

μπορεί να γίνει περιστρέφοντας τον κινητήρα με τον εκκινητή, χωρίς να ανοίξουμε την παροχή καυσίμου στον κινητήρα. Η αποκατάσταση της βλάβης γίνεται με αλλαγή ή φόρτιση της μπαταρίας.

Αν διαπιστωθεί αδύνατος σπινθήρας, η πιο πιθανή αιτία είναι εσωτερική διαρροή στον αναφλεκτήρα από ρωγμή στην κεραμική του μόνωση. Η βλάβη αυτή μπορεί να αποκατασταθεί εύκολα με αλλαγή του αναφλεκτήρα.

3.9 Προστασία από παγοποίηση.

Η δημιουργία πάγου στους αεριοστρόβιλους κινητήρες (όπως και σε ορισμένα σημεία του σκάφους) είναι ένα συχνό φαινόμενο ιδιαίτερα σε πτήσεις όπου επικρατούν συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλής υγρασίας. Ο σχηματισμός πάγου παρατηρείται στην εισαγωγή του κινητήρα και συγκεκριμένα στο χείλος προσβολής της εισαγωγής του κινητήρα και στα οδηγία περύγια του συμπιεστή.

Ο σχηματισμός του πάγου μπορεί να αρχίσει και σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες του μηδενός, λόγω πτώσης της θερμοκρασίας τοπικά στην εισαγωγή του κινητήρα. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που έχουμε χαμηλή ή μηδενική ταχύτητα πτήσης και υψηλές στροφές κινητήρα, όπως σε φάσεις λειτουργίας του κινητήρα κατά τη διάρκεια της απογείωσης ή στο έδαφος.

Η αύξηση της ταχύτητας του αέρα μέσα στην εισαγωγή λόγω της υποπίεσης που δημιουργεί ο κινητήρας κατά τη λειτουργία του στις παραπάνω συνθήκες, προκαλεί πτώση της στατικής πίεσης και της θερμοκρασίας του αέρα. Αν υπάρχει υγρασία στον εισερχόμενο αέρα, έχουμε σχηματισμό πάγου ο οποίος μπορεί να συσσωρευτεί σε μεγάλες ποσότητες, σε μικρό χρονικό διάστημα, αν δεν γίνουν άμεσα αντιληπτές οι συνθήκες παγοποίησης. Το εγχειρίδιο πτήσης του αεροσκάφους αναφέρει σε ποιά θερμοκρασία θα πρέπει το σύστημα αντιπαγοποίησης να ενεργοποιείται.

Ο σχηματισμός πάγου στην εισαγωγή μπορεί να προκαλέσει τα παρακάτω φαινόμενα:

- Τη **μείωση της διατομής της εισαγωγής** και άρα τη μείωση της εισερχόμενης ποσότητας αέρα στον κινητήρα, με συνέπεια τη μείωση της ώσης του κινητήρα και την αύξηση της θερμοκρασίας εξαγωγής καυσαερίων.
- Ο σχηματισμός πάγου δε γίνεται με ομοιόμορφο τρόπο και συμμετρικά γύρω από την εισαγωγή προκαλώντας διαταραχή του αέρα μέσα στην εισαγωγή, φαινόμενο που μπορεί να προκαλέσει **αστάθεια της ροής** του αέρα στο συμπιεστή, η οποία μπορεί στη συνέχεια να εξελιχθεί σε απώλεια στήριξης και καταστροφή του συμπιεστή.

- Από τη στιγμή που υπάρχουν ευνοϊκές συνθήκες παγοποίησης και ο κινητήρας βρίσκεται για αρκετή ώρα σε τέτοιες συνθήκες ο πάγος συσσωρεύεται στα σημεία που σχηματίζεται και υπάρχει ο **κίνδυνος αποκόλλησης** του από την εισαγωγή και εισρόφησής του από το συμπιεστή, με επακόλουθες καταστροφικές συνέπειες.

Πρόβλημα σχηματισμού πάγου μπορεί επίσης να παρουσιαστεί στο σύστημα καυσίμου και ειδικότερα στο φίλτρο εισαγωγής καυσίμου, όταν η θερμοκρασία του καυσίμου είναι αρκετά χαμηλή, όπως σε πτήσεις μεγάλης διάρκειας σε μεγάλο ύψος.

