

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΝΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΚΥΡΙΑ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΔΗΣ ΠΕΤΡΟΣ-ΣΤΑΘΟΥΛΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΚΑΤΣΙΡΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2013

Περιεχόμενα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
1.ΠΡΟΛΟΓΟΣ	9
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
2.1. Ιστορία της αεροναυπηγικής	10
2.2 Ανάλυση δυνάμεων στα αεροσκάφη.	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	32
ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΑ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	32
3.1 Εισαγωγή	32
3.2. Άτρακτος	32
3.3 Φτερά	36
3.4 Πτερύγια σταθεροποίησης	42
3.5 Σύστημα Προσγείωσης	43
3.6 Σύστημα Παραγωγής Ισχύος	46
3.6.1 Παλινδρομικοί κινητήρες	46
3.6.2 Προπέλες	49
3.6.3 Στροβιλομηχανές.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	52
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	52
4.1 Εισαγωγή	52
4.2 Ηλεκτρικό σύστημα	52
<i>ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΑ</i>	54
4.3. Σύστημα Ελέγχου Πτήσης.....	55
4.3.1 Άμεσος Μηχανικός Έλεγχος.....	56
4.3.2 Υδραυλικός έλεγχος	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	61
ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΩΝ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	61
5.1 Υλικά των ελαφρών κατασκευών.....	61
5.2 Υλικά κατασκευής του αεροπλάνου.....	62
5.2.1 Μεταλλικά Υλικά.....	62
5.2.2 Μη μεταλλικά υλικά	68

5.3 Αλουμίνιο.....	71
5.3.1 Κράματα χυτών	72
5.3.2 Κράματα Διαμόρφωσης.....	74
5.4 Σύνθετα Υλικά	78
5.4.1 Σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών	79
5.4.2 Σύνθετα υλικά με ενίσχυση σωματιδίων.....	80
5.4.3 Στρωματικά Σύνθετα Υλικά (laminar composites).....	81
5.4.4 Θερμοπλαστικά Σύνθετα Υλικά	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	88
ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΩΝΤΑΙ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗΝ	
ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΗ.....	88
6.1 Εισαγωγή	88
6.2 Σύνθετα υλικά κεραμικής μήτρας (Ceramics matrix components).....	88
6.3 Σύνθετα υλικά με μεταλλική μήτρα (Metalic Matrix Composites).....	92
6.3.1 Συνδυασμός υλικών για σύνθετα ελαφριά υλικά με μεταλλική μήτρα	94
6.4 Νανοσύνθετα υλικά	96
6.5 Κράματα μνήμης σχήματος (Shape Memory Alloys)	102
6.5.1 Μονοδιάστατη επίδραση μνήμης.....	105
6.5.2 Διδιάστατη επίδραση μνήμης	107
6.5.3 Εμπορικά κράματα μνήμης	108
6.5.3.1 Κράματα νικελίου-τιτανίου	109
6.5.3.2 Κράματα μνήμης σχήματος χαλκού.....	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	112
ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΑ ΚΑΙ	
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	112
7.1 Εισαγωγή	112
7.2 Πτέρυγα-Επιλογή Υλικών	113
7.3 Ινώδη μεταλλικά ελάσματα-ARALL ως υλικό στα φτερά αεροπλάνου. ...	115
7.3.1 ARALL.....	118
7.3.2 Ιδιότητες του ARALL.....	121
7.4 Υλικά κατασκευής πηδαλίου κατεύθυνσης αεροπλάνου.....	126
7.5. Σύστημα φρένων αεροπλάνων	128
7.5.1 Επεξεργασία Σύνθετων υλικών άνθρακα-άνθρακα	130

7.5.2 Απόδοση τριβής	137
7.6 Υλικά κατασκευής καθισμάτων αεροπλάνων.....	140
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	142
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑ-ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	142
Βιβλιογραφία	147

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Το πρώτο ελικόπτερο του Λεονάρντο Ντα Βίντσι.....	10
Σχήμα 2: Το ανεμόπτερο του Cayley.	11
Σχήμα 3: Το μονοπλάνο του Temple (Wikipedia).....	12
Σχήμα 4: Το ανεμόπτερο του Lilenthal (www.wikipedia.com)	13
Σχήμα 5: Το ανεμόπτερο του Chanute	14
Σχήμα 6: Το June Bag.....	16
Σχήμα 7: Το δίπλανο του Farman.....	17
Σχήμα 8: Το Fokker Eindecker (aerospaceweb.org).....	19
Σχήμα 9: Κελυφοειδής Άτρακτος (Private Pilot Ground School, 2010)	20
Σχήμα 10: Το Sopwith Camel.	21
Σχήμα 11: Το Fokker F-2 (aviastar.org)	23
Σχήμα 12: Boeing 247 (airminded.net).....	24
Σχήμα 13: Heinkel He 178 (de.academic.ru).....	27
Σχήμα 14: Gloster E,28/39 (learning-to-fly.com).....	28
Σχήμα 15: Το αεροπλάνο Comet.....	29
Σχήμα 17: Οι άξονες του αεροπλάνου (grc.nasa.gov)	30
Σχήμα 18: Ανοικτής δομής ατράκτου.....	33
Σχήμα 19: Η semimonocoque άτρακτος(home.iitk.ac.in).....	34
Σχήμα 20: Η δομή του φτερού (home.iitk.ac.in).....	37
Σχήμα 21: Τύποι πτερυγίων (airstudents.com).....	41
Σχήμα 22: Τα στοιχεία των πτερυγίων σταθεροποίησης (aerospace.com)...	42
Σχήμα 23: Σταθεροποιητής ανύψωσης (airspace.com)	43
Σχήμα 24: Παλινδρομικός κινητήρας (allstar.flu.edu).....	47
Σχήμα 25: Στροβιλομηχανή (allstar.fiu.edu).....	50
Σχήμα 26: Οι επιφάνειες ελέγχου του αεροπλάνου (Politechnico di Milano,2004)	56
Σχήμα 27: Διαμορφώσεις του σχεδιασμού των τροχών (Anon,1987).....	59
Σχήμα 28: Δομή ενισχυμένου πλαστικού (home.iitk.ac.in).	69
Σχήμα 29: Κράμα 4043	76
Σχήμα 30: Ταξινόμηση των Σύνθετων Υλικών (Callister W.D., 2004)	78
Σχήμα 31: α) Μονοδιευθυντικές ίνες, β) ίνες με άτακτη διάταξη, γ) πλέξη ύφανσης, δ) ίνες σε τρισδιάστατη πλέξη (Παντελής Δ.Ι, 2008).....	79

Σχήμα 32: Διεπιφάνεια διμεταλλικού υλικού ελασμάτων αργύρου με διασπορά σωματιδίων Cd και Cu (Παντελής Δ.Ι., 2008)	82
Σχήμα 33: Πολύστρωτο υλικό με διαδοχικές προσανατολισμένες στρώσεις ενισχυμένων υλικών με ίνες(Callister W.D, 2004).	83
Σχήμα 34: Σχηματισμός πλάκας τύπου sandwich (Callister W.D.,2004)	84
Σχήμα 35: Εικόνα SEM σύνθετων υλικών κεραμικής μήτρας (C/SiC) (http://www.fz-juelich.de)	89
Σχήμα 36: Σύνθετο υλικό μεταλλικής μήτρας (http://www.trl.com)	92
Σχήμα 37: Ταξινόμηση των σύνθετων υλικών με μεταλλική μήτρα	94
Σχήμα 39: Βασική δομή των 2:1 ορυκτών αργιλίου (Alexandre, M. and Dubois, P.,2000).....	100
Σχήμα 40: Σχηματική αναπαράσταση του επιμυκυσμένου γραφίτη (Pan, Y.X., Yu, Z., Ou, Y. and Hu, G.,2000).....	102
Σχήμα 41: Διαφορετικές φάσεις των κραμάτων με μνήμη σχήματος (Texas A&M Smart Lab).	104
Σχήμα 42: Μονοδιάστατη επίδραση μνήμης σχήματος (Texas A&M Smart Lab).	106
Σχήμα 43: Δομικές αλλαγές κατά τη διάρκεια θερμικής μνήμης και υπερελαστικά φαινόμενα (Worden K. Bullough W. A., 2003).	107
Σχήμα 44: Θερμοκρασίες σχηματισμού του μαρτενσίτη για τριμεταλλικά κράματα χαλκού – αλουμινίου και ψευδαργύρου. (Hodson D.J.)	111
Σχήμα 45: Η σύνδεση ανάμεσα στο άμεσο λειτουργικό κόστος και στο καθαρό βάρος του αεροπλάνου (Vogelesang L B and Gunnink J W.,1986).....	112
Σχήμα 46: Το υλικό ARALL.....	119
Σχήμα 47: Παρεμπόδιση του ανοίγματος ρωγμής από τις ίνες του ARALL (Marissen R.,1984).	120
Σχήμα 48: Σύγκριση της εναπομένουσας τάσης για το μη σκληρυμένο Al 2024-T3 και τα ARALL με 2024-T3 και 7475 (Vogelesang L.B., Gunning J.W.)	124
Σχήμα 49: Σύστημα προσγείωσης και φρένο	129
Σχήμα 50: Εικόνα από οπτικό μικροσκόπιο σύνθετου c-c με μήτρα γραφίτη (Byrne C.,2004).....	132

Σχήμα 51: Εικόνα SEM για βελονοτές ίνες σύνθετου c-c υλικού όπου φαίνονται οι ίνες μέσω πάχους εκτεθειμένες πάνω στο φορέα (Byrnes,2004)	134
Σχήμα 52: Θερμική διαχυτότητα βελονοειδών σύνθετων c-c πριν και μετά τη γραφίτιοποίηση (Byrner C.,2004)	135
Σχήμα 53: SEM εικόνα που δείχνει την απώλεια σε κάθε φάση μετά από ρωγμή σε σύνθετο υλικό άνθρακα –άνθρακα (Byrner,2004)	137
Σχήμα 54: Ρυθμοί φθοράς σε σύνθετο υλικό c-c για διαφορετική περιεκτικότητα ινών και θερμική κατεργασία (Byrne C.,2004)	138
Σχήμα 55: Σύγκριση των διάφορων σύνθετων υλικών ως προς το κόστος του αλουμινίου (Mc Curty,1993)	145

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: Αμερικάνικης Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Αεροπορίας απαιτήσεις για την ικανότητα των φρένων (Anon, 1994)	60
Πίνακας 5.1: Ευρέως χρησιμοποιημένα κράματα τιτανίου σε αεροπορικές εφαρμογές (Engines A., 2002)	66
Πίνακας 5.2: Κράματα αλουμινίου υψηλής σημασίας για αεροπορικές εφαρμογές(Engines A., 2002)	66
Πίνακας 5.3: Λιγότερο διαδεδομένα κράματα τιτανίου στις αεροπορικές εφαρμογές αλλά κρίσιμα για τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται.	67
Πίνακας 7.1: Απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται κατά την κατασκευή των φτερών.	114
Πίνακας 7.2: Μηχανικές Ιδιότητες διαφόρων υλικών	122
Πίνακας 8.1: Παράμετροι σχεδιασμού δομής (McCurty J.E., 1993)	144

1.ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η αεροναυπηγική είναι η επιστήμη που ασχολείται με το σχεδιασμό των αεροσκαφών (Ames J.S.,1925). Με τον όρο αεροσκάφη αναφέρονται οι συσκευές που ισορροπούν στον αέρα και διακρίνονται στα αερόστατα και στα αερόδυνα. Τα αερόστατα είναι συσκευές ελαφρότερες από τον αέρα και η άνωσή τους βασίζεται στην αρχή του Αρχιμήδη. Τα αερόδυνα είναι βαρύτερα από τον αέρα και η πτήση του οφείλεται στην αεριοδυναμική άντωση. Ο βασικό εκπρόσωπος των αερόδυνων είναι το αεροπλάνο που αποτελεί ένα σταθερόπτερο ενώ, στην ίδια κατηγορία ανήκουν και τα ελικόπτερα, τα αυτόγυρα και οι αετοί. Δεδομένου ότι τα αεροπλάνα αποτελούν εκτός από ένα μέσο μεταφοράς και βασικό στοιχείο βιομηχανικής ανάπτυξης πολλών χωρών αποτελούν και τον κύριο αντιπρόσωπο της αεροναυπηγικής.

Στην παρούσα εργασία μελετάται η εφαρμογή νέων υλικών σε κύρια και δευτερεύοντα αεροπορικά στοιχεία. Αρχικά γίνεται μια ανασκόπηση της δημιουργίας και της εξέλιξης των αεροσκαφών και κυρίως του αεροπλάνου και στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία τους. Επιπλέον μελετώνται τόσο τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός αεροπλάνου όσο και τα υλικά που βρίσκονται σε εξέλιξη για εφαρμογή στην αεροναυπηγική.

Τέλος επιλέγεται δύο πρωτεύοντα στοιχεία, τα φτερά και το πηδάλιο διεύθυνσης και δυο δευτερεύοντα τα φρένα και τα καθίσματα και μελετώνται ως προς τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1. Ιστορία της αεροναυπηγικής

Το πρώτο μέσο πτήσης δημιουργήθηκε σύμφωνα με την ελληνική μυθολογία από το Δαίδαλο, ο οποίος έφτιαξε κέρινα φτερά για να πετάξει με το γιο του Ίκαρο μακριά από την Κρήτη όπου τον κρατούσε φυλακισμένο ο Βασιλιάς Μίνωας.

Πολύ αργότερα, την περίοδο της Αναγέννησης ο ντα Βίντσι κατασκεύασε και μελέτησε ένα τετράγωνο αλεξίπτωτο και προσδιόρισε την ανθρώπινη πτήση με την κίνηση ενός ζεύγους φτερών δηλαδή ως συνδυασμό κίνησης ποδιών και χεριών που στην ουσία δίνανε άντωση και πρόωση. Στον ίδιο οφείλονται και τα πρώτα σχέδια του σημερινού ελικόπτερου, η όλη κατασκευή βασίζονταν σε μια βιδωτή προπέλα η οποία θα διέγραφε έλλειψη στον αέρα (Grant,2007).



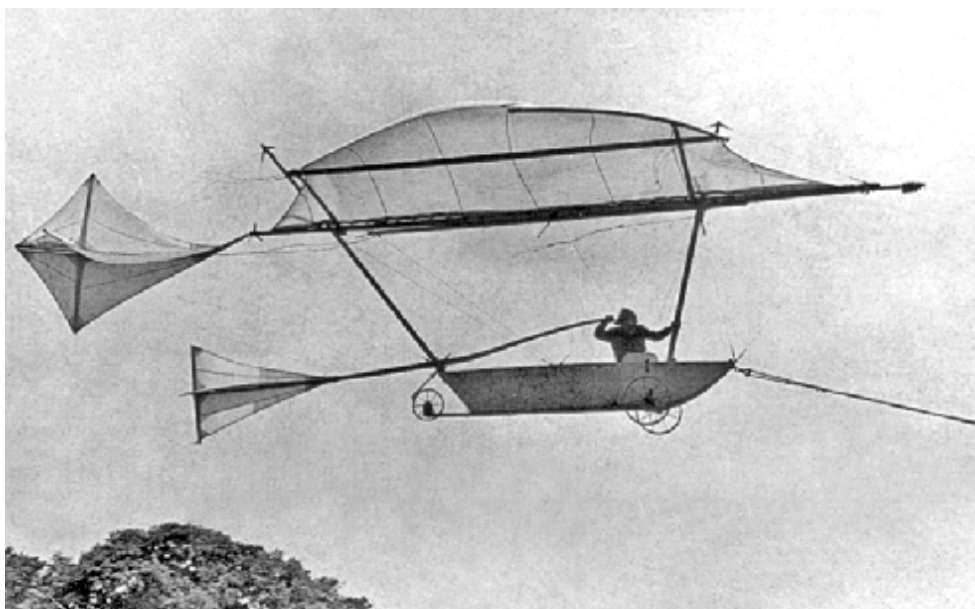
Σχήμα 1: Το πρώτο ελικόπτερο του Λεονάρντο Ντα Βίντσι.

Την πενταετία 1804-1809 παρουσιάζονται οι πρώτες μελέτες σχετικά με τις επιφάνειες των πτερύγων (αεροτομές) από τον σερ Cayley. Ο Cayley παρατηρώντας τα πουλιά και διεξάγοντας συστηματικά πειράματα και μαθηματικούς υπολογισμούς διερεύνησε τα ζητήματα της πτήσης χρησιμοποιώντας τον «περιστρεφόμενο βραχίονα». Ο περιστρεφόμενος βραχίονας ήταν μια συσκευή, παρόμοια με τη σημερινή αεροσύραγα η

οποία χρησιμοποιήθηκε για δοκιμές της άντωσης η οποία δημιουργείται από διαφορετικές αεροτομές ή φτερά και σε διαφορετικές γωνίες και ταχύτητες.

Ο Cayley το 1804 κατασκεύασε ένα ανεμόπτερο με το οποίο διεξήγαγε αεροδυναμικές δοκιμές μικρών αποστάσεων και το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως το πρώτο αεροπλάνο. Σε αυτό το φτερό βρίσκονταν μπροστά και στο πίσω μέρος του βρισκόταν μια ουρά με σταυρωτές οριζόντιες και κάθετες επιφάνειες πάνω σε ένα εύκαμπτο σύρμα. Το κέντρο βάρους μεταβαλλόταν με ένα βάρος που ήταν τοποθετημένο στο ρύγχος του αεροπλάνου.

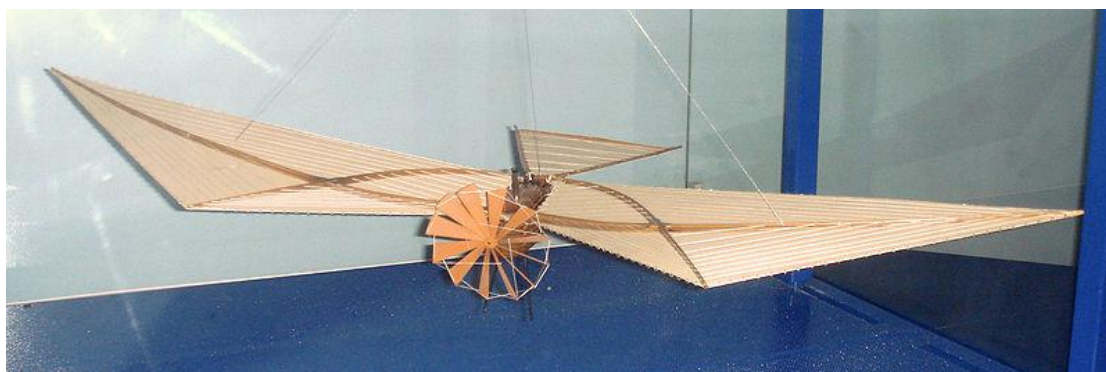
Εκτός από το πρώτο αεροπλάνο ο σερ Cayley είναι ο εφευρέτης του πρώτου τρίπλανου (1849) και του γνωστού ανεμόπτερου (1853) (www.wikipedia.com).



Σχήμα 2: Το ανεμόπτερο του Cayley.

Τη δεκαετία του 1840 χρησιμοποιείται στα μέσα μεταφοράς η ατμομηχανή γεγονός που δίνει ώθηση και στην αεροναυπηγική. Το 1843 ο Henson κατοχύρωσε με πατέντα έναν «ατμοκίνητο εναέριο μεταφορέα» ο οποίος παρά τα καλά του χαρακτηριστικά δεν κατασκευάστηκε ποτέ.

Ο Temple το 1857 σχεδίασε ένα ελικοφόρο μονοπλάνο στο οποίο αργότερα προσάρμοσε μια μικρή ατμομηχανή. Η συγκεκριμένη κατασκευή ήταν η πρώτη που ήταν βαρύτερη από τον αέρα που πραγματοποιήθηκε σε ελεύθερη πτήση.



Σχήμα 3: Το μονοπλάνο του Temple (Wikipedia).

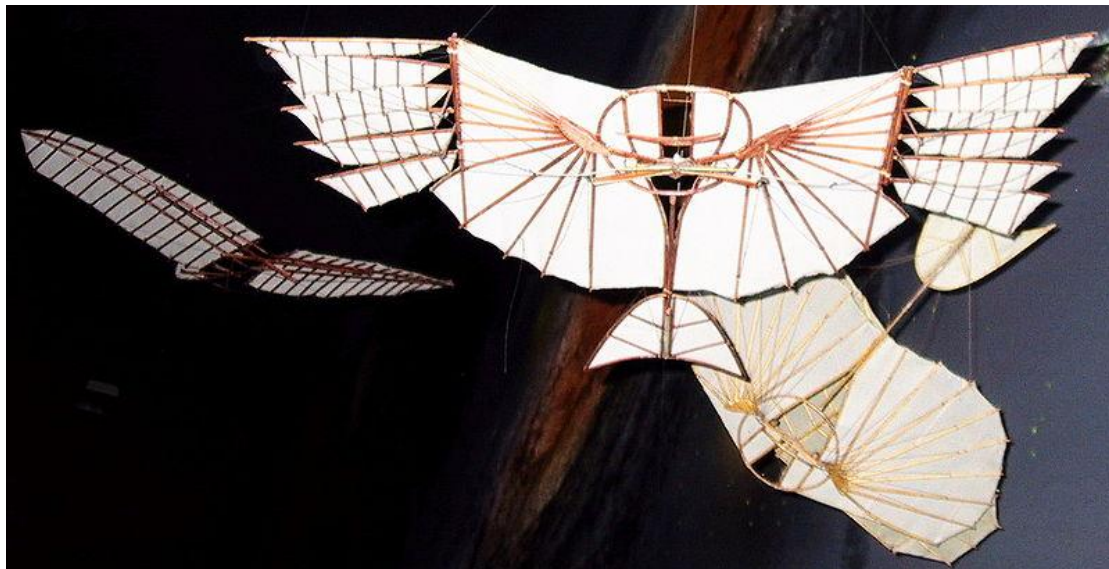
Ο Penaud το 1871 κατασκεύασε και δοκίμασε ένα μοντέλο αεροπλάνου με μηχανισμό από λάστιχο. Επιπλέον, ο ίδιος σχεδίασε και λειτούργησε μοντέλα ορنيθοπτέρων και ελικοπτέρων με τον ίδιο μηχανισμό. Σημαντική ήταν η πρόοδος που σημειώθηκε στην ουρά και στα φτερά από τον ίδιο.

Το 1897, ο Muillard με πατέντα του κατοχύρωσε τα πτερύγια κλίσεως για πλευρικό έλεγχο (Muillard, 1897). Στη συγκεκριμένη πατέντα περιγράφεται μια ανυψωτική μηχανή που οι πίσω πλευρές βρίσκονται έξω από το πλαίσιο και τραβιούνται προς τα κάτω με τη βοήθεια σχοινιών. Στο μπροστινό ή στο πίσω μέρος υπάρχουν πτερύγια τα οποία εξασφαλίζουν ισορροπία στο αεροσκάφος. Τα συγκεκριμένα πτερύγια εφαρμόζονται σήμερα στα στρατιωτικά αεροσκάφη.

Οι πρώτες ελεγχόμενες πτήσεις με αεροσκάφος βαρύτερο από τον αέρα καταγράφονται στις ΗΠΑ από τον John Montgomery το 1883. Ο πιλότος που τις πραγματοποίησε ήταν ο Daniel Maloney, ο οποίος το 1905 έκανε πτήσεις με ανεμόπλανο που είχε σε σειρά τα πτερύγια του Montgomery.

Πριν τους αδερφούς Wright ο σημαντικότερος ερευνητής της αεροναυπηγικής είναι ο Lilenthal ο οποίος εφάρμοσε τις αρχές της ορνιθολογίας στην αεροναυπηγική (Lilenthal, 1889). Πραγματοποίησε δοκιμές με αερόπτερα και το αντικείμενο μελέτης του βασίστηκε στη μελέτη της δημιουργίας πρόωσης από τα παλλόμενα φτερά. Τα αποτελέσματα της έρευνάς του ήταν αποτέλεσμα της μελέτης της ανατομίας των πουλιών και συσχέτισής της με τις πτήσεις των αεροσκαφών. Ο Lilenthal ήταν ο πρώτος που διατύπωσε την άποψη ότι για την πραγματοποίηση της ανύψωσης είναι απαραίτητο τουλάχιστον ένα κυρτό φτερό. Ο ίδιος κατασκεύασε 18 διαφορετικά ανεμόπτερα, μονόπλανα αλλά και δίπλανα, με σκελετό από

μπαμπού ή ιτιά και πετούσαν όλα. Δεδομένου ότι πραγματοποιούσε ο ίδιος τα πειράματά του, αντιλήφθηκε γρήγορα ότι για την σωστή πτήση ήταν απαραίτητο ένα σύστημα διεύθυνσης προκειμένου η ισορροπία να μην εξαρτάται από τον ίδιο τον πιλότο.



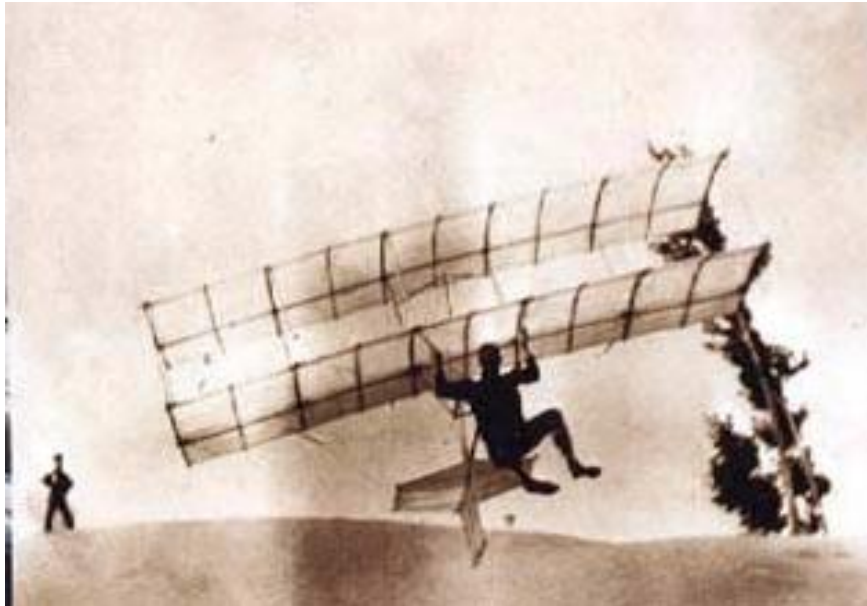
Σχήμα 4: Το ανεμόπτερο του Lilenthal (www.wikipedia.com)

Η αρχή για τη συνεχή ελεγχόμενη πτήση έγινε από τον γάλλο ηλεκτρολόγο Ader ο οποίος πέταξε πρώτος με αεροσκάφος με κινητήρα (Bardly D., 1996). Η πτήση του ήταν η αφορμή ώστε να δοθεί η στρατιωτική επιχορήγηση για την κατασκευή του αεροσκάφους Avion III, από το Υπουργείο Άμυνας της Γαλλίας, το οποίο όμως απέτυχε να απογειωθεί στη δοκιμαστική του πτήση το 1897.

Στη συνέχεια ο Δρ. Langley από το Ινστιτούτο Smithsonian ανέπτυξε τρία μοντέλα πτερυγίων που τροφοδοτούνταν από μικρούς κινητήρες. Παρόλο που τα συγκεκριμένα μοντέλα δεν είχαν τα απαιτούμενα κινητά μέρη ούτως ώστε να επιτευχθεί μια ελεγχόμενη πτήση, η πλευρική σταθερότητα εξασφαλίστηκε μέσω μιας διέδρης γωνίας (Thurston D.B., 2000).

Η πρώτη γραπτή συλλογή ερευνών σχετικά με την αεροναυπηγική παρουσιάζεται από τον Chanute το 1894 (Chanute O., 1894). Ο Chanute πραγματοποίησε δοκιμαστικές πτήσεις με αερόπτερο μαζί με τον πιλότο Herring και κατέληξε σε παρόμοιο συμπέρασμα με τον Lilienthal. Συγκεκριμένα διαπίστωσε ότι η μέγιστη άντωση μπορεί να επιτευχθεί, χωρίς να αυξηθεί το βάρος, προσθέτωντας το ένα πτερύγιο πάνω στο άλλο. Με τη

βοήθεια του Herring κατασκεύασε δίπλανα και τρίπλανα ανεμόπτερα και ανακάλυψε την ενισχυμένη πτέρυγα με στυλίδια και σύρματα. Η ενισχυμένη πτέρυγα χρησιμοποιήθηκε αργότερα στα μηχανοκίνητα δίπλανα. Οι δύο πτέρυγες ενισχύθηκαν από ένα σύστημα δοκών που αργότερα χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό των ιπτάμενων μηχανών ενώ η σταθερότητα εξασφαλίστηκε πραγματοποιώντας σταυροειδή σύνδεση στην ουρά.



Σχήμα 5: Το ανεμόπτερο του Chanute

Η βασική διαφορά του Chanute από τους αδελφούς Wright ήταν ότι διατηρούσε καλή επαφή με τους εφευρέτες της εποχής του, μοιραζόταν τις ιδέες του και έπαιρνε ιδέες από άλλους εφευρέτες. Επιπλέον, έδινε προτεραιότητα στην ισορροπία των κατασκευών του αποφεύγοντας ακροβατικές κινήσεις (Grant R.G., 2007). Η μεγαλύτερη συμβολή του στην αεροναυπηγική μπορεί να θεωρηθεί η βοήθεια και οι συστάσεις που προσέφερε στους αδελφούς Wright στα αρχικά στάδια της εργασίας τους (Γριμπά Βασιλική, 2010).

Για πρώτη φορά η βαρύτητα νικήθηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα με πτήσεις μηχανοκίνητων αεροσκαφών. Η επιτυχία αυτή οφείλεται στους αδελφούς Wright οι οποίοι από το 1899 είχαν κατασκευάσει ένα δικύλινδρο κινητήρα και αφοσιώθηκαν στη μείωση του βάρους του έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανοκίνητες πτήσεις. Τα όποια σχεδιαστικά προβλήματα που υπήρχαν στην έλικα του αεροσκάφους αντιμετωπίστηκαν με

αντικατάστασή της από ανεμιστήρες και παράλληλα κατασκεύασαν νέα μηχανή και κέλυφος (Thurston D.B., 2000).

Το 1903 ολοκληρώθηκε το νέο αεροσκάφος Flyer το οποίο όμως παρουσίασε αστοχίες στο σύστημα οδήγησης που είχαν ως αποτέλεσμα να δοκιμαστεί τρεις μήνες αργότερα από την κατασκευή του. Η πρώτη δοκιμή του Flyer πραγματοποιήθηκε από τον Wilbur Wright και διένυσε 32 μέτρα μόλις σε 3.5 δευτερόλεπτα. Επειδή όμως η πτήση του Wilbur δεν ξεκίνησε από επίπεδη επιφάνεια ως πρώτη πτήση με μηχανοκίνητο αεροπλάνο καταγράφηκε η επόμενη πτήση που πραγματοποίησε ο Orville Wright.

Το δεύτερο Flyer που κατασκευάστηκε το 1904 ήταν μεγαλύτερο και βαρύτερο από το πρώτο και είχε ισχύ 16 ίππους (Grant, 2007). Κατά τις δοκιμαστικές πτήσεις παρουσιάστηκαν προβλήματα εξαιτίας της διαφοράς της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του ανέμου που προσπαθήθηκαν να αντιμετωπιστούν ανεπιτυχώς αλλάζοντας τα φτερά. Παρόλα αυτά όμως οι πτήσεις με το Flyer 2 ήταν πιο αποτελεσματικές από αυτές του Flyer 1.

Το 1905 κατασκευάζεται το Flyer 3 με κινητήρα 20 ίππων και με πτέρυγες μεγαλύτερης καμπυλότητας. Το συγκεκριμένο αεροπλάνο πετούσε σε μεγαλύτερο ύψος από τα δύο προηγούμενα. Το 1908 οι αδελφοί Wright μετέτρεψαν το Flyer 2 σε διθέσιο αεροπλάνο με κινητήρα 30 ίππων και επιπλέον, την ίδια χρονιά καταγράφεται η πρώτη πτήση με επιβάτη. Αυτό που διέκρινε τους αδελφούς Wright από τους προηγούμενους εφευρέτες ήταν εκτός από την αναλυτική τους ικανότητα, το γεγονός πως συνειδητοποίησαν πρώτοι πως πετυχημένη πτήση είναι η ελεγχόμενη πτήση.

Ο οργανισμός AEA (Aerial Experimental Association) αναθέτει στον Glenn Curtiss το 1908 το σχεδιασμό και την κατασκευή του κινητήρα ενός μονοθέσιου αεροσκάφους που ονομάστηκε «Red Wing». Με τη βελτίωση των βασικών χαρακτηριστικών του δημιουργήθηκε το «White Wing» στο οποίο προστέθηκαν το τρίτροχο σύστημα προσγείωσης, τα διαφορικά πηδάλια κλίσεως, το πηδάλιο διεύθυνσης και το πηδάλιο ανόδου –καθόδου. Ο αερόψυκτος κινητήρας 40 ίππων που χρησιμοποιήθηκε σε αυτά τα δύο αεροσκάφη έμεινε ανέπαφος μετά την καταστροφή από πτώση του «White Wing» και χρησιμοποιήθηκε στο επόμενο αεροσκάφος της AEA, στο «June bag» (Thurston, 2000). Το συγκεκριμένο αεροσκάφος διέθετε πηδάλιο διεύθυνσης για τον έλεγχο γύρω από τον εγκάρσιο άξονά του, τρίκυκλο

σύστημα προσγείωσης, πτερύγια ελέγχου στο διαμήκη άξονα, κατευθυνόμενο ουραίο τροχό, τιμόνι για τον έλεγχο τόσο των πτερυγίων κλίσης όσο και των πτερυγίων ανόδου καθόδου, καθώς και κάλυμμα πάνω και κάτω από τα πτερύγια. Το συγκεκριμένο αεροπλάνο βραβεύτηκε το 1908 με το βραβείο Scientific American Trophy.



Σχήμα 6: To June Bag.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, τόσο οι Αμερικάνοι και οι Καναδοί όσο και οι Άγγλοι στοχεύοντας σε ελαφρές κατασκευές, επικεντρώνονταν στο σχεδιασμό και στην κατασκευή διπλάνων (Almond P., 1997). Την ίδια περίοδο οι Γάλλοι σχεδίαζαν αποκλειστικά μονόπλانا, θεωρώντας ότι είναι πιο αποτελεσματικά και ότι εμφανίζουν μειωμένη οπισθέλκουσα δύναμη. Οι Γάλλοι εφευρέτες ήταν οι πρώτοι που τοποθέτησαν τον κινητήρα στο μπροστινό μέρος και κατήργησαν την προωθητική έλικα.

Ο πρώτος πιλότος που πέρασε τη Μάγχη με μονοπλάνο ήταν ο Berliot. Η πτήση αυτή πραγματοποιήθηκε το 1909 μετά από ένα σημαντικό αριθμό αποτυχημένων σχεδιαστικών και κατασκευαστικών προσπαθειών (Grant, 2007). Το πιο πετυχημένο εμπορικό μοντέλο του Berliot ήταν το Berliot XI που είχε ιπποδύναμη 25 ίππων. Το συγκεκριμένο αεροσκάφος είχε αμορτισέρ για τη στήριξη του κινητήρα, καλώδια για την ανάρτηση των πτερυγίων πετάλια και χειριστήριο. Το χειριστήριο για τον έλεγχο των πηδαλίων ανόδου –

καθόδου και κλίσεως πρωτοεισήχθηκε σε προηγούμενο μοντέλο του Berliot στο αεροσκάφος Berliot VIII.

Μετά το Berliot XI, μεγάλη εμπορική επιτυχία σημείωσαν και τα διπλάνα που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν από τον Farman. Τα συγκεκριμένα αεροσκάφη ήταν τα πιο ασφαλή εκείνην την εποχή και χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση πιλότων (Winter F.H., Van der Linden F.R., 2003). Το βασικό χαρακτηριστικό αυτών των διπλάνων ήταν οι ίσου εκπετάσματος πτέρυγες πάνω στις οποίες υπήρχαν τέσσερα πτερύγια κλίσεως. Ο χειρισμός των πτερυγίων γινόταν με το ίδιο χειριστήριο που χρησιμοποιούταν για τον έλεγχο και τη ρύθμιση του μπροστινού πτερυγίου ανόδου-καθόδου.



Σχήμα 7: Το δίπλανο του Farman

Τα διπλάνα των αδερφών Wright και του Curtiss αντικαταστάθηκαν αρχικά από ένα μονοθέσιο αεροσκάφος και στη συνέχεια από ένα διθέσιο 100 ίππων που κατασκευάστηκαν από τον Deperdussin (Grant,2007). Το σημαντικότερο μοντέλο του Deperdussin ήταν η σειρά των μονοπλάνων Racer που είναι γνωστά ως τα ταχύτερα μονοπλάνα.

Στην περίοδο του πρώτου παγκοσμίου πολέμου οι εμπόλεμες κυβερνήσεις ενίσχυσαν οικονομικά τη διαμόρφωση της βιομηχανίας των αεροσκαφών παράλληλα με την έρευνα για τη διατύπωση των αρχών της μηχανικής που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή τους. Δεδομένου ότι οι

ΗΠΑ δεν είχαν δικιά τους παραγωγή αεροσκαφών η σημαντικότερη ανάπτυξη εκείνην την περίοδο σημειώνεται στην Ευρώπη (Loffin L.K., 1985).

Τη συγκεκριμένη περίοδο χρησιμοποιήθηκαν ως πολεμικά αεροπλάνα εκτός από τα μονοπλάνα, διπλάνα και τα τριπλάνα και τετραπλάνα που βρίσκονταν σε δοκιμαστική φάση. Η στήριξη των πτερύγων γινόταν με σύρματα και δοκούς ενώ, ο Fokker χρησιμοποίησε εσωτερικά ενισχυμένες πτέρυγες σε πρόβολο. Στα αεροσκάφη αυτής της περιόδου χρησιμοποιήθηκε τόσο ο στατικός όσο και ο περιστροφικός κινητήρας. Ο στατικός ήταν συνήθως υδρόψυκτος και μπορούσε να έχει 4,6,8 ή 12 κυλίνδρους. Ο περιστροφικός κινητήρας έχει τοποθετημένους τους κυλίνδρους ακτινικά στο στροφαλοφόρο άξονα και οι κύλινδροι όπως και η έλικα κινούνται γύρω του.

Τα μαχητικά αεροσκάφη χρησιμοποιήθηκαν για την αναχαίτιση και την καταστροφή του αντιπάλου καθώς και για την αποτροπή των επιχειρήσεων από τους αντιπάλους και την ανίχνευση πεδίων. Το βασικό χαρακτηριστικό που λήφθηκε υπόψη για το σχεδιασμό των μαχητικών αεροσκαφών ήταν το οπτικό πεδίο του πιλότου, δεδομένου ότι η μόνη μέθοδος ανίχνευσης ήταν η οπτική (Loffin L.K., 1985). Άλλα χαρακτηριστικά που έχουν βασικό ρόλο στο σχεδιασμό αεροσκαφών μέχρι και σήμερα είναι η ευελιξία του αεροσκάφους προκειμένου να επιτυγχάνει την απαιτούμενη τοποθέτηση γρήγορα, το μικρό τους βάρος σε συνδυασμό με την ισχύ και την αντοχή του, όπως επίσης η ανταπόκριση του πιλότου στις εισόδους ελέγχου χωρίς προσπάθεια. Η επίδοση των μαχητικών αεροσκαφών συνοψίζονται στην ταχύτητα, στην ταχύτητα ανόδου, στο μέγιστο ύψος που μπορεί να φτάσει (οροφή), στην ικανότητα ανόδου σε συνθήκες περιστροφής, στη μέγιστη απόσταση που μπορεί να διανύσει συναρτήσει της ποσότητας καυσίμου και των περιβαλλοντικών συνθηκών και τέλος στο μέγιστο χρόνο που μπορεί το αεροσκάφος να πετάξει.

Τα πρώτα μαχητικά αεροσκάφη με σταθερό πολυβόλο σε συγχρονισμό με τον κινητήρα του αεροπλάνου, στα οποία οι σφαίρες περνάγαν ανάμεσα από τις λεπίδες της έλικας εμφανίστηκαν στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο και ήταν τα μονοπλάνα Fokker Eindecker. Σε αυτά τα αεροπλάνα η ενίσχυση των πτερύγων πραγματοποιούνταν με μια συστοιχία συρμάτων που ξεκινούσαν από την κορυφή της ατράκτου και κατέληγαν, περνώντας από τις πτέρυγες, σε μια ομάδα δοκών του συστήματος προσγείωσης.

Ο σκελετός των μαχητικών αεροσκαφών Fokker Eindecker αποτελούταν από συρμάτινα και χαλύβδινα στηρίγματα και ήταν καλυμμένο με ύφασμα. Το ύφασμα σταθεροποιούνταν με κόλλα και προστάτευε το αεροπλάνο από τα καιρικά φαινόμενα. Οι πτέρυγες των συγκεκριμένων αεροσκαφών ήταν ξύλινες και οι έλικες είχαν μεγάλη διάμετρο (Jane F., 1990). Τα συγκεκριμένα αεροσκάφη είχαν αξιόλογες ικανότητες ανόδου αλλά και απόδοσης, γεγονός που οφειλόταν στην υψηλή πρόωση που εμφάνιζαν σε χαμηλές ταχύτητες (Loffin L.F., 1990).

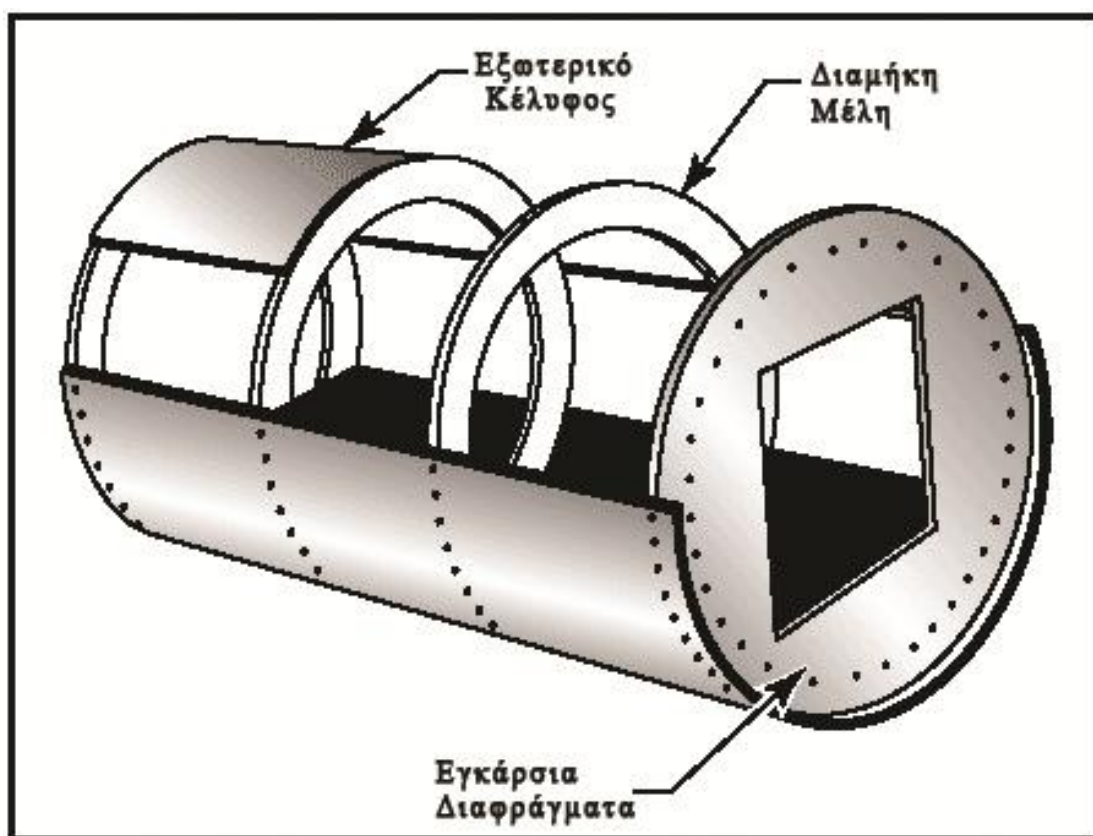


Σχήμα 8: Το Fokker Eindecker (aerospaceweb.org)

Το πρώτο διπλάνο με δύο σταθερά πολυβόλα τοποθετημένα στο μπροστινό μέρος του αεροσκάφους ήταν το Albatros D-III. Το αεροδυναμικό σχήμα του επιτυγχάνονταν με ενισχυμένες δοκούς και σύρματα με στρογγυλεμένες άκρες ενώ, η χαμηλότερη πτέρυγα ενωνόταν με την μεγαλύτερη με δοκούς τοποθετημένες σε V. Το συγκεκριμένο διπλάνο χρησιμοποιούσε 6κύλινδρο υδρόψυκτο κινητήρα 160 ίππων.

Το 1911 ο Béchereau παρουσιάζει για πρώτη φορά την κελυφοειδή άτρακτο (monocoque) η οποία αποτελούταν από ένα εξωτερικό κέλυφος το οποίο διατηρούσε το σχήμα του με εγκάρσια διαφράγματα. Εξέλιξη της κελυφοειδούς ατράκτου είναι η ημικελυφοειδής άτρακτος που είχε αρκετά επιπλέον διαμήκη μέλη που βελτίωναν τη σταθερότητα και την ακαμψία της

δομής. Ο συγκεκριμένος τύπος ατράκτου είχε στρωτό αεροδυναμικό σχήμα και είναι αρκετά ελαφρύς. Στο συγκεκριμένο αεροσκάφος υπήρχε κατασκευαστική αδυναμία της ατράκτου που οφειλόταν στο γεγονός πως η διαμήκης δοκός ήταν πολύ πίσω από το αεροδυναμικό κέντρο του αεροπλάνου. Η συγκεκριμένη κατασκευαστική αδυναμία της πτέρυγας σε βυθίσεις μεγάλης ταχύτητας προερχόταν από το φαινόμενο της αερολαστικής απόκλισης που μέχρι τότε ήταν άγνωστο. Αυτή η αδυναμία μπορεί να διορθωθεί αυξάνοντας τη στρεπτική ακαμψία και επανατοποθετώντας τον ελαστικό άξονα της πτέρυγας (Γρίμπα Β., 2010).



Σχήμα 9: Κελυφοειδής Άτρακτος (Private Pilot Ground School, 2010)

Ένα άλλο μαχητικό αεροσκάφος που χρησιμοποιήθηκε στον α΄παγκόσμιο πόλεμο ήταν το τριπλάνο Fokker Dr-1. Το συγκεκριμένο αεροπλάνο είχε περιστροφικό κινητήρα, δεν είχε συρμάτινα στηρίγματα παρά μόνο μια δοκό σε κάθε πλευρά της πτέρυγας που χρησιμοποιούταν για την ένωση των επιφανειών στα άκρα της. Οι δοκοί μείωναν τις δονήσεις και το λυγισμό των πτερυγών όταν το αεροσκάφος κινούταν με μεγάλη ταχύτητα (Thurston D.B., 1994). Το Fokker Dr -1 ήταν το πρώτο αεροσκάφος στο οποίο

η αεροτομή στις πτέρυγες είχε μεγαλύτερο πάχος. Η συγκεκριμένη πτέρυγα απέδιδε τόσο μεγάλη αντοχή όσο και ακαμψία στο αεροσκάφος.

Στο συγκεκριμένο αεροσκάφος η άτρακτος, η επιφάνεια της ουράς και τα πτερύγια κλίσης ήταν κατασκευασμένα από χαλύβδινους σωλήνες. Η επάνω πτέρυγα σύνδεε τα πτερύγια κλίσης με τέτοιο τρόπο ώστε να εξέχουν από τις άκρες της κάνοντάς τα να μοιάζουν με «αυτιά ελέφαντα» (Loffin L.K., 1985).

Το πρώτο βρετανικό μαχητικό με δύο συγχρονισμένα πολυβόλα ήταν ένα διπλό με ενιαίο χώρο μεταξύ των στύλων στις πτέρυγές του, το Sopwith Camel (Taylor MJH, 1989). Η πάνω πτέρυγιά του σχεδιάστηκε επίπεδη και αποτελούταν από τρία τμήματα. Για τη μείωση της αναπτυσσόμενης οπισθέλκουσας δύναμης η στήριξη του συγκεκριμένου αεροσκάφους έγινε με σύρματα που η διατομή τους έμοιαζε με διατομή αεροτομής (Thurston D.B., 1994).



Σχήμα 10: Το Sopwith Camel.

Ένα άλλο γνωστό διπλό με διπλό χώρο ανάμεσα στα στυλίδια στις πτέρυγες του είναι το Sopwith Dolphin. Το κύριο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου αεροσκάφους είναι ότι η κάτω πτέρυγα βρίσκεται πιο μπροστά από την πάνω πτέρυγα. Το σημείο τοποθέτησης της κάτω πτέρυγας εντοπίζεται από τον προσδιορισμό του κέντρου βάρους του αεροσκάφους. Η συγκεκριμένη διάταξη που είναι γνωστή ως αρνητικά κλιμακωτή διάταξη

χρησιμοποιήθηκε ώστε ο πιλότος να έχει καλύτερη ορατότητα (Bardly D., 1996). Το συγκεκριμένο αεροσκάφος είχε δυο ψυγεία που βρισκόταν ένα σε κάθε πλευρά της ατράκτου ώστε να μην εμποδίζουν την ορατότητα. Επιπλέον το Dolphin συμπεριφερόταν ικανοποιητικά σε μεγάλο υψόμετρο αλλά είχε ιδιαίτερα αργές αντιδράσεις που οφειλόταν στο γεγονός ότι απαιτούνταν μεγάλη δύναμη στο χειριστήριο για τον έλεγχό του (Loffin L.K., 1985).

Τα βομβαρδιστικά αεροπλάνα που κατασκευάστηκαν την περίοδο του πρώτου παγκοσμίου πολέμου έπρεπε να μπορούν να μεταφέρουν μεγάλο φορτίο βομβών αλλά και αμυντικά όπλα και να μπορούν να πετάνε σε ικανοποιητικό υψόμετρο. Στα συγκεκριμένα αεροσκάφη οι μεγάλες ταχύτητες πτήσης, η ευελιξία και ο ρυθμός ανύψωσής τους είχε δευτερεύουσα σημασία.

