εργαλείων και όπλων. Εκτιμάται ότι ο χαλκός έγινε γνωστός περίπου το 9.000 π.Χ., πιθανόν επειδή απαντά ως αυτοφυής και δεν απαιτεί μεταλλουργική διαδικασία για την παρασκευή του σε καθαρή μορφή.

Η χρήση καθαρού χαλκού ήταν γνωστή στη Μικρά Ασία από το 6.500 π.Χ. ενώ από τα μέσα της 4ης χιλιετίας άρχισε να αναπτύσσεται η μεταλλουργία που προκάλεσε και την αστικοποίηση της Μεσοποταμίας. Περί το 3.000 π.Χ. η χρήση χαλκού ήταν πλήρως διαδεδομένη στην Εγγύς Ανατολή. Η χρήση του ορείχαλκου ήταν ευρύτερα διαδεδομένη στη 2η χιλιετία μέχρι την 1η όπου ακολούθησε η ευρύτερη χρήση του σιδήρου.



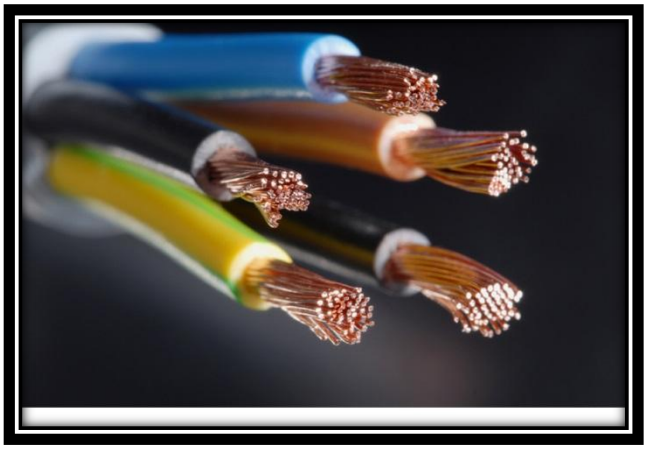
Εικόνα 2.9. Κράμα χαλκού.

Ιδιότητες

Είναι μέταλλο με χαρακτηριστικό χρώμα (ερυθρό του χαλκού) και χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη. Είναι επίσης μαλακός (σκληρότητα 2.5-3 στην Κλίμακα Mohs δύστηκτος (σημείο τήξεως 1084,6° C, σημείο βρασμού 2562° C), ιδιαίτερα ελατός και όλκιμος, πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Λόγω της ιδιότητάς του όταν είναι τηγμένος να απορροφά ατμοσφαιρικό αέρα, τον οποίο αποβάλλει ψυχόμενος, δεν μπορούν να κατασκευασθούν χυτά αντικείμενα από χαλκό. Δεν εμφανίζει σχιστότητα, ενώ έχει ανώμαλη θραύση. Είναι τελείως αδιαφανής, ακόμη και σε λεπτά ελάσματα. Δεν εμφανίζει μαγνητικές ιδιότητες. Σε επαφή με άλλα μέταλλα εμφανίζει διαφορά δυναμικού. Κυριότερα κράματά του είναι ο ορείχαλκος και ο μπρούντζος.

Εφαρμογές

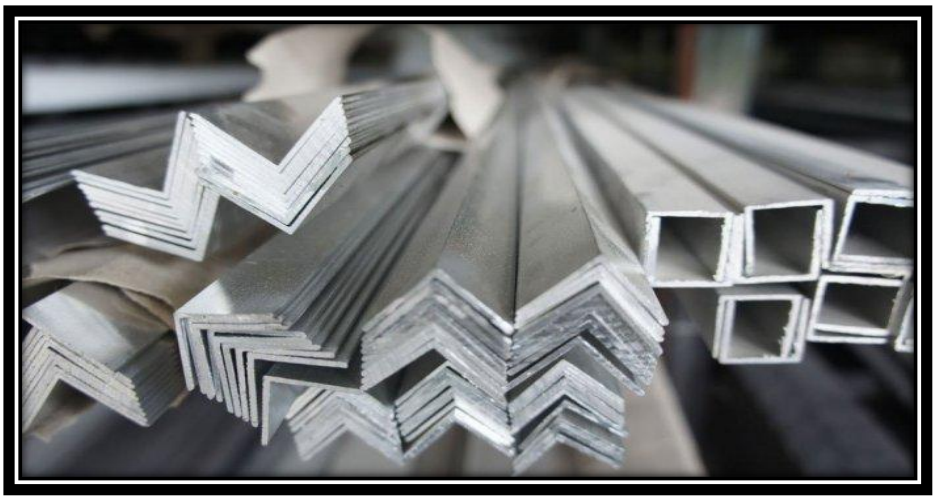
Ηλεκτρικά καλώδια, φλάντζες, ψυγεία αυτοκινήτων, πυρομαχικά κουζινέτα κτλ. [7]



Εικόνα 2.10. Χάλκινα καλώδια .

II. Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο έχει (φαινομενικά) μεγάλη ικανότητα στο να αντιστέκεται στη διάβρωση. Αυτό στην ουσία συμβαίνει γιατί με την έκθεση του μετάλλου στην ατμόσφαιρα σχηματίζει στιγμιαία ένα λεπτό επιφανειακό, μη ορατό, στρώμα οξειδίου, που εμποδίζει τη βαθύτερη διάβρωσή του. Επίσης, έχει σχετικά χαμηλή πυκνότητα και έχει την ικανότητα να δημιουργεί μεγάλη ποικιλία κραμάτων. Είναι επίσης εξαιρετικά χρήσιμο στη χημική βιομηχανία, τόσο αυτούσιο ως καταλύτης, όσο και με τη μορφή διαφόρων ενώσεών του. Το καθαρό αλουμίνιο είναι αρκετά μαλακό και όλκιμο. Το αλουμίνιο υφίσταται εύκολα κατεργασία με χύτευση και με αφαίρεση υλικού. Παρουσιάζει, επίσης, πολύ καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα.



Εικόνα 2.11. Γωνίες αλουμινίου.

Ιδιότητες

Οι ιδιότητες που κάνουν το αλουμίνιο τόσο σημαντικό για την βιομηχανία είναι το χαμηλό του ειδικό βάρος, η υψηλή αντοχή του σε μηχανικές καταπονήσεις και η εξαιρετική αντοχή του στη διάβρωση, η οποία οφείλεται στο φαινόμενο της παθητικοποίησης.

Εφαρμογές

Σκεύη μεταφοράς χημικών, σκεύη μαγειρικής, αγωγοί καυσίμων και λαδιού αεροσκαφών, τροχοί φορτηγών, φορτηγά, κανό, βαγόνια κτλ. [8]

III. Ορείχαλκος

Ο ορείχαλκος είναι κράμα χαλκού–ψευδαργύρου που χρησιμοποιείται από την ελληνιστική εποχή μέχρι τις ημέρες μας σε πάρα πολλές εφαρμογές, μεταξύ άλλων και στην κατασκευή των χάλκινων πνευστών μουσικών οργάνων (τα γνωστά «χάλκινα»).

Ιδιότητες

Η περιεκτικότητα του ορείχαλκου σε ψευδάργυρο καθορίζει και τις ιδιότητες του μετάλλου. Για περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο έως και 35% κ.β. περίπου, η φάση που δημιουργείται είναι ο α-Cu, δηλ. ένα στερεό διάλυμα Zn εντός Cu. Για περιεκτικότητα 32–39% κ.β. Zn, η φάση α συνυπάρχει με την φάση β, ενώ για περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 39% κ.β. Zn δημιουργείται και η φάση γ, που είναι εύθραυστη.

Το χρώμα του ορείχαλκου αλλάζει επίσης αναλόγως με την περιεκτικότητά του σε ψευδάργυρο. Όταν η περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο είναι χαμηλή, ο ορείχαλκος έχει ένα

καφεκόκκινο χρώμα που πλησιάζει το κεραμιδί χρώμα του χαλκού. Για περιεκτικότητα σε Zn περίπου 30% κ.β., ο ορείχαλκος έχει το χρώμα του χρυσού, αλλά, για ακόμα πιο υψηλή περιεκτικότητα σε Zn, το χρώμα του γίνεται και πάλι καφεκόκκινο.

Οι ορείχαλκοι με Zn < 35% κ.β. (ορείχαλκοι α) παρουσιάζουν καλή μηχανική αντοχή και καλή αντοχή στην διάβρωση. Οι ορείχαλκοι με 32% κ.β. < Zn < 39% κ.β. (ορείχαλκοι α+β) έχουν ακόμα καλύτερη μηχανική αντοχή, μεγαλύτερη ελαστικότητα και μεγαλύτερη ολκιμότητα, αλλά κάπως μειωμένη αντοχή στην διάβρωση σε σύγκριση με τους ορείχαλκους α. Οι ορείχαλκοι με Zn > 39% κ.β. (ορείχαλκοι β) παρουσιάζουν μεγάλη μηχανική αντοχή, αλλά είναι ευκατέργαστοι μόνον εν θερμώ σε χαμηλές θερμοκρασίες έχουν μικρή ολκιμότητα.

Ορείχαλκοι με περιεκτικότητα σε Zn > 15% κ.β., όταν βρεθούν σε στάσιμα όξινα νερά, παθαίνουν διάβρωση με αποψευδαργύρωση: ο περιεχόμενος ψευδάργυρος διαλύεται και το παραμένον μέταλλο γίνεται πορώδες και εύθραυστο. Ο ορείχαλκος επίσης παθαίνει εργοδιάβρωση όταν βρίσκεται υπό μηχανική καταπόνηση σε περιβάλλον που περιέχει αμμωνία, αμίνες ή υδράργυρο.

Η αποψευδαργύρωση αντιμετωπίζεται με την προσθήκη κασσίτερου στο κράμα. Οι κασσιτερούχοι ορείχαλκοι περιέχουν 2–40% κ.β. Zn και 0,2–3,0% κ.β. Sn. Κασσιτερούχος ορείχαλκος είναι, π.χ., ο ορείχαλκος του Ναυαρχείου ή ναυτικός ορείχαλκος (αγγλ., admiralty brass/naval brass) περιέχει 30–40% κ.β. Zn και 1% κ.β. Sn. Επίσης, με προσθήκη μαγγανίου, βελτιώνεται η αντοχή του ορείχαλκου στην διάβρωση, γι' αυτό και μαγγανιούχοι ορείχαλκοι βρίσκουν εφαρμογή σε ναυπηγικές χρήσεις, π.χ. στην χύτευση προπελών.

Συχνά στους ορείχαλκους προστίθεται και μόλυβδος σε πολύ μικρό ποσοστό (< 3,5% κ.β.). Ο μόλυβδος δεν διαλύεται στις κύριες φάσεις του ορείχαλκου, αλλά δημιουργεί μικρά κατακρημνίσματα στα όρια των κρυστάλλων. Η παρουσία των κατακρημνισμάτων μολύβδου κάνει τον ορείχαλκο πιο ευκατέργαστο σε μηχανουργικές κατεργασίες.

Οι πυριτιούχοι ορείχαλκοι είναι ορείχαλκοι α φάσης (Zn < 20% κ.β.) στους οποίους έχει γίνει προσθήκη πυριτίου έως 6% κ.β. Οι ορείχαλκοι αυτοί είναι εξαιρετικά μεγάλης αντοχής και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πολύ ανθεκτικών βαλβίδων.

Κατηγορίες

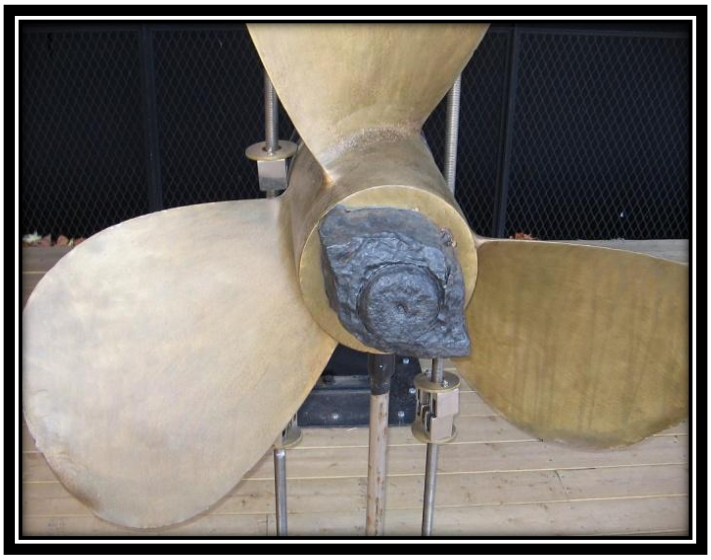
Οι πιο κοινοί ορείχαλκοι είναι οι εξής:

- ορείχαλκος επιχρύσωσης (αγγλ., gilding 95%): Zn = 5,0% κ.β.
- εμπορικός μπρούντζος (αγγλ., commercial bronze): Zn = 10,0% κ.β.
- μπρούντζος κοσμηματοποιίας (αγγλ., jewelery bronze): Zn = 12,5% κ.β.
- ερυθρός ορείχαλκος (αγγλ., red brass): Zn = 15,0% κ.β.

- ορείχαλκος καλύκων (αγγλ., cartridge brass): Zn = 30,0% κ.β.
- μέταλλο Muntz (αγγλ., Muntz metal): Zn = 40,0% κ.β.

Εφαρμογές

Ο ορείχαλκος χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές εφαρμογές: στην παραγωγή βαλβίδων και εδράνων (κουζινέτα), στην παραγωγή σωλήνων χωρίς ραφή και άλλων εξαρτημάτων ύδρευσης, στην κατασκευή όπλων και εξαρτημάτων μηχανών, στην κατασκευή πνευστών μουσικών οργάνων, κ.ά. [9]



Εικόνα 2.12. Προπέλα φτιαγμένη από ορείχαλκο.



Εικόνα 2.13. Κουζινέτο από ορείχαλκο.

2.2 Κεραμικά

Τα κεραμικά είναι ενώσεις μεταξύ μεταλλικών και μη μεταλλικών στοιχείων και συχνά είναι οξείδια, νιτρίδια και καρβίδια. Το μεγάλο εύρος υλικών που υπεισέρχονται σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνει κεραμικά που αποτελούνται από ορυκτές αργίλλους, τσιμεντοκονιάματα και υάλους. Τα υλικά αυτά είναι μονωτές της μετάδοσης του ηλεκτρικού ρεύματος και της θερμότητας και είναι πιο ανθεκτικά από τα μέταλλα και τα πολυμερή σε υψηλές θερμοκρασίες και δριμύ περιβάλλον. Ως προς τη μηχανική τους συμπεριφορά τα κεραμικά είναι σκληρά αλλά πολύ εύθραυστα.

Τέτοια υλικά είναι:

- η αλουμίνα (Al2O3) [έχει θερμοκρασία τήξης 2020 ^{o}C,και παράγεται από την επεξεργασία του Βωξίτη),
- το οξείδιο του τιτανίου (TiO2)[έχει θερμοκρασία τήξης 1850oC],
- το καρβίδιο του πυριτίου (SiC))[έχει θερμοκρασία τήξης 2700oC],
- το καρβίδιο του βολφραμίου (WC) [έχει θερμοκρασία τήξης 2870oC],
- το νιτρίδιο του βορίου (BN) [έχει θερμοκρασία τήξης 2076oC],
- το νιτρίδιο του πυριτίου (Si3N4),
- το διαμάντι (προέρχεται από το πυριγενές πέτρωμα κιμπερλίτη, και είναι το σκληρότερο όλων των υλικών ενώ δεύτερο σε σκληρότητα είναι το κορούνδιο), κ.λπ. [10]

2.2.1 Καρβίδιο του πυριτίου

Καρβίδιο του πυριτίου, επίσης γνωστό ως moissanite, είναι η ένωση πυριτίου και άνθρακα. Το περισσότερο καρβίδιο του πυριτίου κατασκευάζεται από τον άνθρωπο για να το χρησιμοποιήσει ως λειαντικό παράγοντα. Η απλούστερη διαδικασία κατασκευής είναι να συνδυαστεί άμμος και άνθρακα σε υψηλή θερμοκρασία, μεταξύ 1600 °C και 2500 °C. Το υλικό ανακαλύφθηκε από τον Edward Acheson το 1893. Λέγεται ότι ο Acheson προσπαθούσε να διαλύσει τον άνθρακα στο λιωμένο κορούνδιο (αλουμίνα) και ανακάλυψε σκληρά, μπλε-μαύρα κρύσταλλα που θεώρησε ως ένωση του άνθρακα και του κορούνδιου. Το υλικό στο φούρνο Acheson ποικίλλει στην αγνότητα, σύμφωνα με την απόστασή του από τον από γραφίτη αντιστάτη που είναι η πηγή θερμότητας. Το καθαρότερο προϊόν μπορεί να γίνει με την ακριβότερη διαδικασία απόθεσης χημικού ατμού. Το υψηλό σημείο τήξης του (περίπου 2700

°C) το καθιστά χρήσιμο για ρουλεμάν και μέρη φούρνων. Υπάρχει αυτήν την περίοδο πολύ ενδιαφέρον για χρήση του στην ηλεκτρονική.

Ιδιότητες

Το υψηλό σημείο τήξης του (περίπου 2700 °C). Είναι επίσης ιδιαίτερα αδρανές. Επιπλέον, έχει ισχυρή σύζευξη στην ακτινοβολία μικροκυμάτων.

Εφαρμογές

Χρησιμοποιείται ως **ημιαγωγός**. Το καρβίδιο του πυριτίου χρησιμοποιείται για το μπλε LED. Λόγω της υψηλής του θερμικής αγωγιμότητας, το καρβίδιο (SiC) χρησιμοποιείται επίσης ως υπόστρωμα για άλλα υλικά ημιαγωγών όπως το νιτρίδιο γαλλίου. Χρησιμοποιείται επίσης ως υπεριώδης ακτίνα ανιχνευτής. Έχει επίσης μεγάλη ανοχή στην ακτινοβολία και γι'αυτό είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται στις αεροδιαστημικές εφαρμογές. Ο κύριος ανταγωνιστής του, είναι νιτρίδιο γαλλίου.

Πλεονεκτήματα

Έχει μεγάλη ανοχή στην ακτινοβολία.

Μειονεκτήματα

Χαμηλή αντίσταση και τη έλλειψη ανθεκτικότητα. Στη δεκαετία του '80 και στη δεκαετία του '90, το καρβίδιο του πυριτίου μελετήθηκε σε διάφορα ερευνητικά προγράμματα για τους υψηλής θερμοκρασίας αέριο-στροβίλους σε Ηνωμένες Πολιτείες, Ιαπωνία, και Ευρώπη. Εντούτοις, κανένα από αυτά τα προγράμματα δεν οδήγησε σε ποσότητα παραγωγής, κυρίως λόγω της χαμηλής αντίστασης και της έλλειψης ανθεκτικότητας του.



Εικόνα 2.14. Συνθετικό σύνολο κρυστάλλου καρβιδίου του πυριτίου: τα ιριδίζοντα ζευγαρωμένα κρύσταλλα στο πρώτο πλάνο με τα συνοπτικά κρύσταλλα στο υπόβαθρο. Έχουν μια μεταλλική λαμπρότητα και είναι πολύ μυτεροί. [11]

2.2.2 Καρβίδιο του βολφραμίου

Το καρβίδιο του βολφραμίου είναι καρβίδιο με χημικό τύπο WC. Το μόριό του είναι διατομικό. Είναι ανόργανη ένωση. Η πιο βασική του μορφή είναι μία λεπτή γκρίζα σκόνη, αλλά μπορεί να συμπιεστεί και να διαμορφωθεί σε σχήματα.



Εικόνα 2.15. Βασική μορφή καρβιδίου βολφραμίου.

Ιδιότητες

Είναι τρεις φορές πιο σκληρό από ότι ο χάλυβας και πυκνότερο από ότι ο χάλυβας και το τιτάνιο. Είναι συγκρίσιμο με το κορούνδιο (Al2O3 ή ζαφείρι) στη σκληρότητα.

Μειονεκτήματα-κίνδυνοι από καρβίδιο του βολφραμίου

Όταν τα μάτια και το δέρμα εκτίθονται σε καρβίδιο του βολφραμίου , το αποτέλεσμα είναι ερεθισμός . Επιπλέον , επανειλημμένη έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε αλλεργίες στο καρβίδιο

βολφραμίου. Η εισπνοή της σκόνης καρβιδίου βολφραμίου μπορεί να οδηγήσει σε ερεθισμό των πνευμόνων . Η επανειλημμένη έκθεση σε καρβίδιο του βολφραμίου μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μια σειρά από σοβαρές αναπνευστικές παθήσεις όπως το άσθμα , η πνευμονική ίνωση και η νόσος των πνευμόνων.

Εφαρμογές

Χρησιμοποιείται σε βιομηχανικά μηχανήματα, εργαλεία, λειαντικά, καθώς και κοσμήματα.[12] [13]

2.2.3 Διαμάντι

Το διαμάντι (αρχ. ελληνικά αδάμας = αήττητος, ακατανίκητος, λόγω της μεγάλης σκληρότητάς του) είναι περίφημο ορυκτό για την ισχυρή λάμψη του και την πολύ μεγάλη σκληρότητά του, με ιδιαίτερη διεθνή εμπορική αξία. Ανήκει στην οικογένεια των αυτοφυών στοιχείων. Αποτελείται δε από καθαρό άνθρακα. Λόγω της σκληρότητας αυτής χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές, ενώ η λαμπρότητα του το κάνει τον πιο γνωστό και περιζήτητο πολύτιμο λίθο. Το βάρος του μετράται σε καράτια (1 καράτι = 200 χιλιοστά του γραμμαρίου).



Εικόνα 2.16. Κίτρινο διαμάντι.

Ιδιότητες

Τα διαμάντια στη φυσική τους κατάσταση είναι ημιδιαφανή, διαφανή ή ακόμα και αδιαφανή και οι χρωματισμοί τους ποικίλουν. Άχρωμα, γκρίζα, μπλε, κόκκινα, κίτρινα, πράσινα ή και μαύρα. Αυτά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κοσμημάτων είναι διαφανή και άχρωμα. Αν το διαμάντι βομβαρδιστεί με ακτινοβολία, ο χρωματισμός του μπορεί να αλλάξει. Συχνά οι κρύσταλλοι του διαμαντιού περιέχουν και άλλα ορυκτά, όπως γραφίτη,

χλωρίτη, ζιρκόνιο, αιματίτη κ. ά. Επίσης, το διαμάντι παρουσιάζει κάποια οπτική ανισορροπία εξαιτίας της ύπαρξης των άλλων προσμίξεων, καθώς και διάφορες ωραίες αναλαμπές στις οποίες οφείλεται και ο χαρακτηρισμός του σαν πολύτιμος λίθος. Ωστόσο, το ακατέργαστο διαμάντι δεν εμφανίζει ούτε λάμψη ούτε κανένα από τα γνωστά του χαρακτηριστικά, τα οποία αποκτά με την επεξεργασία. Η απουσία προσμίξεων, όπως οι παραπάνω, δίνει μεγαλύτερη αξία στο διαμάντι. Το διαμάντι κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα.

Ο βαθμός σκληρότητάς του στην κλίμακα Mohs είναι 10 και ακολουθεί το κορούνδιο με βαθμό σκληρότητας 9. Η σκληρότητα του κάθε διαμαντιού είναι δυνατό να διαφέρει και σε αυτό παίζουν ρόλο τόσο οι προσμίξεις όσο και η κατεύθυνση του κρυστάλλου. Έτσι, είναι ευκολότερη η επεξεργασία των διαφόρων επιφανειών του. Αν και είναι το σκληρότερο ορυκτό που υπάρχει, το διαμάντι είναι εύθραυστο, όπως όλα τα σκληρά υλικά. Έτσι, αν ένα μεγάλο σχετικά διαμάντι πέσει επάνω σε μια σκληρή επιφάνεια, μπορεί να σπάσει σε μικρότερα κομμάτια.

Είναι αδιάλυτο σε διάφορα οξέα, προσβάλλεται όμως από μίγμα θειϊκού οξέος και διχρωμικού καλίου. Σε υψηλή θερμοκρασία αναφλέγεται και, ως καθαρός άνθρακας, καίεται εντελώς προς διοξείδιο του άνθρακα, χωρίς υπολείμματα στάχτης.

Συνθετικό διαμάντι

Η εργαστηριακή σύνθεση του διαμαντιού, ίσως να είναι η δυσκολότερη από τις συνθέσεις των πολύτιμων λίθων, στα βάθη στα οποία κρυσταλλώνεται επικρατούν εξαιρετικά υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες, που είναι δύσκολο να αναπαραχθούν τεχνητά και να ελεγχθούν στο εργαστήριο.

Θα αναφερθούμε σε δύο ανθρώπους ως φόρο τιμής για την προσφορά τους στη μεγαλειώδη επιστημονική και τεχνολογική επίτευξη της εργαστηριακής σύνθεσης του διαμαντιού. Τη σύλληψη της ιδέας και τη θεωρητική τεκμηρίωση της σύνθεσης των διαμαντιών είχε ο Henri Moissan, ο οποίος απέδειξε το 1892 τη θεωρία ότι τα διαμάντια θα μπορούσαν να συντεθούν με κρυστάλλωση άνθρακα υπό πίεση σε τήγμα σιδήρου. Ο ίδιος σχεδίασε και κατασκεύασε έναν ηλεκτρικό φούρνο που επιτύγχανε θερμοκρασίες μέχρι 3.500°C. Έτσι, το 1893 κατόρθωσε να παραγάγει μικροσκοπικές πέτρες, που όμως δεν μπορούσαν να καλύψουν ούτε βιομηχανικές ανάγκες. Δυστυχώς ο Henri Moissan έζησε σε μια εποχή που δεν ήταν αρκετά προηγμένη από τεχνολογική άποψη και δεν του επέτρεπε να πραγματοποιήσει την επιθυμία και το όνειρό του.

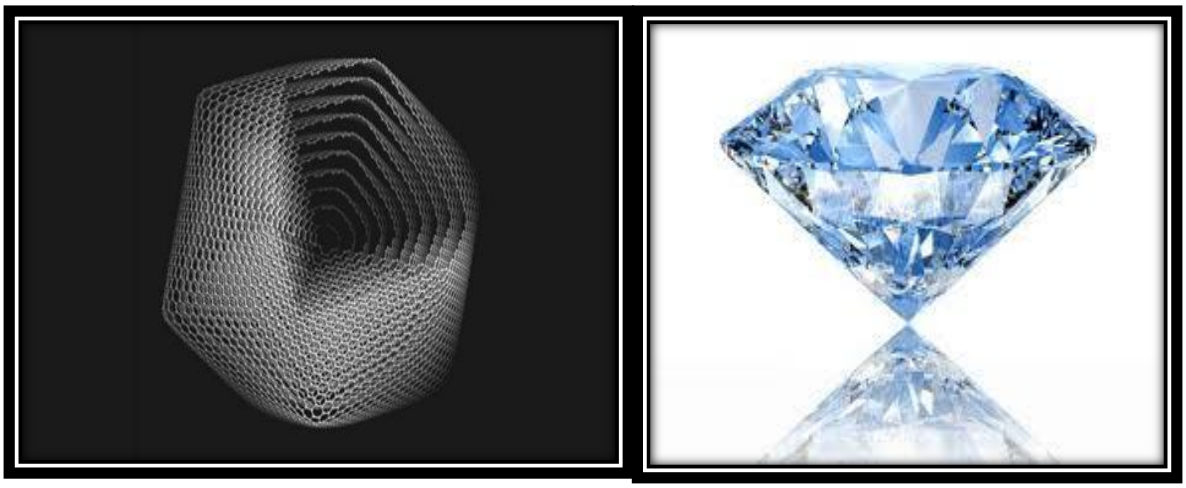
Χρειάστηκε να περάσουν 61 χρόνια, μέχρι το 1954, όταν τελικά ένας εξαίρετος επιστήμονας, ο Δρ Tracy H. Hall, ηγήθηκε ερευνητικής ομάδας της General Electric, η οποία

τελικά παρασκεύασε το πρώτο συνθετικό διαμάντι. Ο Tracy Hall πέθανε σε ηλικία 88 ετών τον Ιούλιο του 2008. Χάρη σε δική του εφεύρεση που ονομάστηκε «ζώνη» (belt), επιτεύχθηκε η γέννηση του πρώτου συνθετικού διαμαντιού. Η belt δημιουργεί υψηλή πίεση και διαμορφώνει τις κατάλληλες συνθήκες για τη γέννηση των συνθετικών διαμαντιών.

Ο Hall γεννήθηκε το 1919 και μεγάλωσε σε αγρόκτημα στο Ogden της Γιούτα. Υπήρξε άριστος σπουδαστής και έγινε δεκτός στο Πανεπιστήμιο της Γιούτα, όπου άξια του απονεμήθηκε το PhD χημείας. Το όνειρό του ήταν να γίνει επιστήμονας στη General Electric. Το πραγματοποίησε το 1948, όταν τελικά έγινε ερευνητής στο εργαστήριο χημείας της GE, όπου εργάστηκε στην ανάπτυξη ενός νέου είδους πλαστικού. Από τότε εξειδικεύτηκε στα πειράματα υψηλής πίεσης. Εξαιτίας αυτού ενσωματώθηκε στην ομάδα που δούλευε για τη δημιουργία συνθετικών διαμαντιών. Οι εργασίες της ομάδας εστίαζαν σε δύο τομείς, στα πειράματα του Hall για τις υψηλές πιέσεις και στην επίδραση των ισχυρών ηλεκτρικών πεδίων στον κρυσταλλικό άνθρακα.

Το 1954 ο Hall και η ομάδα του κατάφεραν τελικά να παραγάγουν το πρώτο συνθετικό διαμάντι. Η χρησιμοποίηση της συσκευής που ο Hall είχε αναπτύξει, βοήθησε την ομάδα να δημιουργήσει παρόμοιες συνθήκες με εκείνες υπό τις οποίες κρυσταλλώνονται στη φύση τα διαμάντια. Η εφεύρεση του Hall επέτρεψε στην General Electric να παραγάγει σκόνη διαμαντιών με εμπορικά συμφέρουσα διαδικασία, η οποία χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα στην βιομηχανία.

