

6. Προχωρήστε στην αποσυναρμολόγηση σύμφωνα με τις οδηγίες και με τη σειρά, που αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο της γενικής επισκευής. Αφαιρούνται αρχικά τα κύρια υποσυστήματα.
7. Αποσυναρμολογείστε κάθε κύριο υποσύστημα. Αναγνωρίστε τα εξαρτήματα κάθε υποσυστήματος. Τα εξαρτήματα κάθε υποσυστήματος πρέπει να τοποθετούνται μαζί για την αποφυγή απωλειών και πιθανών συγχύσεων κατά τη φάση της επανασυναρμολόγησης.

Αναζητείστε και χρησιμοποιείστε τα ειδικά εργαλεία, όπου αυτά απαιτούνται. Μην αυτοσχεδιάζετε. Πολλά από τα εξαρτήματα του καρμπυρατέρ είναι ευαίσθητα (π.χ. από χαλκό) και μπορούν να υποστούν ζημιά αν η αφαίρεσή τους γίνει με κοινά εργαλεία.

8. Καθαρίστε καλά κάθε εξάρτημα. Ακολουθείστε τις οδηγίες του κατασκευαστή. Τα μεταλλικά κομμάτια θα πρέπει να καθαρίζονται από λάδια και γράσα. Το στέγνωμα θα πρέπει να γίνεται με αέρα και όχι με πανί, μια και είναι πιθανόν το πανί να αφήσει ίνες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την καλή συναρμογή σπειρωμάτων, ή να παρεμποδίσουν ακροφύσια. Τα καρβίδια απομακρύνονται συνήθως με εμβαπτισμό σε κατάλληλο διάλυμα και τρίψιμο εν συνεχεία με γυαλόχαρτο (τυπικά με κόκο Νο 600). Εξαρτήματα αλουμινίου απαιτούν ειδική μεταχείριση (π.χ. εμβαπτισμό σε αλκαλικό διάλυμα).
9. Επιθεωρείστε τα καθαρισμένα πλέον εξαρτήματα. Εντοπίστε ίχνη διάβρωσης.

Πραγματοποιείστε τους διαστατικούς ελέγχους που απαιτεί το εγχειρίδιο της γενικής συντήρησης.

Τυπικοί έλεγχοι περιλαμβάνουν επιθεώρηση των διόδων αέρα και καυσίμου στο θάλαμο του πλωτήρα (float bowl) και στο venturi, του ίδιου του πλωτήρα, της ρυθμιστικής βαλβίδας, διαδρομών και ανοχών του πλωτήρα, των ακροφυσίων, της πεταλούδας και της κίνησής της, κ.ά.

10. Επανασυναρμολογείστε το καρμπυρατέρ, όπως περιγράφεται στις τεχνικές οδηγίες. Χρησιμοποιείστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται.

Για την αποφυγή πρόκλησης φθορών κατά τη συναρμογή των σπειρωμάτων, ιδιαιτέρως σε περιπτώσεις εξαρτημάτων αλουμινίου, αποτελεί συνήθη πρακτική η χρήση σταγόνων λιπαντικού σε αυτά. Η σύσφιγξη των κοχλιών θα πρέπει να ροπομετρείται, σύμφωνα με τα όρια των οδηγιών, ενώ χρησιμοποιούνται συνήθως και συρματασφαλίσεις.

Εργαστηριακή άσκηση 2.9: Αντικατάσταση και συγχρονισμός μανιατό, επιθεώρηση καλωδίωσης ανάφλεξης

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να περιγράφετε τον τρόπο λειτουργίας του μανιατό.
- β) Να εκτελείτε εργασίες αντικατάστασης μανιατό και καλωδιώσεων.
- γ) Να εκτιμάτε τη γενική κατάσταση του μανιατό και των καλωδιώσεων ανάφλεξης.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Βασική αποστολή του συστήματος ανάφλεξης είναι να παράγει την απαραίτητη υψηλή τάση για την παραγωγή σπινθήρων σε κάθε κύλινδρο και σε όλες τις φάσεις λειτουργίας. Είναι επίσης απαραίτητο η παραγωγή των σπινθήρων στα μπουζί να πραγματοποιείται τη στιγμή που απαιτείται στον κύλινδρο (π.χ. 21° πριν από το ΑΝΣ).

Το σύστημα ανάφλεξης περιλαμβάνει το μανιατό, το διανομέα, τα μπουζί και τις απαραίτητες καλωδιώσεις. Αξίζει να σημειωθεί, ότι εξαιτίας της κρισιμότητας του συστήματος ανάφλεξης για την ασφαλή λειτουργία του κινητήρα, είναι πάγια πρακτική (η οποία μάλιστα είναι απαίτηση και κανονισμών, όπως ο FAR Part 33) να χρησιμοποιούνται δύο συστήματα ανάφλεξης. Συνήθως, περιλαμβάνονται δύο μανιατό, ενώ σε παλαιότερους κινητήρες το δεύτερο σύστημα ανάφλεξης χρησιμοποιούσε μπαταρία.

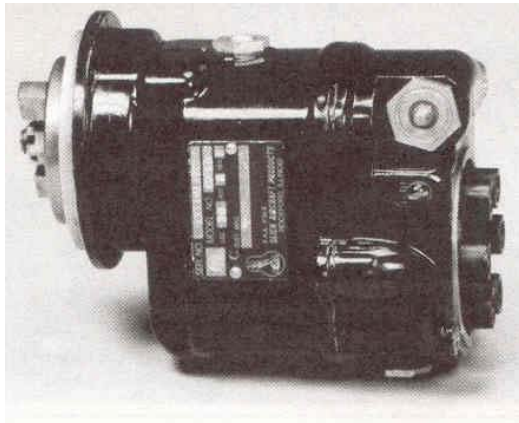
Το μανιατό (Σχήμα 2.121) είναι μία γεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος: Ένας πολυπολικός μαγνήτης (2, 4 ή 8 πόλοι) περιστρεφόμενος άγει ρεύμα στο πηνίο του μανιατό (Σχήμα 2.122). Το ρεύμα ανορθώνεται και κατανέμεται μέσω του διανομέα στα μπουζί.

Σε έναν κινητήρα εγκαθίστανται συνήθως δύο μανιατό μονής παροχής (Σχήμα 2.121), ή ένα διπλής παροχής, το οποίο παρέχει δύο διαφορετικές τάσεις εξόδου. Τα κυκλώματα των δύο τάσεων έχουν τον ίδιο περιστρεφόμενο μαγνήτη.

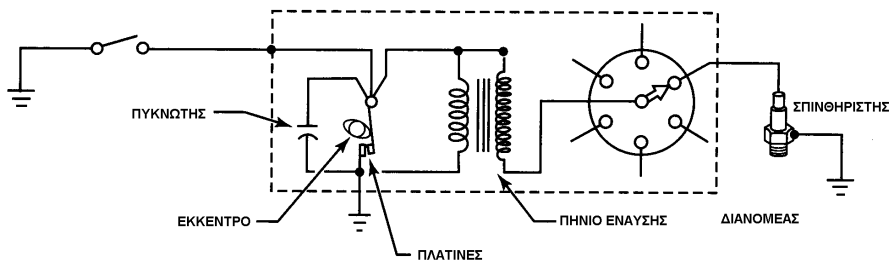
Σε κάθε περίπτωση εγκατάστασης ενός μανιατό σε κινητήρα, ελέγχεται ή ρυθμίζεται υποχρεωτικά ο εσωτερικός χρονισμός του: Το κύριο γρανάζι του μανιατό θα πρέπει να τοποθετηθεί σωστά (να "χρονισθεί") σχετικά με το γρανάζι του διανομέα, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί ότι αυτός παρέχει την τάση στη σωστή επαφή και στο σωστό χρόνο. Αν και το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι κοινό για κάθε είδους μανιατό, η διαδικασία του

εσωτερικού χρονισμού διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή του μανιατό (π.χ. Bendix, Slick), ενώ απαιτεί ειδικό εξοπλισμό.

Ξεχωριστός έλεγχος γίνεται τέλος για την επιβεβαίωση της σωστής λειτουργίας των μανιατό ως προς τον κινητήρα, ότι δηλαδή ο σπινθήρας παράγεται στους κυλίνδρους τη στιγμή που απαιτείται (όπως άλλωστε αναφέρθηκε και στην εισαγωγή αυτής της παραγράφου). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται χρονισμός μανιατό - κινητήρα και απαιτεί, επίσης, ειδικό εξοπλισμό (παρόμοιο πολλές φορές με αυτόν του εσωτερικού χρονισμού).



Σχήμα 2.121 Μανιατό μόνης παροχής



Σχήμα 2.122 Σύστημα ανάφλεξης υψηλής τάσης

Απαιτούμενα μέσα

Η παρούσα άσκηση παρέχει γενικές οδηγίες για την επιθεώρηση, αφαίρεση, εσωτερικό χρονισμό και τοποθέτηση των μανιατό στον κινητήρα. Απαιτούνται τα ακόλουθα έγγραφα, μέσα και εργαλεία:

- βιβλίο οδηγιών συντήρησης του κινητήρα (τα τμήματα τα οποία αναφέρονται στο σύστημα ανάφλεξης),
- γενικά (κατσαβίδια, τανάλιες, κλειδιά) και ειδικά εργαλεία, τα οποία προδιαγράφονται στο παραπάνω εγχειρίδιο,

- ενδείκτης χρονισμού (timing light, περιλαμβάνεται συνήθως στα ειδικά εργαλεία),
- επαρκείς πάγκοι εργασίας,
- μεγεθυντικός φακός και καλός φωτισμός για την επιθεώρηση,
- γάντια χειρός,
- γυαλιά προστασίας

Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθείστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας του Παραρτήματος Β.

Πορεία εργασίας

ΦΑΣΗ Α': Επιθεώρηση μανιατό και καλωδιώσεων

1. Ελέγξτε τις καλωδιώσεις του συστήματος ανάφλεξης για ενδείξεις υπερθέρμανσης και υγρασίας στο μονωτικό μανδύα. Επιβεβαιώστε την καλή γενική κατάσταση των καλωδιώσεων.
2. Ελέγξτε τη στήριξη των καλωδιώσεων.
3. Επιθεωρείστε τις πλατίνες και το έκκεντρο του συστήματος για τυχόν φθορές.

ΦΑΣΗ Β': Αφαίρεση μανιατό

1. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες αποσυναρμολόγησης, που παρέχονται από τον κατασκευαστή.
2. Αναγνωρίστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία, τα οποία απαιτούνται και βεβαιωθείτε ότι είναι διαθέσιμα.
3. Καθαρίστε προσεκτικά τον πάγκο εργασίας.
4. Καλύψτε τον πάγκο με λευκό απορροφητικό χαρτί.
5. Αφαιρέστε τους ακροδέκτες της καλωδίωσης από τα μπουζί (αν απαιτείται).
6. Τοποθετήστε το στροφαλοφόρο άξονα στην υποδεικνυόμενη από τις τεχνικές οδηγίες θέση ως προς το στροφαλοθάλαμο (απαιτείται σε ορισμένους κινητήρες).
7. Αφαιρέστε το κάλυμμα του διανομέα και τις συνδέσεις του διανομέα στο μανιατό (Σχήμα 2.123) και τυλίξτε τους ακροδέκτες με προστατευτικό κάλυμμα, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

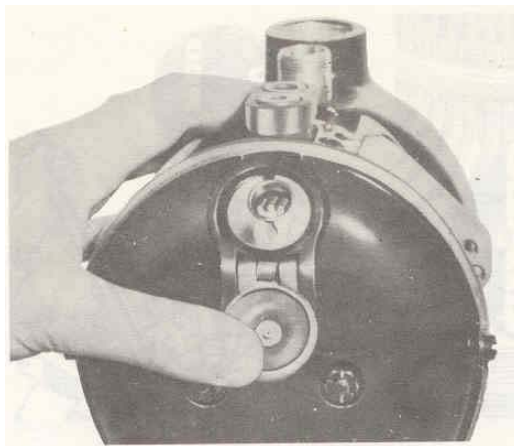
8. Αφαιρέστε τους κοχλίες συγκράτησης. Αφαιρέστε το μανιατό και τον ελαστικό αντικραδασμικό σύνδεσμο (αν υπάρχει) και τοποθετήστε τα στον πάγκο εργασίας.



Σχήμα 2.123 Αποσύνδεση διανομέα

ΦΑΣΗ Γ': Έλεγχος εσωτερικού χρονισμού

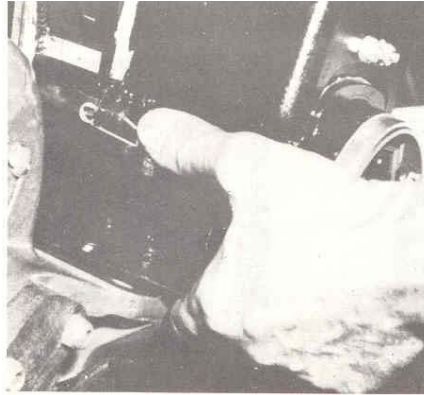
1. Αφαιρέστε το κάλυμμα της περιοχής των μπουζί (αν υπάρχει).
2. Συνδέστε τον φωτεινό ενδείκτη χρονισμού στο μανιατό: συνήθως στις πλατίνες και στο κέλυφος του μανιατό (γείωση).



Σχήμα 2.124 "Παράθυρο" χρονισμού

3. Περιστρέψτε τον οδηγό άξονα (drive shaft) του μανιατό μέχρι να ανάψει ο ενδείκτης χρονισμού. Στο σημείο που ανάβει ο ενδείκτης χρονισμού, επιβεβαιώστε τη συνθήκη που απαιτεί ο κατασκευαστής. Αυτή μπορεί να είναι η τοποθέτηση κάποιου πείρου ελέγχου, η

ευθυγράμμιση σημαδιών που υπάρχουν στο κέλυφος και στον άξονα ή μέσα από κάποιο "παράθυρο" στο κέλυφος (Σχήμα 2.124).



Σχήμα 2.125 Προσαρμογή του μανιατό στη βάση του

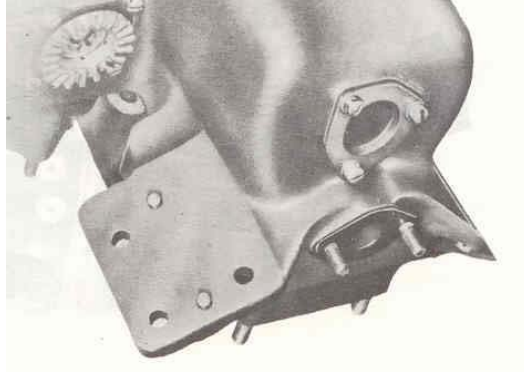


Σχήμα 2.126 Ρύθμιση του αντικραδασμικού συνδέσμου

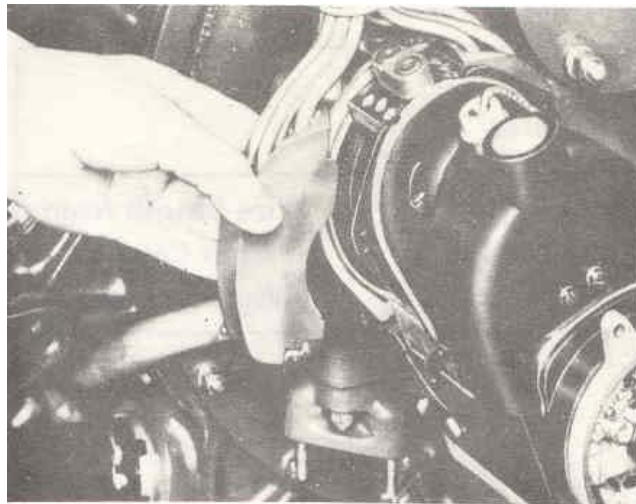
ΦΑΣΗ Δ': Τοποθέτηση μανιατό

1. Περιστρέψτε τον κινητήρα έτσι ώστε ο υπ' αριθμόν 1 κύλινδρος να βρεθεί στην θέση ανάφλεξης.
2. Τοποθετείστε το μανιατό στον κινητήρα (Σχήμα 2.125). Ακολουθείστε τις οδηγίες του κατασκευαστή, αναφορικά με τον αντικραδασμικό σύνδεσμο (αν υπάρχει - Σχήμα 2.126). Η τοποθέτηση του μανιατό διευκολύνεται συνήθως από την ύπαρξη οδηγών πείρων (dowel pins) (Σχήμα 2.127).

3. Ελέγξτε το σωστό χρονισμό μανιατό κινητήρα σύμφωνα με τις οδηγίες της φάσης Ε'. Πριν από αυτό τον έλεγχο απαιτείται, συνήθως, η απασφάλιση του μανιατό.



Σχήμα 2.127 Οδηγοί πείροι



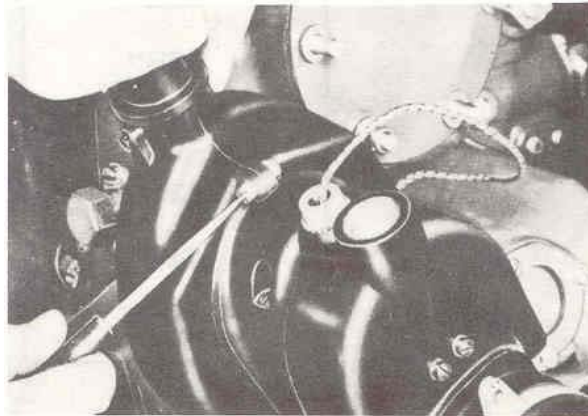
Σχήμα 2.128 Σύνδεση ακροδεκτών διανομέα

4. Ροπομετρείστε τους κοχλίες συγκράτησης.
5. Συνδέστε τους ακροδέκτες και το κάλυμμα του διανομέα (Σχήμα 2.128 & Σχήμα 2.129).
6. Συρματασφαιρίστε (Σχήμα 2.130).

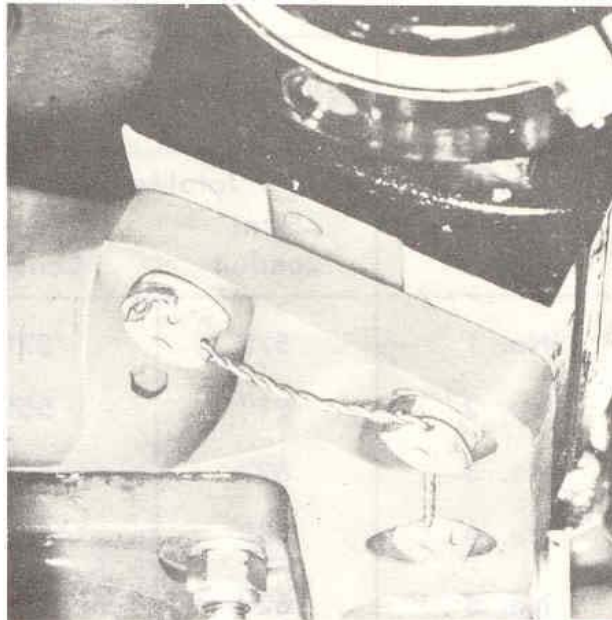
ΦΑΣΗ Ε': Έλεγχος χρονισμού μανιατό-κινητήρα

1. Συνδέστε ένα φωτεινό ενδείκτη χρονισμού σε κάθε μανιατό.
2. Περιστρέψτε τον κινητήρα έτσι ώστε ο υπ' αριθμόν 1 κύλινδρος να βρεθεί στην θέση ανάφλεξης.

3. Περιστρέψτε τον κινητήρα αντίθετα προς την κανονική φορά περιστροφής, μέχρις ότου σβήσει ο φωτεινός ενδείκτης.
4. Συνεχίστε να περιστρέφετε τον κινητήρα αντίθετα προς την κανονική φορά περιστροφής κατά 5 έως 10° ακόμη.
5. Περιστρέψτε τον κινητήρα κατά την κανονική φορά περιστροφής, μέχρις ότου ανάψει ο φωτεινός ενδείκτης.
6. Ελέγξτε τα σημάδια χρονισμού του κινητήρα για να βεβαιωθείτε ότι τα μανιατό λειτουργούν σωστά ως προς τον κινητήρα.



Σχήμα 2.129 Κάλυμμα διανομέα



Σχήμα 2.130 Συρματασφάλιση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥΣ

Διδακτικοί Στόχοι

Μετά το τέλος της μελέτης του τρίτου κεφαλαίου θα είστε ικανοί:

- Να περιγράφετε τον τρόπο χρήσης της βιβλιογραφίας για τον προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης των αεριοστρόβιλων αεροπορικών κινητήρων.
- Να αναφέρετε τα είδη συντηρήσεων των αεριοστρόβιλων αεροπορικών κινητήρων.
- Να περιγράφετε τις συνήθεις επισκευές που εκτελούνται στα εξαρτήματα των αεριοστρόβιλων αεροπορικών κινητήρων.

3.1 Γενικά

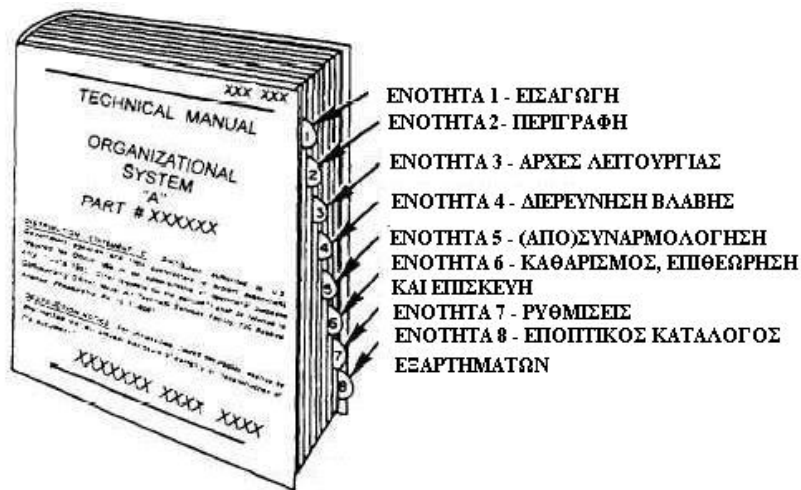
Οι βασικές απαιτήσεις της εργασίας ενός τεχνικού κινητήρων, όσον αφορά τη συντήρηση αεριοστρόβιλων κινητήρων, αφορούν την ικανότητα λειτουργίας, επιθεώρησης, διερεύνησης αλλά και επισκευής τους. Οι αεριοστρόβιλοι κινητήρες είναι από τα πλέον πολύπλοκα συστήματα και ως εκ τούτου η ενασχόληση με αυτούς, απαιτεί καλή κατανόηση της λειτουργίας τους και μεθοδικότητα. Απαιτείται επίσης ιδιαίτερη προσοχή στην εκτέλεση των διαφόρων εργασιών συντήρησης, αλλά και σημαντική εμπειρία κατά τη διερεύνηση των αιτιών της κακής λειτουργίας τους.

Όπως και σε κάθε άλλη εργασία, η οποία εκτελείται σε αεροπορικό υλικό, είναι απαραίτητη η χρήση τεχνικής βιβλιογραφίας. Λόγω του εύρους των θεμάτων, με τα οποία έρχεται σε επαφή ένας τεχνικός κατά τη συντήρηση ενός στροβιλοκινητήρα, είναι αδύνατο να θεωρηθεί κάποιος ειδικός σε όλα τα αντικείμενα. Σημαντική επίσης παράμετρος, είναι η συχνότητα εισαγωγής νέων στοιχείων (βελτιώσεις, αλλαγές, πρόσθετες εργασίες κλπ.) στις οδηγίες συντήρησης. Μόνο η σωστή και συχνή χρήση της βιβλιογραφίας μπορεί να εξασφαλίσει την καλή και ασφαλή εκτέλεση των εργασιών συντήρησης.

Τα τεχνικά εγχειρίδια συντήρησης εκδίδονται από τον κατασκευαστή. Στη συντήρηση στρατιωτικών κινητήρων, χρησιμοποιούνται συνήθως εγχειρίδια

τα οποία ελέγχονται και εκδίδονται από τις τεχνικές υπηρεσίες των ενόπλων δυνάμεων (Η.Π.Α., Γερμανία, κλπ.).

Τα εγχειρίδια συντήρησης περιγράφουν τις βασικές εργασίες συντήρησης και επισκευών που χρησιμοποιούνται για τον κινητήρα. Περιέχουν εν γένει πληροφορίες για τις διαδικασίες συντήρησης, εντοπισμού σφαλμάτων και δοκιμών, συναρμολόγησης, αποσυναρμολόγησης και επισκευών αλλά και για τις πηγές εφοδιαστικής υποστήριξης. Ιδιαίτερα χρήσιμο είναι το εγχειρίδιο, το οποίο περιέχει διαγράμματα με σχηματικές αναπαραστάσεις, τον τρόπο συναρμογής αλλά και τους αριθμούς κατασκευαστή των διαφόρων εξαρτημάτων (Illustrated Parts Breakdown-IPB, ή Illustrated Parts Catalog-IPC).



Σχήμα 3.1 "Θεματικό" τεχνικό εγχειρίδιο

Τα τεχνικά εγχειρίδια διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο συντήρησης στον οποίο αναφέρονται (§3.2). Η διαφοροποίηση αυτή αντανακλάται και στον τρόπο κωδικοποίησης των εγχειριδίων, ο οποίος όμως διαφοροποιείται ανάλογα με τον οργανισμό έκδοσης (κατασκευαστής ή ένοπλες δυνάμεις) της βιβλιογραφίας.

Σε γενικές όμως γραμμές, μπορούμε να διακρίνουμε δύο μορφές τεχνικών εγχειριδίων:

- Η παλαιότερη μορφή χρησιμοποιούσε μία θεματική κατηγοριοποίηση των αντικειμένων του εγχειριδίου για όλο τον κινητήρα: Εισαγωγή, περιγραφή, αρχές λειτουργίας, εντοπισμός σφαλμάτων, αποσυναρμολόγηση-συναρμολόγηση, καθαρισμός, επιθεώρηση, επισκευές, κλπ. (Σχήμα 3.1). Αυτή τη μορφή

συναντήσαμε και στην επισκευή των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων.

- Η πολυπλοκότητα των σύγχρονων αεριοστροβίλων επέβαλε την εισαγωγή νέας γενιάς εγχειριδίων: Οι εργασίες παρουσιάζονται υπό μορφή "πακέτων εργασίας" (Work Packages), τα οποία αφορούν συγκεκριμένα υποσυστήματα (ή και εξαρτήματα) του κινητήρα (π.χ. εισαγωγή, ψυχρό τμήμα, θάλαμο καύσης, κλπ.) ή ακόμη και συγκεκριμένες διαδικασίες (π.χ. ξεχωριστά πακέτα εργασίας για την επιθεώρηση, την επισκευή κάθε υποσυστήματος) (Σχήμα 3.2).

Τα τελευταία χρόνια γίνεται σημαντική προσπάθεια στη μεταφορά της παραδοσιακής, έντυπης βιβλιογραφίας σε ηλεκτρονική μορφή (βλ. Παράρτημα Α - Σχήμα 0.5). Η νέα μορφή είναι ιδιαίτερα εύχρηστη και επιτρέπει την ταχεία ενσωμάτωση των διαφόρων αλλαγών και τροποποιήσεων. Απαιτεί όμως την ευρεία, καθημερινή χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, ακόμη και στις περιοχές εκτέλεσης των εργασιών συντήρησης.



Σχήμα 3.2 Τεχνικά εγχειρίδια "Πακέτων εργασιών"

3.2 Τύποι συντήρησης

Ο όρος συντήρηση, όταν αναφερόμαστε σε αεροπορικούς κινητήρες, είναι τόσο γενικός, που καλύπτει καθημερινές εργασίες, διάρκειας λίγων λεπτών, μέχρι και τη γενική επισκευή του κινητήρα, η οποία πραγματοποιείται σε βιομηχανικό περιβάλλον και διαρκεί, εν γένει, αρκετούς μήνες.

Η διάκριση του τύπου της συντήρησης, η οποία πραγματοποιείται σε έναν κινητήρα, βασίζεται στο εάν ο κινητήρας όχι βρίσκεται στο αεροσκάφος. Έτσι, η συντήρηση γραμμής (line maintenance) πραγματοποιείται χωρίς να απομακρυνθεί ο κινητήρας από αυτό. Αντίθετα, για τις συντηρήσεις επιπέδου συνεργείου (shop maintenance) και τη γενική επισκευή (overhaul), απαιτείται η αφαίρεση του κινητήρα από το σκάφος. Οι συντηρήσεις επιπέδου συνεργείου γίνονται σε κατάλληλα εξοπλισμένο χώρο, κοντά εν γένει, στη

γραμμής πτήσης. Αντίθετα, οι εργασίες γενικής επισκευής απαιτούν την αποστολή του κινητήρα σε ειδικά εξουσιοδοτημένο και κατάλληλα εξοπλισμένο επισκευαστικό κέντρο. Σε πολλές περιπτώσεις, μέρος των συντηρήσεων επιπέδου συνεργείου, πραγματοποιείται στα κέντρα γενικής επισκευής. Βασική αιτία γι'αυτό αποτελεί συνήθως η έλλειψη επαρκούς εξοπλισμού και εξειδικευμένου προσωπικού.

Οι παραπάνω τύποι συντήρησης είναι επίσης γνωστοί και ως:

- Συντήρηση "οργανωτικού" επιπέδου (organizational ή O-level maintenance), για τη συντήρηση γραμμής.
- Συντήρηση "μέσου" επιπέδου (intermediate ή I-level maintenance), για τη συντήρηση επιπέδου συνεργείου.
- Συντήρηση εργοστασιακού επιπέδου (depot ή D-level maintenance), για τη γενική επισκευή.

3.2.1 Συντήρηση επιπέδου γραμμής

Η συντήρηση επιπέδου γραμμής αναφέρεται στις καθημερινές εργασίες που γίνονται στον κινητήρα. Εξασφαλίζει την καλή κατάσταση του κινητήρα, ενώ εντοπίζει πιθανές ενδείξεις δυσλειτουργίας. Περιλαμβάνει τις εργασίες γραμμής πτήσης (επιθεωρήσεις, αλλαγή λιπαντικών, κλπ.) καθώς επίσης και ορισμένες περιοδικές επιθεωρήσεις και απλές δοκιμές. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν επίσης και απλές, γενικά, επισκευές και ρυθμίσεις, οι οποίες δεν απαιτούν πάγιο εξοπλισμό συνεργείου, καθώς επίσης και αντικαταστάσεις εξαρτημάτων.

Ένας από τους βασικούς σκοπούς της επιθεώρησης γραμμής, είναι η έγκαιρη αναγνώριση δυσλειτουργιών, πριν αυτές προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές στον κινητήρα (fault isolation - troubleshooting). Τα εγχειρίδια συντήρησης γραμμής περιλαμβάνουν πίνακες (ανάλογους με αυτούς των εμβολοφόρων – Πίνακας 2.5), οι οποίες αναφέρουν πιθανές αιτίες για δυσλειτουργίες, οι οποίες προκύπτουν κατά την χρήση του κινητήρα. Οι ίδιοι πίνακες προτείνουν και διορθωτικές ενέργειες. Δεν είναι φυσικά δυνατόν να καλυφθούν όλα τα πιθανά προβλήματα σε αυτούς τους πίνακες. Αποτελούν όμως ένα σημαντικό βοήθημα, το οποίο αν συνδυασθεί με καλή γνώση του κινητήρα και των συστημάτων του και την εμπειρία του τεχνικού μπορεί να οδηγήσει γρήγορα στον εντοπισμό και την αποκατάσταση της δυσλειτουργίας.