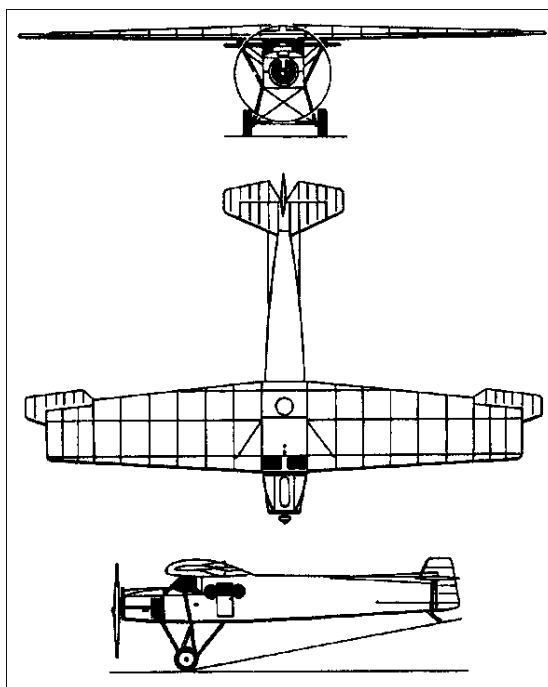
Την περίοδο αυτή περίπου 800 αεροπλάνα τύπου Handley Page κατασκευάστηκαν και τα περισσότερα χρησιμοποιήθηκαν και αργότερα ως επιβατικά στην πολιτική αεροπορία (Grant 2007). Το συγκεκριμένο διπλό κατασκευάστηκε το 1915 και είχε διπλό κινητήρα. Η απόσταση των πτερύγων του ήταν πολύ μεγάλη και η μεγάλη πτέρυγα είχε μεγαλύτερο εκπέτασμα από την κάτω. Επιπλέον, το συγκεκριμένο αεροπλάνο είχε τετράτροχο σύστημα προσγείωσης. Η ουρά του αποτελούταν από δύο οριζόντιες επιφάνειες και ανάμεσά τους βρισκόταν κινούμενα πηδάλια διεύθυνσης. Τόσο τα πτερύγια όσο και τα πηδάλια ανόδου- καθόδου ήταν αντισταθμισμένα μειώνοντας τη δύναμη που απαιτούνταν στο τηλεχειριστήριο.

Την καρδιά του εναέριου στόλου στη διάρκεια του πρώτου παγκοσμίου πολέμου αποτελούσαν τα αεροπλάνα συνεργασίας που χρησιμοποιούνταν για την εναέρια παρατήρηση κινήσεων των εχθρικών στρατευμάτων και το βομβαρδισμό κατά τη διάρκεια της μέρας. Στο μπροστινό πιλοτήριο εκτός από τον πιλότο υπήρχαν και τα δυο συγχρονισμένα πορυβόλα που πυροβολούσαν ανάμεσα από τις λεπίδες της έλικας. Στο πίσω πιλοτήριο υπήρχε ένας παρατηρητής με δύο επιπλέον πολυβόλα και τον ειδικό εξοπλισμό.

Η πολιτική αεροπορία αναπτύχθηκε στη δεκαετία 1918-1926 στην Ευρώπη με την ίδρυση των πρώτων αεροπορικών εταιρειών και τη αεροπορική σύνδεση όλου και περισσότερων πόλεων (Loffit LK., 1985). Τα πρώτα αεροπλάνα ήταν επισκευασμένα βομβαρδιστικά και αναγνωριστικά που είχαν κατασκευαστεί για τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο και αργότερα, άρχισε η κατασκευή ειδικών αεροπλάνων γι' αυτόν τον σκοπό. Το Handley

Page αποτελεί το τυπικό παράδειγμα αυτού του είδους. Το συγκεκριμένο ήταν διπλό με κλειστή καμπίνα δέκα επιβατών και το πιλοτήριο ήταν ανοικτό και βρισκόταν στο μπροστινό μέρος.

Το 1920 ο Fokker κατασκευάζει το Fokker F-2 που ήταν μονοκίνητήριο και διέθετε κλειστή καμπίνα τεσσάρων επιβατών και ανοικτό πιλοτήριο (Taylor M.J.H., 1994). Πολύ αργότερα, στο δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο το συγκεκριμένο αεροπλάνο είχε τρεις κινητήρες και κλειστό πιλοτήριο.



Σχήμα 11: Το Fokker F-2 (aviastar.org)

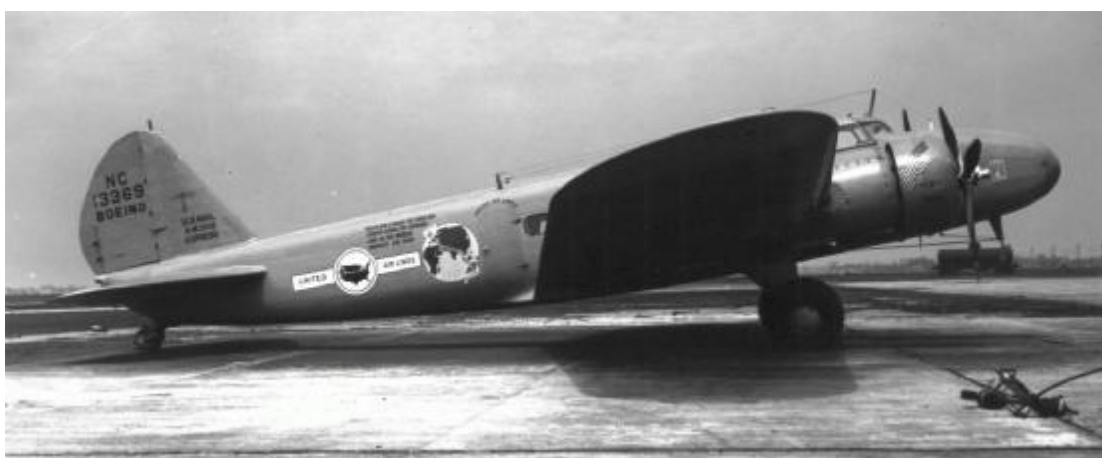
Το 1920 κατασκευάζεται και το πρώτο αεροπλάνο με πτερύγια καμπυλότητας όχι μόνο στο χείλος προσβολής αλλά και στο χείλος εκφυγής της πτέρυγας. Το αεροπλάνο αυτό ήταν το Dayton Wright Rb και η κατασκευή του επέτρεπε την αλλαγή της αεροτομής του ανάλογα με την ταχύτητα πτήσης του.

Το 1927 ο Lindbergh πετάει από τη Νέα Υόρκη στο Παρίσι χωρίς ενδιάμεση στάση με το μονοπλάνο Sprint of St Louis. Η πτήση αυτή απέδειξε ότι το αεροπλάνο ήταν ένα μέσο που θα μπορούσε να συνδέσει ολόκληρη τη γή ξεπερνώντας οποιοδήποτε εμπόδιο. Επιπλέον, έδωσε ώθηση στην Αμερικάνικη αεροπορία προκαλώντας την ίδρυση πολλών αεροπορικών εταιρειών.

Το συγκεκριμένο αεροπλάνο ήταν ένα μονοπλάνο με ξύλινες πτέρυγες που στηριζόταν με στυλίδια και σωληνωτή άτρακτο (Winter F.H., 2003).

Προκειμένου να ανταπεξέλθει στις ανάγκες του συγκεκριμένου ταξιδιού είχε μεγαλύτερη δεξαμενή καυσίμου που βρισκόταν μπροστά από τον πιλότο εμποδίζοντας την ορατότητά του. Η απόσταση καλύφτηκε με τη βοήθεια μηχανή ισχύος 220 ίππων και σταθερό σύστημα προσγείωσης χωρίς φρένα.

Το Boeing 247 ήταν το πρώτο αεροπλάνο που συνδύαζε όλες τις τεχνολογικές εξελίξεις και επιπλέον αποτέλεσε τον πρόδρομο των σύγχρονων επιβατικών αεροπλάνων (Thurston D.B., 2000). Το Boeing 247 μετέφερε 10 επιβάτες, 2 πιλότους και ένα συνοδό σε κλειστή καμπίνα ενώ είχε δύο κινητήρα 525 ίππων ο καθένας.



Σχήμα 12: Boeing 247 (airminded.net)

Τα συγκεκριμένο αεροπλάνο είχε πτέρυγες σε πρόβολο, ανασυρόμενο σύστημα προσγείωσης και έλικες μεταβλητού βήματος. Η κατασκευή του ήταν μεταλλική με λεία επικάλυψη και είχε ελαφρύ αστεροειδή κινητήρα και υπερσυμπιεστή. Επιπλέον, στις πτέρυγες και στην ουρά του υπήρχαν αντιψυκτικές διατάξεις, γεγονός που αποτελούσε τεχνολογική καινοτομία για την εποχή.

Το Boeing B17 ήταν ένα τετρακινητήριο βομβαρδιστικό αεροπλάνο που είχε έναν εξελιγμένο turbo υπερτροφοδότη που του επέτρεπε να πετάει σε μεγάλα ύψη για την εποχή (Thurston D.B, 2000).

Στα χρόνια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου η έρευνα της αεροναυπηγικής επικεντρώθηκε στο σχεδιασμό ελαφρύτερων και δυνατότερων κατασκευών με ισχυρότερους κινητήρες και άρτια αεροδυναμική. Το ζητούμενο ήταν ένα αεροπλάνο που θα ανέπτυσσε μεγαλύτερες ταχύτητες,

θα μετέφερε μεγαλύτερα φορτία και θα είχε αυξημένη ισχύ πυρός. Δεδομένου ότι για τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο τα αεροπλάνα που χρησιμοποιήθηκαν στον πρώτο κρίνονταν ανεπαρκή ο σχεδιασμός επικεντρώθηκε σε αεροπλάνα με αποτελεσματικότερα όπλα όπως κανόνια που θα πυροβολούσαν μέσα από τις έλικες και το κιβώτιο ταχυτήτων. Ο κινητήρας που χρησιμοποιήθηκε στα μαχητικά βομβαρδιστικά αεροσκάφη κατά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο ήταν αερόψυκτος ακτινωτός ενώ σε πολλές περιπτώσεις ήταν υδρόψυκτος σε σειρά. Ο αερόψυκτος κινητήρας πολύ αργότερα αντικαταστάθηκε από τον κινητήρα jet.

Το Boeing B-29 είναι το αεροπλάνο που έμεινε στην ιστορία ως το αεροπλάνο που έριξε τη βόμβα στο Ναγκασάκι της Χιροσίμα. Το συγκεκριμένο αεροπλάνο ήταν βελτιωμένος απόγονος του B-17 και σχεδιάστηκε για μεταφέρει μεγάλα βάρη σε μεγάλες αποστάσεις (Taylor M.J.H., 1989). Είχε μακριά, λεπτή άτρακτο, τρυκυκλικό σύστημα προσγείωσης και συμπιεζόμενη καμπίνα πληρώματος που ελεγχόταν με τηλεχειριστήριο. Η πτέρυγα ήταν κάθετη στο μέσο της ατράκτου ενώ, η υπερτροφοδότηση βρισκόταν στο κάτω μέρος του κινητήρα. Το συγκεκριμένο αεροσκάφος είχε τέσσερις 18-κύλινδρους κινητήρες 2200 ίππων.

Στα χρόνια μετά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο στα μηχανοκίνητα αεροπλάνα αρχίζουν να χρησιμοποιούνται οι στροβιλοκίνητοι κινητήρες. Παρά το γεγονός ότι δεν αναφέρονται σημαντικές βελτιώσεις στα ελικοφόρα αεροσκάφη από το 1945 και ύστερα, αυτά συνεχίζουν να δεσπόζουν στην Αεροναυπηγική και να αποτελούν σημαντικό κομμάτι στον τομέα των μεταγωγικών και επιβατικών αεροπλάνων (Winter F.H., 2003). Το σημαντικότερο στοιχείο βελτίωσης στα ελικοφόρα θεωρείται το στροβιλοελικοφόρο σύστημα πρόωσης (turboprop) (Grant R.G., 2007). Ο συγκεκριμένος κινητήρας είναι πιο απλός και ελαφρύς από τους προηγούμενους, όμως καταναλώνει μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου από τους προηγούμενους.

Το πρώτο πολιτικό αεροπλάνο που κατασκευάστηκε με στροβιλοελικοφόρο κινητήρα ήταν το Vicker Viscount που κατασκευάστηκε το 1948. Το συγκεκριμένο αεροσκάφος είχε τέσσερις κινητήρες 1600 ίππων ο καθένας και στην καμπίνα των επιβατών που ήταν συμπιεζόμενη μπορούσε

να μεταφέρει από 40 έως και 59 επιβάτες. Τα πτερύγιά του ήταν διπλής αυλάκωσης και είχε τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης (Bardly D., 1996).

Την ίδια εποχή οι στροβιλοκινητήρες εμφανίζονται και στα μεταφορικά αεροσκάφη με κυριότερο αντιπρόσωπο το Lockheed C-130 σε διάφορες παραλλαγές. Το συγκεκριμένο αεροσκάφος είχε τέσσερις κινητήρες 4910 ίππων ο καθένας.

Ως επιβατικά αεροπλάνα κατασκευάστηκαν στη μεταπολεμική περίοδο ελαφρά δίκινητρία αεροσκάφη με κινητήρες παλινδρομικούς αλλά και στροβιλοκίνητους (Loffin L.K., 1985). Τα περισσότερα από αυτά είχαν συμπιεζόμενη καμπίνα επιβατών και τρίκυκλο σύστημα συμπίεσης.

Από το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο είχε ήδη γίνει αντιληπτή η ανάγκη για μια στροφή στο σχεδιασμό αεροπλάνων έτσι ώστε να επιτευχθούν μεγαλύτερες ταχύτητες και πτήσεις σε μεγαλύτερο υψόμετρο (Walter B.J., 1979). Ο νέος σχεδιασμός που αναπτύχθηκε κυρίως από τους Άγγλους και τους Γερμανούς είχε να αντιμετωπίσει τις ακόλουθες δυσκολίες των παλινδρομικών κινητήρων: την απώλεια ισχύος σε μεγάλα υψόμετρα και άρα στις μικρές πιέσεις, το βάρος του κινητήρα, τον κίνδυνο βλάβης και την περιορισμένη ισχύ του κινητήρα καθώς και τη διατήρηση της αποτελεσματικής απόδοσης του συστήματος πρόωσης σε μεγάλες ταχύτητες.

Από το 1939 είχε αρχίσει η ανάπτυξη της αεροναυπηγικής και η πρόοδος στο σχεδιασμό του κινητήρα αλλά και των αεροσκαφών ήταν εντυπωσιακή. Οι αλλαγές στο σχεδιασμό του αεροσκάφους ήταν επιβαλλόμενες δεδομένου ότι υπήρχαν νέα δεδομένα και γίνονταν προσπάθεια να ξεπεραστεί η ταχύτητα του ήχου. Κατά συνέπεια, οι πτέρυγες έγιναν οπισθοκλίνεις αλλά και μεταβλητής κλίσης. Σε πολλές περιπτώσεις υπήρχε αλλαγή ακόμα και στο σχήμα της ατράκτου με στόχο να υπάρχει καλύτερη συμπεριφορά στις διαχυτικές ταχύτητες (Loffin L.K., 1985). Τα αεριωθούμενα (jet) αεροπλάνα θα έφερναν τελικά τον κόσμο πιο κοντά.

Το πρώτο αεριωθούμενο αεροσκάφος που κατασκευάστηκε ήταν το γερμανικό Heinkel He 178. Το αεροπλάνο αυτό σχεδιάστηκε αρχικά ως δοκιμαστικό αεροπλάνο και κατασκευάστηκε από μέταλλο και ξύλο (Boyne W.J., 1979). Οι πρώτες του επιδόσεις ήταν τέτοιες που έγινε προφανής η ανάγκη βελτίωσης του. Τα βασικά του προβλήματα ήταν: α) το αεροπλάνο είχε ανεπάρκεια σε αέρα πάνω από το οριζόντιο τμήμα της ουράς και δεν

μπορούσε να απογειωθεί, β) ο χειρισμός του αεροπλάνου ήταν δύσκολος γιατί ο κινητήρας είχε μεγάλη γωνία περιστροφής.

Η απάντηση στη δυσκολία απογείωσης δόθηκε με το τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης ενώ αυξάνοντας τις επιφάνειες ελέγχου στις πτέρυγες έγινε προσπάθεια να μειωθεί η δυσκολία χειρισμού. Γρήγορα κατασκευάστηκε το χαμηλοπτέρυγο He 280 προκειμένου να αντικαταστήσει το πρώτο αεριοθούμενο χωρίς όμως να καταφέρει να αποτινάξει όλα τα προβλήματα.



Σχήμα 13: Heinkel He 178 (de.academic.ru)

Στην Αγγλία την ίδια περίοδο οι δοκιμές για τον αεριοθούμενο κινητήρα πραγματοποιήθηκαν με το Gloster E28/39 (Loffin L.K.,1985). Τα υλικά κατασκευής του ήταν το μέταλλο και το ύφασμα ενώ είχε τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης. Το αεροσκάφος αυτό έκανε πολλές δοκιμαστικές πτήσεις ώστε να κατασκευαστεί στη συνέχεια το Gloster Meteor που ήταν το μοναδικό αεριοθούμενο μαχητικό του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου. Το συγκεκριμένο αεροσκάφος ήταν πολύ ευέλικτο, γρήγορο και αποτελεσματικό.



Σχήμα 14: Gloster E,28/39 (learning-to-fly.com)

Το Comet ήταν το πρώτο αεριωθούμενο επιβατικό αεροπλάνο που μπορούσε να μεταφέρει 44 επιβάτες σε απόσταση 1750 μιλίων. Είχε τέσσερις κινητήρες τοποθετημένους στο εσωτερικό των πτερύγων. Το Comet συνέβαλλε αποφασιστικά στην εξέλιξη της αεροπορίας αφού στάθηκε η αφορμή για να γίνει αντιληπτή η σημασία της κόπωσης των μετάλλων ως καταστροφικός παράγοντας της δομής της.



Σχήμα 15: Το αεροπλάνο Comet

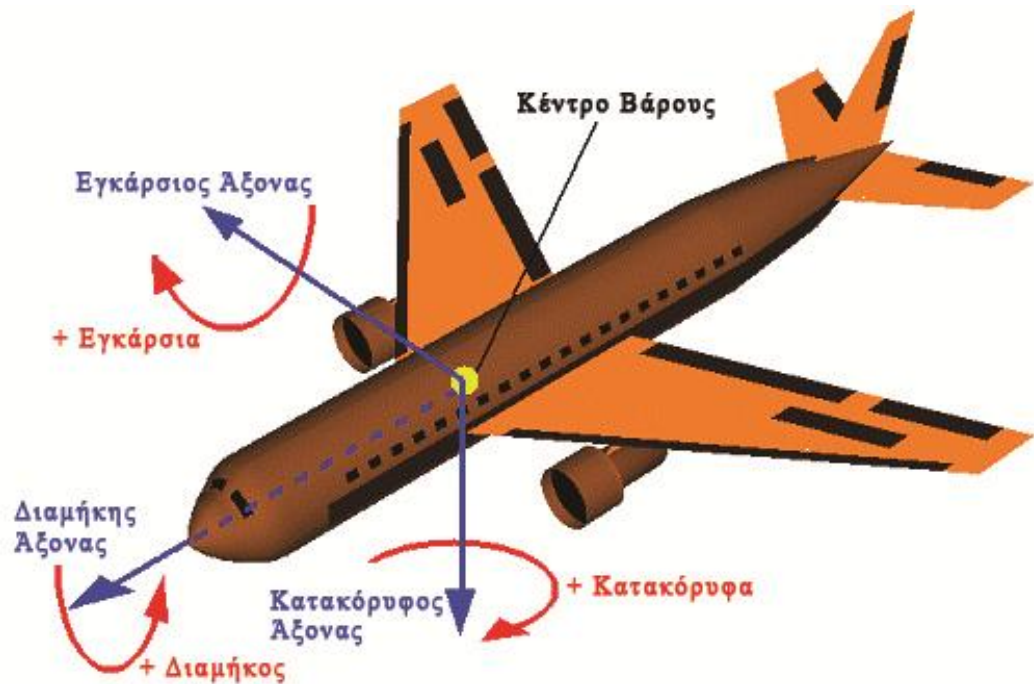
Το Boeing 747 είναι το πρώτο αεροσκάφος ευρείας ατράκτου. Το jumbo είναι το βαρύτερο αεροπλάνο που κατασκευάστηκε μέχρι το 2000 και μπορούσε να μεταφέρει 550 επιβάτες σε απόσταση 8706 μιλίων. Το συγκεκριμένο αεροπλάνο πετάει από το 1970 δίνοντας, μέσω της ευρείας ατράκτου την αίσθηση της άνεσης και της πολυτέλειας στους επιβάτες.



Σχήμα 16: Boeing 747

2.2 Ανάλυση δυνάμεων στα αεροσκάφη.

Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σε ένα αεροσκάφος αναλύονται σε τρεις άξονες οι οποίοι περνάνε από το κέντρο βάρους του αεροπλάνου: το διαμήκη, τον κατακόρυφο και τον εγκάρσιο άξονα (Leland,1975). Ο διαμήκης άξονας περνάει από το ρύγχος στην ουρά και ο εγκάρσιος από το αριστερό στο δεξιό ακροπτερυγό.



Σχήμα 17: Οι άξονες του αεροπλάνου (grc.nasa.gov)

Μία από τις βασικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα αεροσκάφη είναι η οπισθέλκουσα δύναμη. Ο αέρας αντιστέκεται στην κίνηση του αεροσκάφους και η δύναμη αυτής της αντίστασης ονομάζεται οπισθέλκουσα δύναμη. Η δύναμη αυτή έχει την ίδια διεύθυνση και αντίθετη φορά με την κίνηση του αεροσκάφους και επηρεάζεται από το σχήμα του και κυρίως την εγκάρσια τομή του όπως επίσης και την ταχύτητα και την πυκνότητα του αέρα.

Το βάρος του αεροπλάνου είναι μια δύναμη που ασκείται προς το κέντρο της γης και εξαρτάται από τη μάζα του αεροσκάφους, των καυσίμων, των επιβατών, των αποσκευών και των φορτίων. Παρά το γεγονός πως το βάρος του αεροπλάνου κατανέμεται σε όλο το μήκος του, θεωρείται πως συγκεντρώνεται στο σημείο που λέγεται κέντρο βάρους. Η περιστροφή του

αεροπλάνου κατά τη διάρκεια της πτήσης γίνεται γύρω από το κέντρο βάρους. Κατά τη διάρκεια της πτήσης το βάρος του αεροπλάνου θα πρέπει να ξεπεραστεί από κάποια αντίθετη δύναμη χωρίς να χάνεται η ικανότητα ελέγχου του αεροπλάνου. Το βασικό μέλημα του πιλότου είναι να κρατάει διαρκώς το αεροπλάνο σε ισορροπία και αντισταθμισμένο.

Η εξουδετέρωση του βάρους γίνεται με την αντίθετη δύναμη της άντωσης. Η άντωση δημιουργείται κατά την κίνηση του αεροπλάνου στον αέρα και η διεύθυνσή της είναι κάθετη στην κίνηση του. Η τιμή της εξαρτάται από το σχήμα, το μέγεθος και την ταχύτητα του αεροπλάνου. Η άντωση συνήθως εμφανίζεται στα φτερά και ασκείται στο κέντρο πίεσης το οποίο ορίζεται από την κατανομή της πίεσης. Η κατανομή της άντωσης επηρεάζει τον έλεγχο του αεροσκάφους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

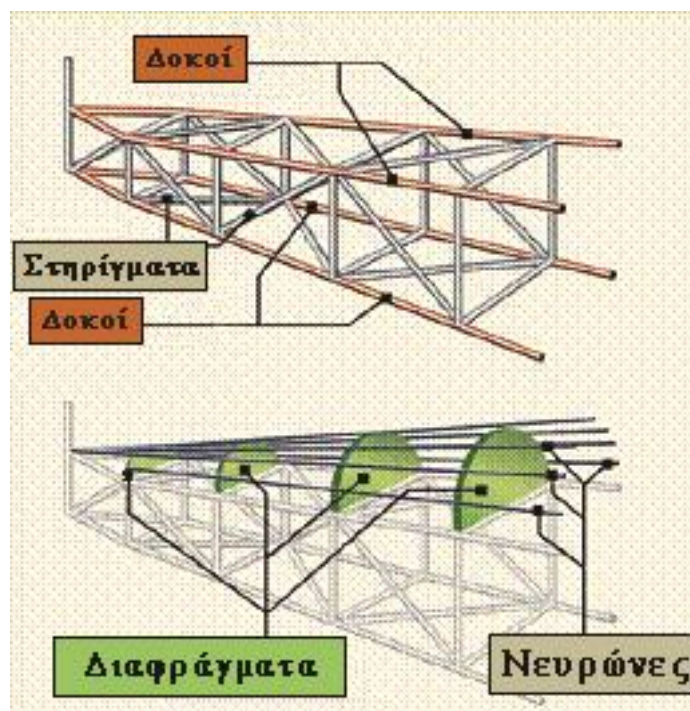
ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΑ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Παρά το γεγονός πως τα αεροπλάνα έχουν σχεδιαστεί για διάφορους σκοπούς όπως επιβατικά, μαχητικά ή μεταγωγικά, η βασική τους δομή παραμένει ίδια και ο σχεδιασμός των κύριων χαρακτηριστικών του σχετίζεται με το σκοπό χρήσης του αεροπλάνου. Τα πρωτεύοντα κύρια αεροναυπηγικά στοιχεία ενός αεροπλάνου, τα οποία αναλυτικά παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι: η άτρακτος, τα φτερά, τα πτερύγια σταθεροποίησης, το σύστημα προσγείωσης και το κινητήριο σύστημα.

3.2. Άτρακτος

Η άτρακτος είναι το κεντρικό τμήμα του αεροπλάνου που είναι ειδικά σχεδιασμένο για να κινείται στο εσωτερικό της το πλήρωμα, οι επιβάτες και το φορτίο. Επιπλέον, η άτρακτος είναι το τμήμα που συνδέει τα φτερά και την ουρά του αεροπλάνου. Τα παλαιότερης κατασκευής αεροπλάνα ήταν ανοικτής δομής κατασκευασμένα από ξύλο, ασάλι και αλουμίνιο.



Σχήμα 18: Ανοικτής δομής ατράκτου.

Οι πλέον συνηθισμένες άτρακτοι που χρησιμοποιούνται στα αεροπλάνα έχουν κοίλο το κάτω μέρος (Dehaal K.M., 1997). Οι περισσότερες από αυτές τις δομές έχουν κυλινδρική ή ελλειπτική διατομή. Με τη χρήση της συγκεκριμένης δομής στην άτρακτο εξοικονομείται περισσότερος χώρος που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ένα από τα προβλήματα της συγκεκριμένης δομής είναι ότι δεν προσαρμόζεται σωστά το σύστημα προσγείωσης με αποτέλεσμα να μην ενδείκνυται η χρήση της κοίλης ατράκτου σε αεροπλάνα όπου η έκτακτη προσγείωση είναι αναπόφευκτη.

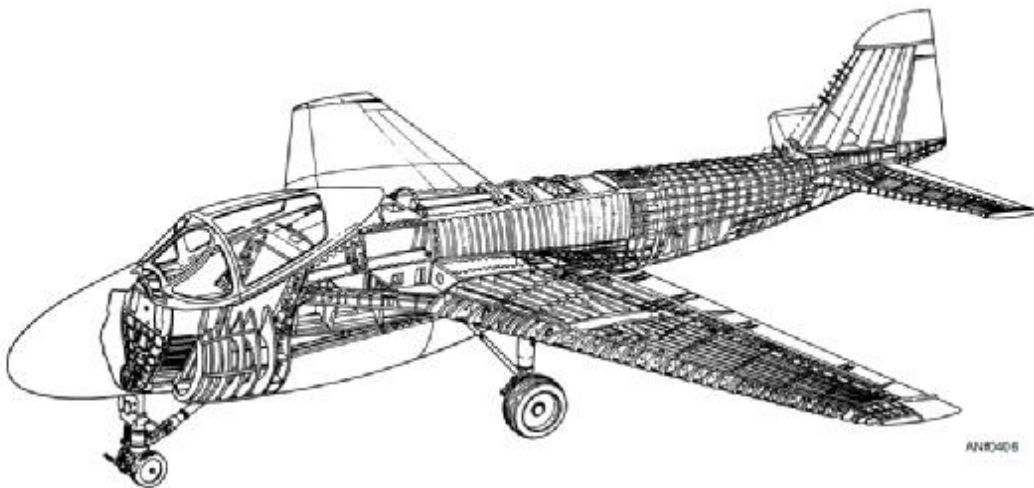
Σε ένα τυπικό αεροπλάνο το σύστημα προσγείωσης μπορεί να μπλοκάρει με αποτέλεσμα να μην πάρει τη σωστή του θέση. Κατά συνέπεια, αν το αεροπλάνο χρειαστεί επείγουσα προσγείωση, θα προσπαθεί να προσγειωθεί με τη μύτη ελαφρά ανασηκωμένη όπως και στην κανονική προσγείωση.

Υπάρχουν δυο τρόποι κατασκευής της ατράκτου: με συγκόλληση χάλυβα ή με μονοκόκ (monocoque) (home.iitk.ac.in). Ο σχεδιασμός με μονοκόκ βασίζεται στην αντοχή του εξωτερικού μέρους της ατράκτου για τη μεταφορά διαφόρων φορτίων. Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός διακρίνεται σε μονοκόκ, ημικόκ και στο ενισχυμένο κέλυφος.

Η κατασκευή με μονοκόκ χρησιμοποιεί κοινούς διαμορφωτές, τη συναρμολόγηση των πλαισίων και διαφράγματα για να επιτευχθεί το σχήμα

της ατράκτου. Παρόλα αυτά το μεγαλύτερο φορτίο των τάσεων λαμβάνεται στην επιφάνεια της ατράκτου. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν στηρίγματα, το εξωτερικό μέρος της ατράκτου θα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικό έτσι ώστε, να διατηρείται η άτρακτος άκαμπτη. Με το συγκεκριμένο σχεδιασμό το μοναδικό πρόβλημα είναι η ταυτόχρονη διατήρηση της αντοχής της ατράκτου και των ορίων του βάρους. Τα περισσότερα αεροπλάνα που βασίζονται στο μονοκόκ σχεδιασμό κατασκευάζονται από μεταλλικά στοιχεία εξολοκλήρου και κυρίως από αλουμίνιο.

Το πρόβλημα αντοχής βάρους ξεπερνιέται με τον ημιμονοκόκ (semimonocoque) σχεδιασμό. Εκτός από τους διαμορφωτές, τη συναρμολόγηση των πλαισίων και τα διαφράγματα, ο συγκεκριμένος σχεδιασμός υποστηρίζει το εξωτερικό τμήμα της ατράκτου με διαμήκη τμήματα.



Σχήμα 19: Η semimonocoque άτρακτος(home.iitk.ac.in)

Στο σχεδιασμό του ενισχυμένου κελυφους, η επιφάνεια της ατράκτου ενισχύεται από ένα πλήρες πλαίσιο δομικών στοιχείων. Διαφορετικά τμήματα της ίδιας ατράκτου δεν αποκλείεται να είναι κατασκευασμένα με διαφορετικό τρόπο. Οι περισσότερες πάντως άτρακτοι θεωρούνται πως είναι κατασκευασμένες με το semimonocoque σχεδιασμό.

Παρά το γεγονός ότι ο χάλυβας και το τιτάνιο προτιμώνται σε υψηλές θερμοκρασίες, για την κατασκευή της semimonocoque ατράκτου χρησιμοποιούνται κυρίως τα κράματα του αλουμινίου. Βέβαια σήμερα πολύ

συχνά στη συγκεκριμένη κατασκευή χρησιμοποιείται και εποξικός γραφίτης. Τα φορτία της κάμψης λαμβάνονται από τα διαμήκη τμήματα, τα οποία συνήθως προεξέχουν από διάφορα σημεία στήριξης. Τα διαμήκη τμήματα συμπληρώνονται με άλλα διαμήκη τμήματα, τους νευρώνες (springers). Οι νευρώνες είναι πιο ελαφριοί και πιο πολλοί αριθμητικά από τα διαμήκη τμήματα.

Τα κάθετα δομικά στοιχεία είναι τα διαφράγματα, τα πλαίσια και οι διαμορφωτές. Τα πιο βαριά κάθετα τμήματα τοποθετούνται σε απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε να μπορούν να δέχονται συγκεντρωμένα φορτία. Τα στοιχεία αυτά βρίσκονται επίσης σε σημεία που χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι για τη σύνδεση κομματιών όπως τα φτερά και οι σταθεροποιητές (home.iitk.ac.in).

Οι νευρώνες (stringers) είναι ελαφρύτερα από τα διαμήκη τμήματα και χρησιμοποιούνται ως γεμίσματα. Είναι άκαμπτα αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται για να δίνουν σχήμα και ως σύνδεσμοι της επιφάνειας της ατράκτου. Τα ανθεκτικά και βαρύτερα διαμήκη τμήματα συγκρατούν τα διαφράγματα και τους διαμορφωτές. Τα διαφράγματα και οι διαμορφωτές με τη σειρά τους συγκρατούν τους νευρώνες (stringers). Όλα μαζί ενώνονται για να σχηματίσουν το άκαμπτο πλαίσιο της ατράκτου. Στην ουσία οι νευρώνες και τα διαμήκη τμήματα αποτρέπουν την κάμψη της ατράκτου, που θα μπορούσε να προκληθεί από τις αναπτυσσόμενες τάσεις.

Το εξωτερικό τμήμα της ατράκτου εφάπτεται στα διαμήκη τμήματα και τα άλλα δομικά στοιχεία και με τον τρόπο αυτό λαμβάνει μέρος του φορτίου. Το πάχος του εξωτερικού τμήματος της ατράκτου εξαρτάται από το μεταφερόμενο φορτίο.

Η χρήση της semimonocoque ατράκτου έχει αρκετά πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι ότι τα διαφράγματα, τα πλαίσια και τα διαμήκη τμήματα βοηθούν στην κατασκευή μιας εξορθολογισμένης ατράκτου. Στην ουσία προσδίδουν την αντοχή και την ακαμψία στη δομή. Επιπλέον, το κύριο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου κατασκευής είναι ότι τόσο η αντοχή όσο και η ακαμψία της ατράκτου εξαρτώνται από πολλά δομικά στοιχεία.

Το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της ατράκτου ήταν το ξύλο και πολλές φορές χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα. Το ξύλο μπορεί να καμφθεί να χαραχτεί και να σχηματιστεί σε διάφορα σχήματα. οι

σχηματισμοί αυτοί στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του πλαισίου της ατράκτου και τα σημεία σύνδεσης με τα φτερά και τις επιφάνειες ελέγχου. Το ξύλο είναι ιδανικό για την κατασκευή ατράκτων στα αεροσκάφη γιατί είναι εύκαμπτο και μπορεί να δώσει συγκεκριμένες τάσεις, ενώ επιπλέον, επισκευάζεται εύκολα.

Οι μεταλλικές άτρακτοι εμφανίστηκαν πριν τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο αλλά έγιναν οι κύριες άτρακτοι στα χρόνια ανάμεσα στον πρώτο και δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο. Το μέταλλο μπορεί να χυτευτεί ή να καμφθεί εύκολα σε διάφορα σχήματα. Η συγκόλληση ή το πριτσίνωμα καθιστούν εύκολη τη συναρμολόγηση των διαφόρων τμημάτων. Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα του μετάλλου συγκριτικά με το ξύλο είναι το βάρος. Καθώς χρειάζεται αρκετή ισχύς για να ανυψωθεί το αεροπλάνο η ανάπτυξη των μεταλλικών αεροσκαφών ήταν αργή προκειμένου η τεχνολογία της παραγωγής ισχύος προσπαθεί να τη φτάσει. Παρόλα αυτά μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο όλα τα πολιτικά και στρατιωτικά αεροσκάφη σχεδιάζονταν μεταλλικά.

Οι άτρακτοι από σύνθετα υλικά είναι σχετικά καινούρια βιομηχανική διαδικασία αλλά υιοθετήθηκε γρήγορα από τους κατασκευαστές αεροσκαφών. Τα σύνθετα πλαστικά, ο σύνθετος γραφίτης με ίνες και άλλα ευέλικτα υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της ατράκτου ως ανεξάρτητο τμήμα. Τα σύνθετα υλικά συνδυάζουν το ελαφρύτερο βάρος του ξύλου με την αντοχή του μετάλλου. Η κατασκευή σύνθετων ατράκτων προσδίδει αντοχή και διάρκεια ζωής στο αεροσκάφος και αυξάνει την απόδοση και το κέρδος των ιδιοκτητών του.

3.3 Φτερά

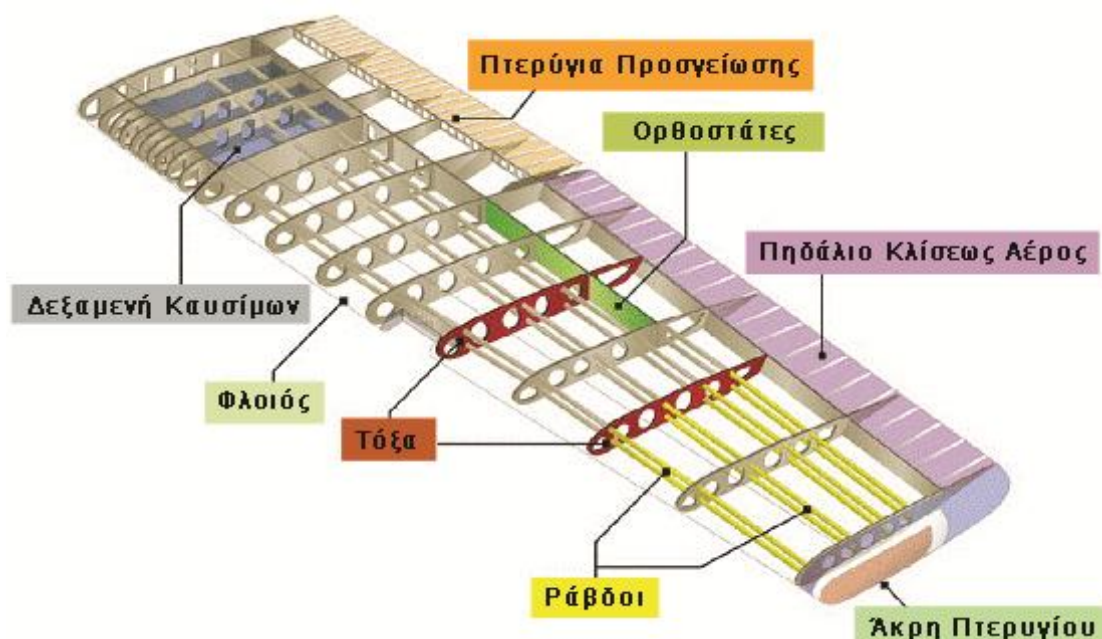
Τα φτερά αποτελούν αεροτομές που συνδέονται σε κάθε πλευρά της ατράκτου και είναι οι κύριες επιφάνειες που στηρίζουν το αεροπλάνο στην πτήση. Υπάρχουν πολλές επιλογές ως προς το σχεδιασμό, τα μεγέθη και τα σχήματα με τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα φτερά. Κάθε μία από αυτές εξυπηρετεί δεδομένες ανάγκες με βάση την αναμενόμενη απόδοση από το εκάστοτε αεροπλάνο.

Τα φτερά μπορούν να τοποθετηθούν στην κορυφή, στο μέσο ή στο χαμηλότερο τμήμα της ατράκτου. Ο αριθμός των φτερών μπορεί να διαφέρει

ανάλογα με το είδος του αεροπλάνου. Το αεροπλάνο με ένα ζεύγος φτερών ονομάζεται μονοπλάνο και με δύο ζεύγη φτερών διπλάνο.

Πολλά από τα αεροπλάνα που έχουν τα φτερά στο πάνω μέρος έχουν εξωτερικά υποστηλώματα ή δοκούς στην πτέρυγα που μεταβιβάζουν τα φορτία τόσο της πτήσης όσο και της προσγείωσης στην άτρακτο. Οι δοκοί της πτέρυγας είναι προσαρτημένοι στο μισό του φτερού και προεξέχουν. Ο συγκεκριμένος τύπος φτερού ονομάζεται ημι-υποστηριζόμενο (semi-cantilever). Πολύ λίγα από τα αεροπλάνα που έχουν στο πάνω μέρος τα φτερά και πολλά από αυτά που έχουν τα φτερά χαμηλά σχεδιάζονται με πλήρη υποστήριξη προκειμένου να μεταφέρουν τα φορτία χωρίς εξωτερικά υποστηλώματα (home.iitk.ac.in).

Γενικά τα φτερά αποτελούνται από την εσωτερική δομή του φτερού που αποτελείται από τους ορθοστάτες, το τόξο και τις λεπτές δοκούς και το εξωτερικό φτερό που στην ουσία είναι η επιφάνεια του.



Σχήμα 20: Η δομή του φτερού (home.iitk.ac.in).

Τα τόξα δίνουν το σχήμα στο φτερό, στηρίζουν την επιφάνεια εμποδίζοντας το λύγισμα και επίσης, αποτρέπουν τη διαρροή του καυσίμου κατά τους ελιγμούς του αεροπλάνου. Λειτουργούν επίσης ως συνδετικά στοιχεία μεταξύ των επιφανειών ελέγχου, τα πτερύγια προσγείωσης και τις μηχανές. Τα τόξα που χρησιμοποιούνται για να στηρίζουν τα πλαίσια του

φερού πετυχαίνουν το επιθυμητό αεροδυναμικό σχήμα και το διατηρούν, αποτελώντας σημεία που μπορούν να δεχθούν μεγάλες δυνάμεις, προσθέτοντας αντοχή και αποτρέποντας το λύγισμα. Επιπλέον διαχωρίζουν τη δεξαμενή του καυσίμου από το φτερό (aerostudents.com).

Τα ραβδοειδή τόξα διακρίνονται σε: τόξα σχηματισμού, επίπεδα τόξα, ενισχυμένα, κλειστά, σφυρηλατημένα και οδοντωτά. Τα τόξα σχηματισμού (formed ribs) αποτελούνται από φύλλα μετάλλου που λυγίζονται για να σχηματιστούν τα τόξα. Τα επίπεδα τόξα (Plate-type ribs) αποτελούνται από μεταλλικά φύλλα με ανάποδες άκρες και οπές για την εξοικονόμηση βάρους. Τα ενισχυμένα τόξα (truss ribs) είναι ιδανικά για περιπτώσεις μέσου και ελαφριού φορτίου. Τα ενισχυμένα τόξα αποτελούνται από κατατομές που συνδέονται μεταξύ τους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλο εύρος φορτίου. Τα κλειστά τόξα (closed ribs) κατασκευάζονται από κατατομές και μεταλλικά φύλλα και χρησιμοποιούνται για το κλείσιμο τμημάτων του φτερού. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές συνθήκες φόρτισης. Τα σφυρηλατημένα τόξα (*forged ribs*) κατασκευάζονται με βαριές πρέσες και χρησιμοποιούνται στα τμήματα όπου ασκούνται μεγάλα φορτία. Τα οδοντωτά τόξα (milled ribs) είναι στερεές μεταλλικές κατασκευές που επίσης χρησιμοποιούνται σε τμήματα με μεγάλη φόρτιση.

Οι πολύ λεπτές ράβδοι (stringers) στα επιφανειακά πλαίσια διατρέχουν όλο το μήκος του φτερού και συνήθως χρησιμοποιούνται για την ένωση των τόξων. Τα τόξα και οι πολύ λεπτές ράβδοι μπορούν να είναι συνεχόμενα. Οι πολύ λεπτές ράβδοι που είναι πάνω από τα τόξα βοηθάνε στο να διατηρείται απόσταση ανάμεσα στο τόξο και στο εξωτερικό μέρος του φτερού. Η επιφάνεια του φτερού και τα τόξα συνδέονται έμμεσα δημιουργώντας κακή μεταφορά του φορτίου διάτμησης. Οι πολύ λεπτές ράβδοι μπορούν να διακοπούν στο τόξο αλλά αυτό δημιουργεί αδύναμη κατασκευή και γι' αυτό σε αυτήν την περίπτωση προστίθεται ένα επιπλέον υλικό μεγάλης αντοχής που λέγεται διπλασιαστής (doubler).

Οι πολύ λεπτές ράβδοι στηρίζονται από τους ορθοστάτες (spars). Αυτοί είναι απλοί δοκοί συνήθως με διατομές I. Οι ορθοστάτες είναι τα μέρη εκείνα του αεροπλάνου που έχουν το μεγαλύτερο φορτίο. Στη βάση τους μεταφέρουν μεγαλύτερο φορτίο δύναμης απ' ό,τι στην άκρη τους. Δεδομένου ότι τα φτερά

λυγίζουν προς τα πάνω συνήθως τα φορτία σε αυτά είναι φορτία διάτμησης και κάμψης.

Οι αεροδυναμικές δυνάμεις δεν λυγίζουν μόνο τα φτερά αλλά επίσης τα περιστρέφουν. Η αποφυγή της περιστροφής μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ενός δεύτερου ορθοστάτη. Η στρέψη σε αυτήν την περίπτωση προκαλεί την κάμψη των δυο ορθοστατών προκαλώντας τη διαφορική κάμψη.

Η σύνδεση των φτερών με την άτρακτο είναι ιδιαίτερα δύσκολη και συνήθως ένα τρίτο κομμάτι φτερού περιέχεται στο εσωτερικό της ατράκτου (aerostudents.com). Η σύνδεση των φτερών με την άτρακτο γίνεται πάντα με πολύ βαριές και ανθεκτικές βίδες. Οι βίδες που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τη συνηθισμένη έτσι ώστε να έχουν και μεγάλη διάρκεια ζωής. Οι βίδες χρησιμοποιούνται για να διατηρούν σταθερή την επιφάνεια του φτερού έτσι ώστε να μην κάμπτεται όταν δέχεται φορτία συμπίεσης που προκαλούνται από την κάμψη και την περιστροφή.

Στα περισσότερα αεροπλάνα η επιφάνεια του φτερού έχει πολλούς ρόλους. Δίνει στο φτερό το αεροδυναμικό του σχήμα, δέχεται διατμητικά φορτία, βοηθάει στη μεταφορά των φορτίων στρέψης, λειτουργεί ως δεξαμενή καυσίμου και επιτρέπει τον έλεγχο και τη συντήρηση του φτερού.

Η επιφάνεια που μεταφέρει μέρος των φορτίων ονομάζεται επιφάνεια τάσης. Στα περισσότερα αεροπλάνα, η εσωτερική δομή του φτερού κατασκευάζεται από μέταλλα ή μίγμα μετάλλων και σύνθετων υλικών. Το εξωτερικό τμήμα του φτερού συνδέεται με το εσωτερικό με πριτσίνια ή συγκόλληση. Ο όγκος ανάμεσα στους ορθοστάτες συχνά χρησιμοποιείται ως αποθηκευτικός χώρος για το καύσιμο.

Εναλλακτικά, ως προς τη σύνδεση των πολύ λεπτών ράβδων με την επιφάνεια του φτερού ώστε να διατηρείται άκαμπτη, είναι η χρήση της μηχανικά επεξεργασμένης επιφάνειας. Σε αυτήν, οι πολύ λεπτές ράβδοι και οι φλάντζες των ορθοστατών κατασκευάζονται από ένα απλό κομμάτι κράματος. Το πλεονέκτημα σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι υπάρχουν λιγότερα συγκολλημένα τμήματα εξασφαλίζοντας έτσι μια πιο ομαλή επιφάνεια, ελαφρύτερες και ανθεκτικότερες κατασκευές και επιπλέον γίνεται πιο εύκολη η επιθεώρηση και η συντήρηση. Παρόλα αυτά το κόστος της συγκεκριμένης μεθόδου είναι υψηλό και η αντικατάσταση των τμημάτων είναι ιδιαίτερα δύσκολη.

Στα εμπορικά αεροπλάνα το 25% του μέγιστου βάρους τους χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του καυσίμου. Συνήθως το μεγαλύτερο μέρος των καυσίμων αποθηκεύεται στο φτερό, το οποίο χωρίζεται σε διάφορες δεξαμενές κάθε μία από τις οποίες έχει τη δική της αντλία. Αυτό επιτρέπει στο καύσιμο να κινείται ανάμεσα στις δεξαμενές κατά τη διάρκεια της πτήσης, γεγονός που αλλάζει τον τρόπο έλξης στο αεροπλάνο (airstudents.com).

Οι επιφάνειες ελέγχου στα φτερά είναι δύο ειδών και εξαρτώνται από τη σύνδεση των φτερών στην ουρά ή στα άκρα: τα πηδάλια και τα πτερύγια (aerostudents.com). Τα πηδάλια από το μέσο του κάθε φτερού εξωτερικά προς την άκρη του και κινούνται αντίθετα για να δημιουργήσουν τις αεροδυναμικές δυνάμεις που επιτρέπουν στο αεροπλάνο να κυλήσει. Τα πτερύγια προεξέχουν από την άτρακτο προς το μέσο του κάθε φτερού. Τα πτερύγια, κατά τη διάρκεια της πτήσης, βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με την άτρακτο. Όταν αυτά προεξέχουν κινούνται ταυτόχρονα προς τα κάτω για να αυξήσουν τη δύναμη ανύψωσης στα φτερά έτσι ώστε να πραγματοποιείται η προσγείωση και η απογείωση.