Τα πρώτα συνθετικά διαμάντια πολύτιμης ποικιλίας παρήχθησαν το 1970, πάλι από την General Electric, με πρώτη επίσημη διεθνή αναφορά το 1971. Για την κρυστάλλωση χρησιμοποιήθηκε αρχικά ένας ειδικός σωληνοειδής κλίβανος πίεσης από πυροφυλλίτη, ο οποίος στα δύο άκρα του είχε λεπτά διαμάντια για πυρήνες κρυστάλλωσης. Σαν πρώτη ύλη του άνθρακα χρησιμοποιήθηκε γραφίτης τοποθετημένος στο κέντρο του σωλήνα. Η κρυστάλλωση λάμβανε χώρα μέσα σε μεταλλικό τήγμα νικελίου, δηλαδή μεταξύ του γραφίτη και των λεπτών διαμαντιών υπήρχε λιωμένο νικέλιο. Η πίεση στο εσωτερικό του κλιβάνου ήταν 55.000 ατμόσφαιρες. Τα φυσικά διαμάντια στις άκρες του κυλίνδρου λειτουργούσαν σαν πυρήνες κρυστάλλωσης καθώς άνθρακας από τον γραφίτη έρεε προς τα άκρα εμπλουτίζοντας συνεχώς με υλικό, αυξάνοντας έτσι το μέγεθος των διαμορφούμενων συνθετικών διαμαντιών. Στην πράξη, η όλη διαδικασία δημιουργούσε σε μια εβδομάδα περίπου 1 καράτι συνθετικού κρυστάλλου, με την προϋπόθεση ότι οι συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας και τροφοδοσίας υλικού ήταν όσο το δυνατό πιο σταθερές. [14]



Εικόνα 2.17: Το μυστικό των νέων διαμαντιών είναι ότι δημιουργήθηκαν από σωματίδια άνθρακα διατεταγμένα σε αλλεπάλληλα στρώματα όπως του κρεμμυδιού και είναι ανθεκτικότερα των φυσικών διαμαντιών.

Εφαρμογές

Τα καθαρά, ημιδιαφανή ή διαφανή διαμάντια χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κοσμημάτων. Το ποσοστό της συνολικής παραγωγής, που καταλήγει στην κατεργασία για την κατασκευή κοσμημάτων, ανέρχεται περίπου στο 3 έως 5%. Τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εργαλείων κοπής και λείανσης άλλων σκληρών υλικών. Χαρακτηριστικά γνωστά εργαλεία είναι τα αδαμαντοτρύπανα (ακόμη και για οικιακή χρήση) και τα εργαλεία κοπής υαλοπινάκων (κοινώς τζαμοκόφτες). Τα εργαλεία κοπής και λείανσης έχουν πολύ σημαντικές εφαρμογές στην βιομηχανία.

Ορισμένοι τύποι διαμαντιών έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ειδικών οπτικών οργάνων, λόγω της υψηλής ανακλαστικότητάς τους. Σήμερα κατασκευάζονται και συνθετικά (τεχνητά) διαμάντια, κύρια για χρήση σε εργαλεία.[15]

Πλεονεκτήματα

- Σχετικά χαμηλή πυκνότητα (πιο ελαφριά).
- Υψηλό σημείο τήξης (μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών υψηλής θερμοκρασίας).
- Υψηλό μέτρο ελαστικότητας (πιο στιβαρά).
- Χαμηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα (μονωτές).
- Πολύ υψηλή σκληρότητα (πιο ανθεκτικά σε φθορά).
- Ανθεκτικά σε διάβρωση.

Μειονεκτήματα

- Μικρή αντίσταση σε εφελκυσμό λόγω της εύκολη διάδοσης ρωγμών (ψαθυρή

συμπεριφορά, ευθραυστότητα).

• Μικρή αντοχή σε κόπωση, λυγισμό και κρούση.

• Το κόστος παραγωγής ποικίλει.

2.2.4 Κεραμικά υλικά κοπής

Τα κεραμικά υλικά κοπής είναι υλικά **κονιομεταλλουργίας** από καρούνδιο (Al2O3), από μεικτά οξείδια ή από αζωτούχο πυρίτιο. Τα υλικά αυτά είναι ακόμη σκληρότερα, ανθεκτικότερα στη θερμοκρασία και στη φθορά απ' ό,τι τα σκληρομέταλλα, όμως είναι ευπαθή στα κτυπήματα. Από αυτά παράγονται πλακίδια κοπής για κοπτικά εργαλεία.

Επίσης στην κονιομεταλλουργία χρησιμοποιούνται σκόνες καρβιδίων (καρβίδιο βολφραμίου WG, καρβίδιο τιτανίου TiC, καρβίδιο τανταλίου TaC), καθώς και σκόνη κοβαλτίου. Με συμπίεση σε πρέσα συμπιέζεται το μείγμα από τις σκόνες των καρβιδίων και τη σκόνη του κοβαλτίου για το σχηματισμό τεμαχίων μορφής και με επακολουθούσα πυροσυσσωμάτωση στους 1400°C έως 1600°C παράγονται έτοιμα προϊόντα. Μέσα στο σχηματισμένο αντικείμενο, το κοβάλτιο δημιουργεί μια συνεκτική-ελαστική μάζα, στην οποία βρίσκονται τα σκληρά σωματίδια των καρβιδίων. Με αυξανόμενο ποσοστό καρβιδίων, γίνονται τα σκληρομέταλλα σκληρότερα με ταυτόχρονη μείωση της συνεκτικότητας. [16]



Εικόνα 2.18: Τροχός κοπής. Δεν έχει δόντια,έχει όμως πέτρα από Κορούνδιο (Corundum Al2O3) το οποίο στην κλίμακα Mohs έχει σκληρότητα 9 αμέσως μετά το διαμάντι.

2.3 Πολυμερή

Τα πολυμερή περιλαμβάνουν τα γνωστά μας πλαστικά και ελαστικά υλικά. Πολλά από αυτά είναι οργανικές ενώσεις που χημικά βασίζονται στον άνθρακα, το υδρογόνο και άλλα μη

μεταλλικά στοιχεία. Επιπλέον, έχουν πολύ μεγάλες μορικές δομές. Τα υλικά αυτά έχουν συνήθως χαμηλή πυκνότητα και μπορεί να είναι εξαιρετικά εύκαμπτα.

Τέτοια υλικά είναι:

Πολυμερή ή Πλαστικά. Παραδείγματα τεχνικών πολυμερών είναι το πολυτετραφθο-ροαιθυλένιο, το πολυαιθυλένιο, το πολυστυρένιο, το πολυβινυλοχλωρίδιο, το πολυμεθακρυλικό μεθύλιο, οι εποξικές ρητίνες, ο βακελίτης, κ.λπ.

Κατάταξη:

Ανάλογα με την εσωτερική τους δομή και την συμπεριφορα τους στην θέρμανση, τα πλαστικά υποδιαιρούνται σε τρεις ομάδες: θερμοπλαστικά, θερμοσκληρυνόμενα και ελαστομερή.

Α) Τα **θερμοπλαστικά** απαρτίζονται από μη δικτυωμένα νηματοειδή μεγαλομόρια. Στη θερμοκρασία του χώρου είναι σκληρά και άκαμπτα. Με θέρμανση σε πάνω από 100°C γίνονται μαλακά και διαμορφώνονται εύκολα. Με μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας γίνονται εύπλαστα και τέλος ρευστά.

Β) Τα **θερμοσκληρυνόμενα** απαρτίζονται από δικτυωμένα μεγαλομόρια σε μικρούς βρόγχους. Δεν γίνονται μαλακά με την θέρμανση, δε διαμορφώνονται εν θερμώ και δεν συγκολλώνται.

Γ) Τα **ελαστομερή** έχουν δικτυωμένα μεγαλομόρια σε μεγάλους βρόγχους. Είναι ελαστικά γιατί με την επίδραση δυνάμεων μπορούν να επιμηκυνθούν κατά μερικές φορές και επανέρχονται μετά την εκφόρτιση στην αρχική τους κατάσταση. [16]

2.3.1 Θερμοπλαστικά

I. Πολυτετραφθοροαιθυλένιο (C2F4)n

Το τεφλόν κοινή ονομασία του πολυτετραφθοροαιθυλενίου (συντομογραφικά PTFE) είναι ένα εν δυνάμει τοξικό οργανικό πολυμερές που χρησιμοποιείται κυρίως ως επικάλυψη αντικειμένων και συστατικό πλαστικών αντικειμένων.

Ιδιότητες

Το τεφλόν είναι χημικά αδρανές, αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες είναι ολισθηρό και άκαυστο. Εκλύει τοξικές ουσίες κυρίως όταν θερμαίνεται, ενώ το ίδιο το υλικό δεν είναι

τοξικό. Επιπλέον, το πολυτετραφθοροαιθυλένιο έχει πολύ καλές διηλεκτρικές ιδιότητες και προτιμάται στην κατασκευή ηλεκτρικών κυκλωμάτων γιατί ταυτόχρονα έχει υψηλή θερμοκρασιακή αντοχή.

Πλεονεκτήματα

Αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες (σημείο τήξης 326,8 °C) και είναι άκαυστο.

Μεινεκτήματα

Μόλυνση από τεφλόν: Όταν το τεφλόν θεμαίνεται, τότε μπορεί να εκλύσει διεισδυτικούς τοξικούς ατμούς. Έτσι, όταν μαγειρεύεται ένα φαγητό σε σκεύος επικαλυμμένο με τεφλόν αυτό διεισδύει στο φαγητό και από εκεί στον ανθρώπινο οργανισμό με την κατανάλωση του φαγητού. Υπολογίζεται ότι έχουν μολυνθεί μεγάλα τμήματα πληθυσμού, κυρίως στις αναπτυγμένες χώρες.

Εφαρμογές

Χρησιμοποιείται με επικάλυψη σε άλλα αντικείμενα κυρίως σε εξαρτήματα ολίσθησης, ως στεγανωτικό, αντικολλητικό σε μαγειρικά σκεύη, στα ηλεκτρονικά κυκλώματα για την κατασκευή πυκνωτών και καλωδίων και στην κατασκευή πλαστικών αντικειμένων. [17]

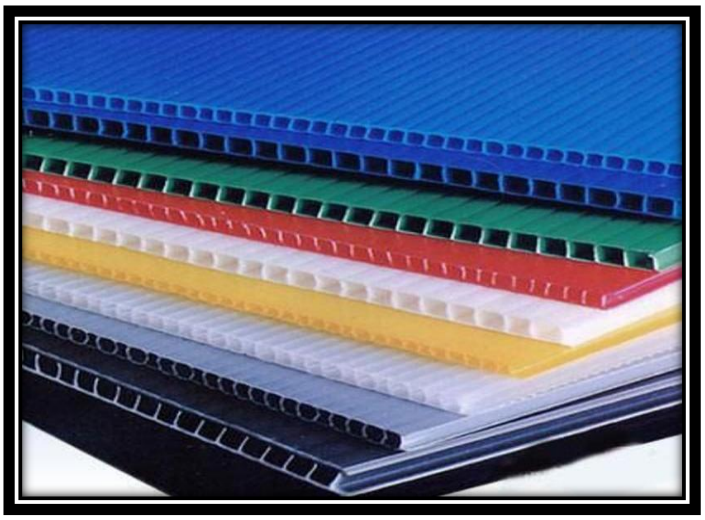


Εικόνα 2.19. Αντικείμενο από τεφλόν

ΙΙ. Πολυπροπυλένιο (PP-H)

Το πολυπροπυλένιο είναι ένα θερμοπλαστικό πολυμερές που χρησιμοποιείται σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών συμπεριλαμβανομένης της συσκευασίας και της επισήμανσης, στα

κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα (π.χ., σχοινιά, χαλιά κτλπ.), χαρτικά, πλαστικά μέρη και επαναχρησιμοποιούμενα δοχεία διαφόρων τύπων, εργαστηριακό εξοπλισμό και εξαρτήματα αυτοκινήτων. Επιπλέον είναι ένα πολυμερές το οποίο γίνεται από το μονομερές προπυλενίου, είναι τραχύ και ασυνήθιστα ανθεκτικό σε πολλά χημικά διαλυτικά, οξέα και βάσεις. [18]



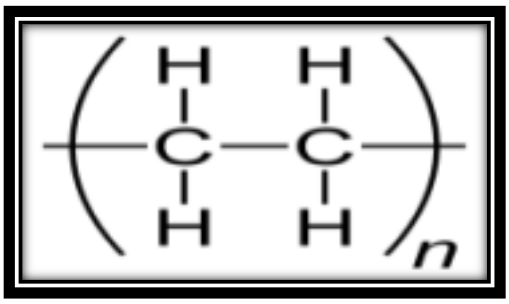
Εικόνα 2.20: Φύλλα πολυπροπυλενίου.

Εφαρμογές

Μια από τις εφαρμογές αυτές είναι η παραγωγή σωλήνων αποχέτευσης. Σε άλλες εφαρμογές που απαιτείται κάπως μεγαλύτερη ελαστικότητα, όπως είναι για παράδειγμα οι σωλήνες πίεσης (μεταφοράς κρύου και ζεστού νερού χρήσης), χρησιμοποιούνται και πάλι τύποι ισοτακτικού και συνδιο-τακτικού πολυπροπυλενίου, οι οποίοι όμως έχουν στις μακρομοριακές αλυσίδες τους αιθυλένιο σε ποσοστό 3-7% (συμπολυμερή πολυπροπυλενίου, όπως πχ το πολυπροπυλένιο random, το πολυπροπυλένιο block, κλπ). Οι σωλήνες και τα εξαρτήματα του συστήματος αποχέτευσης από πολυπροπυλένιο με ελαστικό δακτύλιο της Interplast, με την εμπορική ονομασία ATLAS-PLUS, παράγονται από ομοπολυμερές πολυπροπυλένιο (PP-H) το οποίο αναφλέγεται δύσκολα, εξαιτίας χρησιμοποίησης ειδικών οικολογικών και ατοξικών προσθέτων. Το χρώμα των σωλήνων είναι γκρί (RAL 7037) και περιέχει σταθεροποιητές για προστασία του συστήματος από την ηλιακή ακτινοβολία (UV). Η εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων και των εξαρτημάτων είναι λεία και στιλπνή και παράλληλα αρκετά σκληρή, ώστε να μη χαράσσεται εύκολα από εξωτερικούς παράγοντες. Οι σωλήνες και τα εξαρτήματα χαρακτηρίζονται από την υψηλή ακαμψία τους και τη μεγάλη αντοχή τους στα εξωτερικά χτυπήματα (μηχανικές καταπονήσεις), ακόμη και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (υπό του μηδενός). [19]

III. Πολυαιθυλένιο (PE)

Είναι πλαστική ύλη που παράγεται με πολυμερισμό από το αιθυλένιο και χρησιμοποιείται βιομηχανικά στην κατασκευή ανθεκτικών προϊόντων.



Εικόνα 2.21

Είναι ένα υλικό 100% ανακυκλώσιμο. Από την ανακύκλωση του πλαστικού κατασκευάζονται νέα πλαστικά προϊόντα με αποτέλεσμα την εξοικονόμιση ενέργειας και τη μείωση του όγκου απορριμμάτων. Κατά την παραγωγή του μάλιστα ρυπαίνει το περιβάλλον λιγότερο σε σχέση με άλλα υλικά συσκευασίας. [20]



Εικόνα 2.22. Εύκαμπτα φύλλα διογκωμένου πολυαιθυλενίου

Εφαρμογές

Κατακευάζονται εύκαμπτα ρολά και φύλλα διογκωμένου πολυαιθυλενίου με κλειστές κυψέλες, σε πάχη από 1 mm έως 10 mm., με ή χωρίς επικάλυψη αλουμινίου. Επίσης χρησιμοποιείται βιομηχανικά στην κατασκευή ανθεκτικών προϊόντων

Φυσικές και χημικές ιδιότητες

Το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας είναι μια θερμοπλαστική ρητίνη. Στην θερμοκρασία δωματίου η πυκνότητα είναι μεταξύ 0.94 και 0.96 g/cm ^{3}, περίπου το 60% είναι κρυσταλλικό και το υπόλοιπο είναι άμορφο. Μεταξύ 125° - 135° C, το πολυαιθυλένιο λιώνει και το ιξώδες είναι μοριακά εξαρτώμενο από το βάρος. Η πυκνότητα τήξεως μειώνεται στο 0.80 g/cm ^{3}.

Το πολυαιθυλένιο αντιστέκεται σε χημικούς παράγοντες και προϊόντα και σε διαλύτες. Το πολυαιθυλένιο έχει εξαιρετικές αντοχές στα περισσότερα χημικά προϊόντα και διαλύτες. Μόνο μερικές ουσίες, όπως το decahydronaphtalene ή μερικοί αρωματικοί ή αλογονημένοι υδρογονάνθρακες, μπορούν να διαλύσουν το πολυαιθυλένιο σε υψηλές θερμοκρασίες.

Η χημική καταστροφή του πολυαιθυλενίου γίνεται μόνο υπό την δράση ισχυρών οξέων όπως το νιτρικό οξύ ή θειικό οξύ.

Μηχανικες ιδιοτητες

Τα σημαντικότερα μηχανικά χαρακτηριστικά του αγωγού καλωδίων είναι:

a) αντοχή σε παραμόρφωση
b) αντοχή σε κρούση

Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι το σημαντικότερο, καθώς ο σωλήνας θάβεται και υποβάλλεται σε στατικά και δυναμικά φορτία. Οποιοδήποτε φορτίο που προκαλείται από πίεση (το οποίο περιγράφεται αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο) στο έδαφος που καλύπτει τους αγωγούς καλωδίων πρέπει επίσης να προστεθεί.

Το δεύτερο χαρακτηριστικό αφορά την τυχαία πίεση που προκαλείται από τις πέτρες του εδάφους που πέφτουν στην επιφάνεια των αγωγών καλωδίων κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης του σωλήνα. Για αυτόν τον λόγο, το στρώμα του εδάφους γύρω από τον αγωγό καλωδίων πρέπει να είναι απαλλαγμένο από πέτρες μεγαλύτερες από 80-100mm.

Με το πολυαιθυλένιο δεν χρειάζονται περισσότερες δοκιμές σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών καθώς μπορεί να αντιστέκεται σε χαμηλές θερμοκρασίες (- 50°C) χωρίς να γίνεται εύθραυστο. Ωστόσο πραγματοποιούνται δοκιμές για την συμμόρφωση με τα πρότυπα αγωγών καλωδίων τα οποία υπάρχουν από τότε που οι αγωγοί καλωδίων παράγονταν μόνο από πολυβινύλιο χλωρίδιο (PVC).

Πλεονεκτήματα

a) Αντοχή σε παραμόρφωση.

Η δοκιμή δακτυλιοειδούς ακαμψίας, είναι βασισμένη στο CEI EN 50086-2-4 variant A1. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, το δοκιμαστικό κομμάτι του αγωγού μήκους 200mm

παραμορφώνεται ανάμεσα σε δύο πλάκες 100 X 200 X 15 mm , ώστε να μειωθεί η εξωτερική διάμετρός του κατά 5%. Η δύναμη που απαιτείται πρέπει να υπερβεί την προκαθορισμένη τιμή (450 N ή 750 N).

Στο τέλος της δοκιμής, το δοκιμαστικό κομμάτι των αγωγών καλωδίων δεν ταξινομείται, αλλά κηρύσσεται σύμφωνο ή μη-σύμφωνο.

b) Αντοχή σε κρούση.

Η ταξινόμηση γίνεται σύμφωνα με τη δοκιμή κρούσης. Ενώ η αντοχή σε παραμόρφωση χαρακτηρίζει τον αγωγό σε όλη την διάρκεια της « υπόγειας» ζωής του, η αντοχή στην κρούση αφορά μόνο την εγκατάστασή του αγωγού.

Η δοκιμή πραγματοποιείται μόνο για λόγους ασφάλειας. Η δοκιμή αποτελείται από την ρίψη ενός βαρίδιου στο κομμάτι της δοκιμής σύμφωνα με το CEI EN 50086-1 και CEI το EN 50086-2-4 παραλλαγή A1.Το κομμάτι της δοκιμής ψύχεται στους -5°C για 2 ώρες.

Η δοκιμή αποτελείται από την ρίψη ενός βαριδίου 5 κιλών στο κομμάτι του σωλήνα από ύψος που ποικίλλει ανάλογα με την ονομαστική διάμετρο των σωλήνων (Πίνακας 2.3 «δοκιμή κρούσης»).

Στο τέλος της δοκιμής, δεν θα πρέπει να υπάρχουν οποιεσδήποτε ρωγμές που θα μπορούσαν να επιτρέψουν την εισροή νερού από το εσωτερικό του σωλήνα στο εξωτερικό. Το αποτέλεσμα πρέπει να ισχύει σε τουλάχιστον 9 από τα 12 δοκιμαστικά κομμάτια σωλήνα. [21]

Πίνακας «Δοκιμή κρούσης»		
ονομαστική διάμετρος του σωλήνα (mm)	μάζα του βαριδίου (Kg)	ύψος (mm)
≤ 60	5	300
61 ÷ 90	5	400
91 ÷ 140	5	570
> 140	5	800

Πίνακας 2.3.

IV. Πολυστυρένιο (C8H8)n

Το πολυστυρένιο (πολυφαινυλαιθένιο) είναι ένας αρωματικός υδρογονάνθρακας ο οποίος παράγεται από το μονομερές στυρένιο. Το πολυστυρένιο είναι στερεό σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά λιώνει όταν ζεσταθεί και ξαναγίνεται στερεό όταν κρυώσει.

Εφαρμογές

Χρησιμοποιείται για την παραγωγή υλικών όπως η διογκωμένη πολυστερίνη και η εξηλασμένη πολυστερίνη είτε με μονωτική χρήση αλλά και για ελαφρά, περίπλοκα σχήματα που χρησιμοποιούνται ως υλικά συσκευασίας και φόρμες για χύτευση μετάλλων, αλλά και για πολλές άλλες εφαρμογές. [22]

Ιδιότητες

Διογκωμένο Πολυστυρένιο (EPS)

Το διογκωμένο πολυστυρένιο είναι ένα ελαφρύ, άκαμπτο, κλειστών κυψελών αφρώδες πολυμερές.

Η εσωτερική δομή του EPS αποτελείται από σφαιρίδια επιφανειακά συγκολλημένα και μορφοποιημένα, κατόπιν τρισδιάστατης διευθέτησης των κλειστών κυψελίδων που αναπτύσσονται κατά την παραγωγική διαδικασία.

Μέσα στην κυψελική δομή του EPS μία μεγάλη ποσότητα αέρα είναι εγκλωβισμένη, που αντιστοιχεί περίπου στο 95% του συνολικού όγκου του υλικού. Όταν το EPS συμπιέζεται, τα τοιχώματα των κυψελίδων εφάπτονται και κάμπτονται αφήνοντας τον αέρα που είναι εγκλωβισμένος στις κυψελίδες να διαφύγει.

Παραγωγική διαδικασία

Η α΄ ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του διογκωμένου πολυστυρενίου είναι το διογκώσιμο πολυστυρένιο (μίγμα πολυστυρενίου και αερίου διογκωτικού παράγοντα).

Το διογκώσιμο πολυστυρένιο οδηγείται στον προ-διογκωτήρα, όπου διοχετεύεται ατμός για να θερμάνει και να μαλακώσει το πολυμερές, αλλά και να διογκώσει τον αέριο διογκωτικό παράγοντα που είναι εγλωβισμένος στις κυψελίδες. Ο έλεγχος της πυκνότητας στο στάδιο αυτό είναι η κρίσιμη παράμετρος για τις τελικές ιδιότητες ενός προϊόντος διογκωμένου πολυστυρενίου. Ακολουθεί ξήρανση και αποθήκευση σε ειδικά σιλό προς ωρίμανση του υλικού.

Κατόπιν οδηγείται στις μηχανές μορφοποίησης με καλούπια. Η κοιλότητα του καλουπιού προθερμαίνεται, πληρώνεται με το υλικό και θερμαίνεται ξανά με ατμό. Αυτό οδηγεί σε

περεταίρω διόγκωση των κυψελίδων – έως ότου καλυφθεί ο κενός χώρος μεταξύ τους – και στην επιφανειακή τους συγκόλληση, διαμορφώνοντας ένα άκαμπτο υλικό με σχήμα και διαστάσεις αυτές του καλουπιού. [23]



Εικόνα 2.23. Πολυστυρένιο



Εικόνα 2.24. Διογκωμένο πολυστυρένιο

V. Πολυβινυλοχλωρίδιο (C2H3Cl)n

Το πολυβινυλοχλωρίδιο (polyvinyl chloride, PVC) είναι ένα θερμοπλαστικό πολυμερές, δηλαδή μπορεί να μορφοποιηθεί ως τήγμα σε καλούπια. Μπορεί να δώσει προϊόντα με μεγάλη ποικιλία μηχανικών ιδιοτήτων (από εύκαμπτα έως και σκληρά), διαθέτει χημική αντοχή και αναφλέγεται δύσκολα.

Το PVC συχνά αναφέρεται και ως βινύλιο (π.χ. δίσκοι βινυλίου πικάπ), υπενθυμίζεται όμως ότι ως βινύλιο στην οργανική χημεία αναφέρεται η οργανική ομάδα -CH=CH2.

Το PVC είναι το πλέον χρησιμοποιούμενο πολυμερές μετά το πολυαιθυλένιο και πολυπροπυλένιο. Οι μεγαλύτερες ποσότητες PVC χρησιμοποιούνται στην οικοδομή (υδραυλικές εγκαταστάσεις, δάπεδα, παράθυρα, πόρτες κ.λπ.).

Φυσικοχημικές ιδιότητες

Εμφάνιση: Λευκό άμορφο στερεό (συνήθως διατίθεται σε μορφή σκόνης)

Μοριακός τύπος: [C2H3Cl]n (n = 500 έως 1500)

Σχετική μοριακή μάζα: κυμαινόμενη, ανάλογα με το βαθμό πολυμερισμού (συνήθως στην περιοχή 104 - 105).

Σημείο τήξης: 100-260 ºC

Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (Tg): 82 ºC

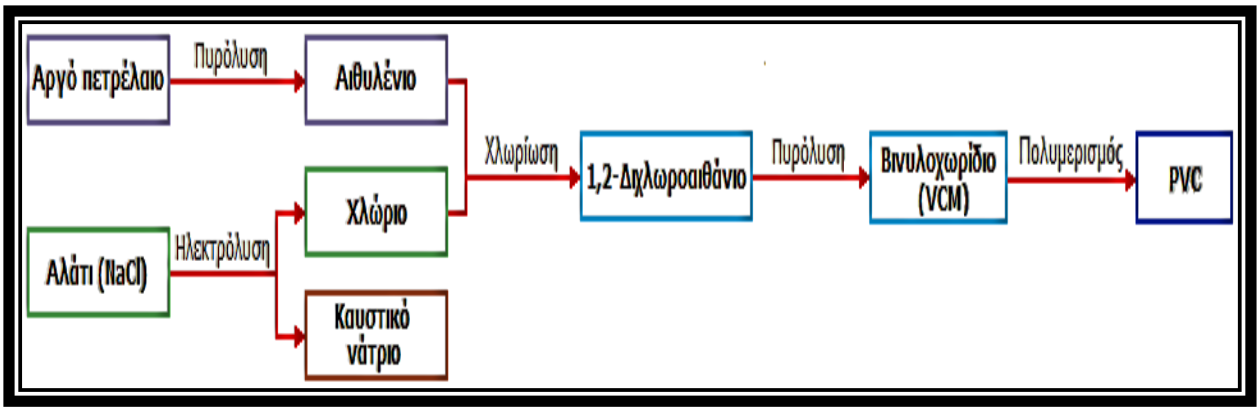
Σημείο βρασμού: διασπάται με έκλυση τοξικών ατμών

Πυκνότητα: 1,39 g/cm3

Διαλυτότητα: αδιάλυτο στο νερό, ιδιαίτερο διαλυτό στο τετραϋδροφουράνιο, στην κυκλοεξανόνη και σε διάφορες άλλες κετόνες.

Σύγχρονη σύνθεση του PVC

Σήμερα το PVC είναι ένα από τα βασικότερα πετροχημικά προϊόντα και παράγεται με πρώτες ύλες το αιθυλένιο και το χλώριο. Το αιθυλένιο είναι προϊόν πυρόλυσης του αργού πετρελαίου και το χλώριο προϊόν ηλεκτρόλυσης του χλωριούχου νατρίου. Εκτιμάται ότι περίπου το 38% του παγκοσμίως παραγόμενου χλωρίου χρησιμοποιείται στην παραγωγή 1,2-διχλωροαιθανίου και βινυλοχλωριδίου, τα οποία σχεδόν στο σύνολό τους κατευθύνονται στη βιομηχανία του PVC.



Εικόνα 2.25. Γενικό σχήμα σύνθεσης PVC.

Χαρακτηριστικές ιδιότητες του PVC και των προϊόντων του

Το PVC είναι πρακτικά αδιάλυτο στο νερό και εμφανίζει εξαιρετική αντοχή στα αραιά και πυκνά διαλύματα οξέων και βάσεων, στις αλκοόλες, τους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες και στα ορυκτέλαια. Προσβάλλεται σε μικρό βαθμό από φυτικά έλαια και οξειδωτικά μέσα. Η αντοχή του είναι περιορισμένη ως προς τις αλδεΰδες, ενώ παρουσιάζει περιορισμένη αντοχή του έναντι των εστέρων, των αρωματικών και των αλογονωμένων υδρογονανθράκων και των κετονών. Η επαφή του με πυκνά διαλύματα οξειδωτικών οξέων πρέπει να αποφεύγεται, ενώ αναφλέγεται σε ατμόσφαιρα φθορίου.



Εικόνα 2.26. Συσκευασίες PVC (τσιμέντα/κόλλες).