Για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων οι κατασκευαστές εφοδιάζουν τους κινητήρες με συστήματα προστασίας, τα οποία δεν επιτρέπουν το σχηματισμό πάγου στα «ευαίσθητα» σημεία. Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Τα **συστήματα αντιπαγοποίησης (anti-icing)**, αυτά δηλαδή που αποτρέπουν τον σχηματισμό πάγου. Τα συστήματα αυτά ενεργοποιούνται όταν υπάρχουν ενδείξεις χαμηλής θερμοκρασίας και αυξημένης υγρασίας και δεν επιτρέπουν το σχηματισμό πάγου, κρατώντας αυξημένη τη θερμοκρασία του μερών του κινητήρα που είναι επιρρεπή σε παγοποίηση.
- Τα **συστήματα αποπαγοποίησης (de-icing)**, αυτά δηλαδή που ενεργοποιούνται αφού έχει σχηματιστεί ο πάγος, για τη διάλυσή του. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται περισσότερο σε ελικοστρόβιλους κινητήρες στην εισαγωγή και στη ρίζα του έλικα τους και λειτουργούν με **ηλεκτρικά θερμαντικά στοιχεία** τα οποία τοποθετούνται στο χείλος προσβολής της εισαγωγής του κινητήρα και στη ρίζα της προπέλας.

Ο τρόπος λειτουργίας των μηχανισμών προστασίας από παγοποίηση περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

3.9.1 Σύστημα προστασίας από παγοποίηση με αέρα από τον συμπιεστή

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος προστασίας της εισαγωγής του κινητήρα και των οδηγών πτερυγίων του συμπιεστή είναι με την παροχή θερμού αέρα από τον συμπιεστή στο **χείλος προσβολής της εισαγωγής** και στα **οδηγά πτερύγια (inlet guide vanes)** της πρώτης βαθμίδας του συμπιεστή. Αυτός ο τρόπος προστασίας εφαρμόζεται στα σημεία που δημιουργείται πάγος, τα οποία βρίσκονται στη ροή του αέρα εισαγωγής του κινητήρα.

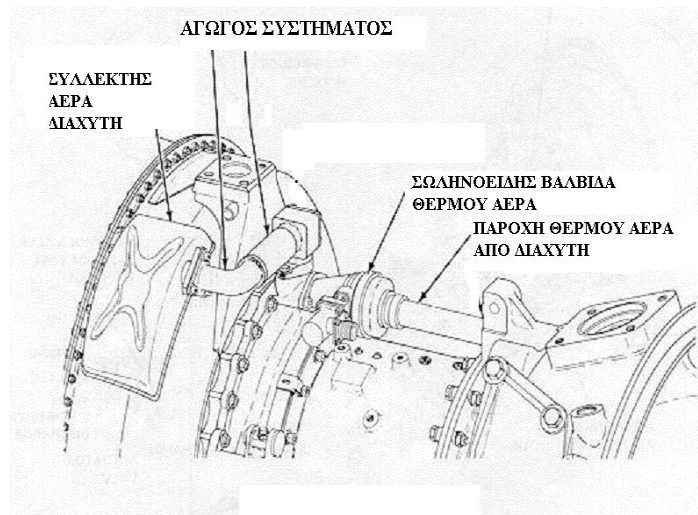
Η παροχή του αέρα γίνεται από διόδους που υπάρχουν στο περίβλημα των τελευταίων βαθμίδων του συμπιεστή ή από το διαχύτη του κινητήρα (Σχήμα 3.52), αφού η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται κατά μήκος του συμπιεστή και έχει τη μέγιστη θερμοκρασία του στο διαχύτη.



Σχήμα 3.52 Οπές εξαγωγής αέρα αντιπάγωσης στο περίβλημα του συμπιεστή

Ένα τυπικό σύστημα αντιπαγοποίησης με αέρα περιλαμβάνει τα ακόλουθα εξαρτήματα (Σχήμα 3.53):

- Έναν **συλλέκτη (bleed air manifold)** του αέρα που εξάγεται. Ο συλλέκτης είναι ένα περίβλημα, το οποίο καλύπτει τις οπές εξόδου του αέρα του συμπιεστή και στεγανοποιεί το περίβλημα του συμπιεστή για διαρροές.