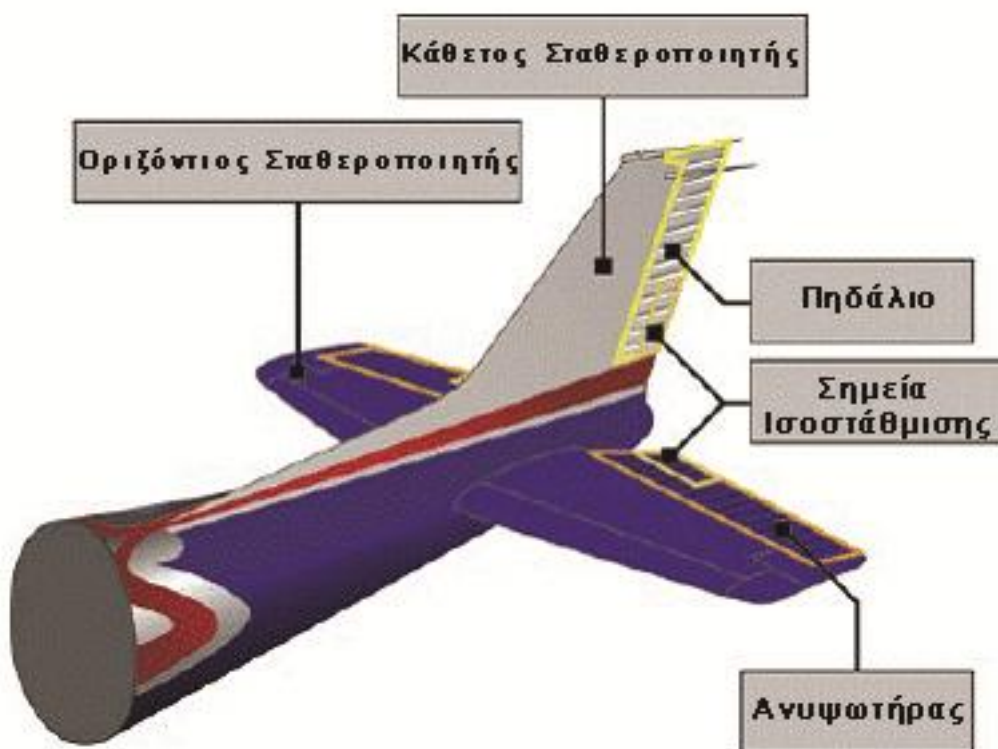


Σχήμα 21: Τύποι πτερυγίων (airstudents.com)

Τα φτερά στα περισσότερα αεροπλάνα είναι μεταλλικά γεγονός που τους προσδίδει μεγάλη αντοχή. Πολλές εταιρείες όμως υποστηρίζουν και μελετούν τα σύνθετα υλικά ως υλικό κατασκευής των φτερών εξαιτίας των καλύτερων ιδιοτήτων τους σε αντοχή και αντίσταση στη διάβρωση.

3.4 Πτερύγια σταθεροποίησης

Τα πτερύγια σταθεροποίησης περιλαμβάνουν την ουρά του αεροσκάφους και αποτελούνται από σταθερές επιφάνειες όπως ο κάθετος και ο οριζόντιος σταθεροποιητής. Οι κινούμενες επιφάνειες περιλαμβάνουν το πηδάλιο, τον ανυψωτήρα και ένα ή περισσότερα σημεία ισοστάθμισης.

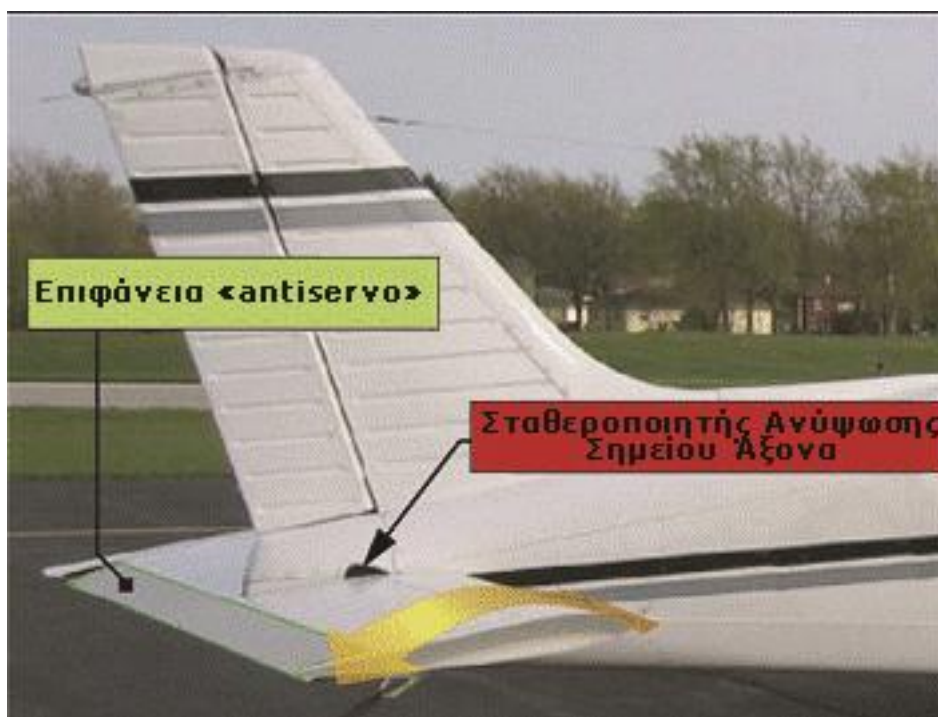


Σχήμα 22: Τα στοιχεία των πτερυγίων σταθεροποίησης (aerospace.com).

Το πηδάλιο εφάπτεται στο πίσω μέρος του κάθετου σταθεροποιητή. Κατά τη διάρκεια της πτήσης η μύτη του αεροπλάνου κινείται αριστερά και δεξιά. Ο ανυψωτήρας βρίσκεται στο πίσω μέρος του οριζόντιου σταθεροποιητή και κινεί τη μύτη του αεροπλάνου πάνω και κάτω κατά τη διάρκεια της πτήσης. Τα σημεία ισοστάθμισης είναι μικρά κινούμενα τμήματα στο τελευταίο άκρο της επιφάνειας ελέγχου. Τα συγκεκριμένα κινούμενα τμήματα ισοστάθμισης ελέγχονται από το θάλαμο διακυβέρνησης και

μειώνουν τις πιέσεις ελέγχου. Ισοσταθμιστείς μπορούν να τοποθετηθούν και στα πηδάλια κλήσης, στο πηδάλιο και στον ανυψωτήρα.

Υπάρχουν τύποι πτερυγίων σταθεροποίησης που δεν απαιτούν ανυψωτήρα. Αντί γι' αυτό περιλαμβάνει ένα μονοκόμματο σταθεροποιητή που ο άξονάς του περνάει από το κέντρο των αρθρώσεων. Αυτός ο τύπος ονομάζεται σταθεροποιητής ανύψωσης (stabilator) και κινείται χρησιμοποιώντας τους τροχούς ελέγχου όπως ακριβώς και ο ανυψωτήρας. Όταν για παράδειγμα ο πιλότος κινεί προς τα πίσω τους τροχούς ελέγχου, ο σταθεροποιητής ανύψωσης κινεί τη μύτη του αεροπλάνου προς τα πάνω. Αυτό αυξάνει το αεροδυναμικό φορτίο στην ουρά και προκαλεί την ανοδική κίνηση της μύτης του αεροπλάνου. Οι σταθεροποιητές ανύψωσης έχουν μια επιφάνεια που προεξέχει από την άκρη τους και κινείται στην ίδια διεύθυνση με την επιφάνεια ελέγχου (antiservo tab).



Σχήμα 23: Σταθεροποιητής ανύψωσης (airspace.com)

3.5 Σύστημα Προσγείωσης

Το σύστημα προσγείωσης είναι ένα από τα πιο σημαντικά συστήματα του αεροπλάνου για το παρκάρισμα, την τροχοδότηση, την προσγείωση και

την απογείωση. Ο πιο συνηθισμένος τύπος συστήματος προσγείωσης αποτελείται από τροχούς αλλά μπορεί επίσης να έχει πλωτήρες για την προσγείωση στο νερό ή σκι για την προσγείωση σε χιόνι.

Ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση του συστήματος προσγείωσης καθορίζεται από τα μοναδικά χαρακτηριστικά του κάθε αεροσκάφους, όπως το βάρος του, τη γεωμετρία και τις απαιτήσεις της αποστολής του. Προσιτές διαμορφώσεις είναι εφικτές με δεδομένο το βάρος και το κέντρο βαρύτητας του αεροπλάνου και καθορίζουν την προσαρμογή του συστήματος προσγείωσης με το σκελετό του αεροπλάνου, την επίπλευσή του και τις απαιτήσεις λειτουργίας του. Τα κύρια χαρακτηριστικά του όπως ο αριθμός και το είδος των τροχών, τα φρένα ή το σύστημα απορρόφησης των κραδασμών θα πρέπει να επιλέγονται πολύ προσεκτικά γιατί η αντικατάστασή τους είναι δύσκολη και πολυδάπανη (Greenbank S.J., 1991).

Η μύτη των τριών τροχών προσγείωσης θα πρέπει να έχει διαμορφωθεί κατάλληλα για τη μεταφορά των επιβατών. Το σύστημα προσγείωσης βρίσκεται στο σχεδόν επίπεδο τμήμα της ατράκτου δηλαδή στο πάτωμα της καμπίνας των επιβατών όταν το αεροπλάνο είναι στο έδαφος. Ο σχεδιασμός αυτός προσφέρει το πλεονέκτημα της σταθερότητας κατά το απότομο φρενάρισμα ή τους ελιγμούς στο έδαφος. Σε συνθήκες κανονικής προσγείωσης η σχετική θέση του κέντρου βάρους του αεροπλάνου προκαλεί στιγμιαία στροφή της μύτης προς τα κάτω κατά την προσγείωση. Αυτό βοηθάει στη μείωση της γωνίας επαφής του αεροπλάνου αφήνοντας την ανύψωση να οφείλεται αποκλειστικά στα φτερά και επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο στον πιλότο να κάνει πλήρη χρήση των φρένων. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά συνεισφέρουν στην απαίτηση μικρότερου μήκους προσγείωσης.

Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα της διαμόρφωσης τριών τροχών είναι ο περιορισμός που τίθεται από την τοποθέτηση του κυρίου συστήματος προσγείωσης. Αυξάνοντας το βάρος απογείωσης του αεροπλάνου, ο αριθμός των κυρίων δοκών μπορεί να αυξηθεί από δύο σε τέσσερις προκειμένου να υποστηριχτούν περισσότεροι τροχοί που θα καταναίμουν το βάρος σε πιο μεγάλη περιοχή. Ο Holloway και οι συν. του (1970) όπως και ο Sliwa (1980) έχουν ορίσει τη σταθερότητα και την απόδοση των περιορισμών αυτών οι οποίοι μειώνουν σημαντικά τις θέσεις σύνδεσης του συστήματος

προσγείωσης. Οι περιορισμοί της σύνδεσης αποτελούν το κύριο πρόβλημα για τα μεγάλα αεροπλάνα όπου απαιτούνται περισσότερα λάστιχα και δοκοί προκειμένου να μειωθούν τα φορτία που ασκούνται στο έδαφος.

Η τοποθέτηση του συστήματος προσγείωσης γίνεται κυρίως λαμβάνοντας υπόψη τη σταθερότητα και τις θεωρήσεις μεταφοράς, προσγείωσης και απογείωσης. Η συμμόρφωση με αυτές τις απαιτήσεις μπορεί να καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά της απόδοσης στην απογείωση/ προσγείωση και από τις σχέσεις ανάμεσα στο σύστημα προσγείωσης και το κέντρο βάρους του αεροπλάνου.

Η διαθέσιμη γωνία βήματος στην απογείωση και την προσγείωση θα πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την απαίτηση που προκύπτει από τα χαρακτηριστικά της απόδοσης ή της πτήσης. Οι γεωμετρικοί περιορισμοί για τη γωνία βήματος είναι επιζήμιοι για την ταχύτητα απογείωσης και κατά συνέπεια, για την απόσταση που πρέπει να διανύσει το αεροσκάφος πριν απογειωθεί.

Στα περισσότερα αεροσκάφη το κύριο σώμα και η ουρά σχεδιάζονται έτσι ώστε το αεροσκάφος να μην μπορεί να περιστραφεί παρά μόνο σε ορισμένη γωνία. Τυπικά η τιμή αυτής της γωνίας είναι 12 με 15° (Currey N.S., 1988). Επιπρόσθετα στα προβλήματα που εμφανίζονται στην ουρά, το κέντρο βάρους του αεροσκάφους δεν μπορεί να περιστραφεί και εμφανίζεται για αυτό το λόγο ένα φαινόμενο γνωστό ως «ανατροπή της ουράς» (tail tipping) που είναι κρίσιμο για την προσγείωση.

Όταν τα πτερύγια βρίσκονται στην πλήρως παραμορφωμένη θέση τους, η κρίσιμη γωνία προσβολής των φτερών είναι μικρότερη στην προσγείωση από την αντίστοιχη γωνία στην απογείωση. Όσον αφορά στη γωνία κύλισης, στα μεγάλα μεταγωγικά αεροσκάφη η ανώτερη τιμή είναι μεταξύ 5° (Annon, 1994) και 8° (Torrenbeek, 1982).

Οι δοκοί στο σύστημα προσγείωσης μπορεί να έχουν ένα ικανοποιητικό μήκος, έτσι ώστε να διαχωρίζονται κατάλληλα από τον διάδρομο, τα άλλα μέρη του αεροσκάφους, όπως για παράδειγμα τα ακροπτερύγια και οι μηχανές στην άτρακτο, των οποίων η συντήρηση γίνεται στο έδαφος. Για ένα χαμηλόπτερο αεροπλάνο με τους κινητήρες τοποθετημένους στα φτερά οι παραπάνω απαιτήσεις αποδεικνύονται πρόκληση για το σχεδιασμό των αεροσκαφών. Το μήκος της δοκού που τοποθετείται από τον τροχό στη μύτη

υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η άτρακτος πρέπει να είναι είτε οριζόντια είτε να έχει ελαφρώς τη μύτη προς τα κάτω, όταν το αεροπλάνο βρίσκεται στο έδαφος (Annon, 1988).

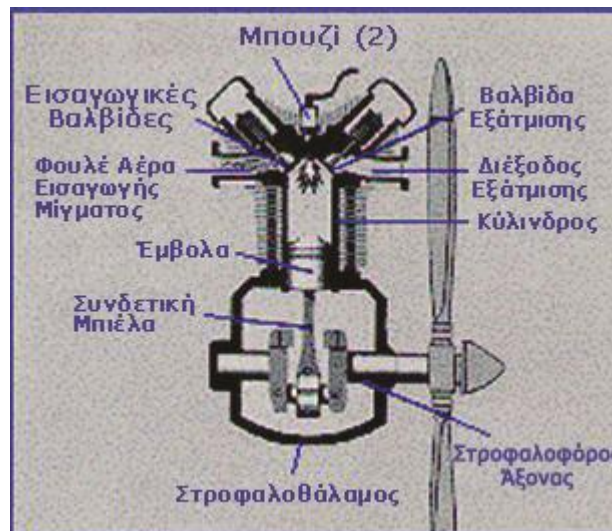
3.6 Σύστημα Παραγωγής Ισχύος

Το σύστημα παραγωγής ισχύος σε ένα αεροπλάνο μπορεί να είναι ο συνδυασμός του κινητήρα και της έλικας ή μια αεριοθούμενη μηχανή. Τα πιο συνηθισμένα συστήματα παραγωγής ισχύος σε ένα αεροσκάφος είναι οι βενζινοκινητήρες. Οι βενζινοκινητήρες τοποθετούνται στο μπροστινό τμήμα του αεροπλάνου απέναντι από το αλεξίπτρο διάφραγμα. Το αλεξίπτρο διάφραγμα διαχωρίζει το σύστημα παραγωγής ισχύος από την υπόλοιπη άτρακτο. Το μεταλλικό κάλυμμα του κινητήρα περιβάλλει τον κινητήρα και τα εξαρτήματα του και εξορθολογίζει το αεροπλάνο και τα εξαρτήματα του φέρνοντας σε επαφή τον αέρα με τους κυλίνδρους του κινητήρα και επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο την ψύξη του κινητήρα. Επειδή τα πιστόνια του κινητήρα κινούνται πάνω-κάτω ο συγκεκριμένος κινητήρας ονομάζεται παλινδρομικός ή εμβολοκινητήρας. Σε αεροσκάφη με πολλούς κινητήρες αυτοί τοποθετούνται στα άκρα των φτερών (allstar.fiu.edu).

Οι αεριοθούμενοι κινητήρες κινούν το αεροπλάνο προς τα μπρός εξαιτίας των απαερίων που εξέρχονται από το πίσω μέρος του κινητήρα. Οι αεριοθούμενοι κινητήρες τοποθετούνται ή στο εσωτερικό της ατράκτου, ή έξω από την άτρακτο ή στα φτερά του αεροπλάνου.

3.6.1 Παλινδρομικοί κινητήρες

Οι παλινδρομικοί κινητήρες είναι ευρέως γνωστοί ως μηχανές εσωτερικής καύσης δεδομένου ότι το μίγμα του καυσίμου καίγεται μέσα στον κινητήρα.



Σχήμα 24: Παλινδρομικός κινητήρας (allstar.flu.edu)

Μια τυπική μηχανή εσωτερικής καύσης αποτελείται από: τους κυλίνδρους (cylinders) και τα έμβολα (pistons), τις συνδετικές ράβδους (connecting rods), το στροφαλοφόρο άξονα (crankshaft), τις βαλβίδες (valves), τα μπουζί (spark plugs), το μηχανισμό λειτουργίας βαλβίδων (cam).

Ο κύλινδρος είναι κλειστός στο ένα άκρο και το έμβολο προσαρμόζεται πάνω στον κύλινδρο. Το τοίχωμα του εμβόλου έχει αυλάκια πάνω στα οποία προσαρμόζονται δακτύλιοι που συνδέονται στο τοίχωμα του κυλίνδρου και κρατούν στεγανό το ανοικτό άκρο του κυλίνδρου έτσι ώστε τα αέρια της καύσης να μην εξέρχονται από το θάλαμο καύσης. Ο θάλαμος καύσης είναι η περιοχή ανάμεσα στην κορυφή του εμβόλου και το άκρο του κυλίνδρου όταν το έμβολο βρίσκεται στο ανώτερο σημείο της διαδρομής του.

Η κίνηση του εμβόλου πάνω κάτω μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση που περιστρέφει τον έλικα. Η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται από τη συνδετική ράβδο και το στροφαλοφόρο άξονα, όπως ακριβώς συμβαίνει και στα αυτοκίνητα.

Οι βαλβίδες που βρίσκονται στην κορυφή του κυλίνδρου ανοιγοκλείνουν έτσι ώστε να πραγματοποιείται η ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα και παράλληλα να επιτρέπουν στα αερίδια να εξέρχονται από το θάλαμο καύσης. Το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων πραγματοποιείται με ένα εκκεντροφόρο σύστημα που υπάρχει στο στροφαλοφόρο άξονα. Στη συνέχεια περιγράφεται η λειτουργία κάθε στοιχείου του κινητήρα.

Ο στροφαλοθάλαμος είναι το βασικό τμήμα του κινητήρα μέσα στο οποίο βρίσκονται οι μηχανισμοί που αφορούν στο στρόφαλο και άλλα εξαρτήματα.

Τα έδρανα ή τριβείς είναι σημεία στήριξης του άξονα του κινητήρα. Επιτρέπουν την περιστροφή του άξονα σε σχέση με το ακίνητο μέρος του κινητήρα.

Ο στροφαλοφόρος άξονας ή στρόφαλος είναι ο άξονας που παράγει την ισχύ του κινητήρα. Οι στρόφαλοι του κινητήρα στηρίζουν τους διωστήρες που είναι συνδεδεμένοι με τα έμβολα. Με τη σύνδεση αυτή μετατρέπεται η παλινδρομική κίνηση σε περιστροφική και κινείται ο έλικας.

Οι συνδετικές ράβδοι (διωστήρες) αποτελούν τους συνδέσμους που μεταφέρουν δυνάμεις από τα έμβολα στον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα.

Το έμβολο κινείται όπως αναφέρθηκε μεταξύ δύο ακραίων θέσεων και μεταφέρει τη δύναμη των καυσαερίων που παράγονται από την καύση του μίγματος αέρα- καυσίμου και εκτονώνονται στον κύλινδρο του κινητήρα.

Το τμήμα του κινητήρα στο οποίο κινείται το έμβολο και πραγματοποιείται η καύση του μίγματος αέρα-καυσίμου είναι ο κύλινδρος. Στο πάνω μέρος του είναι τα μπουζί και οι βαλβίδες καθώς και ένα τμήμα του μηχανισμού κίνησής τους.

Η βασική χρήση των βαλβίδων είναι το άνοιγμα και το κλείσιμο των δίοδων του αέρα μέσα στο θάλαμο καύσης του κινητήρα. Το μείγμα αέρα-καυσίμου εισέρχεται στον κύλινδρο μέσω μιας σειράς βαλβίδων που ονομάζεται εισαγωγή και τα καυσαέρια εξέρχονται από μια άλλη σειρά που αποτελεί την εξαγωγή. Κάθε κύλινδρος θα πρέπει να έχει μια βαλβίδα εισαγωγής και μια εξαγωγής.

Εκτός από τα κύρια εξαρτήματα, η λειτουργία των εμβολοφόρων κινητήρων στηρίζεται και στα δευτερεύοντα εξαρτήματα τα οποία προσαρμόζονται στη βασική δομή τους. Παραδείγματα τέτοιων εξαρτημάτων είναι η αντλία και το φίλτρο λαδιού, η αντλία και το φίλτρο καυσίμου, διάφορα συστήματα γρاناζιών, το σύστημα έναυσης και το σύστημα ψύξης.

3.6.2 Έλικες

Η προπέλα είναι το ενεργό τμήμα του παλινδρομικού κινητήρα ενός αεροσκάφους, αφού μετατρέπει τη χρήσιμη ενέργεια της μηχανής σε ώθηση με την συνεχή περιστροφή της. Η προπέλα έχει το γενικό σχήμα ενός φτερού αλλά η καμπυλότητα και η χορδή κάθε τμήματος της προπέλας είναι διαφορετικές. Ενώ το φτερό βοηθάει στην ανοδική κίνηση, η προπέλα δίνει μπροστινή κίνηση.

Τα φτερά έχουν μόνο μια κίνηση που είναι προς τα μπρος ενώ η προπέλα έχει προς τα μπρος και περιστροφική κίνηση. Το σχήμα των δυο κινήσεων μοιάζει με ανοικτήρι όπως η προπέλα κινείται στον αέρα.

Όπως τα φτερά έτσι και οι έλικες της προπέλας έχουν ένα παχύ άκρο και μια λεπτή κινούμενη άκρη. Το πίσω μέρος της έλικας είναι καμπύλο και μοιάζει με την κορυφή του φτερού. Το μπροστινό μέρος της είναι επίπεδο και μοιάζει με το κάτω μέρος του φτερού. Ο σκελετός της έλικας έχει πάχος για να είναι ανθεκτικός και προσαρμόζεται σε μια πλήμνη που εφάπτεται άμεσα ή έμμεσα στο στροφαλοφόρο άξονα.

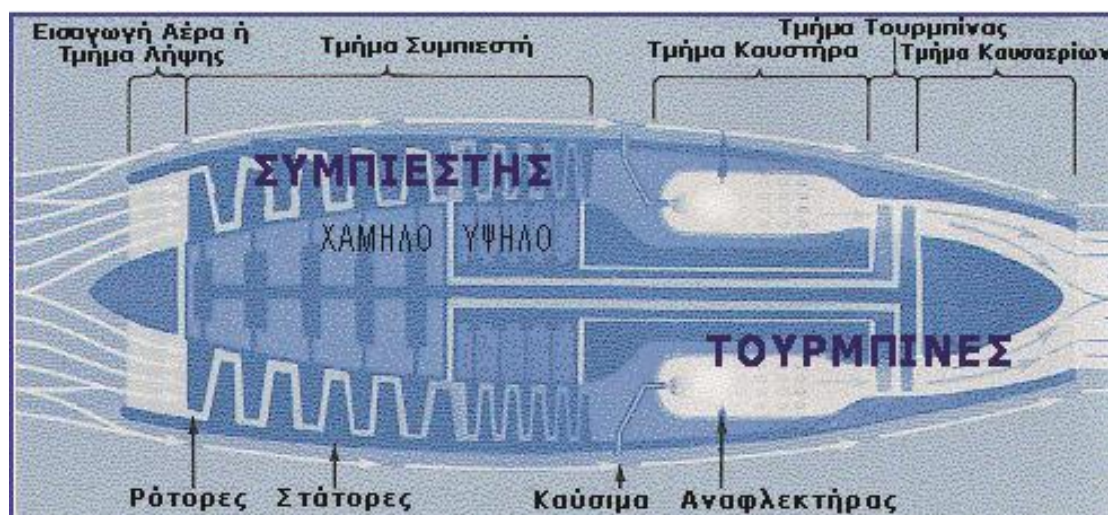
Το βήμα της έλικας καθορίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται από τη χορδή της έλικας και την περιστροφή του αεροπλάνου. Όταν η γωνία είναι μεγάλη η προπέλα θεωρείται ότι έχει μεγάλο βήμα. Μια προπέλα μεγάλου βήματος θα παίρνει μεγαλύτερο αέρα και θα κινεί το αεροσκάφος μακρύτερα σε μια περιστροφή, συγκριτικά με μια μικρού βήματος προπέλα.

Οι προπέλες ταξινομούνται ανάλογα με το αν η έλικα είναι σταθερή ή κινητή. Οι απαιτήσεις για την προπέλα διαφέρουν ανάλογα με τις συνθήκες πτήσης.

3.6.3 Στροβιλομηχανές

Η στροβιλομηχανή χρησιμοποιεί μια σειρά από έλικες σαν του ανεμιστήρα για να μεταφέρουν τον αέρα μέσα στη μηχανή και να τον συμπιέσουν. Η λειτουργία αυτή πραγματοποιείται στο εσωτερικό της

στροβιλομηχανής που μπορεί να συγκριθεί με το κτύπημα συμπίεσης του παλινδρομικού κινητήρα. Οι περιστρεφόμενες έλικες έχουν την ίδια απόδοση με τις προπέλες στη συλλογή και στην αποβολή αέρα στον κινητήρα. Οι σταθερές έλικες χρησιμεύουν για τη σταθεροποίηση της ροής του αέρα καθώς αυτός περνάει από το ένα ζεύγος περιστρεφόμενων ελίκων στο άλλο.



Σχήμα 25: Στροβιλομηχανή (allstar.fiu.edu)

Καθώς ο αέρας συνεχίζει να κινείται μέσα στη μηχανή, μετακινείται από το ζεύγος ρότορα-στάτορα χαμηλής συμπίεσης στο ζεύγος υψηλής συμπίεσης. Αυτή η κίνηση οδηγεί στην τελική συμπίεση του αέρα (allstar.fiu.edu).

Ο θάλαμος καύσης λαμβάνει τον υψηλής πίεσης αέρα και το καύσιμο που αναμιγνύεται με τον αέρα και καίει το μίγμα. Τα ζεστά αέρια που παράγονται έχουν μεγάλη ταχύτητα και χτυπάνε τις έλικες του στροβίλου και προκαλούν τη γρήγορη περιστροφή τους. Ο στρόβιλος προσαρμόζεται σε έναν άξονα που συνδέεται με το συμπιεστή. Κατά συνέπεια η περιστροφή είναι αυτή που προκαλεί τη λειτουργία του συμπιεστή. Αφού περάσουν τις έλικες του στροβίλου τα θερμά, αέρια περνάνε στο τμήμα καυσαερίων του κινητήρα.

Το τμήμα καυσαερίων του στροβιλοκινητήρα σχεδιάζεται ώστε να επιταχύνει περισσότερο την ώθηση και κατά συνέπεια, την ώθηση. Επιπλέον,

προσφέρει την ευθυγράμμιση της ροής των αερίων όπως αυτά εξέρχονται από το στρόβιλο. Βασικά το τμήμα των καυσαερίων είναι ένας κώνος που προσαρμόζεται στον αγωγό καυσαερίων. Το σχήμα του αγωγού εξαρτάται από τις θερμοκρασίες λειτουργίας και την απόδοση ταχύτητας του κινητήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκαν τα πρωτεύοντα αεροναυπηγικά στοιχεία ενός αεροσκάφους. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δευτερεύοντα αεροναυπηγικά στοιχεία που είναι το ηλεκτρικό σύστημα του αεροπλάνου, το σύστημα ελέγχου της πτήσης, τα λάστιχα, οι τροχοί και τα φρένα του αεροπλάνου, που ανήκουν κατά κύριο λόγο στο σύστημα προσγείωσης.

4.2 Ηλεκτρικό σύστημα

Το ηλεκτρικό σύστημα σε ένα αεροπλάνο περιλαμβάνει εκείνα τα στοιχεία που παράγουν, διανέμουν και χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια περιλαμβάνοντας και τα εξαρτήματά τους. Η ικανοποιητική απόδοση ενός αεροσκάφους εξαρτάται σημαντικά από την αξιοπιστία του ηλεκτρικού του συστήματος (aeroelectric.com, Ch.11,1998). Η καταστροφή των καλωδίων ή του εξοπλισμού ενός αεροσκάφους, ανεξάρτητα από το πόσο μικρή ή μεγάλη είναι, δεν μπορεί να αγνοηθεί. Η αξιοπιστία του συστήματος εξαρτάται από τη συντήρηση του αλλά και από το συντηρητή. Κατά συνέπεια, έχει μεγάλη σημασία η συντήρηση να πραγματοποιείται ακλουθώντας όλες τις σύγχρονες πρακτικές που θα μειώσουν τις πιθανότητες αστοχίας. Τα βασικά στοιχεία του ηλεκτρικού συστήματος του αεροπλάνου είναι: οι μπαταρίες αποθήκευσης,

Μπαταρίες αποθήκευσης

Οι μπαταρίες σε ένα αεροσκάφος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλούς σκοπούς όπως για παράδειγμα την απόδοση ισχύος στο έδαφος ή σε καταστάσεις ανάγκης και τη βελτίωση της σταθερότητας του ηλεκτρικού ρεύματος. Τα μικρά ιδιωτικά αεροπλάνα χρησιμοποιούν μπαταρίες μολυβδικού

οξέος ενώ τα περισσότερα εμπορικά και πολιτικά αεροσκάφη έχουν μπαταρίες νικελίου –καδμίου (NiCad). Υπάρχουν και άλλοι τύποι μπαταρίας διαθέσιμοι όπως μπαταρίες με κυψέλες τζελ (gell cell) και αεροστεγείς μπαταρίες μολυβδικού οξέος. Το πόσο κατάλληλη είναι μια μπαταρία για μια εφαρμογή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της, το βάρος, το κόστος, τον όγκο, το ρυθμό αποφόρτισης, την αυτονομία της, το ρυθμό φόρτισης και τις απαιτήσεις συντήρησής της. Κάθε αλλαγή στο τύπο μπαταρίας που θα χρησιμοποιηθεί αποτελεί σημαντική μεταβολή για το αεροσκάφος.

Οι μπαταρίες αποθήκευσης χαρακτηρίζονται συνήθως από τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρόδιά τους. Η λειτουργία των μπαταριών αποθήκευσης σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από την ατμοσφαιρική ή στα όρια του δυναμικού φόρτισης μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση τους οδηγώντας στο βρασμό του ηλεκτρολύτη και κατά συνέπεια, στην αποτυχία της μπαταρίας. Το γεγονός αυτό καθορίζει και το ρυθμό απορρόφησης της θερμότητας στην μπαταρία. Για τις μπαταρίες μολυβδικού οξέος το μέγιστο δυναμικό λειτουργίας είναι 2.35V (aeroelectric.com). Στην περίπτωση των μπαταριών NiCad το όριο του δυναμικού εξαρτάται από το σχεδιασμό και την κατασκευή τους.

Η έκχυση ή διαρροή του ηλεκτρολύτη μπορεί να προκαλέσει σοβαρή διάβρωση της διπλανής κατασκευής ή στα στοιχεία ελέγχου καθώς τόσο το θειικό οξύ και το υδροξείδιο του καλίου είναι πολύ διαβρωτικά στοιχεία. Ο ηλεκτρολύτης μπορεί να διαρρέει κατά τη συντήρηση του αεροσκάφους στο έδαφος, όταν υπάρχει καταστροφή του ηλεκτροδίου ή όταν λόγω των πολύ μεγάλων ρυθμών φόρτισης αποκολλάται από το ηλεκτρόδιο. Αν η μπαταρία δεν είναι κλειστή τα δομικά τμήματα που βρίσκονται κοντά στη μπαταρία μπορεί να επηρεαστούν από τους όξινους καπνούς που μπορεί να υπάρχουν. Η αντιμετώπιση όλων των περιπτώσεων και των επιφανειών διαρροής που επηρεάζονται από τον ηλεκτρολύτη γίνεται με ένα διάλυμα διπτανθρακικού νατρίου, για την περίπτωση του όξινου ηλεκτρολύτη, ή βορικού οξέος, οξικό οξύ, ή υδατικό διάλυμα οξικού οξέος (για ηλεκτρολύτη υδροξείδιο του καλίου).

Όταν οι ρυθμοί φόρτισης είναι υπερβολικά μεγάλοι, ο ηλεκτρολύτης μπορεί να βράσει έως ότου οι καπνοί περιέχουν σταγόνες του ηλεκτρολύτη που αποβάλλονται από τα ανοίγματα. Αυτοί οι καπνοί από τις όξινες

μπαταρίες μπορεί να αποδειχθούν επιβλαβείς για το πλήρωμα και τους επιβάτες. Οι μπαταρίες NiCad αποβάλλουν αέρια προς το τέλος της διεργασίας της φόρτισης αλλά και κατά την υπερφόρτιση. Η μπαταρία του συστήματος εξοπλισμού του αεροσκάφους θα πρέπει να έχει ικανοποιητική ροή αέρα έτσι ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση του εκρηκτικού μίγματος. Συχνά αποτελεί πλεονέκτημα η εγκατάσταση ενός δοχείου στο σύστημα αποφόρτισης που θα παρεμποδίζει τη διαβρωτική επίδραση των ατμών της μπαταρίας (aeroelectric.com).

Συσκευές προστασίας κυκλώματος

Όλα τα ηλεκτρικά καλώδια πρέπει να καλύπτονται από προστατευτικά. Το ηλεκτρικό σύρμα προστατεύεται με διακόπτες ή ασφάλειες που τοποθετούνται πολύ κοντά στην πηγή ηλεκτρικής ισχύος. Το είδος του διακόπτη ή η ασφάλεια καθορίζονται από τον κατασκευαστή του ηλεκτρικού συστήματος.

Οι συσκευές προστασίας του κυκλώματος διαστασιολογούνται έτσι ώστε να διευκολύνουν τη λειτουργία ανοικτού κυκλώματος. Ο διακόπτης του κυκλώματος θα πρέπει να μπορεί να ανοίξει πριν το ρεύμα που διαπερνάει το καλώδιο γίνει πολύ μεγάλο ή πριν γίνει υπερβολικά μεγάλος ο ρυθμός συσσώρευσης φορτίων στο σύρμα. Τα σύρματα διαστασιολογούνται έτσι ώστε να διασφαλίζεται η συνεχής ροή ρεύματος.

Ηλεκτρικά Καλώδια

Τα καλώδια διαστασιολογούνται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική μηχανική αντοχή, να επιτρέπουν τις συνθήκες επισκευής, να μην υπάρχει μεγαλύτερη πτώση δυναμικού από το επιτρεπτό, να προστατεύονται από τους μηχανισμούς προστασίας και να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού κυκλώματος. Τα κύρια υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το αλουμίνιο και ο χαλκός που παρουσιάζουν παρόμοια αντίσταση.

Τα ηλεκτρικά καλώδια του αεροσκάφους ανταποκρίνονται σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες κατά την επισκευή τους. Για τη διασφάλιση της

ικανοποιητικής επισκευής τους είναι απαραίτητη η ετήσια επιθεώρησή τους για γδαρσίματα, ελαττωματική μόνωση και πιθανή διάβρωση.

4.3. Σύστημα Ελέγχου Πτήσης

Το σύστημα ελέγχου πτήσης έχει εξελιχθεί στη διάρκεια της ιστορίας της αεροναυπηγικής. Πολύ σύντομα, μετά τις πρώτες πτήσεις, για τον βασικό έλεγχο του αεροπλάνου εισήχθησαν αρθρωτές επιφάνειες και ο έλεγχος πραγματοποιούνταν από τον πιλότο μέσω ενός συστήματος από καλώδια και τροχαλίες. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε επί δεκαετίες και συνεχίζει να χρησιμοποιείται στα μικρά αεροπλάνα (Politecnico di Milano,2004).

Η κατασκευή μεγαλύτερων αεροπλάνων και η αύξηση του αριθμού των πτήσεων κατέστησαν τη μυϊκή δύναμη του πιλότου ανεπαρκή, σε ορισμένες συνθήκες, σε αντίθεση με τις αντίθετες αεροδυναμικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στην κάμψη της επιφάνειας. Μια πρώτη λύση σε αυτό το πρόβλημα έδωσε η εισαγωγή αεροδυναμικών ισοζυγίων και κενών αλλά η περαιτέρω ανάπτυξη του μεγέθους των αεροσκαφών καθώς και η αύξηση των πτήσεων έφεραν στο προσκήνιο την ανάγκη του ελέγχου των συστημάτων ισχύος από αρθρωτές αεροδυναμικές επιφάνειες.

Σήμερα, υπάρχουν δύο είδη συστημάτων ελέγχου πτήσης (Politecnico di Milano,2004): ο πλήρης μηχανικός έλεγχος στα ανεμόπτερα και γενικά στα μικρά αεροσκάφη και ο αναδραστικός μηχανισμός ελέγχου που χρησιμοποιείται στα μεγάλα αεροσκάφη.

Μετά από την εισαγωγή ενός αναδραστικού μηχανισμού, είναι πιθανή η χρήση μιας τεχνολογίας ενεργού ελέγχου που θα λειτουργεί απευθείας στους ενεργοποιητές του ελέγχου πτήσης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία συνοδεύεται από μια σειρά πλεονεκτημάτων όπως:

- Κάλυψη των βασικών αεροδυναμικών ελλείψεων της ατράκτου
- Σταθερότητα και έλεγχο στα ασταθή αεροπλάνα γεγονός που συνήθως οδηγεί σε μεγαλύτερες αποδόσεις
- Πτήσεις σε μεγάλες γωνίες προσβολής

Οι αεροδυναμικές επιφάνειες ελέγχου διαφέρουν ανάλογα με την κατηγορία του αεροσκάφους. Οι επιφάνειες ελέγχου ενός αεροσκάφους είναι:

αυτές που αναφέρονται στον κύριο έλεγχο πτήσης και εκείνες που αναφέρονται στον δευτερεύον έλεγχο πτήσης. Στον κύριο έλεγχο πτήσης ανήκουν ο τα γρανάζια οι κύλινδροι και ο έλεγχος εκτροπής που προέρχονται κυρίως από την εκτροπή των ανελκυστήρων, των πηδαλίων κλίσης και του πηδαλίου ή από συνδυασμούς τους. Στον δευτερεύον έλεγχο ανήκουν οι μηχανισμοί υψηλής ανύψωσης και ανύψωσης φορτίου, οι άκρες της ουράς τα φρένα κτλ.

Τα σύγχρονα αεροσκάφη παρουσιάζουν συνήθως ειδικές διαμορφώσεις:

- α) ανύψωση του δέλτα των φτερών για έλεγχο των γριναζιών και των κυλίνδρων στην περίπτωση που δεν υπάρχουν φτερά, β) ακροπτερύγια κλίσης και διεύθυνσης που εκτείνονται κατά μήκος της εσωτερικής χορδής, γ) πτερύγια σταθεροποίησης που ελέγχονται ανεξάρτητα, δ) ταλαντευόμενα φτερά που η άρθρωση τους επιτρέπει τη σάρωση διαφορετικών γωνιών και ε) σταθερά φτερά (canard) με επιπλέον έλεγχο γριναζιών και σταθεροποίησης.



Σχήμα 26: Οι επιφάνειες ελέγχου του αεροπλάνου (Politecnico di Milano, 2004)

4.3.1 Άμεσος Μηχανικός Έλεγχος

Η σύνδεση μεταξύ του πιλοτηρίου και της επιφάνειας ελέγχου μπορεί να είναι εξολοκλήρου μηχανική αν το μέγεθος του αεροσκάφους και το είδος της πτήσης το επιτρέπουν. Σε αυτήν την περίπτωση οι ταλαντώσεις που

προκαλούνται από την παραμόρφωση της επιφάνειας είναι αρκετά μικρές ώστε να μπορούν να ελεγχτούν από τον πιλότο (Politechnico di Milano,2004).

Υπάρχουν δύο τύποι μηχανικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται: ράβδοι έλξης –άπωσης και το σύστημα καλώδιο - τροχαλία . Στην πρώτη περίπτωση μια σειρά ράβδων συνδέουν την επιφάνεια ελέγχου με το εσωτερικό του πιλοτηρίου. Η αλλαγή της κατεύθυνσης των ράβδων πραγματοποιείται με στροφάλους.

4.3.2 Υδραυλικός έλεγχος

Όταν ο πιλότος δεν μπορεί από μόνος του να ασκήσει έλεγχο στο αεροσκάφος η λύση ένα βοηθητικό σύστημα ισχύος. Λίγες από τις επιφάνειες ελέγχου είναι αυτές που λειτουργούν με ηλεκτρικούς κινητήρες και για αυτές τις επιφάνειες το υδραυλικό σύστημα αποτελεί μια προσιτή λύση που εξασφαλίζει αξιοπιστία, ασφάλεια, βάρος ανά μονάδα ισχύος και ευελιξία σε σχέση με το ηλεκτρικό σύστημα. Με το υδραυλικό σύστημα ο πιλότος μέσα από το πιλοτήριο ενεργοποιεί μια βαλβίδα που ανοίγει θύρες μέσα από τις οποίες ρέει υδραυλικό ρευστό υψηλής πίεσης που με τη σειρά του ενεργοποιεί έναν ή περισσότερους ενεργοποιητές. Η βαλβίδα μπορεί να ενεργοποιηθεί είτε μηχανικά είτε ηλεκτρικά.

4.4 Λάστιχα, Τροχοί, Φρένα

Ο αριθμός των λάστιχων που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα αεροσκάφος εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τα χαρακτηριστικά της πτήσης που θα πραγματοποιήσει. Τόσο όμως η επιλογή των ελαστικών όσο και η επιλογή των τροχών και των φρένων γίνονται με βάση τις γενικές προδιαγραφές ασφαλείας (Currey N.S, 1988, Anon, 1994).

Η επιλογή των ελαστικών γίνεται με κριτήριο την ικανοποίηση των απαιτήσεων απόδοσης. Η πρωταρχική παράμετρος που εξετάζεται είναι η ικανότητα του ελαστικού στη μεταφορά φορτίων κατά την προσγείωση και την απογείωση. Επιπλέον η διάστρωμάτωση και ο τρόπος κατασκευής του καθορίζουν το βάρος του και ελαστικού και τη διάρκεια ζωής του αποτελούν βασικές, οικονομικές κυρίως, παραμέτρους. Άλλες παράμετροι που

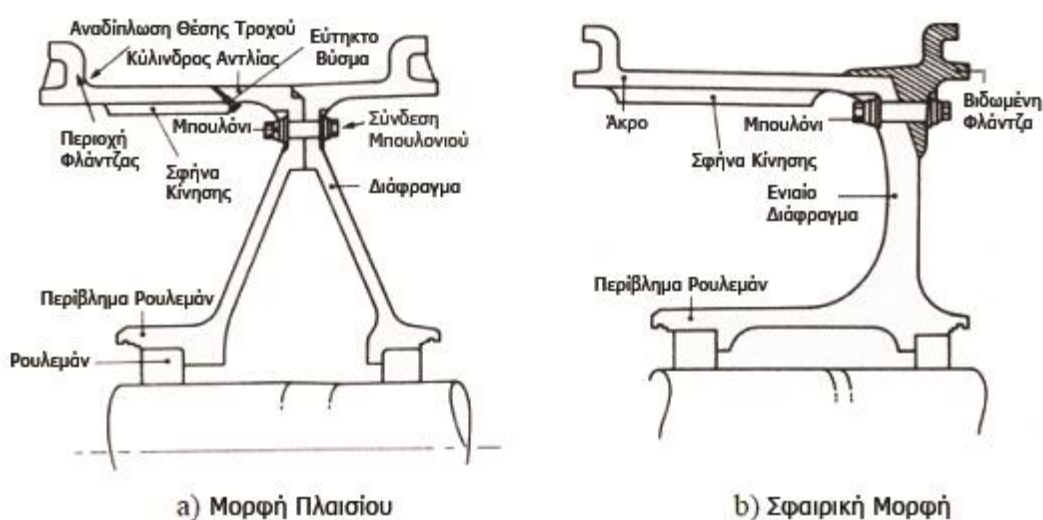
λαμβάνονται υπόψη είναι η πίεση του ελαστικού και το μέγεθος του τροχού. Η πίεση του ελαστικού επιλέγεται με βάση τη φέρουσα ικανότητα του αεροδρόμιου η οποία αποτελεί σχεδιαστικό παράγοντα για τη λειτουργία του αεροπλάνου, ενώ το μέγεθος του τροχού θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί σε αυτό το φρένο.

Τα ακτινικά λάστιχα τυγχάνουν μεγάλης αποδοχής από τον καιρό που εισήχθησαν παρά την κάποια επιφυλακτικότητα που παρουσιάστηκε στην αρχή της εφαρμογής τους. Η επιφύλαξη αυτή οφειλόταν κυρίως στην έλλειψη εφαρμοσμένων προτύπων καθώς και στην ανησυχία που υπήρχε σχετικά με την ικανότητα συνδυασμού τους με τα ελαστικά περιέλιξης και την ικανότητα αναγόμωσης των επισκευασμένων ελαστικών. Ο συνδυασμός των ακτινικών ελαστικών με τα λάστιχα περιέλιξης ή ο συνδυασμών ακτινικών ελαστικών διαφορετικής κατασκευής είναι εφικτή μόνο αν η φόρτιση δεν είναι μεγαλύτερη από αυτήν που προβλέπεται για τα λάστιχα περιέλιξης. Όσον αφορά στην αναγόμωση θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συχνή αντικατάσταση δεν είναι απαραίτητα πλεονέκτημα για τις αερογραμμές, αντίθετα αποτελεί ένδειξη της χαμηλής απόδοσης των ελαστικών σε όρους φθοράς πέλματος. Κατά συνέπεια, η ανησυχία δεν είναι σχετική με το πόσο συχνά αντικαθίστανται τα ελαστικά αλλά με τη συνολική διάρκεια ζωής τους.

Στις ακτινικές κατασκευές οι διατμητικές δυνάμεις στο πλέγμα του ελαστικού ελαχιστοποιούνται και τα φορτία κατανέμονται σε όλο το λάστιχο. Ακόμα και αν χρησιμοποιούνται τα ίδια υλικά στα κυκλικά και στα λάστιχα περιέλιξης η συνολική απαιτούμενη ποσότητα υλικού για μια συγκεκριμένη κατασκευή μειώνεται (Anon, 1994a). Επιπλέον ελαχιστοποιείται η ολίσθηση μεταξύ του λάστιχου και την επιφάνεια επαφής και τη ζώνη δυσκαμψίας που προκύπτει από την ακτινική κατασκευή και συμβάλλει με αυτόν τον τρόπο στην βελτίωση της απόδοσης.

Ο σχεδιασμός των τροχών του αεροπλάνου επηρεάζεται κυρίως από την απαίτησή τους ότι πάνω σε αυτούς τοποθετούνται τα λάστιχα. Επιπλέον, θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλοι για να τοποθετηθεί το σύστημα των φρένων σε αυτά. Τόσο η τοποθέτηση των λάστιχων όσο και των φρένων στου τροχούς θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται το μικρότερο δυνατό βάρος και η μέγιστη διάρκεια ζωής τους. Η διαμόρφωση των τροχών μπορεί να είναι είτε σε μορφή πλαισίου είτε σφαιρική (Anon

1987). Η πρώτη είναι κατασκευαστικά πιο αποτελεσματική και κατά συνέπεια η ελαφρύτερη που μπορεί να επιτευχθεί. Παρόλα αυτά ο συγκεκριμένος σχεδιασμός παρουσιάζει περιορισμένο χώρο για την τοποθέτηση των φρένων συγκριτικά με τον σφαιρικού τύπου σχεδιασμό. Κατά συνέπεια καθώς η ενεργειακή απαίτηση των φρένων αυξάνει με το βάρος του αεροσκάφους και άρα και η απαιτούμενη θερμότητα, πιθανών να είναι αναπόφευκτη η χρήση του σφαιρικού σχεδιασμού ακόμα και αν υπάρχει υπέρβαση στο βάρος (Anon,1987).



Σχήμα 27: Διαμορφώσεις του σχεδιασμού των τροχών (Anon,1987).

Η συνεχής εξάρτηση από τους σφυρηλατημένους τροχούς από κράμματα αλουμινίου προωθείται από τη βιομηχανία ενώ, οι τροχοί από κράμματα του χάλυβα και του μαγνησίου έχουν από καιρό εγκαταλειφθεί εξαιτίας του βάρους τους και των προβλημάτων διάβρωσης που παρουσίαζαν αντίστοιχα (Attri, N. S. and Amberg, R. L.,1980).

Ο κύριος ρόλος των φρένων είναι να σταματάνε τα αεροσκάφη. Εκτός όμως από αυτό χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ταχύτητας κατά τη διάρκεια της τροχοδρόμησης, για να κατευθύνουν το αεροπλάνο σε διάφορες κατευθύνσεις και να συγκρατούν σταθερό το αεροσκάφος όταν έχει παρκάρει και κατά το ξεκίνημα του κινητήρα. Ενώ οι δεξαμενές θερμότητας υπολογίζονται για ένα σημαντικό μέρος του συνολικού βάρους του συστήματος προσγείωσης, γίνεται σημαντική προσπάθεια για τη μείωση του

βάρους τους χρησιμοποιώντας προηγμένα υλικά όπως ο άνθρακας (Greenbank S.J., 1991).

Οι απαιτήσεις για μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλή συντήρηση για τα φρένα άνθρακα αποτελούν ένα σημαντικό στοιχείο που λαμβάνεται υπόψη στον οικονομικό σχεδιασμό του αεροσκάφους. Εκτιμάται πως τα φρένα από άνθρακα επιτρέπουν πενταπλάσιες ακόμα και εξαπλάσιες προσγειώσεις σε σχέση με τα φρένα από χάλυβα ανάμεσα στις επισκευές και απαιτούνται λιγότερες ώρες για τη συντήρησή τους (Anon, 1987).

Το βασικό μειονέκτημα των φρένων από άνθρακα είναι ότι απαιτούν πολύ μεγαλύτερο όγκο για να απορροφήσουν το ίδιο ποσό θερμότητας με τα φρένα από χάλυβα. Από τα βασικά προβλήματα που εμφανίζονται από τη χρήση των φρένων από άνθρακα είναι η μειωμένη αντοχή εξαιτίας της οξειδωσης του άνθρακα, η απώλεια πέδησης εξαιτίας της συγκέντρωσης υγρασίας και το αρχικό υψηλό κόστος τους. Παρόλα αυτά, τα συγκεκριμένα μειονεκτήματα αντιμετωπίζονται σε όρους απόδοσης και οικονομίας από τις δεξαμενές θερμότητας από άνθρακα (Lambert M.Ed., 1994).