Καταλληλότερος διαλύτης για το PVC είναι το τετραϋδροφουράνιο και η κυκλοεξανόνη, όπως (σε μικρότερο κάπως βαθμό) η μεθυλοαιθυλοκετόνη. Διαλύματα PVC σε μίγματα αυτών των διαλυτών διατίθενται στο εμπόριο ως τσιμέντα ή κόλλες PVC (PVC cements/glues). Αυτά τα εμπορικά σκευάσματα χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την αποτελεσματική σύνδεση και στεγανοποίηση των υδραυλικών σωληνώσεων από PVC.

Στα χημικά εργαστήρια χρησιμοποιούνται ευρύτατα εύκαμπτοι (διάφανοι) σωλήνες από PVC για διάφορες συνηθισμένες εργασίες, όπως π.χ. για διαβίβαση νερού βρύσης στους ψυκτήρες. Μια συνηθισμένη τακτική στα εργαστήρια για αποτελεσματική συγκόλληση εύκαμπτων σωλήνων PVC με υάλινους σωλήνες ή και μεταξύ τους (όταν ο εισέρχεται σε άλλον κατάλληλα μεγαλύτερης διαμέτρου) πραγματοποιείται εύκολα με επάλειψη των εφαπτόμενων επιφανειών με λίγες σταγόνες κυκλοεξανόνης, που δρα αρχικά ως "λιπαντικό" και στη συνέχεια ως "συγκολλητικό" μέσο.

Το PVC παρουσιάζει ικανοποιητική σταθερότητα ως προς την υπεριώδη ακτινοβολία, ενώ δεν ενδείκνυται η χρησιμοποίησή του σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τους 70 ºC, όπως και σε μικρότερες από τους -25ºC. Το πώς συγκρίνεται το PVC από άποψη αντοχής έναντι διάφορων χημικών αντιδραστηρίων και διαλυτών, όπως και ως προς τις φυσικές του ιδιότητες και τον τρόπο χρήσης, μπορεί να αναζητηθεί σε αυτήν την ιστοσελίδα.

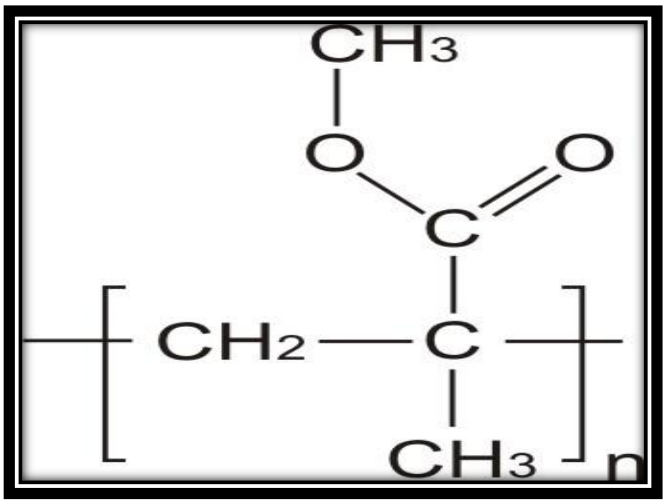
Εφαρμογές του PVC

Το PVC συνδυάζει χαρακτηριστικά τα οποία δεν συναντούνται σε άλλα πολυμερή υλικά χαμηλού κόστους. Ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής και τροποποίησής του μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα εύκαμπτο υλικό (π.χ. για μεμβράνες, φουσκωτά παιχνίδια, εύκαμπτοι σωλήνες), ως υλικό μέσης σκληρότητας (π.χ. για πλακάκια δαπέδου, σωληνώσεις, στεγανοποιητικά ελαστικά στα αυτοκίνητα) και ως σκληρό και σχεδόν άκαμπτο υλικό (π.χ. οικοδομικά υλικά, πλαίσια παραθύρων, προφίλ διαφόρων τύπων).

Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα του PVC, σε σχέση με τα άλλα πολυμερή υλικά ευρείας χρήσης, είναι η περιορισμένη ευφλεκτότητά του, η οποία οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητά του σε χλώριο (56,8% για το καθαρό PVC), που σε αντίθεση με τον άνθρακα και το υδρογόνο δεν υπόκειται σε καύση. Επιπλέον, το HCl που παράγεται κατά τη θερμική διάσπαση του PVC δεσμεύει τις ρίζες υδρογόνου και υδροξυλίου, μειώνοντας αποτελεσματικά την ταχύτητα διάδοσης της φλόγας (βλ. Χημική Ένωση του Μήνα: τετραβρωμοδισφαινόλη Α). [24]

VI. Μεθακρυλικό μεθύλιο

Η αντίδραση του μεθακρυλικού οξέος και της μεθανόλης έχει ως αποτέλεσμα τον εστέρα μεθακρυλικό μεθύλιο. Η διαδικασία πολυμερισμού μετατρέπει το μεθακρυλικό μεθύλιο σε πολυμεθακρυλικό μεθύλιο.



Εικόνα 2.27. Μοριακός τύπος μεθακρυλικού μεθυλίου.

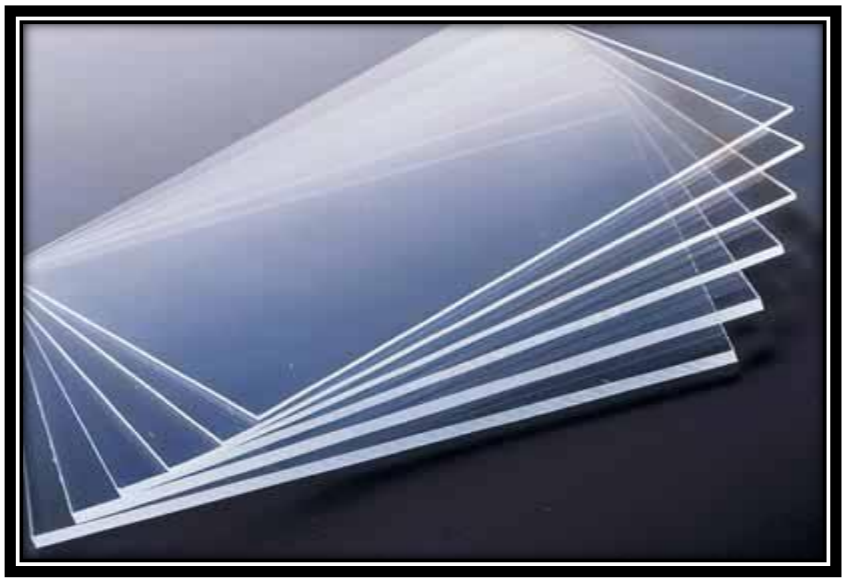
Το Plexiglass, όπως έχει επικρατήσει να αποκαλείται το ακρυλικό, είναι ένα διαφανές θερμοπλαστικό, που συχνά χρησιμοποιείται αντί του γυαλιού λόγω του ότι είναι ελαφρύτερο και ανθεκτικότερο από αυτό. Η επιστημονική του ονομασία είναι πολυμεθακρυλικό μεθύλιο (Poly methyl methacrylate ή PMMA). Γιαυτό και συχνά ονομάζεται ακρυλικό γυαλί ή απλά ακρυλικό. Πρωτοδημιουργήθηκε το 1928 και διατέθηκε για πρώτη φορά στην αγορά το 1933 από την εταιρεία Rohm & Haas με το πατενταρισμένο όνομα Plexiglass. Από τότε πωλείται με πολλά διαφορετικά ονόματα όπως Lucite και Perspex αλλά στην ουσία πρόκειται για το ίδιο υλικό.

Πλεονεκτήματα

Το PMMA είναι μια φθηνότερη εναλλακτική των πολυκαρβωνικών όταν οι απαιτήσεις σε δύναμη της εφαρμογής στην οποία θα χρησιμοποιηθεί δεν είναι μεγάλες. Επίσης το PMMA δεν περιέχει στη μοριακή του σύνθεση την επιβλαβή ουσία βινσφενόλη-Α και όταν καίγεται δεν παράγεται διοξίνη. Προτιμάται συχνά έναντι των πολυκαρβωνικών επειδή κατεργάζεται ευκολότερα και είναι φθηνότερο.

Μειονεκτήματα

Σπάει κάτω από πίεση, ειδικά εάν χτυπηθεί με δύναμη και χαράσεται πολύ ευκολότερα από το γυαλί.



Εικόνα 2.28. Φύλλα Plexiglass.

Εφαρμογές του Πλεξιγκλάς (Plexiglass)

Οι χρήσεις του είναι πραγματικά άπειρες. Μπορεί κάποιος να το συναντήσει σε διακοσμητικές εφαρμογές, στην ορθοπεδική χειρουργική, στην κατασκευή οπτικών ινών, στην προστασία από ακτινοβολλια, ακόμη και σε κάυσιμα πυραύλων.

Είδη Πλεξιγκλάς (Plexiglass)

Υπάρχουν διάφορες ποιότητες plexiglass στην αγορά με κυριότερα τα χυτά (cast) και τα εξελασμένα (extruded). Η κάθε μία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά. Γενικότερα αποδεκτό είναι ότι τα χυτά έχουν καλύτερες ιδιότητες γιαυτό και η τιμή τους είναι ελαφρά υψηλότερη. Στην αγορά κυκλοφορούν κατά κύριο λόγο σε φύλλα, σε πάχη που κυμαίνονται από 2 χιλ έως και 200 χιλ. Ακόμη υπάρχουν ράβδοι στρογγυλής και τετράγωνης διατομής καθώς και σωλήνες.

Κατεργασία του Πλεξιγκλάς (Plexiglass)

Η κατεργασία του plexiglass είναι σχετικά εύκολη. Κόβεται χρησιμοποιώντας μια πλειάδα από τρόπους:

i. Με **ειδικά κοπίδια** τα οποία με επαναλαμβανόμενα περάσματα αφαιρούν μια μικρή ποσότητα υλικού και ατη συνέχεια ασκώντας πίεση το υλικό σπάει κατά μήκος της κοπής. Ο τρόπος αυτός είναι πανομοιότυπος με την κοπή του γυαλιού όπου όμως χρησιμοποιείται εργαλείο με κεφαλή από διαμάντι. Μεγάλη προσοχή απαιτείται όμως γιατί η σπασμένη ακμή είναι εξίσου κοφτερή με μια ακμή από σπασμένο γυαλί.

ii. Με **ηλεκτρικά εργαλεία κοπής**, όπως σέγα, δισκοπρίονο, σοκοροκόφτη, φαλτσοκόφτη, παντογράφο. Προσοχή απαιτείται στην επιλογή του κοπτικού εργαλείου. Ειδικά όταν χρησιμοποιείται δίσκος χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην γεωμετρία των δοντιών του ώστε να υπάρχει σωστό φινίρισμα κατά την κοπή και να μην δημιουργούνται σπασίματα στο κάτο μέρος της κοπής.

iii. Με **laser**. Με την ευρεία διάδοση των κοπτικών laser κατέστη δυνατή η έυκολη και σε οποιοδήποτε σχήμα κοπή των πλαστικών υλικών χωρίς να υπάρχουν ρινίσματα, τα οποία είναι συχνά υπαίτιοι για γρατζουνιές, αλλά και με φινίρισμα γυαλισμένο που δεν απαιτεί περεταίρω επεξεργασία. Κατά την κοπή με laser το σημείο του υλικού που δέχεται την ισχύ της ακτίνας laser εξαχνώνεται χωρίς να αφήνει υπολείματα.

Το plexiglass όταν κόβεται με μηχανική κατεργασία ασπρίζει κατά μήκος της ακμής κοπής και πιθανόν να είναι απαραίτητο το γυάλισμά της. Αυτό μπορεί να γίνει με τρίψιμο με γυαλόχαρτα μικρής κόκκωσης και κατόπιν με ύφασμα, με θέρμανση ή με γυάλισμα με διαμάντι.

Το plexiglass μπορεί να κολληθεί χρησιμοποιώντας κυανοακρυλική κόλλα (τη γνωστή κόλλα στιγμής), με ζέσταμα σε θερμοκρασία γύρω στους 1600C, κατά το οποίο η προς κόλληση επιφάνειες λιώνουν και ενώνονται μεταξύ τους ή χρησιμοποιώντας διαλύτες όπως δι- ή τριχλωρομεθάνιο για να διαλυθούν τα πλαστικά κατά μήκος της ακμής επαφής, να ενωθούν και μετά να στερεοποιηθεί η ένωση δημιουργώντας μια σχεδόν αόρατη κόλληση. Οι γρατζουνιές (κάτι από το οποίο πάσχει το plexiglass) διορθώνονται με γυάλισμα ή με ζέσταμα της επιφάνειας του υλικού. [25]

VII. Βακελίτης

Είναι τεχνητή ρητίνη και παίρνεται από τη συμπύκνωση μιας φαινόλης με φορμαλδεΰδη. Όταν θερμαίνουμε μία φαινόλη ή μία κρεζόλη με φορμαλδεΰδη και με τη βοήθεια καταλύτη, παίρνουμε ένα υγρό παχύρρευστο. Αυτό ονομάζεται *βακελίτης Α* και είναι διαλυτός στην αλκοόλη, στην ακετόνη και στα αλκάλια. Όταν θερμάνουμε το υγρό αυτό στους 100° C παίρνουμε το *βακελίτη Β*.

Ιδιότητες

Αυτός είναι σκληρός, όταν είναι ψυχρός και εύπλαστος, όταν είναι θερμός, δε διαλύεται στα διάφορα διαλυτικά μέσα, αλλά μόνο διογκώνεται. Με παρατεταμένη θέρμανση παίρνουμε το *βακελίτη Γ*. Αυτός είναι ανθεκτικός στις υψηλές θερμοκρασίες. Πολλά αντικείμενα

καλύπτονται επιφανειακά με το υγρό βακελίτη Α (επάλειψη με πινέλο). Κατόπιν με κατάλληλη κατεργασία ή επένδυση αυτή παίρνει τη σκληρότητα και την αντοχή που πρέπει.



Εικόνα 2.29. Κουζίνα από βακελίτη.

Εφαρμογές

Ο βακελίτης χρησιμοποιείται σαν μονωτικό στις θερμικές και ηλεκτρικές μονώσεις για την παρασκευή βερνικιών, για την κατασκευή οικιακών ειδών, για την παρασκευή ρητινοειδών κονιαμάτων (τσιμέντων) κ.ά. Επίσης τον συναντάμε σε έπιπλα κουζίνας, σε ντουλάπες, σε γραφεία κ.τ.λ. Αποτελείται από στρώματα χαρτιού τα οποία επικολλούνται με φαινολική ρητίνη σε ένα φύλλο. [26]

2.3.2 Θερμοσκληρυνόμενα

I. Η ρητίνη

Η ρητίνη είναι το υλικό που "δένει" τις ίνες μεταξύ τους, τους δίνει το επιθυμητό σχήμα και τις βοηθά να παραλαμβάνουν αποτελεσματικοτερα τις δυνάμεις που προέρχονται από εφελκυσμό, θλίψη, στρέψη ή κάμψη. Υπάρχουν πολλά είδη ρητίνης, αλλά στα συνθετικά υλικά χρησιμοποιούμε τις πολυεστερικές, τις εποξικές και πιο σπάνια τις βινυλεστερικές και τις φαινόλες. Το κλειδί της ποιοτητας του τελικου κατασκευασματος, ειναι ο τροπος εμποτισμού του υφάσματος με τη ρητίνη, και έπειτα η μετατροπή της μορφής της από υγρή σε στερεή. Για να γίνει αυτό αναμιγνύσυμε δυο συστατικά: τη ρητίνη, και ανάλογα με το είδος της τον καταλύτη ή το σκληρυντικό. Τα καθένα από τα παραπάνω υλικα ξεχωριστά μπορούν να αποθηκευτούν για πολυ μεγάλες χρονικές περιόδους, αλλά όταν αναμεχθουν σε σωστή

αναλογια τότε γίνεται η χημική αντίδραση που τελικα θα οδηγήσει σε στερεοποίηση του ρευστού με το οποίο είναι εμποτισμένο το ύφασμα. Η στερεοποίηση αυτή, ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος, τις αναλογιες και το είδος της ρητίνης, μπορεί να διαρκέσει από μερικές ώρες μέχρι και μέρες μέχρι να ολοκληρωθεί. Η αντίδραση που συμβαίνει είναι εξώθερμη, δηλ. κατά τη διαδικασία το υλικο αποβαλλει θερμότητα στο περιβαλλον. Οι πιο διαδεδομένες ρητίνες για τα συνθετικά υλικα είναι οι πολυεστερικες και οι εποξικές, αλλα όταν μιλαμε για σωστή κατασκευή carbon ή Kevlar υπάρχει μόνο μια κατηγορία: οι εποξικές ρητίνες. Οι πολυεστερικες είναι φθηνότερες, πιο εύχρηστες λόγω μικρού ιξώδους και στερεοποιούνται γρηγορότερα, όμως οι εποξικές ρητίνες είναι οι πιο κατάλληλες επειδή διαθέτουν ποίο μεγαλη μηχανική αντοχή, εκμεταλλευονται πολυ καλυτερα το ύφασμα, δίνουν στο τελικό προϊόν επιφάνεια καλύτερης ποιότητας, και κατά την πήξη τους συστέλλονται (“μπαίνουν”) κατά 5Ο% λιγοτερο από τις πολυεστερίκες (ο όγκος τους μειώνεται γύρω στο 4%, ενώ των πολυεστερικών κυμαίνεται στο 7-8%).

Κατηγοριες πολυεστερικων ρητινων

• **Ορθοφθαλικές:** Γενικών εφαρμογών πολύ διαδεδομένες ρητίνες λόγω των καλών τους ιδιοτήτων, της ευκολίας χρήσης τους και του σχετικά χαμηλού κόστους τους. Καλύπτουν ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογών όπως μικρά έως και μεγάλα σκάφη, συστήματα στέγασης, σωληνώσεις, τμήματα αυτοκίνητων και δίκυκλων, κουβούκλια, και πάσης φύσεως πολυεστερικές κατασκευές και επισκευές. ΤΥΠΟΙ 4637 SPATV, EXTRAPOL, 900TA

• **Οικολογικές:** Έχουν λιγότερη έκλυση στυρένιου από τις άλλες πολυεστερικές ρητίνες. Η ιδιότητα αυτή τις έκανε πολύ δημοφιλείς γιατί είναι πιο φιλικές στο περιβάλλον και λιγότερο βλαβερές για την υγεία του χρήστη. Επιπλέον έχουν αρχική σκλήρυνση (cure time) γρηγορότερη γεγονός που τις καθιστά πιο παραγωγικές. Κατάλληλες για τις περισσότερες εφαρμογές ενισχυμένων πλαστικών. Ιδανικές επίσης όπου η εφαρμογή του υλικού γίνεται σε σχετικά κλειστό χώρο με περιορισμένη εξαέρωση. ΤΥΠΟΣ: 446MPALV

• **Ισοφθαλικές:** Έχουν πολύ καλές μηχανικές αντοχές, άριστη πρόσφυση και πολύ καλή χημική συμπεριφορά. Ιδιαίτερα ανθεκτικές στην υγρασία και στο φαινόμενο της υδρόλυσης που προκαλεί την όσμωση. Οι ιδιότητες αυτές τις καθιστούν απαραίτητες για κατασκευές που προορίζονται για δύσκολο περιβάλλον και πιο υψηλές απαιτήσεις. Ιδανικές για κατασκευή μικρών και μεγάλων σκαφών αναψυχής, καλουπιών καθώς και κάθε είδους πλαστικοποιήσεις (και ιδίως ξύλινων σκαφών). ΤΥΠΟΣ: 491PA, K530TA

• **Βινιλικές:** Είναι οι λεγόμενοι και βινιλεστέρες. Έχουν εξαιρετικές μηχανικές και συγκολλητικές ιδιότητες ενώ προσφέρουν εξαιρετικές συγχρόνως στεγανοποιητικές ιδιότητες.

Εμποτίζουν όλα τα υαλοϋφάσματα ενώ ενδείκνυνται και για εμποτισμό υφασμάτων Carbon, Kelvar. Ειδικές για κατασκευές πολύ υψηλών απαιτήσεων όπως σκάφη αγώνων, αγωνιστικά αυτοκίνητα και δίκυκλα, ιστιοσανίδες και πάσης φύσεως μικρά και μεγάλα σκάφη, όπου η υψηλή ποιότητα κατασκευής είναι πρωταρχικής σημασίας. ΤΥΠΟΣ: VE 673,VE 679PA

• **Οξύμαχες:** Ειδικές ρητίνες με μεγάλη αντοχή στα οξέα και άλλα ισχυρά χημικά. Ενδείκνυνται για κατασκευή δεξαμενών, βυτίων μεταφοράς και αποθήκευσης καύσιμων, υγρών οξέων, σωληνώσεων, βόθρων για οξέα και τοξικά απόβλητα. ΤΥΠΟΣ: 600PA

• **Υψηλών θερμοκρασιών:** Ειδικές ρητίνες για κατασκευές που δέχονται υψηλές θερμοκρασίες έως 180?C και για δεξαμενές καυσίμων. Μεταξύ όλων των ρητινών αυτές είναι οι καταλληλότερες για αντοχή στην βενζίνη και σε άλλα πετρελαιοειδή. ΤΥΠΟΣ: 199PA

• **Καλουπιών:** Για κατασκευές καλουπιών ανθεκτικών στις καταπονήσεις, στις συστολές και διαστολές, στα πετσικαρίσματα και στην υψηλή θερμοκρασία. Με τον χαμηλότερο συντελεστή συρρίκνωσης. ΤΥΠΟΣ: 474PA

• **Αυτοσβενύμενες:** Δεν επιτρέπουν επέκταση- συνέχιση της φωτιάς αφού ωστόσο έχει εξουδετερωθεί η αρχική εστία της. Κατάλληλες για μηχανοστάσια και σημεία όπου ο κίνδυνος της φωτιάς είναι μεγάλος ΤΥΠΟΣ:1355PA

• **Για Μάρμαρα:** Μη θηξιοτροπικές ρητίνες. Ιδιότητες: Χαμηλό εξώθερμο κατά την αντίδραση, διατήρηση σταθερών διαστάσεων του προϊόντος (δεν παραμορφώνονται δεν πετσικάρουν), αντίσταση στην θερμότητα. Αναμιγνύονται με διάφορα ειδικά αδρανή όπως γρανίτες μαρμαρόσκονη κ.λ.π. Χρωματίζονται με τις κατάλληλες πολυεστερικές πάστες ή πολυεστερικά χρώματα και χυτεύονται σε καλούπια κυρίως πολυεστερικά. Με τις ρητίνες αυτές κατασκευάζονται τεχνητά μάρμαρα, είδη υγιεινής, πάγκοι κουζίνας, τραπέζια κ.λ.π. ΤΥΠΟΣ:757

• **Διαφανείς:** Υγρό γυαλί. Είναι μη θηξιοτροπικές ρητίνες. Η ιδιότητα αυτή τις κάνει να έχουν πολύ καλύτερη ροη από τις άλλες ρητίνες και για αυτό ακριβώς χρησιμοποιούνται για χύτευση σε καλούπια κυρίως σιλικόνης. Έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα απόλυτη διαφάνεια σε απομίμηση γυαλιού. Κατάλληλες για κατασκευές ειδών δώρων, μπιμπελό κ.λ.π. Μοναδικές για εγκλωβισμούς αντικειμένων όταν απαιτείται απόλυτη διαφάνεια. ΤΥΠΟΣ: 1973

• **Νερού:** Ρητίνες χύτευσης οι οποίες δέχονται και προσθήκη νερού έως 60% για κατασκευές οικονομικές, ελαφρύτερες αλλά και ανθεκτικές στο σπάσιμο. Κορνίζες, τεχνητές πέτρες κ.τ.λ. ΤΥΠΟΣ: 1381PA

• **Αγαλμάτων:** Μη θηξιοτροπικές ρητίνες με χαμηλό εξώθερμο. Αναμειγνύονται με διάφορα αδρανή υλικά (αλάβαστρο, μαρμαρόσκονη, πριονίδι κ.τ.λ.) και χυτεύονται σε καλούπια

σιλικόνης η πολυεστερικά. Χρωματίζονται με τις κατάλληλες πολυεστερικές πάστες. ΤΥΠΟΙ: 920,757,1973 [27][28]

II. Βινιλεστέρες

Βινιλεστερική ρητίνη εποξιδικής διγλυκιδυλαιθερικής (Epoxy Novolac) βάσης. Έχει εξαιρετική αντοχή σε μια μεγάλη γκάμα ισχυρών χημικών ουσιών όπως ισχυρά οξέα, οξειδωτικούς παράγοντες, χλωριώδη διαλύματα, καύσιμα, διαλυτικά κ.α.

Ενδείκνυται για εφαρμογή με όλα τα υαλοϋφάσματα, ανθρακονήματα, υφάσματα Kevlar, και με όλες σχεδόν τις μεθόδους παραγωγής (χειροποίητα, κλειστά καλούπια έκχυσης, vacuum – infusion, περιέλιξης νημάτων). Εξαιρετική επιλογή για χρήση στην κατασκευή σύνθετων πλαστικών ειδικών προδιαγραφών όπως ρεζερβουάρ και δεξαμενές καυσίμων, ναυπηγικές εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων, αγωγούς, πλυντρίδες χημικών, δεξαμενές χρήσης οξέων κ.α.

Επιπλέον έχει πολύ υψηλό συντελεστή θερμικής παραμόρφωσης με εξαιρετική αντοχή και διατήρηση των ιδιοτήτων της στις υψηλές θερμοκρασίες. [29]

Βινιλεστερική ρητίνη τύπου DCPD, για κατασκευή σκαφών, καλουπιών και διαφόρων άλλων αντικειμένων, καθώς και πάσης φύσεως πλαστικοποιήσεις και επισκευές όπου απαιτείται άριστη πρόσφυση και εξαιρετικές αντοχές του τελικού προϊόντος.

Εκτός από κατασκευές εξολοκλήρου από βινιλεστέρα ενδείκνυται για τον εμποτισμό των πρώτων τουλάχιστον στρώσεων των υαλοϋφασμάτων κατά την κατασκευή ενός αντικειμένου μέσω καλουπιού. Εξαλείφει το φαινόμενο «print through» αποτύπωσης των υφασμάτων στην εξωτερική όψη του gel coat ενώ προσφέρει συγχρόνως εξαιρετικές μηχανικές αντοχές στο τελικό προϊόν. Λόγω της εξαιρετικής χημικής της σύστασης και της κορυφαίας στεγανότητας που διαθέτει είναι ιδανική για χρήση στις γάστρες των σκαφών, προστατεύοντας τέλεια το σκάφος από την όσμωση. Με τη διεθνή πιστοποίηση του Lloyds Register of Shipping. [30]

2.3.3 Προτεινόμενα υλικά πλήρωσης καλουπιού

Τα προτεινόμενα υλικά για την πλήρωση του καλουπιού το οποίο αποτελείται από νομείς (ελάσματα) είναι έγχυτα κονιάματα εποξειδικής βάσης,έγχυτα κονιάματα πολυουρεθανικής βάσης, και σιλικόνες.

I. Έγχυτα Κονιάματα Εποξειδικής Βάσης

Τα έγχυτα εποξειδικά κονιάματα, βασίζονται σε συνδυασμό εποξειδικής ρητίνης και ειδικών αδρανών (υλικά που δεν επιφέρουν χημικές μεταβολές στις σύνθετες τεχνητές ύλες των οποίων αποτελούν συστατικά π.χ. σκυροδέματα) ώστε να διατηρούν τόσο τις ιδιότητες των ρητινών όσο και των αυτοεπιπεδούμενων κονιαμάτων. Τα χαρακτηριστικά τους είναι κατάλληλα σε εφαρμογές όπου υπάρχει έντονη μηχανική και χημική καταπόνηση. [31]

a) Sikadur®-42 Anchor

Το Sikadur-42 Anchor είναι 3-συστατικών εποξειδικό υλικό, ταχείας ωρίμανσης, υψηλών αντοχών, για χυτές εφαρμογές, χωρίς διαλύτες. Βασίζεται σε συνδυασμό ειδικών εποξειδικών ρητινών και ειδικών αδρανών, ώστε να επιτρέπει στο υλικό ιδιότητες υψηλής ρευστότητας και αυτό-επιπέδωσης.

Εφαρμογές

Το Sikadur-42 Anchor είναι κατάλληλο για τις εξής εφαρμογές:

- Ως αυτοεπιπεδούμενο επισκευαστικό κονίαμα κατά τη διάρκεια εργασιών σε σκυρόδεμα, πέτρα, κονίαμα, ξύλο κ.τ.λ.
- Για δομητική αγκύρωση οπλισμών σκυροδέματος σε οριζόντιες επιφάνειες
- Για χυτεύσεις ακριβείας σε εφέδρανα, πλάκες εδράσεων μηχανών, στερεώσεις για αρμοκάλυπτρα γεφυρών, εδράσεις γεφυρών, συγκολλήσεις σιδηροτροχιών
- Για γεμίσματα ρωγμών και κοιλοτήτων

Χαρακτηριστικά / Πλεονεκτήματα

Το Sikadur-42 Anchor παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

1) Πολύ καλή πρόσφυση στα περισσότερα κατασκευαστικά υλικά: σκυρόδεμα, κονιάματα, πέτρα, τούβλο, ινοπλισμένο τσιμέντο, χάλυβα, γυαλί, πολυεστερικές ή εποξειδικές ρητίνες.
2) Δεν περιέχει διαλύτες.
3) Εύκολη ανάμιξη, καλή ρευστότητα και εύκολη τοποθέτηση.
4) Ταχεία σκλήρυνση χωρίς συρρίκνωση.
5) Η υγρασία δεν επηρεάζει την ωρίμανση.
6) Υψηλών μηχανικών αντοχών. Σκληρό και ανθεκτικό σε δονήσεις.
7) Αδιαπέρατο από υδρατμούς.

8) Έχει πολύ καλή αντοχή στις καιρικές επιδράσεις και στα χημικά, όπως αραιωμένα οξέα, βάσεις, άλατα, νερό υψηλής καθαρότητας, λύματα, λάδια και καύσιμα.
9) Δεν απαιτεί αστάρωμα.