Οι σύγχρονοι κινητήρες παρέχουν συνήθως αυτόματα, ενδείξεις σφαλμάτων. Αυτό γίνεται με την χρήση αισθητήρων, μετατροπέων και καταγραφικών. Η

επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται από υπολογιστή, ο οποίος παρέχει συνήθως και κάποια διάγνωση.

Μία από τις κύριες διαγνωστικές μεθόδους, είναι η παρακολούθηση της επίδοσης του κινητήρα, σε συνάρτηση με τις ώρες λειτουργίας του. Οι μετρήσεις του υπολογιστή του αεροσκάφους μεταφέρονται σε υπολογιστή στη γραμμή πτήσης, όπου επεξεργάζονται με την χρήση ειδικού λογισμικού (Engine Condition Trend Monitoring Software). Η σύγκριση με μετρήσεις αναφοράς¹ επιτρέπει την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, αναφορικά με την κατάσταση του κινητήρα και πιθανά προβλήματα που αυτός παρουσιάζει.

Ο καθαρισμός του κινητήρα (Σχήμα 3.3) αποτελεί από τα κύρια καθήκοντα της συντήρησης γραμμής. Με τον καθαρισμό απομακρύνονται υπολείμματα λιπαντικού, επικαθήσεις κ.ά., με αποτέλεσμα τη βελτίωση των επιδόσεων του κινητήρα. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ο κινητήρας λειτουργεί κοντά σε θάλασσα, ο συχνός καθαρισμός είναι ιδιαίτερα απαραίτητος για την αποφυγή φαινομένων διάβρωσης, τα οποία προκαλούνται από το αλάτι. Ο καθαρισμός γίνεται συνήθως με απιονισμένο νερό ή άλλο καθαριστικό υγρό συγκεκριμένων προδιαγραφών. Ο τρόπος καθαρισμού διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα: σε ελικοφόρους κινητήρες γίνεται σε χαμηλές στροφές χωρίς τη λειτουργία του κινητήρα (motoring), ενώ σε μεγάλους στροβιλοαντιδραστήρες (turbojet ή turbofan) ο καθαρισμός απαιτεί τη λειτουργία του κινητήρα στο 60% περίπου των ονομαστικών στροφών του.

Σε περιπτώσεις εκτεταμένων επικαθήσεων στο συμπιεστή, οι οποίες δε μπορούν να απομακρυνθούν με "υγρό" καθαρισμό, αυτός γίνεται με την χρήση στερεών σωματιδίων (abrasive grit blasting). Το υλικό καθαρισμού περιέχει συνήθως κατεργασμένα κελύφη καρυδιών ή και πυρήνες βερύκοκων.

Η μεταβολή της επίδοσης του κινητήρα με την πάροδο του χρόνου, ή τυχόν αλλαγές στο σύστημα καυσίμου, επιβάλλουν σε πολλές περιπτώσεις την επαναρύθμιση της μονάδας ελέγχου της ροής του καυσίμου (fuel control unit), έτσι ώστε ο κινητήρας να αποδίδει τη μέγιστη ισχύ. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στα εγχειρίδια συντήρησης και συνήθως απαιτεί τη λήψη μετρήσεων διαφόρων παραμέτρων όπως η πίεση εξόδου του στροβίλου, η ταχύτητα περιστροφής των αξόνων του κινητήρα κ.ά. Απαιτείται επίσης η

¹ Οι μετρήσεις αναφοράς συνήθως λαμβάνονται μετά την κατασκευή του κινητήρα, ή μετά από γενική επισκευή του.

αναγωγή των μετρήσεων στις συνθήκες αναφοράς (standard sea-level conditions). Η ρύθμιση γίνεται μετά από έλεγχο της λειτουργίας του κινητήρα, με τη ρύθμιση κάποιου κοχλία στη μονάδα καυσίμου.



Σχήμα 3.3 Εξοπλισμός καθαρισμού κινητήρα



Σχήμα 3.4 Συσσκευή Jetcal Analyzer

Μία οικογένεια συσκευών, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για την εξέταση της κατάστασης του κινητήρα είναι γνωστή ως Jetcal Analyzers (Σχήμα 3.4). Οι συσκευές αυτές μετρούν βασικές παραμέτρους του κινητήρα, όπως θερμοκρασία (EGT) και πίεση εξόδου καυσαερίων, ταχύτητες περιστροφής, παροχή καυσίμου, κ.ά. Περιλαμβάνουν συνήθως τις απαραίτητες καλωδιώσεις και όργανα, τα οποία επιτρέπουν τη γρήγορη σύνδεση και λήψη

μετρήσεων από τον κινητήρα στη γραμμή πτήσης. Ανάλυση των μετρήσεων επιτρέπει μεταξύ άλλων:

- Έλεγχο του συστήματος μέτρησης της EGT.
- Άμεσο προσδιορισμό ελαττωματικών θερμοστοιχείων.
- Έλεγχο της συνέχειας των καλωδιώσεων.
- Έλεγχο του συστήματος μέτρησης της ταχύτητας περιστροφής

Η φασματοσκοπική ανάλυση δείγματος του λιπαντικού είναι ένας ακόμη τρόπος για την παρακολούθηση της κατάστασης του κινητήρα. Έχει ήδη γίνει περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθείται κατά την εφαρμογή προγράμματος φασματοσκοπικής ανάλυσης λιπαντικού στο κεφάλαιο των εμβολοφόρων κινητήρων (§2.5.8).

3.2.2 Συντήρηση επιπέδου συνεργείου

Η συντήρηση επιπέδου συνεργείου περιλαμβάνει εργασίες, οι οποίες απαιτούν την αφαίρεση του κινητήρα από το αεροσκάφος, όχι όμως την προώθησή του σε εργοστάσιο γενικής επισκευής: οι απαιτήσεις μπορούν να καλυφθούν από τον πάγιο εξοπλισμό ενός συνεργείου που βρίσκεται "κοντά" στη γραμμή πτήσης. Οι βασικές εργασίες περιλαμβάνουν επισκευές και δοκιμές εξαρτημάτων, ή και ολόκληρου του κινητήρα. Όπως προαναφέρθηκε, σε πολλές περιπτώσεις τμήμα ή και το σύνολο της συντήρησης συνεργείου, πραγματοποιείται στο εργοστάσιο γενικής επισκευής.

3.2.3 Συντήρηση εργοστασιακού επιπέδου

Η αφαίρεση του κινητήρα από το αεροσκάφος και η αποστολή του σε εργοστάσιο γενικής επισκευής είναι γενικά μία χρονοβόρα διαδικασία, η οποία φυσικά πρέπει να περιορίζεται κατά το δυνατόν, μια και σημαίνει πολλές φορές αδυναμία πραγματοποίησης πτητικού έργου από το αεροσκάφος. Οι λόγοι για αφαίρεση του κινητήρα μπορεί να συνοψισθούν ως εξής:

- Ολοκλήρωση του **χρόνου λειτουργίας μεταξύ γενικών επισκευών (Time Between Overhaul - TBO)**: Αντίθετα με ότι συμβαίνει στους εμβολοφόρους κινητήρες, σε πολλούς στροβιλοκινητήρες ο κατασκευαστής δεν καθορίζει για όλο τον κινητήρα, αλλά παρέχει διαφορετικούς χρόνους για κάθε **υποσυγκρότημα (module)** του κινητήρα. Έτσι το θερμό τμήμα έχει διαφορετικούς χρόνους γενικής επισκευής από το συγκρότημα των παρελκομένων (Accessory drive GearBox - AGB). Σε αυτή την περίπτωση, ο χρήστης μπορεί να

συνεχίσει την εκμετάλλευση του κινητήρα, αντικαθιστώντας μόνο το υποσυγκρότημα που έχει προσεγγίσει τον χρόνο γενικής επισκευής. Ορισμένοι σύγχρονοι κινητήρες, δεν έχουν προδιαγεγραμμένο χρόνο γενικής επισκευής. Αυτή εκτελείται μόνο στην περίπτωση ιδιαίτερων ευρημάτων κατά τις προδιαγεγραμμένες επιθεωρήσεις. Αυτή η πολιτική συντήρησης είναι γνωστή και ως **On-Condition**.

- **Ζημιά από εξωτερικό αντικείμενο (Foreign Object Damage - FOD):** Οι ζημιές που προκαλούνται από την αναρρόφηση στερεών αντικειμένων στον κινητήρα ποικίλουν σημαντικά. Μόνο η επιθεώρηση του κινητήρα μπορεί να δείξει το μέγεθος και την έκταση της ζημιάς. Σε πολλές περιπτώσεις ή αποκατάσταση της ζημιάς μπορεί να γίνει επί του αεροσκάφους (π.χ. όταν αυτή είναι μικρή και περιορίζεται στις πρώτες βαθμίδες των συμπιεστών). Σε περιπτώσεις εκτεταμένων ζημιών απαιτείται η αφαίρεση και αποστολή του κινητήρα στο εργοστάσιο γενικής επισκευής.
- **Θερμή εκκίνηση:** Κατά τη διάρκεια θερμής εκκίνησης, είναι πιθανόν οι αυξημένες θερμοκρασίες των καυσαερίων να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές στο θερμό τμήμα του κινητήρα, γεγονός το οποίο μπορεί να αποτελέσει αιτία εκτεταμένης αποσυναρμολόγησης του κινητήρα (ή τουλάχιστον του θερμού τμήματος), η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στο κέντρο γενικής επισκευής.

Η γενική επισκευή ενός στροβιλοκινητήρα απαιτεί εκτεταμένο εξοπλισμό ειδικών εργαλείων, ιδιοσυσκευών μέτρησης και μέσων επιθεώρησης και επισκευής. Αυτά συνήθως παρέχονται σε εξειδικευμένα κέντρα (εργοστάσια γενικής επισκευής), τα οποία διαθέτουν και το απαραίτητο επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό υποστήριξης. Τα κέντρα αυτά είναι εξουσιοδοτημένα και συνεργάζονται με τον κατασκευαστή του κινητήρα.

Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερθούμε στις διαδικασίες επιθεώρησης και επισκευής, οι οποίες συνήθως πραγματοποιούνται κατά τη γενική επισκευή αεριοστροβίλων.

3.3 Επιθεώρηση-συντήρηση, ρύθμιση, διερεύνηση και αποκατάσταση βλαβών σε τμήματα αεριοστροβίλων κινητήρων

Η αποσυναρμολόγηση των αεριοστροβίλων μπορεί να γίνει σε οριζόντια ή σε κατακόρυφη κλίση. Η οριζόντια κλίση χρησιμοποιείται συνήθως για μικρότερους κινητήρες (Σχήμα 3.5). Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι πιθανόν η κλίση να φέρει τροχούς, οι οποίοι επιτρέπουν τη μετακίνησή της, ενώ και ο

κινητήρας μπορεί να περιστρέφεται (rollover) για ευκολότερη πρόσβαση στα διάφορα εξαρτήματά του. Μεγαλύτεροι κινητήρες τοποθετούνται σε κατακόρυφες σταθερές κλίνες, με το ψυχρό τμήμα προς τα κάτω (Σχήμα 3.6). Η πρόσβαση σε όλα τα σημεία του κινητήρα επιτυγχάνεται με σκαλωσιές. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις, όπου η κατακόρυφη κλίση είναι τοποθετημένη σε ανελκυστήρα. Ο κινητήρας αποσυναρμολογείται στα κύρια υποσυγκροτήματά του, τα οποία τοποθετούνται σε ειδικές κλίνες, πριν την περαιτέρω αποσυναρμολόγησή τους (εάν απαιτείται). Για την ανύψωση των υποσυγκροτημάτων χρησιμοποιείται κατά κανόνα γερανός.



Σχήμα 3.5 Κινητήρας T56 στην κλίση αποσυναρμολόγησης

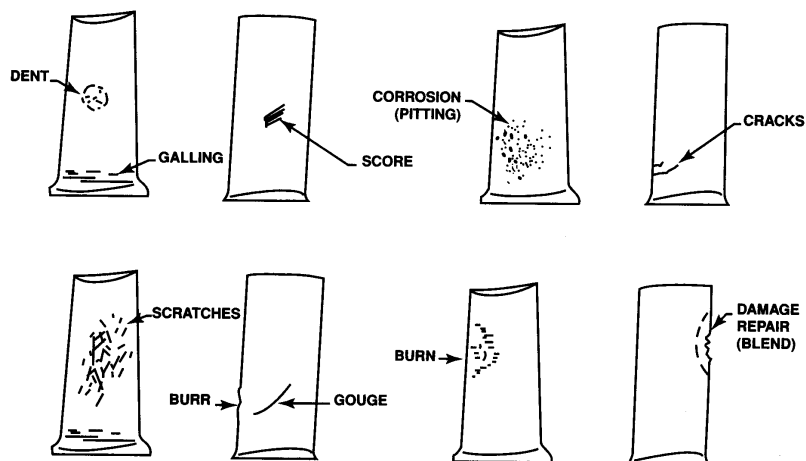
3.3.1 Συντήρηση και επισκευές ψυχρού τμήματος

Οι πρώτες βαθμίδες του συμπιεστή είναι ιδιαίτερα ευπαθείς σε ζημιές, οι οποίες μπορούν να προκληθούν από την αναρρόφηση αντικειμένων (FOD) αλλά και άμμου, ή άλλων μικρών σωματιδίων (erosion). Τα συνήθη ευρήματα είναι ρωγμές και διαφόρων ειδών αμυχές (nicks, dents, κλπ.) (Σχήμα 3.7). Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ζημιές μπορούν να επισκευασθούν με αφαίρεση υλικού και εν συνεχεία κατεργασία της περιοχής, έτσι ώστε να αποκτήσει λεία μορφή. Η διαδικασία της αφαίρεσης υλικού (blending) πρέπει να γίνεται με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή (Σχήμα 3.8). Εκτελείται συνήθως σε εφαρμοστήριο, με την χρήση ειδικών «πετρών» για την αφαίρεση του υλικού και ψηλού γυαλόχαρτου για την ανάκτηση του φινιρίσματος της επιφάνειας. Δεν πρέπει εν γένει να χρησιμοποιούνται ηλεκτροκίνητα εργαλεία, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν αυξημένη συγκέντρωση τάσεων ή και οδηγήσουν σε φθορές σε γειτονικές περιοχές. Η επισκευή ολοκληρώνεται με την επιθεώρηση της κατεργασμένης περιοχής,

με κάποια μέθοδο μη καταστροφικού ελέγχου (συνήθως MPI ή FPI), έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η απουσία ρωγμών.



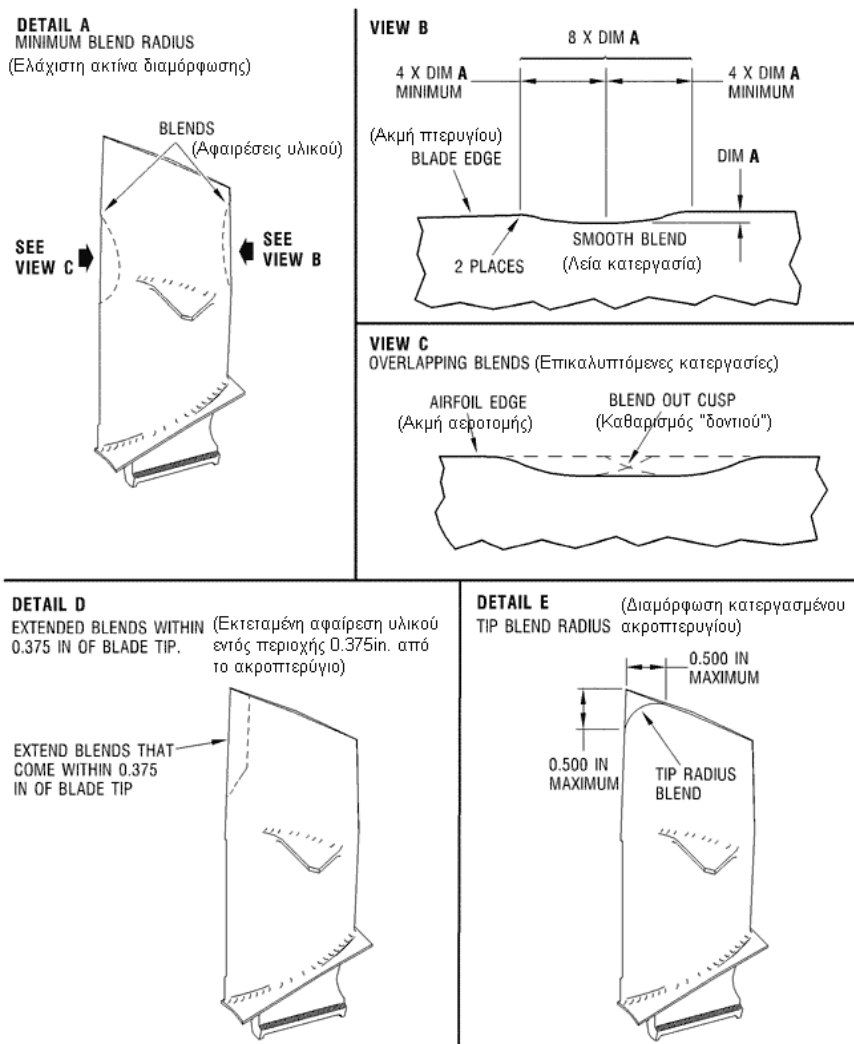
Σχήμα 3.6 Κινητήρας J79 στην κλίνη αποσυναρμολόγησης



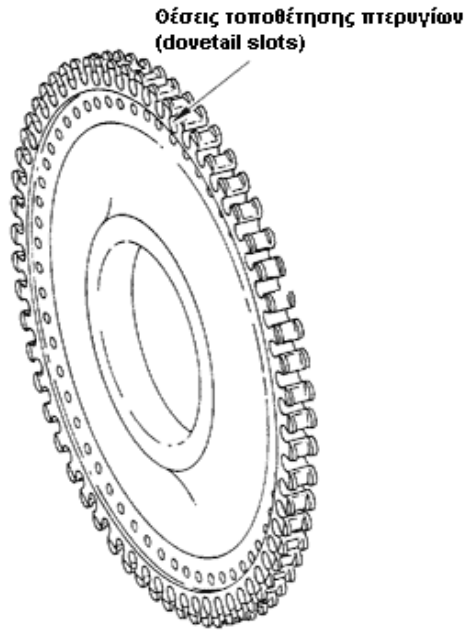
Σχήμα 3.7 Συνήθη ευρήματα σε πτερύγια συμπιεστή (Ο Πίνακας 2.4 περιέχει τον ορισμό των όρων)

Σε περίπτωση φυσικά κατά την οποία η αρχικώς διαπιστωθείσα φθορά υπερβαίνει τα προβλεπόμενα από τον κατασκευαστή όρια, το πτερύγιο απορρίπτεται.

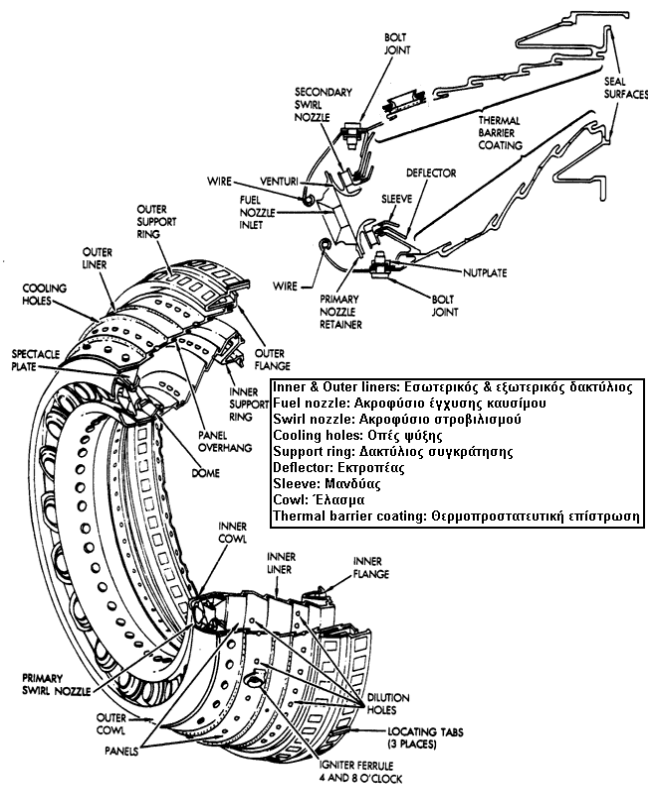
Εκτός από τα πτερύγια, πιθανές φθορές είναι πιθανόν να παρουσιασθούν και στους δίσκους των συμπιεστών. Αν και η επιθεώρηση των δίσκων ελέγχει όλη την επιφάνειά τους, είναι σύνηθες να εμφανίζονται προβλήματα στις περιοχές τοποθέτησης των πτερυγίων (τις ονομαζόμενες «περιστεροουρές» – dovetail slots) (Σχήμα 3.9). Η επαφή του πτερυγίου με το δίσκο είναι πιθανόν να προκαλεί φθορές στην επιφάνεια του δίσκου (fretting wear). Συνήθης επισκευή σε αυτή την περίπτωση είναι ο «βομβαρδισμός» της περιοχής με σφαιρίδια (shot-peening).



Σχήμα 3.8 Οδηγίες αφαίρεσης υλικού σε πτερύγια ανεμιστήρα



Σχήμα 3.9 Δίσκος συμπιεστή από turbofan χαμηλού λόγου παράκαμψης

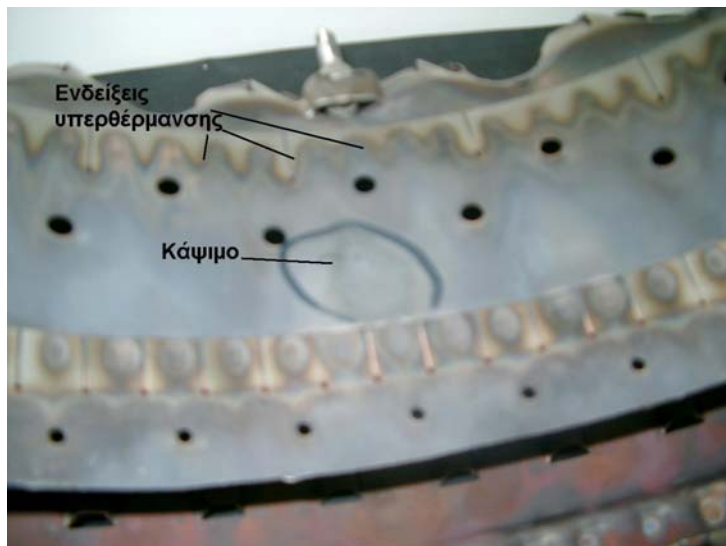


Σχήμα 3.10 Περιοχές επιθεώρησης θαλάμου καύσης

3.3.2 Συντήρηση και επισκευές θερμού τμήματος

3.3.2.1 Θάλαμος καύσης

Τα συνήθη ευρήματα κατά την επιθεώρηση των θαλάμων καύσης (Σχήμα 3.10) περιλαμβάνουν ρωγμές, «καψίματα» (burns), ενδείξεις υπερθέρμανσης (hot spots), στρεβλώσεις (warpage) και μηχανική διάβρωση (erosion) (Πίνακας 2.4). Σε ορισμένες περιπτώσεις οι συγκολλήσεις κατά την κατασκευή του θαλάμου είναι πιθανόν να είναι ατελείς (π.χ. μεγάλη ποσότητα του υλικού συγκόλλησης γύρω από τη ραφή), οπότε απαιτείται η επανασυγκόλληση της περιοχής. Η επισκευασιμότητα ενός ρωγματογμένου θαλάμου καύσης, εξαρτάται από την έκταση, την θέση και τον αριθμό των ρωγμών (Σχήμα 3.11).



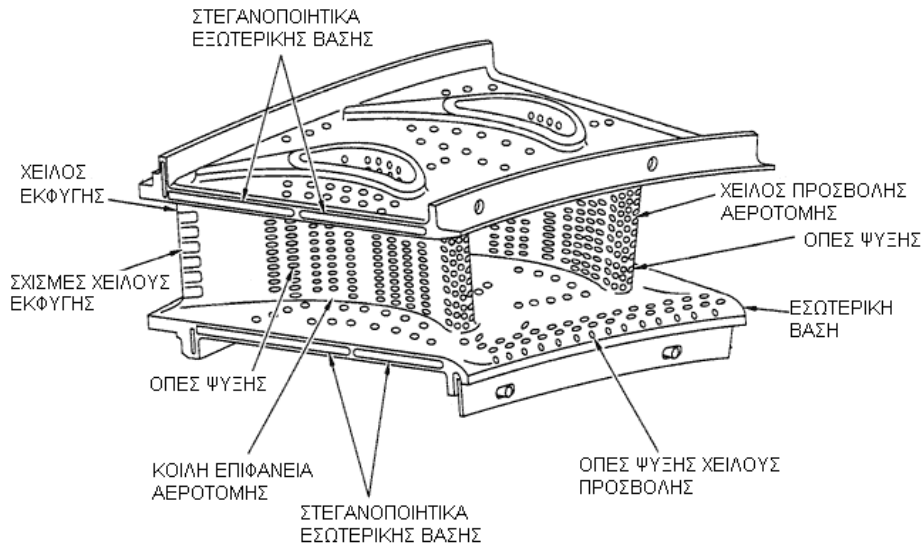
Σχήμα 3.11 Συνήθη ευρήματα στον εσωτερικό δακτύλιο (inner liner) θαλάμου καύσης

Η αποκατάσταση των ρωγμών γίνεται συνήθως με συγκόλληση (**inert gas**, **electron beam** ή **akku-welding**). Σε κάθε περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιείται υλικό (σύρμα) συγκόλλησης συμβατό με το υλικό του εξαρτήματος, ενώ συνήθως απαιτείται θερμική κατεργασία πριν και μετά την επισκευή.

Οι θάλαμοι καύσης «κινδυνεύουν» επίσης από τους ψεκαστήρες καυσίμου. Διαταραχή της ροής καυσίμου σε έναν ψεκαστήρα, μπορεί να οδηγήσει σε ανάφλεξη του καυσίμου πολύ κοντά ή και σε άμεση επαφή με τους **δακτύλιους (liners)** του θαλάμου καύσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προκληθεί επέκταση της φλόγας στην περιοχή του στροβίλου, με καταστρεπτικές φυσικά συνέπειες για τη σταθερή βαθμίδα ή και τα κινητά πτερύγια του στροβίλου.

3.3.2.2 Τμήμα στροβίλων

Το τμήμα του ή των στροβίλων ενός αεριοστροβίλου, λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες και κάτω από σημαντικές τάσεις. Είναι λοιπόν σύνηθες να παρουσιάζει ρωγμές, καψίματα, στρεβλώσεις, μηχανική αλλά και χημική διάβρωση.



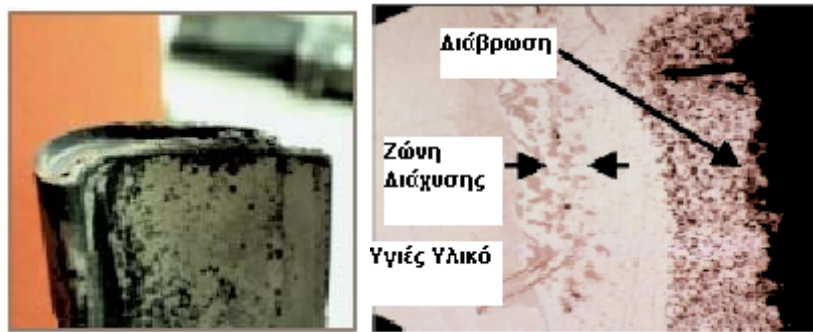
Σχήμα 3.12 Περιοχές επιθεώρησης σταθερού πτερυγίου 1^{ης} βαθμίδας στροβίλου

Τα πτερύγια των σταθερών βαθμίδων λειτουργούν κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες ιδιαίτως βέβαια η πρώτη βαθμίδα, η οποία βρίσκεται αμέσως μετά τον θάλαμο καύσης. Για την προφύλαξη των βαθμίδων, χρησιμοποιούνται θερμοπροστατευτικές επιστρώσεις (Thermal Barrier Coatings).

Ρωγμές, οι οποίες πιθανόν εντοπίζονται στα σταθερά πτερύγια (Σχήμα 3.12), μπορούν να γίνουν αποδεκτές, εφόσον ικανοποιούν συγκεκριμένα κριτήρια αποδοχής (π.χ. «μικρές» ρωγμές, οι οποίες δεν συγκλίνουν). Αμυχές και σχισμάτα συνήθως επισκευάζονται με τρύχιση και εξομάλυνση της μορφής της περιοχής. Αποφραγμένες οπές ψύξης καθαρίζονται με την χρήση λεπτού σύρματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, πτερύγια τα οποία έχουν υποστεί μηχανική διάβρωση, μπορεί να επισκευασθούν με τη μέθοδο της επικάλυψης πλάσματος (plasma coating)¹.

¹ Μεταλλικό υλικό σε μορφή «πλάσματος» ψεκάζεται στην επιφάνεια του μετάλλου σε πολύ υψηλή θερμοκρασία και με μεγάλη ταχύτητα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται γενικά σε περιπτώσεις αποκατάστασης φθορών για την ανάκτηση διαστάσεων.

Η επιθεώρηση των δίσκων των στροβίλων είναι ιδιαίτερα απαιτητική, εξαιτίας των μεγάλων τάσεων που αυτοί υφίστανται λόγω της περιστροφής τους¹. Ένδειξη ρωγμής αποτελεί αιτία απόρριψης του δίσκου. Σημειώνεται, ότι ειδικά στην περίπτωση στρατιωτικών στροβιλοκινητήρων έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια ειδικές αυτοματοποιημένες επιθεωρήσεις με δινορεύματα, για την ανίχνευση ρωγμών πολύ μικρού μεγέθους.



Σχήμα 3.13 Διαβρωμένο άκρο πτερυγίου και μικροσκοπική ανάλυση

Τα πτερύγια των πρώτων κινητών βαθμίδων των στροβίλων φέρουν συνήθως θερμοπροστατευτικές επιστρώσεις, εξαιτίας των μεγάλων θερμοκρασιών που υφίστανται από τα καυσαέρια. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το φαινόμενο του ερπυσμού (creep) το οποίο παρατηρείται στα περιστρεφόμενα πτερύγια. Ο συνδυασμός των φυγοκεντρικών τάσεων με τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας προκαλεί επιμήκυνση του πτερυγίου σε κάθε κύκλο λειτουργίας². Αν και αυτή η επιμήκυνση είναι απειροελάχιστη σε κάθε κύκλο, το αθροιστικό αποτέλεσμα πολλών κύκλων λειτουργίας μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση του διακένου μεταξύ πτερυγίου και περιβλήματος.