Οι κύριες θεωρήσεις στην ανάπτυξη των φρένων είναι το μέγεθος και το βάρος τους και είναι βασική απαίτηση να συμβαδίζουν με την παραγόμενη κινητική ενέργεια που παράγεται από το σχεδιασμό του βάρους κατά την προσγείωση, το μέγιστο βάρος προσγείωσης και τις συνθήκες απόρριψης της απογείωσης. Οι απαιτήσεις για την ικανότητα που πρέπει να έχουν τα φρένα κάτω από αυτές τις συνθήκες φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4.1: Αμερικάνικης Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Αεροπορίας απαιτήσεις για την ικανότητα των φρένων (Anon, 1994)

Χαρακτηριστικά	
Σχεδιασμός Βάρους προσγείωσης	100 σταματήματα κατά μέσο όρο σε επιβράδυνση 3.048m/s^2
Μέγιστο βάρος Προσγείωσης	5 σταματήματα κατά μέσο όρο σε επιβράδυνση 3.048m/s^2
Απόρριψη απογείωσης	1 σταμάτημα κατά μέσο όρο σε επιβράδυνση 1.829m/s^2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΩΝ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

5.1 Υλικά των ελαφρών κατασκευών

Το αεροπλάνο αποτελεί ένα χαρακτηριστικό είδος ελαφράς κατασκευής. Με τον όρο ελαφρά κατασκευή θα περίμενε κανείς ότι γίνεται αναφορά σε κατασκευές με μικρό βάρος όμως στην ουσία ο όρος χρησιμοποιείται για την περιγραφή κατασκευών όπου τα υλικά που την αποτελούν επιλέγονται με βάση τις ειδικές ιδιότητές τους, δηλαδή συναρτήσει του ειδικού τους βάρους.

Ένα από τα βασικά στοιχεία σχεδιασμού των ελαφρών κατασκευών είναι η επιλογή του κατάλληλου υλικού. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού γίνεται παίρνοντας υπόψη τις ιδιότητες του υλικού, το κόστος και τη διαθεσιμότητά του, τις κατεργασίες τις οποίες θα υποστεί και την επίδραση του περιβάλλοντος στο οποίο θα λειτουργήσει σε αυτό. Οι ιδιότητες ενός υλικού θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της απόδοσης της εφαρμογής, όπου θα χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον το υλικό που επιλέγεται θα πρέπει να είναι το κατάλληλο και να έχει ανεκτό κόστος αλλά και να είναι διαθέσιμο. Η κατεργασία ή οι κατεργασίες στις οποίες επιβάλλεται ένα υλικό έτσι ώστε να τοποθετηθεί και να λειτουργήσει σε ορισμένη εφαρμογή είναι άμεσα συνδεδεμένες με τις ιδιότητές του. Τέλος όσον αφορά στην επίδραση του περιβάλλοντος στην αντοχή του θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τόσο η επίδραση του περιβάλλοντος εφαρμογής στο υλικό όσο και η επίδραση της κατεργασίας που θα υποστεί αλλά επιπλέον, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η επίδραση του ίδιου του υλικού προς το περιβάλλον.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα κύρια υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός αεροσκάφους, δηλαδή για την κατασκευή πρωτεύοντων και δευτερεύοντων αεροπορικών στοιχείων.

Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις ελαφρές κατασκευές, τα υλικά για τη δομή του αεροσκάφους, ενώ γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο αλουμίνιο και τα κράματα, που αποτελεί το βασικό υλικό σε ένα αεροπλάνο. Επιπλέον αναφέρονται τα σύνθετα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αεροναυπηγικές κατασκευές και πραγματοποιείται η σύγκριση των σύνθετων και των μεταλλικών υλικών.

5.2 Υλικά κατασκευής του αεροπλάνου

Ένα αεροπλάνο πρέπει να κατασκευάζεται από υλικά που είναι τόσο ελαφριά όσο και ανθεκτικά. Τα πρώτα αεροσκάφη κατασκευάζονταν από ξύλο. Τα ελαφριά μεταλλικά κράματα έχουν μεγαλύτερη αντοχή από το ξύλο και χρησιμοποιήθηκαν πολύ αργότερα για την κατασκευή των αεροπλάνων. Γενικά, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των αεροπλάνων ταξινομούνται είτε ως μεταλλικά είτε ως μη μεταλλικά υλικά.

5.2.1 Μεταλλικά Υλικά

Τα πιο κοινά μέταλλα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του αεροπλάνου είναι το αλουμίνιο, το μαγνήσιο, το τιτάνιο, ο χάλυβας και τα κράματα τους.

Κράματα

Ένα κράμα μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα μέταλλα. Το μέταλλο που υπάρχει στο μέταλλο σε μεγαλύτερο ποσοστό αποτελεί το βασικό μέταλλο. Όλα τα άλλα μέταλλα που προστίθενται στο βασικό μέταλλο αποτελούν τα κραματικά στοιχεία. Η προσθήκη των κραματικών στοιχείων έχουν σαν αποτέλεσμα την αλλαγή στις ιδιότητες του βασικού μετάλλου. Για παράδειγμα ενώ το αλουμίνιο είναι απαλό και χωρίς αντοχή, με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων χαλκού, μαγγανίου και μαγνησίου η αντοχή του πολλαπλασιάζεται. Η θερμική κατεργασία των μετάλλων μπορεί να αυξήσει τόσο την αντοχή όσο και τη σκληρότητα του κράματος. Η κραμάτωση είναι σημαντική για την αεροναυπηγική αφού οδηγεί σε υλικά με ιδιότητες που τα καθαρά μέταλλα δεν έχουν (home.iitk.ac.in).

Αλουμίνιο

Τα κράματα του αλουμινίου χρησιμοποιούνται ευρέως στη σύγχρονη αεροναυπηγική. Τα κράματα του αλουμινίου που θα παρουσιαστούν εκτενώς παρακάτω, έχουν ιδιαίτερη σημασία γιατί παρουσιάζουν υψηλό λόγο αντοχής/βάρους. Τα κράματα του αλουμινίου είναι ανθεκτικά στη διάβρωση και συγκριτικά εύκολα να παρασκευαστούν. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του αλουμινίου είναι το μικρό του βάρος.

Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο είναι από τα πιο ελαφρά μέταλλα που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για τις κατασκευές. Είναι ένα αργυροειδές- άσπρο υλικό που έχει τα 2/3 του βάρους του αλουμινίου. Το μαγνήσιο χρησιμοποιείται για να την κατασκευή των ελικοπτέρων αλλά επειδή έχει μικρή αντοχή στη διάβρωση η χρήση του στα αεροπλάνα είναι περιορισμένη.

Η ανάπτυξη των κραμάτων του μαγνησίου προήλθε από την απαίτηση της αεροναυπηγικής για ελαφριά υλικά που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες. Τα κράματα του μαγνησίου είναι ιδιαίτερα δημοφιλή στους σχεδιαστές εξαιτίας της χαμηλής τους πυκνότητας, που είναι ίση με τα 2/3 της πυκνότητας του αλουμινίου (AZMaterials,2010).

Μια επιπλέον απαίτηση είναι η μεγάλη ανθεκτικότητα των αεροναυπηγικών υλικών στη διάβρωση και έχουν σημειωθεί σημαντικές βελτιώσεις για τα κράματα του μαγνησίου. Τα συγκεκριμένα κράματα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξαιτίας βελτιώσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στις μηχανικές τους ιδιότητες και στην αντοχή τους στη διάβρωση.

Το κράμα που για πολλά χρόνια ήταν το πλέον χρησιμοποιήσιμο υλικό στα ελικάπτερα είναι το RZ5. Το RZ5 αποτελείται από μαγνήσιο (βασικό μέταλλο), ψευδάργυρο (3.5-5%), σπάνιες γαίες (0.8-1.7%) και ζirkονία (0.4-1.0%) και έχει πολύ μικρή πυκνότητα και πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες. Οι απαιτήσεις όμως για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα μεταξύ των επισκευών οδήγησαν στην επιλογή του κράματος WE43, που αποτελείται εκτός από το μαγνήσιο από ύττρια(3.7-4.3%), σπάνιες γαίες (2.4-4%) και ζirkονία (0.4%).

Το WE43 παρουσιάζει αρκετά καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από το RZ5 αλλά και πάλι χρησιμοποιείται μόνο στα ελικόπτερα.

Ως ένας από τους βασικούς λόγους που το μαγνήσιο δεν προτιμάται στα αεροπλάνα είναι η ευφλεκτότητα του, που όμως δεν έχει βάση ως ισχυρισμός αφού δεν έχουν καταγραφεί αεροπορικά ατυχήματα που να οφείλονται σε ανάφλεξη του μαγνησίου ούτε περιστατικά όπου η χρήση του μαγνησίου να αναφέρεται ως παράγοντας μείωσης της ασφάλειας των επιβατών (Ostrowski I, Henn Y, 2007). Το μαγνήσιο πληροί όλες τις απαιτήσεις των προτύπων της αεροναυπηγικής σχετικά με την αντίσταση στην ευφλεκτότητα των υλικών. Στην πραγματικότητα αποφεύγεται η χρήση του εξαιτίας της διάβρωσης. Σε γενικές γραμμές, τα κράματα του μαγνησίου έχουν μεγαλύτερο ρυθμό διάβρωσης από τα κράματα του αλουμινίου. Οι ελλείψεις των υψηλής καθαρότητας κραμάτων και η χαμηλή απόδοση των επεξεργασμένων με μαγνήσιο επιφανειών έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη διάβρωση των στοιχείων που ως υλικό έχουν το μαγνήσιο συγκριτικά με τα αντίστοιχα στοιχεία που έχουν κατασκευαστεί από αλουμίνιο.

Τιτάνιο

Η αεροβιομηχανία είναι η πιο μεγάλη αγορά για τα προϊόντα τιτανίου κυρίως εξαιτίας του εξαιρετικού λόγου δύναμης / βάρους, την απόδοσή του σε μέσες τιμές θερμοκρασίας και την αντοχή τους στη διάβρωση. Το τιτάνιο ως υλικό χρησιμοποιείται κυρίως στις μηχανές των αεροπλάνων και σε στοιχεία του σκελετού τους που λειτουργούν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 600° C καθώς και για άλλα κρίσιμα δομικά στοιχεία. Η χρήση του εμφανίζεται κυρίως σε στρατιωτικά και εμπορικά αεροπλάνα καθώς και σε διαστημόπλοια όπου αξιοποιούνται όλα τα πλεονεκτήματα του τιτανίου.

Τα κράματα του τιτανίου, ως καινούρια προϊόντα, καθώς και οι μέθοδοι διαμόρφωσής τους αναπτύχθηκαν από την αεροπορική βιομηχανία (titanium.com). Σήμερα, η χρήση της μεθόδου χύτευσης και η χρήση νέων κραμάτων τιτανίου όπως είναι το Ti3Al8V-6Cr-4Zr-4Mo κάνουν δυνατή τη χρήση του τιτανίου ως αντικαταστάτη λιγότερο αποτελεσματικών υλικών σε πολλές αεροπορικές εφαρμογές.

Οι αεροναυπηγοί αναφέρουν ότι παρά το γεγονός ότι μόνο το τιτάνιο και ο χάλυβας μπορούν να αντέχουν στις σχετικές θερμοκρασίες λειτουργίας το παλαιότερο κράμα τιτανίου Ti-13V-11Cr-3AL ζύγιζε περίπου ίσο με το μισό βάρος του χάλυβα ανά κυβικό μέτρο ενώ η αντοχή του σε εφελκυσμό ήταν σχεδόν ίδια με αυτή του χάλυβα. Χρησιμοποιώντας τις συμβατικές τεχνικές διαμόρφωσης υπήρχαν όλο και λιγότερα τμήματα που χρησιμοποιούσαν το κράμα Ti-13V-11Cr-3AL αντί του χάλυβα.

Η μεγαλύτερη χρήση του τιτανίου στα αεροπλάνα γίνεται στις στροβιλομηχανές (titanium.com). Στις σύγχρονες αεριωθούμενες μηχανές τα τμήματα που είναι κατασκευασμένα από κράματα αλουμινίου κατέχουν το 20-30% του ξηρού βάρους και συγκεντρώνονται κυρίως στο συμπιεστή. Τα κράματα του τιτανίου στους κινητήρες εφαρμόζονται κυρίως στις δίδυμες έλικες, τους δίσκους ή στην πλήμνη των τροχών, στα κατευθυντήρια πτερύγια των φτερωτών και στα περιβλήματα. Το τιτάνιο επιλέγεται κυρίως για κινητήρες που λειτουργούν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 593° C.

Τα κράματα του αλουμινίου συναγωνίζονται ικανοποιητικά με το αλουμίνιο, το νικέλιο και τα κράματα του σιδήρου για χρήση στο σκελετό τόσο των εμπορικών όσο και των εμπορικών αεροπλάνων.

Οι εφαρμογές των κραμάτων του τιτανίου καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος δομικών στοιχείων στο σκελετό του αεροπλάνου: από τα συμπαγή, υψηλών τάσεων σφυρηλατημένα πτερύγια και στοιχεία του συστήματος προσγείωσης έως τους μικρούς κρίσιμους συνδετήρες, τα ελατήρια και τους υδραυλικούς σωλήνες.

Η επιλογή του τιτανίου τόσο στο σκελετό του αεροπλάνου όσο και στους κινητήρες βασίζεται στις βασικές ιδιότητες του τιτανίου: τη μείωση του βάρους εξαιτίας των υψηλών λόγων αντοχής-βάρους που συνδυάζονται με σημαντική αξιοπιστία στη λειτουργία, τη χαρακτηριστική αντίσταση στη διάβρωση που είναι μεγαλύτερη από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά μέταλλα που χρησιμοποιούνται στη δομή του αεροπλάνου. Στους Πίνακες 5.1, 5.2 και 5.3. που ακολουθούν παρουσιάζονται τα πιο ευρέως χρησιμοποιημένα κράματα τιτανίου, τα πιο σημαντικά κράματα τιτανίου που χρησιμοποιούνται σε

αεροπορικές εφαρμογές και τα λιγότερο χρησιμοποιήσιμα κράματα τιτανίου αντίστοιχα.

Πίνακας 5.1: Ευρέως χρησιμοποιημένα κράματα τιτανίου σε αεροπορικές εφαρμογές (Engines A., 2002)

Κράμα	Εφαρμογές
Ti6AL4V	Κινητήρες, κράμα υψηλής αντοχής για γενικές χρήσεις
Ti6Al2Sn4Zr2Mo (6-2-4-2)	Κράμα για χρήση σε κινητήρες με μεγάλη αντοχή στον ερπυσμό και στη διάβρωση
Ti6Al2Sn4Zr6Mo (6-2-4-6)	Κράμα για χρήση σε κινητήρες με μεγάλη αντοχή στον ερπυσμό και στη διάβρωση
Ti3Al8V6Cr4Zr4Mo (Beta C)	Κράμα β που χρησιμοποιείται στα ελατήρια
Ti10V2Fe3Al (10-2-3)	Κράμα β σφυρηλατημένο που χρησιμοποιείται στο σύστημα προσγείωσης
Ti15V3Cr3Sn3Al (15-3-3-3)	Φύλλο κράματος β για υψηλής θερμοκρασίας κατεργασίες
Ti3Al2.5V	Κράμα μεσαίας αντοχής που χρησιμοποιείται στους υδραυλικούς σωλήνες
Ti4Al4Mo2Sn (550)	Κράμα υψηλής αντοχής που χρησιμοποιείται στο σκελετό του αεροπλάνου και στους κινητήρες
Ti5.5Al3.5Sn3Zr1Nb (829)	Προηγμένο κράμα για κινητήρες ανθεκτικό στον ερπυσμό και στην οξειδωση
Ti5.8Al4Sn3.5Zr0.7Nb (834)	Προηγμένο κράμα για κινητήρες ανθεκτικό στον ερπυσμό και στην οξειδωση
Ti5Al2Sn4Mo2Zr4Cr (Ti17)	Προηγμένο κράμα για κινητήρες ανθεκτικό στον ερπυσμό και στην οξειδωση
Ti15Mo3Nb3Al0.2Si (21S)	Φύλλο κράματος β ανθεκτικό στην οξειδωση και στη διάβρωση

Πίνακας 5.2:Κράματα αλουμινίου υψηλής σημασίας για αεροπορικές εφαρμογές(Engines A., 2002)

Κράμα	Εφαρμογές
Ti6Al2Zr2Sn2Mo2Cr0.25Si (6.22.22)	Άτρακτος
Ti4.5Al4Mo4Sn0.5Si (SP 700)	Ανταγωνίζεται το Ti6Al4V σε γενικές χρήσεις

Πίνακας 5.3: Λιγότερο διαδεδομένα κράματα τιτανίου στις αεροπορικές εφαρμογές αλλά κρίσιμα για τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται.

Κράμα	Εφαρμογές
Ti2Cu	Φύλλο κράματος για θερμικές κατεργασίες
Ti4Al4Mo4Sn0.5Si (551)	Κράμα υψηλής αντοχής, περιορισμένης διαθεσιμότητας
Ti8Al1Mo1V	Κράμα που χρησιμοποιούταν παλιότερα αλλά τώρα περιορίζεται η χρήση του ως ανταλλακτικό στις αντικαταστάσεις
Ti-6-6-2	Κράμα υψηλής αντοχής
Ti6Al5Zr0.5Mo0.25Si (685)	Κράμα κινητήρα που χρησιμοποιείται κυρίως ως ανταλλακτικό

Κράματα του χάλυβα

Ο χάλυβας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή διαφόρων στοιχείων του αεροπλάνου. Το αεροσκάφος Mig 25 είναι παράδειγμα αεροπλάνου που όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία του είναι κατασκευασμένα από χάλυβα. Κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου, στα τέλη της δεκαετίας του '60, η Σοβιετική Ένωση κατασκεύασε ένα αεροπλάνο που μπορούσε να φτάσει σε ταχύτητα το Mach 3. Το 1973 στο Ισραήλ ένα Mig-25 έφτασε το 3.2 ενώ το πρακτικό όριο ήταν 2.8 εξαιτίας προβλημάτων στο στρόβιλο. Σε αυτές τις συνθήκες η θερμοκρασία στην επιφάνεια είναι σχεδόν 300° C εξαιτίας της αντίστασης του αέρα και γι' αυτό τα κράματα του αλουμινίου θεωρούνταν ακατάλληλα για χρήση. Ιδανική λύση θεωρήθηκε ο χάλυβας με βάση το σίδηρο και το νικέλιο (Maragin steel). Το αεροσκάφος που ήταν κατασκευασμένο από χάλυβα ζύγιζε 29 τόνους (Lopes J., 2008).

Το υψηλό ειδικό βάρος του χάλυβα εμποδίζει την ευρεία χρήση τους στην κατασκευή των αεροπλάνων. Παρόλα αυτά ο χάλυβας χρησιμοποιείται για στοιχεία υψηλής τάσης όπως το σύστημα προσγείωσης, τα στοιχεία των πηδαλίων, τις συνδέσεις της ουράς και της ατράκτου. Παρά το γεγονός πως ο χάλυβας έχει υψηλή αντοχή είναι δύσκολη η διαμόρφωσή του. Για να ξεπεραστούν αυτές οι δυσκολίες ο χάλυβας σιδήρου-νικελίου αναπτύχθηκε

όπου η περιεκτικότητα του άνθρακα μειώθηκε και στοιχεία όπως ο μόλυβδος (Mo), το κοβάλτιο (Co) και το τιτάνιο (Ti) προστέθηκαν. Ο συγκεκριμένος χάλυβας έχει εξαιρετική απόδοση, και καλή αντοχή και αντίσταση σε συνθήκες κρούσης.

5.2.2 Μη μεταλλικά υλικά

Εκτός από τα μέταλλα στην κατασκευή των αεροπλάνων χρησιμοποιούνται και διάφοροι τύποι από διαφανές πλαστικό, ενισχυμένο πλαστικό, σύνθετα υλικά και υλικά από ίνες άνθρακα.

Διαφανή πλαστικά

Τα διαφανή πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στα στέγαστρα των αεροσκαφών, τα παράθυρα και σε άλλα διαφανή τμήματα, χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάλογα με την αντίδρασή τους στη θερμότητα. Είναι τα θερμοπλαστικά και τα θερμοσκυρηνόμενα (mlevel3.com). Τα θερμοπλαστικά υλικά μαλακώνουν όταν θερμαίνονται και σκληραίνουν όταν κρυώνουν. Αυτά τα υλικά μπορεί να θερμανθούν έως ότου λιώσουν, αποκτώντας το επιθυμητό σχήμα και όταν ψύχονται διατηρούν το σχήμα τους. Το ίδιο κομμάτι πλαστικού μπορεί να αναθερμανθεί και να ξανασχηματιστεί πολλές φορές χωρίς να αλλάζει η χημική σύσταση του υλικού. Τα θερμοσκυρηνόμενα πλαστικά σκληραίνουν με τη θέρμανση η αναθέρμανσή τους δεν οδηγεί σε τήξη. Δεν μπορούν να ανασχηματιστούν μετά την πρώτη φορά που θα θερμανθούν.

Τα διαφανή πλαστικά κατασκευάζονται σε δύο μορφές τα μονολιθικά (στερεά) και σε διαβαθμίσεις. Τα πλαστικά με διαβαθμίσεις αποτελούνται από δύο φύλλα στερεού υλικού που συνδέονται με ένα εσωτερικό ελαστικό στρώμα που είναι από το ίδιο υλικό που χρησιμοποιείται στα επίπεδα γυαλιά.

Τα διαφανή με διαβαθμίσεις πλαστικά προσαρμόζονται σε συνθήκες πίεσης στο αεροσκάφος εξαιτίας της αντίστασής τους στα θραύσματα που είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη των στερεών πλαστικών υπό τάση.

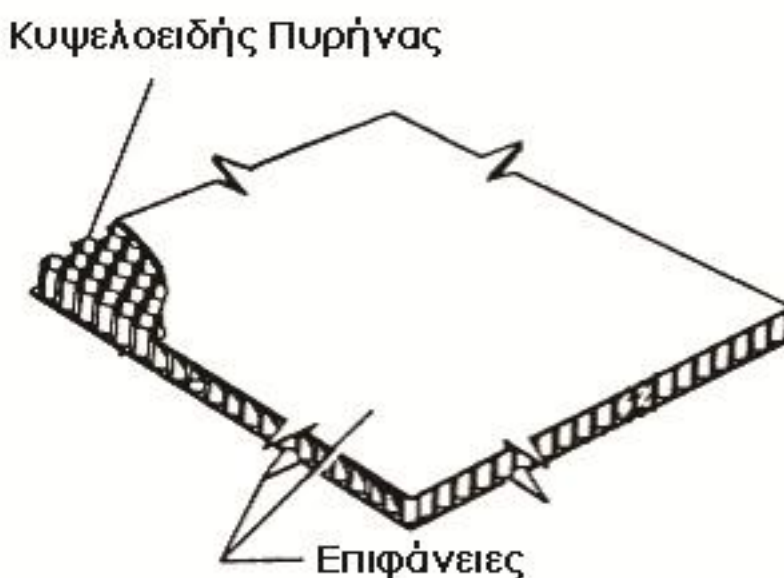
Το ακρυλικό υπό τάση αποτελεί ένα θερμοπλαστικό που περιλαμβάνει τη διαφάνεια, το στερεό το διαμορφωμένο ακρυλικό φύλο υλικού που έχει πολλαπλή αντίσταση θραύσης ως αποτέλεσμα προηγούμενης θερμικής τάνυσης. Κατασκευάζεται από διαμορφωμένα ακρυλικά φύλλα

χρησιμοποιώντας μια τεχνική κατά την οποία το φύλλο θερμαίνεται στη θερμοκρασία σχηματισμού του και στη συνέχεια τανύζεται μηχανικά, έτσι ώστε να αυξηθεί η επιφάνειά του 2 ή τρεις φορές μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο αποτελεσματικά το πάχος του.

Ενισχυμένα Πλαστικά

Τα ενισχυμένα πλαστικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σφαιρικών τμημάτων, ακροπτερυγίων, των άκρων των σταθεροποιητών, των καλυμμάτων κεραίας και στα συστήματα ελέγχου πτήσης. Τα ενισχυμένα πλαστικά έχουν μεγάλο λόγο αντοχής/βάρους και παρουσιάζουν ιδιαίτερη αντίσταση στη διάβρωση (home.iitk.ac.in). Επιπλέον, είναι πολύ εύκολη η κατασκευή τους και για αυτό προτιμώνται και για άλλα μέρη του αεροπλάνου.

Ένα ενισχυμένο πλαστικό έχει δομή της μορφής «σάντουιτς». Αποτελείται από δύο εξωτερικές επιφάνειες στη μέση του οποίου υπάρχει ένα κεντρικό επίπεδο.



Σχήμα 28: Δομή ενισχυμένου πλαστικού (home.iitk.ac.in).

Το κεντρικό στρώμα αποτελείται από μια δομή κυψέλης που κατασκευάζεται από ίνες γυαλιού. Το ενισχυμένο πλαστικό μπορεί να κατασκευαστεί με κυψέλες διαφορετικού μεγέθους.

Η κατασκευή ενισχυμένων αντικολλητών πλαστικών περιλαμβάνει τη χρήση υγρών ρητινών ενισχυμένων με ένα πληρωτικό υλικό. Η ρητίνη με τη σωστή κατεργασία της με καταλύτες μπορεί να αλλάξει σε ένα δύστηκτο στερεό. Τα ενισχυμένα υλικά εμποτίζονται με τη ρητίνη όσο αυτή βρίσκεται στην υγρή της φάση. Τα στρώματα του υλικού συσσωρεύονται και θερμαίνονται κάτω από τις συνθήκες πίεσης σε ένα καλούπι προκειμένου να πάρουν το οριστικό τους σχήμα. (mlevel3.com).

Μια άλλη τεχνική κατασκευής είναι η τεχνική περιέλιξης των νημάτων που στην ουσία, περιελίσσει συνεχώς ένα γυάλινο νήμα ή ταινία, το οποίο είναι εμποτισμένο με ακατέργαστη ρητίνη, πάνω σε ένα περιστρεφόμενο άξονα. Η διαδικασία είναι ίδια και στην περίπτωση των ενισχυμένων υφασμάτων ελασμάτων. Οι ενισχυμένες κυψελίδες με ίνες γυαλιού αποτελούνται από ένα σχετικά πυκνό κεντρικό στρώμα και δυο εξωτερικά ελάσματα που ονομάζονται όψεις. Το υλικό του κεντρικού στρώματος που συνήθως χρησιμοποιείται για την κατασκευή σφαιρικών κομματιών αποτελείται από μια κυψέλη από ίνες γυαλιού εμποτισμένα είτε με πολυεστέρα είτε με εποξική ρητίνη ή ακόμα και με ένα συνδυασμό νάυλον και φαινολικής ρητίνης. Το υλικό αυτό συνήθως κατασκευάζεται σε ομάδες και αργότερα τεμαχίζονται σε λωρίδες με το επιθυμητό πάχος αλλά μπορούν να κατασκευαστούν εξ' αρχής με ένα συγκεκριμένο πάχος.

Οι όψεις αποτελούνται από διάφορα στρώματα με υφάσματα γυαλιού εμποτισμένα και συνδεδεμένα με μια ρητίνη. Κάθε στρώμα υφάσματος τοποθετείται στη θέση του και εμποτίζεται με τη ρητίνη πριν τοποθετηθεί το επόμενο στρώμα. Για το κύριο σώμα των όψεων χρησιμοποιούνται πυκνά υφάσματα με ένα ή περισσότερα στρώματα ομοιόμορφων γραμμών στην επιφάνεια.

Οι ρητίνες είναι πυκνά παχύρρευστα υγρά και ονομάζονται ρητίνες επαφής επειδή απαιτούν πολύ μικρή ή και καθόλου πίεση κατά τη διαμόρφωσή τους. Είναι συνήθως θερμοσκληρυνόμενοι πολυεστέρες ή

εποξικές ρητίνες. Με τη θέρμανσή τους ή με την προσθήκη ενός καταλύτη μπορεί να επιτευχθεί βελτίωσή τους. Επιπλέον σε σημαντική βελτίωση των ιδιοτήτων τους μπορεί να οδηγηθούν με τη σωστή ρύθμιση και ποσότητα του καταλύτη.

Σύνθετα υλικά και υλικά ινών άνθρακα

Τα αεροσκάφη υψηλής απόδοσης απαιτούν υλικά με εξαιρετικά υψηλό λόγο αντοχής-βάρους. Αυτή η ειδική απαίτηση ικανοποιείται με την Παρασκευή σύνθετων υλικών. Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από διαφορετικά στρώματα συνδεδεμένων υλικών (εποξικό γραφίτη ή εποξικό βόριο). Τα υλικά αυτά έχουν καλύτερη μηχανική δομή από τα συμβατικά υλικά.

Ένας άλλος τύπος σύνθετων υλικών είναι και οι επιφάνειες εποξικού γραφίτη που συνδέονται σε κυψελίδες αλουμινίου. Οι ίνες άνθρακα παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αντοχή. Οι λεπτές είναι κατασκευάζονται με θέρμανση των συνθετικών ινών όπως το ρεγίον μέχρι να καούν τελείως και στη συνέχεια τοποθετούνται σε στρώματα σε σταυροειδή μορφή. Περισσότερα για τα συνθετικά υλικά θα αναφερθούν στη συνέχεια.

5.3 Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο θεωρείται ως η πλέον χρήσιμη βιομηχανική πρώτη ύλη εξαιτίας των φυσικών και χημικών του ιδιοτήτων (almaco.com). Το αλουμίνιο αποτελεί μαζί με το οξυγόνο και το πυρίτιο συστατικό του φλοιού της γής. Οι χημικές του ενώσεις δεν υπάρχουν στη φύση και επιπλέον δεν είναι εύκολο να διασπαστούν οπότε η απομόνωσή του καθυστέρησε αρκετά. Η ανακάλυψη και η ευρεία χρήση του ηλεκτρισμού ήταν αυτή που οδήγησε στην ανακάλυψη του αλουμινίου.

Το αλουμίνιο λαμβάνεται από το βωξίτη, ο οποίος μετά την εξόρυξή του μετατρέπεται σε αλουμίνα η οποία μετά από ηλεκτρόλυση μετατρέπεται στο μεταλλικό αλουμίνιο.

Το αλουμίνιο μπορεί να μεταποιηθεί με τη διεργασία της διέλασης, της έλασης, της χύτευσης και με μηχανικά εργαλεία προκειμένου να παραχθούν προϊόντα ή τμήματα διαφορετικών προϊόντων, τα οποία ονομάζονται ημιπροϊόντα. Τα προϊόντα και τα ημιπροϊόντα του αλουμινίου εκτός από την αεροναυπηγική χρησιμοποιούνται και σε μηχανολογικές και ηλεκτρικές εφαρμογές.

Το αλουμίνιο και τα κράματά του έχουν μεγάλη αντοχή συγκριτικά με το βάρος τους και το γεγονός αυτό κάνει το αλουμίνιο ιδανικό υλικό για την κατασκευή μεταφορικών μέσων λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται. Το αλουμίνιο είναι αδιάβρωτο στους καιρικούς παράγοντες και δίνει μοναδικές λύσεις εκτός από την αεροναυπηγική και στην αρχιτεκτονική των κτιρίων.

Το αλουμίνιο έχει μεγάλη ποικιλία κραμάτων. Το κατάλληλο κράμα μπορεί να επιλεγεί με τη χρήση του τελικού προϊόντος και τις ιδιαίτερες απαιτήσεις, καθώς και από την μέθοδο της παραγωγικής επεξεργασίας. Η δυνατότητα που έχει το αλουμίνιο να πετυχαίνει διαφορετικές ιδιότητες για να καλύψει τις ειδικές απαιτήσεις οφείλεται στην ευκολία με την οποία κραματοποιείται. Προσθέτοντας μικρές ποσότητες κραματικών στοιχείων όπως ο χαλκός, το μαγνήσιο, το πυρίτιο, το μαγγάνιο και τον ψευδάργυρο μπορεί να επιτευχθεί πρώτη ύλη αλουμινίου με τις επιθυμητές ιδιότητες κάθε προϊόντος (almaco.com).

Κάθε τελικό προϊόν που παράγεται από αλουμίνιο έχει τελικές ιδιότητες ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο κράμα, τη μέθοδο επεξεργασίας του (μηχανική πλαστική διαμόρφωση ή χύτευση) και τις θερμικές κατεργασίες που θα υποστεί. Το αλουμίνιο και τα κράματα του διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: σε εκείνα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χυτών αντικειμένων και σε εκείνα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προϊόντων έλασης, διέλασης, ολκής κτλ.).

5.3.1 Κράματα χυτών

Σε αντίθεση με τα κράματα διαμόρφωσης τα κράματα χύτευσης περιέχουν μεγάλες ποσότητες κραματικών στοιχείων. Η μεγάλη περιεκτικότητα των κραματικών στοιχείων προκαλεί μια ετερογενή δομή που

μπορεί να προκαλέσει τη ρωγμή του χυτού σε συνθήκες φόρτισης όταν στην ετερογενή δομή υπάρχουν εύθραυστα υλικά.

Όταν η ετερογενής δομή είναι μεγάλη το κράμα δεν καλή αντοχή στην κόπωση γεγονός που αντιμετωπίζεται με τη χρήση καλών και χυτευτικών διεργασιών.

Τα περισσότερα χυτά έχουν μικρότερη επιμύκηση και αντοχή στην κόπωση από τα κατεργάσιμα προϊόντα γεγονός που οφείλεται στο ότι οι τεχνικές χύτευσης δεν είναι ακόμα κατάλληλες για να προλάβουν τα σφάλματα της διεργασίας.

2xx.x Κράματα Al-Cu

Τα συγκεκριμένα κράματα μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία και χυτεύονται σε μεταλλικό καλούπι. Παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε υψηλές θερμοκρασίες ενώ μερικά από τα κράματα της σειράς παρουσιάζουν αντοχή στην κάμψη. Τα αντιπροσωπευτικά κράματα της σειράς είναι τα 201.0 και 203.0.

Από τα κράματα της σειράς το πιο ανθεκτικό κράμα είναι το λεγόμενο ντουραλουμίνιο (201.0/AlCu4Ti) που μπορεί να υποστεί θερμική επεξεργασία. Η χύτευση του ντουραλουμινίου περιορίζεται επειδή κατά τη διάρκειά της σχηματίζονται μικροπορώδεις και θερμές σταγόνες και γι' αυτό χρησιμοποιείται για επενδυμένα κελύφη. Επιπλέον, επειδή παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε κάμψη χρησιμοποιείται και στην κατασκευή αεροσκαφών.

3xx.x Κράματα Al-Si με Cu ή Mg

Τα κράματα της τρίτης σειράς μπορούν να χυτευτούν σε μεταλλικό καλούπι και σε χυτοπρέσσα. Είναι εξαιρετικά εύκολα στη χύτευση με υψηλή αντοχή και πολλά έχουν εξαιρετική αντοχή σε κάμψη. Αντιπροσωπευτικά κράματα της σειράς είναι τα 356.0, A356.0, 359.0 και A360.0. Τα κράματα της συγκεκριμένης σειράς είναι εξαιρετικά ελαστικά εξαιτίας του υψηλού ποσοστού πυριτίου που περιέχουν αλλά είναι και εύκολα στη χύτευση γι' αυτό είναι και πιο διαδεδομένα κράματα του αλουμινίου. Επιπλέον, μετά από θερμική κατεργασία τα συγκεκριμένα κράματα παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλή αντοχή.

Η συγκεκριμένη σειρά κραμάτων μπορεί να χυτευτεί με χυτοπρέσσα και με πολύπλοκα μεταλλικά καλούπια.

4xx.x Κράματα Al-Si

Τα συγκεκριμένα κράματα δεν μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία. Μπορούν όμως να χυτευτούν σε μεταλλικά καλούπια και χυτοπρέσσα και παρουσιάζουν πολύ καλή χυτευσιμότητα ακόμα και για περίπλοκα χυτά. Τα πιο αντιπροσωπευτικά κράματα της σειράς είναι το 413.0 και το 443.0.

Το πιο γνωστό κράμα της σειράς είναι το B413.0/AlSi12 το οποίο είναι ιδιαίτερα εύτηκτο και έχει χαμηλό σημείο τήξης και για αυτό χυτεύεται και συγκολλάται ικανοποιητικά. Επιπλέον έχει μέτρια αντοχή και μεγάλη επιμύκνωση και πολύ καλή αντίσταση στη διάβρωση. Προτιμάται για εφαρμογές όπου απαιτούνται πολύπλοκες διατομές και καλή αντοχή στην κόπωση.

5.3.2 Κράματα Διαμόρφωσης

Τα κράματα διαμόρφωσης προσδιορίζονται από το πρότυπο EN 573 και χαρακτηρίζονται από τη χημική τους σύσταση βάσει διεθνώς αποδεκτού συστήματος που χρησιμοποιεί τέσσερις αριθμούς. Το πρώτο από τα τέσσερα ψηφία δείχνει την ομάδα κράματος σύμφωνα με τη μεγαλύτερη αναλογία του κυρίου στοιχείου.

1xxxΚαθαρό Αλουμίνιο

Το καθαρό αλουμίνιο υφίσταται σκλήρυνση με ενδοτράχυνση, διαμορφώνεται πολύ εύκολα, παρουσιάζει καλή αντοχή στη διάβρωση και καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρικές και χημικές εφαρμογές και οι αντιπροσωπευτικές σειρές είναι τα κράματα 1100 και 1350.

Η σειρά 1xxx αντιπροσωπεύει το εμπορικά καθαρό αλουμίνιο από το βασικό 1100 (99% Al) μέχρι τα καθαρότερα κράματα 1050/1350 (99.50% Al) και 1175 (99.75%). Η σειρά 1xxx δεν ενδείκνυται για εφαρμογές αεροναυπηγικής όπου ως βασικό στοιχείο σχεδιασμού είναι η αντοχή.

2xxx Κράματα Al-Cu

Τα κράματα της σειράς 2xxxαποτελούνται από αλουμίνιο και χαλκό. Τα συγκεκριμένα κράματα υφίστανται θερμική κατεργασία, παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος όπως και σε μεγάλες θερμοκρασίες. Τα πλέον αντιπροσωπευτικά κράματα της σειράς είναι το 2014, 2017, 2024, 2219, 2195.

Η σειρά 2xxx συνδυάζει υψηλή αντοχή ειδικά σε κάποια κράματα σε υψηλή θερμοκρασία. Η συγκεκριμένη σειρά δεν έχει καλή αντίσταση στη διάβρωση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και γι αυτό για τις χρήσεις της επενδύεται ή βάφεται κατάλληλα. Τα κράματα της σειράς 2XXX κυρίως χρησιμοποιούνται για αεροσκάφη ειδικά το 2024. Κάποια ειδικά κράματα της σειράς αυτής όπως το 2219 και το 2048 υφίσταται συγκόλληση και χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη όπου η συγκόλληση είναι μέθοδος που προτιμάται στα αεροσκάφη. Για τις βίδες και τις ροδέλες χρησιμοποιούνται τα κράματα 2011, 2017 και 2117 χρησιμοποιούνται σε ροδέλες και βίδες στα αεροσκάφη. Τα κράματα 2124, 2324, 2419 παρουσιάζουν υψηλή ακαμψία και και σε αυτά επιτυγχάνεται καλύτερος έλεγχος των ακαθαρσιών στις οποίες οφείλεται η μείωση της αντοχής τους.

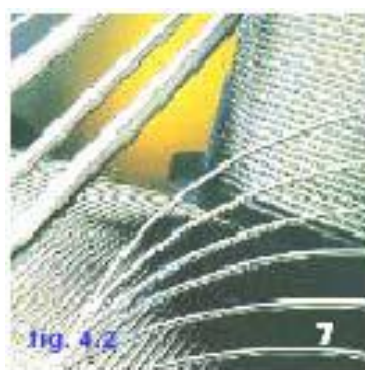
3xxx Κράματα Al-Mn

Τα κράματα Αλουμινίου-Μαγγανίου (Al-Mn) διαμορφώνονται πολύ εύκολα, παρουσιάζουν καλή αντοχή στη διάβρωση και αντιδρούν πολύ καλά στη συγκόλληση. Τα αντιπροσωπευτικά κράματα της σειράς είναι τα 3003,3004 και 3005 και χρησιμοποιούνται για αγωγούς μεταφοράς θερμότητας και σε εφαρμογές στέγης και πλαϊνών τοίχων.

Η συγκεκριμένη σειρά έχει εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση και πολύ καλή συμπεριφορά στη συγκόληση. Τα κράματα αυτά δεν χρησιμοποιούνται στην αεροναυπηγική.

4xxx Κράματα Al-Si

Τα κράματα της τέταρτης σειράς μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία, καλά χαρακτηριστικά ροής και μέτρια αντοχή. Αντιπροσωπευτικά κράματα της σειράς είναι το 4032 και το 4043 που χρησιμοποιείται στα ηλεκτρόδια. Το 4032 είναι ένα μέτριας προς υψηλής αντοχής κράμα, το οποίο χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως πιστόνια αεροσκαφών.



Σχήμα 29: Κράμα 4043

5xxx Κράματα Al-Mg

Τα κράματα της πέμπτης σειράς σκληραίνουν με τη διεργασία της σκληροτράχυνσης και παρουσιάζουν καλή αντίσταση στη διάβρωση, καλή συγκολλησιμότητα και δυσκαμψία και γενικά θεωρούνται κράματα ενδιάμεσης αντοχής. Τα αντιπροσωπευτικά κράματα της σειράς είναι τα 5052, 5083 και 5754 και βρίσκουν εφαρμογές κυρίως σε κατασκευές. Τα κράματα αυτά επηρεάζονται από την περιεκτικότητα του μαγνησίου. Ειδικά τα κράματα με $Mg > 3\%$ αποφεύγεται να χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές στα αεροπλάνα όπου οι θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες των $100^{\circ}C$ δεδομένου ότι καθίστανται ευάλωτα στη διάβρωση.

6xxx Κράματα Al-Mg-Si

Τα κράματα της σειράς 6xxx μπορούν να υποστούν θερμική κατεργασία, παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στη διάβρωση και εξαιρετική ολκιμότητα. Τα αντιπροσωπευτικά κράματα της σειράς είναι τα 6061, 6063 και 6111. Τα συγκεκριμένα κράματα συγκολλούνται εύκολα και υπόκεινται εύκολα σε διέλαση και για αυτό θεωρούνται ιδανικά για κατασκευαστικές εφαρμογές. Στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιείται το κράμα 6063 λόγω της ικανότητας του για διέλαση.

7xxx Κράματα Al-Zn

Τα κράματα της σειράς αυτής υφίστανται θερμική κατεργασία και μεταξύ των διαφόρων κραμάτων οι τύποι Al-Zn-Mg-Cu έχουν τις μεγαλύτερες αντοχές ανάμεσα στα κράματα αλουμινίου. Τα περισσότερα κράματα της σειράς παράγονται για την εξαιρετική τους ακαμψία και κυρίως τα 7150 και 7145 ελέγχουν ικανοποιητικά το επίπεδο ακαθαρσιών τους και συνδυάζουν ικανοποιητικά την αντοχή και την ακαμψία.

Τα κράματα της έβδομης σειράς χρησιμοποιούνται από την αρχή της ανακάλυψής τους στη βιομηχανία αεροσκαφών αφού για την κατασκευή των αεροπλάνων χρειάζονται μεγάλες τιμές ακαμψίας. Τα συγκεκριμένα κράματα δεν συγκολλούνται με κοινές μεθόδους και χρησιμοποιούνται σε κατασκευές με πριτσίνια.

Η αντίστασή τους στην ατμοσφαιρική διάβρωση είναι μικρότερη από την αντοχή των κραμάτων της σειράς 5xxx και 6xxx οπότε στις εφαρμογές τους επενδύονται εξωτερικά ή χρησιμοποιούνται επαλουμινωμένα.

8xxx Κράματα Αλουμινίου με άλλα στοιχεία

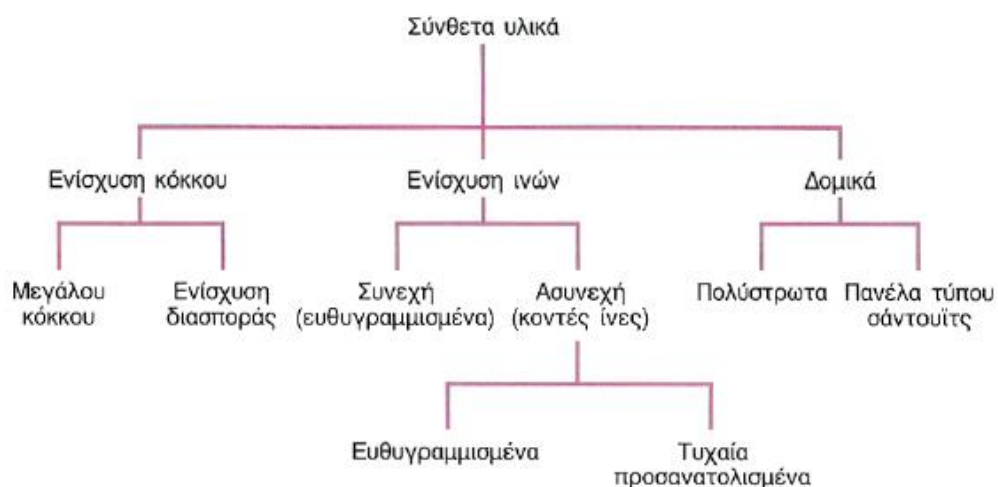
Τα κράματα της όγδοης σειράς υφίστανται θερμική κατεργασία, έχουν μεγάλη αντοχή, αγωγιμότητα και σκληρότητα. Τα πιο αντιπροσωπευτικά κράματα της σειράς είναι τα 8017, 8176, 8081, 8280 και 8090 που μπορούν να εφαρμοστούν σε ηλεκτρικές αλλά και αεροδιαστημικές εφαρμογές.

Η όγδοη σειρά κραμάτων αλουμινίου είναι αποτελεί τα κράματα με τα λιγότερα κραματικά στοιχεία Fe, Ni και Li. Ο σίδηρος και το νικέλιο παρέχουν αντοχή με πολύ μικρή απώλεια ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενώ το Li στο 8090 παρέχει μεγάλη αντοχή και μέτρο ελαστικότητας και γι' αυτό χρησιμοποιείται για αεροδιαστημικές εφαρμογές.

5.4 Σύνθετα Υλικά

Όπως ήδη αναφέρθηκε η ελαχιστοποίηση του βάρους των αεροσκαφών αποτελεί ένα από τα βασικά κριτήρια επιλογής υλικών. Ακόμα όμως και αν η επιλογή ενός υλικού για τα αεροσκάφη επιφέρει σοβαρά πλεονεκτήματα δεν πρέπει η επιλογή του να εξετάζεται ανεξάρτητα από το κόστος (Baker A., Dutton S., Kelly D, 2004). Ένα άλλο βασικό στοιχείο στην επιλογή υλικών για εφαρμογή σε αεροσκάφη είναι ότι δεν θα υπάρχουν εκπτώσεις ως προς τις απαιτήσεις ασφαλείας σε σχέση με ό,τι ισχύει στα συμβατικά κράματα. Η διατήρηση υψηλής αντοχής των υλικών παρουσία διαφορετικών συνθηκών είναι ένα άλλο κριτήριο που δεν θα πρέπει να αγνοηθεί.

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από δύο τουλάχιστον διακριτά συστατικά. Το ένα από αυτά προσδίδει στο σύνθετο κατά πολύ βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες και αποτελεί το συστατικό ενίσχυσης. Το δεύτερο συστατικό έχει μικρή πυκνότητα και αξιοποιεί στο μέγιστο τις ιδιότητες ενίσχυσης και ονομάζεται μήτρα. Τα σύνθετα υλικά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το συστατικό ενίσχυσης τους: στα σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών, στα σύνθετα υλικά με ενίσχυση σωματιδίων/κόκκου και στα δομικά/ στρωματικά σύνθετα υλικά (Παντελής Ι.Δ., 2008).



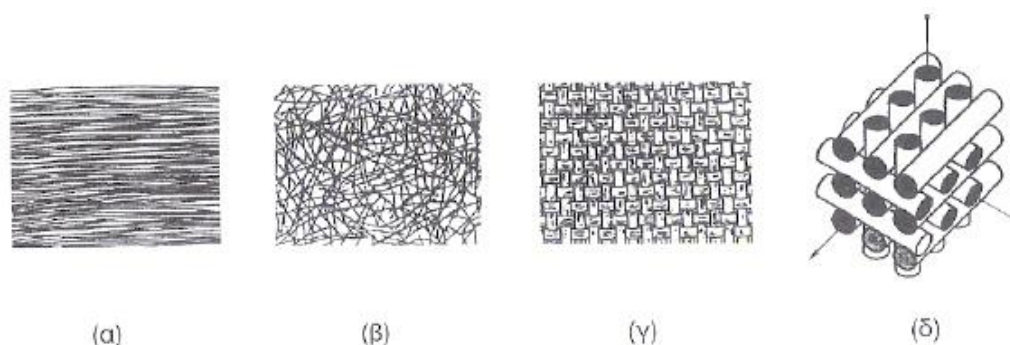
Σχήμα 30: Ταξινόμηση των Σύνθετων Υλικών (Callister W.D., 2004)

Τα σύνθετα υλικά με ενίσχυση κόκκου μπορεί να είναι υλικά μεγάλου κόκκου ή υλικά με ενίσχυση διασποράς. Τα υλικά με ενίσχυση ινών διακρίνονται σε συνεχή, στα οποία έχουν τις ίνες ευθυγραμμισμένες και σε ασυνεχή στα οποία οι ίνες είναι κοντές. Τέλος τα δομικά υλικά μπορούν να διακριθούν σε πολύστρωτα και σε υλικά τύπου σάντουιτς.

5.4.1 Σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών

Η μηχανική αντοχή των σύνθετων δεν ισούται πάντα με τον μέσο όρο των αντοχών των δύο συστατικών. Εξαρτάται από το υλικό ενίσχυσης, το υλικό της μήτρας, τη μηχανική συμπεριφορά των δύο αυτών υλικών όπως επίσης και από το πόσο καλή συνάφεια παρουσιάζει η ίνα με τη μήτρα. Μια ακόμα σημαντική παράμετρος για την αντοχή των σύνθετων υλικών είναι η κατ' όγκο αναλογία των ινών και ο προσανατολισμός τους σε σχέση με την επιβαλλόμενη τάση.