Εμφάνιση / Χρώμα

Συστατικό Α: λευκή πάστα, **Συστατικό Β:** σκούρα γκρι πάστα, **Συστατικό Γ:** άμμου, **Μίγμα Α+Β+Γ:** γκρι **[31]**

b) Sikadur®-12 Pronto

Το Sikadur-12 Pronto είναι 2-συστατικών, έγχυτο ταχύπηκτο κονίαμα, βάσης ενεργών ακρυλικών ρητινών.

Εφαρμογές

- Ταχύπηκτο έγχυτο κονίαμα πολλαπλής χρήσης, για δρόμους σκυροδέματος, διαδρόμους, χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων, βιομηχανικά δάπεδα, σκάλες, προκατασκευασμένα στοιχεία κ.τ.λ.
- Στερέωση και σφράγιση εφέδρανων σε εφαρμογές γεφυροποιϊας, βάσεων σιδηροτροχιών, θεμελιώσεων κ.α.
- Στερέωση αγκύριων / βλήτρων.
- Γέμισμα διάκενων και κοιλοτήτων.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σκυρόδεμα, πέτρα, τσιμεντοκονίαμα και χάλυβα.

Χαρακτηριστικά / Πλεονεκτήματα

1) Ταχείας ωρίμανσης.
2) Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες.
3) Εύκολη ανάμιξη και καλή εργασιμότητα.
4) Υψηλές μηχανικές αντοχές.
5) Ανθεκτικό στην απότριψη και τις κρούσεις.
6) Καλή χημική αντοχή.

Εμφάνιση / Χρώμα

Ρητίνη - μέρος Α: διαφανές υγρό, **Σκόνη / Σκληρυντής - μέρος Β:** γκρι, σκόνη [32]

ΙΙ. Έγχυτα Κονιάματα Πολυουρεθανικής Βάσης - Τεχνολογίας Icosit

Η τεχνολογία Icosit είναι σχεδιασμένη για τη στερέωση, συγκόλληση και σφράγιση μεμονωμένων βάσεων ή συνεχών σιδηροτροχιών, όπου ασκούνται υψηλής έντασης φορτία, όπως σε γραμμές αστικών συρμών, γερανούς, γερανογέφυρες. Επίσης είναι ιδανικά υλικά για στερέωση μηχανών, καθώς μειώνουν σημαντικά τις δονήσεις που δημιουργούνται κατά τη λειτουργίας τους. [31]

a) Icosit ® KC 340/7

Το Icosit KC 340/7 είναι έγχυτο υλικό, δύο συστατικών πολυουρεθανικής βάσης που σχηματίζει ένα εύκαμπτο πολυμερές κονίαμα.

Εφαρμογές

- Το Icosit KC 340/7 είναι σχεδιασμένο σαν εύκαμπτο κονίαμα, υψηλής φέρουσας ικανότητας για την ευθυγράμμιση των σιδηροδρομικών τροχιών, όπως στις στροφές και τα σημεία διασταυρώσεων τους.
- Στερέωση σιδηροδρομικού υλικού σε άκαμπτα υποστρώματα όπως πλάκες σκυροδέματος σηράγγων και καταστρώματα μεταλλικών γεφυρών.
- Χρησιμοποιείται σαν έγχυτο κονίαμα για τη μείωση του θορύβου και των δονήσεων κάτω από συνεχείς σιδηροδρομικές τροχιές καθώς και από τις μεμονωμένες πλάκες έδρασης του βασικού σιδηροδρομικού υλικού.

Χαρακτηριστικά / Πλεονεκτήματα

1) Μείωση δονήσεων.
2) Εξαιρετική ηλεκτρική μόνωση έναντι διαρρέοντος ρεύματος.
3) Απάλειψη των ανισοσταθμιών.
4) Συγκολλητικό με υψηλή φέρουσα ικανότητα στις διατμητικές τάσεις κατάλληλο για την στερέωση σιδηροδρομικών τροχιών (αποτρέπει την εισροή νερού στο κάτω μέρος και μειώνει ή ακόμη και εξαλείφει την ανάγκη για στερέωση με χημικά/μηχανικά αγκύρια.
5) Ανεπηρέαστο στην υγρασία.
6) Ελαστικό – συμπιέσιμο.
7) Μεγάλη προβλεπόμενη διάρκεια λειτουργίας.

Εμφάνιση / Χρώμα :Μαύρο **[31]**

III. Ελαστομερή

- **Συνθετικό καουτσούκ:** κίτρινο έως βαθύ καφέ, συνήθως χρωματισμένο με αιθάλη.Ανάλογα με το ποσοστό θείου, ελαστικό σκληρό, έως ελαστικό μαλακό. Δεν τρίβεται και είναι πολύ ελαστικό.



Εικόνα 2.30 Λάστιχο αυτοκινήτου από συνθετικό καουτσούκ.

Εφαρμογές

Χρησιμοποιείται για κατασκευή: ελαστικών αυτοκινήτων, καλυμμάτων, λαστιχένιων ελατηρίων, σωλήνων κ.τ.λ. [16]

- **Σιλικόνες Dow Corning:** για την κατασκευή ελαστικών καλουπιών. Οι Σιλικόνες της Dow Corning είναι προϊόντα δύο συστατικών σε υγρή μορφή που όταν ανακατεύονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος δίνουν εύκαμπτα αλλά ανθεκτικά καλούπια.



Εικόνα 2.31: Σιλικόνες Dow Corning

Πλεονεκτήματα των **Σιλικόνων Dow Corning** είναι:

1) Μεγάλη ρευστότητα → εύκολο ανακάτεμα, γεμίζουν κάθε γωνία και λεπτομέρεια
2) Καλή αντοχή σε χημικά → περισσότερα αντίγραφα
3) Ελάχιστη συρρίκνωση → μεγάλη ακρίβεια στην αντιγραφή
4) Πολύ καλές ιδιότητες αποκόλλησης
5) Μεγάλη γκάμα προϊόντων με διαφορετικές ιδιότητες και χρόνους στερεοποίησης
6) Εύκαμπτα, δυνατά λάστιχα που αντέχουν στην πίεση κατά το ξεκαλούπωμα [33]

2.4 Σύνθετα υλικά

Για ένα σύστημα ο όρος "σύνθετο" σημαίνει ότι τούτο αποτελείται από δύο ή περισσότερα διακριτά μέρη. Από γενική άποψη, λοιπόν, ένα υλικό αποτελούμενο από δύο ή περισσότερα διαφορετικά υλικά ή φάσεις, μπορεί να χαρακτηριστεί ως σύνθετο υλικό (composite material).

Πιο ειδικά, σήμερα, ως σύνθετα αναγνωρίζονται εκείνα τα υλικά, τα οποία συντίθενται από επιμέρους υλικά με σημαντικά διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες μεταξύ τους, ενώ και το ίδιο το σύνθετο υλικό έχει επίσης σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες από εκείνες των συστατικών του. Για να καταταχθεί ένα υλικό στην κατηγορία των σύνθετων, θα ακολουθείται ο εξής κανόνας: Το υλικό πρέπει να προκύπτει ως συνδυασμός συστατικών μερών, στα οποία οι ιδιότητες του ενός από τα μέρη αυτά να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από του άλλου (τουλάχιστον 5πλάσιες) και η κατ' όγκο περιεκτικότητα του ενός να μην είναι πολύ μικρή (> 10 %) . [34]

Ένα γνωστό παράδειγμα είναι το φάιμπεργκλας στο οποίο ίνες υάλου ενσωματώνονται μέσα σε πολυμερές υλικό. Το φάιμπεργκλας αποκτά αντοχή από το γυαλί και ευκαμψία από το πολυμερές. Επίσης το οπλισμένο σκυρόδεμα (τσιμέντο + χαλίκια + βέργες σιδήρου) και τα πολυμερή ενισχυμένα με ίνες γραφίτη (άνθρακα). Μεγάλο μέρος από την πρόσφατη ανάπτυξη των υλικών αφορά τα σύνθετα υλικά. Τα σύνθετα υλικά, εκτός του ότι είναι πολύ ελαφρά, έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή. [4]

Ανάλογα με τη μορφή του συστατικού ενίσχυσης, τα σύνθετα κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

• **Ινώδη σύνθετα** (fibrous composites): Με ενίσχυση ινών εμποτισμένων σε υλικό μήτρας.

• **Στρωματικά σύνθετα** (laminated composites): Με επάλληλες στρώσεις υλικών.

• **Κοκκώδη σύνθετα** (particulate composites): Με ενίσχυση σωματιδίων διασκορπισμένων στο υλικό της μήτρας.

Τα ινώδη σύνθετα υλικά διακρίνονται περατέρω ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη

διάταξη των ινών μέσα στη μήτρας. Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή τα ινώδη σύνθετα διακρίνονται σε:

• Μονοδιευθυντικά σύνθετα, στα οποία οι ίνες έχουν όλες την ίδια διεύθυνση.

• Πολυδιευθυντικά σύνθετα, στα οποία, οι ίνες έχουν διαφορετικές διευθύνσεις.

Η ιδιότητα αυτή οδηγεί άμεσα σε ταξινόμηση των πολυδιευθυντικών συνθέτων στις ακόλουθες υπο-ομάδες:

• Σύνθετα με ίνες τυχαίας διεύθυνσης.

• Σύνθετα με ίνες σε πλέξη ύφανσης.

• Σύνθετα με ίνες σε τρισορθογώνια ύφανση.

Μία επιπλέον διάκριση των ινωδών συνθέτων στηρίζεται στο λόγο μήκους προς διάμετρο (ℓ /d) των ινών, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως:

• Συνεχείς ή μεγάλου μήκους ίνες (continuous fibers), όταν είναι ℓ / d $\geq$100 .

• Ασυνεχείς ή κοντές ίνες (discontinuous fibers), όταν είναι ℓ / d <100 .

• Νηματίδια ή τριχίτες (whiskers): Με d < 1μm και $\ell \approx$ 100μm (πρόκειται για λεπτούς μονοκρυστάλλους κεραμικού υλικού). [34]

2.4.1 Carbon (ανθρακονήματα)

Το Carbon είναι πολύ πιο πολύπλοκο από το μέταλλο. Σκεφθείτε πως ξεκινά τη ζωή του ως μια κλωστή. Η κλωστή «πλέκεται» σε ύφασμα. Τα υφάσματα κόβονται σε κομμάτια και τοποθετούνται σε καλούπια.



Εικόνα 2.32. Ρολό Carbon (ανθρακόνημα)

Για κοινό όγκο υλικου, το ανθρακόνημα είναι ανθεκτικότερο από το ατσάλι και τα συναφή κράματα χάλυβα μολονότι είναι ελαφρα λιγοτερο άκαμπτο. Βάζοντας όμως στο παιχνίδι και τον σημαντικότατο παράγοντα του βάρους, το carbon είναι ανώτερο από όλα τα αλλα μέταλλα και από τα περισσότερα συνθετικά υλικά. Επομένως το μέγεθος που μας ενδιαφέρει δεν είναι τόσο η απολυτη αντοχή ενός υλικού, αλλα η ειδική αντοχή (ο λόγος της αντοχής προς την πυκνότητα), και σε αυτόν τον τομέα το carbon και τα συνθετικά υλικά διαπρέπουν.

Ιδιότητες/Πλεονεκτήματα

Οι ίνες άνθρακα προσφέρουν πολύ υψηλές αντοχές σε εφελκυσμό και θλίψη, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και διάβρωση, ακαμψία, χαμηλό μοριακό βάρος κτλ.

Εφαρμογές

Εξαιτίας των ιδιοτήτων του, το carbon, χρησιμοποιείται σε ακριβές και απαιτητικές κατασκευές όπως πχ: σε αεροσκάφη, αγωνιστικά αυτοκίνητα, κράνη κτλ. [35]

2.4.2 Fiberglass (υαλονήματα)

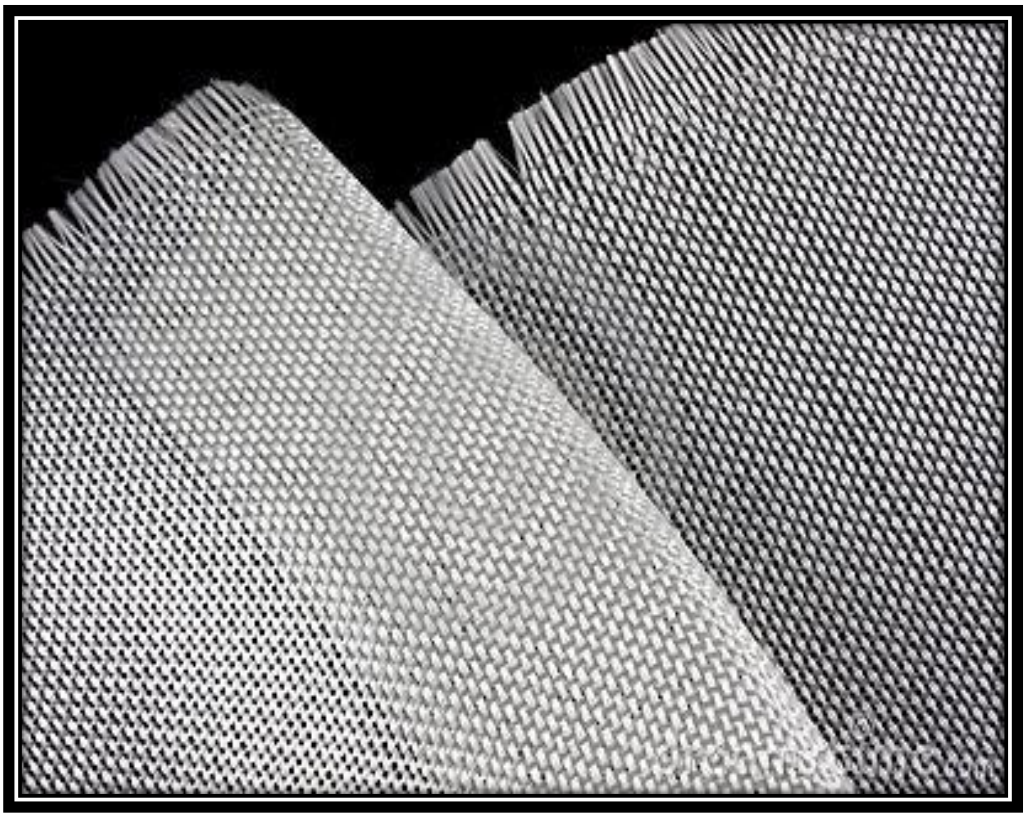
Λόγω της ευρείας χρήσης και της προσιτής τιμής του, το γνωστότερο συνθετικό υλικο στην κατηγορία FRP είναι το fiberglass (υαλονήματα), δηλαδη οι ίνες γυαλιού (η χημική σύσταση των ινών του fiberglass και ενός κοινού τζαμιού είναι σχεδόν όμοιες). Αλλα πώς μιλάμε για "ίνες με μεγάλη αντοχή" όταν προέρχονται από ένα υλικό όπως το γυαλί. Στην πραγματικότητα το γυαλί είναι τρομερά ανθεκτικό υλικό. Τα γυάλινα αντικείμενα που χρησιμοποιούμε καθημερινά είναι εύθραυστα επειδή η επιφάνειά τους είναι γεμάτη μικροσκοπικές γρατσουνιές, οι οποίες όταν φορτιστούν από δυνάμεις γίνονται ρωγμές και έπειτα διαδίδονται σε όλη τη μάζα του αντικειμένου. Όμως όταν κατεργαστούμε το γυαλί και δημιουργήσουμε πολύ λεπτές ίνες, παίρνουμε ένα υλικό με ευκαμψία κλωστής, και επειδή η διάμετρος των ινών είναι μικρότερη από αυτή που μπορεί να επηρεάσει μια ρωγμή, τα ψεγάδια που ίσως υπάρχουν στην επιφάνεια δεν είναι πλέον καταστροφικά. Το ρόλο της εδώ παίζει και η ρητίνη, που μεταξύ άλλων προστατεύει την επιφάνεια των υαλονημάτων. Το fiberglass χρησιμοποιείται για καθημερινές εφαρμογές, χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις αντοχής, αλλά δεν τα καταφέρνει τόσο καλά στο πεδίο των αυτοκινήτων και των αεροσκαφών, όπου τα υλικά πρέπει να έχουν μέγιστη αντοχή και ελάχιστο βάρος συγκρινόμενα με τα "ανταγωνιστικά" μέταλλα. [36]

Ιδιότητες

- **E–glass** (E=electrical): Πρόκειται για τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα υαλονήματα με καλές ηλεκτρικές ιδιότητες, αντοχή και δυσκαμψία, καθώς και πολύ καλή συμπεριφορά στην αλλαγή των καιρικών συνθηκών, αλλά με μέτρια αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια.
- **C–glass** (C=corrosion): Υαλονήματα με υψηλή αντίσταση στη χημική διάβρωση, αλλά και με καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τις ίνες τύπου Ε, από τις οποίες όμως είναι ακριβότερες.
- **S–glass** (S=stiffness): Ακριβότερο υλικό από το E–glass, αλλά με υψηλότερη δυσκαμψία και θερμική αντοχή. Χρησιμοποιείται κυρίως στην αεροπορική βιομηχανία.

Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Τα βασικά πλεονεκτήματα των υαλονημάτων είναι το χαμηλό κόστος και η υψηλή αντοχή, ενώ στα κύρια μειονεκτήματα τους εντάσσονται το χαμηλό μέτρο ελαστικότητας και η μικρή αντοχή τους έναντι φθοράς εκτριβής (λύση της συνέχειας της επιφάνειάς τους). Εγχαράξεις και εκδορές δημιουργούν περιοχές συγκέντρωσης τάσεων στην επιφάνεια της ίνας, με αποτέλεσμα την ταχεία υποβάθμιση των μηχανικών τους ιδιοτήτων και της ικανότητας πρόσφυσης τους στην πολυμερική μήτρα. [34]

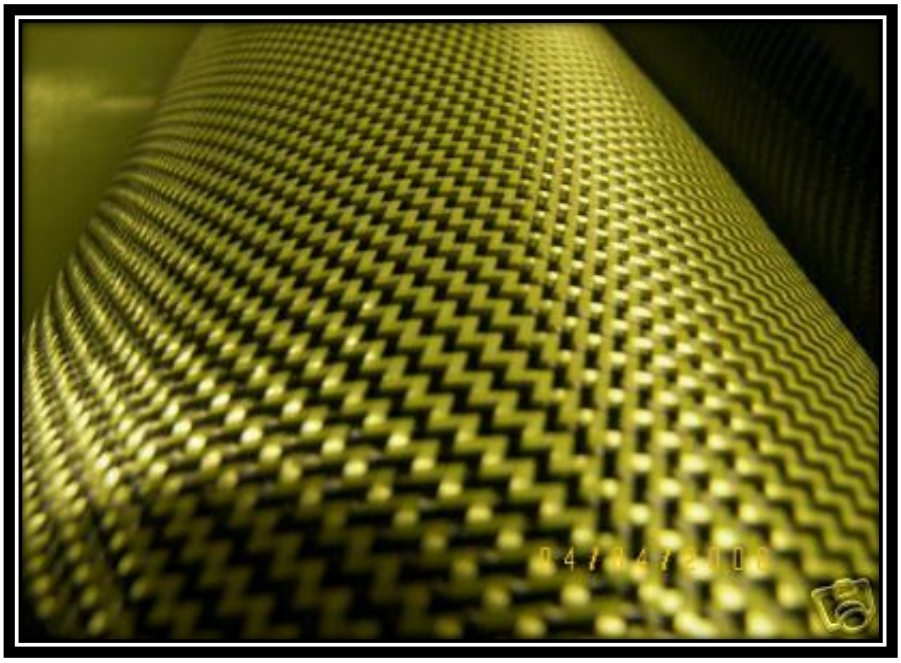


Εικόνα 2.33. Φύλλο fiberglass (υαλόνημα).

2.4.3 Kevlar

Οι έννοιες **carbon** και **kevlar** δεν είναι ταυτόσημες. Kevlar είναι το όνομα ενός προϊόντος από ίνες αραμιδίου, το οποίο είναι εμπορικά κατοχυρωμένο από τον μοναδικό κατασκευαστή και εφευρέτη τους, την DuPont. Έχει κιτρινωπό χρώμα, επομένως στο μάτι ξεχωρίζει αμέσως από το σκούρο carbon.

Το Kevlar άρχισε να χρησιμοποιείται το 1972 ως υλικό κατασκευής σχοινιών και σύντομα ακολούθησαν και άλλες εφαρμογές, όπως τα αλεξίσφαιρα γιλέκα του στρατού και της αστυνομίας. Αυτό που χαρακτηρίζει το Kevlar και το κάνει να διαφέρει από τα ανθρακονήματα, είναι η μεγάλη αντοχή του σε κρουστική καταπόνηση λόγω της ελαστικότητας που επιδεικνύει. Εκεί που ένα κομμάτι από carbon στο όριο θραύσης του θα γίνει πολλά κοφτερά κομμάτια, το Kevlar θα απορροφήσει περισσότερη ενέργεια και θα συμπεριφερθεί πιο προοδευτικά και ελαστικά. Όπως και στην περίπτωση του carbon ανάλογα με τη διαδικασία κατασκευής των ινών το τελικό προϊόν προσφέρει είτε μέγιστη αντοχή, είτε μέγιστη ελαστικότητα, σχηματίζοντας διάφορους τύπους όπως τα Kevlar 29, 49, 129 και 149.



Εικόνα 2.34. Φύλλο Kevlar.

Σε μεγάλο ποσοστό των εφαρμογών του Kevlar στην αυτοκίνηση, χρησιμοποιούνται συνδυασμοί του με carbon ώστε να έχουμε μέρη με την ελαστικότητα σε κρούση του Kevlar αλλά και με την απόλυτη αντοχή και ακαμψία του carbon. Ο συνδυασμός αυτός μπορεί να γίνει είτε με τη μορφή υβριδικού υφάσματος όπου έχουμε εναλλάξ πλέξη ινών carbon και

Kevlar. Θα το ξεχωρίζετε από τις διαδοχικές κίτρινες και ανθρακί ίνες, είτε με τοποθέτηση απανωτών στρώσεων υφασμάτων carbon και Kevlar. Για παράδειγμα, το Kevlar 49 είναι από 25% έως 50% πιο εύκαμπτο από τα διάφορα είδη carbon fiber και έχει πολύ μεγαλύτερη ειδική αντοχή από το ατσάλι και το αλουμίνιο, τόσο σε εφελκυσμό οσο και σε θλίψη. Ενώ μπορείς να κόψεις ύφασμα από carbon με ένα απλό ψαλίδι, για να κόψουμε ύφασμα από Kevlar, χρειαζόμαστε ψαλίδι καρβιδίου (υλικό υψηλής σκληρότητας).

Ιδιότητες/Πλεονεκτήματα

Εχει κιτρινωπό χρώμα, επομένως στο μάτι ξεχωρίζει αμεσως από το σκούρο carbon. Αντίθετα από τα ανθρακονήματα, έχει μεγάλη αντοχή στην κρουστική καταπόνηση λόγω της ελαστικότητας που επιδεικνύει, επίσης απορροφά περισσότερη ενέργεια και συμπεριφέρεται πιο προοδευτικά και ελαστικά. [36]

Εφαρμογές

Το KEVLAR χρησιμοποιείται κυρίως για αντιβαλλιστικές εφαρμογές. Από Kevlar κατασκευάζονται αντικείμενα κυρίως στρατιωτικής χρήσης αλλά η εφαρμογή του λαμβάνει τόπο και σε άλλες πιο κοινές περιπτώσεις σύνθετων πλαστικών όπως γάστρες αγωνιστικών κυρίως σκαφών, καλλύματα, κάρτερ μηχανών, canoe kayak, κράνη κ.α. [37]

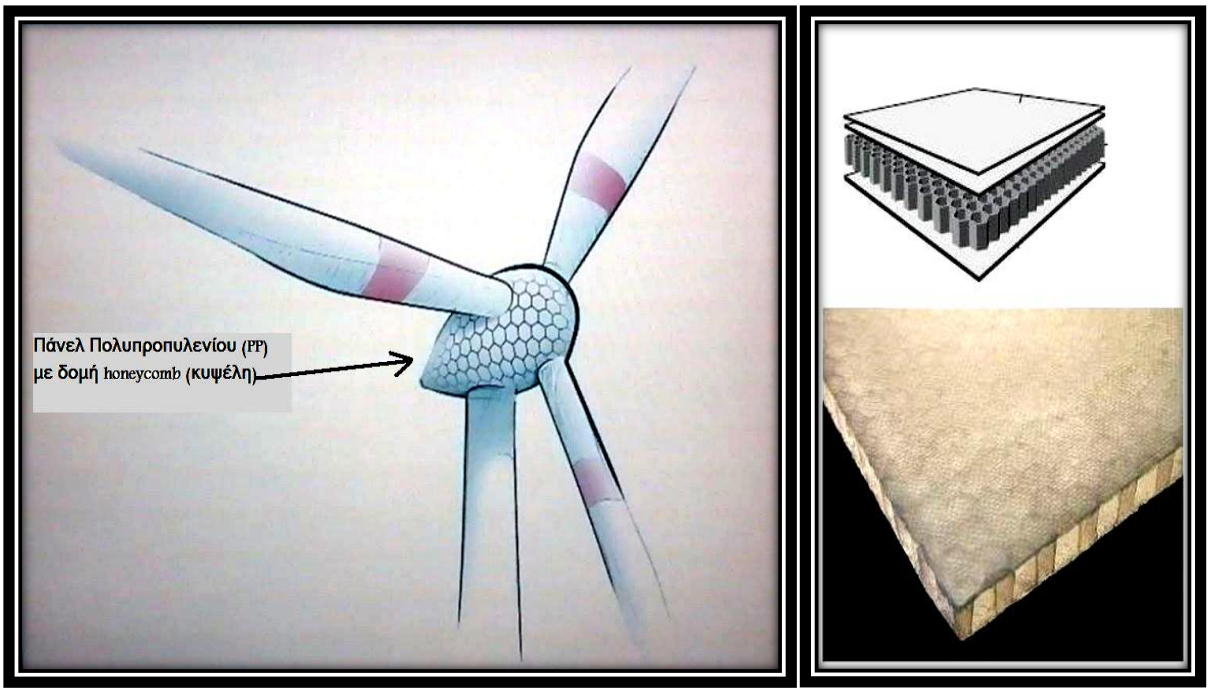
2.4.4 Πάνελ Πολυπροπυλενίου (Honeycomb with Polyester Fleece Layer)

Τα Πάνελ Πολυπροπυλενίου (PP) με δομή honeycomb (κυψέλη) είναι ισχυρά και ελαφριά υλικά που παρέχουν αποτελεσματική και βέλτιστη μηχανική απόδοση σε κατασκευές πάνελ σάντουιτς. Τα πάνελ παράγονται από μεμβράνη πολυπροπυλενίου σε μία συνεχή διαδικασία θερμοδιαμόρφωσης, αναδίπλωσης και συγκόλλησης.

Χρησιμοποιούνται σαν προϊόν σάντουιτς για ενίσχυση κατασκευών καθώς έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα ότι μειώνουν αισθητά το βάρος της κατασκευής αφού δεν απορροφούν μέσα τους την ρητίνη αλλά η ρητίνη εμποτίζει μόνο την εξωτερική τους επιφάνεια για να μπορεί στη συνέχεια να είναι καλή η πρόσφυση με ενισχυτικά υφάσματα.

Σε άλλες περιπτώσεις παραγωγής (π.χ. θερμόπρεσσα-hot press) η διαμόρφωση γίνεται πολύ εύκολα, και πάλι το τελικό αντικείμενο έιναι πολύ ελαφρύ.

Το φάσμα των εφαρμογών είναι ευρύτατο: ναυπηγική, αυτοκινητοβιομηχανία, φορτηγά, ανεμογεννήτριες κτλ. [38]



Εικόνα 2.35. Πάνελ πολυπροπυλενίου με δομή honeycomb.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Κατεργασιμότητα

Κατεργασιμότητα ως ιδιότητα υλικών, είναι μια σύνθετη έννοια, η οποία ορίζεται ως η δυνατότητα (ευκολία ή δυσκολία) κατεργασίας, που παρουσιάζει ένα υλικό, προκειμένου απ'αυτό να κατασκευαστούν εξαρτήματα συγκεκριμένης γεωμετρίας. Η κατεργασία αυτή μπορεί να είναι κατεργασία διαμόρφωσης, κοπής, συγκόλλησης ή χύτευσης. Η παραπάνω έννοια της κατεργασιμότητας, ως γενική, μπορεί να διαιρεθεί σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με το είδος της κατεργασίας που μας ενδιαφέρει:

α) **Διαμορφωσιμότητα** καλείται η δυνατότητα ενός υλικού να διαμορφωθεί σε μία συγκεκριμένη γεωμετρία (έλασμα, φύλλο, σύρμα κ.λπ.), μέσω κατεργασιών πλαστικής παραμόρφωσης. Όταν η κατεργασία αυτή αποβλέπει στη διαμόρφωση ελάσματος, τότε η δυνατότητα αυτή λέγεται ελατότητα, ενώ όταν αποβλέπει στη διαμόρφωση σύρματος, τότε λέγεται ολκιμότητα. Ειδικότερα, όσο μαλακό είναι ένα μέταλλο,τόσο πιο εύκολα μπορεί να διαμορφωθεί σε ελάσματα ή σε σύρματα, δηλαδή αυξάνεται η ελατότητα και η ολκιμότητά του αντίστοιχα.

β) **Ευχυτότητα ή χυτευσιμότητα** καλείται η δυνατότητα ενός υλικού να διαμορφωθεί, μέσω χύτευσης, σε εξάρτημα συγκεκριμένης γεωμετρίας. Το σημείο τήξεως του μετάλλου, το ιξώδες και η επιφανειακή τάση του τήγματος του μετάλλου, καθώς και οι διάφορες προσμείξεις είναι παράγοντες, που επηρεάζουν σημαντικά την ευχυτότητα του μετάλλου.

γ) **Συγκολλησιμότητα** καλείται η δυνατότητα συγκόλλησης ενός υλικού. Η καθαρότητα του μετάλλου και η χημική σύσταση του κράματος προς συγκόλληση είναι παράγοντες που άλλοτε επηρεάζουν θετικά και άλλοτε αρνητικά τη συγκολλησιμότητα.