Σε άλλες περιπτώσεις τα άκρα των πτερυγίων μπορεί να έχουν υποστεί διάβρωση, εξαιτίας των συνθηκών λειτουργίας (π.χ. πάνω από θάλασσα) (Σχήμα 3.13). Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατή η ανάκτηση του φθαρμένου άκρου με συγκόλληση.

3.3.3 Συντήρηση τριβέων και διατάξεων στεγανοποίησης

Η συντήρηση των τριβέων είναι από τις πλέον απαιτητικές σε ένα κέντρο γενικής επισκευής, όσον αφορά τις συνθήκες καθαρισμού και επιθεώρησης. Αυτό είναι απαραίτητο έτσι ώστε να προλαμβάνεται η εμφάνιση

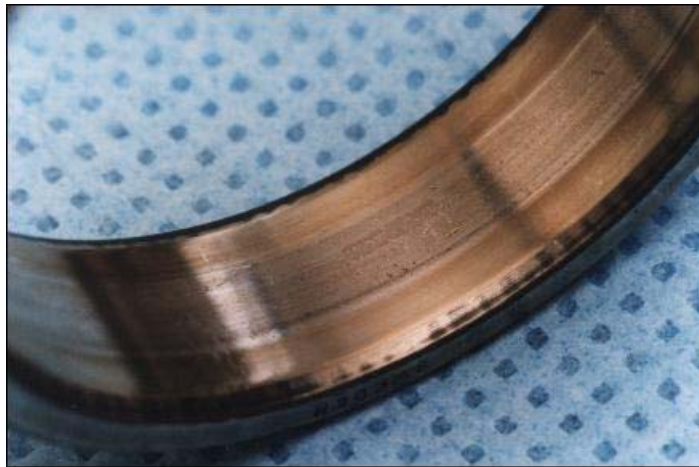
¹ Ο χρόνος μεταξύ γενικών επισκευών καθορίζεται συνήθως από τις απαιτήσεις επιθεώρησης των περιστρεφόμενων μερών του κινητήρα.

² Ένας κύκλος λειτουργίας περιλαμβάνει ανάφλεξη, λειτουργία και σβήσιμο του κινητήρα.

επιφανειακής διάβρωσης μετά την αφαίρεση του τριβέα από τον κινητήρα. Εξαιτίας των υψηλών απαιτήσεων των κατασκευαστών, κατά την επιθεώρηση, ακόμη και στοιχειώδεις ενδείξεις διάβρωσης οδηγούν κατά κανόνα σε απόρριψη του τριβέα. Έτσι ο καθαρισμός, αλλά και η επιθεώρηση γίνεται σε ειδικούς, «στενά» ελεγχόμενους χώρους, όσον αφορά την καθαρότητα του αέρα.

Απαγορεύεται η επαφή του ανθρώπινου χεριού με τους τριβείς και πρέπει να γίνεται πάντοτε χρήση ελαστικών γαντιών. Μετά τον καθαρισμό (με ειδικούς καθαρούς διαλύτες) το στέγνωμα γίνεται με καθαρό μαλακό πανί. Θα πρέπει να αποφεύγεται το στέγνωμα με συμπιεσμένο αέρα του συνεργείου, μια και η υγρασία του αέρα μπορεί να είναι επιβλαβής για τον τριβέα. Μετά το τέλος της επιθεώρησης, ο τριβέας καλύπτεται με ειδικό προστατευτικό λάδι.

Η επιθεώρηση των τριβέων γίνεται κάτω από καλό φωτισμό, με την χρήση μεγεθυντικού φακού ή και μικροσκοπίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο τριβέας μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί μόνο εάν κατά την επιθεώρησή του δεν βρεθεί καμίας μορφής εύρημα (και εφόσον φυσικά δεν έχει υπερβεί το προδιαγεγραμμένο όριο λειτουργίας του). Συνήθη ευρήματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.14 και στο Σχήμα 3.15.



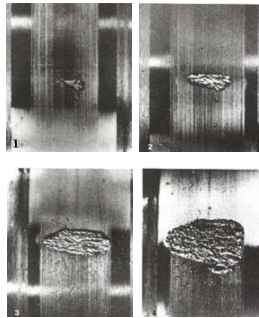
Σχήμα 3.14 Ο εξωτερικός δρομέας ενός σφαιρικού κυλινδροτριβέα με εμφανή ίχνη φθοράς από ξένα σωματίδια

Ίχνη φθοράς (wear) μπορούν να προκληθούν από την τριβή με μικρά σωματίδια, τα οποία έχουν εισέλθει στο σύστημα της λίπανσης, πιθανότατα λόγω κακής λειτουργίας του συστήματος στεγανοποίησης (Σχήμα 3.14). Κραδασμοί του κινητήρα ή ανεπαρκής λίπανση μπορούν επίσης να αποτελούν αιτία πρόκλησης φθοράς.

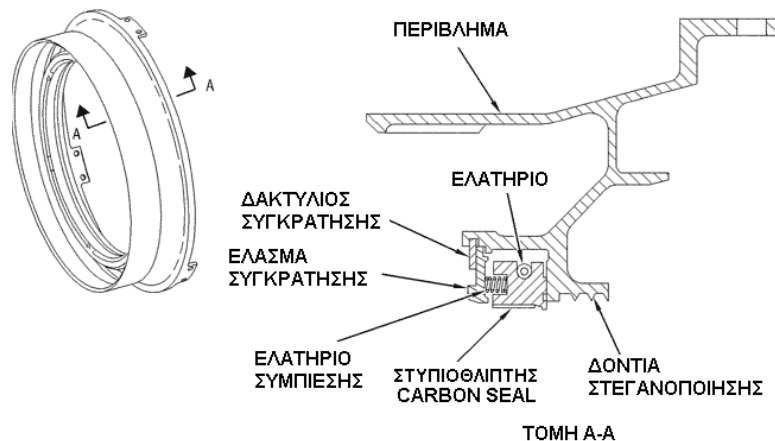
Ένα ιδιαίτερος επικίνδυνο εύρημα κατά την επιθεώρηση των τριβέων είναι ενδείξεις αποφλοιώσης (flaking ή spalling, Σχήμα 3.14). Υπερβολική

φόρτιση των τριβέων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία μικρών ρωγματώσεων. Αυτές, είναι δυνατόν κατά τη λειτουργία του τριβέα να συγκλίνουν, προκαλώντας την αποκόλληση υλικού από το δρομέα. Η αποφλοιώση είναι πολύ επικίνδυνη και μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες. Ενδείξεις αποφλοιώσης έχουν πάντα ως αποτέλεσμα την απόρριψη του τριβέα.

Ρωγμές ή διάβρωση σε οποιοδήποτε στοιχείο του τριβέα είναι επίσης αιτία απόρριψης του.



Σχήμα 3.15 Διαδοχικά στάδια αποφλοιώσης



Σχήμα 3.16 Διάταξη στεγανοποίησης τριβέα αεριοστροβίλου

Οι διατάξεις στεγανοποίησης των κυστιδών (Σχήμα 3.16) επιθεωρούνται κατά τη διάρκεια της γενικής επισκευής για ενδείξεις ρωγμών, αμυχών, απώλειας προστατευτικών επιστρώσεων (coatings), κλπ. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά την επιθεώρηση και εν γένει μεταχείριση του στυπιοθλίπτη (carbon seal), μια και οποιαδήποτε φθορά ή επικάλυψη ξένων σωματιδίων μπορεί να οδηγήσει σε δραματική μείωση της στεγανοποιητικής ικανότητας.

3.3.4 Διαδικασίες μη καταστροφικού ελέγχου

Οι διαδικασίες μη καταστροφικού ελέγχου που χρησιμοποιούνται στους αεριοστροβίλους, περιλαμβάνουν:

- οπτικό έλεγχο,
- επιθεώρηση με φωσφορίζοντα ή έγχρωμα υγρά,
- έλεγχο με μαγνητικά σωματίδια,
- ακτινογραφία,
- επιθεώρηση με δινορεύματα,
- υπερήχους.

Οι βασικές αρχές των παραπάνω μεθόδων αναπτύχθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο του παρόντος βιβλίου και δεν θα επαναληφθούν σε αυτό το σημείο. Αξίζει όμως να υπογραμμισθεί, η σημαντική ανάπτυξη της επιθεώρησης με δινορεύματα. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει το σημαντικό πλεονέκτημα να είναι εν γένει ανεξάρτητη από τον χειριστή, ενώ οι σημαντικές βελτιώσεις, οι οποίες έχουν συντελεσθεί έχουν επιτρέψει τη σημαντική αύξηση των διαστημάτων μεταξύ γενικών επισκευών (κυρίως σε στρατιωτικούς κινητήρες.

3.3.5 Διαδικασίες ζυγοστάθμισης συμπιεστού και στροβίλου

Η ζυγοστάθμιση των στροφίων ενός στροβιλοκινητήρα έχει ως στόχο να εξαλείψει τις αιτίες που μπορούν να προκαλέσουν κραδασμούς στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής τους.

Η ανώτατη επιτρεπτή ταχύτητα περιστροφής ενός κινητήρα είναι συνήθως μικρότερη από την ελάχιστη τιμή του ίδιου μεγέθους, όπου το στροφείο αρχίζει να ταλαντώνεται. Αυτό βεβαίως προϋποθέτει την καλή εκτέλεση των επισκευών και φυσικά της διαδικασίας ζυγοστάθμισης. Αν δε συμβεί αυτό, το στροφείο μπορεί να λειτουργεί με αυξημένους κραδασμούς, επηρεάζοντας και τα υπόλοιπα στροφία, με πιθανές καταστροφικές συνέπειες.

Η διαδικασία ζυγοστάθμισης είναι λεπτή, χρονοβόρα, απαιτεί ειδικό εξοπλισμό (Σχήμα 3.17) και περιλαμβάνει τόσο τη στατική, όσο και τη δυναμική ζυγοστάθμιση:

- Η στατική ζυγοστάθμιση (ή ζυγοστάθμιση σε ένα επίπεδο) ελέγχει την αζυγοσταθμία στο επίπεδο περιστροφής. Εφαρμόζεται συνήθως σε κάθε περιστρεφόμενη βαθμίδα (δίσκος και πτερύγια) και προηγείται της δυναμικής.

Η δυναμική ζυγοστάθμιση απαλείφει, ή σωστότερα περιορίζει στα επιτρεπτά όρια, την αζυγοσταθμία κατά μήκος του άξονα περιστροφής.

Η τελική φάση της ζυγοστάθμισης περιλαμβάνει την προσθήκη (ή και αφαίρεση) βάρους στα σημεία και επίπεδα διόρθωσης, που υποδεικνύουν οι

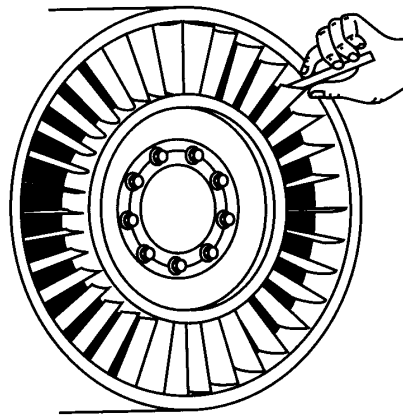
μηχανές ζυγοστάθμισης. Είναι όμως απαραίτητο να έχει προγενέστερα μειωθεί στο ελάχιστο η αζυγοσταθμία του στροφείου, μέσω της κατάλληλης τοποθέτησης των πτερυγίων (ανάλογα με το βάρος τους). Έτσι όταν απαιτείται αλλαγή πτερυγίων, ελέγχεται το βάρος κάθε πτερυγίου που αντικαθίσταται και τοποθετείται στη θέση του άλλο, αντίστοιχων ιδιοτήτων.



Σχήμα 3.17 Οριζόντια μηχανή δυναμικής ζυγοστάθμισης και οθόνη ελέγχου

3.3.6 Έλεγχοι διακένων και ανοχών

Ο διαστατικός έλεγχος κατά τη συντήρηση στροβιλοκινητήρων παρουσιάζει αυξημένες απαιτήσεις ακρίβειας: οι ανοχές των μετρούμενων διαστάσεων είναι πολύ μικρές (της τάξης σε πολλές περιπτώσεις ορισμένων "μικρών" - $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$). Για το λόγο αυτό, τα όργανα μέτρησης θα πρέπει να διακρίβωνονται αρκετά συχνά, από ειδικά διαπιστευμένα εργαστήρια ή επιθεωρητές.



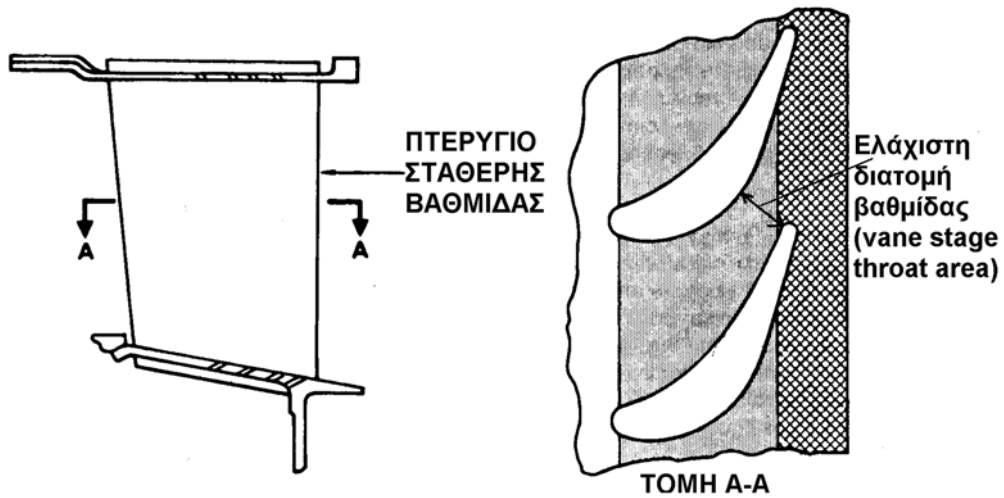
Σχήμα 3.18 Έλεγχος διακένου μεταξύ πτερυγίου και περιβλήματος

Το διάκενο μεταξύ των πτερυγίων του συμπιεστή, ή του στροβίλου (tip clearance) και του περιβλήματος είναι αποφασιστικός παράγοντας για την καλή λειτουργία (αυξημένης απόδοσης) του κινητήρα. Η ελάχιστη τιμή του διακένου καθορίζεται από την ανάγκη για την αποφυγή επαφής μεταξύ των περιστρεφόμενων πτερυγίων και του περιβλήματος κατά τη λειτουργία (εξαιτίας της επιμήκυνσης των πτερυγίων, ή σε περιπτώσεις "βαριών" προσγειώσεων). Το διάκενο συνήθως μετριέται με την χρήση φίλερ, ή ειδικών εργαλείων (Σχήμα 3.18), τα οποία προδιαγράφονται από τον κατασκευαστή.

Η διαστατική επιθεώρηση περιλαμβάνει ακόμη μετρήσεις όπως:

- διάμετροι περιστρεφόμενων δίσκων,
- ανοχές μεταξύ περιστρεφόμενων στεγανοποιητικών (rotating seals) και κυψελών (honeycombs),
- αποστάσεις (drop dimensions) μεταξύ επιφανειών αναφοράς,
- διάμετροι οπών συναρμογής (boltholes), κ.ά.

Αξίζει τέλος να αναφερθεί ένας ιδιαίτερος διαστατικός έλεγχος, ο οποίος έχει ιδιαίτερη σημασία για την επίδοση του κινητήρα. Πρόκειται για την μέτρηση της επιφάνειας ροής του αέρα στις σταθερές βαθμίδες (κυρίως την πρώτη) του στροβίλου (1st stg. vane throat area - Σχήμα 3.19). Η ακριβής μέτρηση αυτού του μεγέθους, επιτρέπει την καλή ρύθμισή του, στις τιμές που απαιτεί ο κατασκευαστής, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η βέλτιστη απόδοση του κινητήρα κατά τη λειτουργία του. Η ρύθμιση μπορεί να γίνει είτε με διαμόρφωση της απόστασης μεταξύ των πτερυγίων (εάν πρόκειται για ενιαία βαθμίδα), είτε με την κατάλληλη επιλογή των πτερυγίων (vane segments - εάν πρόκειται για συναρμολογούμενη βαθμίδα). Η μέτρηση γίνεται συνήθως με ειδικά εργαλεία, που προδιαγράφει ο κατασκευαστής. Με τον τρόπο αυτό μετριέται η γεωμετρική επιφάνεια της ροής (Geometric Flow Area - GFA). Η μέτρηση αυτή εμπεριέχει σχετική αβεβαιότητα, εξαιτίας της χρήσης εργαλείων και του ανθρώπινου παράγοντα. Πιο ακριβείς μετρήσεις γίνονται σε ειδικά δοκιμαστήρια, όπου ανεμιστήρας παρέχει ροή αέρα μέσα από τη βαθμίδα (Σχήμα 3.20). Η μέτρηση παρέχει την πραγματική επιφάνεια ροής (Effective Flow Area - EFA).



Σχήμα 3.19 Ελάχιστη διατομή βαθμίδας σταθερών πτερυγίων



Σχήμα 3.20 Δοκιμαστήριο μέτρησης της επιφάνειας «σταθερών» βαθμίδων

3.4 Λίπανση –Συστήματα λίπανσης

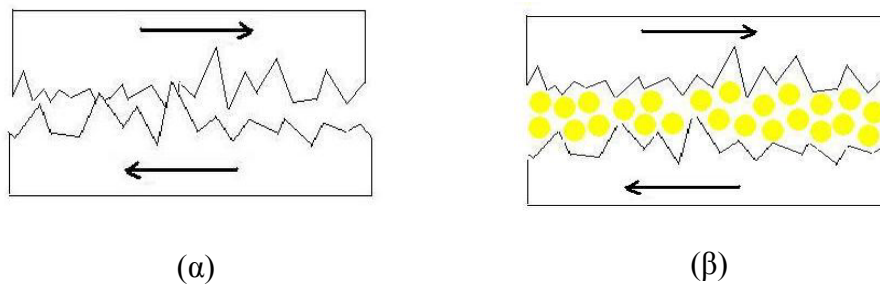
3.4.1 Γενικά

Η χρήση των λιπαντικών και κατ' επέκταση των συστημάτων λίπανσης στους αεριοστρόβιλους κινητήρες είναι απαραίτητη για να επιτύχουμε τη μείωση των τριβών των κινούμενων μερών του όπως οι τριβείς, τα

γρανάζια μετάδοσης κίνησης και οι διατάξεις στεγανοποίησης (**λαβύρινθοι – seals**), καθώς και την **ψύξη** αυτών. Η επαφή των κινουμένων μερών σε ένα κινητήρα, η οποία στην πλειοψηφία των περιπτώσεων πραγματοποιείται κάτω από υψηλές δυνάμεις, δημιουργεί **δύναμη τριβής**. Η δύναμη αυτή έχει πάντοτε αντίθετη διεύθυνση από αυτή της κινούμενης επιφάνειας. Για να υπερνικήσουμε τις δυνάμεις αυτές χρειάζεται να καταναλώσουμε έργο, κάτι που συνεπάγεται απώλεια από το ωφέλιμο έργο που λαμβάνουμε από τον κινητήρα. Όσο μικρότερες είναι οι δυνάμεις τριβής τόσο μεγαλύτερο είναι το έργο που παίρνουμε.

Εκτός από την κατανάλωση έργου, η τριβή που δημιουργείται μεταξύ των κινουμένων μερών προκαλεί και **φθορές** στις επιφάνειες των εξαρτημάτων που έρχονται σε επαφή. Όσο λείες και ομοιόμορφες να φαίνονται οι επιφάνειες ενός τριβέα ή των δοντιών ενός γραναζιού με γυμνό μάτι (Σχήμα 3.21 (α)) σε μικροσκοπική κλίμακα είναι αρκετά ανώμαλες και τραχιές. Η άμεση επαφή μεταξύ τους επιφέρει φθορά και στις δύο επιφάνειες, με συνέπεια τη μεταβολή των διαστάσεών τους από σταδιακή απώλεια υλικού και αύξηση της θερμοκρασίας που δημιουργείται από την μεταξύ τους τριβή.

Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί και αύξηση των διαστάσεων των κινούμενων μερών. Με αυτό τον τρόπο αυξάνονται οι δυνάμεις που ασκούνται σε αυτά λόγω διαστολής τους, με αποτέλεσμα την αύξηση της μεταξύ τους τριβής και την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας. Με αυτό το μηχανισμό μπορεί να αυξηθεί η θερμοκρασία με πολύ γρήγορο ρυθμό φθάνοντας ακόμη και σε θερμοκρασία τήξης των υλικών των κινούμενων μερών.



Σχήμα 3.21 Επιφάνειες σε σχετική μεταξύ τους κίνηση χωρίς λιπαντικό (α) και με λιπαντικό (β)

Ο ρόλος του λιπαντικού είναι να αποτρέψει την επαφή και συνεπώς την τριβή μεταξύ των κινούμενων μερών δημιουργώντας ένα προστατευτικό στρώμα ανάμεσά τους Σχήμα 3.21 (β). Με αυτό τον τρόπο έχουμε τριβή των κινούμενων μερών με το λιπαντικό και όχι μεταξύ τους.

Μια δεύτερη λειτουργία που επιτελεί το λιπαντικό είναι η απαγωγή της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας από τις περιοχές που έρχονται σε επαφή. Παρόλο που η χρήση λιπαντικού μειώνει δραστικά την αναπτυσσόμενη θερμοκρασία στις περιοχές τριβής, τα επίπεδα της θερμοκρασίας μπορεί να φθάσουν αρκετά υψηλά.

3.4.2 Φυσικές ιδιότητες και τεχνικά χαρακτηριστικά των λιπαντικών

Τα λιπαντικά χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες σύμφωνα με τις οποίες διαχωρίζονται και κατηγοριοποιούνται για συγκεκριμένες εφαρμογές και για την απόδοσή τους σε δεδομένες συνθήκες λειτουργίας. Οι φυσικές ιδιότητες των λιπαντικών παρουσιάστηκαν αναλυτικά σε σχετικό κεφάλαιο του βιβλίου «**Κινητήρες Αεροσκαφών Ι**».

Τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται σε αεριοστρόβιλους κινητήρες θα πρέπει να επίσης να ικανοποιούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ποιότητας και απόδοσης, τα οποία εξασφαλίζονται με κατάλληλες δοκιμές τους.

- **Χημική συμβατότητα** με τα ελαστικά παρεμβύσματα που χρησιμοποιούνται για τη στεγανοποίηση του συστήματος λίπανσης. Το λιπαντικό θα πρέπει να προκαλεί την ελάχιστη δυνατή διόγκωση και συνεπώς παραμόρφωση των ελαστικών παρεμβυσμάτων και φυσικά να μην τα φθείρει αντιδρώντας χημικά μαζί τους.
- **Θερμική σταθερότητα** είναι η ικανότητα του λιπαντικού να μην καίγεται σε υψηλές θερμοκρασίες σχηματίζοντας ενανθρακώσεις και ίζημα από υπολείμματα των πρόσθετων του λιπαντικού.
- Το λιπαντικό δεν θα πρέπει να παγιδεύει **φουσαλίδες αέρα** και να σχηματίζει **αφρό** καθώς κυκλοφορεί στο σύστημα λίπανσης. Ειδικά πρόσθετα βοηθούν στο διαχωρισμό των φουσαλίδων αέρα από το λιπαντικό σε μικρό χρονικό διάστημα, αποτρέποντας την εισροή μείγματος αέρα-λιπαντικού στο κύκλωμα λίπανσης.
- Το λιπαντικό θα πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις όσον αφορά το **μέγεθος της πίεσης λειτουργίας**, ενώ ταυτόχρονα να λιπαίνει ικανοποιητικά τα κινούμενα μέρη.
- Ο σχηματισμός **υπολειμμάτων άνθρακα** και **ενανθρακώσεων** κατά την καύση του λιπαντικού σε έλλειψη ατμοσφαιρικού αέρα θα πρέπει να είναι ο ελάχιστος.

3.4.3 Προδιαγραφές λιπαντικών αεριοστρόβιλων κινητήρων

Τα λιπαντικά θα πρέπει να διατηρούν τις παραπάνω ιδιότητες σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος συνθηκών. Για παράδειγμα, ένα λιπαντικό θα πρέπει να έχει

την απαιτούμενη απόδοση σε θερμοκρασίες λειτουργίας από -50°C έως 200°C , έτσι ώστε στις χαμηλές θερμοκρασίες να ρέει ικανοποιητικά στο σύστημα λίπανσης κατά την εκκίνηση του κινητήρα, ενώ στις μεγάλες θερμοκρασίες λειτουργίας, δε θα πρέπει να γίνεται πολύ λεπτόρρευστο μειώνοντας την λιπαντική του δυνατότητα και να δημιουργεί ενανθρακώματα.

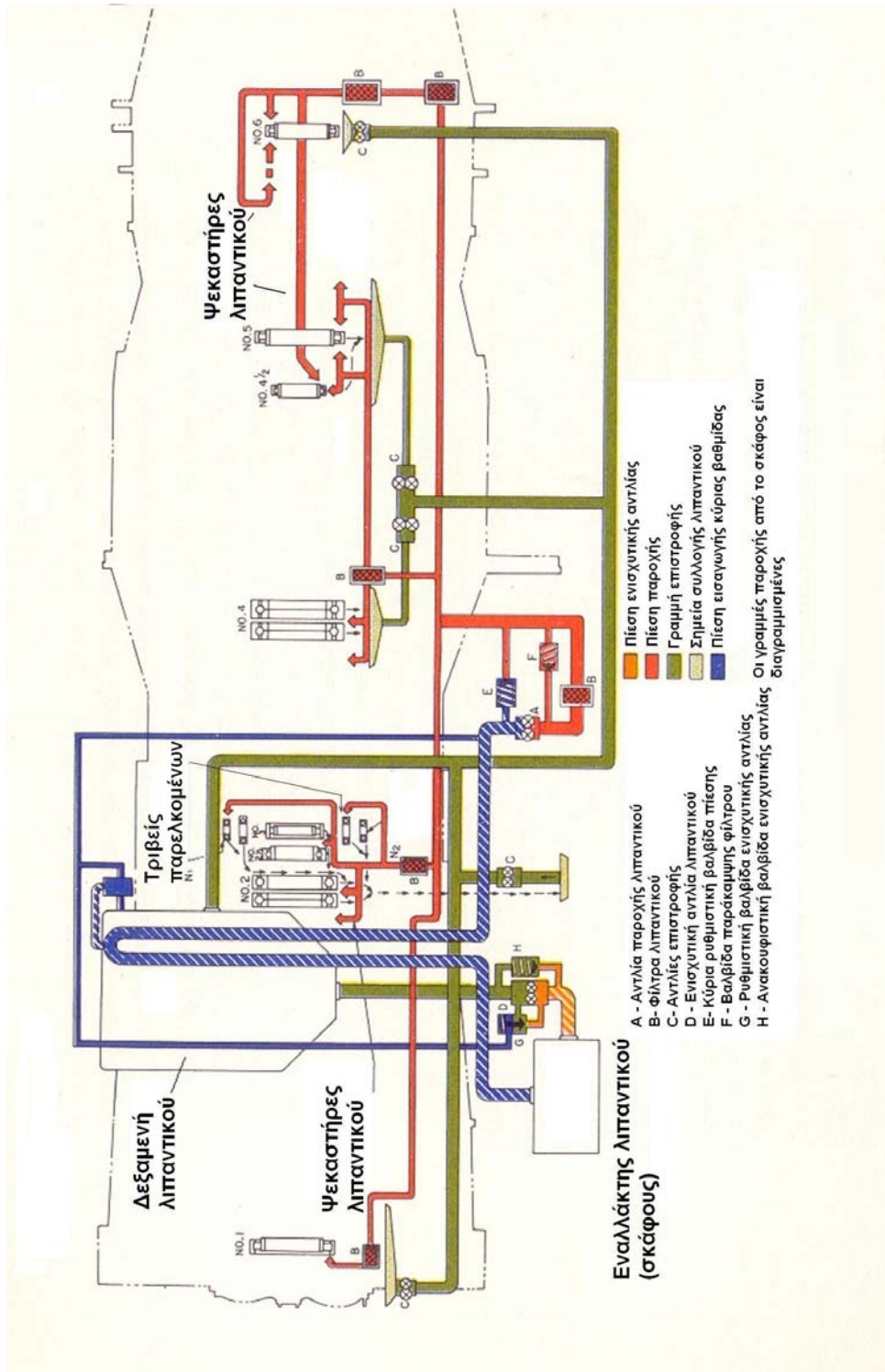
3.4.4 Περιγραφή τυπικού συστήματος λίπανσης αεριοστρόβιλου κινητήρα

3.4.4.1 Παρελκόμενα συστημάτων λίπανσης

Ένα τυπικό σύστημα λίπανσης ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα φαίνεται στο Σχήμα 3.22 και αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. Δεξαμενή λιπαντικού (oil tank)
2. Αντλία παροχής λιπαντικού (pressure oil pump)
3. Σύστημα επιστροφής λιπαντικού (scavenge oil system)
4. Φίλτρο λιπαντικού (oil filter)
5. Μαγνητικός ανιχνευτής ρινισμάτων ή μαγνητικό πώμα (chip detector)
6. Εναλλάκτης συστήματος λίπανσης (oil cooler)
7. Ανακουφιστική βαλβίδα συστήματος λίπανσης
8. Σύστημα ατμοσφαιρικής αποκατάστασης κυστιδίων
9. Θερμοστατικές βαλβίδες
10. Ακροφύσια ψεκασμού λιπαντικού
11. Διατάξεις στεγανοποίησης
12. Όργανα ένδειξης πίεσης και θερμοκρασίας λιπαντικού
13. Σωληνώσεις και εξαρτήματα ελέγχου ροής λιπαντικού όπως αντεπίστροφες ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, βαλβίδες ελέγχου ροής και φίλτρα λιπαντικού

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε αναλυτικά τη λειτουργία των βασικότερων από τα παραπάνω εξαρτήματα σε ένα αντιπροσωπευτικό σύστημα λίπανσης αεριοστρόβιλου κινητήρα.