Η ταξινόμηση των σύνθετων υλικών με ίνες γίνεται με βάση τον προσανατολισμό τους και τη διάταξη τους στη μάζα της μήτρας, γεγονός που αποδεικνύει πόσο σπουδαίο ρόλο στα σύνθετα υλικά παίζουν οι ίνες. Τα συγκεκριμένα υλικά μπορεί να είναι: μονοδιευθυντικά όπου οι ίνες είναι προσανατολισμένες στην ίδια διεύθυνση και πολυδιευθυντικά όπου οι ίνες είναι προσανατολισμένες σε διαφορετικές διευθύνσεις. Τα πολυδιευθυντικά σύνθετα διακρίνονται σε υλικά όπου οι ίνες έχουν τυχαίες διευθύνσεις, σχηματίζουν πλέξη ύφανσης ή έχουν τρισσορθογώνια ύφανση.



Σχήμα 31: α) Μονοδιευθυντικές ίνες, β) ίνες με άτακτη διάταξη, γ) πλέξη ύφανσης, δ) ίνες σε τρισδιάστατη πλέξη (Παντελής Δ.Ι, 2008).

Ο λόγος μήκους /διάμετρο μιας ίνας παίζει σημαντικό ρόλο στο χαρακτηρισμό της. Ίνες με λόγο μεγάλο (>100) χαρακτηρίζονται ως συνεχείς ενώ, ίνες με μικρό λόγο (<100) χαρακτηρίζονται ως ασυνεχείς. Οι λεπτοί μονοκρυσταλλοί ενός κεραμικού υλικού αποτελούν τους τριχίτες (whiskers). Οι κοντές ή ασυνεχείς ίνες συνήθως εμφανίζονται με τη μορφή πλέγματος ινών τυχαίας διεύθυνσης. Η μηχανική συμπεριφορά ενός σύνθετου υλικού με ενίσχυση ινών εξαρτάται άμεσα από το μήκος τους. (Παντελής Δ.Ι., 2008).

Όταν παράλληλα προς τις ίνες εφαρμόζεται εφελκυστική ή θλιπτική τάση αν ο δεσμός μεταξύ ίνας και μήτρας είναι ισχυρός τότε και η ίνα και η μήτρα δέχονται την ίδια παραμόρφωση. Αν όμως το μέτρο ελαστικότητας της ίνας είναι μεγαλύτερο από το μέτρο ελαστικότητας της μήτρας τότε οι ίνες δέχονται μεγαλύτερες τάσεις.

5.4.2 Σύνθετα υλικά με ενίσχυση σωματιδίων

Στα συγκεκριμένα σύνθετα υλικά το υλικό ενίσχυσης είναι σωματίδια σφαιρικού κυρίως μεγέθους. Κατατάσσονται ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων σε σύνθετα υλικά με ενίσχυση σωματιδίων μεγάλου μεγέθους και σε υλικά με ενίσχυση μικρών σωματιδίων σε διασπορά.

Τα σύνθετα υλικά με ενίσχυση σωματιδίων μεγάλου μεγέθους (particulate composites) έχουν σωματίδια λίγων μm και η περιεκτικότητά τους στο υλικό είναι 60-90%. Στα σύνθετα με ενίσχυση μικρών σωματιδίων σε διασπορά η ενισχυτική φάση είναι συνήθως οξείδια που περιέχονται σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 15%κ.ο. Η διάμετρος των σωματιδίων δεν ξεπερνά τα 0.1 μm . Η σταθερότητα της μήτρας πετυχαίνεται με την παρεμπόδιση της κίνησης των διαταραχών μέσω των σωματιδίων ενίσχυσης.

Τα συγκεκριμένα σύνθετα υλικά είναι λιγότερο ανθεκτικά από τα σύνθετα με ενίσχυση ινών. Τα σωματίδια ενισχύουν σε μικρότερο βαθμό την αντοχή του σύνθετου υλικού από τις ίνες. Τα υλικά με ενίσχυση σωματιδίων έχουν πολύ καλύτερη αντοχή σε φθορά και τριβή ενώ επιπλέον είναι και φθηνότερα.

Πίνακας 5.4: Κύρια σύνθετα υλικά με ενίσχυση σωματιδίων

Μήτρα	Ενίσχυση	Εφαρμογές
Ag	CaO	Ηλεκτρικές επαφές υλικών
Al	Al ₂ O ₃	Πυρηνικοί Αντιδραστήρες
Be	BeO	Αεροπορικές & Πυρηνικές εφαρμογές
Co	ThO ₂ , Y ₂ O ₃	Μαγνητικά υλικά αντοχής στον ερπυσμό
Ni-20%Cr	ThO ₂	Μέρη κινητήρων μηχανών
Pb	PbO	Πλέγματα μπαταριών
Pt	ThO ₂	Νήματα, μέρη ηλεκτρικών συσκευών
W	ThO ₂ , ZrO ₂	Νήματα, Μέρη θερμαντικών σωμάτων
Co	WC	Αντιτριβικές εφαρμογές, κοπτικά εργαλεία

5.4.3 Στρωματικά Σύνθετα Υλικά (laminar composites)

Τα σύνθετα υλικά αυτής της κατηγορίας συμπεριλαμβάνουν μεγάλη ποικιλία υλικών διαταγμένα σε διαδοχικές στρώσεις προκειμένου να επιτευχθεί το τελικό προϊόν. Τα στρωματικά σύνθετα υλικά διακρίνονται στα υλικά μικρού και μεγάλου πάχους (thin and thick coatings), στα διμεταλλικά (bimetallics), στα πολυστρωματικά (multilayers) και στα υλικά sandwich.

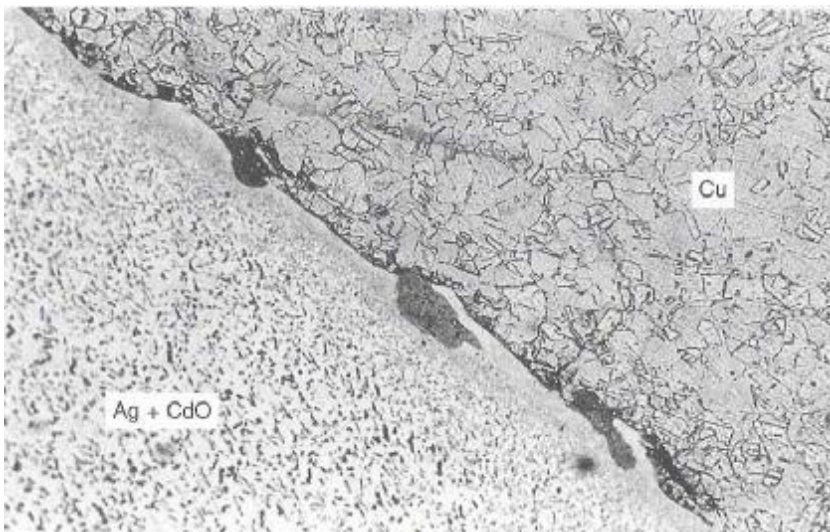
Επιστρωμένα Υλικά

Η δημιουργία επιστρωμάτων ενδείκνυται στις περιπτώσεις που η κατασκευή εξ' ολοκλήρου από υλικά ενίσχυσης είναι ασύμφορη ή σε περιπτώσεις όπου απαιτείται το κύριο μέρος της κατασκευής να έχει διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες από την επιφάνεια.

Το επιστρωμα προσφέρει ενίσχυση στην επιφάνεια του υλικού και προσδίδει βελτιωμένη αντοχή στη διάβρωση του υποστρώματος όπως επίσης και στην φθορά από τριβή.

Διμεταλλικά Υλικά

Σε αντίθεση με τα επιστρωμένα υλικά στα οποία το επίστρωμα έχει μικρότερο πάχος από το υπόστρωμα, στα διμεταλλικά υλικά επίστρωμα και στρώμα έχουν το ίδιο πάχος. Οι δύο στρώσεις συνδέονται με συνέλαση, συγκόληση και συνδιέλαση σχηματίζοντας το διμεταλλικό υλικό. Η καλή πρόσφυση των δύο στρώσεων επιτυγχάνεται με την ανακατάταξη και την αναδιευθέτηση των ατόμων των δύο κρυσταλλικών πλεγμάτων που συμβαίνει στη διεπιφάνεια του σύνθετου υλικού.

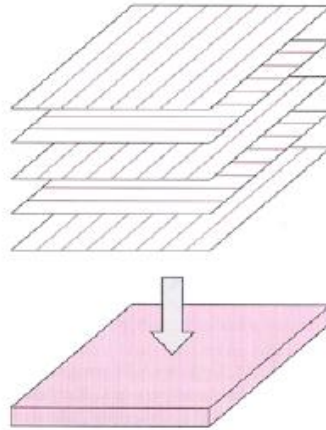


Σχήμα 32: Διεπιφάνεια διμεταλλικού υλικού ελασμάτων αργύρου με διασπορά σωματιδίων Cd και Cu (Παντελής Δ.Ι., 2008)

Η κύρια εφαρμογή των διμεταλλικών υλικών είναι η μέτρηση και ο έλεγχος της θερμοκρασίας. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής παρουσιάζει μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις δύο στρώσεις και απαιτεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία των διμεταλλικών υλικών(Παρασκευάς Δ.Ι., 2008).

Πολύστρωτα και υλικά τύπου *sandwich*

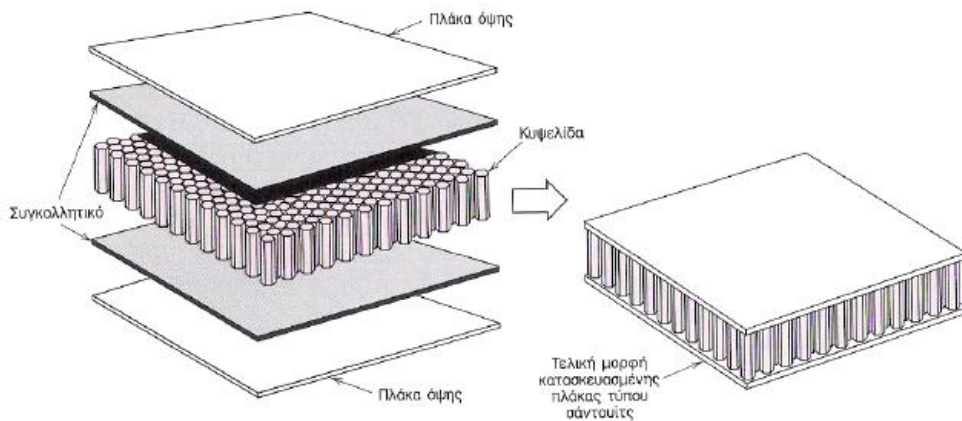
Τα πολύστρωτα υλικά μπορούν να δημιουργηθούν με την επανάληψη ενός διστρωματικού υλικού με ορισμένο πάχος. Το πάχος του διστρωματικού υλικού ονομάζεται περίοδος και μπορεί να ποικίλει από μερικά νανόμετρα έως δέκατα του χιλιοστού.



Σχήμα 33: Πολύστρωτο υλικό με διαδοχικές προσανατολισμένες στρώσεις ενισχυμένων υλικών με ίνες (Callister W.D, 2004).

Τα σύνθετα πολύστρωτα υλικά μπορούν να δημιουργηθούν από συνδυασμό μετάλλου-κεραμικού, μετάλλου-γυαλιού, μετάλλου – πολυμερούς όπως επίσης και με το συνδυασμό μετάλλων που παρουσιάζουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες.

Τα υλικά τύπου sandwich προκύπτουν από τη σύνδεση, κόλληση ή συγκόλληση δύο λεπτών επιφανειών με μεγάλες μηχανικές ιδιότητες πάνω στη βάση ενός ελαφρού υλικού με χαμηλές μηχανικές ιδιότητες που ονομάζεται υλικό πλήρωσης. Το υλικό πλήρωσης εξασφαλίζει την απόσταση μεταξύ των επιφανειών. Ως υλικό πλήρωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα αφρώδες πολυμερές ή ένα ελαφρό μέταλλο με γεωμετρία κυψέλης. Τα πτερύγια, ο σκελετός των αεροπλάνων και οι επικαλύψεις των οπισθοπτερυγίων κατασκευάζονται από αυτά τα υλικά.



Σχήμα 34: Σχηματισμός πλάκας τύπου sandwich (Gallister W.D.,2004)

5.4.4 Θερμοπλαστικά Σύνθετα Υλικά

Τις τελευταίες δεκαετίες τα σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας θερμοσκληρυνόμενες μήτρες (scholar.lib). Τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση των θερμοσκληρικών περιλαμβάνουν τη ψαθυρότητα, τους χρονοβόρους κύκλους συντήρησης και την ανικανότητα της επισκευής ή ανακύκλωσης των κατεστραμμένων ή φθαρμένων τμημάτων. Αυτά τα μειονεκτήματα οδηγούν στην ανάπτυξη των συστημάτων σύνθετων υλικών με θερμοπλαστική μήτρα. Συγκριτικά με τα θερμοσκληρικά υλικά, τα σύνθετα υλικά με θερμοπλαστικές μήτρες παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μεγαλύτερη αντοχή, εδραιώνονται πιο γρήγορα και διατηρούν την ικανότητα να επισκευάζονται, να ανασχηματίζονται και να ξαναχρησιμοποιούνται όταν χρειάζεται.

Όμως, όπως στα περισσότερα πολυμερικά σύνθετα υλικά, αυτά τα υλικά συχνά παρουσιάζουν ελλιπή συγκόλληση ίνας –μήτρας. Επιπλέον, η χρήση των θερμοπλαστικών παρουσιάζει το πρόβλημα της επαρκούς ρυμούλκησης διεύθυνσης της ίνας. Η τήξη του θερμοπλαστικού, αντίθετα με τις θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες έχει σημαντικά υψηλότερο ιξώδες. Επιπρόσθετα προβλήματα προκαλούνται από μεγάλο ιξώδες μήτρας κατά τη διάρκεια της ενοποίησης που περιλαμβάνει τη μη ευθυγράμμιση των ενισχυτικών ινών κατά την ενοποίηση όπως επίσης και την εισαγωγή οπών στο τελικό σύνθετο υλικό.

5.4.5 Σύνθετα υλικά με μήτρα αλουμινίου

Όπως ήδη αναφέρθηκε τα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται σε προηγμένες εφαρμογές εξαιτίας του συνδυασμού μεγάλης αντοχής, χαμηλής πυκνότητας, διάρκεια, διαθεσιμότητα και το χαμηλό κόστος τους σε σχέση με τα συμβατικά μεταλλικά υλικά. Παρόλα αυτά οι ιδιότητες του αλουμινίου μπορούν να επεκταθούν με τη χρήση σύνθετων υλικών με μήτρα αλουμινίου. Τα σύνθετα υλικά με μήτρα αλουμινίου μπορούν να οριστούν με τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Είναι τεχνητά
- Αποτελούν συνδυασμό τουλάχιστον δύο χημικά διακριτών υλικών (το ένα είναι αλουμίνιο) με διακριτή διεπιφάνεια που χωρίζει τα συστατικά τους.
- Τα χωριστά υλικά συνδυάζονται τρισδιάστατα
- Δίνουν ιδιότητες που μόνα τους τα υλικά που τα αποτελούν δεν τις δίνουν.

Ο παραπάνω ορισμός των ιδιοτήτων διαχωρίζει τα σύνθετα υλικά με μήτρα αλουμινίου από τα κράματα αλουμινίου. Τα σύνθετα υλικά με μήτρα αλουμινίου επιτυγχάνονται μέσω του έλεγχου των φυσικών φάσεων μετασχηματισμού κατά τη διεργασία της στερεοποίησης ή της θερμομηχανικής διεργασίας.

Τα σύνθετα υλικά με μήτρα αλουμινίου μπορούν να προσφέρουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συγκριτικά με τα μη ενισχυμένα κράματα αλουμινίου, τα σύνθετα πολυμερικής μήτρας και τα σύνθετα κεραμικής μήτρας.

Τα σύνθετα υλικά αλουμινίου μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορους τύπους ανάλογα με τη γεωμετρία της ενίσχυσης.

Το βασικό πλεονέκτημα των σύνθετων υλικών με μήτρα αλουμινίου είναι ο έλεγχος και η ενίσχυση των διεπιφανειών ανάμεσα στη μήτρα αλουμινίου και τη φάση ενίσχυσης. Τα τρία βασικά στοιχεία είναι:

- Είναι απαραίτητη η καλή ύγρανση για τη διευκόλυνση της κατασκευής ειδικά όταν η μέθοδος παρασκευής είναι η τεχνική υγρή κατάστασης σε χαμηλή πίεση.
- Οι διεπιφανειακές αντιδράσεις ανάμεσα στη μήτρα και την ενίσχυση θα πρέπει να είναι περιορισμένες προκειμένου να αποφευχθεί η υποβάθμιση της ενίσχυσης και ο σχηματισμός των νέων ψαθυρών φάσεων.
- Απαιτείται ένας σωστός δεσμός για να μεταφερθεί η επιθυμητή ιδιότητα.

Για τα κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται ως μήτρα, η ύγρανση μπορεί να βελτιωθεί από μια χημική αντίδραση με την ενίσχυση η οποία θα μειώσει τη διεπιφανειακή ενέργεια. Επίσης η συμπεριφορά ύγρανσης μπορεί να βελτιωθεί από τη διάσπαση τους οξειδίου που βρίσκεται στην επιφάνεια του υγρού αλουμινίου. Η ύγρανση από τα υγρά κράματα αλουμινίου επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως:

- Η θερμοκρασία: καλύτερη ύγρανση επιτυγχάνεται σε υψηλές θερμοκρασίες
- Ο χρόνος επαφής: η ύγρανση επιτυγχάνεται σε μεγάλους χρόνους επαφής
- Η πίεση της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας: σε συνθήκες κενού τα προσροφημένα αέρια μετακινούνται και βελτιώνουν την ύγρανση.

5.5 Σύγκριση μεταλλικών και σύνθετων υλικών

Οι απαιτήσεις που ικανοποιούνται από την επιλογή των υλικών εφαρμόζονται τόσο στα μέταλλα όσο και στα ενισχυμένα πλαστικά. Τα σύνθετα υλικά προσφέρουν σημαντική μείωση βάρους στην κατασκευή συγκριτικά με τα μέταλλα. Τα συνθετικά υλικά μπορούν να δώσουν 25-45% ελαφρύτερες κατασκευές σε σχέση με το συμβατικό αλουμίνιο που σχεδιάζεται για να καλύψει τις ίδιες απαιτήσεις. Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη χαμηλότερη πυκνότητα των σύνθετων υλικών. Οι πυκνότητες των σύνθετων

υλικών εξαρτώνται από το σχήμα των υλικών και κυμαίνονται από 0.02 έως 0.03 kg/m³ συγκριτικά με τα 0.4kg/m³ που ισχύει για το αλουμίνιο. Μερικές εφαρμογές μπορεί να απαιτούν παχύτερα τμήματα σύνθετων υλικών ούτως ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του λόγου αντοχής /ακαμψία χωρίς αυτό να επηρεάζει τη μείωση του βάρους που επιτυγχάνεται από τη χρήση των σύνθετων υλικών (Padey P.C., 2004).

Τα σύνθετα υλικά με ενίσχυση ίνες σε διάφορες κατευθύνσεις ειδική αντοχή σε εφελκυσμό, δηλαδή λόγο της τάσης του υλικού προς την πυκνότητά του, τέσσερις με πέντε φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το χάλυβα και το αλουμίνιο.

Τα σύνθετα υλικά με τυχαίο προσανατολισμό έχουν ειδικό συντελεστή, λόγο ακαμψίας προς πυκνότητα τρεις ή πέντε φορές μεγαλύτερο από του χάλυβα και του αλουμινίου.

Το όριο αντοχής σε κόπωση των σύνθετων υλικών μπορεί να φτάσει στο 60% της τάσης εφελκυσμού τους, τιμή που είναι κατά πολύ μικρότερη σε σχέση με το αλουμίνιο και το χάλυβα.

Τα σύνθετα υλικά είναι πιο ευπροσάρμοστα συγκριτικά με τα μέταλλα και μπορούν να ανταποκριθούν ευκολότερα στις απαιτήσεις της απόδοσης και σε σύνθετους σχεδιασμούς όπως είναι το αερολαστικό φορτίο στα φτερά και οι κάθετοι και οριζόντιοι σταθεροποιητές στο αεροπλάνο.

Τα σύνθετα ενισχυμένα με ίνες υλικά σχεδιάζονται με εξαιρετικά χαρακτηριστικά δομικής απόσβεσης. Ως τέτοια είναι αθόρυβα και παρουσιάζουν λιγότερες δονήσεις από τα μέταλλα. Επιπλέον η μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση των σύνθετων υλικών που είναι ενισχυμένα με ίνες συνεισφέρει στη μείωση του κόστους της διάρκειας ζωής.

Τέλος τα σύνθετα υλικά έχουν λιγότερο κατασκευαστικό κόστος αφού η χρήση τους μειώνει σημαντικά το μεγάλο αριθμό λεπτομερών τμημάτων και των ακριβών συνδέσμων που απαιτούνται για τη σύνδεση των μετάλλων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

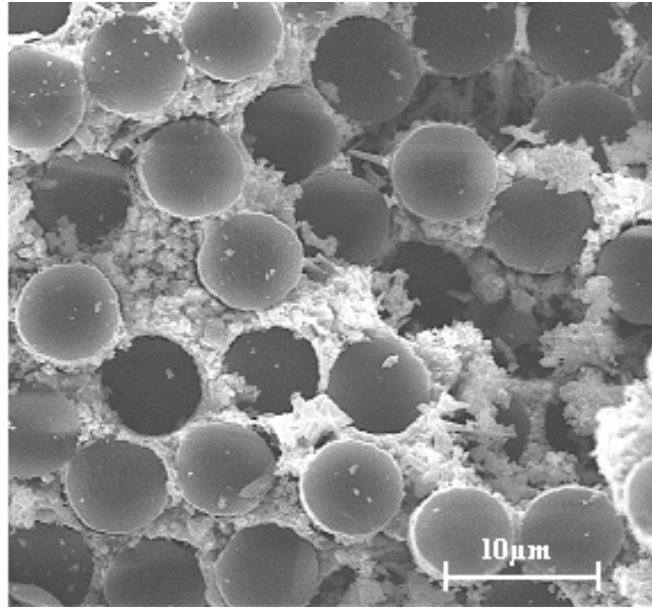
ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΩΝΤΑΙ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΗ

6.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα στην αεροναυπηγική επικεντρώνεται στη δημιουργία νέων υλικών για μελλοντική χρήση στα αεροπλάνα. Τα κύρια υλικά που μελετώνται και παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια είναι: κεραμικά συστατικά μήτρας, τα σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας, τα νανοσύνθετα υλικά και τα μέταλλα μνήμης σχήματος.

6.2 Σύνθετα υλικά κεραμικής μήτρας (Ceramics matrix components)

Τα σύνθετα υλικά με κεραμική μήτρα (Ceramics Matrix Components, CMCs) αναπτύχθηκαν για να αντιμετωπιστεί η εγγενής ευθραστότητα η έλλειψη αξιοπιστίας των μονολιθικών κεραμικών υλικών με στόχο να εισαχθούν τα κεραμικά υλικά σε διάφορα δομικά στοιχεία όπως τους αεριοθούμενους κινητήρες, τις στροβιλομηχανές, τις ασπίδες θερμότητας και τα φρένα των αεροπλάνων. Η χρήση των συγκεκριμένων υλικών στις αναπτυσσόμενες μηχανές θα επιτρέψει την αύξηση της θερμοκρασίας στην οποία η μηχανή θα μπορεί να λειτουργεί καθώς και στον περιορισμό των υγρών ψύξης επιφέροντας μεγαλύτερες αποδόσεις. Επιπλέον, στα αεροσκάφη, η χρήση των σύνθετων υλικών με κεραμική μήτρα σε σημεία όπου χρησιμοποιούνται βαριά υπερκράματα αναμένεται να επιφέρει εξοικονόμηση βάρους. Παρά το γεγονός ότι τα CMCs αποτελούν πολλά υποσχόμενα θερμοδομικά υλικά η εφαρμογή τους παραμένει περιορισμένη δεδομένου της έλλειψης κατάλληλων ενισχύσεων, τις δυσκολίες στην κατεργασία τους, των περιορισμένη διάρκεια ζωής τους και το υψηλό κόστος τους (Naslain R.2010).



Σχήμα 35: Εικόνα SEM σύνθετων υλικών κεραμικής μήτρας (C/SiC) (<http://www.fz-juelich.de>)

Μια κεραμική μήτρα μπορεί να ενισχυθεί με ασυνεχή ενισχυτικά όπως σωματίδια, νηματοειδής κρυστάλλους αργύρου, κοντές ίνες ή με συνεχείς ίνες. Στην πρώτη περίπτωση η ενίσχυση των μηχανικών ιδιοτήτων σε όρους οριακής τάσης και σκληρότητας είναι εξαιρετικά περιορισμένες αλλά μπορεί να είναι και αρκετές για συγκεκριμένες εφαρμογές. Από τα ασυνεχή ενισχυτικά υλικά οι νηματοειδής κρύσταλλοι αργύρου είναι τα πιο προσιτά από άποψη μηχανικών ιδιοτήτων. Το βασικό τους μειονέκτημα όμως είναι πως είναι επιβλαβή για την υγεία τόσο κατά την κατεργασία όσο και κατά την επισκευή τους. Αντίθετα τα συνεχή ενισχυτικά όπως οι ίνες είναι πιο αποτελεσματικά ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες αλλά είναι πιο ακριβά και πιο δύσκολα στο σχεδιασμό και την κατεργασία τους στα κεραμικά υλικά.

Τα σύνθετα υλικά με κεραμική μήτρα ταξινομούνται με βάση τη σύσταση της μήτρας τους και την ενίσχυση τους. Τα CMCs χωρίς οξειδία είναι τα υλικά αυτής της κατηγορίας που έχουν μελετηθεί περισσότερο. Μια τέτοια επιλογή είναι καινοτόμα δεδομένου ότι η τα στοιχεία στην ατμόσφαιρα συχνά οξειδώνεται. Η συγκεκριμένη επιλογή μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι αποδοτικές ίνες σε όρους ακαμψίας, όριο διαρροής, την ανθεκτικότητα στην αντοχή και η πυκνότητα είναι μη οξειδωτικές ίνες. Περαιτέρω, οι ίνες άνθρακα χρησιμοποιούνται ευρέως στη μαζική παραγωγή των σύνθετων υλικών

πολυμερικής μήτρας. Οι συγκεκριμένες ίνες είναι πολύ φθηνότερες από όλες τις άλλες εκτός από τις ίνες γυαλιού.

Προκειμένου να αποφευχθούν προβλήματα συμβατότητας που είναι κρίσιμα σε υψηλές θερμοκρασίες, οι μη οξειδωτικές ίνες ενσωματώνονται σε μη οξειδωτικές μήτρες. Τα πρώτα σύνθετα υλικά με κεραμικές ίνες που αναπτύχθηκαν είναι τα σύνθετα υλικά άνθρακα/άνθρακα. Αυτά σχεδιάστηκαν κυρίως για χρήση σε κινητήρες διαστημικών εφαρμογών. Σε δεύτερη φάση τα σύνθετα υλικά C/SiC και SiC/SiC αναπτύχθηκαν προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή στην οξείδωση υλικών και κατά συνέπεια η διάρκεια ζωής τους σε οξειδωτικές ατμόσφαιρες. Τα νιτρίδια του πυριτίου επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί ως μήτρες παρά το γεγονός ότι δεν είναι ιδιαίτερα σταθερά υλικά στις υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τα καρβίδια του πυριτίου (Naslain R.2010).

Από θερμοδυναμική σκοπιά η καλύτερη επιλογή είναι τα σύνθετα υλικά κεραμικής μήτρας με οξειδία εξαιτίας της μεγάλης διάρκειας ζωής τους σε οξειδωτικές ατμόσφαιρες. Οι ίνες οξειδίων όμως παρά το γεγονός ότι είναι δύστυκτες τείνουν να αυξάνουν το μέγεθος των κόκκων τους σε υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής των ινών και επιπλέον, παρουσιάζουν μικρή αντοχή στον ερπυσμό. Επίσης, οι συγκεκριμένες ίνες έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από τις ίνες μη οξειδίων. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες να βελτιωθούν οι ιδιότητες των ινών οξειδίων στις υψηλές θερμοκρασίες χωρίς όμως να έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος.

Τα σύνθετα υλικά με κεραμική μήτρα μπορούν να παραχθούν είτε σε υγρή φάση είτε σε αέρια με κάθε μία να παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Στην παραγωγή σε αέρια φάση η οποία ονομάζεται και χημική διήθηση ατμού (Chemical Vapor Infiltration, CVI), οι ενισχύσεις οι οποίες συνήθως έχουν πολλαπλή διεύθυνση συμπιέζονται από τη μήτρα και τοποθετούνται σε αέριους φορείς. Το κάλυμα της ίνας αναφέρεται ως διεπιφάνεια και τοποθετείται στην ίνα πριν από τη διήθηση της μήτρας προκειμένου να ελεγχθεί ο δεσμός μήτρας ίνας και κατά συνέπεια, η μηχανική συμπεριφορά

του σύνθετου υλικού (Naslain R.2010). Ο πυρολυτικός άνθρακας (PyC) και τα νιτρίδια του βορίου ή τα πολυστρωματικά $(\text{PyC-SiC})_n$ και τα $(\text{BN-PyC})_n$ με συνολικό πάχος από 0.1 μm έως και 1 μm εμφανίζουν μια στρωματοειδή κρυσταλλική δομή ή μια στρωματοειδή μικροδομή είναι τα πιο ευρέως διαδεδομένα διεπιφανειακά υλικά στα σύνθετα με κεραμική μήτρα υλικά χωρίς οξειδία. Η διεφάνεια δημιουργεί απόκλιση στις μικρορωγμές που σχηματίζονται στη μήτρα σε συνθήκες φόρτισης, προστατεύοντας με αυτόν τον τρόπο τις ίνες από το σχηματισμό εγκοπών.

Η διαδικασία διήθησης με ατμό εμφανίζεται με πολλές μορφές. Η πιο συνηθισμένη είναι η ισόθερμη/ισοβαρής διαδικασία. Αυτή είναι σχετικά αργή διαδικασία ενώ πραγματοποιείται κυρίως μεταφορά μάζας με διάχυση στην αρχική φάση σχηματισμού με αποτέλεσμα να σχηματίζεται εναπομένων πορώδεις και διαφορά πυκνότητας. Από την άλλη η ισόθερμη ισοβαρής διεργασία είναι εξαιρετικά καθαρή και ευέλικτη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταυτόχρονη ενσωμάτωση πολλών διαφορετικών αρχικών φάσεων με διαφορετικά σχήματα. Για αυτό η συγκεκριμένη διεργασία προτιμάται σε βιομηχανικές εφαρμογές για την παραγωγή σχετικά λεπτών κομματιών.

Προκειμένου ο ρυθμός ενσωμάτωσης να αυξηθεί και να μειωθεί ο χρόνος της κατεργασίας, οι διαφορές θερμοκρασίας και πίεσης μπορούν να εφαρμοστούν στην αρχική βάση.

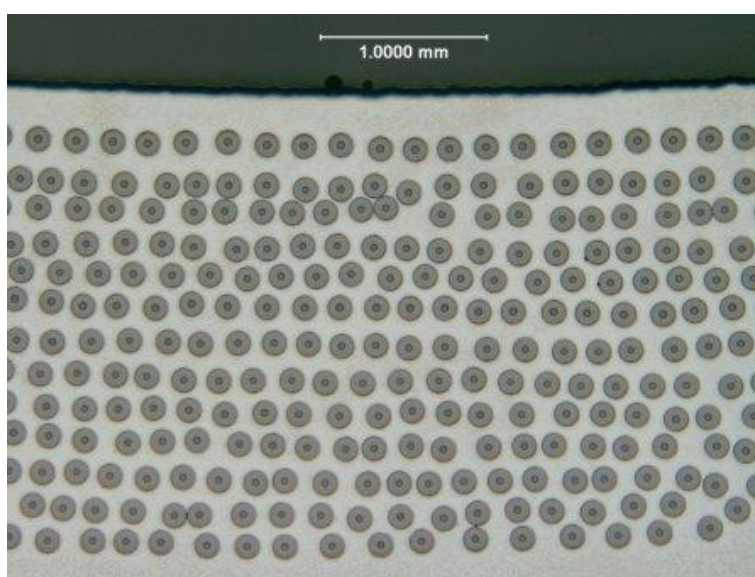
Στην παρασκευή σε υγρή φάση οι ίνες πρώτα επικαλύπτονται με μια διεπιφάνεια και στη συνέχεια, ενσωματώνονται σε έναν υγρό φορέα της μήτρας. Στην ενεργή διήθηση τήξης (reactive melt infiltration, RMI) μια προσχηματισμένη φάση είναι εμποτισμένη σε ένα υγρό που αντιδρά είτε με τη στερεά φάση που χρησιμοποιείται για το σχηματισμό της αρχικής ίνας είτε με την ατμόσφαιρα. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης κατεργασίας συγκαταλέγεται το γεγονός πως είναι μια γρήγορη διαδικασία και μπορεί να εφαρμοστεί σε αρχικές φάσεις με αισθητό πάχος. Επίσης με αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται υλικά με μικρό πορώδες και υψηλές θερμικές αγωγιμότητας.

Στις διεργασίες πολυμερικού εμποτισμού και πυρόλυσης οι ίνες ενσωματώνονται σε έναν πολυμερικό φορέα της μήτρας όπως μια θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη, και στη συνέχεια το σύνθετο υλικό πυρολύεται.

Αυτές οι διαδικασίες είναι γενικά ευέλικτες δεδομένου ότι η σύνθεση των φορέων μπορεί να ελεγχτεί. Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης μπορεί να πραγματοποιηθεί συρρίκνωση της μήτρας εξαιτίας της ανάπτυξης αέριων ειδών. Η συρρίκνωση μπορεί να περιοριστεί με την προσθήκη στο υγρό εξαιρετικά κονιορτοποιημένο υλικό. Τελικά το εναπομένον πορώδες μπορεί να μειωθεί σημαντικά με θερμή συμπίεση, μια διεργασία που υποθέτει ότι η μήτρα έχει εξαιρετική πλαστικότητα και δεν καταστρέφει τις ίνες (Naslain R.2010) .

6.3 Σύνθετα υλικά με μεταλλική μήτρα (Metalic Matrix Composites)

Τα μεταλλικά σύνθετα υλικά βρίσκουν εφαρμογή σε πολλές εφαρμογές. Τα συγκεκριμένα υλικά όπως ήδη έχει αναφερθεί κατασκευάζονται με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής και κατεργασίας των μετάλλων. Ο όρος σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας είναι ταυτόσημος με τον όρο ελαφρά σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας (*Metal Matrix Composites, MMCs*). Τις τελευταίες δεκαετίες έχει επιτευχθεί σημαντική ανάπτυξη στην ανάπτυξη σύνθετων υλικών για μεταλλικές μήτρες έτσι ώστε αυτά να θεωρείται ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά σε σημαντικές εφαρμογές (Kainer K.U.,2004). Τα συγκεκριμένα υλικά έχουν χαρακτηριστικά που μπορούν να αναπτυχθούν στο υλικό, κατά παραγγελία, ανάλογα με την εφαρμογή.



Σχήμα 36: Σύνθετο υλικό μεταλλικής μήτρας (<http://www.trl.com>)

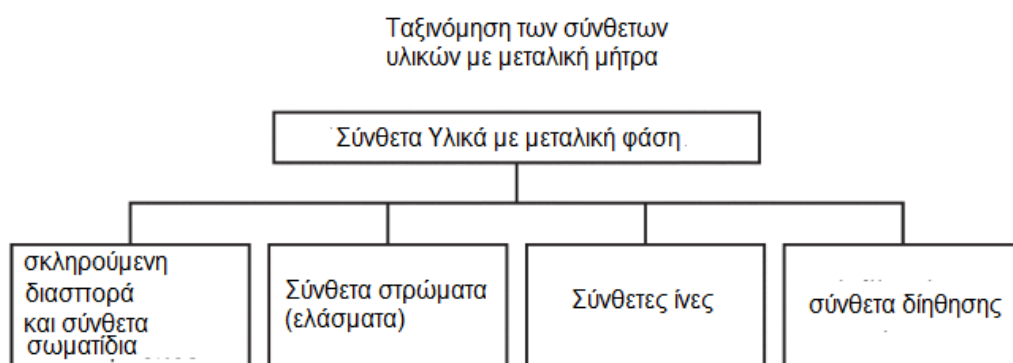
Η δυνατότητα συνδυασμού διαφορετικών συστημάτων υλικών (μέταλλα-κεραμικά – αμέταλλα) δίνει τη δυνατότητα απεριόριστων επιλογών. Οι ιδιότητες αυτών των νέων υλικών καθορίζονται κατά κύριο λόγο από τις ξεχωριστές ιδιότητες των υλικών που τα αποτελούν. Η ενίσχυση των ελαφρών μετάλλων δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής αυτών των υλικών σε εφαρμογές όπου η μείωση του βάρους είναι σημαντικός παράγοντας όπως συμβαίνει στην περίπτωση των αεροσκαφών. Σε αυτήν την περίπτωση απαραίτητη προϋπόθεση είναι οι ιδιότητες των συστατικών στοιχείων. Οι στόχοι που αναφέρονται στα ελαφρά μεταλλικά στα ελαφρά μεταλλικά σύνθετα υλικά είναι:

- Η αύξηση του ορίου διαρροής και της τάσης εφελκυσμού στη θερμοκρασία δωματίου και σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες διατηρώντας στο ελάχιστο την ολκιμότητα και τη σκληρότητα.
- Αύξηση της αντίστασης ερπυσμού σε υψηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τα συμβατικά κράματα.
- Αύξηση της αντοχής κόπωσης σε υψηλές θερμοκρασίες
- Βελτίωση της θερμικής αντίστασης
- Βελτίωση της αντίστασης στη διάβρωση
- Αύξηση του μέτρου ελαστικότητας
- Μείωσης της θερμικής επιμύκησης

Είναι προφανές ότι η βελτίωση των ειδικών ιδιοτήτων έχουν ως αποτέλεσμα την επέκταση των εφαρμογών, την αντικατάσταση των κοινών υλικών και τη βελτίωση των ιδιοτήτων των στοιχείων. Στα λειτουργικά υλικά ο στόχος είναι η διατήρηση της κατάλληλης λειτουργίας του υλικού. Αντικειμενικοί στόχοι για παράδειγμα είναι η αύξηση της αντοχής των αγώγιμων υλικών χωρίς να επηρεαστεί η αγωγιμότητά τους, η βελτίωση στις χαμηλές θερμοκρασίες της αντίστασης ερπυσμού, βελτίωση της αγωγιμής επαφής και της επαφής ολίσθησης. Επιπλέον στόχος είναι η αύξηση του χρόνου λειτουργίας των ηλεκτροδίων συγκόλησης με μείωση της καύσης, η παραγωγή στρωμάτων σύνθετων υλικών για ηλεκτρονικά στοιχεία, η παραγωγή ολκιμων σύνθετων υπεραγωγών και μαγνητικών υλικών με ειδικές ιδιότητες.

Παρά το γεγονός ότι η ανάπτυξη των υλικών έχει οδηγήσει σε λύσεις που ενδείκνυται η χρήση των σύνθετων υλικών η χρήση εξαιρετικά καινοτόμων υλικών ειδικά στην περιοχή των ελαφρών μετάλλων δεν έχει γίνει αισθητή. Αυτό οφείλεται στη μη ικανοποιητική σταθερότητά τους και αξιοπιστία τους σε συνδυασμό με προβλήματα στην παραγωγή τους και στην κατεργασία τους όπως επίσης και εξαιτίας του οικονομικού τους κόστους. Οι αερομεταφορές, ως περιοχή εφαρμογής, είναι ιδιαίτερα ακριβή και συντηρητική με αποτέλεσμα η αεροναυπηγική βιομηχανία να μη διατίθεται για την κάλυψη του κόστους από τη χρήση τέτοιων υλικών. Αυτοί είναι οι βασικοί λόγοι που τα ελαφρά σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας βρίσκονται στο ξεκίνημα της ανάπτυξης των νέων σύγχρονων υλικών.

Τα σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας ταξινομούνται με διάφορους τρόπους. Ένας από τους πιο συνηθισμένους τρόπους ταξινόμησης είναι ανάλογα με τη θεώρηση του τύπου και της συνεισφοράς της ενίσχυσης. Με βάση αυτό διακρίνονται σε σωματίδια, στρώματα, ίνες και σύνθετα υλικά διείσδυσης.



Σχήμα 37: Ταξινόμηση των σύνθετων υλικών με μεταλλική μήτρα

Οι σύνθετες ίνες μπορούν επιπλέον να ταξινομηθούν σε σύνθετα υλικά με συνεχείς ίνες και κοντές ίνες και σε νηματοειδής κρυστάλλους αργύρους.

6.3.1 Συνδυασμός υλικών για σύνθετα ελαφριά υλικά με μεταλλική μήτρα

Οι ενισχύσεις για τα σύνθετα υλικά με μεταλλική μήτρα έχουν πολλαπλάσιες απαιτήσεις που καθορίζονται από την παραγωγή και την

κατεργασία και από το σύστημα της μήτρας του σύνθετου υλικού. Οι γενικές απαιτήσεις για τις ενισχύσεις είναι (Kainer K.U., 1994) η χαμηλή πυκνότητα, μηχανική συμβατότητα, χημική συμβατότητα, θερμική σταθερότητα, μεγάλο μέτρο ελαστικότητας, υψηλή σταθερότητα και δύναμη εφελκυσμού, καλή κατεργασιμότητα και οικονομική απόδοση.

Αυτές οι απαιτήσεις πραγματοποιούνται μόνο με τη χρήση μη μεταλλικών ανόργανων ενισχύσεων. Για τις μεταλλικές ενισχύσεις χρησιμοποιούνται τα κεραμικά σωματίδια ή ακόμα και οι ίνες ή οι ίνες άνθρακα. Εξαιτίας της μεγάλης τους πυκνότητας και της τάσης να αντιδρούν με τα κράμματα της μήτρας δεν χρησιμοποιούνται μεταλλικές μήτρες. Το ποια υλικά χρησιμοποιούνται τελικά εξαρτάται από την επιλεγμένη μήτρα και από την εφαρμογή στην οποία θα χρησιμοποιηθούν. Η παραγωγή, η κατεργασία και η εφαρμογή των διαφόρων ενισχύσεων εξαρτάται από τη μέθοδο παραγωγής του σύνθετου υλικού (Clyne T.W., Withers P.J., 1993). Επιπλέον είναι δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών ενισχύσεων στο ίδιο υλικό μια διαδικασία που αποτελεί την υβριδική τεχνική (Clyne T.W., Withers P.J., 1993, Schroder J., Kainer K. U., 1991).

Τα χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών με μεταλλική μήτρα καθορίζονται από τη μικροδομή τους και τις εσωτερικές διεπιφάνειες που επηρεάζονται από την παραγωγή τους και τη μηχανική θερμική κατεργασία που έχουν ήδη υποστεί. Η μικροδομή αναφέρεται τόσο στη δομή της μήτρας όσο και στην ενισχυτική φάση. Η χημική σύσταση, το μέγεθος των κόκκων, η ύφανση, η συμπεριφορά κατακρύμνισης και οι αταξίες στο πλέγμα είναι τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά για τη μήτρα. Η δεύτερη φάση χαρακτηρίζεται από την περιεκτικότητα κατ' όγκον, το είδος της, το μέγεθος, την κατανομή της και τον προσανατολισμό της. ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι οι τοπικές διαφορετικές εσωτερικές τάσεις που οφείλονται στη διαφορετική διαστολή των δύο φάσεων. Γνωρίζοντας τα χαρακτηριστικά των συστατικών των στοιχείων, την κατ' όγκο περιεκτικότητά τους, την κατανομή και τον προσανατολισμό τους είναι δυνατή η εκτίμηση των χαρακτηριστικών των σύνθετων υλικών με μεταλλική μήτρα (Clyne T.W., Withers P.J., 1993, McDanel D. L., Jech R. W., Weeton, W J, 1965).

Συγκριτικά με τα μονολιθικά υλικά η μικροδομή και οι διεπιφάνειες των σύνθετων υλικών με μεταλλική μήτρα είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους. Οι

χημικές αλληλεπιδράσεις και οι αντιδράσεις ανάμεσα στη μήτρα και στα συστατικά ενίσχυσης καθορίζουν την συνεκτικότητα της διεπιφάνειας, διαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά των σύνθετων στοιχείων και επηρεάζουν σημαντικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Σε υψηλές θερμοκρασίες τα σύνθετα υλικά με μεταλλική επιφάνεια θα πρέπει να διατηρούν σταθερή τη μικροδομή τους. Η θερμική σταθερότητα και η αστοχία τους καθορίζεται από τις αλλαγές στη μικροδομή και τις διεπιφάνειες. Οι θερμικές τάσεις σε αυτά τα υλικά αναπτύσσονται ισόθερμα και κυκλικά.

6.4 Νανοσύνθετα υλικά

Τα νανοσύνθετα υλικά γνωρίζουν μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια και θεωρούνται ως πιθανά υλικά που στο μέλλον μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αεροναυπηγική. Τα νανοσύνθετα υλικά παρασκευάζονται με μια ποικιλία ιδιοτήτων όπως φυσικές, θερμικές και άλλες μοναδικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες των νανοσύνθετων υπερτερούν κατά πολύ από τις ιδιότητες των συνηθισμένων σύνθετων υλικών και μπορούν να συντεθούν με απλές και ανέξοδες τεχνικές. Τα υλικά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καλύψουν ένα εύρος εφαρμογών με ελαφρό βάρος, υψηλή μηχανική αντοχή, ηλεκτρικές ιδιότητες, και μεγάλη αξιοπιστία σε ειδικό περιβάλλον λειτουργίας. Παρά το γεγονός ότι οι περισσότερες ιδιότητες των υλικών αυτές είναι κοινές σε όλες τις εφαρμογές υπάρχουν και άλλες που διαφέρουν. Ένα ηλεκτρικό στοιχείο από πολυμερές σύνθετο υλικό για παράδειγμα θα πρέπει να είναι ηλεκτρικά μονωμένο ενώ τα στοιχεία ενός αεροσκάφους θα πρέπει να είναι ηλεκτρικά αγωγά ώστε να διασκορπίζει τους ελαφρούς κραδασμούς.(Masia S.L., 2010).

Η προσθήκη μικρών ποσοτήτων νανοσωματιδίων στα πολυμερή μπορεί να προσδώσει καινούριες ιδιότητες στα σύνθετα υλικά αλλά δημιουργεί μεγάλη εξάρτηση τόσο από την επεξεργασία της επιφάνειας των νανοσωματιδίων όσο και από την κατεργασία που θα χρησιμοποιηθεί. Είναι σημαντικό να καθορίζεται αν τα νανοϋλικά μπορούν να μετατραπούν σε νανοσύνθετα και αν μπορούν να προσδώσουν τις απαραίτητες ιδιότητες κάθε εφαρμογής.

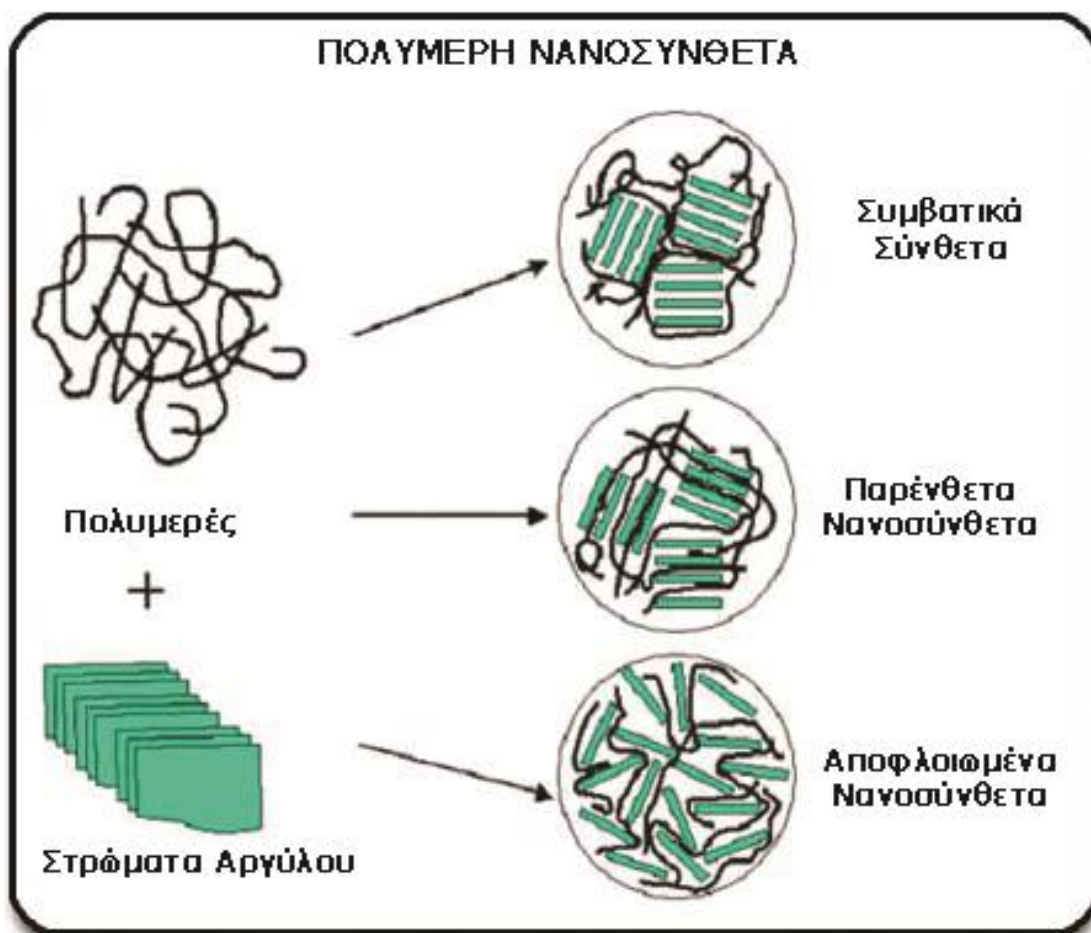
Παρά το γεγονός πως στη βιομηχανία η ανάμιξη των υλικών είναι ένα συνηθισμένο φαινόμενο δεν υπάρχουν κανόνες για την πραγματοποίησή της ούτε κανόνες που να καθορίζουν πώς να αναμιγνύονται να νανουλικά έτσι ώστε να λαμβάνονται οι επιθυμητές ιδιότητες. Συνήθως τα νανοϋλικά έχουν μοναδικές ιδιότητες που μπορούν να δώσουν νανοςύνθετα υλικά με συνδυασμό αυτών των ιδιοτήτων. Πολλές φορές όμως αποτελεί πρόκληση η επίτευξη αυτών των ιδιοτήτων σε νανοςύνθετα υλικά μεγάλης κλίμακας. Οι επιθυμητές ιδιότητες των νανοϋλικών δεν μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση συμβατικών μετάλλων και χημικών.