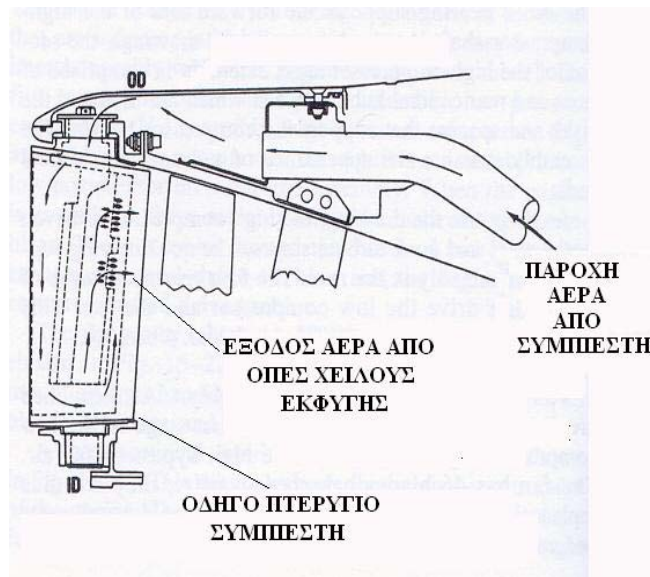


Σχήμα 3.53 Εξαρτήματα αντιπαγοτικού συστήματος αξονοστρόβιλου κινητήρα

- Μια **βαλβίδα ελέγχου ροής (control valve)** η οποία ελέγχεται από τον ρυθμιστή ροής αέρα του συστήματος αντιπάγωσης. Η βαλβίδα αυτή ρυθμίζει ανάλογα με τη θέση της την ποσότητα αέρα που εξάγεται από τον κινητήρα.

- Ένα **ρυθμιστή ροής του αέρα** που παρέχει ο συμπιεστής (**anti-icing air flow regulator**). Αυτός ρυθμίζει τη θέση της βαλβίδας ελέγχου ροής ανάλογα με τη θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής. Η εξαγωγή αέρα από το συμπιεστή προκαλεί και **απώλεια ώσης** (ή ισχύος για τους αξονοστρόβιλους κινητήρες), την οποία θέλουμε να περιορίσουμε στο ελάχιστο. Με τη χρήση ενός συστήματος ελέγχου ροής αέρα επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα με τις ελάχιστες απώλειες.

Ο θερμός αέρας οδηγείται μετά με αγωγούς στα σημεία του κινητήρα που χρειάζονται προστασία από παγοποίηση, όπως στο χείλος προσβολής της εισαγωγής, στον κώνο του ανεμιστήρα (στην περίπτωση κινητήρων με ανεμιστήρα) και στα οδηγά πτερύγια του συμπιεστή.



Σχήμα 3.54 Οδηγό πτερύγιο εισαγωγής συμπιεστή με εσωτερική διαμόρφωση για την διέλευση θερμού αέρα

Τα οδηγά πτερύγια και ο κώνος του ανεμιστήρα διαθέτουν εσωτερική διαμόρφωση που επιτρέπουν τη διέλευση του θερμού αέρα (Σχήμα 3.54). Η έξοδος του αέρα γίνεται από το χείλος εκφυγής των πτερυγίων στο ρεύμα του αέρα εισαγωγής.

Για την αποφυγή δημιουργίας πάγου το σύστημα θα πρέπει να ενεργοποιείται σε «προφανείς» συνθήκες παγοποίησης, όπως χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλή υγρασία. Το σύστημα αντιπάγωσης **δε μπορεί να λειώσει τον πάγο από τη στιγμή που δημιουργηθεί** και υπάρχει κίνδυνος αποκόλλησης

μεγάλων κομματιών και εισαγωγής τους στον κινητήρα. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να είναι ενεργοποιημένο το σύστημα προτού αρχίσει να σχηματίζεται πάγος.