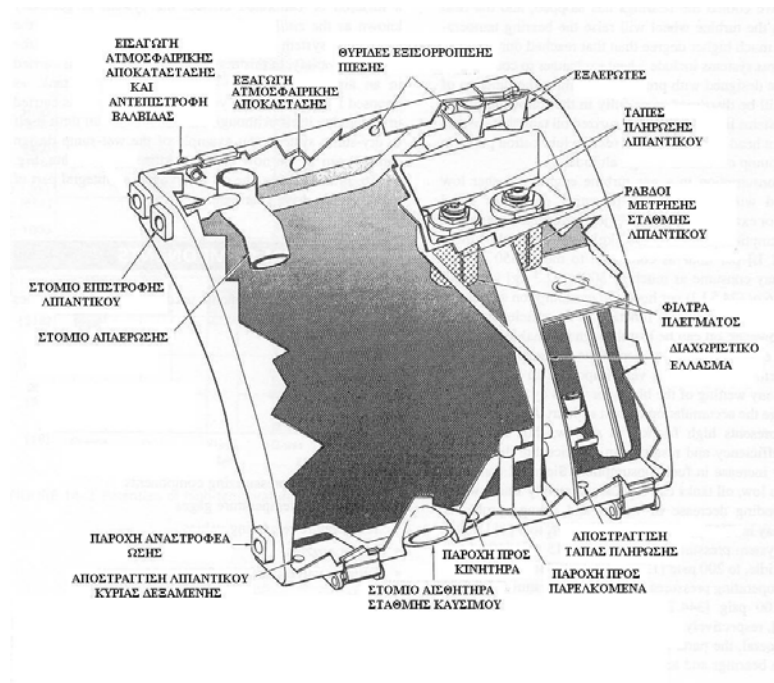


Σχήμα 3.22 Σχηματική παράσταση ενός τυπικού συστήματος λίπανσης αεριοστρόβιλου κινητήρα

3.4.4.2 Δεξαμενή λιπαντικού

Η δεξαμενή του λιπαντικού (**oil tank** - Σχήμα 3.23) είναι το εξάρτημα του συστήματος λίπανσης, στο οποίο αποθηκεύεται ικανή ποσότητα λιπαντικού. Από εκεί διοχετεύεται στον κινητήρα, ενώ στη συνέχεια επιστρέφει¹ αφού ολοκληρωθεί ο κύκλος λίπανσης. Η ποσότητα που περιέχει θα πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες του κινητήρα για κατανάλωση λιπαντικού. Σε κάποιους τύπους κινητήρων που δεν χρησιμοποιούν εναλλάκτη, η ψύξη του λιπαντικού επιτυγχάνεται αυξάνοντας τη χωρητικότητα της δεξαμενής.

Η δεξαμενή μπορεί να είναι εξάρτημα του κινητήρα ή του αεροσκάφους. Συνήθως κατασκευάζεται από **έλασμα κράματος αλουμινίου ή ανοξείδωτου χάλυβα**, ενώ στους περισσότερους τύπους κινητήρων είναι **συμπιεζόμενη** για να εξασφαλίζει σταθερή πίεση και συνεπώς συνεχή παροχή λιπαντικού στην εισαγωγή της αντλίας. Η αυξημένη πίεση στη δεξαμενή περιορίζει επίσης τον σχηματισμό αφρού.



Σχήμα 3.23 Δεξαμενή λιπαντικού αεριοστροβίλου κινητήρα

Μια τυπική δεξαμενή λιπαντικού που χρησιμοποιείται σε αεριοστροβίλο κινητήρα, (Σχήμα 3.23) διαθέτει **στόμιο πλήρωσης**, **αποστράγγισης** καθώς και **έξοδο** του λιπαντικού προς το σύστημα λίπανσης. Το στόμιο πλήρωσης βρίσκεται σε σημείο χαμηλότερο από το ανώτατο σημείο της δεξαμενής

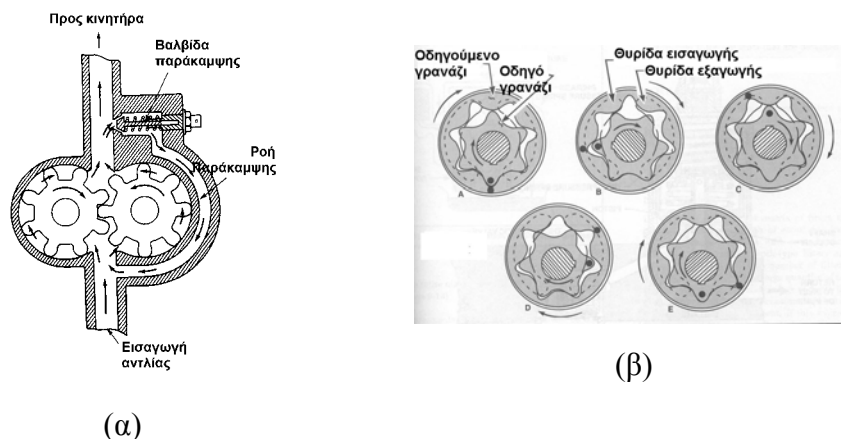
¹ Για τα περισσότερα συστήματα λίπανσης.

διαθέτοντας ελεύθερο χώρο για την διαστολή του λιπαντικού, όταν αυτό θερμαίνεται και για τον παραγόμενο αφρό. Η πίεση στη δεξαμενή ελέγχεται χρησιμοποιώντας **ανακουφιστική βαλβίδα**. Η πίεση αυξάνεται μέχρι το σημείο που ανοίγει η βαλβίδα για να τη διατηρήσει σταθερή μέσα στη δεξαμενή. Διαθέτει επίσης **διαχωριστικά ελάσματα** τα οποία εμποδίζουν την ταλάντευση του λιπαντικού μέσα στη δεξαμενή κατά τη διάρκεια της πτήσης, αποφεύγοντας έτσι τον σχηματισμό αφρού.

3.4.4.3 Αντλία παροχής

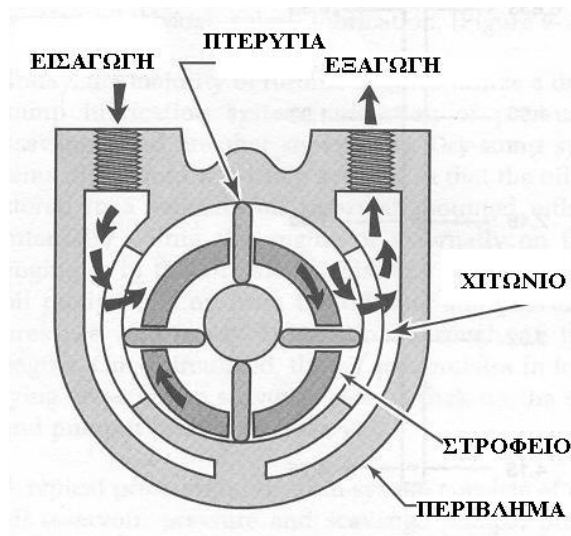
Η αντλία πίεσης χρησιμεύει για την δημιουργία **ικανής διαφοράς πίεσης** στο κύκλωμα λίπανσης για την **κυκλοφορία του λιπαντικού** με ικανοποιητική ροή, τη **διόδό του από τα φίλτρα** του κυκλώματος και τον σχηματισμό ικανοποιητικού πίδακα για τη **σωστή λίπανση** των τριβέων. Οι τύποι των αντλιών που χρησιμοποιούνται σε αεριοστρόβιλους κινητήρες είναι οι **γρاناζωτές (gear pump)**, οι **αντλίες έκκεντρου γρاناζιού (gerotor)** και οι **αντλίες αξονικού στροφείου (vane type)**.

Η **γραναζωτή αντλία**, Σχήμα 3.24 (α) λειτουργεί με τη βοήθεια δύο γραναζιών τα οποία είναι σε εμπλοκή μεταξύ τους, ενώ το ένα οδηγεί το άλλο παίρνοντας κίνηση από το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης του κινητήρα. Το λιπαντικό διοχετεύεται από την **θυρίδα εισαγωγής** της αντλίας προς τη **θύρα εξαγωγής** της, καθώς εγκλωβίζεται μεταξύ των δοντιών των γραναζιών και των τοιχωμάτων της αντλίας. Η πολύ κλειστή ανοχή μεταξύ των τοιχωμάτων και των δοντιών και η ύπαρξη λιπαντικού ανάμεσά τους δεν επιτρέπει τη διαρροή λιπαντικού προς στην εισαγωγή της αντλίας. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται παροχή λιπαντικού ανάλογη των στροφών του κινητήρα και υψηλή παρεχόμενη πίεση που μπορεί να φθάσει τα 100psi.



Σχήμα 3.24 Γραναζωτή αντλία (α) και αντλία τύπου gerotor (β)

Η αντλία τύπου **gerotor**, Σχήμα 3.24 (β) χρησιμοποιεί έναν τύπο γραναζιού το οποίο περιστρέφεται μέσα σε ένα μεταλλικό δακτύλιο με εσωτερική οδόντωση η οποία διαθέτει μια επιπλέον οδοντωτή εσοχή από την αντίστοιχη του γραναζιού. Η εσοχή αυτή παρέχει τον απαραίτητο όγκο στον οποίο εγκλωβίζεται το λιπαντικό και «οδηγείται» με αυτό τον τρόπο από το θάλαμο εισαγωγής της αντλίας στο θάλαμο εξαγωγής. Το γρανάτζι παίρνει κίνηση από τον άξονα και οδηγεί το δακτύλιο με την εσωτερική οδόντωση ο οποίος είναι τοποθετημένος έκκεντρα για να είναι σε εμπλοκή με το γρανάτζι αφού αυτό έχει μικρότερη διάμετρο. Η εισαγωγή και η εξαγωγή του λιπαντικού γίνεται από οπές που βρίσκονται στο δακτύλιο της αντλίας.



Σχήμα 3.25 Αντλία λιπαντικού αξονικού στροφείου

Η αντλία **αξονικού στροφείου** (Σχήμα 3.25), αποτελείται από ένα περίβλημα που περιέχει ένα ατσάλινο χιτώνιο, ένα τύμπανο το οποίο είναι τοποθετημένο έκκεντρα σε σχέση με το χιτώνιο και έναν αριθμό πτερυγίων, τα οποία είναι τοποθετημένα σε σχισμές που διαθέτει το τύμπανο. Το τύμπανο και τα πτερύγια αποτελούν το στροφέιο της αντλίας. Τα πτερύγια είναι ελεύθερα να μετακινηθούν μέσα στις σχισμές του τυμπάνου ανάλογα με τη θέση του μέσα στο χιτώνιο. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένας χώρος μεταβλητού όγκου ο οποίος αυξάνεται όταν το τύμπανο διέρχεται από την εισαγωγή της αντλίας και μειώνεται όταν το τύμπανο διέρχεται από την εξαγωγή της, αυξάνοντας την πίεση του λιπαντικού.

Όλες οι παραπάνω αντλίες διαθέτουν **βαλβίδα παράκαμψης** του λιπαντικού στη δεξαμενή για την αποφυγή δημιουργίας υψηλής πίεσης και καταστροφής της αντλίας.

3.4.4.4 Αντλία επιστροφής

Η αντλία επιστροφής (**scavenge pump**) χρησιμοποιείται για την επιστροφή του λιπαντικού από τις κυστίδες των τριβέων στη δεξαμενή. Η επιστροφή του λιπαντικού μπορεί να γίνεται απευθείας στη δεξαμενή ή σε πρώτο στάδιο όλες οι αντλίες επιστροφής στέλνουν το λιπαντικό στο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης του κινητήρα και από εκεί, η αντλία επιστροφής ολοκληρώνει την επιστροφή στη δεξαμενή.

Οι αντλίες επιστροφής είναι του ίδιου τύπου με αυτές των αντλιών πίεσης. Συνήθως χρησιμοποιείται **μια αντλία επιστροφής για κάθε κυστίδα**, σε αντίθεση με την **αντλία πίεσης**, η οποία είναι **κοινή** για όλο το σύστημα λίπανσης. Αυτό συμβαίνει κατ' αρχήν γιατί οι κυστίδες των τριβέων δεν επικοινωνούν μεταξύ τους, αλλά και για λόγους καλύτερης παροχής λιπαντικού στην εισαγωγή των αντλιών και συνεπώς αποτελεσματικότερης λειτουργίας τους. Οι αντλίες επιστροφής πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να παροχετεύουν μεγαλύτερο όγκο λιπαντικού από αυτόν που εισέρχεται στην κυστίδα από την αντλία πίεσης, μια και το λιπαντικό, καθώς εκτοξεύεται με μεγάλη πίεση από τα ακροφύσια, αναμειγνύεται με αέρα ο οποίος παγιδεύεται σε αυτό και αυξάνει τον όγκο του. Ο αέρας διαχωρίζεται από το λιπαντικό στη δεξαμενή, ή σε κατάλληλο **διαχωριστή αέρα / λιπαντικού**.

3.4.4.5 Φίλτρο ελαίου

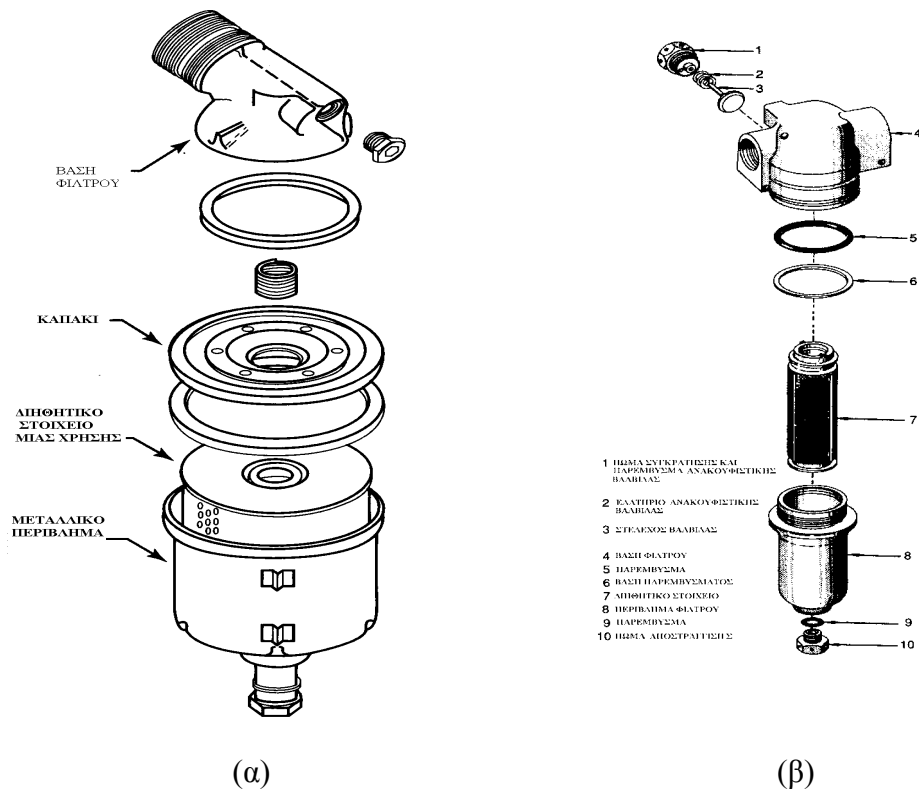
Το φίλτρο ελαίου (**oil filter**) είναι απαραίτητο σε ένα σύστημα λίπανσης για την αφαίρεση από το λάδι ρινισμάτων μετάλλου που προέρχονται από φθορές στα κινούμενα μέρη του κινητήρα, υπολειμμάτων καμένου λιπαντικού με τη μορφή ενανθρακώσεων και ιζήματος που σχηματίζεται από αλλοιωμένο λιπαντικό. Τα φίλτρα ελαίου τοποθετούνται μετά την αντλία παροχής και στην κεντρική γραμμή επιστροφής ελαίου. Τα διάφορα σκουπίδια που μπορεί να εμφανιστούν στο κύκλωμα μπορούν να δημιουργήσουν φθορά στους τριβείς, στις αντλίες και να αποφράξουν τα ακροφύσια και τις σωληνώσεις του συστήματος. Η ικανότητα καθαρισμού ενός φίλτρου από σωματίδια που υπάρχουν στο λάδι πρέπει να είναι της τάξης μερικών **μικρών (microns - μm)** του μέτρου ($1 \text{ μικρό}(\mu) = 1/1000000 \text{ μέτρα}$), δηλαδή θα πρέπει να έχει την ικανότητα να κατακρατεί σωματίδια που έχουν διάμετρο ίση ή μεγαλύτερη από μερικά μικρά. Η κατακράτηση σωματιδίων μεγέθους από $50\mu\text{m}$ και πάνω είναι η συνήθης προδιαγραφή για φίλτρα αεριοστρόβιλων κινητήρων.

Οι βασικοί τύποι φίλτρων που χρησιμοποιούνται σε αεριοστρόβιλους κινητήρες είναι οι ακόλουθοι:

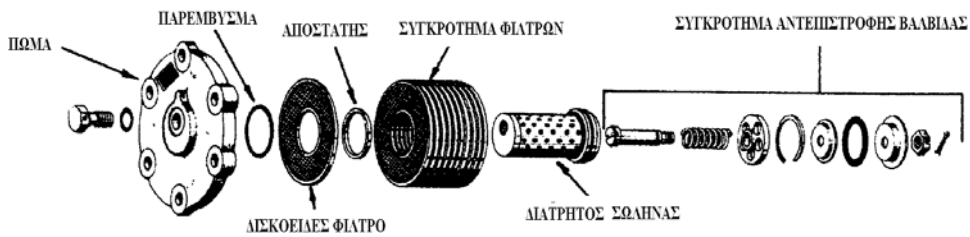
- Διηθητικού στοιχείου μιας χρήσης (**disposable cartridge filter**, Σχήμα 3.26α)
- Κυλινδρικού μεταλλικού πλέγματος (**screen type filter**, Σχήμα 3.26β)
- Με επίπεδα δισκοειδή πλέγματα (**disk type filter**, Σχήμα 3.27)

Στο φίλτρο μιας χρήσης πρέπει περιοδικά να αντικαθιστούμε το ανταλλακτικό, ενώ στους άλλους δύο τύπους, τα φίλτρα μπορούν να καθαριστούν κατά τη διάρκεια της προγραμματισμένης επιθεώρησης και να επαναχρησιμοποιηθούν.

Όλα τα είδη φίλτρων έχουν ενσωματωμένη μια **ανακουφιστική βαλβίδα παράκαμψης** ελαίου. Σε ενδεχόμενη απόφραξη του φίλτρου, επιτρέπεται η είσοδος στο κύκλωμα μη φιλτραρισμένου λιπαντικού, αφού αυτό είναι ασφαλέστερο από την πλήρη έλλειψή του.



Σχήμα 3.26 Φίλτρα λιπαντικού στοιχείου χάρτου μιας χρήσης (α) και κυλινδρικού μεταλλικού πλέγματος (β)



Σχήμα 3.27 Φίλτρο λιπαντικού δισκοειδών πλεγμάτων

3.4.4.6 Μαγνητικός ανιχνευτής ρινισμάτων

Οι μαγνητικοί ανιχνευτές ρινισμάτων (**magnetic chip detector**) είναι απλοί μηχανισμοί στην κατασκευή και στη λειτουργία τους. Διακρίνονται σε δύο είδη, τους μηχανικούς και τους ηλεκτρικούς.

Ο **μηχανικός μαγνητικός ανιχνευτής** (Σχήμα 3.28) είναι ένα πώμα με σπείρωμα ασφάλισης μισής στροφής και ελαστικό παρέμβυσμα η οποία έχει μαγνητισμένη κεφαλή. Όταν περάσει κάποιο φερομαγνητικό σώμα, όπως ρινίσματα μετάλλων, αυτά προσκολλούνται στην άκρη του ανιχνευτή και είναι εύκολος ο εντοπισμός τους στην επόμενη επιθεώρηση.



(α)



(β)

Σχήμα 3.28 (α) Μηχανικός ανιχνευτής ρινισμάτων και (β) το άκρο του με μεταλλικά ρινίσματα μετά από μεγέθυνση 10X

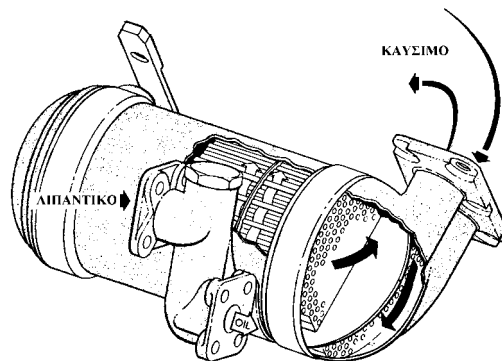
Ο **ηλεκτρικός μαγνητικός ανιχνευτής** λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και ο μηχανικός, διαθέτει δηλαδή μαγνητισμένο άκρο στο οποίο προσκολλούνται τα ρινίσματα, ή μεταλλικά σωματίδια που περνούν από το σημείο που είναι τοποθετημένος. Η διαφορά έγκειται στο ότι παρέχει την δυνατότητα ειδοποίησης στο πιλοτήριο όταν προσκολληθεί σε αυτόν μεταλλικό σωματίδιο **από κάποιο μέγεθος και πάνω**. Οι ανιχνευτές αυτού του τύπου στηρίζουν τη λειτουργία τους στο γεγονός ότι τα ρινίσματα είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Όταν κάποιο ρινίσμα η μεταλλικό

αντικείμενο, από κάποιο μέγεθος και πάνω προσκολληθεί στο άκρο του ανιχνευτή αυτό βραχυκυκλώνει τις επαφές που διαθέτει, στέλνοντας με αυτό τον τρόπο σήμα στο πιλοτήριο. Οι ανιχνευτές τοποθετούνται στις γραμμές επιστροφής λαδιού, στη δεξαμενή λαδιού, και στα κιβώτια μετάδοσης κίνησης, (ισχύος).

3.4.4.7 Εναλλάκτες λιπαντικού

Οι εναλλάκτες λιπαντικού (**oil coolers**) χρησιμοποιούνται για την **ψύξη του ελαίου λίπανσης** του κινητήρα και έμμεσα, την ψύξη κυρίως των τριβέων του, αλλά και των υπόλοιπων εξαρτημάτων όπως οι διατάξεις στεγανοποίησης, η αντλία ελαίου κλπ. Για την ψύξη του ελαίου, ανάλογα με το κατασκευαστή του κινητήρα χρησιμοποιείται σαν ψυκτικό το **ρεύμα αέρα** που περνάει από το αεροσκάφος κατά τη διάρκεια της πτήσης ή εναλλακτικά, το **καύσιμο** που διαθέτει το αεροσκάφος στις δεξαμενές του. Κάποια συστήματα λίπανσης χρησιμοποιούν τη **δεξαμενή λιπαντικού** σαν ένα τρόπο να ψύξουν το λάδι καθώς αυτό αναμειγνύεται με το υπόλοιπο λάδι της δεξαμενής.

Στο Σχήμα 3.29 φαίνεται ένας εναλλάκτης λαδιού καυσίμου. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην μεταφορά θερμότητας από ένα θερμό (λάδι) σε ένα ψυχρότερο σώμα (καύσιμο). Η αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη είναι μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια επαφής των δύο ρευστών που ανταλλάσσουν θερμοκρασία.



Σχήμα 3.29 Εναλλάκτης ελαίου- καυσίμου αεριοστροβίλου κινητήρα

Οι εναλλάκτες λιπαντικού διαθέτουν όπως και τα φίλτρα λαδιού, **βαλβίδες παράκαμψης** για την περίπτωση απόφραξής τους. Επίσης **θερμοστατικές βαλβίδες** που ελέγχουν τη ροή του λαδιού προς τον εναλλάκτη. Όταν το λιπαντικό είναι ψυχρό στην αρχή της λειτουργίας του κινητήρα, ή κατά στη διάρκεια ψυχρού καιρού η βαλβίδα είναι κλειστή. Καθώς η θερμοκρασία

αυξάνεται, η βαλβίδα ανοίγει και το λιπαντικό διέρχεται μέσα από τον εναλλάκτη.

3.4.5 Τύποι συστημάτων λίπανσης αεριοστρόβιλων κινητήρων

Οι τύποι των συστημάτων λίπανσης αεριοστρόβιλων κινητήρων διαφέρουν ανάλογα με τη φιλοσοφία σχεδίασης και την εφαρμογή του κινητήρα. Γενικά τα συστήματα λίπανσης διακρίνονται σε **κλειστού τύπου** συστήματα στα οποία το λιπαντικό επιστρέφει στη δεξαμενή αφού ολοκληρώσει τον κύκλο λίπανσης και επαναχρησιμοποιείται, και **ανοικτού τύπου** όπου το λιπαντικό δεν επιστρέφει στη δεξαμενή αλλά απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα. Τα δύο πρώτα συστήματα που περιγράφονται παρακάτω είναι κλειστού τύπου, ενώ το τρίτο είναι σύστημα ανοικτού τύπου.

3.4.5.1 Σύστημα με ανακουφιστική βαλβίδα πίεσης κυστίδας τριβέα.

Με το σύστημα αυτό η πίεση παροχής στα **ακροφύσια ψεκασμού** του λιπαντικού ρυθμίζεται με τη βοήθεια μιας ρυθμιζόμενης **ανακουφιστικής βαλβίδας** η οποία είναι ρυθμισμένη να λειτουργεί πάνω από μια ορισμένη πίεση. Όταν η πίεση του λιπαντικού από την αντλία υπερβεί το όριο αυτό, η βαλβίδα ανοίγει και επιστρέφει την επιπρόσθετη ποσότητα στην εισαγωγή της αντλίας, ή στη δεξαμενή λιπαντικού, διατηρώντας έτσι σταθερή την πίεση παροχής προς τα ακροφύσια και συνεπώς ομοιόμορφο σχήμα ψεκασμού. Η βαλβίδα αυτή ανοίγει και παρακάμπει το λιπαντικό σε πίεση που αναπτύσσει η αντλία πίεσης (παροχής) όταν ο κινητήρας είναι στο ρελαντί. Καθώς οι στροφές του αυξάνονται, η πίεση στις κυστίδες των τριβέων αυξάνεται ανάλογα, αφού η πίεση αυτή παρέχεται από τον αέρα του συμπιεστή του κινητήρα. Αυτό έχει σαν συνέπεια τη μείωση της διαφοράς πίεσης που υπάρχει μεταξύ της κυστίδας των τριβέων και του λιπαντικού με αποτέλεσμα την μείωση του παρεχόμενου λιπαντικού σε υψηλές στροφές λειτουργίας. Το πρόβλημα αυτό αντισταθμίζεται από κάποια συστήματα, χρησιμοποιώντας την πίεση της κυστίδας για να επαυξήσουν το φορτίο του ελατηρίου της βαλβίδας παράκαμψης αυξάνοντας έτσι τη ροή προς τα ακροφύσια.

3.4.5.2 Σύστημα συνεχούς ροής.

Το σύστημα που είδαμε παραπάνω λειτουργεί ικανοποιητικά σε κινητήρες που λειτουργούν με χαμηλή πίεση κυστίδας. Σε κινητήρες που αναπτύσσουν υψηλές πιέσεις κυστίδας δεν μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά για τους λόγους που είδαμε παραπάνω και επιπλέον απαιτεί μεγάλες αντλίες πίεσης οι οποίες δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν με την απαραίτητη πίεση τα ακροφύσια σε χαμηλές στροφές του κινητήρα. Για αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται σύστημα λίπανσης χωρίς βαλβίδα παράκαμψης,

τροφοδοτώντας απευθείας τα ακροφύσια με λιπαντικό στην πίεση της αντλίας. Σε αυτό το σύστημα η αντλία διαστασιολογείται για ικανοποιητική παροχή στις μέγιστες στροφές λειτουργίας του κινητήρα, ενώ το μέγεθός της είναι μικρότερο από το μέγεθος μιας αντίστοιχης αντλίας στο σύστημα με ανακουφιστική βαλβίδα.

3.4.5.3 Σύστημα λίπανσης ανοιχτού τύπου

Αυτό το είδος συστήματος λίπανσης χρησιμοποιείται σε κινητήρες που λειτουργούν για μικρό χρονικό διάστημα ή είναι **κινητήρες «μιας χρήσης»**. Ένα τέτοιο σύστημα δεν απαιτεί ανακυκλοφορία του λιπαντικού, αφού αυτό απορρίπτεται στο περιβάλλον μετά τη λίπανση των τριβέων του και συνεπώς δεν χρησιμοποιεί εναλλάκτη, αντλίες επιστροφής και φίλτρο λιπαντικού, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο το βάρος και το κόστος του κινητήρα.

Οι κινητήρες, η χρήση των οποίων απαιτείται για μικρό χρονικό διάστημα είναι δευτερεύοντες ενισχυτικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες φάσεις πτήσης συνήθως μεταγωγικών αεροσκαφών, όπως για παροχή επιπρόσθετης ώσης για απογείωση σε διαδρόμους μικρού μήκους. Αυτού του είδους οι κινητήρες επίσης χρησιμοποιούνται και σε αεροσκάφη κάθετης απογείωσης όπου λειτουργούν μέχρι ένα ορισμένο ύψος όπου μετέπειτα τίθενται εκτός λειτουργίας αφού αναλαμβάνουν το έργο της πρόωσης του σκάφους οι κύριοι κινητήρες του.

Οι κινητήρες «μιας χρήσης» είναι οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε βλήματα εδάφους-εδάφους, ή αέρος-εδάφους, μεσαίου και μεγάλου βεληνεκούς. Για τους κινητήρες αυτούς η μείωση του βάρους και κόστους κατασκευής είναι σημαντικός παράγοντας αφού χρησιμοποιούνται μόνο μια φορά.

3.4.6 Διατάξεις ενδείξεων πίεσης και θερμοκρασίας

Η κατάσταση και η ποσότητα του λιπαντικού ενός κινητήρα είναι σημαντική για τη σωστή λειτουργία του. Για αυτό το σκοπό υπάρχουν διατάξεις στο σύστημα λίπανσης που παρέχουν ένδειξη της θερμοκρασίας και της πίεσης στο πιλοτήριο. Αυτές οι δύο παράμετροι είναι οι πιο βασικές γιατί από τη θερμοκρασία εξαρτώνται άμεσα οι ιδιότητες του λιπαντικού όπως είδαμε στην παράγραφο 3.4.2, ενώ από την πίεση εξαρτάται η ομαλή ροή του στο κύκλωμα λίπανσης.

Η μέτρηση της **θερμοκρασίας** του λιπαντικού πραγματοποιείται με την χρήση ενός θερμοζεύγους το οποίο είναι τοποθετημένο μέσα σε βολβό στη γραμμή πίεσης (ή εισαγωγής λιπαντικού στο κύκλωμα) μετά τον εναλλάκτη. Τυχόν αύξηση της θερμοκρασίας μεταβάλλει την αντίσταση του

θερμοζεύγους μεταβάλλοντας την τάση που περνάει από αυτό. Η μεταβολή της τάσης γίνεται αισθητή από το όργανο που βρίσκεται στο πιλοτήριο και μεταβάλλεται η ένδειξη της θερμοκρασίας.

Η μέτρηση της **πίεσης** του λιπαντικού γίνεται με τη χρήση αισθητήρα πίεσης, ο οποίος τοποθετείται στην γραμμή πίεσης μετά το φίλτρο λαδιού. Ο αισθητήρας αυτός μεταδίδει ηλεκτρικό σήμα στο πιλοτήριο, η τάση του οποίου είναι ανάλογη με την πίεση λαδιού που επικρατεί στο κύκλωμα.