Για την εκτίμηση της τιμής του δυναμικού των νανοςύνθετων είναι σημαντικό να καθοριστεί ποιο νανοϋλικό μπορεί αποτελεσματικά να μετατραπεί σε νανοςύνθετο και ποιες νέες ή βελτιωμένες ιδιότητες θα αποδώσει. Στη συνέχεια, είναι εξίσου σημαντικό να προσδιοριστεί ποια είναι η διασπορά των νανοσωματιδίων πάνω στη μήτρα και πως αυτή επηρεάζει τη δομή του πολυμερούς έτσι ώστε να είναι εφικτή η βελτίωση των νανοσωματιδίων. Με βάση αυτά είναι σημαντικός ο καθορισμός του τρόπου που επηρεάζει η ανάμιξη των πολλαπλών νανομεταλλικών υλικών σε ένα πολυμερές την τελική δομή και τις ιδιότητες του νανοςύνθετου. Κάποια από τα νανοςύνθετα υλικά απαιτούν τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων και κάποια άλλα απαιτούν την αλλαγή των ηλεκτρικών ιδιοτήτων. Παρόλα αυτά η προσθήκη ενός ηλεκτρικού υλικού μπορεί να επηρεάσει και τις μηχανικές ιδιότητες του νανοςύνθετου μέσω αλληλεπιδράσεων μεταξύ του πολυμερούς και νανοσωματιδίων.

Τα νανοςύνθετα υλικά πρέπει να έχουν πολλαπλές και μοναδικές ιδιότητες για κάθε εφαρμογή αλλά αυτές οι ιδιότητες δεν θα πρέπει να υποβαθμίζονται σημαντικά κατά τη διάρκεια ζωής του υλικού. Σημαντικό κομμάτι για την ανάπτυξη αυτών των ιδιοτήτων αποτελούν οι αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των νανοσωματιδίων και της πολυμερικής μήτρας καθώς και το πώς επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, την υγρασία και τις μηχανικές τάσεις.

Οι νανοςύνθετες πολυμερικές δομές μπορεί να είναι είτε παρένθετα (intercalated) είτε «αποφλοιωμένα» (exfoliated). Η μεγαλύτερη ενίσχυση των ιδιοτήτων γενικά παρατηρείται για τα «αποφλοιωμένα» νανοςύνθετα. Αυτά αποτελούνται από ξεχωριστά στρώματα νανοδιαστάσεων που βρίσκονται

ενσωματωμένα στη πολυμερική μήτρα. Αντίθετα τα παρένθετα υβριδικά νανοσύνθετα αποτελούνται από καλά διαταγμένα πολυστρώματα που σχηματίζονται με εναλλαγή πολυμερούς και νανοστρωμάτων που έχουν μεταξύ τους ελάχιστη απόσταση μερικών νανομέτρων.



Σχήμα 38: Πολυμερή νανοσύνθετα υλικά (National Research Council Canada)

Υπάρχουν δύο τύποι σύνθετων νανοσωματιδίων: τα πυριτικά ορυκτά αργίλου και ο γραφίτης.

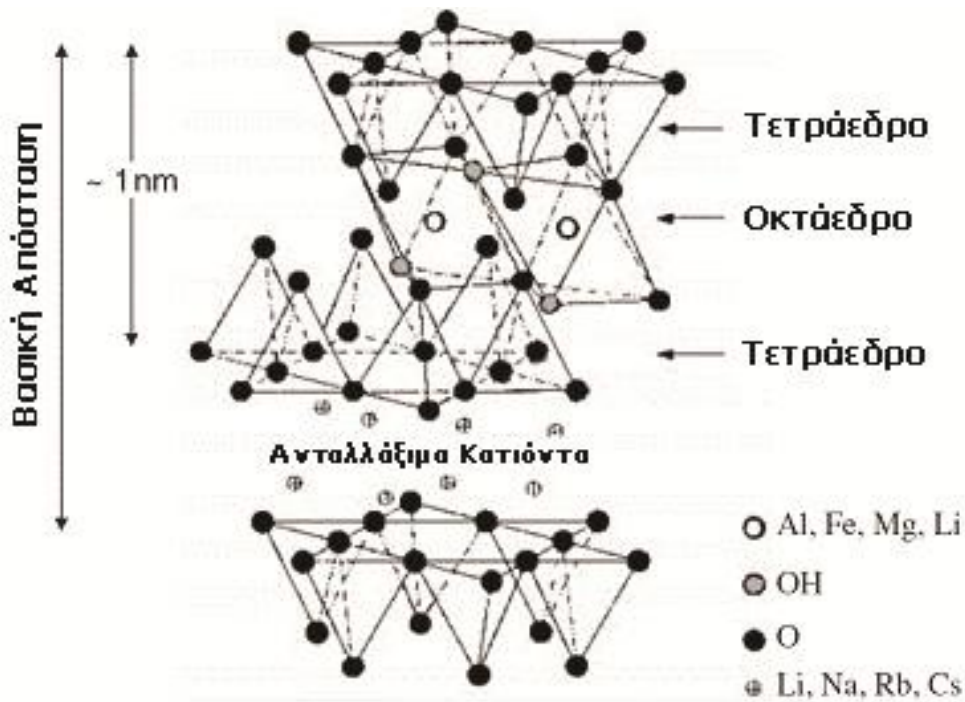
Ιστορικά ο όρος άργιλος χρησιμοποιούταν για το υλικό που παρασκευαζόταν από μικρά ανόργανα σωματίδια χωρίς καμιά καθορισμένη σύσταση ή κρυσταλλικότητα. Τα ορυκτά του αργίλου είναι συνήθως υλικά με στρώσεις και περιέχουν αναλογία ένυδρων πυριτικών αλάτων μαγνησίου ή αλουμινίου (Scott, M.A., Carrado, K.A. and Dutta, P.K. (eds), 2004). Κάθε ορυκτό αργίλου περιέχει δύο τύπους φύλλων τα τετραεδρικά (T) και τα

οκταεδρικά (O). Για την κατασκευή των νανοσύνθετων υλικών συνήθως χρησιμοποιούνται συνήθως τα πυριτικά άλατα σμηκτικού τύπου του εκτορίτη, σαπουνίτη και μοντμοριλονίτη. Ο μοντμοριλονίτης (MMT) είναι το πλέον αποδεκτό ορυκτό για χρήση στα πολυμερή εξαιτίας της μεγάλης ειδικής επιφάνειάς του και της δραστηριότητας της επιφάνειάς του (Ray, S.S. and Okamoto, M,2003). Είναι ένα αλουμινοπυριτικό ορυκτό αργίλου με λόγο 2:1 εκτεταμένου στρώματος κρυσταλλικής δομής με οκτάεδρο αλουμίνιο τοποθετημένο ανάμεσα σε δύο στρώματα τετραεδρικού πυριτίου. Κάθε στρώμα έχει πάχος περίπου 1nm και οι πλευρικές διαστάσεις του μπορεί να ποικίλουν από 30nm έως μερικά μικρά, ανάλογα με την ειδική στρωμάτωση πυριτίου.

Ο γραφίτης έχει την ίδια γεωμετρία με το νανοαργίλιο όμως στην περίπτωση του εφαρμόζεται μια πολυμερική ενίσχυση αργιλίου (Shen, J.W., Chen, X.M. and Huang, W.Y,2003). Οι νιφάδες γραφίτη είναι γνωστά ως υλικά υποδοχείς για ενδιάμεσες ενώσεις. Εφαρμόζοντας απότομη θέρμανση μερικά από τα ενδιάμεσα υλικά του γραφίτη (Graphite Intercalated Components, GICs) διαστέλλονται και πραγματοποιείται σημαντική αύξηση του όγκου.

6.4.1 Δομή και ιδιότητες νανοσύνθετων υλικών

Στα στρωματωμένα πολυμερή νανοσύνθετα πυριτικά άλατα, η συσσώρευση των στρωμάτων οδηγεί σε ένα κενό ανάμεσα στα στρώματα όπου αναπτύσσονται δεσμοί Van der Waals και το οποίο ονομάζεται ενδιάμεσο στρώμα. Η ισομερής αντικατάσταση στο εσωτερικό των στρωμάτων παράγει αρνητικά φορτία που αντισταθμίζονται από κατιόντα αλκαλίων και αλκαλικών γαιών που τοποθετούνται στο ενδιάμεσο στρώμα (Ray S.S., Okamoto M.,2003). Αυτό ο τύπος στρώματος πυριτικού άλατος χαρακτηρίζεται από μια διαμορφωμένη φορτισμένη επιφάνεια που είναι γνωστή ως ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων.



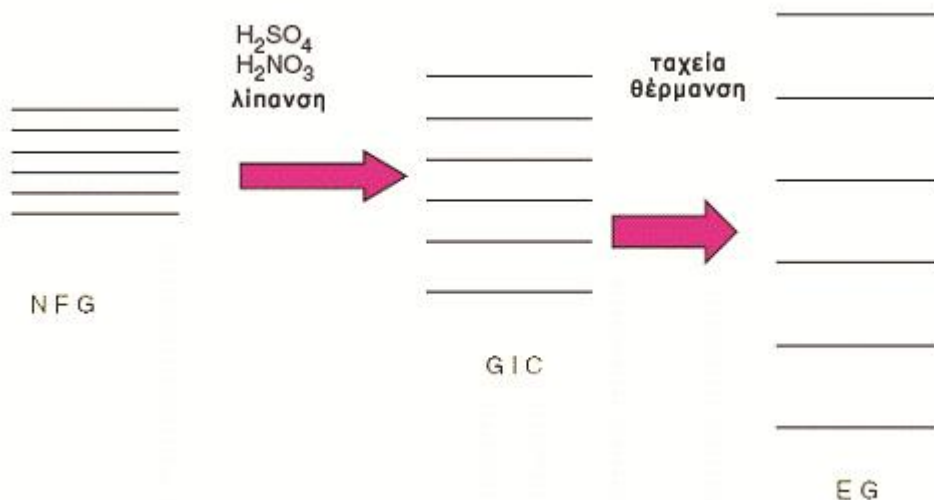
Σχήμα 39: Βασική δομή των 2:1 ορυκτών αργιλίου (Alexandre, M. and Dubois, P.,2000)

Γενικά, τα οργανικά διαμορφωμένα νανοστρώματα πυριτίου αναφέρονται ως οργανοπυρίτια (Schmidt, D., Shah, D. and Giannelis, E.P.,2002). Είναι σημαντικό το γεγονός ότι το φυσικό μίγμα ενός πολυμερούς και πυριτικού στρώματος πιθανότατα δεν θα σχηματίσει νανοσύνθετα υλικά (Ray, S.S. and Okamoto,2003). Τα παρθένα πυριτικά στρώματα συνήθως περιέχουν ενυδατωμένα ιόντα K^+ και Na^+ (Ray, S.S. and Okamoto,2003). Για την αποτελεσματική ανάμιξη των πυριτικών στρωμάτων με πολυμερείς μήτρες απαιτείται η φυσιολογική υδρόφιλη επιφάνεια πυριτίου να μετατραπεί σε οργανοφιλική έτσι ώστε να πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις ανταλλαγής ιόντων και επιφανειοδραστικών ουσιών. Ο τύπος του μοντμοριλονίτη του νατρίου ($Na_x(Al_{2-x}Mg_x)(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot mH_2O$) είναι διαθέσιμος σε διαστάσεις μικρών και αποτελείται από εκατοντάδες ξεχωριστά πλακίδια διαστάσεων $1\mu m \times 1\mu m \times 1nm$. Αυτά συγκρατούνται μεταξύ τους με ηλεκροστατικές δυνάμεις. Τα σωματίδια του μοντμοριλονίτη που δεν είναι διαχωρισμένα παρουσιάζουν μεγάλη δυσκολία στο διαχωρισμό τους ως ξεχωριστά σωματίδια κατά τη διαδικασία διασποράς έτσι ώστε να σχηματίζονται πραγματικά νανοσύνθετα υλικά.

Στα αμιγή συστήματα τα οποία αποτελούν τα συμβατικά ινώδη πολυμερή, η μικρή φυσική αλληλεπίδραση ανάμεσα στα οργανικά και ανόργανα συστατικά έχει ως αποτέλεσμα τις πολύ μικρές μηχανικές και θερμικές ιδιότητες των υλικών. Αντίθετα, η διασπορά των ξεχωριστών νανοφύλων των στρωματωμένων πυριτικών αλάτων στην πολυμερική μήτρα δημιουργεί μια μεγάλη επιφάνεια επαφής. Επιπλέον, η ομοιόμορφη διασπορά οδηγεί στη διεπιφανειακή σύζευξη ανάμεσα στα ξεχωριστά φύλλα και στην πολυμερική μήτρα διευκολύνοντας τη μεταφορά της τάσης στην ενισχυμένη φάση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των αδύναμων σημείων που συναντιούνται στα συμβατικά πολυμερή υλικά (Chen, C., Cloos, L. and Rice, B.P., 2001, Legaly G., 1999).

Οι φυσικές ίνες γραφίτη επίσης συντίθενται σε στρωματωμένα νανοφύλλα (Pan, Y.X., Yu, Z., Ou, Y. and Hu, G. 2000) όπου τα άτομα του άνθρακα που τοποθετούνται στο στρώμα των φυσικών ινών γραφίτη συνδέονται μεταξύ τους μέσω ομοιοπολικών δεσμών, ενώ τοποθετούνται σε ρυθμιστικά επίπεδα που συνδέονται με τους πολύ ασθενέστερους δεσμούς van der Waals. Οι ασθενείς ενδιάμεσες δυνάμεις επιτρέπουν σε ορισμένα άτομα, μόρια και ιόντα να παρεμβάλλονται στα ενδιάμεσα διαστήματα του γραφίτη. Το ενδιάμεσο διάστημα με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται (Pan, Y.X., Yu, Z., Ou, Y. and Hu, G. 2000). Καθώς δεν υπάρχει καμία καθαρή ανταλλαγή φορτίου, η παρεμβολή του γραφίτη δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με αντιδράσεις ανταλλαγής ιόντων στα κενά όπως συμβαίνει στα δτρώματα των πυριτικών αλάτων.

Οι αρχικές ίνες γραφίτη με πάχος 0,4-60μm μπορούν να επιμυκυνθούν στα 2-20000μm (Findeissen, B. and Thomasius, M. East Germany Patent DD 150739, 1981). Αυτά τα φύλλα/ στρώματα διαχωρίζονται σε πάχος 1nm σχηματίζοντας νανοφύλλα γραφίτη με μεγάλο λόγο διαστάσεων (200-1500) και μεγάλο μέτρο ελαστικότητας. Επιπλέον, όταν διαχέονται στη μήτρα τα νανοφύλλα παροθσιάζουν μια τεράστια διεπιφάνεια και παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στις φυσικές όσο και στις μηχανικές ιδιότητες των τελικών νανοσύνθετων υλικών (Yasmin, A., Luo, J. and Daniel, I.M. 2006). Ο επιμυκημένος γραφίτης μπορεί εύκολα να παρασκευαστεί με απότομη θέρμανση του παρένθετου υλικού που αρχικά παρασκευάζεται από τις φυσικές ίνες γραφίτη.



Σχήμα 40: Σχηματική αναπαράσταση του επιμικνυμένου γραφίτη (Pan, Y.X., Yu, Z., Ou, Y. and Hu, G.,2000).

Γενικά, η δομή του επιμικνυμένου γραφίτη έχει παράλληλα πεδία που καταρρέουν και παραμορφώνονται σχηματίζοντας διαφορετικούς πόρους ποικίλου μεγέθους από 10nm έως 10μm.

6.5 Κράματα μνήμης σχήματος (Shape Memory Alloys)

Τα μέταλλα έχουν χαρακτηριστικές φυσικές ιδιότητες όπως η τάση εφελκυσμού, η ελατότητα και η αγωγιμότητα. Στην περίπτωση των κραμάτων μνήμης σχήματος αποδίδονται οι ιδιότητες της μνήμης και της εκπαίδευσης. Τα κράματα μνήμης σχήματος παρουσιάζουν τη λεγόμενη μνήμη σχήματος. Αν τέτοια κράματα υποστούν πλαστική παραμόρφωση σε κάποια θερμοκρασία θα ανακτήσουν το αρχικό τους σχήμα όταν φτάσουν σε μια μεγαλύτερη θερμοκρασία. Με την ανάκτηση του αρχικού τους σχήματος τα κράματα μπορούν να παράγουν μια μετατόπιση ή μια δύναμη που εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Σε πολλούς συνδυασμούς κραμάτων είναι δυνατό να συμβούν και τα δύο.

Με τη θερμότητα ως μόνο ενεργοποιητή είναι δυνατόν τα μέταλλα να αλλάξουν σχήμα, θέση να συμπιεστούν ή να επιμηκυνθούν. Τα κύρια χαρακτηριστικά των υλικών που παρουσιάζουν την ιδιότητα της μνήμης είναι (Darzann C., 2007):

- Η εμφάνιση μεγάλων δυνάμεων κατά την αλλαγή σχήματος

- Με μικρή αλλαγή της θερμοκρασίας παρατηρείται μεγάλη κίνηση
- Η μεγάλη μόνιμα αντοχή τους σε απλές εφαρμογές
- Δεδομένου ότι δεν απαιτούν ιδιαίτερα εργαλεία μπορούν να έχουν διάφορα σχήματα και διαμορφώσεις και
- Είναι πολύ εύκολο να χρησιμοποιηθούν με απλή θερμότητα.

Οι ιδιότητες αυτές επιτρέπουν στα κράματα μνήμης σχήματος να βρίσκουν πολλές εφαρμογές. Στις καλά ανεπτυγμένες εφαρμογές τα συγκεκριμένα κράματα παρουσιάζουν εξαιρετική στεγανότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πνευματικούς ή υδραυλικούς σωλήνες (Schetcky L.M., 1989). Τα συγκεκριμένα κράματα επίσης χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε μηχανικά και ηλεκτρομηχανικά συστήματα ελέγχου αποδίδοντας μηχανική απόκριση σε μικρές επαναλαμβανόμενες μεταβολές της θερμοκρασίας (SrinivasanA.V.,2001).

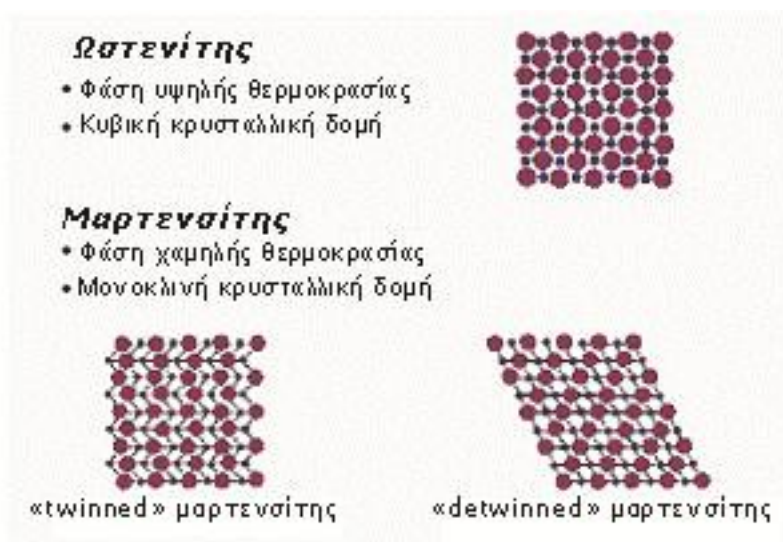
Οι πρώτες παρατηρήσεις για τη μνήμη σχήματος των μετάλλων έγινε το 1932 από τον Olander σε σχετική του εργασία για το κράμα χρυσού-καδμίου (Worden K. Bullough W. A,2003) και το 1938 από τους Greniger και Moorandian σε μελέτη τους σχετικά με κράματα του χαλκού (Worden K. Bullough W. A,2003). Πολλά χρόνια αργότερα, το 1951, οι Chang και Read αναφέρθηκαν πρώτοι στον όρο «ανάκτηση σχήματος» (Worden K. Bullough W. A,2003). Το 1962 ο Buechler και οι συνεργάτες του ανακάλυψαν την επίδραση της μνήμης σχήματος σε κράμα νικελίου – τιτανίου (Schetky L. M,1979, Worden K. Bullough W. A.,2003).

Ο Buehler ανακάλυψε ένα μέταλλο με υψηλό σημείο βρασμού με υψηλές ιδιότητες για τη μύτη ενός αεροπλάνου. Ανάμεσα σε εξήντα συστατικά ο Buehler επέλεξε δώδεκα για να μετρήσει την αντοχή τους σε κρούση χτυπώντας τα με ένα σφυρί. Παρατήρησε ότι το κράμα νικελίου-τιτανίου είχε την καλύτερη αντοχή σε κρούση όπως επίσης και άλλες ικανοποιητικές ιδιότητες όπως η ελαστικότητα, πλαστικότητα και κόπωση. Σε κάποια από τις μετρήσεις του πήρε ράβδους NiTiNOL από φούρνο τήξης και τα τοποθέτησε σε ένα τραπέζι να κρυώσουν. Στη συνέχεια έσπρωξε ένα στο πάτωμα από περιέργεια και αυτό δημιούργησε έναν ήχο. Στη συνέχεια πήγε στο δοχείο με το νερό και έριξε μέσα τη ζεστή ράβδο και έπειτα την ξανάριξε στο πάτωμα.

Παρατήρησε ότι και πάλι υπήρχε ακουστική απόκριση. Ο Buehler ήξερε ότι ο ακουστικός ήχος σηματοδοτούσε την αλλαγή στην ατομική δομή που πραγματοποιούνταν τόσο με την απλή θέρμανση όσο και με την απλή ψύξη σε θερμοκρασίες κοντά στη θερμοκρασία δωματίου αλλά δεν ήξερε ότι αυτή η μεταβολή στην ατομική δομή οφειλόταν στην επίδραση της μνήμης του σχήματος (Srinivasan A. V.,2001, Kauffman G. B., Mayo I,1996).

Το 1960 ο Raymond Wiley μπήκε στην ερευνητική ομάδα του Buehler και εργάστηκε στην ανάλυση αστοχίας διαφόρων μετάλλων. Απέδειξε ότι η αντοχή σε κόπωση του σύρματος NiTiNOL σχετίζεται με την ευκαμψία του. Ο David Muzzev αποφάσισε να δει πως το συγκεκριμένο κράμα συμπεριφέρεται κάτω από συνθήκες θέρμανσης. Έτσι έβαλε μια ταινία NiTiNOL στη φλόγα του αναπτήρα του και είδε να τεντώνεται εντελώς (Srinivasan A. V.,2001, Kauffman G. B., Mayo I,1996).

Τα κράματα με μνήμη σχήματος είναι μια μοναδική κατηγορία υλικών που μπορούν να ανακτήσουν τις προφανείς μόνιμες τάσεις όταν αυτές θερμαίνονται πάνω από συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Τα κράματα με μνήμη σχήματος μπορούν να έχουν δύο σταθερές φάσεις: τη φάση υψηλής θερμοκρασίας που ονομάζεται ωστενίτης και τη φάση χαμηλής θερμοκρασίας που ονομάζεται μαρτενσίτης.



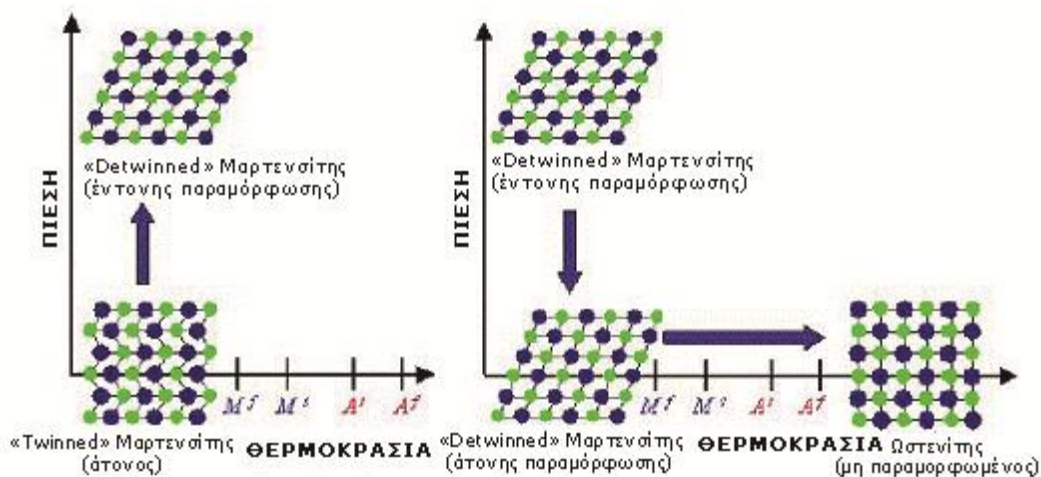
Σχήμα 41: Διαφορετικές φάσεις των κραμάτων με μνήμη σχήματος (Texas A&M Smart Lab).

Τα κύρια χαρακτηριστικά όλων των κραμάτων μνήμης σχήματος είναι η ύπαρξη του μετασχηματισμού της μαρτενσιτικής φάσης, που είναι η μεταβολή φάσης ανάμεσα σε δύο στερεές φάσεις και περιλαμβάνει την αναδιάρθρωση των ατόμων μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα. Ο μαρτενσιτικός μετασχηματισμός σχετίζεται με την ανελαστική παραμόρφωση του κρυσταλλικού πλέγματος χωρίς να υπάρχει η διαδικασία διάχυσης. Ο μετασχηματισμός φάσης προέρχεται από τη συνεργατική και συλλογική κίνηση ατόμων σε αποστάσεις μικρότερες από τις πλεγματικές παραμέτρους. Οι δίσκοι του μαρτενσίτη μπορούν να αυξηθούν στα μέταλλα σε ταχύτητες κοντινές με την ταχύτητα του ήχου. Μαζί με αυτό ο μαρτενσιτικός σχηματισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί σε χαμηλές θερμοκρασίες όπου η ατομική κινητικότητα μπορεί να είναι πολύ μικρή με αποτέλεσμα την απουσία της διάχυσης στο μαρτενσιτικό σχηματισμό. Η απουσία της διάχυσης κάνει το μαρτενσιτικό σχηματισμό σχεδόν στιγμιαίο. Όταν ένα κράμα με μνήμη σχήματος υφίσταται μετασχηματισμό της μαρτενσιτικής φάσης μετασχηματίζεται από την ωστενιτική φάση που είναι υψηλά συμμετρική σε μια χαμηλή συμμετρική μαρτενσιτική φάση (Ackland G. J) .

Σε όλους τους μαρτενσιτικούς σχηματισμούς υπάρχει ένα πλήθος ισοδύναμων κατευθύνσεων τάσεων μέσω των οποίων ο μαρτενσίτης μπορεί να σχηματιστεί σε ένα πεδίο πρωταρχικής φάσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό των παραλλαγών του μαρτενσίτη στη δομή του μετασχηματισμένου κράματος.

6.5.1 Μονοδιάστατη επίδραση μνήμης

Αν ένα κράμα που είναι σε φάση αυτορυθμιζόμενου μαρτενσίτη παραμορφώνεται με την εφαρμογή μηχανικού φορτίου και στη συνέχεια όταν αποφορτιστεί παραμένει παραμορφόμενο. Αν στη συνέχεια, το κράμα ξαναθερμανθεί σε θερμοκρασία πάνω από τη θερμοκρασία του ωστενίτη, ανακτά το αρχικό μακροσκοπικό του σχήμα. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται μονοδιάστατη επίδραση μνήμης. Εφόσον η συνολική πίεση δεν προκαλεί μόνιμη πλαστική ροή ή παραμόρφωση, μπορεί να είναι κάθε είδους (Srinivasan A.V.,2001).



Σχήμα 42: Μονοδιάστατη επίδραση μνήμης σχήματος (Texas A&M Smart Lab).

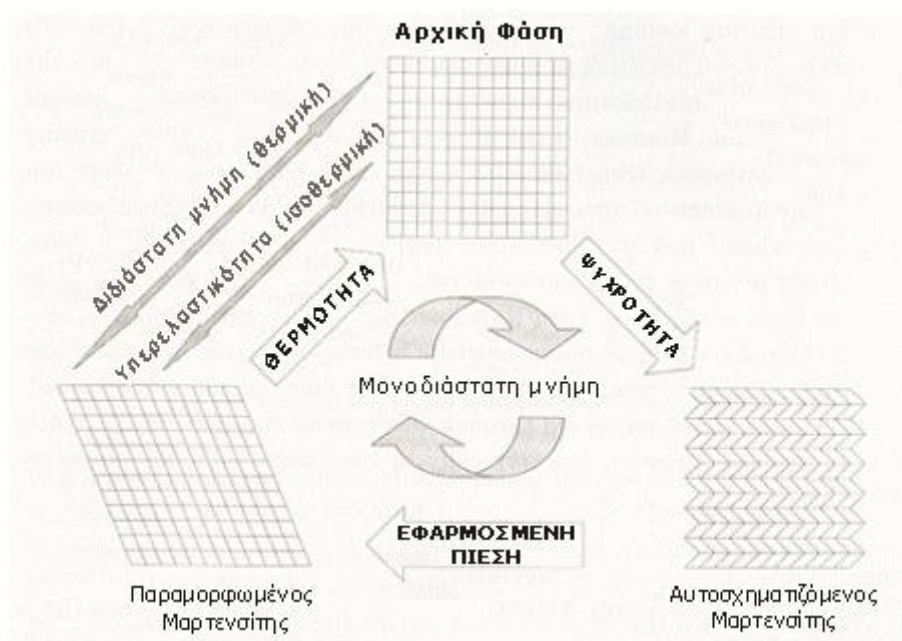
Κατά τη διάρκεια της μονοδιάστατης επίδρασης της μνήμης τα εσωτερικά δομικά στοιχεία μεταβάλλονται. Όταν εφαρμόζεται φορτίο στον αυτοσχηματιζόμενο μαρτενσίτη αυτή η δομή παραμορφώνεται μέσω διαφόρων διευθετήσεων έχοντας ως αποτέλεσμα μια μακροσκοπική μεταβολή σχήματος. Όταν το κράμα αποφορτίζεται αυτή η αποφόρτιση της δομής έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μόνιμης τάσης. Αν το κράμα ξαναθερμανθεί σε θερμοκρασία πάνω από τη θερμοκρασία του μαρτενσιτικού μετασχηματισμού η αρχική φάση της μικροδομής και ανακτάται η μικροσκοπική γεωμετρία. Αυτό είναι πιθανόν να συμβαίνει γιατί δεν έχει σημασία η μετά την παραμόρφωση διανομή των στοιχείων του μαρτενσίτη και υπάρχει μόνο ένα αντιστρεπτό μονοπάτι στην αρχική φάση για κάθε στοιχείο (Worden K. Bullough W. A., 2003). Αν το κράμα ψυχθεί ξανά στην τελική θερμοκρασία του μαρτενσίτη σχηματίζεται μια μαρτενσιτική μικροδομή και διατηρείται το αρχικό σχήμα πριν την παραμόρφωση. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μονοδιάστατη μνήμη σχήματος. Η μέγιστη τάση που ανακτάται μέσα από αυτή τη διεργασία εξαρτάται από το σύστημα μνήμης σχήματος.

Στα κράματα με μνήμη σχήματος οι διεπιφάνειες ανάμεσα στα μαρτενσιτικά στοιχεία είναι κινητές και οι θέσεις τους εξαρτώνται από εξωτερικές μεταβλητές. Πιθανών οι περισσότερες σημαντικές είναι οι εφαρμοζόμενες τάσεις. Η μεταβολή του σχήματος ανάμεσα στα στοιχεία προκαλεί την ελαχιστοποίησή του. Ως αποτέλεσμα δημιουργούνται μακροσκοπικές τάσεις. Οι θέσεις των μαρτενσιτικών διεπιφανειών

μεταβάλλονται κάτω από την επίδραση των τάσεων δημιουργού ένα ισοζύγιο στοιχείων που μοιράζονται την καλύτερη διεύθυνση των εφαρμοζόμενων τάσεων.

6.5.2 Διδιάστατη επίδραση μνήμης

Στη μονοδιάστατη επίδραση της μνήμης το κράμα «θυμάται» μόνο το σχήμα. Αυτό είναι το αρχικό σχήμα της φάσης που επίσης ονομάζεται θερμό σχήμα. Τα κράματα με μνήμη σχήματος μπορούν να σχηματιστούν έτσι ώστε να θυμούνται τόσο τα θερμά όσο και τα ψυχρά σχήματα. Μπορούν να εναλλάσσονται μεταξύ δυο διαφορετικών σχημάτων χωρίς να επιβάλλονται εξωτερικές τάσεις.



Σχήμα 43: Δομικές αλλαγές κατά τη διάρκεια θερμικής μνήμης και υπερελαστικά φαινόμενα (Worden K. Bullough W. A., 2003).

Η διδιάστατη μνήμη σχήματος βασίζεται σε μικροδομικές αλλαγές κατά τη διάρκεια του μαρτενσιτικού μετασχηματισμού θα πραγματοποιηθούν κάτω από την επίδραση των εσωτερικών τάσεων. Ο αυτοσχηματισμός της μαρτενσιτικής μικροδομής χάνεται στη διδιάστατη επίδραση εξαιτίας της παρουσίας των εσωτερικών τάσεων. Οι επικρατούσες παραλλαγές

σχηματίζονται κατά τη διάρκεια του μετασχηματισμού (Worden K. Bullough W. A.,2003). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη της παραμόρφωσης της μαρτενσιτικής φάσης με την ψύξη της αρχικής φάσης κάτω από την επίδραση των εσωτερικών δυνάμεων. Η εσωτερική τάση αναπτύσσεται με διάφορους τρόπους και πρέπει να είναι σταθερή κατά τη θερμική εναλλαγή στο μετασχηματισμό. Μετά από κάθε κύκλο φόρτισης-αποφόρτισης παραμένουν μικρά υπολείμματα. Επιπλέον, μπορούν να δημιουργηθούν μη αντιστρεπτές αταξίες με την παρουσία των σωματιδίων (Worden K. Bullough W. A.,2003).

Παρά το γεγονός ότι όλο και περισσότερα μέταλλα εμφανίζουν το φαινόμενο της μνήμης σχήματος μόνο δύο κραματικά συστήματα έχουν εμπορική ανάπτυξη. Αυτά είναι τα κράματα νικελίου-τιτανίου και τα κράματα του χαλκού. Οι ιδιότητες των δύο συστημάτων είναι διαφορετικές. Τα κράματα νικελίου-τιτανίου έχουν μεγαλύτερη μνήμη σχήματος, παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα, εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση και καλύτερη ολκιμότητα. Από την άλλη τα κράματα χαλκού είναι πιο φθηνά, παρουσιάζουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες ενεργοποίησης σε σχέση με τα κράματα νικελίου-τιτανίου και μερικές φορές είναι η μόνη επιλογή για εφαρμογές σε υψηλές θερμοκρασίες. Όμως τα κράματα χαλκού τείνουν να έχουν χαμηλότερη αντοχή και μικρή αντίσταση στη διάβρωση (Worden K. Bullough W. A., 2003).

6.5.3 Εμπορικά κράματα μνήμης

Παρά το γεγονός ότι η λίστα των κραμάτων που εμφανίζουν την ιδιότητα της μνήμης σχήματος μόνο δύο συστήματα έχουν πετύχει να εμπορευματοποιηθούν. Αυτά είναι τα κράματα νικελίου-τιτανίου και τα κράματα χαλκού. Οι ιδιότητες των δύο αυτών συστημάτων είναι εντελώς διαφορετικές. Τα κράματα νικελίου – τιτανίου παρουσιάζουν μεγαλύτερη μνήμη σχήματος από τα κράματα χαλκού, τείνουν να έχουν μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα, έχουν πολύ καλή αντίσταση στη διάβρωση και έχουν πολύ μεγαλύτερη ολκιμότητα. Από την άλλη, τα κράματα χαλκού είναι πιο φθηνά, παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμοκρασία ενεργοποίησης από τα κράματα νικελίου-τιτανίου και σε μερικές περιπτώσεις αποτελούν τη μοναδική επιλογή για εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας. Δυστυχώς τα κράματα χαλκού έχουν πολύ μικρή

αντοχή και αντίσταση στη διάβρωση (Hodgson D. E., Worden K. Bullough W. A.,2003).

6.5.3.1 Κράματα νικελίου-τιτανίου

Τα κράματα νικελίου-τιτανίου είναι από τα πλέον ανακτήσιμα εμπορικά διαθέσιμα κράματα μνήμης σχήματος. Η πλήρης ανάκτηση πετυχαίνεται εύκολα σε αυτά τα κράματα σε ποσοστό 7%. Η θερμοκρασία στην οποία η φάση αλλάζει σχετίζεται με την επίδραση της μνήμης, μπορεί να κυμανθεί από τους -200° C έως τους 100° C εναλλάσσοντας τις αναλογίες νικελίου τιτανίου γύρω από τον ισοατομικό λόγο του 50% νικέλιο και 50% τιτάνιο. Διαφορές στο ατομικό ποσοστό κατά 0.1 μπορούν εύκολα να αλλάξουν τη θερμοκρασία μετασχηματισμού κατά 20° C (Worden K. Bullough W. A.,2003). Αυτός είναι ο λόγος που η διαδικασία παραγωγής και κατεργασίας των κραμάτων νικελίου-τιτανίου πρέπει να είναι ελεγχόμενες. Η κατασκευή των κραμάτων νικελίου-τιτανίου ακολουθεί τις διαδικασίες παρασκευής των συμβατικών κραμάτων τιτανίου. Επειδή το τιτάνιο σχηματίζει εύκολα οξειδία είναι απαραίτητη μια διαδικασία τήξης καρβιδίων και νικελίων. Αυτό διασφαλίζει την καλή ομοιογένεια του κράματος και ικανοποιεί τις θερμοκρασίες μετασχηματισμού να διατηρούνται σε διαφορά 5° C. Εξαιτίας της προσεκτικής κατασκευής και συχνά της μικρής παραγωγής των κραμάτων νικελίου-τιτανίου τα συγκεκριμένα κράματα είναι πολύ ακριβά.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των κραμάτων νικελίου-τιτανίου σε σχέση με τα άλλα κράματα μνήμης σχήματος είναι η εξαιρετική τους αντίσταση στη διάβρωση. Η παθητική επιφάνεια του φιλμ διοξειδίου του τιτανίου έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη αντίστασης σε διάβρωση παρόμοια με αυτή του χάλυβα. Ο σχηματισμός του φιλμ αυτού γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στο καθαρό τιτάνιο. Το συγκεκριμένο φιλμ είναι πολύ σταθερό και ανθεκτικό σε πολλούς διαβρωτικούς σχηματισμούς (Worden K. Bullough W. A.,2003).

6.5.3.2 Κράματα μνήμης σχήματος χαλκού

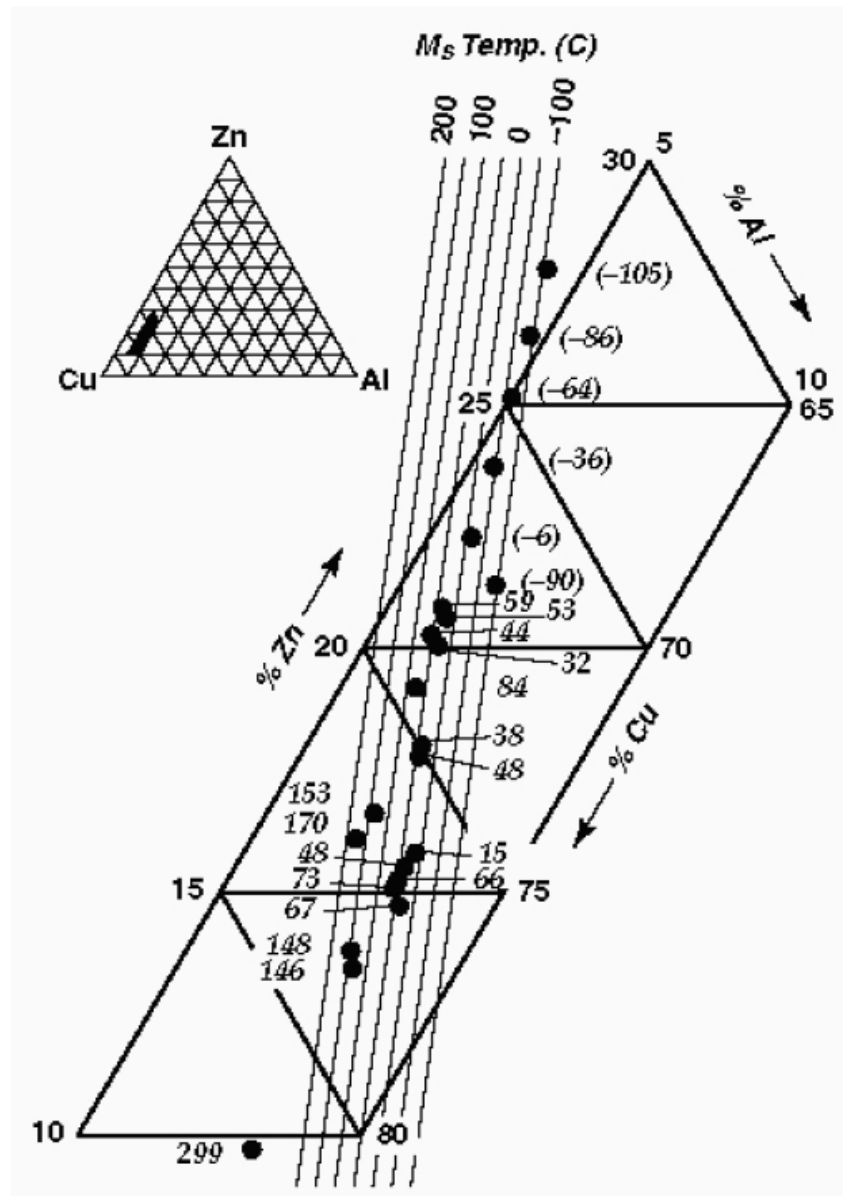
Ο ορείχαλκος (κράμα χαλκού – ψεδάργυρος) είναι γνωστό ως κράμα μνήμης σχήματος από το 1930 (Schetky L.M., 1979). Αυτά τα κράματα περιέχουν 68 με 80% χαλκό. Το υπόλοιπο 20 με 32% αποτελείται από

ψευδάργυρο και αλουμίνιο σε διάφορες αναλογίες. Σε υψηλές θερμοκρασίες υπάρχει μια τάση οι μαρτενσίτες γίνονται ασταθείς έτσι ώστε η συνήθη ανώτερη θερμοκρασία για το μετασχηματισμό να είναι γύρω στους 150° C (Hodgson D. E.).

Το ποσοστό ανάκτησης των συγκεκριμένων υλικών φτάνει στο 5%. Τα κράματα μνήμης σχήματος του χαλκού έχουν το πλεονέκτημα ότι κατασκευάζονται από φθηνά υλικά χρησιμοποιώντας συμβατικές μεταλλουργικές διαδικασίες όπως την επαγωγική τήξη. Το άζωτο ή άλλα φέροντα αέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς θωράκισης όπως η τήξη κατά τη διάρκεια της οποίας ο υδράργυρος εξατμίζεται.

Το μειονέκτημα των συγκεκριμένων κραμάτων μνήμης είναι ότι η μαρτενσιτική φάση σταθεροποιείται μετά από μακροχρόνια έκθεση στη θερμοκρασία δωματίου. Αυτό προκαλεί αύξηση στη θερμοκρασία μετασχηματισμού με το χρόνο.

Συνήθως για τον έλεγχο του μεγέθους σωματιδίων ώστε να διατηρείται στα 50-100μm προστίθενται μικρές ποσότητες βορίου, δημήτριας, κοβαλτίου, σιδήρου, τιτανίου και ζιρκόνιου (Van Humbeeck J., Cederstrom J.,1994). Η προσθήκη αυτών των στοιχείων οδηγεί σε ψαθυρότητα επειδή τα όρια των σωματιδίων μεγαλώνουν και το κράμα μπορεί να σπάσει εύκολα. Επιπρόσθετη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στις προσθήκες υλικών καθώς μπορεί να ανατρέψουν τη σταθερότητα της δομής κάτι που επηρεάζει σημαντικά τα χαρακτηριστικά των κραμάτων μνήμης σχήματος.



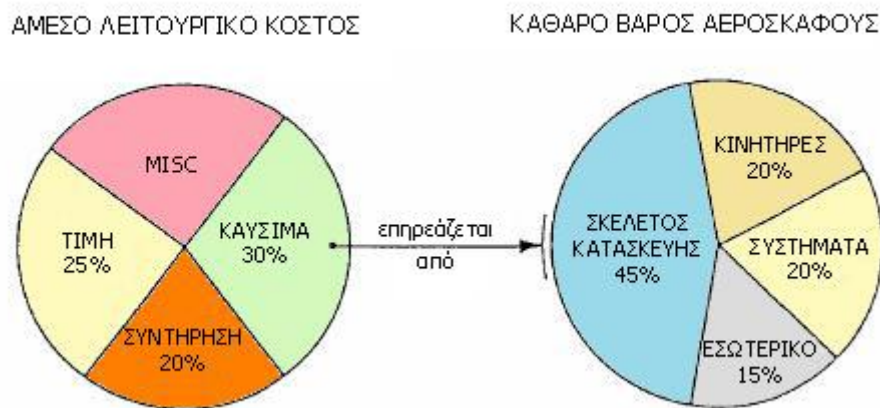
Σχήμα 44: Θερμοκρασίες σχηματισμού του μαρτενσίτη για τριμεταλλικά κράματα χαλκού – αλουμινίου και ψευδαργύρου. (Hodson D.J.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΠΡΩΤΕΥΟΝΤΑ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

7.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη νέων δομών και υλικών συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη των νέων αεροσκαφών. Το κίνητρο πίσω από αυτήν την ανάπτυξη είναι ο αιώνιος στόχος της μείωσης του κόστους λειτουργίας των αεροπλάνων.



Σχήμα 45: Η σύνδεση ανάμεσα στο άμεσο λειτουργικό κόστος και στο καθαρό βάρος του αεροπλάνου (Voglesang L B and Gunnink J W., 1986)

Το μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος ανήκει στο κάυσιμο και στη συντήρηση του αεροπλάνου, επομένως η ανάπτυξη νέων υλικών για χρήση στα διάφορα τμήματα του αεροπλάνου αποσκοπεί στη μείωση του βάρους του και στη λιγότερη απαιτούμενη συντήρησή τους. Η συντήρηση του αεροπλάνου σχετίζεται άμεσα με την ανθεκτικότητα και την αντοχή τους στις καταστροφές. Το 80% του κόστους συντήρησης προέρχεται από την επίδραση στα διάφορα τμήματα του αεροπλάνου των περιβαλλοντικών συνθηκών (Smillie D.G., 1982).

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της δομής του αεροπλάνου χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: τα κράματα του αλουμινίου, τα σύνθετα υλικά και τα ελάσματα αραμιδίου αλουμινίου. Με δεδομένο ότι κάθε τμήμα του αεροπλάνου έχει και διαφορετικές απαιτήσεις αντοχής και λειτουργίας είναι κατανοητό ότι χρησιμοποιούνται διαφορετικά υλικά που αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση του βάρους και της ανθεκτικότητας συνολικά του αεροσκάφους. Τα κράματα του αλουμινίου χρησιμοποιήθηκαν εξ αρχής για την κατασκευή του αεροπλάνου. Τα κράματα της σειράς 7000 που παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή χρησιμοποιούνται για τα τμήματα εκείνα που απαιτούν στατική αντοχή και ευστάθεια ενώ τα λιγότερο ανθεκτικά κράματα 2024 χρησιμοποιούνται για τα στοιχεία που απαιτούν αντοχή σε συνθήκες κόπωσης.

Η χρήση των σύνθετων υλικών οδηγεί στην εξοικονόμηση βάρους και χρησιμοποιούνται επίσης για την κατασκευή των κυρίων στοιχείων του αεροπλάνου. Από τη δεκαετία του 1980 και μετά η μείωση του βάρους επιτυγχάνεται με τη χρήση των σύνθετων υλικών άνθρακα και αραμιδίου με το βάρος να μειώνεται στο 20%. Η περαιτέρω χρήση των σύνθετων ρητινών και των θερμοπλαστικών μπορεί να μειώσει το βάρος του αεροπλάνου έως και 30%.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται υλικά για ένα πρωτεύον αεροναυπηγικό στοιχείο, τα φτερά του αεροπλάνου, και για ένα δευτερεύον τα φρένα του. Αρχικά, γίνεται περιγραφή της βασικής δομής των δύο στοιχείων καθώς και περιγραφή των απαιτήσεων που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή του υλικού κατασκευής τους και στη συνέχεια επιλέγεται ένα υλικό για την κατασκευή τους και τεκμηριώνεται ο λόγος επιλογής του.

7.2 Πτέρυγα-Επιλογή Υλικών

Η κύρια λειτουργία των πτερύγων είναι να ανυψώνουν στον αέρα το αεροπλάνο μεταφέροντας τα φορτία στην άτρακτο. Η εγκάρσια διατομή έχει το σχήμα της αεροτομής το οποίο σχεδιάζεται με βάση τις αεροδυναμικές θεωρήσεις. Η πτέρυγα ως ολοκληρωμένο τμήμα αποδίδει τη συνδυαστική λειτουργία μιας δοκού και ενός μέλους στρέψης. Αποτελείται από αξονικά

μέρη στις ινώσεις, τμήματα κάμψης στους στυλίσκους, τμήματα διατμητικής τάσης στην επιφάνεια και ορθοστάτες στις επίπεδες επιφάνειες (media.com).

Η επιλογή των υλικών στις πτέρυγες όπως και σε όλα τα μέρη του αεροπλάνου γίνεται με βάση κάποιες θεωρήσεις που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το κόστος και την απόδοση. Όσον αφορά στο κόστος συμπεριλαμβάνεται το αρχικό κόστος του υλικού, το κόστος κατασκευής και το κόστος συντήρησης της πτέρυγας. Οι ιδιότητες που λαμβάνονται υπόψη για την κατασκευή της πτέρυγας και αφορούν και στο κόστος συντήρησης είναι: το βάρος, η ελαστικότητα, η αντοχή, η ανθεκτικότητα, η αντοχή στην καταστροφή και η διάβρωση.