δ) **Κατεργασιμότητα με κοπή** καλείται η δυνατότητα διαμόρφωσης, που παρουσιάζει ένα υλικό, μέσω κατεργασιών αφαίρεσης υλικού (π.χ. τόρνευση, φρεζάρισμα, πλάνιση, λείανση κ.λπ.). Και σε αυτή την κατηγορία η χημική σύσταση και η δομή του υλικού παίζουν πρωτεύοντα ρόλο. [40]

3.1 Χύτευση

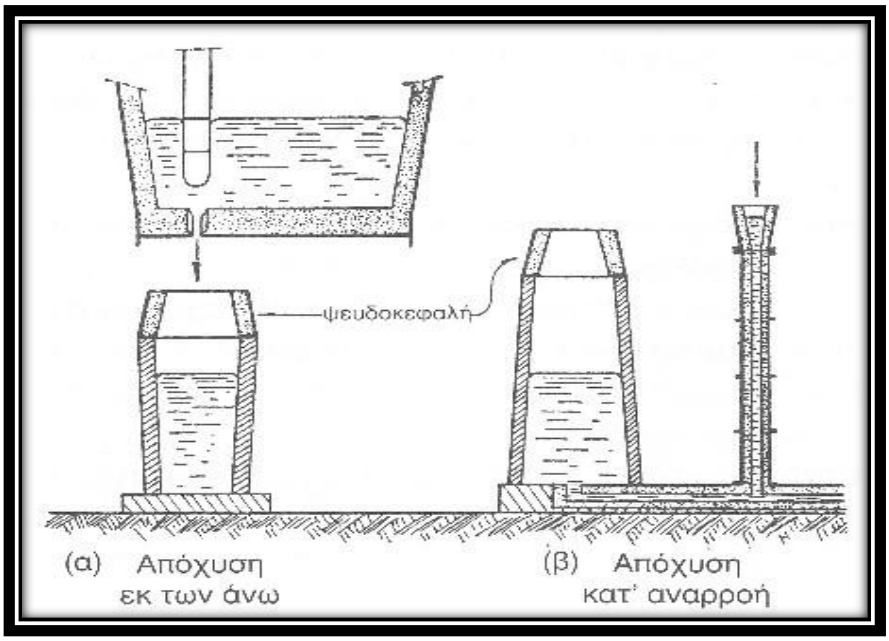
Η χύτευση είναι μια τεχνική μορφοποίησης των υλικών κατά την οποία ένα πλήρως τηγμένο υλικό χύνεται στην κοιλότητα ενός καλουπιού (τύπος ή μήτρα) με το επιθυμητό σχήμα. Μετά ακολουθεί η στερεοποίηση του υλικού, η οποία συνοδεύεται από κάποιο βαθμό

συστολής. Το στερεοποιημένο στερεό είναι γνωστό ως χυτό. Η χύτευση εφαρμόζεται για την κατασκευή αντικειμένων με πολύπλοκη γεωμετρία, που η κατασκευή τους με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο θα ήταν δύσκολη ή μη οικονομική.

Οι τεχνικές χύτευσης διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες: χύτευση σε μη μόνιμο και χύτευση σε μόνιμο καλούπι. Στην χύτευση σε μη μόνιμο καλούπι, τα καλούπια κατασκευάζονται από άμμο, πολυμερές ή γύψο. Ακόμη υπάρχουν τα καλούπια κελύφους και τα καλούπια επένδυσης (τεχνική του απωλεσθέντος κεριού). Τα καλούπια καταστρέφονται κατά την εξαγωγή του χυτού και συνεπώς δεν επαναχρησιμοποιούνται. Στην χύτευση σε μόνιμο καλούπι, τα καλούπια συνήθως κατασκευάζονται από μέταλλο. Οι χυτεύσεις σε μόνιμο καλούπι μπορεί να υποβοηθούν από τη χρήση πίεσης, κενού ή φυγόκεντρης δύναμης.

Διακρίνονται τουλάχιστον τέσσερις μέθοδοι: χύτευση σε μόνιμο καλούπι (χαμηλή πίεση), χύτευση σε μόνιμο καλούπι (υπό πίεση), φυγοκεντρική χύτευση και συνεχής χύτευση.

Επιπλέον με βάση τον τρόπο τροφοδοσίας του τήγματος διακρίνονταιδυο είδη χύτευσης: η εκ των άνω ή κατευθείαν χύτευση και η εν αναρροή ή πηγαία χύτευση. Στην πρώτη περίπτωση, η απόχυση πραγματοποιείται από πάνω και η στερεοποίηση αρχίζει από το κατώτερο τμήμα του καλουπιού, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η τροφοδοσία πραγματοποιείται από τη βάση (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1. Χύτευση με (α) απόχυση εκ των άνω και (β) απόχυση κατ΄αναρροή.

Ακόμη με βάση τον ρυθμό απόχυσης του τήγματος, υπάρχει η διάκριση σε συνεχή χύτευση και σε χύτευση κατά ποσότητες.

Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά μερικές από τις πιο κοινές μεθόδους χύτευσης: η

αμμοχύτευση, η χύτευση επένδυσης, η χύτευση σε μόνιμο καλούπι (υπό πίεση) και η συνεχής χύτευση. [41]

3.2 Κατηγορίες χύτευσης

3.2.1 Χύτευση σε καλούπια μιας χρήσης

I. Αμμοχύτευση

Η αμμοχύτευση είναι ίσως η πιο κοινή και απλή μέθοδος χύτευσης, η οποία χρησιμοποιείται για αιώνες. Ως υλικό κατασκευής του καλουπιού χρησιμοποιείται κοινή άμμος. Αρχικά κατασκευάζεται ένα μοντέλο από ξύλο, πλαστικό ή αν η καταπόνηση είναι μεγάλη από μέταλλο (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2. Μεταλλικά μοντέλα.

Επίσης, όταν το χυτό έχει κοιλότητες χρησιμοποιούνται πυρήνες (καρδιές) από ειδική άμμο (Εικόνα 3.3).



Σχήμα 3.3. Διάφορες καρδιές έτοιμες για χρήση.

Το μοντέλο και οι καρδιές είναι συχνά διαιρούμενα. Στη συνέχεια ένα καλούπι που αποτελείται από δυο τμήματα κατασκευάζεται συμπιέζοντας άμμο γύρω από το μοντέλο.

Πρώτα πληρώνεται με άμμο η κάτω κάσα που περιέχει το μισό μοντέλο, και μετά πληρώνεται η επάνω κάσα που περιέχει το άλλο μισό μοντέλο. Στη συνέχεια η κάθε κάσα τοποθετείται στη θέση της. Επίσης τοποθετούνται οι κώνοι για το σχηματισμό των ανοιγμάτων τροφοδοσίας, εξαερισμού καθώς και των αποθηκών τροφοδοσίας (προσεπιχωνεύματα).

Ακολουθεί η πλήρωση με άμμο. Κατόπιν διαχωρίζεται το καλούπι και αφαιρούνται το μοντέλο, οι κώνοι τροφοδοσίας και εξαερισμού. Στο τέλος τοποθετείται η καρδιά στη θέση της, εφόσον απαιτείται, και ακολουθεί η χύτευση (Εικόνες 3.4 και 3.5).

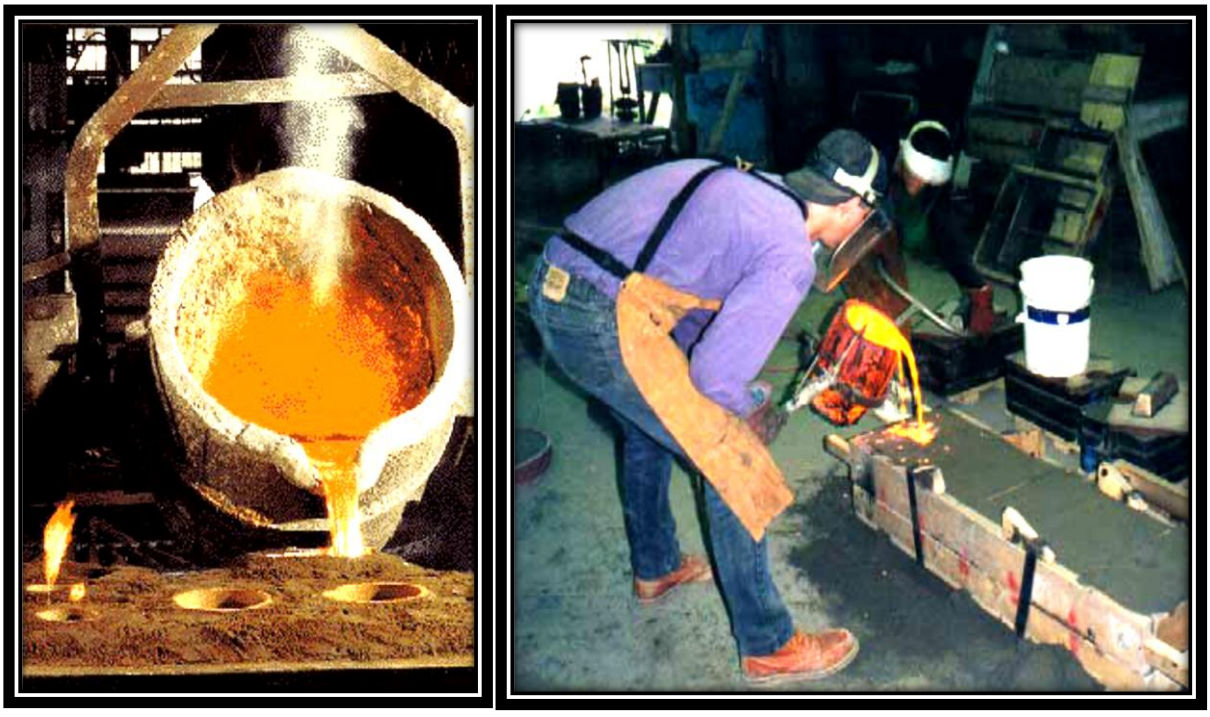


Εικόνα 3.4. Αποτυπώματα των μοντέλων στην άμμο.



Εικόνα 3.5. Αμμοχύτευση χυτοσιδήρου.

Τα κανάλια τροφοδοσίας θα πρέπει να βρίσκονται σε τέτοια θέση ώστε να διευκολύνουν τη ροή του λιωμένου υλικού, προκειμένου να ελαχιστοποιούνται τα εσωτερικά ελαττώματα κατά τη χύτευση. Με αμμοχύτευση κατασκευάζονται προϊόντα όπως, κυλινδροκεφαλές κινητήρων αυτοκινήτων, βάσεις βαγονιών, πυροσβεστικοί κρουνοί, καθώς και μεγάλοι σύνδεσμοι σωληνώσεων. [41]



Εικόνα 3.6. Διαδικασία αμμοχύτευσης

II. Χύτευση κελύφους

Η μέθοδος αυτή πρωτοεμφανίστηκε κατά τη διάρκεια του 2ου Παγκοσμίου Πολέμου. Στη μέθοδο αυτή το υλικό από το οποίο φτιάχνεται το καλούπι είναι λεπτή άμμος και 2,5 - 4% θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη. Το μοντέλο είναι μεταλλικό και θερμαίνεται σε θερμοκρασία 175 - 270°C. Η διαδικασία της χύτευσης κελύφους ακολουθεί πέντε στάδια που περιγράφονται παρακάτω.

Τα στάδια αυτά είναι:

1) Το μείγμα από την άμμο και τη θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη τοποθετείται σε ένα πλαίσιο που σκεπάζεται από πάνω με το θερμό μεταλλικό μοντέλο. Το πλαίσιο αναποδογυρίζεται και η άμμος πέφτει πάνω στο μοντέλο. Η θερμότητα του μοντέλου σκληραίνει τοπικά μία περιοχή πάχους περίπου 3,2 mm από την άμμο και τη ρητίνη και δημιουργεί το κέλυφος.
2) Το πλαίσιο γυρίζεται στην αρχική του θέση, η άμμος πέφτει στη βάση του πλαισίου και το κέλυφος παραμένει με το μοντέλο. Το μοντέλο μαζί με το κέλυφος τοποθετούνται σε φούρνο για μερικά λεπτά, ώστε το κέλυφος να σκληρυνθεί καλύτερα και να λάβει την τελική του μορφή.
3) Το κέλυφος απομακρύνεται από το μοντέλο.
4) Δύο ίδια τμήματα του κελύφους ενώνονται και δημιουργούν το καλούπι.
5) Το καλούπι που δημιουργήθηκε με τον τρόπο αυτό, τοποθετείται σε ένα πλαίσιο με άμμο για υποστήριξη του κελύφους κατά τη χύτευση. [42]



Εικόνα 3.7. Δημιουργία κεραμικού κελύφους.

III. Χύτευση με εξατμιζόμενο μοντέλο

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που γίνεται μικρός αριθμός χυτεύσεων. Στις περιπτώσεις αυτές, το κόστος κατασκευής των μοντέλων γίνεται ιδιαίτερα υψηλό.

Έτσι, με τη μέθοδο αυτή, κατασκευάζονται μοντέλα από πολυστυρένιο, γύρω από τα οποία τοποθετείται άμμος και δημιουργείται το καλούπι. Το μοντέλο παραμένει μέσα στο καλούπι και όταν έρθει σε επαφή με το λιωμένο υλικό εξατμίζεται, δημιουργώντας έτσι την κοιλότητα του καλουπιού. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να χυτευθούν αρκετά πολύπλοκα αντικείμενα με μικρό κόστος. [42]

IV. Χύτευση σε γύψο

Σε αυτή τη μέθοδο χύτευσης, το καλούπι είναι φτιαγμένο από γύψο με πρόσθετα, όπως είναι ίνες αμιάντου, ορυκτά του μαγνησίου και του πυριτίου. Τα υλικά αυτά αναμειγνύονται με νερό και το διάλυμα χύνεται και περιβάλλει το μοντέλο. Όταν το διάλυμα στερεοποιηθεί, απομακρύνεται το μοντέλο και το καλούπι, αφού ξηραίνεται σε θερμοκρασία 200°C περίπου, είναι έτοιμο για τη χύτευση. Επειδή το καλούπι από γύψο αντέχει μέχρι τη θερμοκρασία των 1200°C, η μέθοδος χύτευσης με γύψο χρησιμοποιείται μόνο για χύτευση αλουμινίου, μαγνησίου, ψευδαργύρου και κραμάτων του χαλκού.

Η χύτευση με γύψο δίνει πολύ καλή επιφάνεια του χυτού και λόγω της μικρής συρρίκνωσης του καλουπιού δίνει πολύ μεγάλη ακρίβεια στις διαστάσεις. Έτσι η μέθοδος αυτή και η μέθοδος χύτευσης με την τεχνική του χαμένου κεριού και της χύτευσης σε κεραμικό καλούπι (που περιγράφονται παρακάτω) είναι γνωστές ως μέθοδοι χύτευσης ακριβείας. [42]



Εικόνα 3.8. Αριστερά βλέπουμε την μπροστινή όψη γύψινου εκμαγείου και δεξιά την πίσω όψη



Εικόνα 3.9. Επάληψη με κερί για την προετοιμασία χύτευσης μετάλλου για δημιουργία προτομής

V. Χύτευση σε κεραμικό καλούπι

Η χύτευση σε κεραμικό καλούπι δε διαφέρει πολύ από τη χύτευση σε γύψο. Η ουσιαστική διαφορά βρίσκεται στα υλικά που χρησιμοποιούνται για το καλούπι. Το αντίστοιχο διάλυμα, που χύνεται γύρω από το μοντέλο για να δημιουργηθεί το καλούπι, είναι από ανθεκτικά υλικά στις υψηλές θερμοκρασίες, όπως το οξείδιο του Αλουμινίου (Al2O3), το οξείδιο του πυριτίου (SiO2) και το ορυκτό ζίρκον (ZrSiO4). Τα υλικά αυτά δίνουν τη δυνατότητα χύτευσης μετάλλων και κραμάτων με υψηλό σημείο τήξης, όπως είναι τα σιδηρούχα κράματα. Η μέθοδος αυτή έχει σχετικά μεγάλο κόστος, αλλά δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην ποιότητα της επιφάνειας του χυτού και στην ακρίβεια των διαστάσεών του. [42]



Εικόνα 3.10. Κεραμική μήτρα

VI. Τεχνική του χαμένου κεριού

Η τεχνική του χαμένου κεριού (cire perdue) γνωστή και ως χύτευση επένδυσης είναι μία μέθοδος χύτευσης σε καλούπι, κατά την οποία η επιθυμητή μορφή σκαλίζεται σε κηρόμαζα, καλύπτεται με πηλό και ψήνεται σε φούρνο. Το κερί διαφεύγει από ειδικά διαμορφωμένες οπές και τη θέση του παίρνει λιωμένο μέταλλο, συνήθως ορείχαλκος. Μετά την ψύξη του μετάλου ο πηλός θραύεται και αποκαλύπτει το χυμένο μέταλλο, κάτι που σημαίνει ότι το συγκεκριμένο καλούπι στη συγκεκριμένη συμπαγή χύτευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μία φορά. Η συγκεκριμένη τεχνική είναι γνωστή από την αρχαιότητα και αναπτύχθηκε κατά την 2η χιλιετία ΠΚΕ στην Άπω Ανατολή από τους τεχνίτες του ορείχαλκου της δυναστείας Σανγκ στην Κίνα. Η τεχνική εξαπλώθηκε στην Εγγύς Ανατολή και αναφέρεται τόσο στην αρχαιοελληνική όσο και τη ρωμαϊκή αγαλματοποιία και μικροτεχνία και ήταν επίσης γνωστή στην Κεντρική και Βόρεια Αμερική, αλλά για τον χρυσό.

Είδη χύτευσης με κερί:

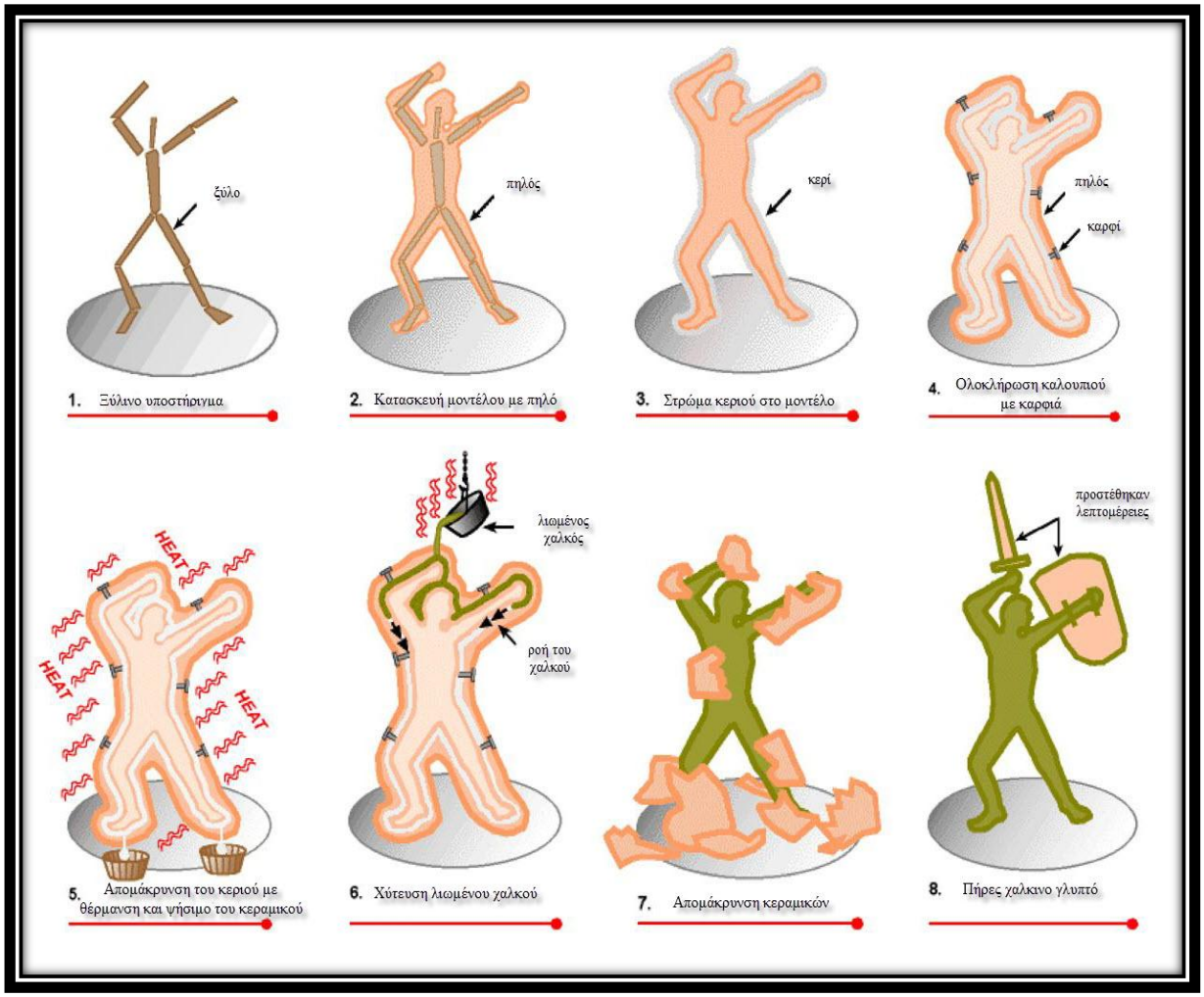
- Η συμπαγής χύτευση αναφέρεται ως η απλούστερη και αρχαιότερη μέθοδος, σύμφωνα με την οποία η κηρόμαζα του προπλάσματος περιβαλλόταν από πηλό και ψηνόταν σε φούρνο, ώστε να σκληρυνθεί το περίβλημα και να αδειάσει το λιωμένο κερί από το εσωτερικό του. Η συγκεκριμένη μέθοδος ήταν ασύμφορη για τη μνημειακή γλυπτική, καθώς απαιτούσε υπερβολικά μεγάλες ποσότητες μετάλλου.

- Η άμεση χύτευση απαιτούσε την κατασκευή ενός πήλινου πυρήνα του αγάλματος, τη διαμόρφωση κέρινου καλουπιού πάνω στον πυρήνα και την κατασκευή ενός δεύτερου πήλινου στρώματος. Η χύτευση του μετάλλου ανάμεσα στα δύο στρώματα εξασφάλιζε τη χρήση μικρότερης ποσότητας μετάλλου, ωστόσο συνεπαγόταν και την απώλεια του ενδιάμεσου κέρινου προπλάσματος.

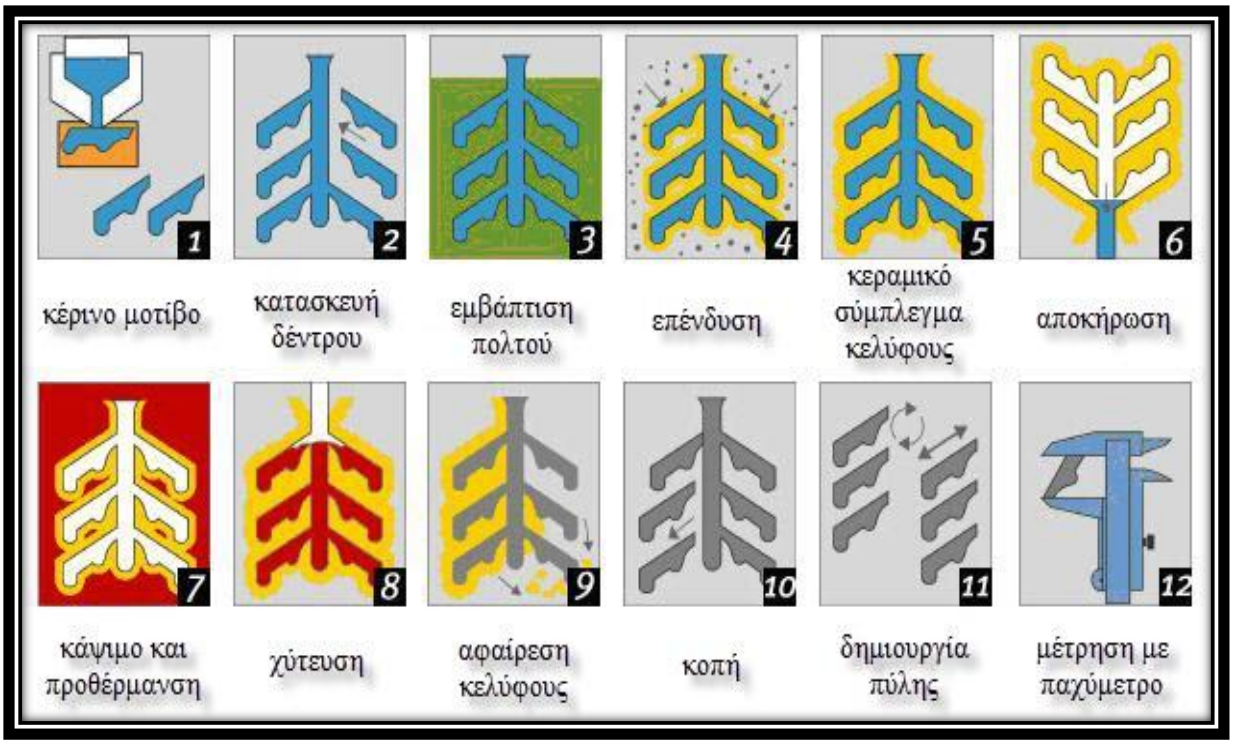
- Το πρόπλασμα διασωζόταν αντίθετα κατά τη διαδικασία της έμμεσης χύτευσης, η οποία ολοκληρωνόταν με μια αλληλουχία σταδίων κατασκευής των αγαλμάτων. Από την κατασκευή ενός προπλάσματος από πηλό σε πραγματικές διαστάσεις, το εργαστήριο του γλύπτη με τον τεμαχισμό του διαμόρφωνε τα κύρια καλούπια επεξεργασίας, που θα μπορούσαν να συνδέονται μεταξύ τους και τα οποία κερώνονταν στο εξωτερικό τμήμα τους. Σε αυτό το στάδιο γινόταν και η λεπτομερής επεξεργασία του προπλάσματος. Κατόπιν ακολουθούσε ο τεμαχισμός του κέρινου πλέον προπλάσματος, το οποίο επενδυόταν με ανάλογο εξωτερικό περίβλημα. Στη συνέχεια το καλούπι θερμαινόταν μέσα σε λάκκο χύτευσης, το κερί έλιωνε, ο πηλός που το περιέβαλλε σκληρυνόταν και ήταν έτοιμος για την υποδοχή του λιωμένου

μετάλλου. Στο τελικό στάδιο τα τμήματα του αγάλματος συγκολλούνταν σε ένα ενιαίο σύνολο, έτοιμο για το τελικό φινίρισμα. [43]

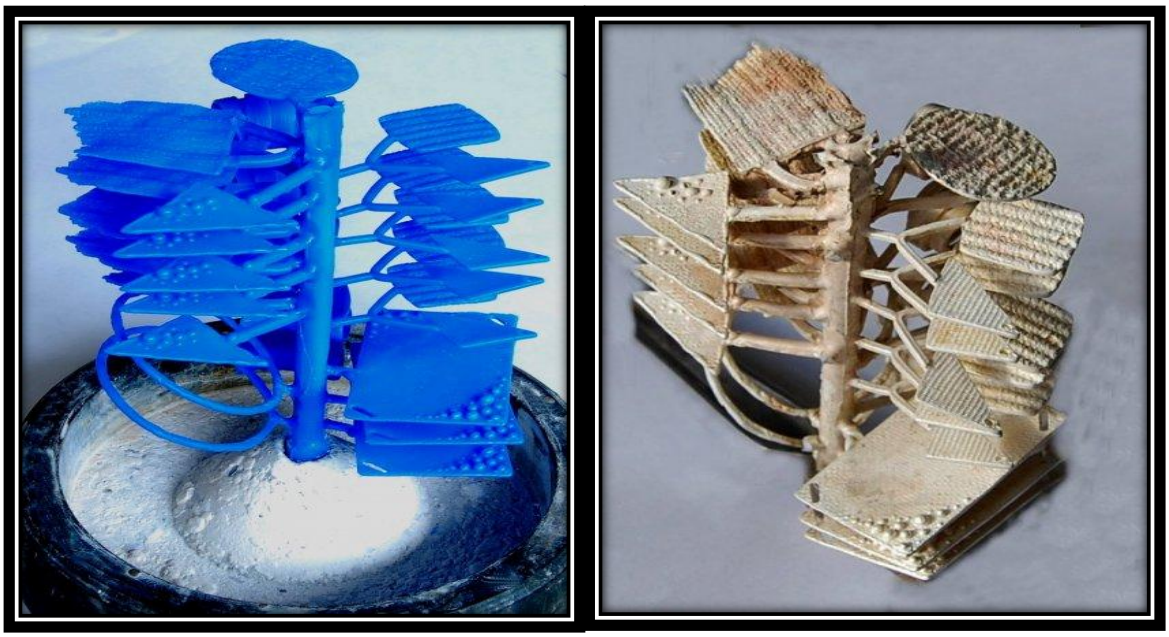
Η χύτευση χαμένου κεριού του χαλκού επιτυγχάνεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους: χύτευση στερεού χαμένου κεριού, χύτευση κοίλου χαμένου κεριού με την άμεση μέθοδο και χύτευση κοίλου χαμένου κεριού με την έμμεση μέθοδο. Η πρώτη μέθοδος, η οποία είναι η πρώτη και απλούστερη διαδικασία απαιτεί ένα μοντέλο απαρχαιωμένο σε στερεό κερί. Αυτό το μοντέλο περιβάλλεται με πηλό, ενώ ανάλογα με το μέγεθος υποστηρίζεται μερικές φορές από ξύλινο υποστήριγμα. [44]



Εικόνα 3.11. Κατασκευή αγαλματιδίου με την τεχνική του χαμένου κεριού.