Επιπλέον των οργάνων ένδειξης θερμοκρασίας, πίεσης και στάθμης λιπαντικού, υπάρχουν και ενδεικτικές λυχνίες ή / και βομβητές, οι οποίοι επιστούν την προσοχή των χειριστών σε περίπτωση που κάποιες από τις παραμέτρους αυτές ξεπεράσουν τα όρια ασφαλείας.

3.4.7 Έλεγχοι και διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης

Οι έλεγχοι που γίνονται στο σύστημα λίπανσης αφορούν τη στάθμη της δεξαμενής λιπαντικού, τον έλεγχο του φίλτρου και την αλλαγή ή τον καθαρισμό του, ανάλογα με τον τύπο που χρησιμοποιείται και τον έλεγχο των ανιχνευτών ρινισμάτων. Ένας έλεγχος που γίνεται μετά την επιθεώρηση του φίλτρου ή του ανιχνευτή ρινισμάτων σε περίπτωση που εντοπιστούν ρινίσματα μεγαλύτερου μεγέθους και ποσότητας από αυτά που έχει προδιαγράψει ο κατασκευαστής είναι ο φασματοσκοπικός έλεγχος λιπαντικού (βλέπε §2.5.8).

3.4.7.1 Διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης

Οι συνήθεις βλάβες που παρουσιάζει το σύστημα λίπανσης ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα είναι οι ακόλουθες:

3.4.7.2 Απώλεια πίεσης λαδιού (χωρίς ίχνη διαρροής)

Η απώλεια πίεσης λαδιού (ή η ένδειξη απώλειας) μπορεί να οφείλεται εκτός από εμφανή διαρροή σε ελαττωματικό όργανο ένδειξης στο χειριστήριο ή ελαττωματικό αισθητήρα, χαμηλή στάθμη λιπαντικού, φραγμένη έξοδο ελαίου στη δεξαμενή και τέλος βλάβη στην αντλία.

3.4.7.3 Χαμηλή πίεση λαδιού

Η χαμηλή πίεση λαδιού μπορεί να οφείλεται εκτός από μία από τις παραπάνω αιτίες και στις ακόλουθες: ελαττωματική βαλβίδα παράκαμψης όπου στην περίπτωση αυτή η βαλβίδα ανοίγει σε μικρότερη πίεση από την προβλεπόμενη, παρακάμπτοντας το λάδι στη δεξαμενή.

3.4.7.4 Υψηλή πίεση λαδιού

Η ένδειξη υψηλής πίεσης εκτός από βλάβη στον αισθητήρα και το όργανο ένδειξης μπορεί να οφείλεται σε φραγμένο σωλήνα παράκαμψης λαδιού.

3.4.7.5 Διακύμανση πίεσης λαδιού

Η διακύμανση της πίεσης λαδιού οφείλεται συνήθως σε βλάβη στο σύστημα ένδειξης, όπως σε κομμένο καλώδιο, χαλαρή σύνδεση κάποιου από τους συνδέσμους της καλωδίωσης ή βλάβη στον αισθητήρα πίεσης. Επίσης διακύμανση στην πίεση μπορεί να προκαλέσει ελαττωματική βαλβίδα παράκαμψης η οποία δεν μπορεί να παραμείνει σε ανοικτή θέση σε ενδεχόμενη αύξηση της πίεσης, και καθώς ταλαντεύεται μεταξύ ανοικτής και κλειστής θέσης, δημιουργεί αυξομειώσεις στην πίεση.

3.4.7.6 Υπερβολική κατανάλωση λαδιού

Εκτός από εμφανή εξωτερική διαρροή λαδιού, η υπερβολική κατανάλωση λαδιού οφείλεται σε εσωτερικές διαρροές λαδιού από φθορές εκτός ορίων στις διατάξεις στεγανοποίησης. Αυτές οι διαρροές γίνονται αντιληπτές από την παρουσία λαδιού στη εισαγωγή και στον αγωγό εξαγωγής του κινητήρα. Οι φθορές στις διατάξεις στεγανοποίησης αυξάνουν την πίεση των κυστιδίων των τριβέων από αυξημένη ροή αέρα σε αυτές. Αυξημένη ροή αέρα συμπίεσης κυστίδας συνεπάγεται και απώλεια λαδιού αφού ο αέρας αυτός, καθώς περνάει στις κυστίδες των τριβέων με μεγαλύτερη ροή από την προβλεπόμενη, παρασύρει μαζί του λιπαντικό καθώς αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα.

Απώλεια λαδιού από την ατμοσφαιρική αποκατάσταση των κυστιδίων του κινητήρα μπορεί να παρατηρηθεί ακόμη και αν δεν υπάρχουν φθορές στις διατάξεις στεγανοποίησης, όταν η βαλβίδα της γραμμής «κολλήσει» σε ανοικτή θέση σε μεγάλο ύψος πτήσης. Το λιπαντικό στην αυξημένη θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα και τη μειωμένη πίεση σε μεγάλο ύψος πτήσης έχει την τάση να ατμοποιείται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή του βρασμού του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια λιπαντικού στην ατμόσφαιρα στην περίπτωση που παραμείνει από βλάβη η βαλβίδα ανοικτή.

3.4.7.7 Ένδειξη αυξημένης ποσότητας λιπαντικού

Ένδειξη αυξημένης ποσότητας λιπαντικού μπορεί να οφείλεται σε εισροή καυσίμου μέσα στο κύκλωμα λίπανσης. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εμφανιστεί σε κινητήρες που χρησιμοποιούν εναλλάκτη λιπαντικού-καυσίμου για την ψύξη του λιπαντικού. Στην περίπτωση που υπάρξει κάποια θραύση αγωγού μέσα στον εναλλάκτη, τότε το καύσιμο μπορεί να περάσει

μέσα στο κύκλωμα λίπανσης και να παρουσιαστεί ένδειξη αυξημένης ποσότητας λιπαντικού.

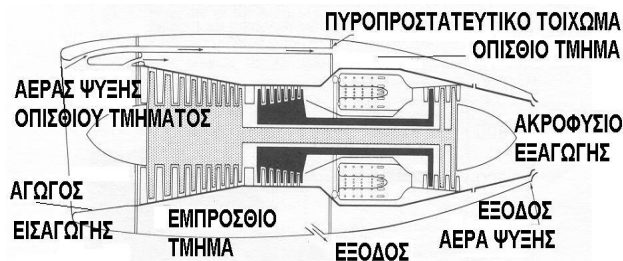
3.5 Σύστημα Ψύξης

Είναι δεδομένο από τον κύκλο λειτουργίας του αεριοστροβίλου κινητήρα ότι για να λειτουργήσει αποδοτικά ένας κινητήρας και να παράγει το μέγιστο έργο με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου θα πρέπει να λειτουργεί με τη μεγαλύτερη δυνατή θερμοκρασία εισαγωγής στροβίλου. Όμως, η αύξηση της θερμοκρασίας αυτής δεν είναι απεριόριστη καθώς συνδέεται άμεσα με το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν εξαρτήματα όπως οι **θάλαμοι καύσης** και τα **σταθερά πτερύγια της πρώτης βαθμίδας στροβίλου**: η θερμοκρασία των καυσαερίων σε αυτά πλησιάζει ή και υπερβαίνει τη **θερμοκρασία τήξης των μετάλλων** κατασκευής τους.

Για το λόγο αυτό είναι προφανής η αναγκαιότητα ψύξης ευαίσθητων περιοχών και εξαρτημάτων ενός αεριοστροβίλου κινητήρα. Αυτή επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία αέρα, τόσο στο δακτύλιο μεταξύ του εξωτερικού περιβλήματος και του αεροδυναμικού καλύμματος του κινητήρα, όσο και στο εσωτερικό του. Ο αέρας αυτός απομαστεύεται από το συμπιεστή.

3.5.1 Περιφερειακή ψύξη στο εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα.

Η περιφερειακή ψύξη του κινητήρα διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα. Στους στροβιλοαντιδραστήρες παλαιότερης τεχνολογίας η ψύξη του περιβλήματος επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τον αέρα που εισρέει στον κινητήρα από την εισαγωγή του (Σχήμα 3.30) λόγω διαφοράς πίεσης μεταξύ της εισαγωγής και του ακροφυσίου εξαγωγής. Στους περισσότερους τύπους στρατιωτικών στροβιλοαντιδραστήρων δεν χρησιμοποιείται ψύξη του περιβλήματος, αλλά προστατεύεται ο χώρος του σκάφους περιφερειακά του θερμού τμήματος του κινητήρα με επένδυση από ειδικό πυρίμαχο υλικό.



Σχήμα 3.30 Ροή αέρα ψύξης περιβλήματος του κινητήρα

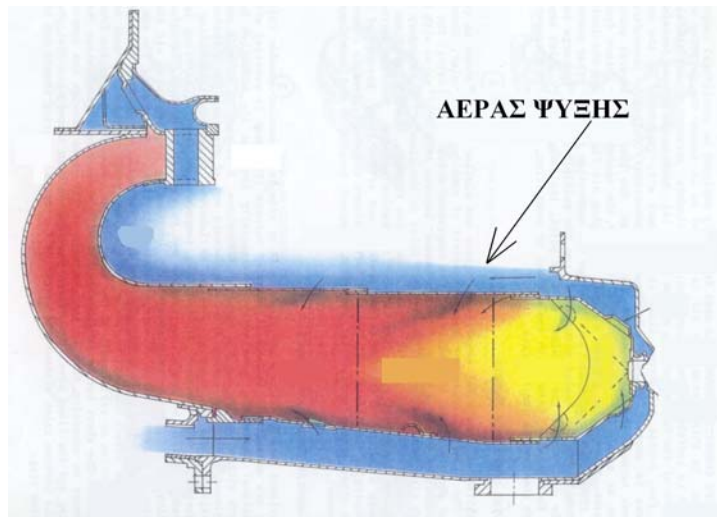
Στους στροβιλοανεμιστήρες χαμηλού λόγου παράκαμψης η ψύξη πραγματοποιείται από το ρεύμα αέρα παράκαμψης το οποίο διέρχεται μεταξύ του εξωτερικού περιβλήματος του κινητήρα και του περιβλήματος του

συμπίεστή, του θαλάμου καύσης, του στροβίλου (και αν υπάρχει μετακαυστήρας του περιβλήματος θερμικής προστασίας του) προτού εξέλθει στην ατμόσφαιρα μέσω του ακροφυσίου εξαγωγής.

Στους στροβιλοανεμιστήρες μεγάλου λόγου παράκαμψης όπως οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε σύγχρονα πολιτικά αεροσκάφη, η ψύξη του περιβλήματος του κινητήρα γίνεται πάλι με χρήση του αέρα παράκαμψης.

3.5.2 Εσωτερική ψύξη του κινητήρα

Θάλαμος καύσης: Ο θάλαμος καύσης του αεριοστρόβιλου κινητήρα, ανεξάρτητα από τον τύπο του (**πολλαπλού τύπου, δακτυλιοειδής, ή σωληνοδακτυλιοειδής**), είναι ένα εξάρτημα που δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει χωρίς ψύξη από τον αέρα που εισέρχεται από το διαχύτη του κινητήρα. Οι θερμοκρασίες των καυσαερίων στο θάλαμο καύσης είναι οι μέγιστες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στον κινητήρα, και μπορούν να φθάσουν τους 2000°C, θερμοκρασία στην οποία θα έλιωνε πολύ γρήγορα το λεπτό έλασμα από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο θάλαμος καύσης.



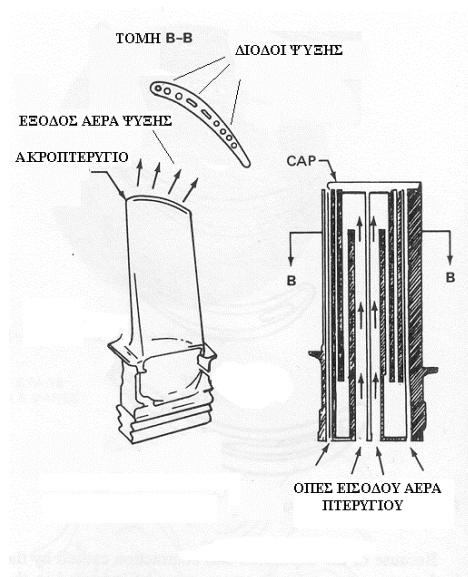
Σχήμα 3.31 Ροή αέρα ψύξης θαλάμου καύσης

Για τη ψύξη του θαλάμου καύσης χρησιμοποιείται ένα μέρος του αέρα που εισέρχεται από το διαχύτη του κινητήρα στον θάλαμο καύσης. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε, ότι το ποσοστό του αέρα που συμμετέχει στην καύση ανέρχεται σε 15-20%, ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται ως αέρας ψύξης και αραίωσης(βλέπε και σχετική παράγραφο του βιβλίου «**Κινητήρες Αεροσκαφών Ι**»).

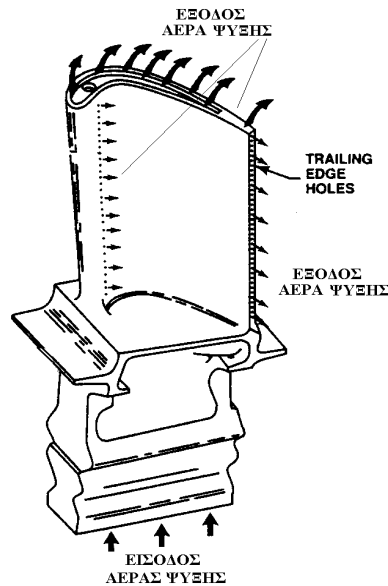
Σταθερά και κινητά πτερύγια στροβίλου: Τα καυσαέρια εξέρχονται από το θάλαμο καύσης με θερμοκρασία που φτάνει, σε ορισμένους κινητήρες, ακόμα και τους 1550°C. Η θερμοκρασία αυτή είναι αρκετά μικρότερη της

μέγιστης που επικρατεί μέσα στο θάλαμο καύσης. Παρ' όλη την πτώση αυτή, η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή και σε κάποιους κινητήρες υψηλότερη από τη θερμοκρασία τήξης των μετάλλων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των σταθερών και κινητών πτερυγίων της πρώτης βαθμίδας του στροβίλου. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται αέρας από τον συμπιεστή για ψύξη των σταθερών και των κινητών πτερυγίων του στροβίλου. Η ψύξη των πτερυγίων επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, οι οποίοι έχουν να κάνουν με τη **διαθέσιμη τεχνολογία**, το **κόστος κατασκευής** αλλά και τη **μέγιστη θερμοκρασία** στην οποία λειτουργεί ο στρόβιλος του συγκεκριμένου κινητήρα.

Τα πρώτα ψυχόμενα πτερύγια κατασκευάστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1950, ενώ χρησιμοποιήθηκαν σε πολιτικούς κινητήρες στις αρχές της δεκαετίας του 1960, με θερμοκρασίες εισαγωγής στροβίλου που κυμαίνονταν στους 800°C – 850°C. Αυτά ψύχονται μέσω αγωγών οι οποίοι σχηματίζονται με μηχανουργική κατεργασία κατά μήκος του εσωτερικού τους, από τη ρίζα έως το άκρο τους (Σχήμα 3.32 (α)).



(α)



(β)

Σχήμα 3.32 Πτερύγια ψυχόμενα εσωτερικά (α) και με film cooling (β)

Η ψύξη πραγματοποιείται με **μεταφορά θερμότητας**, από τον αέρα που διοχετεύεται από τον συμπιεστή του κινητήρα. Με αυτό τον τρόπο η θερμότητα μεταφέρεται από τα εξωτερικά τοιχώματα του πτερυγίου που είναι σε επαφή με τα καυσαέρια, στα εσωτερικά τοιχώματα του που είναι σε επαφή με τον αέρα ψύξης. Η θερμοκρασία μεταφέρεται από τα θερμά τοιχώματα του πτερυγίου στον αέρα ψύξης και αποβάλλεται στο ρεύμα

καυσαερίων. Αυτή η μέθοδος ψύξης χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα στα κινητά και σταθερά πτερύγια κινητήρων η τουρμπίνα των οποίων λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες για λόγους αύξησης της διάρκειας ζωής τους.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, με την πρόοδο στην τεχνολογία χύτευσης και μηχανουργικών κατεργασιών, όπως οι τεχνολογίες laser, κατασκευάστηκαν πτερύγια με οπές, οι οποίες επιτρέπουν τη ροή του αέρα που περνάει στο εσωτερικό του πτερυγίου προς την εξωτερική επιφάνειά του (Σχήμα 3.32 (β)). Δημιουργείται έτσι ένα **στρώμα αέρα** που περιβάλλει το πτερύγιο στα σημεία που υπάρχουν οι οπές αυτές, το οποίο δεν επιτρέπει την επαφή του ρεύματος των καυσαερίων με την επιφάνεια του πτερυγίου (**film cooling**). Η διάνοιξη των οπών αυτών γίνεται σε σημεία των πτερυγίων όπου παρουσιάζεται η μέγιστη θερμοκρασία, όπως το χείλος προσβολής και εκφυγής, αλλά και σε σημεία της κυρτής και της καμπύλης επιφάνειας του πτερυγίου, τα οποία παρουσιάζουν τοπικές υπερθερμάνσεις λόγω της ροής των καυσαερίων.

Είναι ευνόητο, ότι για να λειτουργήσει αυτός ο τρόπος ψύξης θα πρέπει η πίεση του αέρα ψύξης να είναι μεγαλύτερη από την πίεση των καυσαερίων, εξασφαλίζοντας ροή από το εσωτερικό του πτερυγίου προς το ρεύμα των καυσαερίων και όχι αντίθετα.

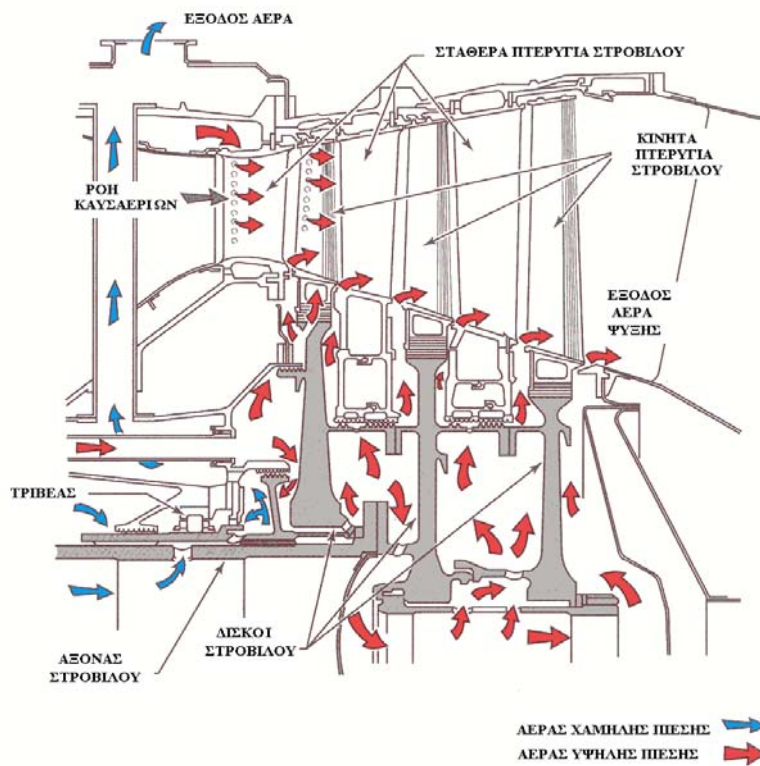
Στην περίπτωση των **σταθερών πτερυγίων (vanes)** ο αέρας διοχετεύεται στη ρίζα ή στο άκρο των πτερυγίων. Ο αέρας αυτός οδηγείται μέσω διόδων από το περίβλημα του συμπιεστή στο περίβλημα του στροβίλου και από εκεί, περιφερειακά, στα άκρα των σταθερών πτερυγίων. Η ψύξη τους πραγματοποιείται με τη βοήθεια εσωτερικών αγωγών που αυτά διαθέτουν. Στα **κινητά πτερύγια** η μοναδική δίοδος είναι από τη ρίζα τους.

Η ψύξη στα πτερύγια (σταθερά και κινητά) εξασφαλίζει, εκτός από μείωση της θερμοκρασίας των πτερυγίων και συνεπώς αύξηση της διάρκειας ζωής τους, αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στο στρόβιλο. Ειδικά τα κινητά πτερύγια εκτός από την καταπόνηση που δέχονται από τις υψηλές θερμοκρασίες δέχονται και φορτία λόγω της περιστροφής τους με μεγάλη γωνιακή ταχύτητα, η οποία σε σύγχρονους κινητήρες μπορεί να φθάσει στις 15.000 έως και 50.000 στροφές ανά λεπτό. Ο συνδυασμός υψηλών θερμοκρασιών και τάσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα δημιουργεί επιμήκυνση των πτερυγίων (**ερπυσμό¹**), φαινόμενο που μπορεί να έχει

¹ Αύξηση των διαστάσεων ενός υλικού κάτω από συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και εφελκυστικής τάσης για παρατεταμένο χρονικό διάστημα.

καταστροφικές συνέπειες για τον κινητήρα αφού οδηγεί σε τριβή των πτερυγίων με το περίβλημα του στροβίλου.

Δίσκοι στροβίλου: Οι δίσκοι του στροβίλου είναι ένα επιπλέον εξάρτημα του κινητήρα που απαιτεί ψύξη. Οι δυνάμεις που δέχεται λόγω της περιστροφής του με υψηλές ταχύτητες σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες, στις οποίες υπόκειται προκαλούν ερπυσμό, φαινόμενο που δημιουργεί αύξηση των διαστάσεων του δίσκου και μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες δεδομένου του πολύ μικρού διάκενου που έχουν τα άκρα των πτερυγίων με το περίβλημα.



Σχήμα 3.33 Διαδρομή αέρα ψύξης πτερυγίων στροβίλου και δίσκων

3.5.3 Περιγραφή του συστήματος σε ένα τυπικό αεροστρόβιλο κινητήρα.

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, ο αέρας που χρησιμοποιείται για την ψύξη των εξαρτημάτων του θερμού τμήματος του κινητήρα, και συγκεκριμένα τους δίσκους και τα σταθερά και κινητά πτερύγια του στροβίλου, παρέχεται από τον συμπιεστή. Η θερμοκρασία του αέρα ψύξης, η οποία κυμαίνεται από 300–400°C, είναι αρκετά χαμηλή για την ψύξη

τμημάτων του στροβίλου που υπόκεινται σε θερμοκρασίες της τάξης των 800–1000 °C

Η απαραίτητη ποσότητα αέρα για την ψύξη (Σχήμα 3.33) διοχετεύεται από τις τελευταίες βαθμίδες του συμπιεστή ή τον διαχύτη του κινητήρα ο οποίος διαθέτει και τον αέρα με την υψηλότερη πίεση. Ο αέρας αυτός διέρχεται συνήθως από οπές που υπάρχουν στους **αποστάτες (spacers)** των δίσκων, ή στο σταθερό περίβλημα του συμπιεστή. Στη συνέχεια διέρχεται από τον άξονα που συνδέει τον συμπιεστή με το στρόβιλο, μέσω οπών που διαθέτει περιφερειακά. Ο αέρας περνάει κατά μήκος του άξονα και εξέρχεται μέσω οπών στο ύψος του στροβίλου, όπου διέρχεται από το εσωτερικό των σταθερών πτερυγίων και στη ρίζα του δίσκου για την ψύξη των κινητών πτερυγίων. Ο αέρας που ψύχει τους δίσκους του στροβίλου εξέρχεται στο ρεύμα καυσαερίων από τα διάκενα που υπάρχουν μεταξύ των κινητών και σταθερών βαθμίδων.

3.6 Σύστημα καυσίμου και καύσιμα

3.6.1 Ιδιότητες και είδη καυσίμων

Οι **ιδιότητες** που απαιτείται να έχει ένα **καύσιμο** για να καταστεί κατάλληλο για χρήση σε έναν αεριοστρόβιλο αεροπορικό κινητήρα είναι πολλές και οι προδιαγραφές παραγωγής που πρέπει να πληροί αυστηρές. Οι ιδιότητες αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Θα πρέπει να έχουν **χαμηλό ιξώδες** σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών οι οποίες συναντώνται σε συνθήκες πτήσης ενός αεροσκάφους (-50°C – 60°C), έτσι ώστε να μπορούν να ρέουν ικανοποιητικά μέσα στο σύστημα καυσίμου.
- Θα πρέπει να επιτρέπουν την **εκκίνηση** του κινητήρα κάτω από όλες τις συνθήκες πτήσης και να διατηρούν αποδοτική και σταθερή καύση του μείγματος αέρα καυσίμου όπως εκκίνηση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και επανεκκίνηση στον αέρα όπου η θερμοκρασία μπορεί να είναι πολύ χαμηλή και η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο μικρή.
- Να έχουν τη μέγιστη δυνατή **θερμογόνο δύναμη (FCV - fuel calorific value)**.
- Δεν θα πρέπει να είναι **διαβρωτικό** για τα εξαρτήματα του συστήματος καυσίμου.
- Θα πρέπει να παρέχει **λίπανση** στα κινούμενα μέρη των εξαρτημάτων του συστήματος καυσίμου.

- Ο κίνδυνος πυρκαγιάς που εγκυμονεί θα πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός.

Μια από τις πιο βασικές ιδιότητες ενός καυσίμου και πολύ περισσότερο ενός αεροπορικού καυσίμου, είναι η υψηλή **θερμογόνος δύναμή** του, δηλαδή το ποσό της θερμότητας που εκλύει μια δεδομένη ποσότητα καυσίμου. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή, τόσο μικρότερη είναι η ποσότητα καυσίμου που χρειάζεται για δεδομένη απόσταση πτήσης, άρα και μέγιστο το φορτίο που μπορεί να μεταφερθεί ή τόσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα δράσης του αεροσκάφους για δεδομένη χωρητικότητα των δεξαμενών του.

Η **περιεκτικότητα του σε θείο (sulphur content)** θα πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή, δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια της καύσης παράγεται θεικό οξύ καθώς αντιδρά το θείο με τους υδρατμούς των καυσαερίων και προκαλεί οξειδωση στα μέρη του κινητήρα που βρίσκονται στο ρεύμα των καυσαερίων. Επιπλέον το περιεχόμενο σε θείο έχει οξειδωτική δράση και στα μέρη του συστήματος καυσίμου με τα οποία έρχεται σε επαφή το καύσιμο

Το σημείο πήξης του καυσίμου είναι επίσης πολύ σημαντική παράμετρος λόγω των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν κατά τη διάρκεια της πτήσης σε μεγάλα ύψη, αλλά και σε χρήση σε κρύα κλίματα. Όταν το καύσιμο βρεθεί σε συνθήκες κοντά στο σημείο πήξης του, σχηματίζονται στερεά σωματίδια, με συνέπεια την απόφραξη φίλτρων και τμημάτων του συστήματος καυσίμου. Το σημείο πήξης των καυσίμων αεριοστρόβιλων κινητήρων κυμαίνεται από -40°C έως -60°C .

Τα χαρακτηριστικά της **ανάφλεξης** και **καύσης** του καυσίμου είναι αντικείμενο διεξοδικής μελέτης για την ομαλή και χωρίς προβλήματα λειτουργία του κινητήρα. Το κατάλληλο καύσιμο θα πρέπει να καίγεται πλήρως χωρίς να δημιουργεί καπνό και ενανθρακώσεις στους εγχυτήρες καυσίμου, στον θάλαμο καύσης και τα πτερύγια του στροβίλου. Όσο μεγαλύτερο είναι το μοριακό βάρος του καυσίμου και το ποσοστό των ατόμων άνθρακα σε σχέση με το ποσοστό των ατόμων υδρογόνου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο σχηματισμός καπνού και ενανθρακώσεων.

Η **πητικότητα** του καυσίμου είναι πολύ σημαντική ιδιότητα λόγω της τάσης που έχει το καύσιμο σε χαμηλές πιέσεις και υψηλές θερμοκρασίες να δημιουργεί ατμούς μέσα στις δεξαμενές καυσίμου. Η μικρή πτητικότητα των καυσίμων μειώνει τις απώλειες καυσίμου και τον κίνδυνο σχηματισμού μείγματος αέρα – ατμών καυσίμου μέσα στις δεξαμενές του αεροσκάφους στις συνήθεις συνθήκες πτήσης.

Η παρουσία **νερού** στο καύσιμο είναι κάτι που δεν μπορεί να αποφευχθεί αλλά γίνεται προσπάθεια να περιοριστεί στο ελάχιστο. Ο **κορεσμός** του καυσίμου με νερό ή η μέγιστη (κατά βάρος) ποσότητα νερού που επιτρέπεται να είναι αναμεμειγμένη στο καύσιμο είναι κατά προσέγγιση ίση σε **μέρη ανά εκατομμύριο (parts per million)** με τη θερμοκρασία που βρίσκεται το καύσιμο σε βαθμούς Φαρενάϊτ. Για παράδειγμα ένα καύσιμο που βρίσκεται σε θερμοκρασία 80°F επιτρέπεται να περιέχει μέχρι 80 μέρη νερού σε ένα εκατομμύριο μέρη καυσίμου. Το νερό βρίσκεται διαλυμένο στο καύσιμο με μορφή μικρών σταγονιδίων τα οποία συμπαρασύρονται στη ροή του καυσίμου. Όταν η θερμοκρασία του καυσίμου πέσει κάτω από το μηδέν τα σταγονίδια αυτά στερεοποιούνται και σχηματίζουν περιοχές πάγου στο σύστημα καυσίμου. Όταν δε η θερμοκρασία πέσει αρκετά χαμηλότερα από το μηδέν, τότε το μείγμα νερού – καυσίμου αποκτάει την υφή ζελέ, αποφράζοντας τα φίλτρα του συστήματος καυσίμου.

3.6.1.1 Δημιουργία μικροοργανισμών στο καύσιμο

Η παρουσία του νερού στο καύσιμο ή τις δεξαμενές καυσίμου είναι παράγοντας ανάπτυξης μικροοργανισμών. Τα καύσιμα των αεροστροβίλων κινητήρων είναι πιο επιρρεπή στη δημιουργία μικροοργανισμών, λόγω της ιδιότητάς τους να διαλύουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού σε σχέση με άλλα καύσιμα.

Συνήθως οι μικροοργανισμοί αυτοί δημιουργούνται όταν το καύσιμο, και συνεπώς και το αεροσκάφος είναι στάσιμο για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το καύσιμο που περιέχει μικροοργανισμούς έχει γλοιώδη υφή ενώ η απόχρωσή του είναι ή κόκκινη ή καφέ ή μαύρη.