Οι απαιτήσεις για την κατασκευή των πτερύγων του αεροπλάνου παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 7.1: Απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται κατά την κατασκευή των πτερύγων.

Εφαρμογή	Απαιτήσεις Σχεδιασμού
Άνω πτέρυγα	Αντοχή στη θλίψη, ακαμψία, αντοχή στη διάβρωση
Κάτω πτέρυγα	Αντοχή , ακαμψία

Ο βέλτιστος σχεδιασμός της κατασκευής των πτερύγων καθιστά αναγκαία τη χρήση ανθεκτικών υλικών που θα παρουσιάζουν ανθεκτικότητα τόσο στην καταστροφή του όσο και στη συνολική δομή. Εξαιτίας της ευαισθησίας στην αντοχή και στη διάρκεια ζωής οι επιτρεπτές τάσεις σχεδιασμού στην περίπτωση που ως υλικό χρησιμοποιείται το αλουμίνιο θα πρέπει να μειωθούν περίπου στο 20%. Για τα σύνθετα υλικά το εύρος των τάσεων κυμαίνεται στα 0.25-0.4% εξαιτίας των περιβαλλοντικών συνθηκών. Η χαμηλή τιμή αφορά στις κρίσιμες θλιπτικές περιοχές και το ανώτερο στις κρίσιμες περιοχές εφελκυσμού (Vogel'sang L B and Gunnink J W,1986).

Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των πτερύγων θα πρέπει να συνδυάζουν υψηλή αντοχή, χαμηλή πυκνότητα και πολύ υψηλή ελαστικότητα με βελτιωμένη σκληρότητα, αντίσταση στη διάβρωση και στην κόπωση. Τα σύνθετα υλικά άνθρακα και αραμιδίου καλύπτουν όλες τις ιδιότητες κόπωσης εκτός από τις απαιτήσεις δυσθραυστότητας που είναι επίσης σημαντικό στοιχείο στη δομή τόσο των πτερύγων όσο και του αεροπλάνου γενικότερα.

Τα κράματα του αλουμινίου είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των αεροσκαφών τα τελευταία πενήντα χρόνια. Με ζητούμενο τη μείωση του βάρους στη συνολική κατασκευή των πτερύγων και τη μείωση της απαιτούμενης αντίστασης στο σπάσιμο της συγκεκριμένης δομής, η ανάπτυξη των σύνθετων υλικών ξεκίνησε για να το ικανοποιήσει. Τα σύνθετα υλικά προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα όταν συγκρίνονται με τα μεταλλικά κράματα ειδικά στην περίπτωση των ιδιοτήτων της κόπωσης. Στην παρούσα εργασία επιλέγονται και αναπτύσσονται για την κατασκευή των πτερύγων τα ινώδη μεταλλικά ελάσματα.

7.3 Ινώδη μεταλλικά ελάσματα-ARALL ως υλικό στα φτερά αεροπλάνου.

Τα ελαφρά ινώδη μεταλλικά ελάσματα αναπτύχθηκαν προκειμένου να ανταποκριθούν στην απαίτηση μείωση του βάρους. Γενικά, στο δομικό σχεδιασμό περιλαμβάνονται τρία τμήματα: η αεροναυπηγική βιομηχανία, ο χειριστής του αεροσκάφους και οι αρχές της αεροπλοΐας. Οι απαιτήσεις και οι δυνατότητες των συγκεκριμένων υλικών εκτιμώνται μέσω μιας διαδικασίας σχεδιασμού και ανάλυσης, δοκιμών επαλήθευσης και κανονισμών. Δηλαδή ο σχεδιασμός των δομών είναι μια κατευθυνόμενη διαδικασία αλληλεπίδρασης που στοχεύει στην επίτευξη πρακτικού ισοζυγίου ανάμεσα στις απαιτήσεις της παρούσας κατάστασης και της προτιθέμενης χρήσης. Η μεγαλύτερη κατασκευαστική αστοχία στα πτερύγια είναι η θραύση λόγω κόπωσης.

Η κατανόηση των προβλημάτων θραύσης λόγω κόπωσης άρχισε τα τελευταία χρόνια να αναπτύσσεται αλλά παρά την πρόοδο που έχει επιτευχθεί σε αυτό το στάδιο παραμένει ένα σημαντικό πρόβλημα. Σε αυτήν την εργασία επιλέγονται σύνθετα υλικά για την κατασκευή των πτερύγων του αεροπλάνου.

Η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των πτερύγων του αεροπλάνου είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοσή του, για παράδειγμα, η επίτευξη μιας πτέρυγας με μεγάλο λόγο ακαμψίας/βάρος και η διατήρηση του απρόσμενου φορτίου όπως στην περίπτωση καταιγίδας ή ελιγμών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη μελέτη των διαφόρων σχεδιαστικών παραμέτρων που απαιτούνται για τον καθορισμό της γεωμετρίας των πτερύγων. Η ιδέα της βελτιστοποίησης της δομής των πτερύγων είναι στην ουσία η ελαχιστοποίηση της δομικής μάζας με τη μεταβολή του μεγέθους των διαφόρων τμημάτων της πτέρυγας ή του πάχους του κελύφους μιας πτέρυγας στην οποία η γεωμετρία παραμένει αμετάβλητη (Jweeg M.J., Tornachi A.S., Abid- Aun S.H.,2008).

Τα τελευταία χρόνια οι μηχανικοί σχεδιάζουν τις πτέρυγες των αεροπλάνων με τέτοιο τρόπο ώστε να αλλάζουν σχήμα ανάλογα με τις ικανότητες της μορφής τους. Τα συμβατικά πτερύγια των αεροπλάνων ελέγχουν την πτήση ενεργοποιώντας τη διακριτή επιφάνεια ελέγχου πάνω στο πτερύγιο. Αυτά τα συμβατικά πτερύγια αεροπλάνου μπορούν να αλλάξουν τον αποτελεσματικό χώρο επιτρέποντας μεγαλύτερη ανύψωση σε χαμηλές ταχύτητες ή επιτρέποντας καλύτερη απόδοση σε υψηλές ταχύτητες. Έχει αποδειχτεί ότι ένα μορφοποιημένο πτερύγιο μπορεί να είναι το ίδιο ή περισσότερο αποτελεσματικό από τα συμβατικά πτερύγια προσφέροντας περισσότερη ευελικτικότητα και επιτρέποντας στο αεροσκάφος να είναι πιο κατάλληλο για πολλαπλές αποστολές (Kikuta M.T, 2003).

Τα υλικά των πτερυγών δεν μπορεί να είναι τελείως άκαμπτα. Η επιφάνειά τους θα πρέπει να είναι από υλικά εύφλεκτα και ελαστικά που να μπορούν εύκολα να παραμορφωθούν ενώ παράλληλα θα διατηρούν την αντοχή τους και την ανθεκτικότητά τους στη μεταφορά των αεροδυναμικών φορτίων. Επιπλέον, το υλικό θα πρέπει να έχει την κατάλληλη αντίσταση στην τριβή έτσι ώστε το υλικό να μην καταστρέφεται όταν αλλάζει περιβάλλον. Όταν το χρησιμοποιούμενο υλικό μεταμορφωθεί σε ένα διαφορετικό σχήμα το υλικό θα πρέπει να μπορεί να ανακτήσει το αρχικό του μέγεθος. Η πλαστική παραμόρφωση μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν υπάρχει πλεόνασμα υλικού μετά την τοποθέτηση της πτέρυγας στην αρχική της θέση. Αυτό το πλεονάζον

υλικό μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες ελκτικές δυνάμεις. Αν υπάρχει μεγαλύτερη έλξη η απόδοση του αεροσκάφους θα μειωθεί.

Τα ινώδη μεταλλικά ελάσματα αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα που αποτελούνται από ινώδη ελάσματα μιας διεύθυνσης και λεπτά μεταλλικά φύλλα συγκολλημένα μεταξύ τους. Η τεχνική σύζευξης του μετάλλου με τις ίνες βελτιώνει τις ιδιότητες τόσο των κραμάτων αλουμινίου όσο και των σύνθετων υλικών. Η εναλλαγή των ινωδών στρωμάτων με τα μεταλλικά στο ινώδες μεταλλικό έλασμα παρέχει το δυναμικό και την προσαρμοστικότητα της εφαρμογής. Στην πραγματικότητα, ο συνδυασμός μετάλλου και ινωδών σύνθετων ελασμάτων προκαλούν ένα συνεργητικό φαινόμενο σε πολλές ιδιότητες. Η επίδραση της παρουσίας ή της απουσίας του αριθμού των στρωμάτων και των προσανατολισμών τους δηλαδή, ο βέλτιστος λόγος μετάλλου /ινών είναι κρίσιμος για την αποτελεσματική απόδοση των πτερύγων στην κόπωση. Οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την ανάπτυξη των σύνθετων υλικών για την κατασκευή των πτερύγων είναι (Attia M.A.A.,2009):

Ο Σχεδιασμός: Η συγκέντρωση των τάσεων προκαλείται από αιχμηρές γωνίες, απότομες αλλαγές σε τμήματα των πτερύγων ή περικοπές και όλα ταξινομούνται ως αρχικές ρωγμές που είναι υπεύθυνες για την αστοχία σε κόπωση.

Ολοκληρωμένη επιφάνεια: Οι ρωγμές στις ολοκληρωμένες επιφάνειες ή τα σημάδια από τα εργαλεία κατεργασίας επίσης αναπαριστούν συγκέντρωση τάσεων που οδηγούν σε αστοχία κόπωσης για συστατικά μεγάλων τάσεων. Οι ασυνέχειες στην επιφάνεια μπορεί να προκύψουν από θερμική κατεργασία.

Θερμοκρασία: Οι αλλαγές στη θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί η πτέρυγα μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην αντίσταση του συγκεκριμένου υλικού.

Υπολειπόμενη Τάση: αυτού του είδους η τάση είναι κατάλοιπο της κατεργασίας και μπορεί να επηρεάσει την αντοχή σε κόπωση του υλικού. Γενικά υπάρχουν διεργασίες που αφήνουν θλιπτικές τάσεις πάνω στην επιφάνεια του υλικού και άλλες που αφήνουν εφελκυστικές τάσεις. Οι

θλιπτικές τάσεις βελτιώνουν την αντίσταση του υλικού στην κόπωση ενώ, οι εφελκυστικές τάσεις μειώνουν την αντίσταση σε κόπωση.

Διάβρωση: Η διάβρωση στην πτέρυγα του αεροπλάνου όπως και σε όλα τα εκτεθειμένα αεροπορικά στοιχεία οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ατμόσφαιρα. Η κατεργασία της επιφάνειας με γαλβανισμό και βάψιμο πριν από την έκθεσή της στο περιβάλλον, μπορεί να αποτρέψει τη διάβρωση και προκαλεί φυσιολογικά χαρακτηριστικά κόπωσης για το υλικό κατασκευής.

Αντοχή στη ζημιά: Βασικό χαρακτηριστικό των υλικών στα αεροπορικά στοιχεία είναι η ικανότητα της κατασκευής να διατηρούν τα αναμενόμενα φορτία παρουσία κόπωσης, διάβρωσης ή τυχαίας ζημιάς μέχρις ότου η ζημιά να γίνει αντιληπτή και να επισκευαστεί.

Ανθεκτικότητα: Η ικανότητα της κατασκευής να διατηρεί την υποβάθμιση από διάφορες αιτίες όπως την κόπωση, την τυχαία ζημιά και την περιβαλλοντική διάβρωση η έκταση των οποίων μπορεί να ελεγχτεί από οικονομικά αποδεκτή συντήρηση και από ειδικά προγράμματα ελέγχου.

Στην παρούσα εργασία επιλέγεται να παρουσιαστεί ως υλικό κατασκευής των πτερύγων το ενισχυμένο έλασμα αλουμινίου με αραμίδιο (Aramid Reinforced Aluminium Laminates, ARALL) το οποίο παρουσιάζει υψηλή αντοχή στην κόπωση και κατασκευάστηκε για πρώτη φορά το 1978 στο Πολυτεχνείο του Delf (Assundi A., Choi A.N., 1997).

7.3.1 ARALL

Τα ελάσματα αλουμινίου-αραμιδίου, ARALL είναι συγκολλητικά ελάσματα που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα της υψηλής αντοχής του ισοτροπικού φύλλου αλουμινίου με την αντίσταση στην κόπωση και θραύση των ινών αραμιδίου. Το υλικό αυτό παρασκευάζεται ως έλασμα με λεπτά υψηλής αντοχής φύλλα κραμάτων αλουμινίου, δυνατές ίνες μιας κατεύθυνσης ή υφασμένες ίνες αραμιδίου εμποτισμένες με συγκολλητικά μέταλλα και ακολουθείται από την προένταση του υλικού μετά την θερμοσκλήρυνση του υλικού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αναπτύσσονται στα μεταλλικά φύλλα θλιπτικές εναπομείνουσες τάσεις.

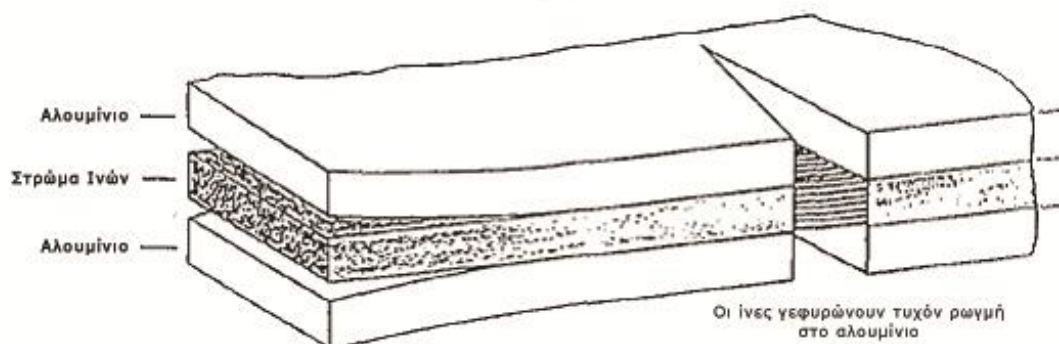


Σχήμα 46: Το υλικό ARALL

Ο βασικό στόχος ανάπτυξης του ARALL ήταν η ανάπτυξη ενός υλικού με καλή αντοχή στην κόπωση στο οποίο οι πιθανές ρωγμές αναπτύσσονται πολύ αργά. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως ένα ελκυστικό υλικό για τις πτέρυγες του αεροπλάνου (Vogeleang L B and Gunnink J W,1986). Η εξοικονόμηση βάρους με το συγκεκριμένο υλικό είναι μεγαλύτερη από 20%. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ακουστική κόπωση και για εφαρμογές απόσβεσης του θορύβου.

Οι ρωγμές στην κόπωση γενικά αναπτύσσονται στην ίδια κατεύθυνση που εφαρμόζεται το μέγιστο φορτίο τάσεων. Στην περίπτωση του ARALL χρησιμοποιούνται προεμποτισμένες ίνες μιας κατεύθυνσης. Το υλικό αυτό παρουσιάζει μεγάλη ανθεκτικότητα στις ασυνέχειες του υλικού. Ο προσανατολισμός των ινών επιλέγεται στην κατεύθυνση του κύριου φορτίου. Τα ελάσματα σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε οι ίνες να μην αστοχούν όταν υπάρχει ρωγμή λόγω κόπωσης. Αυτό σημαίνει ότι παραμένουν άθικτες πίσω

από την άκρη της πολλαπλής ρωγμής στα μεταλλικά στρώματα. Εμποδίζουν το άνοιγμα της ρωγμής και μειώνουν τη συγκέντρωση τάσεων στα φύλλα αλουμινίου (Marissen R.,1984).



Σχήμα 47: Παρεμπόδιση του ανοίγματος ρωγμής από τις ίνες του ARALL (Marissen R.,1984).

Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να οδηγήσει στη βελτίωση της ανάπτυξης ρωγμών κατά ένα συντελεστή του εκατό και μεγαλύτερο συγκριτικά με τα μονολιθικά φύλλα αλουμινίου. Η βελτίωση αυτή επιτρέπει μια μείωση του βάρους κατά 30% στα κύρια στοιχεία του αεροπλάνου.

Η σύγκριση των ελασμάτων του ARALL σε κατασκευαστικό επίπεδο με άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται ως αεροπορικά στοιχεία δείχνει ότι τα ελάσματα του ARALL είναι πολύ ελκυστικά υλικά για τα τμήματα που υφίστανται καταπόνηση σε κόπωση όπως η επιφάνεια της κατώτερου πτέρυγας (Vogelesang L B and Gunnink J W,1986).

Οι κύριες μεταβλητές στην βελτιστοποίηση του υλικού είναι το φύλλο του υλικού, για παράδειγμα ο τύπος του κράματος που χρησιμοποιείται και το πάχος του φύλλου, ο τύπος των ινών, το σύστημα συγκόλλησης και οι εναπομένουσες τάσεις του συστήματος.

Οι ίνες αραμιδίου επιλέγονται κυρίως εξαιτίας της σχετικά μεγάλης επιμύκνσής τους που παρέχει τη δυνατότητα για τη κατασκευή ενός μη ελατού υλικού. Μειονέκτημα των συγκεκριμένων ινών αποτελεί η χαμηλή θλιπτική αντοχή τους σε αστοχία. Εκτός από αυτό η θλιπτική αντοχή του ARALL παραμένει ικανοποιητική γεγονός που οφείλεται στα στρώματα αλουμινίου.

Το συγκολλητικό υλικό που χρησιμοποιείται είναι το 3M AF 163-2. Το συγκεκριμένο υλικό ικανοποιεί τις απαιτήσεις για καλή συγκόλληση ανάμεσα στο ανοδιωμένο αλουμίνιο και στις ίνες αραμιδίου όσο και καλή ανθεκτικότητα. Η βέλτιστη διαμόρφωση για το στρώμα αραμιδίου μπορεί να επιτευχθεί με ένα συγκολλητικό στρώμα αραμιδίου/ μετάλλου με πάχος 0.2mm και με λόγο ίνας / συγκολλητικό ίσο με 1/1 κατά βάρος. Κατά τη διάρκεια της θερμοσκλήρυνσης εξαιτίας διαφορών στους συντελεστές θερμικής διαστολής, αναπτύσσονται μικρές εναπομένουσες τάσεις στα φύλλα αλουμινίου και επίσης, μια θλιπτική τάση στα στρώματα αραμιδίου. Αν μετά τη θερμοσκλήρυνση το υλικό παραμορφωθεί πλαστικά οι εναπομένουσες τάσεις αντιστρέφονται.

Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψη καθορίζονται δυο τύποι ARALL: το ARALL 7075 που αποτελεί κράμα με βάση το Al7075-T6 και το ARALL 2024 που βασίζεται στο Al 2024-T3. Για τα δύο αυτά υλικά το σταθερό πάχος του αλουμινίου είναι 0.3 και 0.4mm αντίστοιχα. Επιπλέον, ικανοποιητικές ιδιότητες προκύπτουν από τη χρήση του Al 7475 ή των κραμάτων αλουμινίου-λιθίου. Οι ιδιότητες αυτές προκύπτουν από την εξαιρετική δυσθραυστότητα του Al 7475 και το μεγάλο μέτρο ελαστικότητας, τη χαμηλή πυκνότητα και τις καλές ιδιότητες διάβρωσης των κραμάτων αλουμινίου –λιθίου.

7.3.2 Ιδιότητες του ARALL

Οι σταθεροί τύποι του ARALL συμβολίζονται ως 7HXY και 2HXY. Το 7 αντιστοιχεί σε φύλλα αλουμινίου από το κράμα 7075-T6 και το 2 σε φύλλα αλουμινίου από το κράμα 2024-T3. Με H συμβολίζονται οι ίνες αραμιδίου με μεγάλο μέτρο ελαστικότητας, με X το πάχος των ξεχωριστών στρωμάτων αλουμινίου και με Y ο αριθμός των στρωμάτων αλουμινίου.

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται οι βασικές μηχανικές ιδιότητες του ARALL σε σχέση με τις ιδιότητες του αλουμινίου και του εποξικού γραφίτη.

Πίνακας 7.2: Μηχανικές Ιδιότητες διαφόρων υλικών

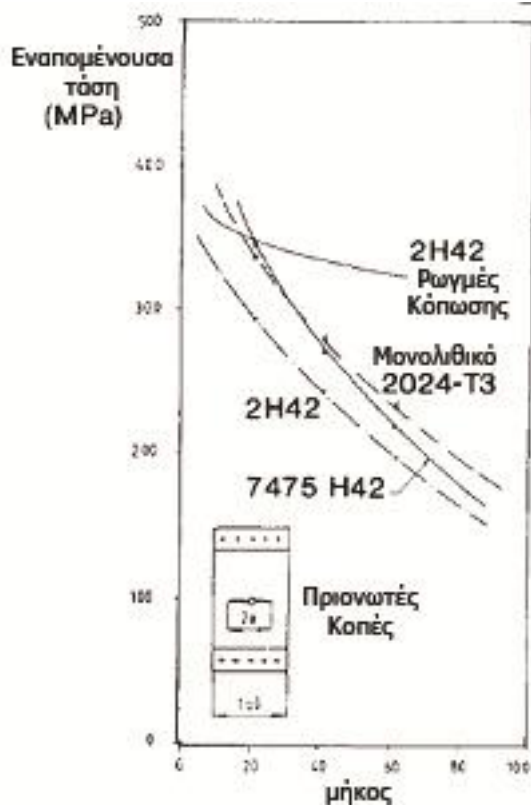
		ARALL		Αλουμίνιο		Γραφίτης / εποξική
		7H32	2H42	2024-T3	7075-T6	42% in 0° 50% in 45° 8% in 90°
τάση εφελκυσμού	(MPa)	735	590	470	560	655
0.2% τάση διαροής	(MPa)	635	380	360	480	NA
θλιπτική τάση	(MPa)	355	255	270	480	NA
Μέτρο ελαστικότητας	(GPa)	69	70	72	72	76
μέγιστη τάση	%	1.9	2.4	17	11	1
πυκνότητα	kg/m ³	2350	2450	2800	2800	1350

Τα ελάσματα στα οποία το προ εμποτισμένο στρώμα τοποθετείται μεταξύ δύο μεταλλικών στρωμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πολύ ανθεκτικού υλικού (Roebroeks G.H.J.J., and Vogelesang L.B,1990). Οι ρωγμές ξεκινούν από τις ανοικτές οπές που σχηματίζονται μετά από ένα μικρό τμήμα ανάπτυξης ρωγμών ή αναπτύσσονται πολύ αργά ανάλογα με τις συνθήκες φόρτισης. Γενικά το ARALL παρουσιάζει βελτιωμένες ιδιότητες στην κόπωση σε σχέση με τα μονολιθικά κράματα αλουμινίου. Ειδικότερα, όταν ένα προσιτό σύστημα εναπομένουσας τάσης εισάγεται στο ARALL τότε καθίσταται σχεδόν αδρανές στην κόπωση. Αυτή η συμπεριφορά εξηγείται από το γεγονός ότι οι ίνες δεν σπάνε κατά τη δημιουργία της ρωγμής. Το γεγονός αυτό δημιουργεί σταθερότητα στο άνοιγμα της ρωγμής ακόμα και αν πρόκειται για πολύ λεπτές ρωγμές(Vogelesang L B and Gunnink J W,1986). Στην εξαιρετική περίπτωση που η ρωγμή εκτείνεται μπορεί ακόμα και να παρεμποδιστεί. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις που μειώνεται σημαντικά ο συντελεστής τάσης-έντασης. Για να πραγματοποιηθεί ο συγκεκριμένος μηχανισμός θα πρέπει να μην υπάρχει αστοχία των ινών. Αυτό επιτυγχάνεται πιθανών επειδή υπάρχει μια αυτοελεγχόμενη υποβάθμιση ανάμεσα στις ίνες και στο συγκολλητικό υλικό με αποτέλεσμα, οι ίνες στο ξεκίνημα της ρωγμής να μην δέχονται φορτίο στο σημείο της αστοχίας. Το φορτίο στις συγκεκριμένες ίνες είναι σχεδόν σταθερό.

Για να γίνει επιβεβαίωση ότι ένα κατεστραμμένο φτερό κατασκευασμένο από ARRAL μπορεί να διατηρεί ασφαλή φορτία απαιτείται η αξιόπιστη εκτίμηση της εναπομένουσας τάσης. Ενώ τα φτερά που κατασκευάζονται από μονολιθικά υλικά ικανοποιούν με σχετική ακρίβεια τη μηχανική θεωρία αυτό δεν γίνεται στην περίπτωση που το υλικό κατασκευής είναι το ARALL. Οι ιδιότητες του ορίου θραύσης ορίζουν την ικανότητα του υλικού να αντιστέκεται στην γρήγορη θραύση παρουσία ρωγμών κόπωσης και άλλων ατελειών.

Το ARALL είναι ένα υβριδικό υλικό που έχει τυπική συμπεριφορά εναπομείνουσας τάσης. Η χαμηλή αντοχή στην αστοχία του αραμιδίου με μεγάλες ίνες έχει ανεπιθύμητη επίδραση στο όριο θραύσης ειδικά στις περιπτώσεις που κόβονται οι ίνες.

Το όριο θραύσης για το ARALL με ρωγμές κόπωσης είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο όριο με μονολιθικά κράματα 2024-T3 και 7075-T6 εξαιτίας των μη σπασμένων ινών στο χώρο της ρωγμής και τη ζώνη υποβάθμισης γύρω από τη ρωγμή, η οποία μεγαλώνει αποτελεσματικά την αντοχή των ινών. Το ARALL με τις επιφανείς ρωγμές δείχνει συγκρίσιμη ή χειρότερη συμπεριφορά του ορίου θραύσης σε σχέση με τα κράματα 7075-T6 και 2024-T3 αντίστοιχα. Αυτή η συμπεριφορά του ARALL μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση του κράματος 7075-T761 αντί για το 2024-T3.



Σχήμα 48: Σύγκριση της εναπομένουσας τάσης για το μη σκληρυμένο Al 2024-T3 και τα ARALL με 2024-T3 και 7475 (Vogeleisang L.B., Gunning J.W.)

Το ARALL είναι μη ανθεκτικό συγκριτικά με τα κράματα του αλουμινίου στις αμβλείες εγκοπές σε ότους στατικής αντοχής. Αυτό εξηγείται λαμβάνοντας υπόψη την μικρή ανηγμένη παραμόρφωση σε θραύση των ινών αραμιδίου, μια συμπεριφορά που εμφανίζεται σε όλα τα υλικά με ενίσχυση ινών. Η εναπομένουσα αντοχή βελτιώνεται σημαντικά με τη χρήση μέσων ινών.

Στα ελασματικά υλικά οι διεπιφάνειες ανάμεσα στα διάφορα συστατικά (ίνες, συγκολλητικά και μέταλλα) μπορούν να έχουν καθοριστική επίδραση στη συμπεριφορά των υλικών ειδικά κάτω από ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Η διεπιφάνεια ίνας/συγκολλητικού είναι η πιο ασθενής σύνδεση στο ARALL ειδικά αν η φόρτιση γίνεται στην κατεύθυνση των ινών.

Για τα σύνθετα υλικά είναι γνωστό ότι ο σχεδιασμός τους περιορίζεται από την οριακή παραμόρφωση των στρωμάτων που είναι αισθητά χαμηλότερη από την ικανότητα αστοχίας του σύνθετου υλικού. Η μείωση αυτή οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως η συγκέντρωση τάσης, η αντοχή, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και η δυνατότητα επιδιόρθωσης (Riedinga L.A., Waraniak J.M., 1984). Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να μειώσουν την τελική

σχεδιαστική αντοχή κατά 0.25% για τις κρίσιμες θλιπτικές περιοχές και κατά 0.35% για τις κρίσιμες εφελκυστικές περιοχές.

Το ARALL είναι επίσης ευαίσθητο στις εγκοπές, όχι στην έκταση των εντελώς σύνθετων υλικών αλλά συγκριτικά μεγαλύτερη ευαισθησία από τα κράματα του αλουμινίου. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες δεν επηρεάζουν σημαντικά τα είδη ARALL ακόμα και αν είναι πολύ έντονες.

Η ανθεκτικότητα της κατασκευής όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι άμεση συνάρτηση της κόπωσης και της παρουσίας ρωγμών. Στα μεταλλικά φτερά η δημιουργία ρωγμών είναι η πιο διαδεδομένη μορφή υποβάθμισης της δομής που επηρεάζει την ανθεκτικότητά τους. Ειδικά οι ρωγμές λόγω κόπωσης ξεκινούν από τις οπές των επιταχυντών και είναι οι πιο συνήθεις αιτίες θραύσης (Schee P.A.V.D., 1979). Η μέγιστη θλιπτική τάση μπορεί να μειωθεί μέχρι και 60% στο ARALL.

Η δημιουργία μικρορωγμών στο ARALL πραγματοποιείται μετά από τον ίδιο αριθμό κύκλων φόρτισης όπως και στο αλουμίνιο. Οι μεγάλες ρωγμές όμως δεν υπάρχουν ή σχηματίζονται σε πολύ μεγαλύτερα φορτία κόπωσης σε σχέση με τα κράματα αλουμινίου.

Η επίτευξη ανθεκτικής κατασκευής στην καταστροφή απαιτεί τη γνώση της φύσης και του σχήματος των αταξιών στο υλικό, του ρυθμού ανάπτυξης των ρωγμών και της εναπομένουσας τάσης της υποβαθμισμένης κατασκευής.

Συνοψίζοντας τα μειονεκτήματα του ARALL είναι:

α. Οι ίνες αραμυδίου έχουν χαμηλή αντοχή στη διεπιφάνεια ανάμεσα στις ίνες και στη συγκόλληση. Κατά συνέπεια δεν μπορεί να παραχθεί έλασμα ARALL με κατ'όγκον περιεκτικότητα σε ίνες πάνω από 50% το οποίο να έχει ικανοποιητική αντοχή και τάση διάτμησης.

β. Η αστοχία των ινών στη θραύση των ενδιάμεσων στρωμάτων ινών δεν πραγματοποιείται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες κόπωσης. Παρά το γεγονός πως η αντίσταση στην ανάπτυξη της ρωγμής σε κόπωσης είναι σημαντικά καλύτερη από αυτήν του Al-2024, επηρεάζει σημαντικά την απόδοση στη γεφύρωση των ρωγμών.

γ. Οι ανισότροπες ιδιότητες του ARALL με ίνες μονής κατεύθυνσης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλα τα μέρη του αεροπλάνου. Για

παράδειγμα δεν ενδείκνυται για χρήση στην επιφάνεια της ατράκτου όπου οι ίνες δέχονται διαξονικές τάσεις.

Οι ίνες αραμιδίου επιλέγονται αντί των ινών άνθρακα για τους ακόλουθους λόγους: α) το αραμίδιο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο σε σχέση με τα μέταλλα οπότε σε αυτό δεν παρουσιάζεται γαλβανική διάβρωση, β) η ειδική αντοχή και το όριο διαρροής σε εφελκυσμό είναι κατά πολύ μεγαλύτερα από τις ίνες άνθρακα και γ) οι ίνες του αραμιδίου είναι πολύ πιο φθηνές από τις ίνες του άνθρακα.

7.4. Υλικά κατασκευής πηδαλίου διεύθυνσης αεροπλάνου

Σε κάθε αεροπλάνο υπάρχουν δύο είδη πηδαλίου το πηδάλιο διεύθυνσης και το πηδάλιο ύψους. Το κάθε πηδάλιο εξυπηρετεί μια διαφορετική λειτουργία κατεύθυνσης του αεροσκάφους.

Το πηδάλιο διεύθυνσης, που βρίσκεται στο κάθετο σταθερό του ουραίου πτερώματος, στρέφεται δεξιά ή αριστερά και έτσι το αεροπλάνο παίρνει στροφή με ταυτόχρονη κλίση. Μοιάζει στη λειτουργία του με το πηδάλιο του πλοίου και δε χρησιμοποιείται συχνά, γιατί αν χρησιμοποιηθεί μόνο του, θα προκαλέσει απώλεια στήριξης.

Το πηδάλιο ύψους βρίσκεται τοποθετημένο στο χείλος εκφυγής του οριζόντιου σταθερού του ουραίου πτερώματος. Έχει τη δυνατότητα να κινείται πάνω ή κάτω σχετικά με το οριζόντιο σταθερό και έτσι το αεροπλάνο μπορεί να ανεβαίνει ή να κατεβαίνει.

Τα πτερύγια καμπυλότητας ή φλαπς βρίσκονται κάτω από τις πτέρυγες προς το χείλος εκφυγής και χρησιμοποιούνται για το σταμάτημα του αεροπλάνου όταν κινείται στο έδαφος. Επίσης χρησιμοποιούνται στις απότομες καθόδους, γιατί αυξάνουν την αντίσταση του αέρα. Όταν η ταχύτητα του αεροπλάνου μειώνεται υπερβολικά ή όταν κατά τη διάρκεια της ανόδου του κινδυνεύει να χάσει τη στήριξή του, τότε τα πτερύγια καμπυλότητας βγαίνουν από μόνα τους κι έτσι ο χειριστής καταλαβαίνει τον κίνδυνο και μπορεί να κάνει τους απαραίτητους χειρισμούς.

Τα σύνθετα είναι τα σημαντικότερα υλικά που υιοθέτησε η αεροπορία μετά τη χρήση του αλουμινίου τη δεκαετία του '20. Για τη σύγχρονη κατασκευή του πηδαλίου πλοήγησης χρησιμοποιούνται κυρίως σύνθετα υλικά. Τα σύνθετα

υλικά είναι συνδυασμός δύο ή περισσότερων οργανικών ή ανόργανων συστατικών. Ένα υλικό χρησιμεύει ως «μήτρα,» που είναι το υλικό που τα κρατά όλα μαζί, ενώ το άλλο υλικό χρησιμεύει ως μια ενίσχυση, υπό μορφή ινών που ενσωματώνονται στη μήτρα. Μέχρι σήμερα, τα πιο κοινά υλικά μητρών ήταν θερμοσκληρυνόμενα («thermosetting»). Τα υλικά ενίσχυσης μπορούν να είναι glass fiber, carbon fibre, ή άλλα πιο εξωτικά μίγματα.

Παρά την ακθεκτικότητα και το χαμηλό βάρος τους, τα σύνθετα δεν είναι μια θαυματουργή λύση για τις δομές αεροσκαφών. Τα σύνθετα είναι δύσκολο να επιθεωρηθούν για τις ρωγμές. Μερικά απ' αυτά απορροφούν την υγρασία. Επιπλέον, μπορούν να είναι ακριβά, πρωτίστος επειδή απαιτούν συχνά σύνθετες και ακριβές μηχανές επεξεργασίας. Το αλουμίνιο, σε αντίθεση, είναι εύκολο να κατασκευαστεί και να επισκευαστεί. Όλοι γνωρίζουμε ότι σχεδόν όλα τα μέταλλα μπορούν να επισκευαστούν και να πάρουν το αρχικό τους σχήμα. Το ίδιο πράγμα ισχύει για πολλά σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται στην αεροπορία.

Τα πρώτα δομικά σύνθετα τμήματα αεροσκαφών, που εισήχθησαν κατά τη διάρκεια του 1950-60, έγιναν από ενισχυμένο πλαστικό fiberglass. Αυτά τα συστατικά συμπεριλήφθηκαν στο πτερύγιο, στο πηδάλιο και σε άλλα εξαρτήματα των αεροπλάνων εκείνης της εποχής. Λόγω υψηλής αντοχής και της ακαμψίας που συνδυάζεται με τη χαμηλή πυκνότητα, σύνθετα όπως πλαστικά από ενισχυμένες ίνες βορίου (BFRP) και πλαστικά από ενισχυμένες ίνες άνθρακα (CFRP) τα οποία προτιμώνται αντί του αλουμινίου για τις δομές αεροσκαφών υψηλής επίδοσης. Για τις ελαφριά φορτωμένες δομές, έχουν χρησιμοποιηθεί τα πλαστικά από ενισχυμένες ίνες αραμιδίου (AFRP) που έχουν χαμηλή πυκνότητα. Η χρήση AFRP συνεχίζει να περιορίζεται στις ελαφριά φορτωμένες δομές εξαιτίας του γεγονότος ότι αν και αυτές οι ίνες κατέχουν υψηλή εφελκυστικότητα, έχουν όμως πολύ χαμηλή θλιψιμότητα. Για τα ελαφριά αεροσκάφη και τα ελαφριά φορτωμένα δομικά συστατικά τα GFRP έχουν γίνει ένα από τα κοινά υλικά. Συνεπώς, σήμερα, τα σύνθετα υλικά όπως GFRP, FRP και AFRP έχουν γίνει συνήθη υλικά για τις επιφάνειες ελέγχου πτήσης όπως το πηδάλιο.

7.5. Σύστημα φρένων αεροπλάνων

Τα φρένα του αεροπλάνου αποτελούνται από πολλά στρώματα που πιέζονται υδραυλικά και συνδέονται μεταξύ τους με έναν περιστρεφόμενο δίσκο ανάμεσά τους. Τα στρώματα αυτά ασκούν πίεση στο ρότορα ο οποίος περιστρέφεται μαζί με τους τροχούς. Ως αποτέλεσμα της αυξημένης τριβής του ρότορα οι τροχοί επιβραδύνονται και τελικά σταματάνε. Το υλικό των φρένων μπορεί να είναι είτε ο χάλυβας είτε σύνθετα υλικά άνθρακα. Στην παρούσα εργασία ως υλικό κατασκευής των φρένων τα σύνθετα υλικά άνθρακα-άνθρακα.

Ο στερεός άνθρακας και τα σύνθετα υλικά άνθρακα – άνθρακα χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές τριβής εξαιτίας των θερμικών τους ιδιοτήτων. Αυτές περιλαμβάνουν τη χαμηλή πυκνότητα, το χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής, την υψηλή θερμοχωρητικότητά τους, τη χημική αδράνεια και την ικανότητα αυτολύπανσής τους και την καλή τους αντίσταση στη φθορά. Ένα από τα μοναδικά χαρακτηριστικά του στερεού άνθρακα είναι ότι η αντοχή του αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι αντέχουν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 2500° C επιτρέπει στα σύνθετα υλικά C-C να χρησιμοποιούνται ως πυρίμαχα υλικά. Αυτές οι ιδιότητες συνδυάζονται στα σύνθετα υλικά άνθρακα- άνθρακα και τα καθιστούν τα κύρια υλικά για την κατασκευή των δίσκων στα φρένα του αεροπλάνου. Το 63% των σύνθετων υλικών άνθρακα-άνθρακα χρησιμοποιούνται στα φρένα των αεροπλάνων (Byrnes C., 2004).

Συγκριτικά με τα μεταλλικά υλικά για εφαρμογές τριβής τα σύνθετα υλικά άνθρακα- άνθρακα παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα περιλαμβάνοντας τη μείωση του βάρους των φρένων, τη μεγάλη διάρκεια ζωής των δίσκων, το μικρότερο θόρυβο, την ομαλότερη λειτουργία και την προσρόφηση μεγαλύτερης θερμικής ενέργειας ανά μονάδα φρένου (Ruppe J.P., 1980, Fitzer E., Manocha L.M., 1998).

Τα συστήματα των φρένων που τυπικά χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη έχουν δίσκους που αποτελούνται από πολλές διεπιφάνειες τριβής πολλαπλασιάζοντας με αυτόν τον τρόπο την απόδοση των φρένων.



Σχήμα 49: Σύστημα προσγείωσης και φρένο

Οι τυπικές απαιτήσεις για τα φρένα του αεροπλάνου κυμαίνονται από χαμηλούς ρυθμούς διάλυσης έως υψηλούς ρυθμούς. Αυτό περιλαμβάνει ότι οι συνθήκες ταξιδιού πρέπει να γίνονται με θερμά και ψυχρά φρένα και φυσιολογικές συνθήκες προσγείωσης.

Η φυσιολογική λειτουργία των φρένων του αεροσκάφους είναι γνωστό ότι προκαλεί μεγάλες θερμοκρασίες στις διεπιφάνειες τριβής που ξεπερνούν τους 1000°C . Οι πιο συχνές αναφερόμενες συμπεριφορές στα σύνθετα υλικά άνθρακα-άνθρακα σχετίζονται με τις μέσες θερμοκρασίες και περιλαμβάνουν μεταπτώσεις λόγω απορρόφησης καθώς και διαφοροποιήσεις λόγω οξείδωσης (Savage R.H,1948,Savage R.H. and Scharfer D.L.,1956, Lee K.J., Chern Lin J.H and Ju C.P., 1996, Yen B.K. and Ishihara T.,1996, Yen B.K. and Ishihara T., 1994). Γενικά όλες οι σχετικές μελέτες επικεντρώνουν κυρίως στη φύση του συντελεστή τριβής ή στους ρυθμούς μεταβολής της φθοράς σε διαφορετικές θερμοκρασίες ή στα πεδία ατμοσφαιρικής λειτουργίας. Έχει αποδειχτεί ότι ο συντελεστής τριβής και ο ρυθμός φθοράς αυξάνονται σημαντικά καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται πάνω από τους 150°C και με μειωμένη υγρασία. Η εκρόφηση της υγρασίας είναι απότομη και ανεξάρτητη από τη μέθοδο δοκιμής της τριβής. Με την εφαρμογή των φρένων ο συντελεστής τριβής αυξάνεται κατά 7 με 8 φορές σε ένα δευτερόλεπτο (Byrne C., 2001). Ένας άλλος συσχετισμός των δίσκων άνθρακα-άνθρακα με τη

θερμοκρασία είναι η οξειδωσή τους σε θερμοκρασίες άνω των 400° C. Τα προστατευτικά καλύματα που χρησιμοποιούνται εφαρμόζονται μόνο πάνω σε επιφάνειες χωρίς τριβή. Παλιότερα, για την παραγωγή των σύνθετων υλικών άνθρακα χρησιμοποιούνταν διάφορες κατηγορίες ινών και μητρικών φορέων. Σήμερα η αγορά έχει στραφεί προς βελονωτές ίνες με μήτρες που παράγονται εξ' ολοκλήρου από τη χημική διήθηση των ατμών (Chemical Vapour Infiltration, CVI). Τα συγκεκριμένα υλικά προσφέρουν σημαντική ευελιξία στο σχεδιασμό των ιδιοτήτων των προϊόντων μέσω της ρύθμισης των λειτουργικών παραμέτρων όπως τη διαμόρφωση διάτρησης και τις κατεργασίες θερμικής κατεργασίας. Οι ρυθμίσεις των παραμέτρων αυτών είναι η επίδραση της απόδοσης τριβής (Byrne, C. and Wang, Z.,2001)

7.5.1 Επεξεργασία Σύνθετων υλικών άνθρακα-άνθρακα

Για την παραγωγή των σύνθετων υλικών άνθρακα-άνθρακα υπάρχουν διάφορες μέθοδοι κατεργασίας. Οι μέθοδοι κατεργασίας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη μέθοδο πύκνωσης. Οι φάσεις της μήτρας στις ίνες είτε παράγονται με μεθόδους υγρής διήθησης που ακολουθούνται από ανθρακοποίηση ή με μεθόδους διήθησης των ατμών. Οι ίνες πριν σχηματιστούν μπορεί να είναι δισδιάστατες τυχαίες ράβδοι που συμπιέζονται μαζί, συσσωρευμένες υφάνσεις, τρισδιάστατες υφάνσεις, οδοντωτές υφάνσεις ή συνδυασμός κάποιων από αυτά. Οι προεμποτισμένοι ράβδοι και οι ταινίες χρησιμοποιούνται επίσης για τους αρχικούς σχηματισμούς. Κάθε στάδιο στην κατεργασία ασκεί επίδραση στις τελικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών.

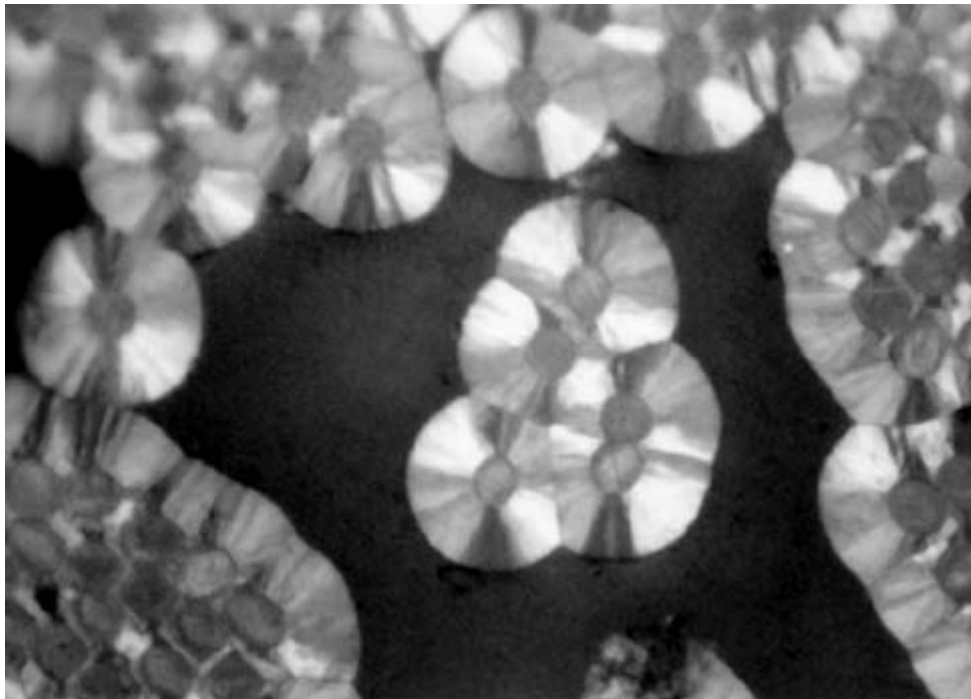
Υπάρχουν τρεις διαφορετικές περιοχές που συνεισφέρουν ξεχωριστά στις ιδιότητες των υλικών άνθρακα. Οι περιοχές αυτές είναι: α) η δομή της φάσης και ο προσανατολισμός, β) η δομή των ινών και γ) τα χαρακτηριστικά της διεπιφάνειας ίνας-μήτρας. Οι στερεοί άνθρακες παρουσιάζουν ένα ευρύ επίπεδο χημικών και φυσικών ιδιοτήτων που κατά κύριο λόγο εξαρτώνται από τη μοριακή δομή του φορέα και τη σύσταση, τη μέθοδο ανθρακοποίησης και τη θερμική κατεργασία σε υψηλή θερμοκρασία. Η διαθεσιμότητα των οξειδωμένων επιπέδων ινών τις καθιστούν ελκυστικές για χρήση στα φρένα. Ένας λόγος γι' αυτό είναι ότι οι συγκεκριμένες ίνες είναι διαθέσιμες σε πολύ

χαμηλό κόστος. Επιπλέον, οι ίνες αυτές είναι πολύ εύκολο να προσαρμοστούν στη διάτρηση ενώ οι ψαθυρές ίνες άνθρακα δεν μπορούν. Η τυπική διεργασία παραγωγής αυτών των υλικών περιλαμβάνει τη στοίχιση και τη σύνδεση διαφορετικών ειδών πιλήματος με μια ειδική μέθοδο διάτρησης. Αφού οι αρχικοί σχηματισμοί συνδεθούν μεταξύ τους, πραγματοποιείται η ανθρακοποίηση εκτός αν αυτή έχει πραγματοποιηθεί νωρίτερα. Επιπλέον, η θερμική κατεργασία μπορεί στη συνέχεια να αποδώσει στις ίνες τη διατήρηση μεγαλύτερης ακαμψίας και θερμικής αγωγιμότητας. Η διαδικασία παραγωγής ολοκληρώνεται με την πύκνωση με τις μεθόδους CVI. Η θερμική κατεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες της μητρικής φάσης μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί και να ενισχύσει τη θερμική αγωγιμότητα των σύνθετων υλικών.

Φάση Μήτρας

Οι πρόδρομοι της φαινολικής μήτρας οδηγούν σε μη γραφιοποιημένο άνθρακα που είναι τυπικά σκληρότερος και πιο λείος από το γραφιοποιημένο άνθρακα. Η φαινόλη επιτρέπει στα άψητα κεραμικά προϊόντα να είναι έτοιμα για συμπίεση και παρουσιάζουν λογική απόδοση άνθρακα. Οι πρόδρομοι της μήτρας με βάση την πίσσα αποδίδουν μια σημαντική ποσότητα γραφιοποιημένου άνθρακα που εξαρτάται από τη ποσότητα της μεσοφάσης που δημιουργούνται κατά την πυρόλυση. Οι πρόδρομοι πίσσας είναι λιγότερο κοινοί από τους φαινολικούς εξαιτίας της έλλειψης ουσιαστικής διασύνδεσης κατά τη στερεοποίηση και των χαμηλότερων μηχανικών ιδιοτήτων των αναγόμενων κεραμικών. Επιπρόσθετα, για τη δημιουργία σύνθετων προϊόντων άνθρακα-άνθρακα χρησιμοποιείται η υγρή διήθηση και τα βήματα της ανθρακοποίησης.

Οι άνθρακες που παράγονται από την διάσπαση στην αέρια φάση των μη γραφιοποιημένων σε υψηλά γραφιοποιημένους άνθρακες εξαρτώνται από τη σύσταση του αερίου, την πίεση και τη θερμοκρασία της διάσπασης. Αντίθετα προς την ισοτροπική φάση οι άνθρακες που προέρχονται από τη σύνδεση πολυμερών όπως η φαινόλη και ο γραφιοποιημένος άνθρακας είναι υψηλά ανισοτροπικοί.



Σχήμα 50: Εικόνα από οπτικό μικροσκόπιο σύνθετου c-c με μήτρα γραφίτη (Byrne C.,2004).