Εικόνα 3.12. Διαδικασία χύτευσης με την τεχνική του χαμένου κεριού

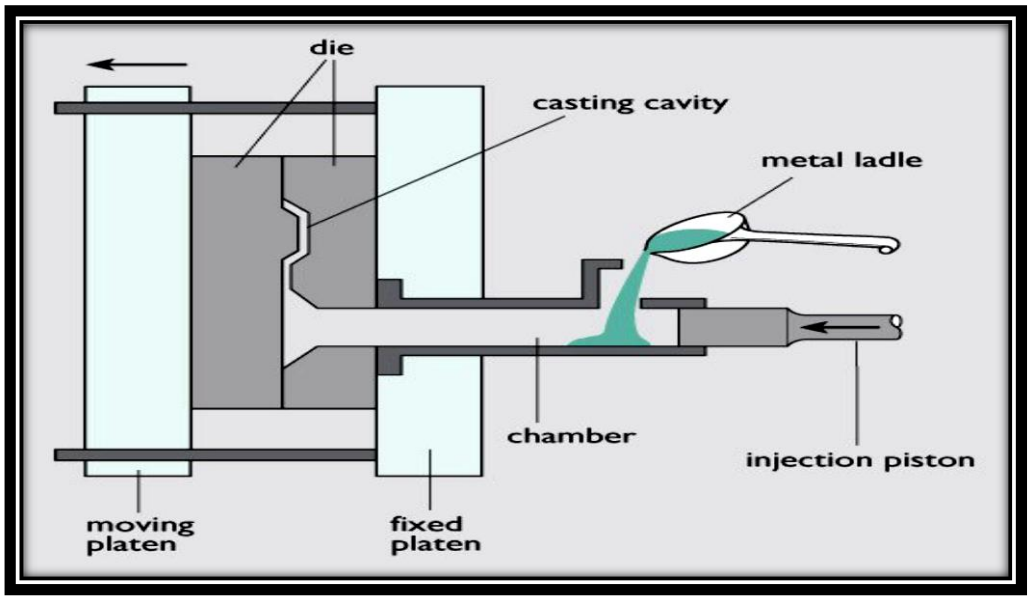


Εικόνα 3.13. Τα αντικείμενα που παίρνουμε από την κεριέρα τα τοποθετούμε όλα μαζί για να χυτευτούν συγχρόνως. Αφού προχωρήσει η διαδικασία του χυτηρίου, "μετατρέπονται" τα κέρινα αντικείμενα σε ασημένια.

3.2.2 Χύτευση σε καλούπια πολλαπλών χρήσεων

I. Χύτευση σε μόνιμο καλούπι υπό πίεση

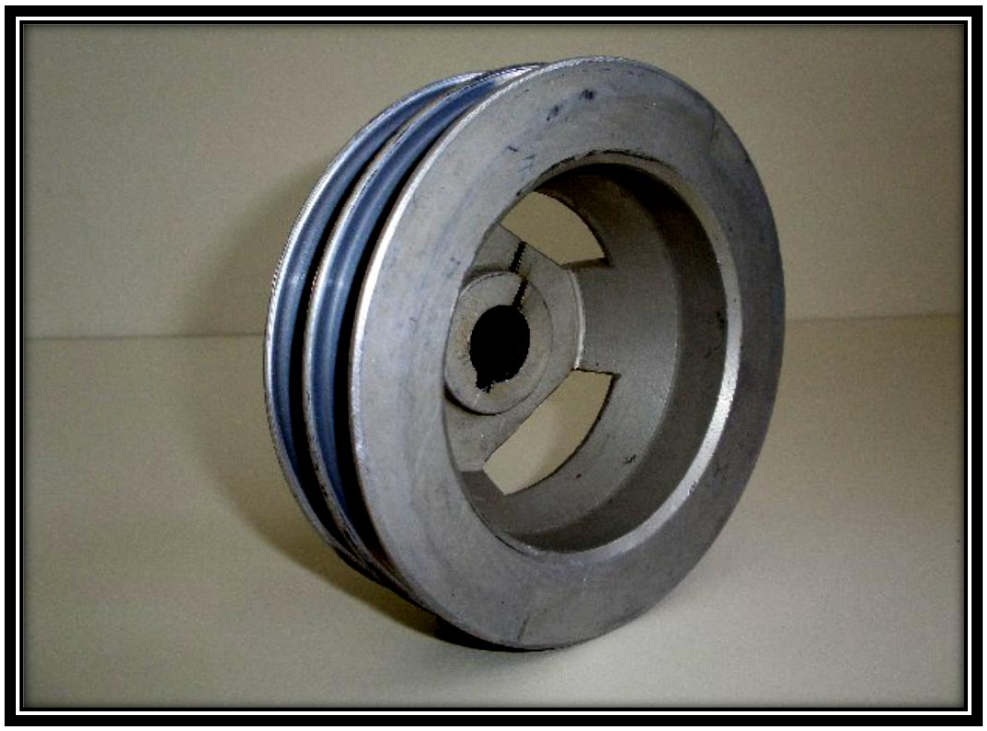
Στη χύτευση σε μόνιμο καλούπι, το λιωμένο μέταλλο διοχετεύεται στην κοιλότητα του καλουπιού υπό πίεση, η οποία διατηρείται σε όλη την διάρκεια της στερεοποίησης. Το καλούπι κατασκευάζεται από μέταλλο και αποτελείται από δυο τμήματα. Όταν το μέταλλο στερεοποιηθεί τα δυο τμήματα ανοίγουν και εξάγεται το χυτό (Εικόνα 3.14).



Εικόνα 3.14. Χύτευση σε μόνιμο καλούπι (υπό πίεση).

Τα περισσότερα καλούπια κατασκευάζονται από μη σιδηρούχα μέταλλα, όπως κράματα ψευδαργύρου, χαλκού και αλουμινίου. Σιδηρούχα μέταλλα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των καλουπιών. Οι υψηλοί ρυθμοί χύτευσης, καθώς και η χρησιμοποίηση του ίδιου καλουπιού για χιλιάδες χυτεύσεις καθιστούν αυτή τη μέθοδο αρκετά οικονομική. Η χύτευση υπό πίεση είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την παραγωγή μικρού και μεσαίου μεγέθους εξαρτημάτων με υψηλή ποιότητα επιφάνειας, αναπαραγωγή λεπτομερειών και διαστασιακή σταθερότητα. Συνήθως η τεχνική προσφέρεται για την χύτευση κραμάτων αλουμινίου, ψευδαργύρου και μαγνησίου, τα οποία έχουν χαμηλό σημείο τήξεως.

Στην Εικόνα 3.15 παρουσιάζεται μια τροχαλία οχημάτων, που μορφοποιήθηκε με χύτευση υπό πίεση. [41]



Εικόνα 3.15. Τροχαλία, χύτευση υπό πίεση (die casting).

II. Χύτευση με χαμηλή πίεση

Η χύτευση με χαμηλή πίεση διαφέρει από τη χύτευση σε μόνιμο καλούπι στη διαδικασία εισόδου του λιωμένου μετάλλου. Το λιωμένο μέταλλο βρίσκεται σε ειδικό δοχείο που θερμαίνεται συνεχώς και αναγκάζεται να εισέλθει στο καλούπι μέσω πίεσης, η οποία παραμένει μέχρι το υλικό να στερεοποιηθεί. Μόλις σταματήσει η πίεση, το χυτό απομακρύνεται, ενώ το παραμένον λιωμένο μέταλλο στον αγωγό επιστρέφει στο δοχείο. Η μέθοδος αυτή δίνει μεσαίας τάξης ποιότητα επιφάνειας στο χυτό και διαστατική ακρίβεια. Χρησιμοποιείται για τη χύτευση αλουμινίου σε γύψινα καλούπια και χυτοσιδήρου. Παραλλαγή της μεθόδου αυτής είναι η χύτευση σε κενό. Στη μέθοδο αυτή, η άμμος συγκρατείται στο καλούπι με τη βοήθεια κενού. Τα δύο τμήματα του καλουπιού επικαλύπτονται με λεπτό στρώμα πλαστικού, ώστε να διατηρείται το κενό αυτό. Τα μοντέλα στη μέθοδο αυτή κατασκευάζονται, όπως και στις προηγούμενες μεθόδους. [42]

III. Χύτευση σε μήτρα

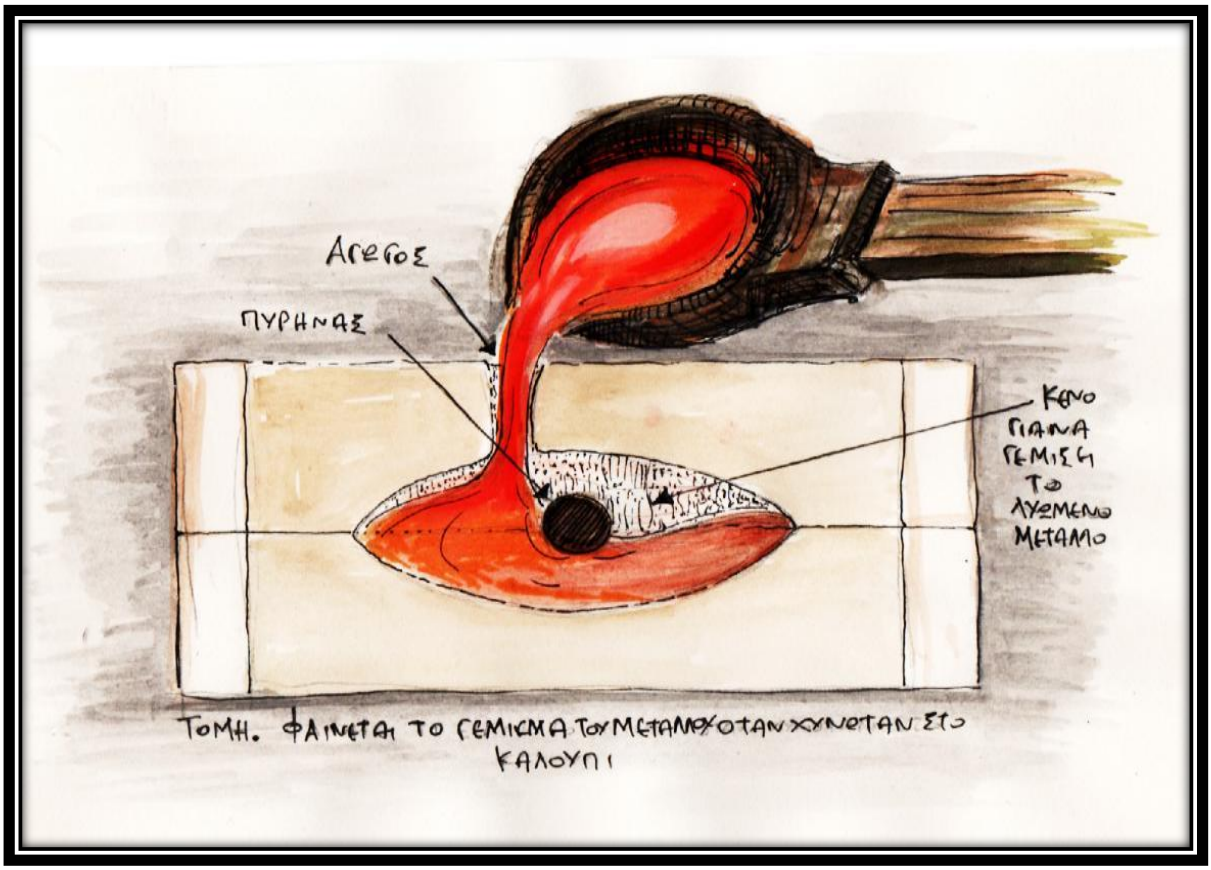
Η χύτευση σε μήτρα μοιάζει με τη χύτευση σε μόνιμο καλούπι και σε χαμηλή πίεση. Στη μέθοδο αυτή ασκείται πίεση στο λιωμένο υλικό που βρίσκεται σε ένα δοχείο, ώστε να γεμίσει

ταχύτατα την κοιλότητα μίας μήτρας. Οι μήτρες αυτές κατασκευάζονται από χαλυβοκράματα ή ανθρακούχους χάλυβες, ανάλογα του υλικού που πρόκειται να χυτευθεί.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- η μεγάλη της παραγωγικότητα. Η παραγωγή μπορεί να φτάσει τα 1000 κομμάτια την ώρα, ανάλογα με το σχήμα και το μέγεθος του κομματιού που θα χυτευθεί,
- μεγάλη διαστατική ακρίβεια και καλή ποιότητα επιφάνειας στα χυτά,
- χυτά με αυξημένη μηχανική αντοχή και
- πολύ μικρή συρρίκνωση λόγω συστολής στο χυτό, που οφείλεται στην πίεση που ασκείται κατά τη χύτευση και τη στερεοποίηση.

Η χύτευση σε μήτρα εμφανίζεται σε δύο βασικούς τύπους, στη χύτευση, όπου το λιωμένο υλικό βρίσκεται σε θερμό θάλαμο μέσα στη μηχανή χύτευσης (που λέγεται χυτόπρεσα), και στη χύτευση, όπου το λιωμένο υλικό λιώνει εκτός της μηχανής χύτευσης και τοποθετείται σε θάλαμο, όπου συμπιέζεται και οδηγείται στη μήτρα. [42]



Εικόνα 3.16. Χύτευση σε μήτρα.

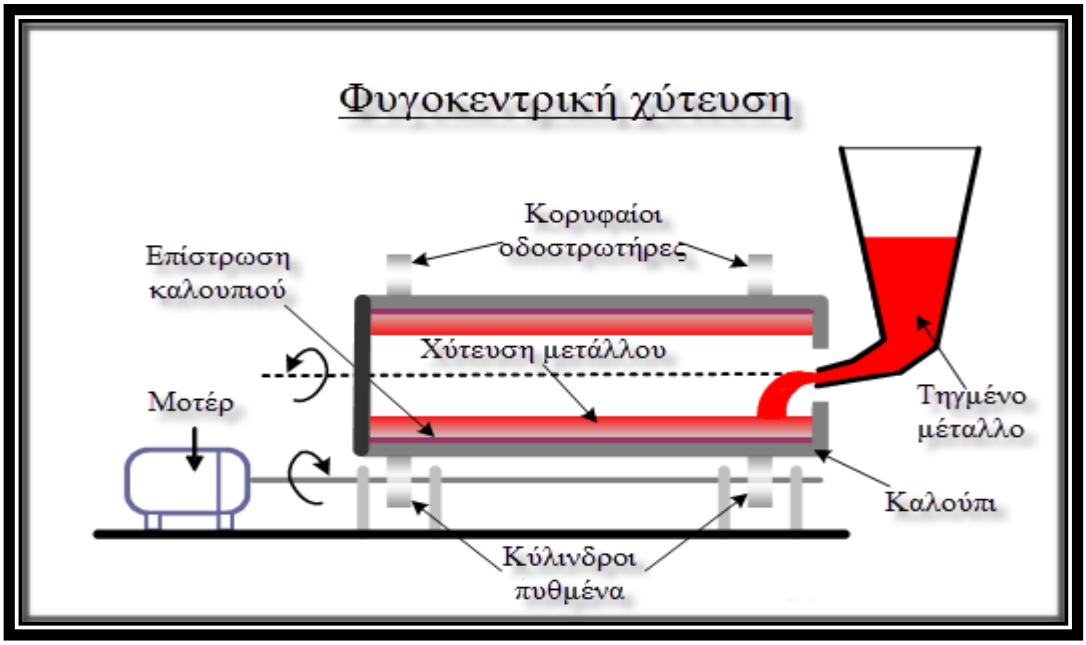


Εικόνα 3.17. Χύτευση σε μήτρα.

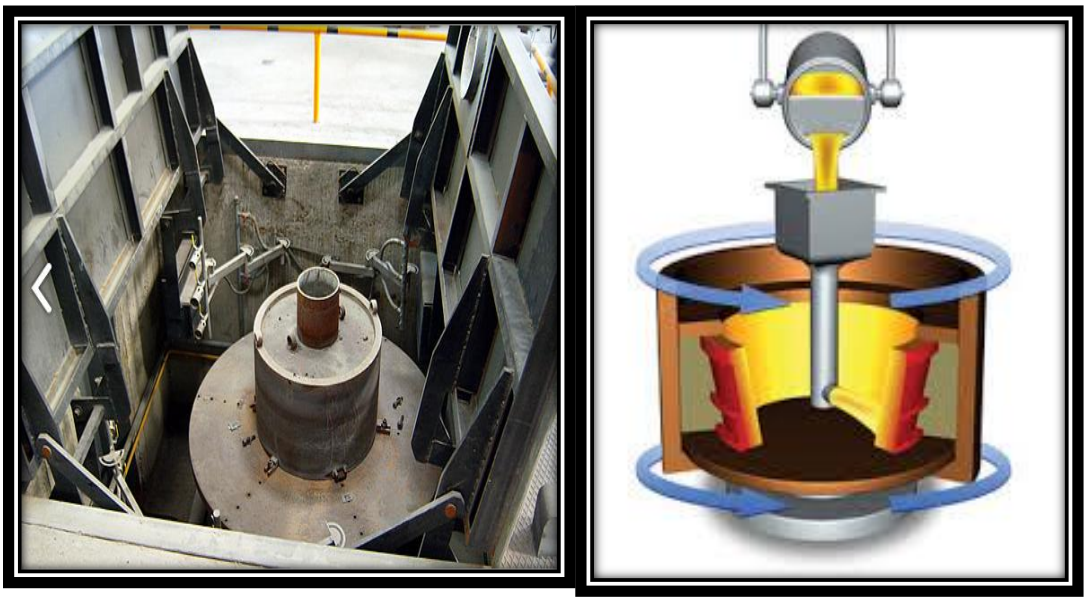
IV. Φυγοκεντρική χύτευση

Στη φυγοκεντρική χύτευση χύνεται, με σταθερή παροχή, λιωμένο υλικό σε ένα περιστρεφόμενο μεταλλικό καλούπι. Οι φυγόκεντρες δυνάμεις, που αναπτύσσονται με την περιστροφή, οδηγούν το λιωμένο υλικό στην εσωτερική επιφάνεια του καλουπιού. Με αυτή τη μέθοδο μπορούν να κατασκευασθούν χυτοσιδηροί σωλήνες μεγάλων διαμέτρων, κύλινδροι και γενικά τεμάχια συμμετρικά εκ περιστροφής.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το χαμηλό κόστος, η καλή ποιότητα του χυτού και η οικονομία στο υλικό, μια και δε χρησιμοποιούνται αγωγοί πληρώσεως, ενδιάμεσες αποθήκες κ.λ.π. Η οικονομία που γίνεται στο υλικό φθάνει το 40%. [42]



Εικόνα 3.18. Φυγοκενρική χύτευση.



Εικόνα 3.19. Κάθετη μηχανή φυγοκεντρικής χυτευσης

V. Χύτευση σφυρηλάτησης

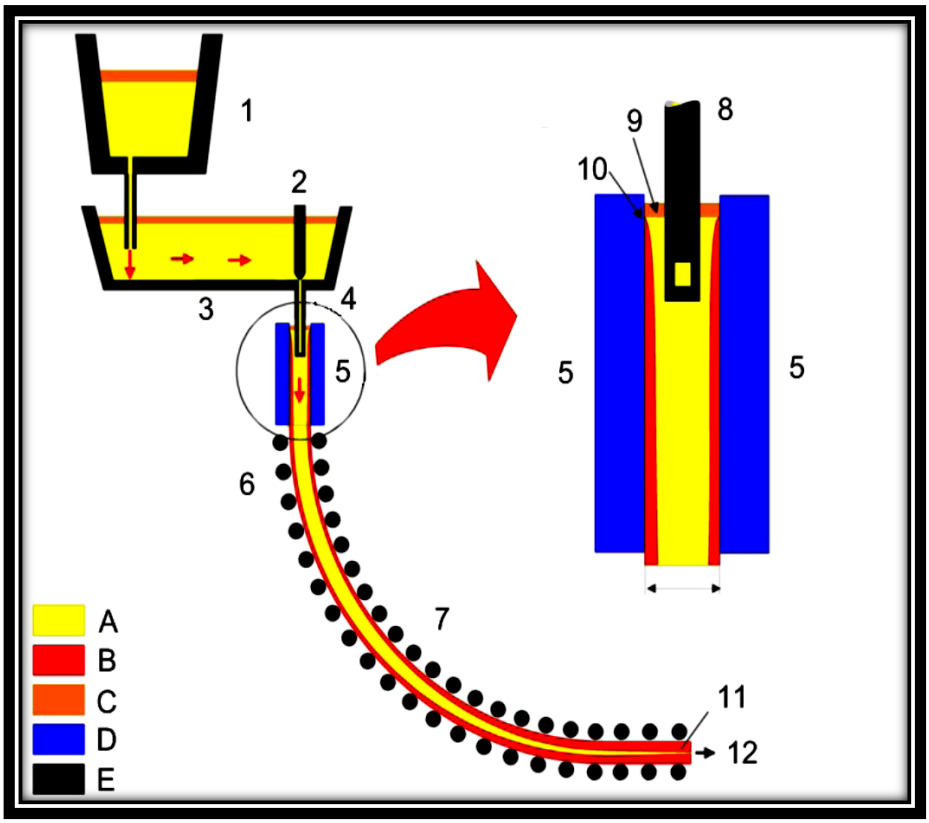
Η χύτευση με σφυρηλάτηση είναι σχετικά νέα μέθοδος χύτευσης και πρωτοεμφανίστηκε στη δεκαετία του ‘60. Η μέθοδος αυτή μοιάζει με τη σφυρηλάτηση, επειδή χρησιμοποιείται μία μήτρα στην οποία μέσα χύνεται το λιωμένο μέταλλο, ένα έμβολο που διαμορφώνει το υλικό με πίεση (όπως στη σφυρηλάτηση) και ένας εξολκέας για να απομακρύνει το χυτό. [42]

VI. Συνεχής χύτευση

Στην συνεχή χύτευση το λιωμένο υλικό, στο τέλος της διαδικασίας εξαγωγής του από τα ορυκτά, στερεοποιείται στη μορφή ημιτελών προϊόντων, όπως κορμών (blooms), μπιγιετών (billets) ή πλακών (slabs). Τα τελευταία είναι κατάλληλα ως αρχικό υλικό για επακόλουθες διεργασίες μορφοποίησης (π.χ. έλασης, διέλασης, κλπ.). Πριν την εισαγωγή της συνεχούς χύτευσης, το λιωμένο υλικό λάμβανε τη μορφή του, αποκλειστικά, με χύτευση κατά ποσότητες, σε μεγάλα μεταλλικά καλούπια (κοκίλ). Έτσι σχηματιζόταν μεγάλα χυτεύματα, γνωστά ως χελώνες ή πλινθώματα (ingots). Ωστόσο, πριν τη χρήση των χελωνών, κατά κανόνα απαιτείται μια προκαταρκτική διεργασία έλασης για το σχηματισμό κορμών, μπιγιετών ή πλακών, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τελικών προϊόντων. Με τη συνεχή χύτευση, μπορούν να παραχθούν μικρότερες διατομές, με συνέπεια να μπορεί να παραλειφθεί η προκαταρκτική έλαση, στην οποία υπόκεινται τα πλινθώματα. Η εφαρμογή της συνεχούς χύτευσης επιτρέπει την παραγωγή ημιτελών προϊόντων διαφόρων διατομών με καλύτερη ποιότητα και μικρότερο κόστος παραγωγής. Επιπλέον, η συνεχής χύτευση είναι

ιδιαίτερα αυτοματοποιημένη και αποδοτική. Η συνεχής χύτευση χρησιμοποιείται πιο συχνά για τη χύτευση χάλυβα (βάσει ποσοτικών κριτηρίων). Επίσης χρησιμοποιείται για τη χύτευση χαλκού και αλουμινίου.

Στη συνεχή χύτευση το λιωμένο μέταλλο εκχύνεται στη χοάνη χύτευσης (Εικόνα 3.20). Στη συνέχεια, μετά την υποβολή του μετάλλου σε επεξεργασίες όπως κραματοποίηση και απαέρωση και αφού φθάσει στη σωστή θερμοκρασία, το τήγμα ρέει σε ένα ή περισσότερα υδρόψυκτα καλούπια από χαλκό (κοκίλ). Στα καλούπια το εξωτερικό στρώμα του μετάλλου στερεοποιείται, ενώ το εσωτερικό του είναι ακόμη ρευστό. Η δημιουργούμενη ράβδος, όπως αποκαλείται τώρα, έλκεται συνεχώς προς τα κάτω, έξω από τη βάση του καλουπιού. Στη συνέχεια, η ράβδος υποστηριζόμενη από ράουλα, ψεκάζεται με νερό, με αποτέλεσμα τη στερεοποίηση ολόκληρης της διατομής. Μετά από την έξοδό της από τους χώρους ψεκασμού, η ράβδος περνάει από τα ράουλα έλξης και ευθυγράμμισης. Σε αυτό το σημείο, προκειμένου να αξιοποιηθεί η θερμή κατάσταση της ράβδου, μπορεί να πραγματοποιηθεί θερμή έλαση ή εξώθηση ή άλλη διεργασία μορφοποίησης, έτσι ώστε η ράβδος να αποκτήσει ένα επιθυμητό αρχικό σχήμα. Στο τέλος η ράβδος κόβεται με μηχανικά πριόνια ή φλόγα σε συγκεκριμένα μήκη.



Εικόνα 3.20. Σχηματική αναπαράσταση συνεχούς χύτευσης.

1.Κάδος χύτευσης, 2.Ράβδος διακοπής ροής, 3.Ενδιάμεσο δοχείο, 4.Πυρίμαχος σωλήνας 5.Υδρόψυκτο καλούπι, 6.Ράουλα υποστήριξης, 7.Ζώνη κάμψης, 8.Πυρίμαχος σωλήνας, 9.Στάθμη τήγματος, 10.Μηνίσκος, 11.Μηχανή έλξης και ευθυγράμμισης, 12.Ημιτελής πλάκα.
A. Τήγμα, B. Στερεοποιημένο μέταλλο, C. Σκουριά, D. Υδρόψυκτο καλούπι από χαλκό, E. Πυρίμαχο υλικό.

Οι μηχανές συνεχούς χύτευσης είναι σχεδιασμένες για να παράγουν κορμούς, μπιγιέτες ή πλάκες, όπου:

1) Οι πλάκες είναι ημιτελή προϊόντα, των οποίων το πλάτος είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερο από το πάχος τους.
   - Οι συνήθεις πλάκες έχουν πλάτος 100-1600 mm, πάχος 180-250 mm και μήκος έως 12 m.
   - Υπάρχουν πλάκες με μεγαλύτερο πλάτος, π.χ. 3250x150mm.
   - Υπάρχουν λεπτές πλάκες: 1680x50mm.
   - Οι τυπικές διαστάσεις ενός κορμού είναι συνήθως μεγαλύτερες από 200x200 mm π.χ.
   - 560x400 mm. Το μήκος των κορμών είναι 4-10 m.
2) Οι μπιγιέτες έχουν διαστάσεις μικρότερες από 200x200mm και μήκος που φθάνει τα 12m.
3) Κολώνες με διαμέτρους 500 ή 140 mm.
4) Δοκοί με διατομή σχήματος I, 1048x450 mm ή 438x381 mm.
5) Δοκοί με διαστάσεις κοντά στις πραγματικές: 850x250 mm.
6) Ταινίες: πάχος 2-5 mm και πλάτος 760-1330 mm.

Υπάρχουν τρεις τύποι μηχανών συνεχούς χύτευσης: η οριζόντια, η κάθετη και ένας τρίτος τύπος, στον οποίο η ράβδος ακολουθεί καμπύλη πορεία.

Στην Εικόνα 3.21 παρουσιάζεται μια κάθετη μηχανή συνεχούς χύτευσης αλουμινίου, ενώ στην Εικόνα 3.22 παρουσιάζονται κολώνες και πλάκες πρωτόχυτου αλουμινίου. Χρησιμοποιείται ο όρος πρωτόχυτο για το αλουμίνιο που παράγεται με ηλεκτρόλυση της άνυδρης αλουμίνας, σε αντιδιαστολή με το δευτερόχυτο αλουμίνιο που ανακτάται από ανακύκλωση (ανάτηξη) μεταχειρισμένων προϊόντων. [41]



Εικόνα 3.21. Μηχανή συνεχούς χύτευσης αλουμινίου.