Η επίδραση που έχουν οι μικροοργανισμοί στο σύστημα καυσίμου του σκάφους και του κινητήρα αλλά και στο ίδιο το σκάφος είναι πολύ σοβαρή. Αρχικά αν δεν εντοπιστεί η ύπαρξη μικροοργανισμών στο καύσιμο μπορεί να φράξουν τα φίλτρα των αντλιών καυσίμου του αεροσκάφους ή / και τα παρελκόμενα του συστήματος καυσίμου όπως το φίλτρο καυσίμου του κινητήρα, ο ρυθμιστής καυσίμου, και να προκαλέσουν διακοπή της παροχής καυσίμου. Επίσης προκαλούν διάβρωση στα τοιχώματα και στα κατασκευαστικά στοιχεία της δομής του αεροσκάφους που περιέχουν καύσιμο, όπως για παράδειγμα στην πτέρυγα, η οποία αποτελεί και τη δεξαμενή καυσίμου για πολλούς τύπους αεροσκαφών. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που το καύσιμο έρχεται σε απευθείας επαφή με τα τοιχώματα της δομής (**wet wing**) και δεν περιέχεται σε ελαστικές δεξαμενές. Σε αυτή την περίπτωση, οι επιφάνειες των δεξαμενών επικαλύπτονται με αντιδιαβρωτικό υλικό ή και αντιμικροβιακό υλικό το οποίο καταπολεμά την ανάπτυξη

μικροβίων. Η καταπολέμηση των μικροβίων γίνεται και με ειδικά αντιβιοτικά που προστίθενται στα καύσιμα.

Αν εντοπιστούν μικροοργανισμοί στις δεξαμενές του αεροσκάφους τότε θα πρέπει αυτές, καθώς και το σύστημα καυσίμου να αποστραγγιστούν και να καθαριστούν διεξοδικά.

3.6.1.2 Τύποι αεροπορικών καυσίμων

Τα αεροπορικά καύσιμα είναι υδρογονάνθρακες, προϊόντα διύλισης του αργού πετρελαίου και ονομάζονται **κηροζίνες (kerosene)**. Στη διαδικασία διύλισης παράγονται σε σειρά μετά από το πετρέλαιο και πριν από τη βενζίνη καθώς είναι πιο πτητικά καύσιμα από το πετρέλαιο, δηλαδή εξαερώνονται σε μικρότερη θερμοκρασία αλλά είναι λιγότερο πτητικά από τη βενζίνη.

Στην προσπάθεια παραγωγής καυσίμων με ικανοποιητική απόδοση και σε επαρκείς ποσότητες για τις εκάστοτε ανάγκες της αγοράς και των τύπων των αεροστροβίλων κινητήρων έχουν παραχθεί αρκετοί τύποι καυσίμων. Ευρύτερα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα καύσιμα με κωδικό **JP-()**, που αναπτύχθηκαν για χρήση σε στρατιωτικούς κινητήρες της Αμερικανικής Πολεμικής Αεροπορίας και τα καύσιμα με κωδικό **Jet-()** που αναπτύχθηκαν για χρήση σε πολιτικούς κινητήρες.

Καύσιμα κατηγορίας JP

JP-1: Το πρώτο καύσιμο τύπου κηροζίνης με χαμηλό σημείο πήξης (**freezing point**) και υψηλότερο σημείο ανάφλεξης από το τότε διαθέσιμο καύσιμο, την αεροπορική βενζίνη, και συνεπώς πιο ασφαλές. Είχε όμως τα μειονεκτήματα της δυσκολίας ανάφλεξης σε χαμηλές θερμοκρασίες, τη διακοπή της καύσης σε μεγάλα ύψη και τη δημιουργία πάγου στο σύστημα καυσίμου.

JP-2: Το καύσιμο αυτό ήταν μια απόπειρα βελτίωσης του JP-1 προσθέτοντάς του ένα μικρό ποσοστό βενζίνης.

JP-3: Το καύσιμο που αντικατέστησε το JP-1, ήταν ένα μείγμα 65-70% αεροπορικής βενζίνης και 30-35% κηροζίνης. Η ανάφλεξη του κινητήρα σε χαμηλές θερμοκρασίες βελτιώθηκε, καθώς και η ευκολία επανεκκίνησης σε μεγάλα ύψη. Το μειονέκτημά του ήταν η υψηλή πτητικότητά του, η οποία δημιουργούσε απώλειες καυσίμου σε μεγάλα ύψη από την ατμοσφαιρική αποκατάσταση των δεξαμενών. Επίσης δεν παρείχε ικανοποιητική λίπανση λόγω της μεγάλης του περιεκτικότητας σε βενζίνη.

JP-4: Ο πιο διαδεδομένος τύπος καυσίμου αεροστροβίλων κινητήρων ο οποίος είναι σε (περιορισμένη) χρήση έως και σήμερα. (Σταδιακά αντικαθίσταται από το JP-8). Είναι ένα καύσιμο ευρείας απόσταξης, περιέχει

δηλαδή και ποσοστά των καυσίμων που παράγονται κατά τη διύλιση πριν και μετά από την κηροζίνη όπως η **νάφθα** και η βενζίνη. Είναι λιγότερο πτητικό από το JP-3 και συνεπώς παρουσιάζει λιγότερες απώλειες καυσίμου από εξαέρωση, αλλά έχει χαμηλότερη απόδοση σε λειτουργία και επανεκκίνηση σε μεγάλα ύψη.

JP-5: Το καύσιμο αυτό αναπτύχθηκε για χρήση σε αεροπλανοφόρα. Ήταν το τελικό προϊόν ανάμειξης αεροπορικής βενζίνης και βαρέως αποστάγματος κηροζίνης.

JP-6/JP-7: Αναπτύχθηκαν για εφαρμογές σε υπερηχητικά αεροσκάφη, όπου υπήρχε απαίτηση για χαμηλό σημείο πήξης λόγω πτήσεων σε μεγάλα ύψη.

JP-8: Το καύσιμο αυτό είναι μια βελτίωση του πιο ευρέως χρησιμοποιούμενου JP-4. Οι βελτιώσεις που εισάγει είναι: **υψηλότερο σημείο ανάφλεξης** και **μικρότερη πτητικότητα** χαρακτηριστικά που το κάνουν πιο ασφαλές.

Καύσιμα κατηγορίας Jet

Jet A, Jet A-1 και Jet B: Τα καύσιμα αυτά χρησιμοποιούνται στην πολιτική αεροπορία. Οι τύποι Jet A και Jet A-1 είναι αυτοί που βρίσκονται σε ευρεία χρήση και ανήκουν στην κατηγορία των κηροζινών, με χαρακτηριστικά τη μικρή πτητικότητα και μικρή τάση να δημιουργούν μείγμα αέρα και ατμών καυσίμου στις δεξαμενές του σκάφους.

Το Jet B είναι καύσιμο ευρείας διύλισης και ανήκει στην κατηγορία των βενζινών. Αποτελείται από μείγμα κηροζίνης και βενζίνης και έχει χαμηλό σημείο πήξης (-60°C), ενώ το ιξώδες του παραμένει μικρό σε χαμηλές θερμοκρασίες, γεγονός που δεν ευνοεί το σχηματισμό στερεοποιημένου καυσίμου στα φίλτρα και τις αντλίες καυσίμου. Το Jet-B είναι κατάλληλο για χρήση σε μεγάλα ύψη και ψυχρά κλίματα. Είναι λιγότερο πτητικά καύσιμα από τη βενζίνη, αλλά περισσότερο από τις κηροζίνες με συνέπεια να παράγουν εύφλεκτους ατμούς αέρα, καυσίμου σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.

3.6.2 Σκοπός συστήματος καυσίμου και είδη συστημάτων

Το σύστημα καυσίμου έχει ως σκοπό τη συνεχή τροφοδότηση του θαλάμου καύσης με την απαραίτητη ποσότητα καυσίμου, τόσο στο έδαφος όσο και σε όλες τις συνθήκες πτήσης. Το σύστημα καυσίμου θα πρέπει, επίσης, να μπορεί να μεταβάλλει την παροχή του καυσίμου με ικανοποιητικό ρυθμό ώστε να επιτυγχάνεται αυξομείωση της ώσης (ή της ισχύος του κινητήρα) ακολουθώντας πιστά τη «θέση της μανέτας» και λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες πτήσης. Το σύστημα καυσίμου θα πρέπει να πραγματοποιεί τις

παραπάνω μεταβολές διατηρώντας την ομαλή λειτουργία του κινητήρα χωρίς να δημιουργεί **υπερθέρμανση**, **υπερστροφία** και **σβήσιμο** του κινητήρα.

Ένα τυπικό σύστημα καυσίμου αεριοστρόβιλου κινητήρα (Σχήμα 3.34) αποτελείται από τα παρακάτω επιμέρους εξαρτήματα:

Εξαρτήματα σκάφους

- Οι δεξαμενές καυσίμου (fuel tanks)
- Ενισχυτικές αντλίες καυσίμου αεροσκάφους (fuel booster pumps)
- Βαλβίδες διακοπής ροής καυσίμου (fuel shut-off valves)
- Φίλτρο καυσίμου χαμηλής πίεσης (low pressure fuel filter)
- Ενδείκτες ποσότητας καυσίμου (fuel quantity indicators)

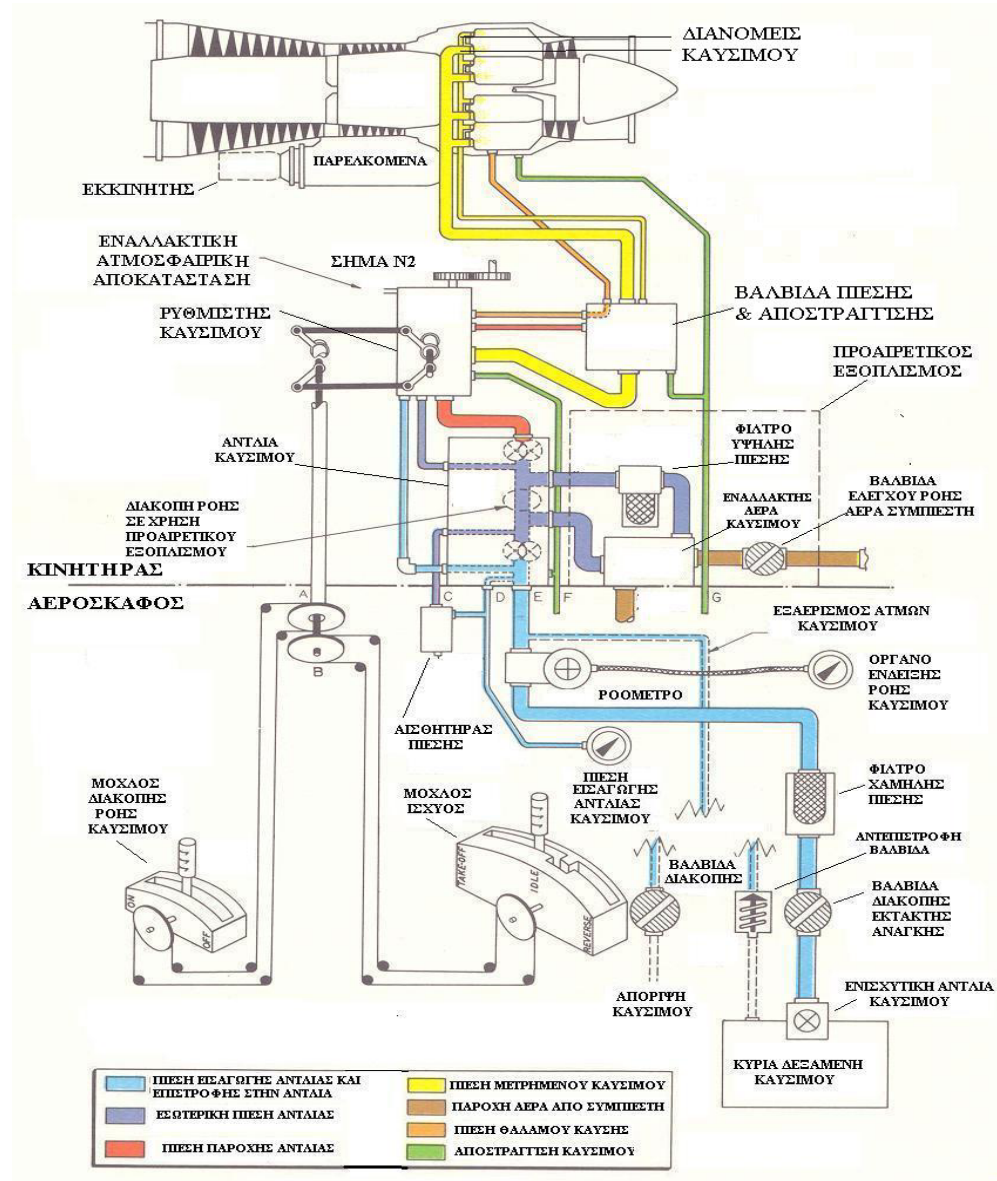
Εξαρτήματα κινητήρα

- Κύρια αντλία καυσίμου (main fuel pump)
- Φίλτρο καυσίμου (fuel filter)
- Κύριος ρυθμιστής καυσίμου (Main fuel controller)
- Εναλλάκτης λιπαντικού (Oil cooler)
- Διανομέας καυσίμου (Fuel Manifold)
- Ακροφύσια ψεκασμού καυσίμου (Fuel Injectors)
- Θερμαντήρας καυσίμου (Fuel Heater)
- Ενδείκτες πίεσης, θερμοκρασίας, και ροής καυσίμου (Pressure, Temperature and Fuel Flow Indicators)

Η λειτουργία ενός αντιπροσωπευτικού συστήματος καυσίμου, όπως αυτό που εικονίζεται στο Σχήμα 3.34, περιγράφεται παρακάτω.

Το καύσιμο τροφοδοτείται στο σύστημα από την **κεντρική δεξαμενή καυσίμου** μέσω της **ενισχυτικής αντλίας καυσίμου**, της **βαλβίδας διακοπής ροής καυσίμου** και του **φίλτρου χαμηλής πίεσης**. Πριν εισέλθει στον κινητήρα, διέρχεται από το **ροόμετρο** για ένδειξη της παρεχόμενης ποσότητας καυσίμου στο πιλοτήριο. Στη συνέχεια διοχετεύεται στην **αντλία καυσίμου** του κινητήρα (η οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι **διβάθμια**). Στην περίπτωση που ο κινητήρας χρησιμοποιεί θερμαντήρα καυσίμου το καύσιμο διέρχεται από **εναλλάκτη αέρα-καυσίμου** όπου και θερμαίνεται από αέρα του συμπιεστή. Στη συνέχεια διοχετεύεται με αυξημένη πίεση στο **ρυθμιστή καυσίμου**, ο οποίος ελέγχεται από το

χειριστή, και μέσω της βαλβίδας πίεσης τροφοδοτούνται με καύσιμο οι διανομείς καυσίμου (κύριος και δευτερεύων).



Σχήμα 3.34 Τυπικό σύστημα καυσίμου αεριοστρόβιλου κινητήρα

Η βαλβίδα πίεσης & αποστράγγισης έχει ως σκοπό να διοχετεύσει καύσιμο στον κινητήρα, ανοίγοντας όταν δέχεται ανάλογο σήμα από τον ρυθμιστή καυσίμου ενώ ταυτόχρονα κλείνει τη δίοδο αποστράγγισης του διανομέα.

Στο σβήσιμο του κινητήρα η ροή του καυσίμου διακόπτεται από μια βαλβίδα στο ρυθμιστή καυσίμου: το σήμα της πίεσης που διοχετεύεται στη βαλβίδα πίεσης δεν μπορεί να τη διατηρήσει ανοιχτή, οπότε και κλείνει διακόπτοντας την παροχή καυσίμου στον κινητήρα. Ταυτόχρονα ανοίγει η δίοδος

αποστράγγισης για να επιτρέψει τη ροή του εναπομείναντος καυσίμου από τους **εγχυτήρες στο περιβάλλον**. Ταυτόχρονα με το κλείσιμο της βαλβίδας πίεσης ο ρυθμιστής παρακάμπτει το καύσιμο στην εισαγωγή της αντλίας καυσίμου.

Στη συνέχεια θα δούμε αναλυτικότερα την σκοπιμότητα ύπαρξης των παραπάνω εξαρτημάτων σε ένα σύστημα καυσίμου και τον τρόπο λειτουργίας τους.

3.6.2.1 Δεξαμενές καυσίμου

Οι **δεξαμενές καυσίμου** διαμορφώνονται από κενούς χώρους που υπάρχουν στη δομή του αεροσκάφους όπως στις πτέρυγες και στην άτρακτο (Σχήμα 3.35). Σε κάποιους τύπους αεροσκαφών και στην πλειοψηφία των μαχητικών, χρησιμοποιούνται και εξωτερικά αναρτώμενες δεξαμενές στις πτέρυγες και κάτω από την άτρακτο του σκάφους. Η παροχή του κινητήρα με καύσιμο γίνεται πάντα από μια κεντρική δεξαμενή την οποία τροφοδοτούν οι υπόλοιπες, με κατάλληλες αντλίες. Στις δεξαμενές υπάρχουν κατάλληλοι αισθητήρες για την ένδειξη της στάθμης καυσίμου στο πιλοτήριο.



Σχήμα 3.35 Θέση δεξαμενών καυσίμου αεροσκάφους

Το καύσιμο τροφοδοτείται από την κεντρική δεξαμενή στον κινητήρα με **ενισχυτικές αντλίες**. Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία σταθερής πίεσης στην είσοδο της κύριας αντλίας του κινητήρα έτσι ώστε η παροχή καυσίμου να μην παρουσιάζει διακοπές. Οι αντλίες αυτές λειτουργούν συνήθως με φυγοκεντρική πτερωτή (**centrifugal pumps**), με γρανάζια (**gear pumps**), λοβούς (**lobe pumps**) ή έμβολο (**piston pumps**).

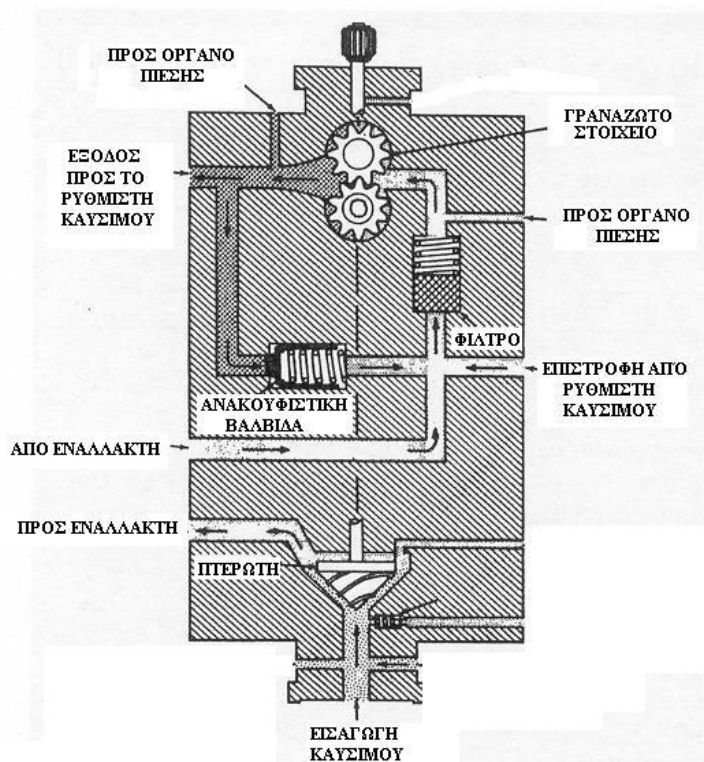
Στη γραμμή μεταφοράς καυσίμου του σκάφους τοποθετείται μια **βαλβίδα διακοπής της ροής** του καυσίμου (**fuel shut off valve**) η οποία ενεργοποιείται ηλεκτρικά, για την αποφυγή διαρροής καυσίμου κατά την αποσύνδεση της γραμμής καυσίμου από τον κινητήρα, αλλά και σε

περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπως στην περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς σε κινητήρα οπότε πρέπει να διακοπεί η παροχή του καυσίμου.

Στην γραμμή του καυσίμου μετά την αντλία τοποθετείται το **φίλτρο χαμηλής πίεσης**. Το φίλτρο αυτό αποτρέπει τη μεταφορά σκουπιδιών από την δεξαμενή του σκάφους στην αντλία καυσίμου του κινητήρα. Σε περίπτωση απόφραξης του φίλτρου, διαθέτει βαλβίδα παράκαμψης η οποία ανοίγει με την αυξημένη πίεση που δημιουργείται και περνάει στο κύκλωμα αφιλτράριστο.

3.6.2.2 Αντλία καυσίμου

Η κύρια αντλία καυσίμου του κινητήρα είναι συνήθως **γρاناζωτή** με μία ή δύο βαθμίδες. Αν η αντλία έχει δύο γρاناζωτές βαθμίδες, αυτές συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα. Μερικές αντλίες περιλαμβάνουν και μια βαθμίδα με ενισχυτική αντλία φυγοκεντρικού τύπου για παροχή καυσίμου με σταθερή πίεση στη γρاناζωτή βαθμίδα.



Σχήμα 3.36 Σχηματική αναπαράσταση γρاناζωτής αντλίας

Στο Σχήμα 3.36 φαίνεται μια τυπική γρاناζωτή αντλία μιας βαθμίδας με μια φυγοκεντρική βαθμίδα συνδεδεμένη σε σειρά. Το καύσιμο εισέρχεται στην αντλία στην είσοδο της φυγοκεντρικής βαθμίδας και εξέρχεται από αυτή προς την είσοδο του εναλλάκτη καυσίμου, όπου και ψύχεται. Στη συνέχεια,

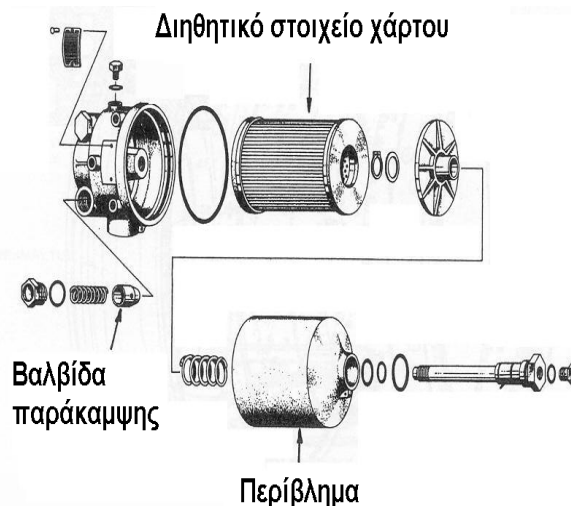
οδηγείται στη γραναζωτή βαθμίδα μέσω του φίλτρου που βρίσκεται στην εισαγωγή της. Το καύσιμο εξέρχεται στη συνέχεια από την αντλία προς το ρυθμιστή καυσίμου. Η ποσότητα καυσίμου που δεν χρησιμοποιείται από το ρυθμιστή, επιστρέφει στην εισαγωγή της γραναζωτής βαθμίδας.

Η πίεση εξαγωγής της φυγοκεντρικής βαθμίδας εξαρτάται από την περιστροφική της ταχύτητα. Το επίπεδο πίεσης που μπορεί να φτάσει είναι συνήθως τα 70 psi (5 bar περίπου). Η πίεση αυξάνεται περαιτέρω στην γραναζωτή βαθμίδα και φτάνει σε επίπεδα της τάξης των 700 - 750 psi (50 – 54 bar περίπου), πίεση απαραίτητη για την καλή εκνέφωση του καυσίμου από τους εγχυτήρες καυσίμου.

3.6.2.3 Φίλτρα καυσίμου

Τα φίλτρα είναι απαραίτητα εξαρτήματα σε ένα σύστημα καυσίμου για την αποφυγή απόφραξης των πολύ μικρών διόδων καυσίμου που υπάρχουν στους ρυθμιστές καυσίμου και στους εγχυτήρες ψεκασμού. Όλοι οι τύποι κινητήρων διαθέτουν τουλάχιστον ένα φίλτρο πριν και ένα μετά την αντλία καυσίμου. Τα φίλτρα αποτελούνται από ένα μεταλλικό περίβλημα μέσα στο οποίο τοποθετείται το διηθητικό στοιχείο το οποίο κατασκευάζεται από διαφορετικό υλικό ανάλογα με την εφαρμογή, την πίεση λειτουργίας και το υγρό που φιλτράρεται.

Όλα τα φίλτρα διαθέτουν **ανακουφιστική βαλβίδα** (relief valve) η οποία ενεργοποιείται σε περίπτωση απόφραξης του φίλτρου και παρέχει έστω και μη φιλτραρισμένο καύσιμο στον κινητήρα. Τα φίλτρα καυσίμου διακρίνονται ανάλογα με το διηθητικό στοιχείο που έχουν στα παρακάτω είδη:



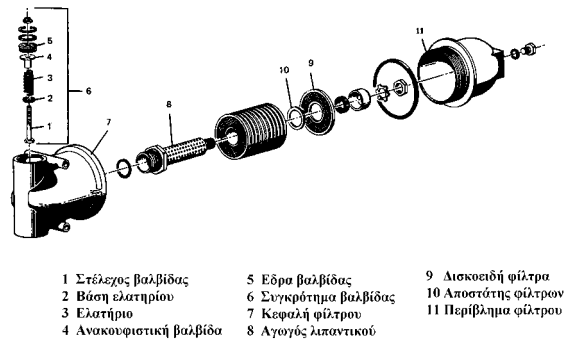
Σχήμα 3.37 Φίλτρο καυσίμου διηθητικού στοιχείου χάρτου

Φίλτρα χάρτου

Αυτού του είδους τα φίλτρα (Σχήμα 3.37) διαθέτουν διηθητικό στοιχείο χάρτου μιας χρήσεως το οποίο αντικαθίσταται στην προγραμματισμένη συντήρηση επιπέδου γραμμής. Τα φίλτρα αυτά είναι κατασκευασμένα από χαρτί ικανό να κατακρατεί στερεά σωματίδια μεγέθους 50 έως 100μm.



(α)



- | | | |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1 Στέλεχος βαλβίδας | 5 Εδρα βαλβίδας | 9 Δισκοειδή φίλτρα |
| 2 Βάση ελατηρίου | 6 Συγκρότημα βαλβίδας | 10 Αποστάτης φίλτρων |
| 3 Ελατήριο | 7 Κεφαλή φίλτρου | 11 Περιβλήμα φίλτρου |
| 4 Ανακουφιστική βαλβίδα | 8 Αγωγός λιπαντικού | |

(β)

Σχήμα 3.38 Φίλτρα καυσίμου (α) μεταλλικού πλέγματος και (β) μεταλλικών δίσκων πλέγματος

Φίλτρα συρμάτινου πλέγματος

Τα φίλτρα αυτά κατασκευάζονται από πλέγμα σύρματος ανοξείδωτου ατσάλιου και είναι ικανά να κατακρατούν σωματίδια μεγέθους 40μm. Χρησιμοποιούνται συνήθως σαν φίλτρα χαμηλής πίεσης. Τα φίλτρα συρμάτινου πλέγματος διακρίνονται στα κυλινδρικά φίλτρα (Σχήμα 3.38 (α)) και στα φίλτρα τύπου δίσκων πλέγματος (Σχήμα 3.38 (β)). Στα πρώτα το πλέγμα κατασκευάζεται σε διάταξη κυλίνδρου με πτυχώσεις αυξάνοντας σημαντικά την επιφάνεια επαφής με το καύσιμο και μειώνοντας την πτώση πίεσης του.

Τα φίλτρα δίσκων από πλέγμα αποτελούνται από μια σειρά δίσκων που είναι κατασκευασμένοι από συρμάτινο πλέγμα και τοποθετημένοι σε σειρά ο ένας μετά τον άλλον. Το καύσιμο φιλτράρεται περνώντας διαδοχικά από τον ένα στον άλλο δίσκο. Τα φίλτρα συρμάτινου πλέγματος χρειάζονται αποσυναρμολόγηση και καθάρισμα με κατάλληλο διαλύτη κατά την διάρκεια της συντήρησης γραμμής του κινητήρα.

3.6.2.4 Εγχυτήρες ψεκασμού καυσίμου

Οι εγχυτήρες ψεκασμού καυσίμου (**fuel nozzles**) είναι το τελευταίο εξάρτημα στο κύκλωμα ενός συστήματος καυσίμου. Ο σκοπός τους είναι να παράγουν ένα νέφος από σταγονίδια καυσίμου κατάλληλου μεγέθους (όχι

πολύ μικρά αλλά όχι και πολύ μεγάλα), καλά αναμεμειγμένα με τον αέρα που διοχετεύεται από το διαχύτη του κινητήρα. Επίσης το σχήμα του νέφους καυσίμου θα πρέπει να είναι κατάλληλα διαμορφωμένο και να καλύπτει έτσι τον όγκο του θαλάμου καύσης χωρίς να προκαλεί υπερθέρμανση στα τοιχώματά του λόγω μεγάλης γωνίας ψεκασμού αλλά και υπερθέρμανση στα πτερύγια του στροβίλου λόγω ασύμμετρου ψεκασμού καυσίμου.

Το σχήμα του νέφους καυσίμου θα πρέπει επίσης να είναι τέτοιο, ώστε η καύση να πραγματοποιείται πλήρως, με δεδομένη τη μεγάλη ταχύτητα αέρα που εισέρχεται από το διαχύτη και το περιορισμένο μήκος του θαλάμου καύσης¹, χωρίς να παράγεται καπνός και βλαβερά για το περιβάλλον παράγωγα καύσης, όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και οξείδια του αζώτου.

Ο ψεκασμός του καυσίμου θα πρέπει να είναι ικανοποιητικός σε όλες τις συνθήκες πτήσης και στροφών του κινητήρα, χωρίς να δημιουργείται ασταθής φλόγα στις χαμηλές στροφές.

3.6.2.5 Τρόπος λειτουργίας ενός εγχυτήρα

Βασική απαίτηση για ένα εγχυτήρα είναι να παράγει σταγονίδια σωστού μεγέθους, έτσι ώστε αυτά αναμεμειγμένα με τον αέρα να καίγονται πλήρως μέσα στο θάλαμο καύσης απελευθερώνοντας όλη τη θερμική ενέργεια του καυσίμου. Ο τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό είναι δίνοντας στο καύσιμο μεγάλη ταχύτητα (μέσω της μεγάλης πίεσης που αναπτύσσει η αντλία καυσίμου), έτσι ώστε αυτό να διασπάται καθώς εξέρχεται από το ακροφύσιο καυσίμου. Για να περιοριστεί το μήκος ανάπτυξης της φλόγας (λόγω μικρού μήκους του θαλάμου καύσης) το καύσιμο εκτοξεύεται από το ακροφύσιο περιστρεφόμενο σχηματίζοντας κώνο. Ένας επιπλέον λόγος που χρειάζεται μεγάλη γωνία ψεκασμού, ειδικά κατά την ανάφλεξη, είναι για την προσέγγιση των **αναφλεκτήρων (igniters)** οι οποίοι βρίσκονται κοντά στο εσωτερικό τοίχωμα του θαλάμου καύσης.

Σε κάποιους τύπους ακροφυσίων, περιφερειακά του σημείου που εξέρχεται το καύσιμο διοχετεύεται αέρας υψηλής πίεσης από το διαχύτη, με αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του κώνου καυσίμου, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο καλύτερη εκνέφωση του καυσίμου.

¹ Το μήκος του θαλάμου καύσης επηρεάζει και το μήκος, άρα και το βάρος, αλλά και το μήκος το άξονα του κινητήρα το οποίο θέλουμε να είναι περιορισμένο για αποφυγή κραδασμών.