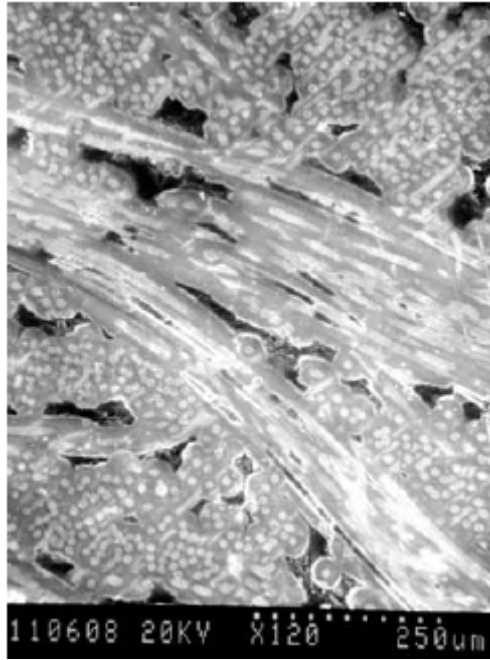
Ο βαθμός του επιθυμητού προσανατολισμού σε αυτές τις φάσεις του γραφίτοποιημένου άνθρακα ενισχύει σημαντικά τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Ο επιθυμητός προσανατολισμός είναι αποτέλεσμα των επιφανειών πάνω στις οποίες εναποτίθεται ο στερεός άνθρακας. Τα στρώματα γραφενίου συσσωρεύονται παράλληλα προς το υπόστρωμα.

Η φάση της μήτρας που προέρχεται από το CVI μπορεί να υποστεί θερμική κατεργασία με σημαντική επίδραση στις συνολικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών. Η διαδικασία της πύκνωσης από το CVI απαιτεί σημαντικό χρόνο για την ολοκλήρωσή της και πραγματοποιείται με μια μέθοδο υπό συνθήκες κενού και θέρμανση στους 1000° C. Τα αποθέματα των υδρογονανθράκων εισάγονται στις συνθήκες κενού όπου διασπώνται και εναποθέτουν στερεό άνθρακα στο εσωτερικό του σύνθετου υλικού. Το αποτέλεσμα είναι μια ισχυρή φάση γραφίτη που έχει ιδιότητες παραπλήσιες με τον φυσικό γραφίτη.

Ίνες

Οι ίνες άνθρακα μπορεί να είναι είτε από πίσσα είτε από πολυμερή και γενικά παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες. Γενικά, οι ίνες πίσσας έχουν μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας σε σχέση με τις πολυμερικές ίνες όμως αυτό πολλές φορές οδηγεί σε μειωμένη αντοχή. Δεδομένου ότι οι πολυμερικές ίνες δεν περνούν μέσα καμία ενδιάμεση φάση κατά την ανθρακοποίηση δεν μπορούν να παράγουν ίνες γραφίτη. Παρόλα αυτά οι τελικές ίνες παρουσιάζουν σε μεγάλο βαθμό επιθυμητό προσανατολισμό ώστε τα στρώματα γραφενίου να είναι παράλληλα προς τον άξονα της ίνας. Αυτό τους προσδίδει καλή αντοχή και υψηλή ακαμψία, ιδιότητες που εξαρτώνται από τη μέθοδο παραγωγής των ινών. Οι ιδιότητες των ινών εξαρτώνται από το σχεδιασμό τους, την οξειδωση και την ανθρακοποίησή τους όπως επίσης και τη θερμική τους κατεργασία.

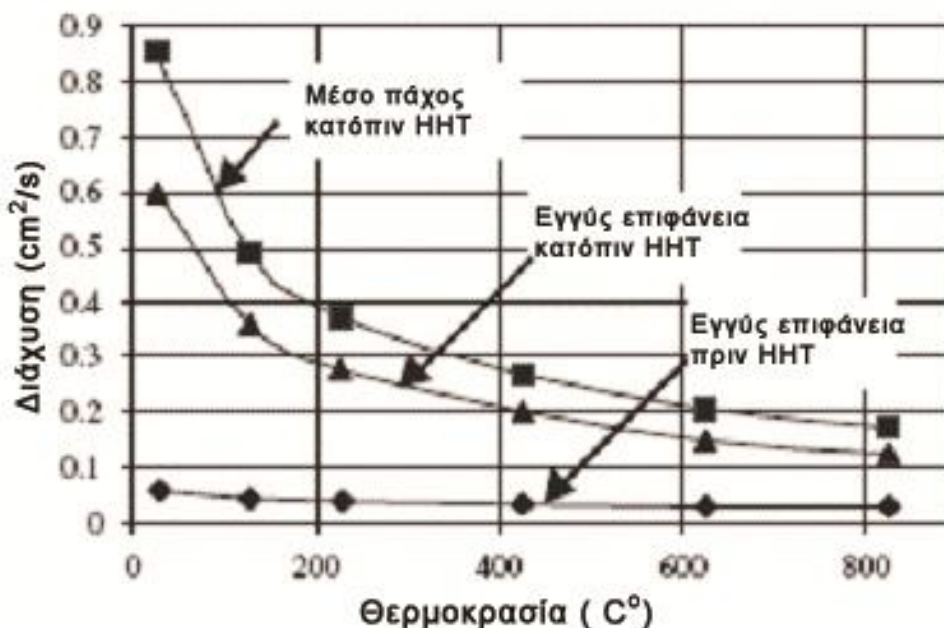
Η αρχιτεκτονική των ινών είναι μια κρίσιμη περιοχή στην οποία μπορεί να επιτευχθεί ο έλεγχος των ιδιοτήτων των σύνθετων υλικών. Ο ογκομετρικός λόγος των ινών και ο προσανατολισμός τους εξετάζονται προσεκτικά στο σχεδιασμό ειδικών εφαρμογών. Ειδικότερα, η χρήση των ινών στην διεύθυνση του πάχους ενός δίσκου βελτιώνει αισθητά την εύκαμπτη αντοχή μέσω του μέτρου ελαστικότητας του πάχους αλλά και μέσω της μεταφοράς θερμότητας. Αυτή η αρχιτεκτονική επιτυγχάνεται μέσω τεχνικών ύφανσης ή βελονισμού διδιάστατων δομών ινών. Συχνά αυτές οι δομές έχουν χαμηλότερο ογκομετρικό όγκο ινών εξαιτίας της αναποτελεσματικότητας της σύνδεσης κατά τη διεργασία. Από την άλλη, ένα σύνθετο υλικό με σχεδόν ισοτροπικές ιδιότητες μπορεί να επιτευχθεί με μεγάλο περιεχόμενο ινών στην κατεύθυνση του πάχους.



Σχήμα 51: Εικόνα SEM για βελονοτές ίνες σύνθετου c-c υλικού όπου φαίνονται οι ίνες μέσω πάχους εκτεθειμένες πάνω στο φορέα (Byrnes,2004)

Η αρχιτεκτονική των ινών παίζει ένα σημαντικό ρόλο τόσο στο σχηματισμό όσο και στη μικροδομή της φάσης της μήτρας. Ο εμποτισμός με τα υγρά εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη διαπερατότητα της αρχικής φάσης που ελέγχεται από την αρχιτεκτονική των ινών. Επιπρόσθετα, ο επιθυμητός προσανατολισμός των στρωμάτων γραφενίου μπορεί να σχηματιστεί στη μήτρα έτσι ώστε να είναι παράλληλος προς τον άξονα των ινών. Αυτό είναι πρακτικά εφικτό για τις αέριες φάσεις εναπόθεσης. Σε αυτήν την περίπτωση τα φύλλα γραφενίου εναποτίθενται ως στρώματα στο υπόστρωμα και κατά συνέπεια μιμούνται τον επιθυμητό προσανατολισμό στο υπόστρωμα. Αυτό είναι παρόμοιο με την παραγωγή μιας μεγαλύτερης ίνας στην οποία τόσο η μήτρα όσο και η ίνα είναι βασικές δομικές μονάδες που ευθυγραμμίζονται με τον άξονα της αρχικής ίνας.

Η επίδραση τόσο της δομής της ίνας όσο και της θερμικής επεξεργασίας στις θερμικές ιδιότητες παρουσιάζεται από τον Bryne C,(2004), στο Σχήμα 44.



Σχήμα 52: Θερμική διαχυτότητα βελονοειδών σύνθετων c-c πριν και μετά τη γραφίτοποίηση (Bryner C.,2004).

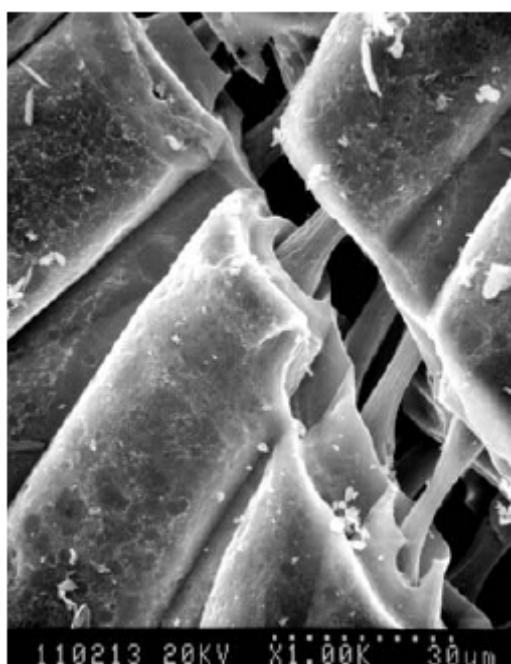
Η θερμική διαχυτότητα μετρήθηκε σε ένα ευρύ πεδίο θερμοκρασιών για τρεις διαφορετικές συνθήκες των σύνθετων υλικών άνθρακα-άνθρακα. Η διαχυτότητα μετά την πύκνωση με CVI βρέθηκε ότι είναι $0,6\text{cm}^2/\text{s}$ σε θερμοκρασία δωματίου. Αυτό αυξάνεται κατά μια τάξη μεγέθους μετά τη θερμική κατεργασία του γραφίτη. Οι διαχυτότητες σε θερμοκρασία 800°C είναι μεγαλύτερες μετά το σχηματισμό του γραφίτη. Τα δείγματα που λαμβάνονται κοντά στο μέσο πάχος του δίσκου αποδίδουν μεγαλύτερη διαχυτότητα. Αυτό είναι αποτέλεσμα του μεγαλύτερου λόγου ινών που υπάρχει στο μέσο του δίσκου και οφείλονται στη διαρκή ανάπτυξη βελονοειδών ινών που εναποτίθενται ως στρώματα πάνω στην αρχική φάση. Οι περιεχόμενες ίνες επιρεάζουν τις ιδιότητες των συγκεκριμένων σύνθετων υλικών (Byrne, C.and Wang, Z., 2001). Οι ίνες στη κατεύθυνση του πάχους καθώς και η CVI μήτρα που τα περιβάλλει λειτουργούν ως αγωγοί μεταφοράς θερμικής ενέργειας μακριά από την επιφάνεια τριβής κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος.

Διεπιφάνεια

Η τρίτη κρίσιμη περιοχή ελέγχου των ιδιοτήτων των σύνθετων υλικών είναι η προσαρμογή της διεπιφάνειας ανάμεσα στην ίνα και τη μήτρα. Η διεπιφάνεια είναι κρίσιμη στη μεταφορά του φορτίου ανάμεσα στις φάσεις και εξηγούν την παραμόρφωση της ρωγμής και τη βελτιωμένη ανθεκτικότητα. Οι δεσμοί της διεπιφάνειας ελέγχονται από διάφορους παράγοντες όπως η δομή των ινών του άνθρακα, η χημική διαμόρφωση για την παραγωγή λειτουργικών ομάδων, η ικανότητα διάβρεξης των υγρών πρόδρομων ουσιών καθώς και οι συνθήκες πόλωσης και ανάπτυξη της μητρικής φάσης.

Η ακεραιότητα της διεπιφάνειας καθορίζεται από την αντοχή των δεσμών και την παρουσία αταξιών που μπορούν να δημιουργηθούν κατά τη διεργασία από τη συρρίκνωση της αποσύνθεσης ή τη θερμική διαστολή και την αναντιστοιχία ανάμεσα στις φάσεις. Σε αυτήν την περίπτωση η βέλτιστη αντοχή της διεπιφάνειας θα ικανοποιεί ταυτόχρονα τις απαιτήσεις για αντοχή και ακαμψία της εφαρμογής.

Στα περισσότερα σύνθετα υλικά άνθρακα – άνθρακα η οξειδωση πραγματοποιείται επιλεκτικά πάνω στη διεπιφάνεια ίνας – μήτρας. Ως αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης τριβής η διεπιφάνεια κοντά στις επιφανειακές ίνες αδυνατεί και από το σύνθετο υλικό απομακρύνονται θράυσματα ινών.



Σχήμα 53: SEM εικόνα που δείχνει την απώλεια σε κάθε φάση μετά από ρωγμή σε σύνθετο υλικό άνθρακα –άνθρακα (Byrner,2004).

Η απώλεια υλικού που φαίνεται στο Σχήμα 45 φαίνεται να διαφέρει από τις ίνες εξωτερικά της μήτρας. Οι ίνες που γεφυρώνουν το κενό στραγγαλίζονται κατά την έκθεσή τους στο οξυγόνο. Η ίνα οξειδώνεται πιο γρήγορα στην κορυφή του γραφένιου και προκαλεί απότομη απώλεια κατά μήκος της διεύθυνσης της ίνας. Η διαφοροποίηση στους ρυθμούς οξειδωσης μέσα στη μήτρα οφείλεται στις δομικές αλλαγές που συμβαίνουν στα CVI στρώματα και οι οποίες οφείλονται στις μεταβολές των λειτουργικών παραμέτρων κατά την πύκνωση.

Η απώλεια της αντοχής στη διεπιφάνεια από την οξειδωση αποτελεί σημαντική θεώρηση για την απώλεια ινών στη διεπιφάνεια τριβής. Τα θραύσματα των ινών που παράγονται κατά το σπάσιμο συμβάλουν στους ρυθμούς φθοράς (Murdie, N. and Ju, C.P,1991). Η διεπιφάνεια διαμορφώνεται ανάλογα με τις ιδιότητες του σύνθετου άνθρακα-άνθρακα και την απόδοση του φρεναρίσματος.

Η διεπιφάνεια είναι πολύ ζυπαθής στην οξειδωση εξαιτίας της CVI δομής του άνθρακα. Οι πολλές πολωμένες μεριές και η συνολική ανηγμένη διάταξη στη διεπιφάνεια έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός δραστικού στρώματος που επιτίθεται γρήγορα σε μέσες θερμοκρασίες παρουσία του οξυγόνου.

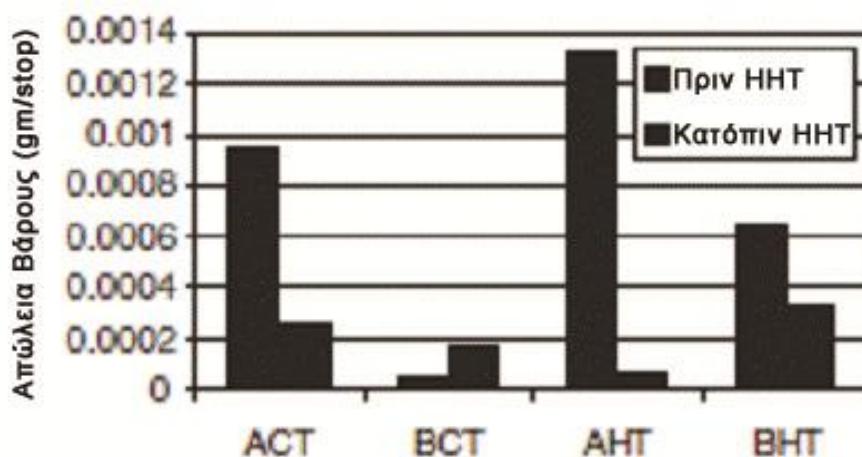
7.5.2 Απόδοση τριβής

Η συμπεριφορά της τριβής του σύνθετου c-c εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ο τύπος του σύνθετου, οι παράμετροι της τριβής (φορτίο, ταχύτητα ολίσθησης, ενέργεια), το περιβάλλον (θερμοκρασία, υγρασία, ατμόσφαιρα) και την ιστορία του σύνθετου υλικού (Fitzer, E. and Manocha, L.M. 1998, Awasthi, S., and Wood, J.L.,1988). Η τάση στην ανάπτυξη τριβής στο δίσκο c-c είναι να αυξάνεται η διάρκεια ζωής ανάλογα με την αύξηση της απόδοσης. Η μείωση των ρυθμών φθοράς και η αύξηση της αντίστασης οξειδωσης είναι κρίσιμες για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Τριβή και φθορά

Η κατανόηση των μηχανισμών πίσω από την απόδοση τριβής για τα σύνθετα υλικά c-c δεν έχει ακόμα επιτευχθεί πλήρως. Ενώ είναι γνωστό ότι η απόδοση ποικίλει ανάλογα με τις συνθήκες του φρεναρίσματος δεν έχει βρεθεί ακόμα ο τρόπος αντιμετώπισής του.

Η απόδοση του φρεναρίσματος επηρεάζονται σημαντικά από τις ιδιότητες των σύνθετων υλικών. Οι ρυθμοί φθοράς στα βελονοειδή σύνθετα c-c επηρεάζονται από τη δομή τους καθώς αυτά μεταβάλλονται σε περιεχόμενο ινών. Η θερμική κατεργασία επίσης επηρεάζει την απόδοση όπως επίσης και το είδος του σταματήματος. Ο Byrne C. (2004) παρουσιάζει αποτελέσματα μετρήσεων για προσομοιώσεις ψυχρών (-CT) και θερμών (-HT) σταματημάτων για σύνθετα υλικά με μικρή ή μέση ποσότητα (A- ή B-) ινών κατά μήκος του πάχους του σύνθετου c-c πριν και μετά τη θερμική κατεργασία γραφίτοποίησης. Γενικά απέδειξε ότι για θερμική κατεργασία στο υλικό με τις περισσότερες ίνες οι ρυθμοί φθοράς ήταν μικρότεροι. Οι συνθήκες θερμής μεταφοράς γενικά αυξάνουν τους ρυθμούς φθοράς σε σχέση με τις κρύες συνθήκες.



Σχήμα 54: Ρυθμοί φθοράς σε σύνθετο υλικό c-c για διαφορετική περιεκτικότητα ινών και θερμική κατεργασία (Byrne C.,2004)

Οι μηχανισμοί φθοράς εξαρτώνται από τη χρήση των σύνθετων υλικών και από τις διαφορές στη μικροδομή τους. Κατά τη διάρκεια ενός φρεναρίσματος η θερμοκρασία τριβής για τη διεπιφάνεια θα εξαρτάται από τη

θερμική διαχυτότητα του δίσκου c-c. Οι μηχανισμοί συσχετισμού τριβής και θερμοκρασίας μπορεί σε ένα υλικό να ενεργοποιούνται ενώ σε κάποιο άλλο όχι.

Περιβαλλοντική επίδραση

Ο μηχανισμός συσχετισμού της τριβής με τη θερμοκρασία είναι η διακύμανση της εκρόφησης που προκαλεί αλλαγές τόσο στη τριβή και στη φθορά των σύνθετων υλικών άνθρακα-άνθρακα.

Όταν πραγματοποιείται το φρενάρισμα η διεπιφάνεια τριβής θερμαίνεται και εκροφάται η υγρασία που παγιδεύεται στον άνθρακα και δημιουργεί τη φθορά. Καθώς το σταμάτημα πλησιάζει την ολοκλήρωση αναπτύσσονται ταλαντώσει τριβής που προκαλούνται εξαιτίας της φθοράς στην διεπιφάνεια τριβής. Τέτοιες διακυμάνσεις διαταράσσουν την αρχική φθορά προσθέτοντας επιπλέον φθορά στους δίσκους και προκαλούν δονήσεις στο σύστημα.

Τα σχετικά με τη θερμοκρασία φαινόμενα επηρεάζουν επίσης τη διάρκεια ζωής των σύνθετων υλικών άνθρακα-άνθρακα είτε με αλλάζοντας τους μηχανισμούς τριβής είτε με την υποβάθμιση της δομικής πληρότητας του υλικού. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από το σημείο εκρόφησης (>150° C) υπάρχουν ενδείξεις της μεταβολής του εκροφούμενου οξυγόνου που με τη σειρά τους μεταβάλλουν την τριβή και τη φθορά (Savage, R.H.,1948, Savage R.H. and Scharfer, D.L.,1956). Επιπλέον, σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 400° C ο άνθρακας οξειδώνεται. Κατά τη διάρκεια τυπικών εφαρμογών στα φρένα του αεροπλάνου αυτή η οξείδωση οδηγεί στην υποβάθμιση του σύνθετου υλικού στην εξωτερική άκρη των δίσκων όπου είναι παρών το οξυγόνο.

Η υποβάθμιση της μήτρας, η λέπτυνση των ινών και η καταστροφή της διεπιφάνειας είναι αποτέλεσμα της έκθεσης στο ατμοσφαιρικό οξυγόνο στις επιφάνειες τριβής δεν πραγματοποιείται οξείδωση. Πρακτικά, αυτή η οξείδωση ελαχιστοποιείται από τη χρήση των προστατευτικών καλυμμάτων όμως τέτοια καλύμματα είναι επιρρεπή στις ρωγμές και στο θρυμματισμό μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την αποτελεσματικότητα της οξείδωσης.

Η θερμική διαχείριση της διεπιφάνειας τριβής μέσω της χρήση υλικών με μεγαλύτερη διαχυτότητα μπορεί να περιορίσει τις δυσμενείς επιπτώσεις της θερμοκρασίας στα φαινόμενα που προαναφέρθηκαν. Η χρήση των βελονοειδών ινών και της θερμικής κατεργασίας είναι βασικά στοιχεία της

θερμικής διαχείρισης. Οι ίνες προσανατολίζονται στην επιφάνεια τριβής του σύνθετου υλικού c-c και βοηθάνε στην απομάκρυνση της θερμότητας από τη διεπιφάνεια τριβής. Αυτές οι διευθετήσεις των ινών μεταβάλλουν τη μηχανική της επιφάνειας και το μηχανισμό της φθοράς.

7.6 Υλικά κατασκευής καθισμάτων αεροπλάνων

Μέχρι και τη δεκαετία του 60' τα καθίσματα κατασκευάζονταν από συμβατικά υλικά όπως αφρολέξ και σούστες όπως ακριβώς και στα αυτοκίνητα. Όμως μετά τα αυστηρότερα κριτήρια κατασκευής των διαφόρων μελών των αεροπλάνων αναπτύχθηκαν κάποια υλικά που ήταν πιο πυρήμαχα και πιο αναπνευστικά σε πολύωρα υπερατλαντικά ταξίδια.

Σε αυτόν τον τομέα βοήθησε και η NASA έχοντας τεχνογνωσία σε υλικά που πλήρουσαν τα κριτήρια της σύγχρονης κατασκευής μελών των αεροπλάνων. Τα μαξιλάρια των καθισμάτων αεροπλάνων απαιτείται να είναι όσο το λιγότερο εύλεκτα, να έχουν διάρκεια και να είναι ελαφριά. Σήμερα ο αφρός από πολυουρεθάνιο είναι ευρέως διαδεδομένο και χρησιμοποιείται για το μαξιλάρι του καθίσματος γιατί έχει λογικό κόστος προμήθειας και είναι εύκολο στην τοποθέτηση.

Ωστόσο το πολυουρεθάνιο δεν είναι από μόνο του πυρίμαχο υλικό. Επομένως για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της αεροπορίας πρέπει να καλυφθεί από ένα πυρίμαχο στρώμα. Ένα σύνηθες υλικό επικάλυψης είναι οι ίνες άνθρακα διαμέτρου 16μm βασισμένες στη πίσσα. Η κάθε ίνα από μόνη της δεν συγκεντρώνει τα χαρακτηριστικά αλλά μετά από επεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με εξαιρετική απόδοση.

Για να κατασκευαστεί το μαξιλάρι ινών άνθρακα η μάζα από ίνες διαμορφώνεται σε μια μορφή χαλιών μετά από τη διαπύση με το πολυουρεθάνιο ως σύνδεσμος. Μετά την πίεση με καυτό ατμό παίρνουμε το τελικό προϊόν.

Τα χαρακτηριστικά που συγκεντρώνουν οι ίνες άνθρακα είναι οι εξής:

- Λιγότερο εύλεκτο
- Λιγότερα τοξικά αέρια
- Λιγότερο βάρος
- Καλύτερος εξαερισμός
- 100% ανακυκλώσιμο

- Μεγαλύτερη αντοχή ενάντια στις υπεριώδεις ακτινοβολίες και την υγρασία.

Τα εσωτερικά υλικά πρέπει να είναι πιο ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες απ'ότι τα εξωτερικά υλικά του αεροπλάνου. Η αντοχή των υλικών στη φωτιά πρέπει να είναι τουλάχιστον 2 λεπτά έτσι ώστε να υπάρχει χρόνος οι επιβάτες και το πλήρωμα να εκκενώσουν το αεροπλάνο σε περίπτωση συντριβής ή σε περίπτωση φωτιάς να μην εξαπλωθεί και να προλάβουν να τη σβήσουν.

Επίσης τα μαξιλάρια από ίνες άνθρακα είναι πολύ πιο ελαφριά από αυτά που είναι κατασκευασμένα από πολυουρεθάνιο με αποτέλεσμα η χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου με όλα τα οφέλη που συνεπάγεται. Τα σημερινά καθίσματα χρησιμοποιούν πολυουρεθάνιο με μια επίστρωση από πυρίμαχο υλικό και έχουν το ίδιο βάρος με αυτά που περιέχουν ίνες άνθρακα άλλα είναι λιγότερο ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες.

Ένα ακόμη μοιονέκτημα της πολυουρέθνης είναι η μικρότερη ανθεκτικότητα στη υπεριώδη ακτινοβολία και στην υγρασία. Επίσης μετά από πολυετή εμπειρία οι ίνες άνθρακα είναι πιο ανθεκτικές σε υγρά όπως νερό, χυμό, μπίρα που σερβίρουν κατά τη διάρκεια των ταξιδίων στους επιβαίνωντες.

Η διάρκεια ζωής του κάθε καθίσματος είναι μείζον θέμα. Το πείραμα που κάνανε ήταν να επαναλάβουν 150.000 φορές μια πίεση 77 Kg σε κάθε υλικό. Η σκληρότητα των υλικών μετρήθηκε κάθε 50.000 φορές και τα αποτελέσματα απέδειξαν πολύ μικρότερη παραμόρφωση στα καθίσματα κατασκευασμένα από ίνες άνθρακα.

Επίσης το πολυουρεθάνιο δεν είναι ανακυκλώσιμο υλικό επομένως το κόστος ανανέωσης των καθισμάτων είναι πολύ μεγαλύτερο καθώς αλλαγή απαιτείται κάθε περίπου πέντε χρόνια. Οι ίνες άνθρακα είναι 100% ανακυκλώσιμες και αυτό έχει αντίκτυπο στο περιβάλλον και στα οικονομικά της κάθε εταιρίας.

Τέλος οι ίνες άνθρακα μπορούν να πάρουν οποιοδήποτε σχήμα και έτσι να κατασκευάσουμε καθίσματα πολύ πιο αναπαυτικά και ξεκούραστα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑ-ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε η βασική δομή του αεροπλάνου και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του. Συγκεκριμένα προτάθηκε η κατασκευή των φτερών του αεροπλάνου από το σύνθετο υλικό αλουμινίου ARALL και για την κατασκευή των φρένων τα σύνθετα υλικά άνθρακα.

Γενικά είναι αποδεκτό ότι η δομή ενός αεροπλάνου θα πρέπει να έχει αποτελεσματικό κόστος γεγονός που ικανοποιείται από τρεις κατηγορίες υλικών: τα κράματα αλουμινίου, τα σύνθετα υλικά και τα ελάσματα αλουμινίου με ίνες αραμιδίου (ARALL).

Είναι έντονη η ανάγκη για την ανάπτυξη νέων υλικών που συνδυάζουν μεγάλη αντοχή, χαμηλή πυκνότητα και μεγάλο μέτρο ελαστικότητας, αντίσταση στη διάβρωση και καλές ιδιότητες σε συνθήκες κόπωσης.

Οι ίνες άνθρακα και οι ίνες αραμιδίου καλύπτουν όλες αυτές τις απαιτήσεις εκτός από τη δυσραυστότητα που αποτελεί και τον κύριο προβληματισμό για τη χρήση αλουμινίου ή σύνθετου αλουμινίου με ίνες αραμιδίου στα μελλοντικά αεροπλάνα.

Το νέο υλικό ARALL που παρουσιάστηκε λεπτομερώς στην παρούσα εργασία, ως υλικό κατασκευής των φτερών του αεροπλάνου, συνδυάζει την εξαιρετική αντίσταση στην κόπωση με τη μεγάλη αντοχή συγκριτικά με τα υπάρχοντα κράματα αλουμινίου. Κατά συνέπεια, φαίνεται ότι το ARALL είναι ένα ελκυστικό υλικό ειδικά για την κατασκευή των φτερών όπου οι ιδιότητες στην κόπωση έχουν ιδιαίτερη σημασία.

Η χρήση των σύνθετων υλικών άνθρακα ως δίσκοι τριβής χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στα φρένα των αεροπλάνων εξαιτίας των εξαιρετικών θερμικών και μηχανικών τους ιδιοτήτων. Αυτές οι ιδιότητες προσαρμόζονται άμεσα μέσω των κατεργασιών να επηρεάζουν τη δομή της

φάσης και τον προσανατολισμό, την αρχιτεκτονική των ινών και τα χαρακτηριστικά της διεπιφάνειας μήτρας-ινών. Η δομή και η θερμική κατεργασία επηρεάζει σημαντικά τις θερμικές ιδιότητες που αποτελούν σημαντικό παράγοντα στη χρήση των σύνθετων υλικών άνθρακα-άνθρακα στα φρένα του αεροσκάφους. Η μήτρα προέρχεται μέσω βελονωτών ινών που τείνουν να έχουν επιθυμητό προσανατολισμό όπως ορίζεται από τις ίνες πάνω στις οποίες γίνεται η εναπόθεση. Αυτό περαιτέρω αυξάνει τον προσανατολισμό των ιδιοτήτων που επηρεάζονται από τη διεύθυνση των ινών και μπορούν να οδηγήσουν σε σύνθετα υλικά πολύ μεγάλης αγωγιμότητας.

Τα χαρακτηριστικά της τριβής και της φθοράς των σύνθετων υλικών c-c εξαρτώνται από τις ιδιότητες του σύνθετου υλικού. Η ρύθμιση της θερμικής μεταφοράς μακριά από τη διεπιφάνεια τριβής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεταβολή του πεδίου τριβής όπου λειτουργούν οι δίσκοι c-c. Ειδικότερα, οι επιδράσεις της θερμοκρασίας όπως η μεταβολή της εκρόφησης μπορούν να καθοδηγηθούν μέσω της προσαρμογής της μεταφοράς θερμότητας στο εσωτερικό του σύνθετου υλικού. Οι θερμικές βαθμίδες μπορούν να μειωθούν με τον ίδιο τρόπο μειώνοντας την οξειδωση του σύνθετου υλικού ή ελαχιστοποιώντας τα θερμά σημεία τις σχετικές αστάθειες.

Οι μηχανισμοί της φθοράς και η απόδοση της τριβής στα σύνθετα υλικά και στους στερεούς άνθρακες δεν έχουν κατανοηθεί πλήρως. Η παρούσα τάση στη χρήση των σύνθετων υλικών με ινώδη δομή και μήτρα CVI επιτρέπουν την παραγωγή υλικών με μεγάλο εύρος ιδιοτήτων και εξαιρετική απόδοση φρένων.

Όταν ένα σύνθετο υλικό επιλέγεται κατά τον αρχικό σχεδιασμό ενός στοιχείου του αεροπλάνου συγκριτικά με άλλα συμβατικά υλικά μπορεί να θεωρηθεί ως βιώσιμη λύση. Σε όρους επιλογής και δυναμικής χρήσης των μελλοντικών αεροπλάνων αυτό σημαίνει ότι η επιλογή δεν βασίζεται ούτε σε μια πολιτική επιλογή που θα ξεκινήσει τη διαδικασία εκμάθησης της τεχνολογίας ούτε σε ειδικά ή προκατειλημμένα κριτήρια.

Από την άποψη του κατασκευαστικού σχεδιασμού στον πίνακα που ακολουθεί απαριθμούνται τα ζωτικά στοιχεία ασφάλειας καθώς και τα

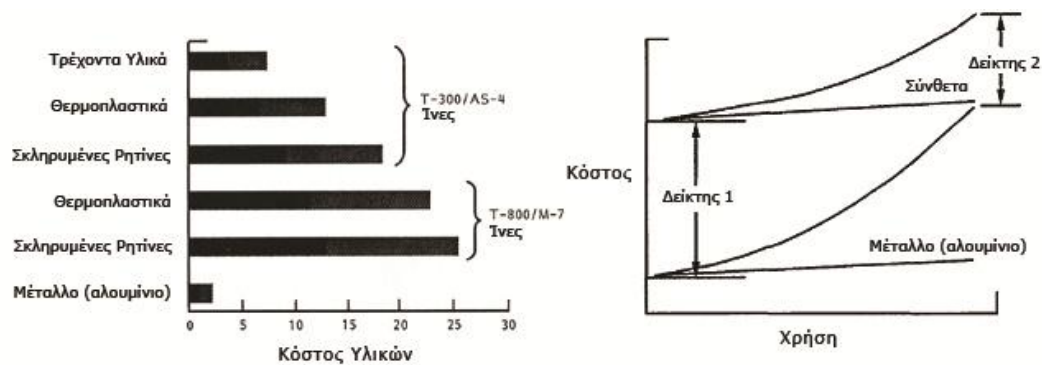
οικονομικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν πριν τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιηθούν σε ένα εμπορικό αεροσκάφος.

Πίνακας 8.1: Παράμετροι σχεδιασμού δομής (McCurty J.E., 1993)

Ασφάλεια	Στατική Αντοχή	<ul style="list-style-type: none"> • φορτία-εξωτερικά και εσωτερικά • υλικά και δομικά στοιχεία • κριτήρια αστοχίας και ανάλυση
	ανθεκτικότητα στην καταστροφή	<ul style="list-style-type: none"> • ανάπτυξη αστοχιών • εναπομένουσα αντοχή • επιθεώρηση
Οικονομικά	όρια πτερυγίων	<ul style="list-style-type: none"> • ακαμψία • ανάλυση πτερυγίων
	Κόστος Συντήρησης	<ul style="list-style-type: none"> • Ανθεκτικότητα- κόπωση • Κόστος επιθεώρησης • Κόστος επισκευής
	Κόστος Παραγωγής	<ul style="list-style-type: none"> • κόστος υλικού • κόστος σχεδιασμού • κόστος κατασκευής • κόστος ελέγχου ποιότητας

Οι οικονομικές θεωρήσεις είναι και το πιο σημαντικό κομμάτι. Με βάση το οικονομικό κόστος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο το σχεδιαστικό κόστος όσο και το βασικό κόστος των υλικών. Το σχεδιαστικό κόστος αναφέρεται στο κόστος εκείνο που επιλέγει ο σχεδιαστής και αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο του κόστους παραγωγής.

Σχετικά με το κόστος των σύνθετων υλικών θεωρείται ότι είναι δύσκολο να συναγωνιστούν το κόστος του καθαρού αλουμινίου στη βάση του κόστους υλικού. Αυτό επιβεβαιώνεται στο Σχήμα που ακολουθεί όπου παρουσιάζονται τα δεδομένα του κόστους των διάφορων τύπων συνθετικών υλικών ως ο λόγος προς το κόστος του αλουμινίου, όπως δημοσιεύτηκε από τον Mc Curty (1993).



Σχήμα 55: Σύγκριση των διάφορων σύνθετων υλικών ως προς το κόστος του αλουμινίου (Mc Curty, 1993).

Οι προμηθευτές των υλικών λαμβάνουν υπόψη την υφιστάμενη τάση για χρήση του σύνθετου υλικού και την τάση σχεδιασμού της δυνατότητας χρήσης του και επιπλέον, θα πρέπει να αναγνωρίζουν τη δυνατότητα της αγοράς που θα πρέπει να συνοδεύεται από μια μείωση στην τιμή του σύνθετου υλικού όταν σχηματίζεται η στρατηγική της αγοράς. Η βελτίωση της χρήσης των σύνθετων υλικών μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση τους στα δομικά στοιχεία των αεροπλάνων.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα που συνιστούν τη χρήση των σύνθετων υλικών στα στοιχεία των αεροπλάνων. Τα πλεονεκτήματα μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

- Βελτίωση απόδοσης – μείωση του βάρους κατασκευής
- Μείωση της απαιτούμενης συντήρησης
- Μείωση του δυναμικού κόστους κατασκευής

Η βελτίωση της απόδοσης περιλαμβάνει τη βελτιωμένη δομή του τμήματος που κατασκευάζεται με σύνθετα υλικά καθώς και τη σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου από την επερχόμενη μείωση του βάρους της κατασκευής.

Η μείωση της απαιτούμενης συντήρησης οφείλεται στα λιγότερα προβλήματα κόπωσης που δημιουργούνται όταν χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά όπως επίσης και στο γεγονός πως υπάρχουν λιγότερα προβλήματα διάβρωσης που απαιτούν επισκευή.

Η μείωση του δυναμικού κόστους κατασκευής προέρχεται από το γεγονός ότι υπάρχει καλύτερη αξιοποίηση του συνθετικού υλικού για την κατασκευή

των δομικών τμημάτων του αεροπλάνου. Επιπλέον, με τη χρήση σύνθετων υλικών απαιτείται λιγότερη συνδεσμολογία δηλαδή η κατασκευή αποτελείται από περισσότερα μονολιθικά τμήματα.

Παρά το γεγονός πως η μείωση του βάρους εξοικονομώντας καύσιμο είναι καλά καθιερωμένα τα στοιχεία συντήρησης λόγω κόπωσης και διάβρωσης ακόμα βρίσκονται σε εξέλιξη.

Η συνεχής ανάπτυξη των σύνθετων υλικών βασίζεται και συνοψίζεται στα ακόλουθα στοιχεία:

- Απαιτείται η περαιτέρω μείωση του κόστους των υλικών
- Προσπάθεια για μεγαλύτερη μείωση του κόστους κατασκευής
- Προσπάθεια για μεγαλύτερη αντοχή στην καταστροφή
- Μεγαλύτερη αντοχή και ανθεκτικότητα στην κόπωση και στην ανάπτυξη αστοχιών

Βιβλιογραφία

Ackland G. J., *Atomistic modelling of the Shape Memory Effect*, eprint arXiv:condmat/ 0509456, September 2005

Alexandre, M. and Dubois, P. *Polymer-layered Silicate Nanocomposites: Preparation, Properties and Uses of a New Class of Materials*, Mater. Sci. Eng. Rep., 28: 1–63, 2000.

Almond P., *Aviation: The Early Years*, Konneman, 1997

Ames J.S., *Recent progress in the science of aeronautics* , Journal of the Franklin Institute, 199,(1), pp.83-90,1925.

Anon., *Technical Advances in Tyres, Wheels and Brakes: Dunlop Keeps Britain in the Forefront*,” *Aircraft Engineering*, November 1987, pp. 2-5.

Anon., *Airplane Characteristics for Airport Planning, 737-300, 737-400, 737-500, Boeing Document D6-58325-2, Boeing Commercial Airplanes*, Seattle, Washington, 1988.

Anon., *FAR Part 25 Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes*, Federal Aviation Administration, Washington, DC, October 1994.

Anon.(a), *1994 Aircraft Yearbook*, The Tire and Rim Association, Inc., 1994.

Assudi A., Choi A.N. *Fiber Metal Laminates: An Advanced Material for Future Aircraft*, Journal of Materials Processing Technology 63,384-394, 1997

Attia M.A.A., *Central Material Concept: Towards aircraft wing structure insensitive to fatigue*, 25th ICAF Symposium – Rotterdam, 27–29 May 2009

Attri, N. S. and Amberg, R. L., *Advances in Landing Gear Systems, Subsystem Testing and Flight Testing Instrumentation*, AGARD CP-299, October 1980

AZMaterials, <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=355,2010>

Awasthi S. and Wood J. L., *Carbon/Carbon Composite Materials for Aircraft Brakes*” Ceramic Eng. Sci. Proc., 9,[7-8], pp. 553-560, 1988.

Baker A., Dutton S., Kelly D., *Composites Materials for Aircraft Structures*, 2nd Edition, 2004

Bardly D., *The Hamlyn history of aviation*, Hamlyn, 1996

Byrne, C. and Wang, Z., *Influence of thermal properties on friction performance of carbon composites*, Carbon,39,pp.1789-1801

Byrne C., *Friction Instabilities of Solid Carbons*, Carbon 2001 Proceedings, July 14–19, Lexington KY.,2001

Byrne C., *Modern Carbon Composite Brake Materials*, Journal of Composite Materials, Vol. 38, No. 21/2004

Boyne, Walter J., *The Jet Age, Forty Years of Jet Aviation* ,Smithsonian Institution,1979

Γρίμπα Βασιλική, *Μελέτη Εξέλιξης του σχεδιασμού αεροπλάνων: Υλικά και μεθοδολογίες Σχεδιασμού, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2010.*

Chanute O., *Progress in Flying Machines*, 1894

Chen, C., Cloos, L. and Rice, B.P., *Carbon Fiber Composites: Part I*, SAMPE Journal,37(5), 2001.

Clyne T.W., Withers P.J., *An Introduction to Metal Matrix Composites*, Cambridge University Press, Cambridge,1993.

Currey, N. S., *Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practices*, AIAA Education Series, Washington, 1988.

Darzann C., *Shape Memory Alloys*, Seminarska Naloga, University v Lubjani Faculteta za Matematiko in Fiziko Oddelec za Fiziko, 2007

Dehaal K.M., *Airplane Fuselage structure*, United States Patent, 4,000,871,1977

Engines A., *Titanium Alloys for Aeroengine and Airframe Applications*, <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1569>, 2002

Findeissen, B. and Thomasius, M. East Germany Patent DD 150739, 1981

Fitzer, E. and Manocha, L.M. *Carbon Reinforcements and Carbon/Carbon Composites*, Springer, New York, 1998

Grant R.G., *The complete history of flight*, DK ADULT, 2007

Greenbank, S. J., *Landing Gear: The Aircraft Requirement*, Institution of Mechanical Engineers, Proceedings, Part G, Journal of Aerospace Engineering, Vol. 205, 1991, pp. 27-34.

Hodgson D. E. , *Shape Memory Applications*, Inc., Wu M. H., Memory Technologies, <http://web.archive.org/web/20030605085042/>
Holloway, R. B., Burris, P. M. and Johannes, R. P., *Aircraft Performance Benefits from Modern Control Systems Technology*, Journal of Aircraft, Vol. 7, No. 6, pp. 550-553,1970

Jweeg M.J., Tornachi A.S., Abid- Aun S.H., *Optimization of Light Weight Aircraft Wing Structure*, Journal of Engineering and Development, 12,1, 2008

Kainer K.U., *Basics of Metal Matrix Composites, Metal Matrix Composites. Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering*, Willey Edit.,2004

Kainer K.U., *Keramische Partikel, Fasern und Kurzfasern für eine Verstärkung von metallischen Werkstoffen. Metallische Verbundwerkstoffe*, K.U. Kainer (Ed.),DGM Informationsgesellschaft, Oberursel (1994), pp. 43–64.

Kauffman G. B., Mayo I., *The Story of Nitinol: The Serendipitous Discovery of the Memory Metal and Its Applications*, The Chemical Educator, Vol. 2, No. 2, 1996

Kikuta M.T., *Mechanical properties of candidate materials for morphing wings*, MSc Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University,2003

Lambert,M.,Ed., *Jane's All the World's Aircraft*, Sentinel House, United Kingdom,1994.

Lagaly, G.,Introduction: from *Clay Mineral-polymer Interactions to Clay Mineralpolymer Nanocomposites*, Applied Clay Sci., 15: 1–9,1999.

Lee, K.J., Chern Lin, J.H. and Ju, C.P., *Surface effect on braking behavior of PAN-pitch carbon-carbon composite*,Wear,199,pp.228-236,1996

Leland M., *Fundamentals of Aircraft Design*, University of Dayton Press, 1975

Lilenthal O., *Bird Flight as the basis of Aviation*, Wilnesses Edit., 1889

Loffin L.K., *Quest for performance: The evolution of modern aircraft*, United States Government, 1985.

Loppes J., *Material Selection for Aeronautical Structural Applications*, Ciência & Tecnologia dos Materiais, Vol. 20, n.º 3/4, 2008

Marissen R., *Fatigue Crack Growth in Arall, a hybrid Aluminium-Aramid Composite Material* , Delft University of Technology, The Netherlands,1984.

Masia S.L., *Nanocomposites: A Review*, Nanocomposites Ionic Conductivity Materials and structure spectroscopies, nanohub.org

McCurty J.E., *Design and cost viability of composites in commercial aircrafts*, Composites, 24,p.361,1993

McDanel D. L., Jech R. W., Weeton, W J., *Analysis of Stress-Strain Behavior of Tungsten-Fiber-Reinforced Copper Composites*, Trans. Metall. Soc. AIME, 223, 636–642,1965.

Muillard L.P., *The Empire of the Air*, Smithsonian Institution in English,1893.

Murdie, N. and Ju, C.P., *Microstructure of worn pitch/resin /CVI C-C composites*, Carbon,29, pp.335-342,1991

Ostrovski I, Henn Y, *Present state and Future of Magnesium Application in Aerospace Industry*, International Conference “New Challenges in Aeronautics”, ASTEC’07, August 19-22, 2007 Moscow

Naslain R., *Ceramic Matrix Composites*, Materials Synthesis and Processing, Max-Planck-Institut Fur Metallforchng, Stuttgart, 2010

Παντελής Δ.Ι., *Μη μεταλλικά τεχνικά υλικά*, Αθήνα, Παπασωτηρίου,2008

Padey P.C, *Composites Materials*, web course Department of Civil Engineering IISc Bangalore,2004

Pan, Y.X., Yu, Z., Ou, Y. and Hu, G., *A New Process of Fabricating Electrically Conducting Nylon 6/Graphite Nanocomposites Via Intercalation Polymerization*, J. Polym.Sci., Part B: Polym. Phy., 38: 1626–1633,2000.

Politecnico di Milano, *Flight Control System*, Chapter 6, Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale, Aircraft Systems, Lecture Notes, 2004

Ray, S.S. and Okamoto, M. *Polymer/layered Silicate Nanocomposite: A Review from Preparation to Processing*, Prog. Polymer Sci., 28: 1539–1641,2003.

Riedinga L.A., Waraniak J.M., *Application and integration of design allowables to meet structural-life requirements*,ICAS-84-3.8.1.

Roebroeks G.H.J.J., and Vogelesang L.B., *Fatigue of Fiber-Metal Laminates*, 9th Int. Spring Meeting Fatigue of MMC and Multimaterials, Paris,1990

Ruppe J.P., *Today and the future in aircraft wheel and brake development*, Canad. Aeronau.Space J., 26, 209-216,1980

Savage R.H., *Graphite Lubrication*, Journal Applied Physics, 19,pp.1-10,1948

Savage R.H., Scharfer D.L., *Vapor Lubrication of Graphite Sliding Contacts*, Applied Physics, 27, pp.136-138, 1956

Schee P.A.v.d., *Outerwing Lowerskin Fatigue Testing as a part of the continuing Airworthiness Programme of the Fokker F-27*, Paper presented at the 10th ICAF symposium, Brussel, 1979.

Scott, M.A., Carrado, K.A. and Dutta, P.K. (eds). *Hand Book of Layered Materials*, 2004

Sliwa, S. M., *Economic Evaluation of Flying-Qualities Design Criteria for a Transport Configured With Relaxed Static Stability*, NASA Technical Paper 1980

Schetky L. M., *Shape-Memory Alloys*, Scientific American, Vol. 241, No. 5, pp. 74–82, 1989

Schroder J., Kainer K. U., *Magnesium Base Hybrid Composites Prepared by Liquid Infiltration*, Mater. Sci. Eng., A, 135, 33–36, 1991

Schmidt, D., Shah, D. and Giannelis, E.P., *New Advances in Polymer/Layered Silicate Nanocomposites*, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 6(3): 205–212, 2002.

Shen, J.W., Chen, X.M. and Huang, W.Y., *Structure and Electrical Properties of Grafted Polypropylene/Graphite Nanocomposites Prepared by Solution Intercalation*, J. App. Polym. Sci., 88: 1864–1869, 2003.

Smillie D.G., *The impact of composite technology in commercial transport aircraft*, Canadian Aeronautics and Space Journal, 28, 1982

Srinivasan A. V., McFarland Michel D., *Smart structures – analysis and design*, Cambridge University press, pp. 26–69, 2001

Taylor MJH., *Great Moments in aviation*, Multimedia Books Ltd., 1989

Texas A&M Smart Lab, *Introduction to Shape Memory Alloys*, <http://smart.tamu.edu/overview/overview.html>

Torenbeek, E., *Synthesis of Subsonic Airplane Design*, Delft University Press, The Netherlands, 1982.

Thermedics Polymer Products: <http://www.thermedicsinc.com,2003>

Thurston D.B., *Design for Flying*, Mc Graw Hill Ed., 1994

Thurston D.B., *The World's most significant and Magnificent Aircraft: Evolution of the Modern Airplane*, Society of Automotive Engineers Ink., 2000

Van Humbeeck J., Cederstrom J., *The present state of shape memory materials and barriers still to be overcome, The first international conference on shape memory and superelastic technologies*, pp. 1–6,1994

Vogelesang L B and Gunnink J W, *ARALL: A Materials Challenge for the next Generation of Aircraft*, *Materials & Designs*, 7,6,1986.

Walter B.J., *The Jet Age, Forty Years of Jet Aviation*, Smithsonian Institution,1979

Worden K. Bullough W. A., Haywood J., *Smart technologies*, World Scientific,pp.109–135,2003

Yasmin, A., Luo, J. and Daniel, I.M.,*Processing of Expanded Graphite Reinforced Polymer Nanocomposites*, *Composites Science and Technology*, 66(9): 1182–1189,2006

Yen, B.K. and Ishihara, T., *The surface morphology and structure of carbon-carbon composites in high-energy sliding contact*,*Wear*,174,pp.111-117,1994

Yen, B.K. and Ishihara, T., *On temperature-dependent tribological regimes and oxidation of carbon-carbon composites up to 1800°C*,*Wear*,196,pp.254-262,1996

www.aeroelectric.com/Reference-Docs/FAA/AC43.13-1B_Ch11_Electrical.pdf

www.aerostudents.com

www.aerospaceweb.org

www.airminded.net

<http://www.allstar.fiu.edu/aero/flight15.htm>

www.almaco.com

www.aviastar.org

http://home.iitk.ac.in/~mohite/Basic_construction.pdf

http://media.wiley.com/product_data/excerpt/67/04716996/0471699667.pdf

<http://www.mlevel3.com/BCIT/Plastics.htm>

www.free-online-private-pilot-ground-school.com/aircraft-structure.html

<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-110499-135025/unrestricted/Etdbody.pdf>

<http://www.titanium.com/titanium/aerospac.cfm>

www.wikipedia.com