Εικόνα 3.22. Κολώνες και πλάκες πρωτόχυτου αλουμινίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Υλικά και μέθοδοι εφαρμογής για καλούπι

I. Κατεργασίες για τη δημιουργία διαιρετού καλουπιού

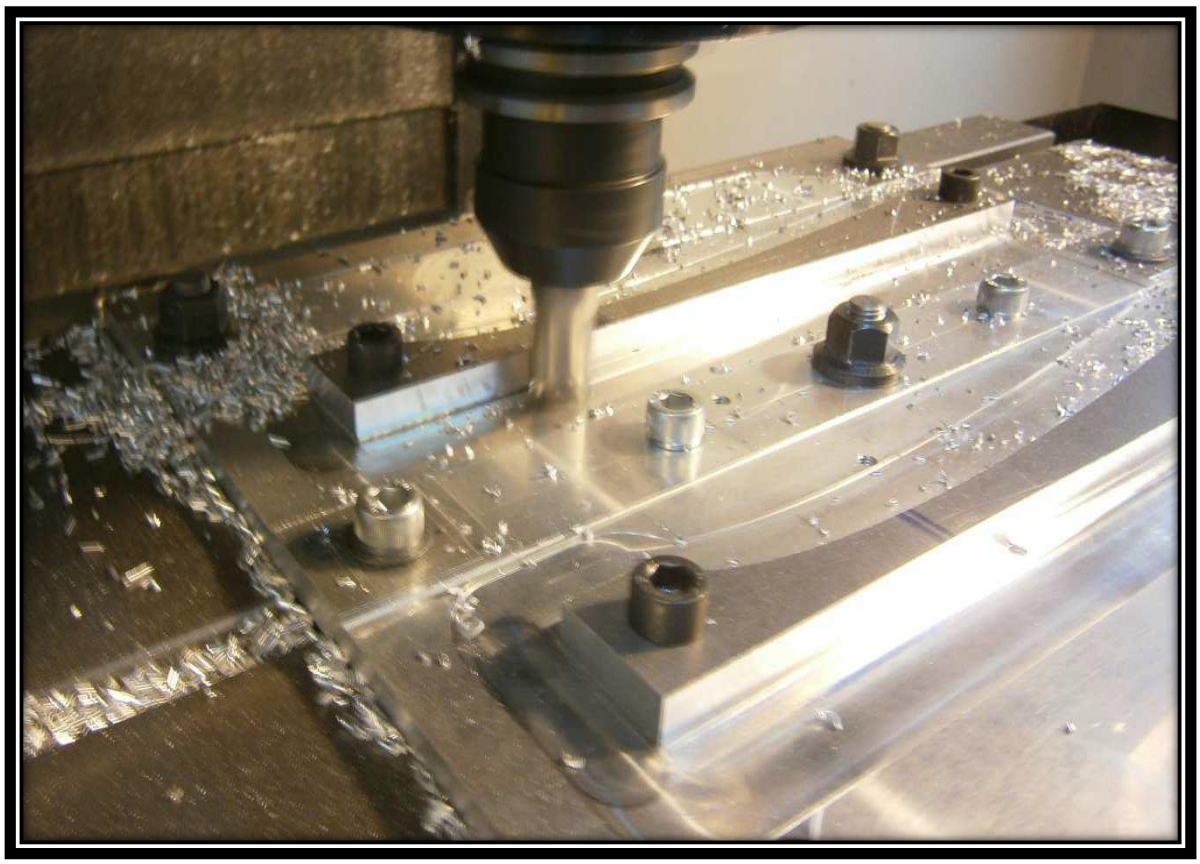
Η πρώτη κατεργασία για την κατασκευή του συναρμολογήματος του καλουπιού ήταν η κοπή 34 ελασμάτων για το πάνω μέρος και 34 για το κάτω μέρος του συναρμολογήματος του καλουπιού αντίστοιχα. Από μια πλάκα αλουμινίου διαστάσεων 1m x 1m x 10mm κόπηκαν 24 ελάσματα διαστάσεων 300mm x 32mm x 10mm και 34 ελάσματα διαστάσεων 300mm x 45mm x 10mm. Η κοπή έγινε με δισκοπρίονο εφαρμοσμένο σε τραπέζι για κοπή μεγάλων αντικειμένων με μεγάλη σταθερότητα και ακρίβεια. Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζεται η διαδικασία κοπής των ελασμάτων. [1]



Εικόνα 4.1. Κοπή των ελασμάτων αλουμινίου στο δισκοπρίονο.

Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την κατεργασία του προφίλ είναι δίπτερο κονδύλι κοβαλτίου διαμέτρου 20mm, κατάλληλο για κοπή μαλακού υλικού όπως το αλουμίνιο. Ο κύκλος κατεργασίας ξεκινάει ενεργοποιώντας την εντολή Cycle Start. Για τον σταδιακό έλεγχο κοπής επιλέγεται η εντολή Single Block, με την οποία ο κώδικας εκτελείται ανά γραμμή. Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται στιγμιότυπο από τον κύκλο κατεργασίας των προφίλ των ελασμάτων.

Για τη δημιουργία πατούρας και των διαμπερών οπών υλοποιήθηκε συγκράτηση των δοκιμίων με δύο φουρκέτες καθώς οι βίδες παρεμβάλλονται στην κατεργασία. Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα τετράφτερο κονδύλι κοβαλτίου διαμέτρου 14mm.



Εικόνα 4.2. Περιφερειακό φρεζάρισμα ελάσματος.

ΙΙ. Συναρμολόγηση σκελετού καλουπιού

Το τελικό στάδιο της κατασκευής του σκελετού του καλουπιού αποτελεί η συναρμολόγησή του. Αρχικά έγινε συναρμολόγηση του πάνω μέρους και στη συνέχεια του κάτω. Στην Εικόνα 4.3 παρουσιάζεται η συναρμολόγηση 2 ελασμάτων και δύο αποστατών, μετά την κατεργασία τους. Με την ίδια φιλοσοφία ολοκληρώθηκαν τα συναρμολογήματα του άνω και κάτω τμήματος του σκελετού.



Εικόνα 4.3. Συναρμολόγηση δύο ελασμάτων και δύο αποστατών.

Η συγκράτηση όλων των κομματιών μεταξύ τους υλοποιήθηκε με χρήση ντίζας μήκους 2,20m η οποία περάστηκε από τις οπές των αποστατών και συγκρατήθηκε με παξιμάδια. Η τελική μορφή τους παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.4.



Εικόνα 4.4. Άνω και κάτω τμήμα συναρμολογήματος σκελετού καλουπιού.

Η ένωσή τους παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.5 όπου και διακρίνεται πλέον το προφίλ της αεροτομής NACA 0015.



Εικόνα 4.5. Πλήρες συναρμολόγημα σκελετού καλουπιού.

Λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής καλουπιού για την χύτευση των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας και με βάση τις υπάρχουσες τεχνικές, επιλέχθηκε η κατασκευή καλουπιού που βασίζεται στη συναρμολόγηση (Assembly) σκελετού. [1]

4.1 Υλικά και μέθοδοι εφαρμογής για πτερύγιο

Από τους αρχαίους χρόνους, οι άνθρωποι έχουν εκμεταλλευτεί την ενέργεια του αέρα. Πριν από 5.000 χρόνια, οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν την δύναμη του αέρα για να κινήσουν τα ιστιοφόρα τους στον ποταμό Νείλο. Αργότερα, οι άνθρωποι έχτισαν ανεμόμυλους για να αλέσουν το σιτάρι και άλλα δημητριακά. Οι πρώτοι ανεμόμυλοι έμοιαζαν με ρόδες από κουπιά. Αιώνες αργότερα, οι Ολλανδοί βελτίωσαν τον ανεμόμυλο. Τους έδωσαν μορφή πτερυγίων από ξύλο στην αρχή και μετά από πανί. [45]



Εικόνα 4.6. Ανεμόμυλοι στην Ολλανδία.

Ο ανεμόμυλος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως ανεμογεννήτρια το 1890 όταν εγκαταστάθηκε πάνω σε χαλύβδινο πύργο ο ανεμόμυλος του Π. Λα Κούρ στη Δανία, με ισχία με σχισμές και διπλά πτερύγια αυτόματης μετάπτωσης προς τη διεύθυνση του ανέμού. Μετά τον Α' Παγκόσμιο πόλεμο, έγιναν πειράματα με ανεμόμυλους που είχαν ισχία αεροτομής, δηλαδή όμοια με πτερύγια αεροπορικής έλικας.

Το 1931 μια τέτοια ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε στην Κριμαία και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διοχετευόταν στο τμήμα χαμηλής τάσης του τοπικού δικτύου. Πραγματικές ανεμογεννήτριες με δύο πτερύγια λειτούργησαν κατά στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1940, στην Αγγλία στη δεκαετία του 1950 καθώς και στη Γαλλία. Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στη Δανία από τον J.Juul με τρία πτερύγια αλληλοσυνδεόμενα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Στην Ολλανδία εκτελέστηκαν πειράματα από τον F.G. Pigeaud με αντικείμενο τη μετασκευή των παλαιών ανεμόμυλων άλεσης δημητριακών, έτσι ώστε η πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή. Χρησιμοποιήθηκε ένας ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο (σε περίπτωση άπνοιας) ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια, όταν φυσούσε. Ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης περιλάμβανε συμπλέκτη παράκαμψης με σκοπό ο ηλεκτροκινητήρας να μην κινεί τα ιστία παρά μόνο να εκτελεί χρήσιμο έργο. Η οροφή στρεφόταν με τη βοήθεια σερβοκινητήρα που ελεγχόταν από έναν ανεμοδείκτη. Μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο πολλοί περίμεναν ότι η αιολική ενέργεια θα συνέβαλλε σημαντικά στην παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά οι προσπάθειες ανάπτυξης ανεμογεννητριών ατόνησαν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970.

Οι προσπάθειες αυτές ξανάρχισαν πιο έντονες μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση (1973) και στηρίχθηκαν κατά μεγάλο μέρος στην σύγχρονη αεροδιαστημική τεχνολογία. Έτσι αναπτύχθηκαν διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 διατίθονταν στο εμπόριο συγκροτήματα μικρής ισχύος (μέχρι 20-25 κιλοβάτ) ενώ είχαν κατασκευαστεί και ανεμογεννήτριες μεγαλύτερης ισχύος (3-4 μεγαβάτ). Οι ανεμογεννήτριες προηγμένης τεχνολογίας που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι κυρίως δύο τύπων: ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα με πτερύγια και ανεμογεννήτριες Νταριέ με κατακόρυφο άξονα (από τον Γάλλο G.J.M.Darrieus που τις εφεύρε το 1925). Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, που είναι πιο εξελιγμένες και διαδεδομένες, έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια και η ισχύς τους κυμαίνεται από λίγα κιλοβάτ έως μερικά μεγαβάτ. Οι ανεμογεννήτριες Νταριέ είναι απλούστερες και μικρότερης ισχύος. [46]

Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν δύο ή τρία πτερύγια. Ο άνεμος πάνω στα πτερύγια δημιουργεί άνωση (lift) που έχει σαν αποτέλεσμα μια ροπή γύρω από τον άξονα περιστροφής

και αναγκάζει τα πτερύγια να περιστρέφονται. Τα πτερύγια ‘συλλαμβάνουν’ τον αέρα και μεταφέρουν την ισχύ του στην κεφαλή του ρότορα. Σε μια μοντέρνα ανεμογεννήτρια 1000kW κάθε πτερύγιο έχει μήκος 27 m και είναι σχεδιασμένο περίπου όπως ένα φτερό αεροπλάνου.

Τα πτερύγια σε μεγάλες ανεμογεννήτριες περιστρέφονται κατά μήκος του άξονά τους. Το πτερύγιο δέχεται τον άνεμο κατά μήκος του υπό διαφορετικές γωνίες. Η γωνία πρόσπτωσης αυξάνεται προς τη βάση του πτερυγίου. Οι πολύ μεγάλες γωνίες δεν έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Προκειμένου να υπάρχει ενιαία γωνία πρόσπτωσης κατά μήκος του πτερυγίου, το πτερύγιο έχει μορφή περιστροφική.Υπάρχουν αρκετά προβλήματα αντοχής των υλικών που αφορούν την κατασκευή και την έδραση των πτερυγίων. Τα προβλήματα αυτά αποτελούν ίσως τα βασικότερα προβλήματα κατασκευής ανεμοκινητήρων υψηλής αξιοπιστίας, δεδομένου ότι ο άνεμος εξασκεί πάνω στα πτερύγια και στις αντίστοιχες εδράσεις τους σημαντικές δυνάμεις, ιδιαίτερα για μεγάλων διαστάσεων μηχανές. Ένας επιπλέον κίνδυνος προέρχεται από το γεγονός ότι οι εξασκούμενες τάσεις είναι εναλλασσόμενες, ενώ υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ιδιοσυντονισμού της πτερωτής, λόγω των εμφανιζόμενων ταλαντώσεων. Επίσης, δεν πρέπει να παραλείπεται το γεγονός ότι ο δρομέας μιας ανεμογεννήτριας βρίσκεται εκτεθειμένος σε αρκετά δύσκολες καιρικές συνθήκες με αποτέλεσμα να έχουμε επιταχυνόμενη φθορά των υλικών, που συνδυάζουν χαμηλό κόστος και επιθυμητή αντοχή, είναι καθοριστικό στην επιτυχία κάθε ανεμοκινητήρα στην ενεργειακή αγορά. [1]

4.1.1 Προτεινόμενα υλικά για κατασκευή πτερυγίου

Για τη χύτευση κατασκευής πτερυγίου ανεμογεννήτριας (μετά από έρευνα των καταλληλότερων και οικονομικότερων υλικών) καταλήξαμε μεταξύ των παρακάτω υλικών:

• Carbon, γιατί έχει υψηλές αντοχές σε εφελκυσμό και θλίψη, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, διάβρωση και ακαμψία.

• Fiberglass, το οποίο έχει αντοχή και δυσκαμψία και καλή συμπεριφορά στην αλλαγή καιρικών συνθηκών, υψηλή αντίσταση στη χημική διάβρωση αλλά είνα πολύ ακριβό.

• Kevlar, διότι έχει μεγάλη αντοχή σε κρουστική καταπόνηση λόγω ελαστικότητας που επιδεικνύει: Εκεί που ένα κομμάτι από carbon στο όριο θραύσης του θα γίνει πολλά κοφτερά κομμάτια, το kevlar θα απορροφήσει περισσότερη ενέργεια και θα συμπεριφερθεί ελαστικά. Πολλές φορές χρησιμοποιείται συνδυασμός carbon και kevlar, ώστε να έχουμε μέρη με απόλυτη αντοχή και ακαμψία του carbon και ελαστικότητα σε κρούση του kevlar.

• Το πάνελ πολυπροπυλενίου, το οποίο είναι ισχυρό και ελαφρύ υλικό, παρέχει αποτελεσματική μηχανική απόδοση και χρησιμοποιείται σαν προϊόν "σάντουιτς" για ενίσχυση κατασκευών. Επίσης μειώνει το βάρος κατασκευής γιατί δεν απορροφά μέσα του την ρητίνη αλλά η ρητίνη εμποτίζει μόνο την εξωτερική τους επιφάνεια για να μπορεί μετά να είναι καλή η πρόσφυση με ενισχυτικά υφάσματα.

4.1.2 Με βάση το υλικό της μήτρας, οι μέθοδοι μορφοποίησης ινωδών σύνθετων υλικών μπορούν να καταταγούν στις εξής κατηγορίες:

Α. Μορφοποίηση σύνθετου οργανικής μήτρας

Α1. Ασυνεχής μορφοποίηση σύνθετου (Εικόνες 4.7-4.8)

- Χειροποίητη στρώση (hand lay-up)
- Χύτευση θαλάμου πίεσης (pressure bag)
- Χύτευση σε διαιρετό καλούπι (matched die-moulding)

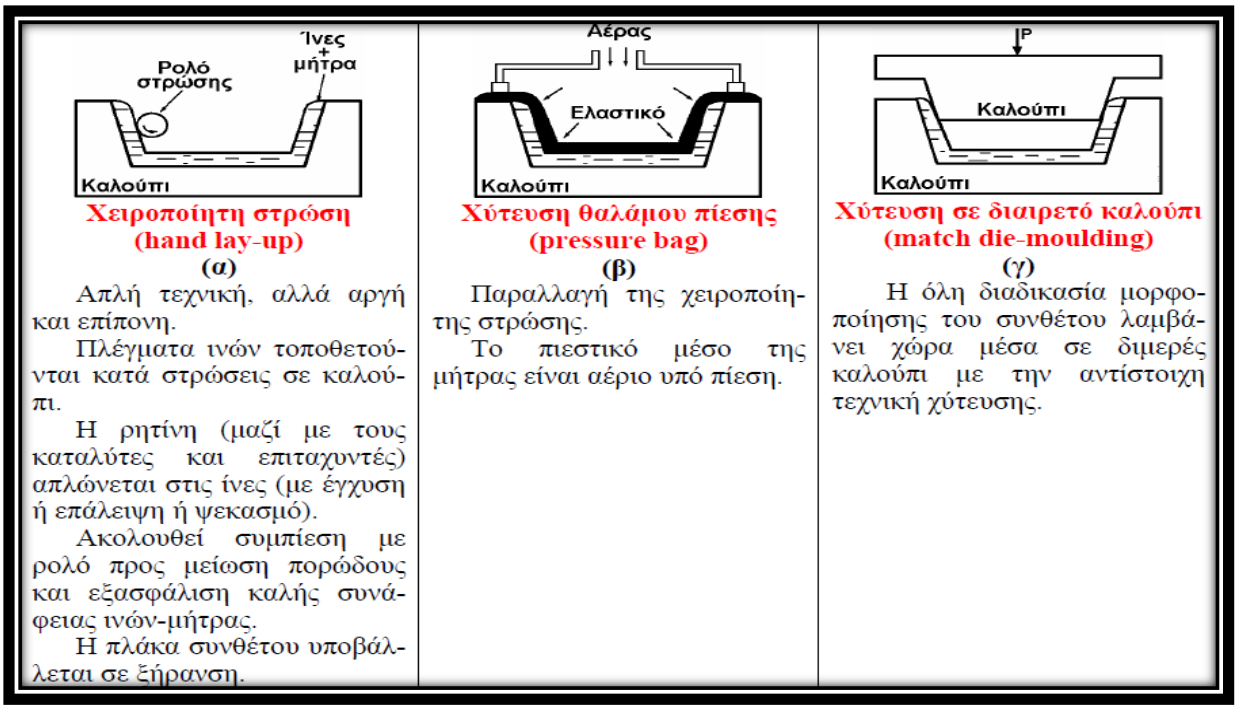
Α2. Συνεχής μορφοποίηση σύνθετου (Εικόνες 4.9-4.11)

- Περιέλιξη νήματος (filament winding)
- Συνεχής μορφοποίηση ελάσματος (sheet moulding process, SMC)
- Μορφοποίηση με εμβάπτιση (pultrusion)

Β. Μορφοποίηση σύνθετου μεταλλικής μήτρας (Εικόνες 4.12-4.14)

- Συνδιέλαση (co-extrusion)
- Μορφοποίηση με χύτευση (casting process)
- Συμπίεση σε στερεή κατάσταση
- Απόθεση υλικού μήτρας

Γ. Μορφοποίηση σύνθετου κεραμικής μήτρας



Χειροποίητη στρώση (hand lay-up)

(α)

Απλή τεχνική, αλλά αργή και επίπονη.

Πλέγματα ινών τοποθετούνται κατά στρώσεις σε καλούπι.

Η ρητίνη (μαζί με τους καταλύτες και επιταχυντές) απλώνεται στις ίνες (με έγχυση ή επάλειψη ή ψεκασμό).

Ακολουθεί συμπίεση με ρολό προς μείωση πορώδους και εξασφάλιση καλής συνάφειας ινών-μήτρας.

Η πλάκα συνθέτου υποβάλλεται σε ξήρανση.

Χύτευση θαλάμου πίεσης (pressure bag)

(β)

Παραλλαγή της χειροποίητης στρώσης.

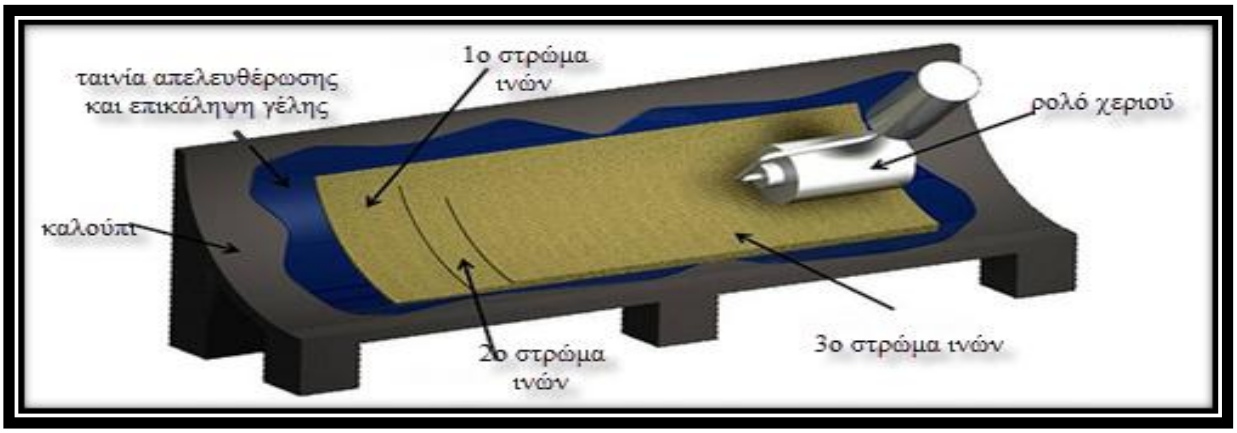
Το πιεστικό μέσο της μήτρας είναι αέριο υπό πίεση.

Χύτευση σε διαιρετό καλούπι (match die-moulding)

(γ)

Η όλη διαδικασία μορφοποίησης του συνθέτου λαμβάνει χώρα μέσα σε διμερές καλούπι με την αντίστοιχη τεχνική χύτευσης.

Εικόνα 4.7. Ασυνεχής μορφοποίηση σύνθετου: (α) χειροποίητη στρώση, (β) χύτευση θαλάμου πίεσης, (γ) χύτευση σε διαιρετό καλούπι.

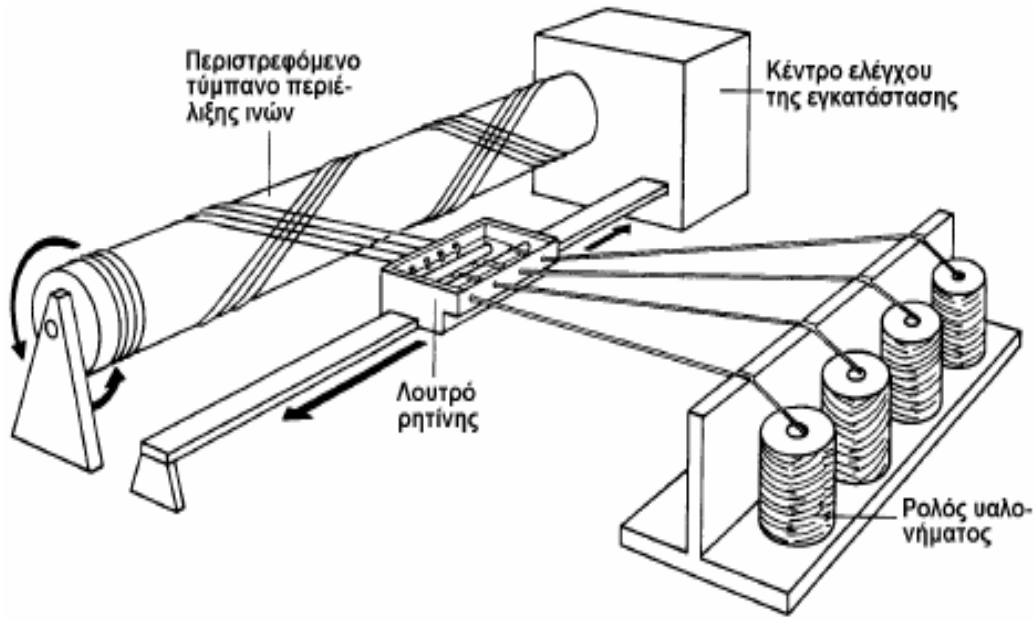


Εικόνα 4.8. Χειροποίητη στρώση (hand lay-up).

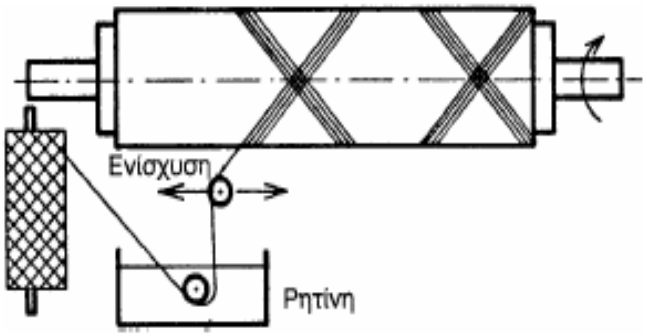
Οι ίνες διατίθενται στην αγορά σε δεσμίδες τυλιγμένες γύρω από ένα κυλινδρικό οδηγό. Μπορεί να είναι ευθυγραμμισμένες ή πεπλεγμένες.

Οι ασυνεχείς (μικρού μήκους) ίνες συνδυάζονται με το υλικό μήτρας είτε σε τυχαία διάταξη, είτε όσο το δυνατόν προσανατολισμένες.

Οι συνεχείς (μεγάλους μήκους) ίνες είτε ευθυγραμμίζονται σε μία διεύθυνση σε μορφή ταινίας είτε διατάσσονται σε πλεγμένα στρώματα (υαλοΰφασμα).



(α)



(β)

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται κυρίως στην παραγωγή κοίλων κυλίνδρων, υψηλών προδιαγραφών.

Οι ίνες εμβαπτίζονται αρχικά σε λουτρό ρητίνης και στη συνέχεια περιτυλίσσονται σε καλούπι επιθυμητού σχήματος.

Ο εμποτισμός της στρώσης σε ρητίνη μπορεί να γίνεται ταυτόχρονα ή να ακολουθεί.

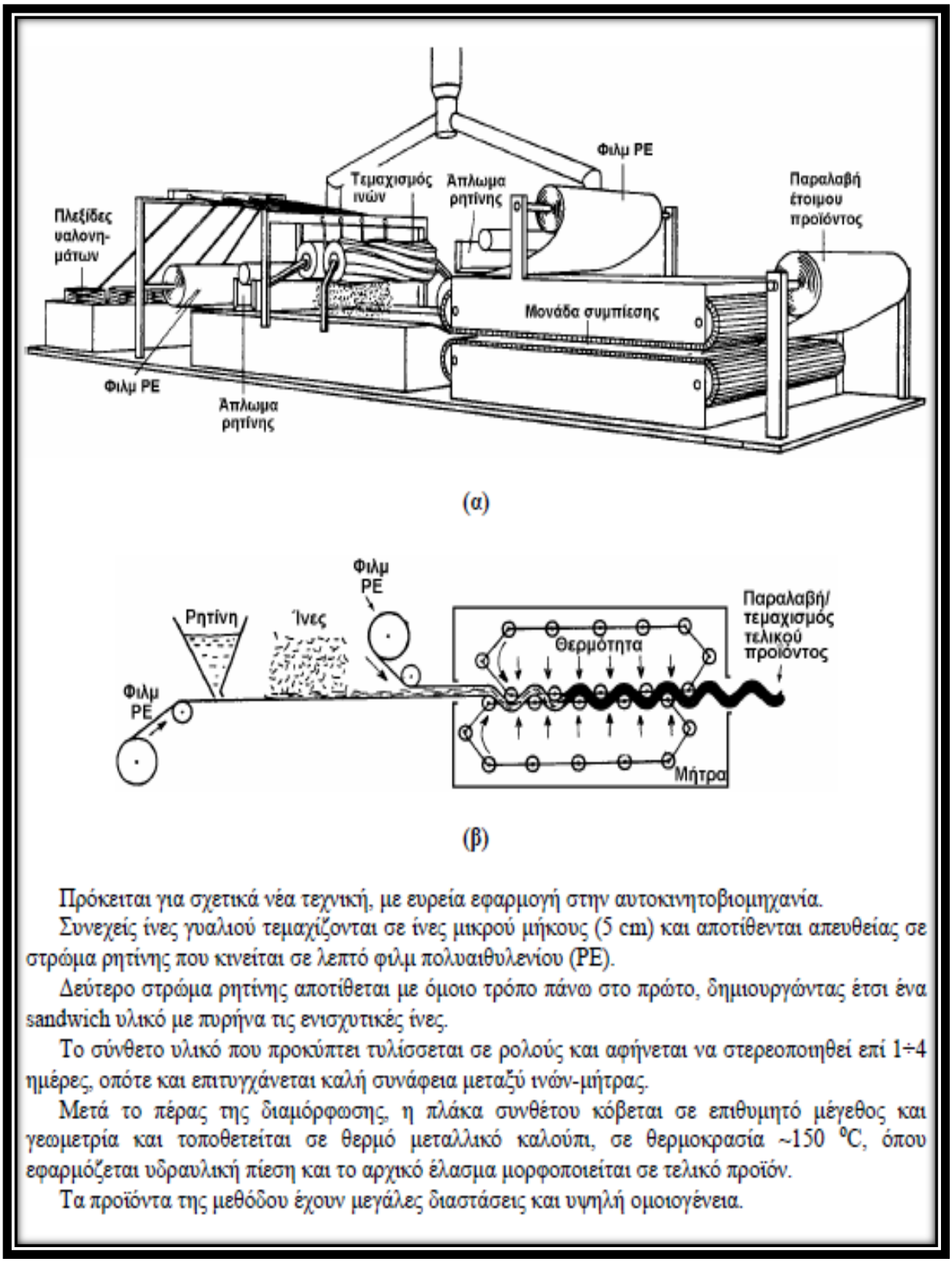
Το προϊόν που προκύπτει ξηραίνεται στον αέρα ή σε κλίβανο.

Ο ισχυρός προσανατολισμός των ινών δίνει κελύφη με υψηλή μηχανική αντοχή.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ: Κατασκευή δεξαμενών καυσίμου και χημικών, αγωγών υψηλών πιέσεων, κλπ.

Εικόνα 4.9. Συνεχής μορφοποίηση συνθέτου με περιέλιξη νήματος (filament winding)

(α) Διάταξη μορφοποίησης, (β) Σχηματική παράσταση διαδικασίας.



Πρόκειται για σχετικά νέα τεχνική, με ευρεία εφαρμογή στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Συνεχείς ίνες γυαλιού τεμαχίζονται σε ίνες μικρού μήκους (5 cm) και αποτίθενται απευθείας σε στρώμα ρητίνης που κινείται σε λεπτό φιλμ πολυαιθυλενίου (PE).

Δεύτερο στρώμα ρητίνης αποτίθεται με όμοιο τρόπο πάνω στο πρώτο, δημιουργώντας έτσι ένα sandwich υλικό με πυρήνα τις ενισχυτικές ίνες.