Χαρακτηριστικό της κατασκευής των ακροφυσίων ψεκασμού είναι ότι διαθέτουν βαλβίδα, η οποία επιτρέπει τη ροή καυσίμου εφόσον η πίεση αυξηθεί πάνω από κάποια τιμή, αλλά και διακοπή της, μόλις αυτή η πίεση μειωθεί κάτω από ένα επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η ροή καυσίμου χαμηλής πίεσης κατά την εκκίνηση και το σβήσιμο του κινητήρα, και η αποφυγή δημιουργίας ενανθρακώσεων από ατελή καύση του καυσίμου. Οι εγχυτήρες καυσίμου που έχουν αναπτυχθεί και είναι σε χρήση μέχρι σήμερα διακρίνονται στους εγχυτήρες **μονής ροής, διπλής ροής και ατμοποίησης καυσίμου.**

Ακροφύσια μονής ροής (Simplex)

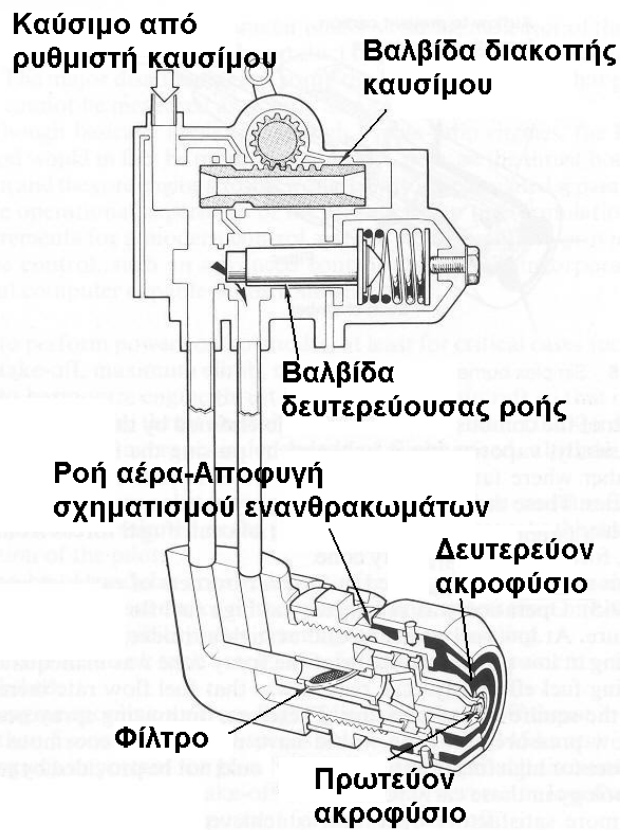
Τα ακροφύσια αυτά (Σχήμα 3.39(α)) είναι απλά σε σχεδίαση και αποδίδουν ικανοποιητικά για πιέσεις καυσίμου, οι οποίες αναπτύσσονται στις συνήθεις συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή από 70% έως 100% της ώσης. Σε χαμηλές στροφές το σχήμα ψεκασμού του ακροφυσίου δεν είναι ικανοποιητικό, λόγω πτώσης της πίεσης καυσίμου. Τα ακροφύσια αυτά δεν αποδίδουν ικανοποιητικά σε κινητήρες που έχουν απαίτηση για μεγάλες αυξομειώσεις στην πίεση και τη ροή του καυσίμου.

Ακροφύσια διπλής ροής (Duplex)

Το πρόβλημα των ακροφυσίων μονής ροής αντιμετωπίστηκε με την ανάπτυξη ακροφυσίων, τα οποία ψεκάζουν καύσιμο σε δύο φάσεις (Σχήμα 3.39(β)), από ένα ακροφύσιο που διαθέτει δύο σημεία ψεκασμού τοποθετημένα ομόκεντρα. Αρχικά, κατά την εκκίνηση και λειτουργία του κινητήρα σε χαμηλές στροφές, ο ψεκασμός γίνεται από το κεντρικό σημείο του ακροφυσίου, δημιουργώντας ένα σχήμα ψεκασμού με μεγάλη γωνία, κάτι απαραίτητο κατά την εκκίνηση, όπως αναφέρθηκε παραπάνω για λόγους εύκολης ανάφλεξης του καυσίμου. Στη συνέχεια, καθώς αυξάνονται οι στροφές και η πίεση καυσίμου, ανοίγει η βαλβίδα που διαθέτει το ακροφύσιο και ψεκάζεται η πρόσθετη ποσότητα, που απαιτείται στις υψηλότερες στροφές, περιφερειακά του πρώτου σημείου ψεκασμού. Σε αυτή τη φάση, η γωνία ψεκασμού μειώνεται με την παροχή καυσίμου από τη δεύτερη δίοδο του ακροφυσίου, για αποφυγή επαφής του καυσίμου με τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης και υπερθέρμανσής τους.



(α)



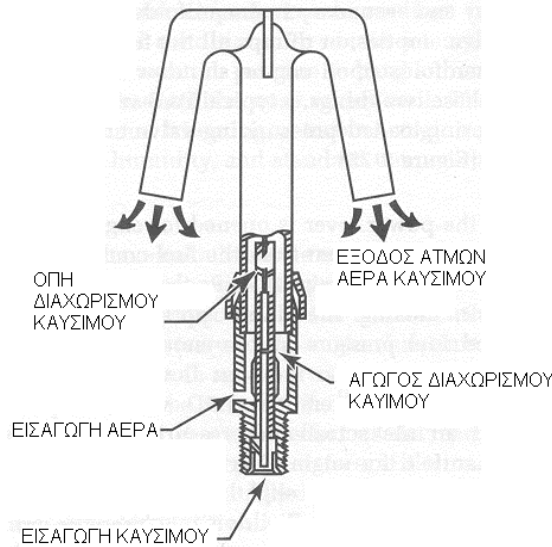
(β)

Σχήμα 3.39 Ακροφύσια ψεκασμού τύπου Simplex (α) και Duplex (β)

Ακροφύσια ατμοποίησης καυσίμου

Αυτός ο τύπος ακροφυσίου (Σχήμα 3.40) δεν ψεκάζει απευθείας το καύσιμο στη πρωτογενή ζώνη καύσης, όπως τα δύο παραπάνω είδη ακροφυσίων, αλλά αυτό αναμειγνύεται με μια ποσότητα αέρα υψηλής πίεσης μέσα στον αγωγό του ακροφυσίου. Ο αγωγός αυτός έχει αρκετό μήκος, έτσι ώστε το μείγμα αέρα καυσίμου να εξαερωθεί με την θερμοκρασία που επικρατεί στον

θάλαμο καύσης και να βγει από το ακροφύσιο υπό μορφή ατμών. Οι κινητήρες που χρησιμοποιούν αυτό τον τύπο ακροφυσίου διαθέτουν μια σειρά μικρών ακροφυσίων για την έναυση του κινητήρα, λόγω της αδυναμίας των ακροφυσίων ατμοποίησης να παράγουν ικανοποιητικό σχήμα ψεκασμού κατά την εκκίνηση.



Σχήμα 3.40 Ακροφύσιο ψεκασμού τύπου εξαεριοτή

3.6.2.6 Ρυθμιστές καυσίμου

Ο ρυθμιστής καυσίμου έχει σαν σκοπό την παροχή μετρημένης ποσότητας καυσίμου που θα ψεκάσουν οι εγχυτήρες καυσίμου στον θάλαμο καύσης. Λόγω του αριθμού παραμέτρων που πρέπει να ελέγχονται κατά την διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα και της ταχύτητας που πρέπει να εκτελεστούν οι ρυθμίσεις, είναι αδύνατο να πραγματοποιηθούν αυτές από τον χειριστή. Η μόνη παράμετρος που ελέγχει ο χειριστής είναι ο **μοχλός ισχύος (μανέτα - throttle)** με τον οποίο μεταβάλλεται η γωνία του βραχίονα που διαθέτει ο ρυθμιστής μέσω συρματόσχοινου που μεταφέρει την κίνηση της μανέτας στον κινητήρα.

Ο ρυθμιστής παρέχει την ποσότητα καυσίμου που είναι απαραίτητη για την λειτουργία του κινητήρα στην εκάστοτε επιλεγόμενη θέση του μοχλού ισχύος ανάλογα με παραμέτρους λειτουργίας όπως την **θερμοκρασία** και **πίεση** εισαγωγής του συμπιεστή, τις **στροφές** του κινητήρα, την **πίεση εξαγωγής κινητήρα**, την **πίεση του θαλάμου καύσης** ή την **πίεση εξαγωγής συμπιεστή (Compressor Discharge Pressure - CDP)**. Η ποσότητα καυσίμου που θα περάσει τελικά από το ρυθμιστή, ελέγχεται άμεσα από το βραχίονα, στον οποίο επενεργεί μηχανικά ο χειριστής με το μοχλό ισχύος, ενώ ταυτόχρονα γίνονται διορθώσεις σε αυτή την ποσότητα

από μηχανισμούς που διαθέτει ο ρυθμιστής. Οι μηχανισμοί αυτοί λειτουργούν με σήματα (μηχανικά ή ηλεκτρικά) που δέχονται από τους αισθητήρες οι οποίοι μετρούν τις παραπάνω παραμέτρους.

Εκτός από τις παραπάνω λειτουργίες, ο ρυθμιστής διαθέτει και μηχανισμούς προστασίας του κινητήρα από υπερστροφία, και υπερθέρμανση του στροβίλου. Στην τελευταία περίπτωση, η προστασία από υπερθέρμανση επιτυγχάνεται με την κατάλληλη ρύθμιση της μέγιστης επιτρεπτής παροχής καυσίμου, ώστε να αποφεύγεται η υπερβολική άνοδος της θερμοκρασίας κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες λειτουργίας.

Οι ρυθμιστές καυσίμου διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο λειτουργία τους σε **υδρομηχανικούς (hydromechanical)**, **ηλεκτρομηχανικούς (electromechanical)** και **ηλεκτρονικούς (electronic engine fuel controllers - EEC)**. Οι ρυθμιστές καυσίμου είναι εξαιρετικά πολύπλοκοι μηχανισμοί και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή καθώς και εξειδικευμένο προσωπικό και εξοπλισμός για τη συντήρηση, τη ρύθμιση και τη δοκιμή τους. Για αυτό το λόγο, η συντήρησή τους γίνεται μόνο από τον κατασκευαστή, ή από ειδικά εξουσιοδοτημένο από αυτόν επισκευαστικό κέντρο.

3.7 Συστήματα εκκίνησης

Η έναρξη ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης απαιτεί την παρουσία στον θάλαμο καύσης του, ικανής ποσότητας μείγματος αέρα – καυσίμου και σε τέτοια πίεση ώστε αυτό αναφλεγόμενο να μπορέσει να συνεχίσει τον κύκλο λειτουργίας του, αυξάνοντας στροφές. Στους εμβολοφόρους κινητήρες η εισαγωγή του μείγματος γίνεται με την υποπίεση που δημιουργεί το έμβολο στην φάση της εισαγωγής. Ταυτόχρονα η πίεση στον θάλαμο καύσης αυξάνεται με μία περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα στην απαιτούμενη για την ανάφλεξη του μείγματος πίεση με τη βοήθεια του εμβόλου.

Στους αεριοστροβίλους κινητήρες για τη δημιουργία κατάλληλου μείγματος αέρα καυσίμου, το οποίο μπορεί να αναφλεγεί και να διατηρηθεί η λειτουργία του κινητήρα, πρέπει να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

- Ο συμπιεστής του κινητήρα θα πρέπει να περιστραφεί σε ένα ύψος στροφών ίσο περίπου με το 15-20% των μέγιστων στροφών του, για τη δημιουργία πίεσης κατάλληλης για τη διατήρηση φλόγας στο θάλαμο καύσης, αλλά και τη σωστή ψύξη των ψυχόμενων μερών. Η ψύξη των θερμών τμημάτων του κινητήρα είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά την διαδικασία της εκκίνησης, δεδομένου ότι σε αυτή τη φάση

υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο «**θερμής εκκίνησης**» (**hot start**)¹ και καταστροφής του στροβίλου.

- Για την λειτουργία του συστήματος καυσίμου και του συστήματος ανάφλεξης είναι αναγκαία η περιστροφή του άξονα του κινητήρα σε ένα ύψος στροφών, οι οποίες απαιτούνται από τα παρελκόμενα των αντίστοιχων συστημάτων για να αυξήσουν την πίεση του καυσίμου και την τάση ρεύματος σε επίπεδα που θα διατηρήσουν τον κινητήρα σε λειτουργία.

Για τους παραπάνω λόγους είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός **συστήματος εκκίνησης**, το οποίο μπορεί να περιστρέφει τον κινητήρα σε ένα ύψος στροφών, πάνω από τις οποίες θα μπορεί να διατηρήσει σταθερή καύση και να επιταχύνει μέχρι το σημείο βραδείας λειτουργίας. Από αυτό το σημείο και μετά ο κινητήρας έχει τη δυνατότητα να επιταχύνει και να λειτουργήσει σε όλο το εύρος των στροφών του.

3.7.1 Μέθοδοι εκκίνησης

Η επιλογή του κατάλληλου εκκινητή για κάθε κινητήρα εξαρτάται από παράγοντες, όπως ο χρόνος εκκίνησης, η διαθέσιμη ισχύς για την εκκίνηση και χαρακτηριστικά, όπως η αξιοπιστία, το κόστος και η ευκολία συντήρησης.

Ο **χρόνος εκκίνησης** είναι βασική παράμετρος, ιδιαίτερα για τα μαχητικά αεροσκάφη, όπου είναι απαραίτητη η εκκίνηση στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Επιπλέον, η ταχύτητα με την οποία μπορεί ο εκκινητής να περιστρέφει τον κινητήρα παίζει σημαντικό ρόλο, γιατί δεν επηρεάζει μόνο τις μέγιστες θερμοκρασίες του κινητήρα κατά τη διάρκεια της εκκίνησης αλλά και το χρόνο, κατά τον οποίο θα παραμείνει ο κινητήρας σε αυτή τη θερμοκρασία. Ο χρόνος παραμονής των θερμών τμημάτων ενός κινητήρα σε υψηλή θερμοκρασία είναι ιδιαίτερα κρίσιμος, γιατί επηρεάζει τη διάρκεια ζωής τους.

Η **διαθέσιμη ισχύς** είναι παράγοντας επιλογής τύπου εκκινητή. Ακόμη και οι μικρότεροι αεριοστροβίλοι κινητήρες απαιτούν αυξημένη ισχύ για την έναρξή τους. Σε αντίθεση με τους εμβολοφόρους κινητήρες, στους οποίους το μέγιστο φορτίο απαιτείται κατά την πρώτη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα, στους αεριοστροβίλους το φορτίο αυξάνεται καθώς αυξάνονται οι στροφές του κινητήρα.

¹ Βλέπε και την περιγραφή της διαδικασίας εκκίνησης στην §3.8.4.

Κάποιοι εκκινητές μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα (με καύσιμο από το αεροσκάφος ή με στερεό καύσιμο), ενώ κάποιοι άλλοι χρειάζονται παροχή αέρα υπό πίεση από επίγειο εκκινητή.

Οι γνωστές μέθοδοι εκκίνησης αεριοστρόβιλων κινητήρων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα είναι οι ακόλουθες:

- με πνευματικό εκκινητή
- με ηλεκτρικό εκκινητή
- με ηλεκτρικό εκκινητή – γεννήτρια
- με φυσίγγιο πεπιεσμένου αερίου ή με στερεό καύσιμο
- με αξονοστρόβιλο

Οι εκκινητές χωρίζονται σε δύο επιπλέον γενικότερες κατηγορίες, τους **εκκινητές που φέρονται πάνω στο σκάφος (Auxiliary Power Unit, ή APU)** και στους **επίγειους εκκινητές (Ground Power Unit ή GPU)** .

3.7.1.1 Πνευματικό εκκινητής

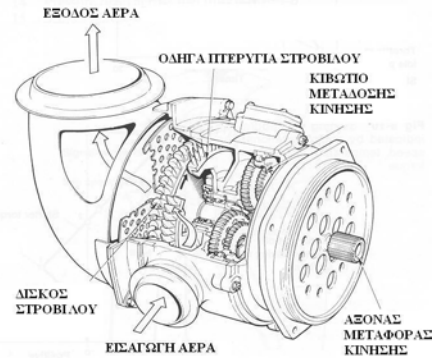
Οι **πνευματικοί εκκινητές (air turbine ή pneumatic starters)** είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενοι (Σχήμα 3.41). Αποτελούνται από στρόβιλο μίας βαθμίδας, ο οποίος λειτουργεί με αέρα υπό πίεση. Ο εκκινητής τοποθετείται στο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης του κινητήρα, στο οποίο δίνοντας κίνηση περιστρέφει τον άξονα του κινητήρα¹. Ο αέρας που περιστρέφει τον πνευματικό εκκινητή διοχετεύεται συνήθως από επίγειο μέσο εκκίνησης (GPU) ή από βοηθητική πηγή εκκίνησης (APU) που διαθέτει το αεροσκάφος (συνήθως στην περίπτωση των πολυκινητήριων αεροσκαφών). Σε κάποιους τύπους πολυκινητήριων αεροσκαφών χρησιμοποιείται ο εκκινητής για την εκκίνηση ενός κινητήρα και οι υπόλοιποι εκκινούν από αέρα που τους παρέχει ο πρώτος κινητήρας.

Οι εκκινητές αυτού του είδους διαθέτουν κιβώτιο υποπολλαπλασιασμού στροφών, όπου οι υψηλές στροφές και η χαμηλή ροπή του στρόβιλου του μετατρέπονται σε χαμηλότερες στροφές και υψηλότερη ροπή στον άξονα του κιβωτίου.

Το βασικό **πλεονέκτημα** των πνευματικών εκκινητήρων είναι το **μικρό βάρος**, συγκρινόμενοι με τους ηλεκτρικούς και τους αξονοστρόβιλους

¹ Αν πρόκειται για κινητήρα με περισσότερους του ενός άξονες, ο εκκινητής περιστρέφει πάντα τον άξονα που περιστρέφει το στρόβιλο υψηλής πίεσης.

εκκινητές, ενώ το **μειονέκτημά** τους είναι ότι απαιτούν την παροχή **μεγάλης ποσότητας αέρα** υπό πίεση.



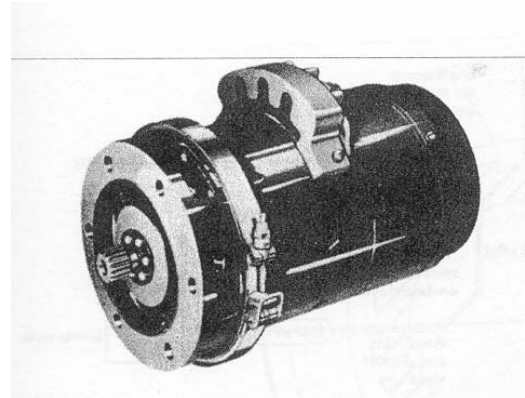
Σχήμα 3.41 Πνευματικοί εκκινητές αεριοστρόβιλου κινητήρα

3.7.1.2 Ηλεκτρικός εκκινητής

Οι εκκινητήρες αυτού του τύπου είναι ηλεκτρικοί κινητήρες, σχεδιασμένοι να παρέχουν υψηλή ροπή. Χρησιμοποιούνται σε κινητήρες μικρού μεγέθους, λόγω της μεγάλης τους κατανάλωσης σε ηλεκτρική ισχύ και του μεγάλου βάρους τους σε σχέση με τη ροπή που παράγουν. Η μετάδοση κίνησης από τον εκκινητήρα πραγματοποιείται με τη χρήση ενός οδοντωτού εμπλοκέα, ο οποίος συνδέεται με τον εκκινητήρα μέσω ενός συμπλέκτη (Σχήμα 3.42 (α)).



(α)



(β)

Σχήμα 3.42 Η λεκτρικός εκκινητής (α) και εκκινητής γεννήτρια (β)

3.7.1.3 Ηλεκτρικός εκκινητής – γεννήτρια

Ένας τύπος εκκινητήρα παρόμοιος με τον ηλεκτρικό είναι ο εκκινητής – γεννήτρια (Σχήμα 3.42(β)). Αυτός ο τύπος συνδυάζει την λειτουργία του εκκινητήρα με αυτόν της γεννήτριας, εξοικονομώντας βάρος και χώρο, αφού

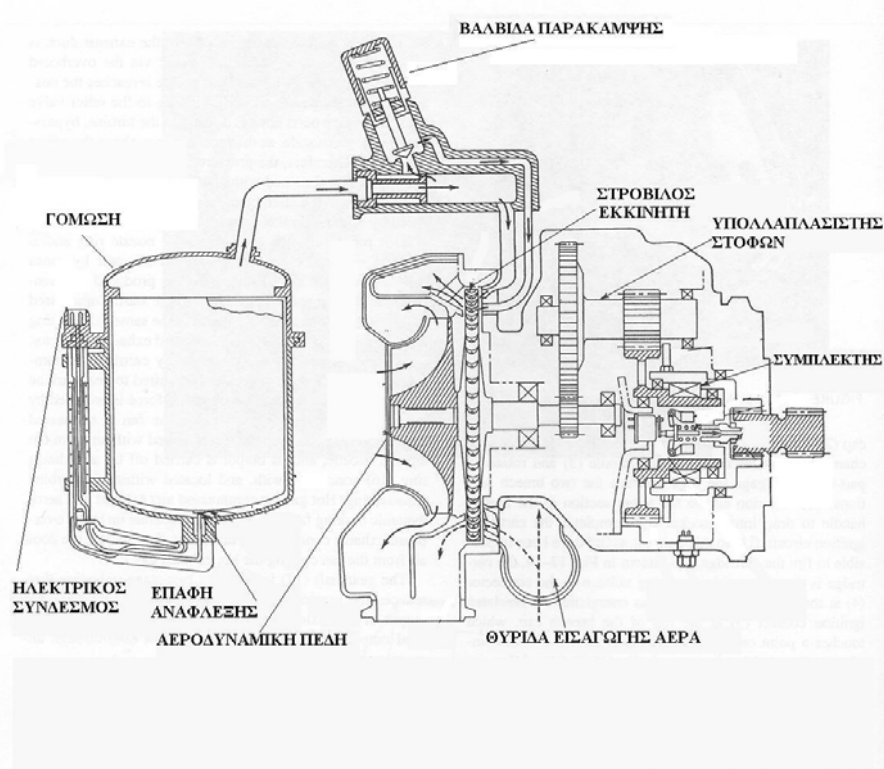
αντικαθιστά δύο παρελκόμενα και απλοποιεί την κατασκευή του κιβωτίου υποπολλαπλασιασμού, όπου η μετάδοση κίνησης γίνεται σε ένα, έναντι δύο παρελκόμενων. Η εμπλοκή του με το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης είναι μόνιμη και γι' αυτό το λόγο δεν απαιτείται η χρήση συστήματος εμπλοκής. Για τους προαναφερθέντες λόγους χρησιμοποιείται στους περισσότερους μικρούς κινητήρες.

3.7.1.4 Εκκίνηση με φυσίγγιο στερεού καυσίμου ή με αέρα υπό πίεση

Οι εκκινητήρες αυτοί χρησιμοποιούν για την περιστροφή του άξονά τους τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση μιας ποσότητας στερεού καυσίμου. Η ποσότητα αυτή του καυσίμου είναι αποθηκευμένη σε ένα φυσίγγιο, το οποίο ενεργοποιείται ηλεκτρικά και καθώς καίγεται παράγεται ποσότητα καυσαερίων υψηλής πίεσης, τα οποία περιστρέφουν το στρόβιλο που διαθέτει. Η περιστροφή του μπορεί επιπρόσθετα να γίνει με παροχή πεπιεσμένου αέρα από εξωτερική πηγή, όπως από άλλον κινητήρα, στην περίπτωση πολυκινητήριου αεροσκάφους, από επίγειο ή βοηθητικό εκκινητήρα.

Ο εκκινητής που φαίνεται στο Σχήμα 3.43 είναι ένας αντιπροσωπευτικός τύπος εκκινητήρα με φυσίγγιο, στερεού καυσίμου, ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει και με πεπιεσμένο αέρα. Για εκκίνηση με το φυσίγγιο, το καύσιμο ενεργοποιείται από τάση που διοχετεύεται στον **ηλεκτρικό σύνδεσμο** και μεταφέρεται στη **γόμωση** από την **επαφή ανάφλεξης**. Καθώς το καύσιμο καίγεται παράγονται καυσαέρια τα οποία διοχετεύονται στο **στρόβιλο του εκκινητή** μέσω του ακροφυσίου καυσαερίων περιστρέφοντας με αυτό τον τρόπο τον άξονά του. Στην περίπτωση που η πίεση των καυσαερίων περάσει ένα ορισμένο, προρυθμισμένο όριο, η **βαλβίδα παράκαμψης** διοχετεύει τα καυσαέρια κατευθείαν στο στρόβιλο, παρακάμπτοντας το ακροφύσιο, διατηρώντας έτσι την πίεση σε βέλτιστο όριο.

Για εκκίνηση με αέρα υπό πίεση, ο αέρας διοχετεύεται στην **θυρίδα εισαγωγής**. Για προστασία του στροφείου από υπερστροφία χρησιμοποιείται μια **αεροδυναμική πέδη**, η οποία διατηρεί την ταχύτητα περιστροφής του σε ασφαλή όρια. Η μετάδοση κίνησης από τον άξονα του εκκινητή στο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης του κινητήρα γίνεται μέσω ενός **υποπολλαπλασιαστή στροφών** και ενός **συμπλέκτη**.

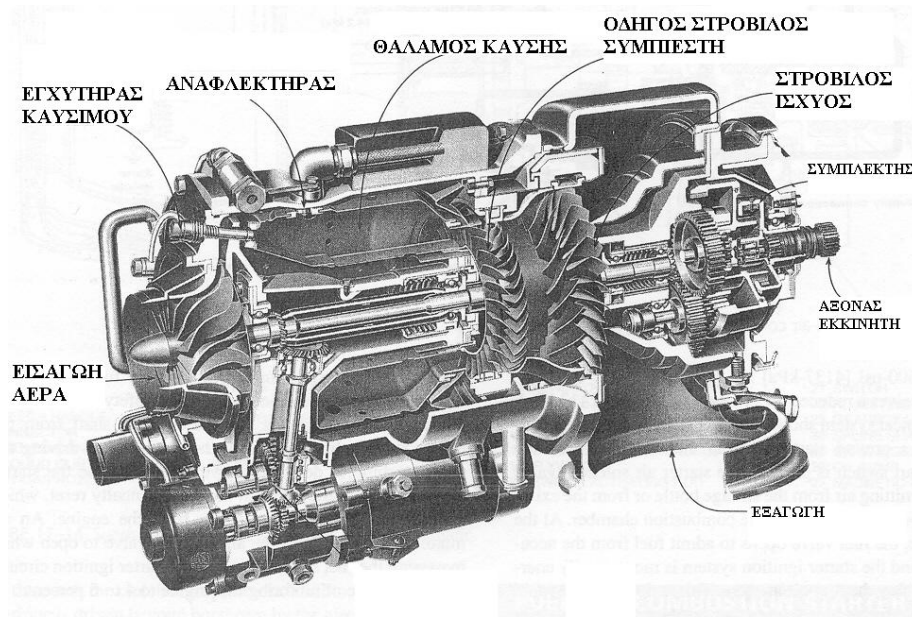


Σχήμα 3.43 Διάγραμμα εκκινητήρα με φυσίγειο.

3.7.1.5 Εκκίνηση με αξονοστρόβιλο

Ο εκκινητής αυτός είναι ένας **αξονοστρόβιλος κινητήρας**, ο οποίος είναι μια αυτόνομη μονάδα που δεν απαιτεί την παροχή αέρα από εξωτερική πηγή για τη λειτουργία της. Βασικό χαρακτηριστικό του είναι η μεγάλη παρεχόμενη ισχύ για το μέγεθός του. Ένας τυπικός εκκινητής αυτού του τύπου φαίνεται στο Σχήμα 3.44. Διαθέτει όλα τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα, όπως **φυγοκεντρικό συμπιεστή**, **θάλαμο καύσης**, **στρόβιλο** που οδηγεί το συμπιεστή και **ελεύθερο στρόβιλο** που οδηγεί τον **άξονα** του εκκινητήρα μέσω **υποπολλαπλασιαστή στροφών** και **συμπλέκτη**. Διαθέτει επίσης και τα απαραίτητα παρελκόμενα ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα, όπως **σύστημα ελέγχου καυσίμου**, **ηλεκτρικό εκκινητήρα**, **σύστημα λίπανσης** και **ανάφλεξης**.

Το **πλεονέκτημα** του αξονοστρόβιλου εκκινητή είναι η δυνατότητά του για **γρήγορη εκκίνηση** λόγω της μεγάλης ροπής που μπορεί να αναπτύξει στον άξονά του και στο γεγονός ότι είναι **αυτόνομη μονάδα** που δεν απαιτεί υποστήριξη από εξοπλισμό εδάφους, για τον οποίο απαιτείται χρόνος για να τεθεί σε λειτουργία και να προσαρμοστεί στο αεροσκάφος.



Σχήμα 3.44 Αξονοστρόβιλος εκκινητής

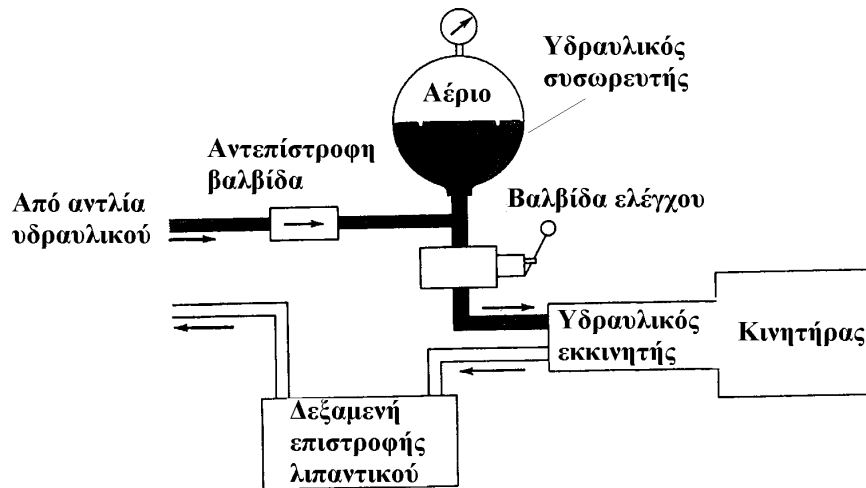
3.7.1.6 Εκκίνηση με υδραυλικό εκκινητή

Οι υδραυλικοί εκκινητές χρησιμοποιούν για τη λειτουργία τους την ενέργεια που έχει μια ποσότητα υδραυλικού υγρού, το οποίο είναι αποθηκευμένο σε δοχείο υπό υψηλή πίεση (**συστήματα περιορισμένης ενέργειας**), ή παρέχεται υπό πίεση από μία αντλία (**συστήματα περιορισμένης ισχύος**).

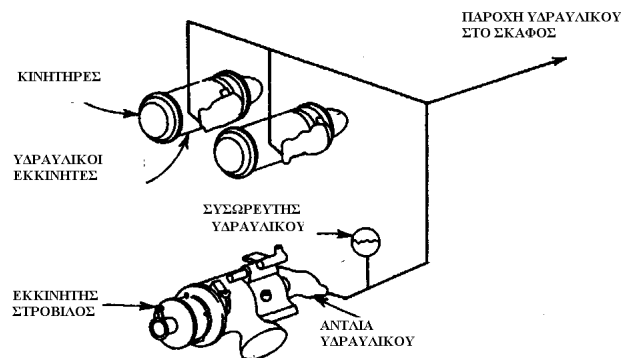
Στην πρώτη περίπτωση (Σχήμα 3.45) το υδραυλικό υγρό αποθηκεύεται σε έναν **υδραυλικό συσσωρευτή (accumulator)**, σε πίεση που μπορεί να φτάσει τα 4000psi. Το υδραυλικό υγρό διοχετεύεται μέσω μιας βαλβίδας, που ανοίγει όταν ενεργοποιείται, σε ένα υδραυλικό μοτέρ, το οποίο περιστρέφεται καθώς περνάει το υγρό από την πτερωτή του. Η λειτουργία του διαρκεί όσο υπάρχει πίεση στο συσσωρευτή και για αυτό το λόγο είναι σχεδιασμένο να εκτελεί τον κύκλο εκκίνησης σε μικρό χρονικό διάστημα. Αυτός ο τύπος εκκινητή χρησιμοποιείται σε μικρούς κινητήρες, που δεν έχουν απαίτηση για μεγάλη ροπή εκκίνησης.

Στη δεύτερη περίπτωση (Σχήμα 3.46), η αντλία που παρέχει πίεση στον υδραυλικό εκκινητή οδηγείται από άξονα του βοηθητικού συστήματος εκκίνησης (APU) που διαθέτει το σκάφος. Αυτός ο τύπος εκκίνησης χρησιμοποιείται σε σκάφη με περισσότερους από έναν κινητήρες. Το βοηθητικό σύστημα εκκίνησης παράγει με την αντλία του υδραυλικό υγρό υπό πίεση, το οποίο διοχετεύει μέσω σωληνώσεων στα υδραυλικά μοτέρ των κινητήρων για την εκκίνησή τους. Χρησιμοποιείται επίσης για την παροχή υδραυλικού υγρού και στο υδραυλικό σύστημα του σκάφους. Η παραγόμενη από το σύστημα πίεση χρησιμοποιείται και για την εκκίνηση του βοηθητικού

συστήματος εκκίνησης (με τον τρόπο που είδαμε παραπάνω) μέσω υδραυλικού το οποίο αποθηκεύεται σε υδραυλικό συσσωρευτή. Με αυτό τον τρόπο εξοικονομείται βάρος, αφού δεν είναι αναγκαία η χρήση άλλου συστήματος εκκίνησης για το βοηθητικό σύστημα, όπως για παράδειγμα με ηλεκτρικό μοτέρ.



Σχήμα 3.45 Υδραυλικό σύστημα εκκίνησης περιορισμένης ενέργειας



Σχήμα 3.46 Υδραυλικό σύστημα εκκίνησης περιορισμένης ισχύος

3.8 Συστήματα ανάφλεξης

3.8.1 Γενικά

Ο σκοπός του **συστήματος ανάφλεξης** είναι η παροχή θερμικής ενέργειας στο μείγμα καυσίμου αέρα, η οποία θα είναι τέτοιας έντασης που θα μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη του σε όλες τις πιθανές συνθήκες πτήσεως, που μπορεί να αντιμετωπίσει το αεροσκάφος. Όλοι οι τύποι των αεροστροβίλων μπορούν να εκκινηθούν κάτω από ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας,

περιβάλλοντος και ατμοσφαιρικής πίεσης. Κάτω όμως από συνθήκες πτήσης σε μεγάλα ύψη, όπου θα πρέπει να είναι ικανός ένας κινητήρας να μπορεί να εκκινεί στην περίπτωση που σβήσει, οι συνθήκες δεν είναι καθόλου ευνοϊκές. Οι χαμηλές θερμοκρασίες της τάξης των -50°C σε ύψος πτήσης 10km μειώνουν την πτητικότητα του καυσίμου, κάνοντας δύσκολη την ανάφλεξη του. Επίσης η ανάφλεξη του καυσίμου στον αεριοστρόβιλο γίνεται με περίσσεια αέρα, δηλαδή με φτωχό μείγμα, το οποίο περνάει από τον αναφλεκτήρα με μεγάλη ταχύτητα.

Για να έχουμε λοιπόν ανάφλεξη ενός **φτωχού μείγματος** αέρα καυσίμου, σε πολύ **χαμηλές θερμοκρασίες** και στο **μικρό χρονικό διάστημα**, κατά το οποίο αυτό έρχεται σε επαφή με τους αναφλεκτήρες, θα πρέπει το σύστημα ανάφλεξης να έχει τη δυνατότητα να παρέχει σπινθήρα μεγάλης έντασης, αυξάνοντας σημαντικά την θερμοκρασία του μείγματος.

Ένα άλλο πρόβλημα που δυσχεραίνει την ανάφλεξη του μείγματος είναι οι **επικαθήσεις καταλοίπων καύσης** στον αναφλεκτήρα. Η καύση σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα είναι αυτοσυντηρούμενη, χωρίς να απαιτείται η συνεχής λειτουργία του αναφλεκτήρα. Σε αντίθεση με τους σπινθηριστές ενός εμβολοφόρου κινητήρα, οι οποίοι λειτουργούν συνέχεια και «καίνε» τα κατάλοιπα της καύσης, στους αναφλεκτήρες των αεροστρόβιλων κινητήρων η περιοδική λειτουργία τους, σε συνδυασμό με τα καύσιμα βαρύτερης απόσταξης που χρησιμοποιούνται και τις χαμηλές θερμοκρασίες, δημιουργεί υπολείμματα καύσης στα άκρα τους.

Διάφορα συστήματα ανάφλεξης έχουν αναπτυχθεί για χρήση σε αεριοστρόβιλους κινητήρες. Γενικά τα συστήματα αυτά εμπίπτουν στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

- Τα **επαγωγικά συστήματα**, τα οποία χρησιμοποιούν μετασχηματιστή για να αυξήσουν την τάση σε επίπεδα που μπορεί να σχηματιστεί σπινθήρας στα άκρα του αναφλεκτήρα. Τα συστήματα αυτά έχουν πλέον ξεπεραστεί.
- Στα **πυκνωτικά συστήματα**, όπου η απαραίτητη τάση για τη λειτουργία του αναφλεκτήρα παράγεται από την εκφόρτιση πυκνωτών. Τα συστήματα αυτά είναι τα πιο ευρέως διαδεδομένα και χρησιμοποιούνται στις μέρες μας.
- Στα **συστήματα ηλεκτρικής αντίστασης**. Τα συστήματα αυτά δεν χρησιμοποιούνται ευρέως. Το πλεονέκτημά τους είναι, ότι δεν δημιουργείται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατά τη λειτουργία τους και δεν απαιτούν χρήση φίλτρου για την αποφυγή παρεμβολών στα ηλεκτρονικά όργανα και τις συσκευές του αεροσκάφους.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τον τρόπο λειτουργίας των πυκνωτικών συστημάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται στην πλειοψηφία των αεριοστρόβιλων κινητήρων.

3.8.2 Πυκνωτικά συστήματα ανάφλεξης

Η βασική απαίτηση για την ανάφλεξη του μείγματος αέρα καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης δεν είναι μόνο η ύπαρξη υψηλής τάσης, η οποία θα υπερπηδήσει τα άκρα του αναφλεκτήρα δημιουργώντας σπινθήρα. Απαιτείται η δημιουργία σπινθήρα με μεγάλη θερμική ενέργεια, η οποία θα μπορέσει να αναφλέξει το μείγμα σε αντίξοες συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και μεγάλης υγρασίας. Η απαίτηση αυτή υπερκαλύπτεται από τα πυκνωτικά συστήματα ή συστήματα υψηλής ενέργειας, γιατί παράγουν μεγάλη τάση, η οποία παράγει με τη σειρά της σπινθήρα μεγάλης θερμοκρασίας που καλύπτει μεγάλη επιφάνεια.

Η ενέργεια που αποδεδεμεύεται από το σύστημα ανάφλεξης και συνεπώς η θερμοκρασία του σπινθήρα, είναι ανάλογη της έντασης του ρεύματος και του χρόνου που εφαρμόζεται η τάση στα άκρα του αναφλεκτήρα. Δημιουργία σπινθήρα μεγάλης θερμοκρασίας έχουμε όταν αυξήσουμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αναφλεκτήρα, ή όταν μειώσουμε τον χρόνο σπινθηρισμού. Το πρώτο συνεπάγεται μεγάλο και βαρύ πυκνωτή, ενώ το δεύτερο δυσχεραίνει την ανάφλεξη του μείγματος.

Τα πυκνωτικά συστήματα ανάφλεξης διακρίνονται στα παρακάτω συστήματα:

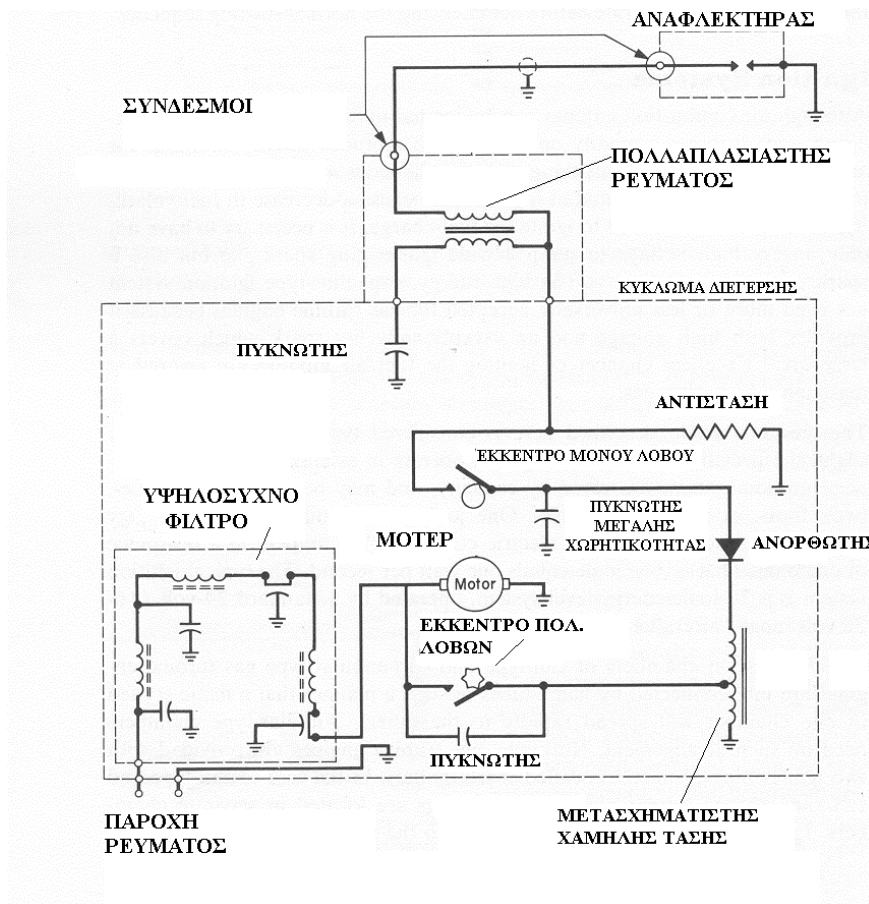
- στα πυκνωτικά συστήματα **υψηλής τάσης** εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος, και
- στα πυκνωτικά συστήματα **χαμηλής τάσης** εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος.

Ένα τυπικό σύστημα ανάφλεξης υψηλής τάσης φαίνεται στο Σχήμα 3.47. Για λόγους ασφαλείας χρησιμοποιούνται δύο αναφλεκτήρες, κάθε ένας από τους οποίους διαθέτει ανεξάρτητη μονάδα ανάφλεξης, με κοινή όμως πηγή τροφοδοσίας τη μπαταρία του σκάφους. Η τάση αυτή διέρχεται πρώτα από ένα ηλεκτρονικό φίλτρο που έχει ως σκοπό να αποκόπτει συχνότητες που προκαλούν παρεμβολές στα συστήματα επικοινωνίας του αεροσκάφους.

Το πρώτο συγκρότημα του συστήματος συμπεριλαμβανομένου του φίλτρου, ονομάζεται **κύκλωμα διέγερσης**. Όταν ο διακόπτης του συστήματος ανοίξει, συνεχές ρεύμα από τη μπαταρία διοχετεύεται σε ένα ηλεκτρικό μοτέρ, το οποίο περιστρέφει δύο έκκεντρα. Το ένα είναι **έκκεντρο πολλαπλών λοβών** στο κύκλωμα διέγερσης, ενώ το άλλο είναι **έκκεντρο μονού λοβού** και

βρίσκεται στο κύκλωμα ανάφλεξης. Σκοπός του έκκεντρου πολλαπλών λοβών είναι η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος της μπαταρίας σε διακοπτόμενο¹, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο μετασχηματισμός του από τον μετασχηματιστή χαμηλής τάσης.

Με τη χρήση του μετασχηματιστή χαμηλής τάσης, η τάση του ρεύματος αυξάνεται από 24V σε 2000 V. Το ρεύμα αυτό στη συνέχεια περνάει μέσω ενός ανορθωτή και αποθηκεύεται σε πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας. Η λειτουργία του ανορθωτή είναι η αποφυγή εκφόρτισης του πυκνωτή και ροής του ρεύματος προς το μετασχηματιστή χαμηλής τάσης. Με τη χρήση του ανορθωτή έχουμε και μετατροπή του διακοπτόμενου ρεύματος σε συνεχές.



Σχήμα 3.47 Τυπικό πυκνωτικό σύστημα ανάφλεξης υψηλής τάσης

Το έκκεντρο μονού λοβού έχει ως σκοπό τη διακοπή του κυκλώματος χαμηλής τάσης για να δώσει αρκετό χρόνο στον πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας να φορτιστεί. Τη στιγμή που θα κλείσουν οι επαφές από το

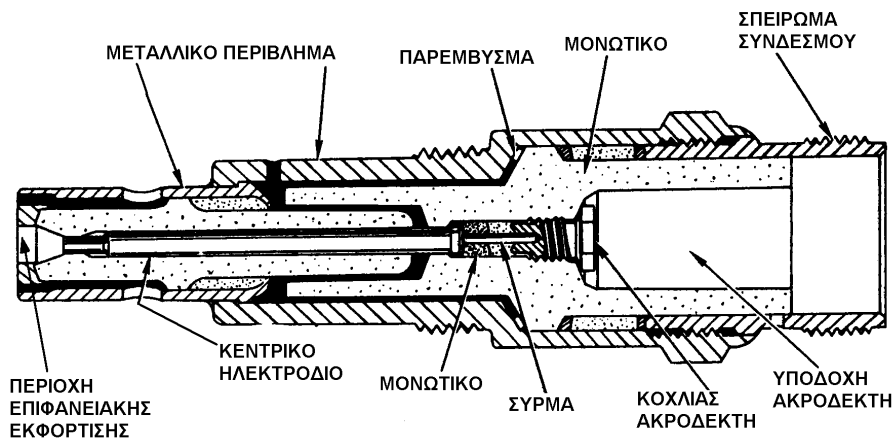
¹ Η τάση του ρεύματος μεταβάλλεται περιοδικά από μηδέν σε μέγιστη χωρίς να παίρνει ενδιάμεσες τιμές.

έκκεντρο μονού λοβού, ένας παλμός συνεχούς ρεύματος διοχετεύεται στο πρωτεύον πηνίο του μετασχηματιστή υψηλής τάσης. Ο μετασχηματιστής αυτός μετατρέπει την τάση των 2000V σε 28000V, η οποία είναι μια τάση αρκετά μεγάλη για να έχουμε υπερπήδηση του ρεύματος στο κενό μεταξύ των ηλεκτροδίων του αναφλεκτήρα και δημιουργία του απαραίτητου σπινθήρα για την ανάφλεξη του μείγματος. Αν και η υψηλή τάση από μόνη της είναι ικανή να δημιουργήσει σπινθήρα, είναι απαραίτητη η χρήση του πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας για να έχει μεγάλη ενέργεια ο σπινθήρας.

3.8.3 Αναφλεκτήρες

Οι αναφλεκτήρες των αεριοστροβίλων κινητήρων έχουν αρκετές ομοιότητες στη αρχή λειτουργίας και στην κατασκευή τους με τους σπινθηριστές των εμβολοφόρων κινητήρων. Οι κατασκευαστικές διαφορές τους οφείλονται στην απαίτηση για σπινθήρα μεγαλύτερης ενέργειας, ο οποίος να καλύπτει μεγάλη επιφάνεια, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την πιθανότητα ανάφλεξης του μείγματος.

Κατασκευάζονται σε πολλούς τύπους και διαφορετικά μεγέθη και σχήματα ανάλογα με τις απαιτήσεις για τάση λειτουργίας και διαμόρφωση του θαλάμου καύσης. Ο πιο διαδεδομένος τύπος αναφλεκτήρα είναι ο αναφλεκτήρας **επιφανειακής εκφόρτισης (surface discharge ή annular gap - Σχήμα 3.48).**



Σχήμα 3.48 Χαρακτηριστικός τύπος αναφλεκτήρα επιφανειακής εκφόρτισης

Ένας τυπικός αναφλεκτήρας αποτελείται από τα παρακάτω μέρη :

- Ένα **ηλεκτρόδιο**, στο οποίο μεταφέρεται το ρεύμα από το σύστημα ανάφλεξης. Το ηλεκτρόδιο κατασκευάζεται από κράματα νικελίου για αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται από το σπινθήρα.

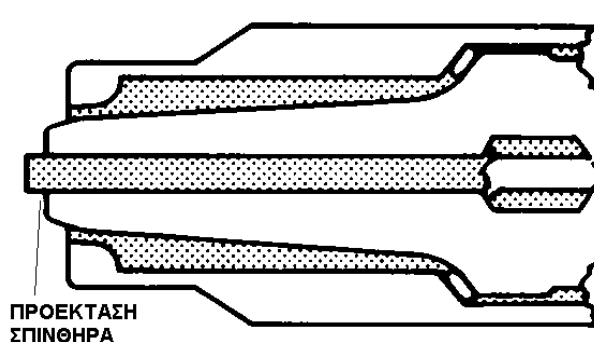
- Το **μεταλλικό περίβλημα**, στο οποίο γειώνεται ο σπινθήρας. Το περίβλημα κατασκευάζεται από ανοξείδωτο ατσάλι ή κράματα νικελίου, για αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες του θαλάμου καύσης.
- Το **μονωτικό υλικό** που διαχωρίζει το ηλεκτρόδιο από το περίβλημα και αποτρέπει το σχηματισμό σπινθήρα σε άλλο σημείο του, εκτός από την κεφαλή του. Το μονωτικό υλικό κατασκευάζεται από κεραμικό υλικό, όπως οξείδιο του αλουμινίου, το οποίο παρέχει καλή μόνωση σε υψηλές τάσεις και υψηλή αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις και μεγάλη θερμική αγωγιμότητα.

Ο σχηματισμός του σπινθήρα είναι αποτέλεσμα της **διαφοράς δυναμικού** που επικρατεί μεταξύ του **ηλεκτροδίου** και του **μεταλλικού περιβλήματος** του σπινθηριστή. Για τάσεις της τάξης των **χιλιάδων βόλτ** που αναπτύσσονται από το σύστημα ανάφλεξης δεν απαιτείται η ύπαρξη αγωγίμου μέσου για την μεταφορά ρεύματος.

Για την καλύτερη ψύξη τους κάποιοι τύποι αναφλεκτήρων ψύχονται από τον αέρα ψύξης του θαλάμου καύσης, ο οποίος διέρχεται από τη βάση του αναφλεκτήρα και τον ψύχει, πριν εισέλθει στο θάλαμο καύσης.

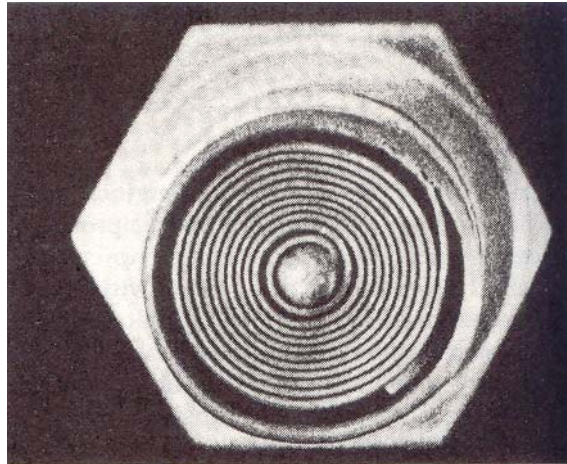
Ένα μειονέκτημα του αναφλεκτήρα επιφανειακής εκφόρτισης είναι, ότι για να έχει καλύτερη αποτελεσματικότητα τοποθετείται σε θέση που προεξέχει από την επιφάνεια του ελάσματος του θαλάμου καύσης, με αποτέλεσμα να λειτουργεί σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες.

Μια παραλλαγή του αναφλεκτήρα επιφανειακής εκφόρτισης είναι ο σπινθηριστής **περιορισμένου διακένου (constrained gap)**. Σε αυτόν τον τύπο ο σπινθήρας εκτείνεται πάνω από την επιφάνεια της κεφαλής του σπινθηριστή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.49, και δεν χρειάζεται να προβάλλει μέσα στο θάλαμο καύσης, λειτουργώντας έτσι σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.



Σχήμα 3.49 Σπινθηριστής περιορισμένου διακένου

Ένας τύπος αναφλεκτήρα που δεν χρησιμοποιείται ευρέως είναι ο τύπος του **αναφλεκτήρα ηλεκτρικής αντίστασης (glow plug)**. Αντί για ηλεκτρόδιο ο τύπος αυτός διαθέτει κεφαλή κατασκευασμένη από αντίσταση σε σχήμα σπирάλ, παρόμοια με αυτή ενός αναπτήρα αυτοκινήτου (Σχήμα 3.50), η οποία πυρακτώνεται όταν διαρρέεται από ρεύμα, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος ανάφλεξης.



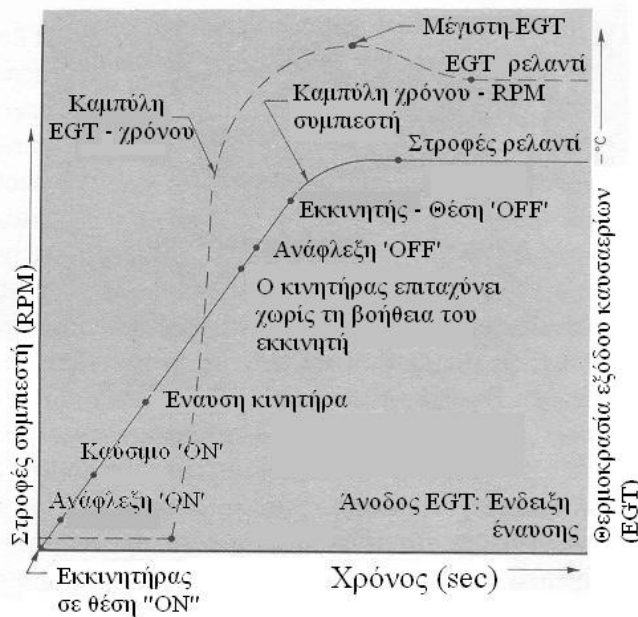
Σχήμα 3.50 Σπινθηριστής ηλεκτρικής αντίστασης

3.8.4 Διαδικασία εκκίνησης αεριοστροβίλων κινητήρων

Η εκκίνηση του αεριοστροβίλου κινητήρα είναι μια κρίσιμη διαδικασία, η οποία απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή ενός από τους μεγαλύτερους κινδύνους κατά τη διάρκειά της, την **υπερθέρμανση**, ή ακόμη και το κάψιμο του στροβίλου. Η διαδικασία εκκίνησης περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια (Σχήμα 3.51):

- Περιστροφή του κινητήρα με τον εκκινητήρα σε ένα αριθμό στροφών στις οποίες ο συμπιεστής αυξάνει την πίεση του αέρα σε σημείο που είναι δυνατή η καύση του μείγματος αέρα – καυσίμου στον θάλαμο καύσης.
- Στη συνέχεια ενεργοποιείται το σύστημα ανάφλεξης. Είναι σημαντικό να υπάρχει αρκετή παροχή αέρα μέσα στον κινητήρα κατά τη διάρκεια της εκκίνησης, για τον καθαρισμό του κινητήρα από τυχόν αναθυμιάσεις καυσίμου, από καύσιμο που έχει παραμείνει στον κινητήρα μετά το σβήσιμό του ή από προηγούμενη αποτυχημένη προσπάθεια έναρξης. Ύπαρξη αναθυμιάσεων καυσίμου θα μπορούσαν να προκαλέσουν έκρηξη με τη λειτουργία των αναφλεκτήρων.
- Όταν οι στροφές του κινητήρα φθάσουν το 15% - 20% παρέχουμε καύσιμο βάζοντας τη μανέτα σε θέση σημείο βραδείας λειτουργίας (ρελαντί - **IDLE**), η οποία είναι και η ελάχιστη παροχή καυσίμου προς τον κινητήρα μετά τη

θέση **OFF**. Ταυτόχρονα ο εκκινητής συνεχίζει να είναι ενεργοποιημένος υποβοηθώντας τον κινητήρα στην επιτάχυνσή του, μέχρι την ταχύτητα, από την οποία μπορεί να επιταχύνει μόνος του ο κινητήρας έως το σημείο βραδείας λειτουργίας. Χωρίς επαρκή υποβοήθηση δεν είναι δυνατή η επιτάχυνση του κινητήρα και οι στροφές του παραμένουν σταθερές ή μειώνονται. Σε μία τέτοια περίπτωση έχουμε θερμή εκκίνηση και θα πρέπει να σταματήσει άμεσα η παροχή του καυσίμου και να συνεχιστεί η λειτουργία του εκκινητή για ένα λεπτό, σαν ελάχιστο χρονικό διάστημα (**dry motoring**), για την ψύξη των θερμών μερών του κινητήρα.



Σχήμα 3.51 Ακολουθία εκκίνησης αεριοστρόβιλου κινητήρα

Η διακοπή της λειτουργίας του εκκινητή και του συστήματος ανάφλεξης είναι αυτόματη και τα συστήματα αυτά βγαίνουν εκτός λειτουργίας όταν οι στροφές του κινητήρα φθάσουν στο ρελαντί.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην επανεκκίνηση ενός κινητήρα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στο θερμό τμήμα του κινητήρα και ιδιαίτερα στα πτερύγια της πρώτης κινητής βαθμίδας στροβίλου. Κάποιοι κατασκευαστές απαιτούν για την επανεκκίνηση του κινητήρα να έχει παρέλθει ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα για την ψύξη των πτερυγίων της τουρμπίνας του κινητήρα. Το ίδιο ισχύει για εκκίνηση με χρήση αξονοτρόβιλου εκκινητή, ο στρόβιλος του οποίου μπορεί να υπερθερμανθεί.

3.8.5 Διαδικασία διερεύνησης και αποκατάστασης βλαβών συστήματος ανάφλεξης

Η διαδικασία διερεύνησης βλαβών στο σύστημα ανάφλεξης διαφέρει από κινητήρα σε κινητήρα, λόγω των διαφορετικών συστημάτων ανάφλεξης που υπάρχουν σε χρήση. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να ακολουθείται η διαδικασία διερεύνησης βλαβών του κατασκευαστή για το συγκεκριμένο κινητήρα. Παρακάτω παρατίθενται γενικές οδηγίες για την ανεύρεση βλαβών σε ένα αντιπροσωπευτικό πυκνωτικό σύστημα ανάφλεξης.

3.8.5.1 Απουσία σπινθήρα με το σύστημα ανάφλεξης ενεργοποιημένο.

Στην περίπτωση που δεν έχουμε εκδήλωση σπινθήρα (ενώ το σύστημα ανάφλεξης είναι ενεργοποιημένο και ο κινητήρας έχει ικανές στροφές κατά την εκκίνηση), θα πρέπει αρχικά να γίνει έλεγχος της τροφοδοσίας του κυκλώματος ανάφλεξης από τον **ηλεκτρονόμο (ρελέ)** του κυκλώματος. Η τροφοδοσία του κυκλώματος με ρεύμα γίνεται μέσω ενός ρελέ το οποίο ενεργοποιείται από το πιλοτήριο.¹ Στην περίπτωση αυτή ελέγχουμε για παροχή ρεύματος στο πρωτεύον πηνίο του μετασχηματιστή χαμηλής τάσης. Εάν δεν έχουμε παροχή, η πιο πιθανή αιτία είναι ελαττωματικό ρελέ. Εάν το ρελέ δεν είναι ελαττωματικό, ελέγχουμε την έξοδο του μετασχηματιστή χαμηλής τάσης², για τυχόν διακοπή του κυκλώματος μέσα στο μετασχηματιστή, τον οποίο και αλλάζουμε για να αποκατασταθεί η βλάβη.

Στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής δεν έχει βλάβη, ελέγχουμε για διαρροή ή για ασυνέχεια τα καλώδια παροχής υψηλής τάσης των σπινθηριστών με ένα πολύμετρο. Τέλος ελέγχουμε τους αναφλεκτήρες για σπασμένη μόνωση ή για διάβρωσή τους, ενδείξεις οι οποίες προκαλούν εσωτερική διαρροή ή εμποδίζουν το σχηματισμό σπινθήρα. Σε αυτή την περίπτωση επιβάλλεται η αλλαγή του αναφλεκτήρα.

3.8.5.2 Ύπαρξη μεγάλου διαστήματος μεταξύ δύο διαδοχικών σπινθηρισμών ή αδύνατος σπινθήρας

Αν παρατηρούνται μεγάλα κενά μεταξύ δύο διαδοχικών σπινθηρισμών, δηλαδή δύο διαδοχικών εκφορτίσεων του πυκνωτή του συστήματος ανάφλεξης, αυτό οφείλεται σε αποφορτισμένη μπαταρία. Η διαπίστωση αυτή

¹ Για την αποφυγή χρήσης μεγάλων διακοπών και αγωγών μεγάλης διατομής μέχρι το πιλοτήριο η ενεργοποίηση των κυκλωμάτων του σκάφους και του κινητήρα γίνεται μέσω ρελέ τα οποία απαιτούν μικρής έντασης ρεύμα, άρα και καλώδια μικρής διατομής και μικρότερους διακόπτες για την ενεργοποίησή τους.

² Λαμβάνοντας πάντα όλα τα μέτρα ασφαλείας για εργασία σε υψηλή τάση