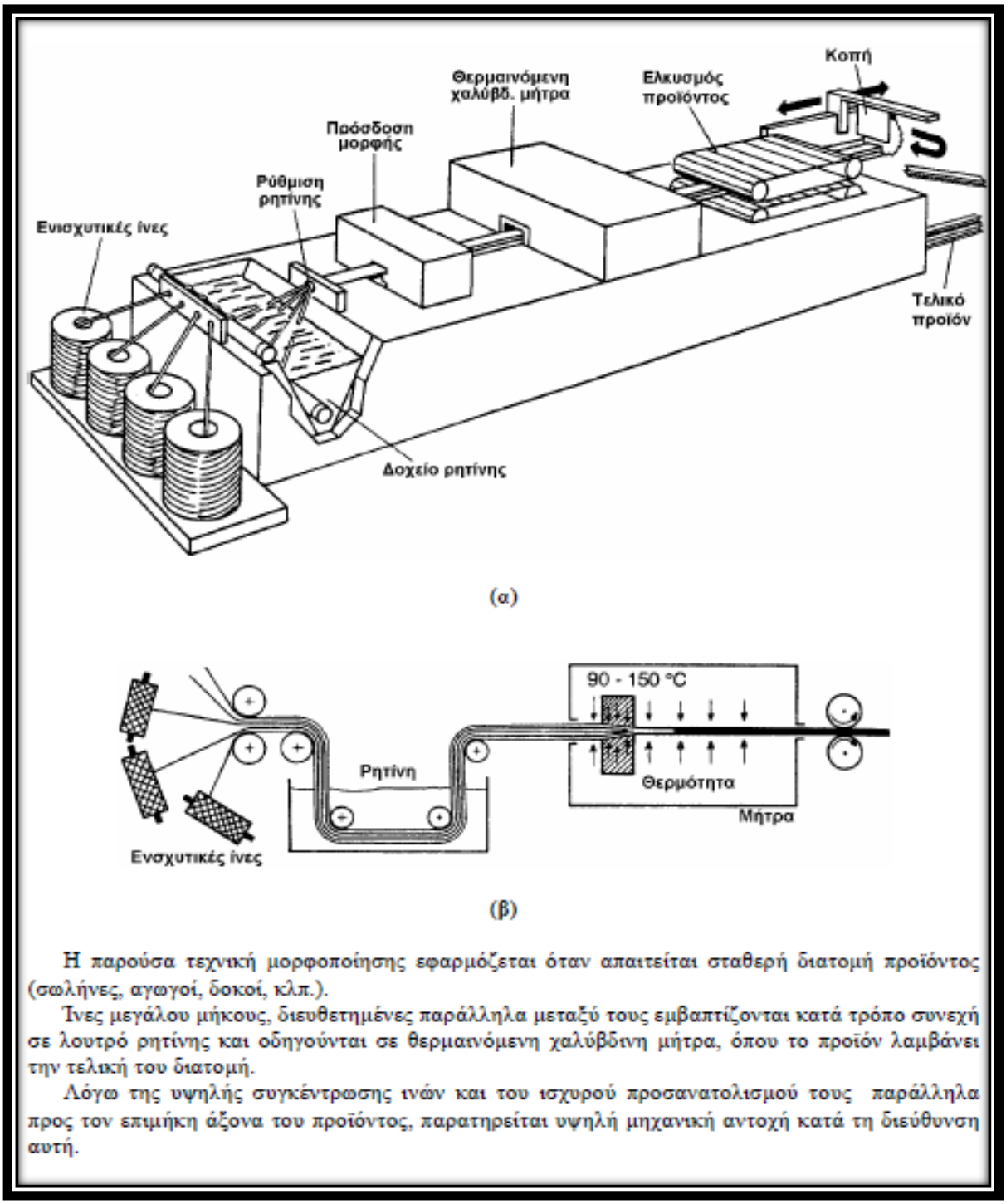
Το σύνθετο υλικό που προκύπτει τυλίσσεται σε ρολούς και αφήνεται να στερεοποιηθεί επί 1÷4 ημέρες, οπότε και επιτυγχάνεται καλή συνάφεια μεταξύ ινών-μήτρας.

Μετά το πέρας της διαμόρφωσης, η πλάκα συνθέτου κόβεται σε επιθυμητό μέγεθος και γεωμετρία και τοποθετείται σε θερμό μεταλλικό καλούπι, σε θερμοκρασία ~150 ^{o}C, όπου εφαρμόζεται υδραυλική πίεση και το αρχικό έλασμα μορφοποιείται σε τελικό προϊόν.

Τα προϊόντα της μεθόδου έχουν μεγάλες διαστάσεις και υψηλή ομοιογένεια.

Εικόνα 4.10. Συνεχής μορφοποίηση ελάσματος (sheet moulding process, SMC)

(α) Διάταξη μορφοποίησης, (β) Σχηματική παράσταση διαδικασίας



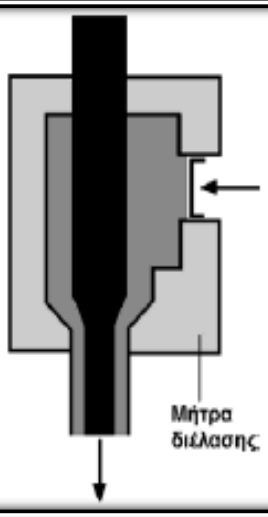
Η παρούσα τεχνική μορφοποίησης εφαρμόζεται όταν απαιτείται σταθερή διατομή προϊόντος (σωλήνες, αγωγοί, δοκοί, κλπ.).

Ίνες μεγάλου μήκους, διευθετημένες παράλληλα μεταξύ τους εμβαπτίζονται κατά τρόπο συνεχή σε λουτρό ρητίνης και οδηγούνται σε θερμαινόμενη χαλύβδινη μήτρα, όπου το προϊόν λαμβάνει την τελική του διατομή.

Λόγω της υψηλής συγκέντρωσης ινών και του ισχυρού προσανατολισμού τους παράλληλα προς τον επιμήκη άξονα του προϊόντος, παρατηρείται υψηλή μηχανική αντοχή κατά τη διεύθυνση αυτή.

Εικόνα 4.11. Μορφοποίηση με εμβάπτιση (pultrusion)

(α) Διάταξη μορφοποίησης, (β) Σχηματική παράσταση διαδικασίας.



Πρόκειται για ταυτόχρονη διέλαση των συστατικών υλικών του συνθέτου και ενδείκνυται η εφαρμογή της στην περίπτωση παρόμοιας ολκιμότητας ινών και μήτρας.

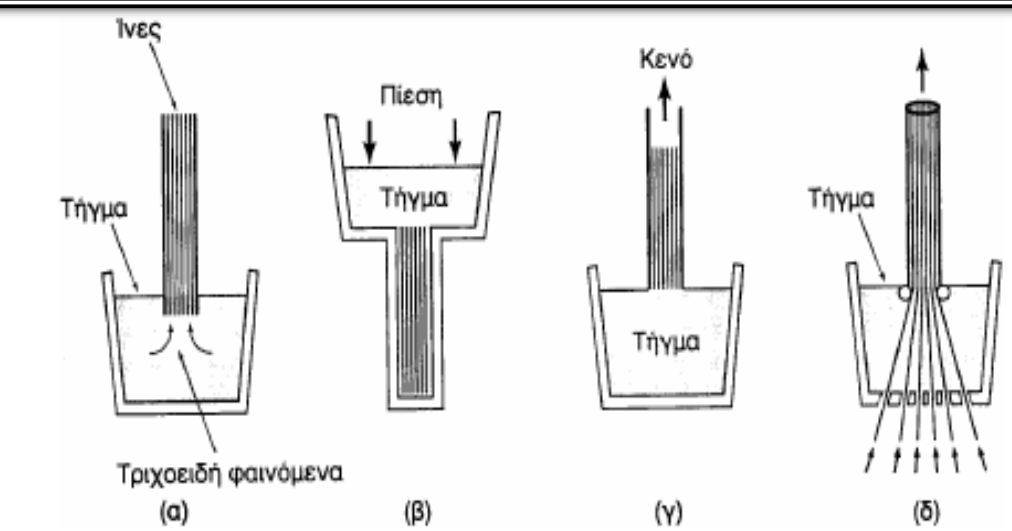
Όταν οι ίνες είναι ψαθυρές, η κατεργασία λαμβάνει χώρα σε υψηλές θερμοκρασίες.

Η ενίσχυση της μήτρας με την τεχνική της συνδιέλασης δεν είναι θεαματική, εξασφαλίζεται όμως καλλίτερη στιβαρότητα και χαμηλότερη πυκνότητα συνθέτου.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Σύνθετο με μήτρα Nb ή Ta και ενίσχυση ινών μαγνησίας (MgO), οξειδίου του θορίου (ThO) ή (ZrO_2).

Εικόνα 4.12. Συνδιέλαση (co-extrusion).



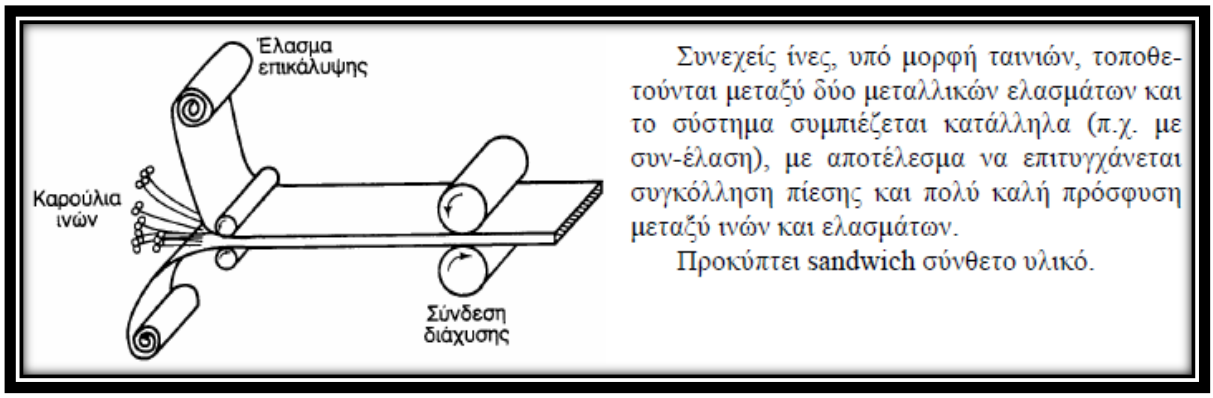
Η μήτρα εισάγεται ως τήγμα σε κατάλληλα διευθετημένο σύστημα ενίσχυσης.

Η διαβροχή των ινών από το τήγμα επιτυγχάνεται με μηχανισμό τριχοειδών αγγείων (capillary rise) ή με πίεση λόγω βαρύτητας (pressure casting) ή με αναρρόφηση λόγω κενού (vacuum infiltration) ή με συνεχή χύτευση (continuous casting).

Η τεχνική δεν εφαρμόζεται όταν η μήτρα-τήγμα αντιδρά με τις ίνες στη θερμοκρασία χύτευσης.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ: Ενίσχυση μήτρας Al ή Ag με τριχίτες ζαφειριού, ενίσχυση μήτρας Al με ίνες C.

Εικόνα 4.13. Μορφοποίηση με: (α) χύτευση με τη βοήθεια τριχοειδών φαινομένων, (β) πίεση βαρύτητας, (γ) εφαρμογή κενού και (δ) συνεχή χύτευση.



Εικόνα 4.14. Μορφοποίηση συνθέτων μεταλλικής μήτρας με συμπίεση [47].

4.2 Μέθοδος Vacuum Infusion

Επίσης κατά τη διαδικασία της χύτευσης θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο vacuum infusion. Σε γενικές γραμμές, με τη μέθοδο *vacuum infusion*, καταφέρνουμε να χρησιμοποήσουμε λιγότερες στρώσεις πολυεστέρα, λιγότερη ρητίνη γιατί η περιττή αποβάλλεται και ταυτόχρονα, δεν μένουν φυσαλίδες αέρα ανάμεσα στα φύλλα πολυεστέρα.[48]



Εικόνα 4.15. Διαδικασία Vacuum Infusion.

Πολλές πολυεστερικές κατασκευές πλέον είναι απαραίτητο να γίνονται με τη μέθοδο *vacuum infusion*, είτε διότι είναι πιο γρήγορες και πιο οικονομικές, είτε διότι απαιτούνται οι απαραίτητες τεχνικές προδιαγραφές τις οποίες μόνο με αυτή τη μέθοδο μπορούμε να επιτύχουμε.

Η μέθοδος αυτή είναι το αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής πιέσεως που δέχεται το υλικό της κατασκευής μας μετά την αφαίρεση του ατμοσφαιρικού αέρα έτσι ώστε να υφίσταται μια μεγάλη και ομοιόμορφη πίεση η κατασκευή μας, με αποτέλεσμα το υγρό διαποτίσεως (ρητίνη) του Fiber Glass να το διαβρέχει γρήγορα, ομοιόμορφα χωρίς φυσαλίδες και περισσεύματα.

Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε κατασκευές με χαμηλό βάρος, μικρότερο πάχος και υψηλότερες μηχανικές αντοχές απ` ότι εάν κατασκευάζονταν με την κλασσική χειροποίητη μέθοδο π.χ. ανεμογεννήτριες, μέρη βαγονιών, τρένων, αξεσουάρ αυτοκινήτων, ιστιοσανίδες, κελύφοι, καταστρώματα σκαφών κ.τ.λ.

Συγχρόνως έχουμε ένα πιο υγιεινό χώρο εργασίας, φιλικό προς το χρήστη και το περιβάλλον. Η μέθοδος *vacuum infusion* εξελίσσεται ραγδαίως ως προς την τεχνική και τα υλικά που χρησιμοποιούνται.

Αναλυτικότερα

Τοποθετούμε όλα τα απαιτούμενα υφάσματα (οπλισμός) για την κατασκευή εντός του καλουπιού στηρίζοντας τα με το ειδικό σπρέυ συγκόλλησης χωρίς να τα εμποτίσουμε με τη ρητίνη.

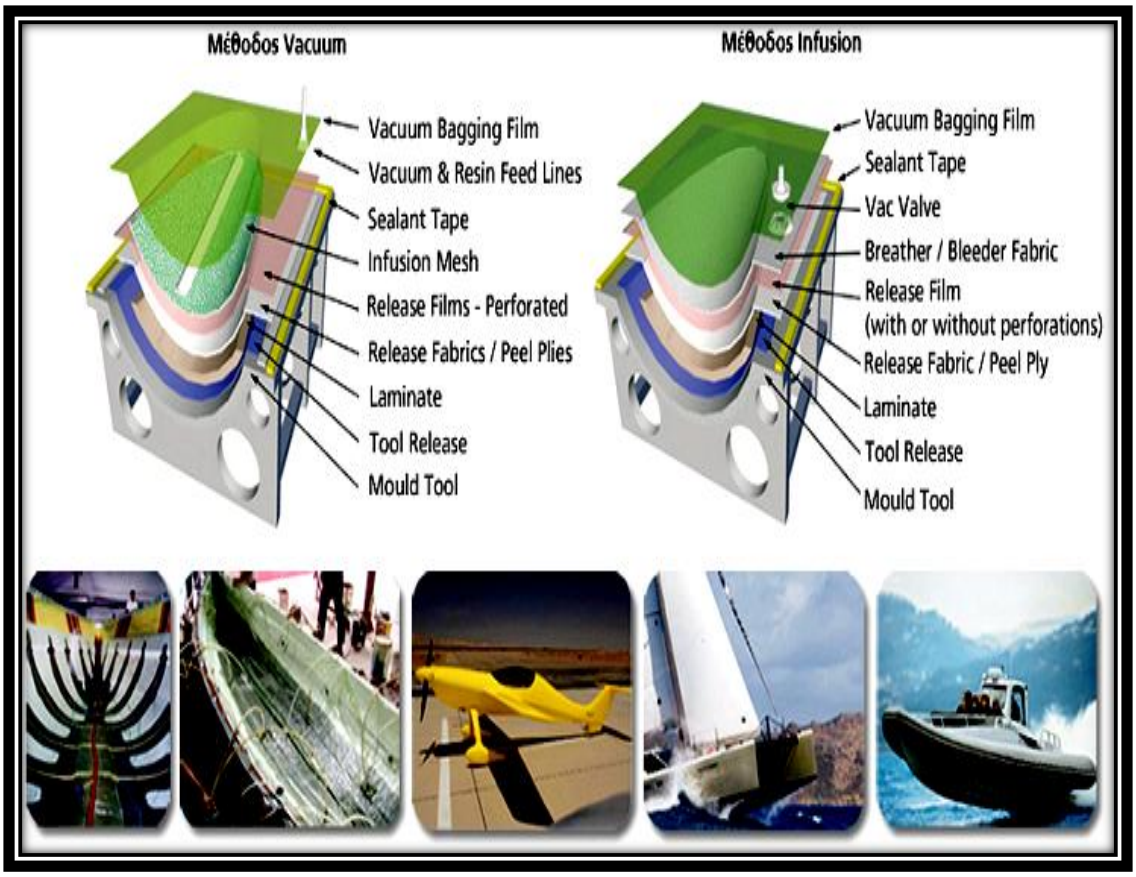
Εν συνεχεία καθώς όλος ο οπλισμός είναι σωστά τοποθετημένος και απολύτως ανεμπότιστος τοποθετούμε απευθείας επάνω στην τελευταία στρώση εφαρμογής τα παρακάτω υλικά όπως βλέπετε στην παρακάτω Εικόνα 4.16 ώστε να ξεκινήσουμε εν συνεχεία τη μέθοδο *vacuum infusion*.

Με μια μεγάλη αντλία υποπίεσης ή και κομπρεσέρ αέρος (σε συνδυασμό πάντα με το ειδικό αξεσουάρ αντιστροφής της πίεσης Venturi VP 26) ξεκινάμε τη διαδικασία αναρρόφησης του αέρα.

Χωρίς να διοχετευτεί ακόμη η ρητίνη περιμένουμε εως ότου όλα τα υφάσματα να συμπιεστούν απόλυτα και να αφαιρεθεί όλος ο αέρας από μέσα τους. Κατόπιν και αφού κάνουμε έναν έλεγχο για ανεπιθύμητες διαρροές απελευθερώνουμε τη ρητίνη να εισρεύσει από τον σωλήνα της εισόδου εντός του καλουπιού διαποτίζοντας σιγά-σιγά τα υφάσματα εωσότου η ρητίνη επεκταθεί σε όλη την επιφάνεια του καλουπιού.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν όλη η επιφάνεια του καλουπιού δείχνει εμφανώς εμποτισμένη.

Κατόπιν περιμένουμε να γίνει ο πολυμερισμός της ρητίνης. Ξεκολλάμε τέλος όλα τα παρελκόμενα αναλώσιμα υλικά τραβώντας τα με το χέρι και το προϊόν είναι έτοιμο. [49]



Εικόνα 4.16. Διαδικασία Vacuum Infusion.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μέρος ολικής κατασκευής ανεμογεννήτριας καθέτου άξονα με στόχο τη χρήση και εκμετάλευση σε αστικό ή μη περιβάλλον χωρίς περιορισμούς. Συγκεκριμένα μετά από περιληπτική αναφορά της μοντελοποίησης και κατασκευής του καλουπιού των πτερυγίων ανεμογεννήτριας Darrieus-H, βασιζόμενη στην πτυχιακή εργασία του Νικολάου Φιάλα, επικεντρώθηκε στην ενδελεχή αναφορά και έρευνα ορισμένων υλικών, των οποίων τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες τα καθιστούν καταλληλότερα για την κατασκευή ανεμοπτερυγίου, καθώς επίσης και το κόστος των υλικών.

Για την πλήρωση του καλουπιού προτεινόμενα υλικά είναι τα έγχυτα κονιάματα εποξειδικής βάσης, τα έγχυτα κονιάματα πολυουρεθανικής βάσης και οι σιλικόνες Dow-Corning και το συνθετικό καουτσούκ, γιατί παρουσιάζουν πολύ καλή πρόσφυση στα περισσότερα κατασκευαστικά υλικά, έχουν ταχεία σκλήρυνση χωρίς συρρίκνωση, εύκολη ανάμιξη, καλή ρευστότητα, είναι σκληρά και ανθεκτικά σε δονήσεις, εύκαμπτα, αδιαπέραστα από υδρατμούς και υγρασία, είναι υψηλών μηχανικών αντοχών, έχουν εξαιρετική ηλεκτρική μόνωση, είναι ελαστικά - συμπιέσιμα, έχουν μεγάλη προβλεπόμενη διάρκεια ζωής και πολύ καλές ιδιότητες αποκόλλησης.

Με την ολοκλήρωση του σταδίου της πλήρωσης του σκελετού επέρχεται το στάδιο της χύτευσης του ανεμοπτερυγίου, κατά την οποία καταλληλότερα και οικονομικότερα υλικά κρίθηκαν τα: Carbon, Fiberglass, Kevlar και το πάνελ πολυπροπυλενίου (honey comb). Το Carbon έχει υψηλές αντοχές σε εφελκυσμό, θλίψη, θερμοκρασίες, διάβρωση και ακαμψία. Το Fiberglass έχει αντοχή, δυσκαμψία και καλή συμπεριφορά στην αλλαγή καιρικών συνθηκών, αλλά είναι ακριβό. Το Kevlar έχει αντοχή σε κρουστική καταπόνηση λόγω ελαστικότητας που επιδεικνύει. Πολλες φορές είναι καλύτερο να χρησιμοποιείται συνδυασμός Carbon και Kevlar ώστε να έχουμε μέρη με απόλυτη αντοχή και ακαμψία (Carbon) και ελαστικότητα σε κρούση (Kevlar). Το πάνελ πολυπροπυλενίου είναι ισχυρό και ελαφρύ υλικό και χρησιμοποιείται σαν προϊόν σάντουιτς για ενίσχυση κατασκευών.

Τέλος η χύτευση θα γίνει σε διαιρετό καλούπι και θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Vacuum Infusion κατά την οποία τοποθετούμε όλα τα υφάσματα (οπλισμό) εντός του καλουπιού, στηρίζοντάς τα με σπρέυ συγκόλλησης και με μια μεγάλη αντλία υποπίεσης, γίνεται αναρρόφηση του αέρα. Στη συνέχεια διοχετεύουμε τη ρητίνη μέχρι να εμποτιστεί όλη η

επιφάνεια του καλουπιού. Μετά τον πολυμερισμό της ρητίνης ξεκολλάμε όλα τα πάρελκόμενα υλικά με το χέρι και το προϊόν είναι έτοιμο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Βιβλιογραφία

[1]Νικόλαος Φιάλας (Πτυχιακή Εργασία, 2013). Μοντελοποίηση και κατασκευή συναρμολογήματος καλουπιού πτερυγίου ανεμογεννήτριας καθέτου άξονα. http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/sdfp/2013/FialaNikolaos/attached-document-1366781908-996359-14578/FialaNikolaos2013.pdf (Ενεργό την 23-1-2015)
[2]http://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSTHRIO/YLIKA/SHMEIWSEIS/1%20EISAGWGHw.pdf (Ενεργό την 23-1-2015)
[3]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AD%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B1 (Ενεργό την 23-1-2015)
[4]William D.Callister,JR. Επιστήμη και τεχνολογία των υλικών (5΄ έκδοση). ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
[5]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%85%CF%84%CE%BF%CF%83%CE%AF%CE%B4%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%82 (Ενεργό την 23-1-2015)
[6]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%AC%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B1%CF%82 (Ενεργό την 23-1-2015)
[7]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B1%CE%BB%CE%BA%CF%8C%CF%82 (Ενεργό την 23-1-2015)
[8]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%BB%CE%B9%CE%BF (Ενεργό την 23-1-2015)
[9]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%81%CE%B5%CE%AF%CF%87%CE%B1%CE%BB%CE%BA%CE%BF%CF%82 (Ενεργό την 23-1-2015)
[10]http://blogs.sch.gr/atkermelid/files/2013/06/12o-%CE%91%CE%A1%CE%A7%CE%95%CE%A3-%CE%9C%CE%97%CE%A7%CE%91%CE%9D%CE%9F%CE%9B%CE%9F%CE%93%CE%99%CE%91%CE%A3.pdf (Ενεργό την 23-1-2015)
[11]http://wikipedia.qwika.com/en2el/Silicon_carbide (Ενεργό την 23-1-2015)
[12]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%81%CE%B2%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%86%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%AF%CE%BF%CF%85 (Ενεργό την 23-1-2015)
[13]http://el.265health.com/public-health-safety/work-safety/1013079955.html (Ενεργό την 23-1-2015)
[14]http://www.monopetro.com/el/synthetic-diamonds (Ενεργό την 23-1-2015)
[15]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BC%CE%AC%CE%BD%CF%84%CE%B9 (Ενεργό την 23-1-2015)

[16]Τεχνολογία μηχανολογικών κατασκευών(Ευρωπαϊκές τεχνολογικές εκδόσεις, εκδοτικός όμιλος ΙΩΝ)

[17]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CF%85%CF%84%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B8%CE%BF%CF%81%CE%BF%CE%B1%CE%B9%CE%B8%CF%85%CE%BB%CE%AD%CE%BD%CE%B9%CE%BF (Ενεργό την 23-1-2015)

[18]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CF%85%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%80%CF%85%CE%BB%CE%AD%CE%BD%CE%B9%CE%BF (Ενεργό την 23-1-2015)

[19]http://www.interplast.gr/downloads/atlasplus/03.pdf (Ενεργό την 23-1-2015)

[20]http://www.ampalaze.gr/30FE2757.el.aspx (Ενεργό την 23-1-2015)

[21]http://www.polieco.com/el/cavidotti/proprieta_fisiche__meccaniche (Ενεργό την 23-1-2015)

[22]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CF%85%CF%83%CF%84%CF%85%CF%81%CE%AD%CE%BD%CE%B9%CE%BF (Ενεργό την 23-1-2015)

[23]http://www.polyforma.gr/?page_id=343 (Ενεργό την 23-1-2015)

[24]http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_pvc.htm (Ενεργό την 23-1-2015)

[25]http://www.roussosepigrafes.gr/plexiglassshop/content/6-plexi-info (Ενεργό την 23-1-2015)

[26]http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%92%CE%B1%CE%BA%CE%B5%CE%BB%CE%AF%CF%84%CE%B7%CF%82 (Ενεργό την 23-1-2015)

[27]http://www.aandreou.gr/33-poliesterikes-ritines-poliesteres.html (Ενεργό την 23-1-2015)

[28]http://www.aandreou.gr/index.php?option=com_mijoshop&route=product/category&path=33&Itemid=1381 (Ενεργό την 23-1-2015)

[29]http://www.aandreou.gr/index.php?option=com_mijoshop&route=product/product&path=89&product_id=38&Itemid=740 (Ενεργό την 23-1-2015)

[30]http://www.aandreou.gr/index.php?option=com_mijoshop&route=product/product&path=89&product_id=37&Itemid=740 (Ενεργό την 23-1-2015)

[31]http://grc.sika.com/el/%CE%9B%CF%8D%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82--%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD%CF%84%CE%B1/%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82-%CE%A4%CE%BF%CE%BC%CE%AD%CE%B1%CF%82/02a005/02a005sa01/02a005sa01100.html (Ενεργό την 23-1-2015)

[32]http://www.paints-mihopoulos.gr/?section=2304&language=en_US&itemid1494=2305&detail1494=1 (Ενεργό την 23-1-2015)

[33]http://www.mercouris.gr/?q=el/node/29 (Ενεργό την 23-1-2015)

[34]http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/C1_Sintheta_ilika.pdf (Ενεργό την 23-1-2015)

[35]http://www.alfakem.gr/index.php/el/%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CF%83%CF%87%CF%8D%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD%CF%84%CE%B1-%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CF%83%CF%87%CF%8D%CF%83%CE%B5%CF%89%CE%BD/carbon-%CE%B1%CE%BD%CE%B8%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CF%8B%CF%86%CE%AC%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1 (Ενεργό την 23-1-2015)

[36]http://www.google.gr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=&url=http%3A%2F%2Fwww.bmwforum.gr%2Fforum%2Fshowthread.php%3Ft%3D12114&ei=DB7BVNLIB8H6UsWrhOAB&bvm=bv.83829542,d.d24&psig=AFQjCNGaVpY9ATqfedSYJe50aHU8yBUZeg&ust=1422028684882045 (Ενεργό την 23-1-2015)

[37]http://www.aandreou.gr/index.php?option=com_mijoshop&view=category&path=47&Itemid=1390 (Ενεργό την 23-1-2015)

[38]http://www.alfakem.gr/index.php/el/core-materials-%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD%CF%84%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CF%8E%CE%BD-%CF%83%CE%AC%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%B9%CF%84%CF%82/%CF%80%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%BB-%CF%80%CE%BF%CE%BB%CF%85%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%80%CF%85%CE%BB%CE%B5%CE%BD%CE%AF%CE%BF%CF%85/%CF%80%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%BB-%CF%80%CE%BF%CE%BB%CF%85%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%80%CF%85%CE%BB%CE%B5%CE%BD%CE%AF%CE%BF%CF%85-honeycomb-pp-panel-with-polyester-fleece-layer-detail (Ενεργό την 23-1-2015)

[39]http://www.biogenea.com.gr/index.php/el/ereuna/bioulika (Ενεργό την 23-1-2015)

[40]Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης. Εργαστήριο Σχεδιομελέτης &Κατεργασιών, Καθηγητής Δρ. Μηχ. ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ "Επιστήμη Υλικών"

[41]http://oximaton.drwx.eu/files/texn_yl_teyxos_i.pdf (Ενεργό την 23-1-2015)

[42]http://www.m3.tuc.gr/ANAGNWSTHRIO/CNC/SHMEIWSEIS/2-CAST.pdf (Ενεργό την 23-1-2015)

[43]http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CF%87%CE%B1%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%BF%CF%85_%CE%BA%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%8D (Ενεργό την 23-1-2015)

[44]http://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CDEQFjAD&url=http%3A%2F%2Fneasmyrni.leonteios.edu.gr%2Ffiles%2Fdrasthriot%2Fereynitikes%2F2012-2013%2Fb_lykeiou%2Fmetalla%2Fmetallotexnia.docx&ei=I7WvVJXCIMHPaPeDgdgL&usg=AFQjCNGBXK_qEcDYGLrMUgL9-KzkorbAeA&bvm=bv.83339334,d.d2s (Ενεργό την 23-1-2015)

[45]http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/energy/html/anan1.htm (Ενεργό την 23-1-2015)

[46]http://www.tallos.gr/library.asp?id=11 (Ενεργό την 23-1-2015)

[47]http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/C1_Sintheta_ilika.pdf (Ενεργό την 23-1-2015)

[48]http://www.ortsa.gr/%CF%86%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%BA%CF%89%CF%84%CF%8C-%CF%83%CE%BA%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%82/vacuum-infusion-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AE-%CF%83%CE%BA%CE%AC%CF%86%CE%BF%CF%85%CF%82/ (Ενεργό την 23-1-2015)

[49]http://www.aandreou.gr/45-ilika-vacuum-infusion.html (Ενεργό την 23-1-2015)