3.9.2 Ηλεκτρικά συστήματα αποπαγοποίησης

Τα ηλεκτρικά συστήματα προστασίας χρησιμοποιούν ηλεκτρικά θερμαντικά στοιχεία τα οποία αποτελούνται από ηλεκτρικές αντιστάσεις, τοποθετημένες ανάμεσα σε στρώματα ελαστικού. Τα θερμαντικά αυτά στοιχεία τοποθετούνται περιφερειακά στην εισαγωγή του κινητήρα. Ένα μέρος του κυκλώματος λειτουργεί συνεχώς διατηρώντας τη θερμοκρασία της εισαγωγής σε επίπεδα που αποτρέπει το σχηματισμό πάγου. Ένα δεύτερο μέρος του κυκλώματος λειτουργεί διακοπτόμενα, από τη στιγμή που θα ενεργοποιηθεί το σύστημα για τη μείωση της απαιτούμενης ισχύος από την γεννήτρια του κινητήρα.

3.9.3 Προστασία παγοποίησης καυσίμου

Στα συστήματα καυσίμου των αεριοστρόβιλων κινητήρων που χρησιμοποιούν φίλτρα πριν από την αντλία καυσίμου του κινητήρα παρατηρείται το φαινόμενο σχηματισμού πάγου στο πλέγμα του φίλτρου, όταν η θερμοκρασία του καυσίμου μέσα στις δεξαμενές πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Σε παλαιότερους τύπους κινητήρων υπήρχε σύστημα παροχής αλκοόλης στο φίλτρο καυσίμου για τη διάλυση του πάγου από το πλέγμα του.

Στους σύγχρονους κινητήρες χρησιμοποιείται σύστημα θέρμανσης καυσίμου, το οποίο χρησιμοποιεί αέρα από το συμπιεστή του κινητήρα για να θερμαίνει το καύσιμο. Η θέρμανση του καυσίμου πραγματοποιείται με τη χρήση ενός εναλλάκτη αέρα – καυσίμου, όπου ο αέρας προέρχεται από το συμπιεστή του κινητήρα. Η συνολική παροχή του καυσίμου που καταναλώνεται περνάει από τον εναλλάκτη, ο οποίος όμως δε θερμαίνει το καύσιμο καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα, αλλά μόνο σε περιπτώσεις πτήσης σε χαμηλές θερμοκρασίες ή μεγάλα ύψη. Στην περίπτωση που αρχίσει σχηματισμός πάγου στο φίλτρο του καυσίμου, δημιουργείται πτώση πίεσης στην παροχή, η οποία γίνεται αντιληπτή από έναν αισθητήρα πίεσης που βρίσκεται στο φίλτρο. Η βαλβίδα αυτή ενεργοποιεί μια προειδοποιητική λυχνία στο πιλοτήριο προειδοποιώντας για συνθήκες δημιουργίας πάγου.

3.10 Συστήματα πυρόσβεσης

Η εμφάνιση πυρκαγιάς σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα και η επέκτασή της στο σκάφος είναι ένας κίνδυνος υπαρκτός, λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που επικρατούν κατά τη λειτουργία του, αλλά και των εύφλεκτων υλικών

που χρησιμοποιούνται για τις διάφορες λειτουργίες του. Επίσης πυρκαγιές μπορεί να προκληθούν από αστοχίες εξαρτημάτων ή συστημάτων του κινητήρα, όπως θραύση περυγίων στροβίλου, διαρροές καυσίμου, υδραυλικού και λιπαντικού και κάψιμο του αγωγού εξαγωγής του κινητήρα από ελαττωματικό εγχυτήρα καυσίμου.

Η ύπαρξη ενός μόνιμου συστήματος αντιμετώπισης πυρκαγιάς στον κινητήρα είναι επιβεβλημένη από τις αρχές που διέπουν την αεροπορική νομοθεσία για το σχεδιασμό αεροπορικού υλικού. Ως μόνιμο περιγράφεται ένα σύστημα εγκατεστημένο στο σκάφος και όχι φορητός εξοπλισμός κατάσβεσης.

Η τοποθέτηση του συστήματος πυρανίχνευσης και κατάσβεσης γίνεται σε συγκεκριμένες ζώνες του κινητήρα που υπάρχει ο κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς. Οι ζώνες αυτές χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη πηγών ανάφλεξης σε συνδυασμό με αναθυμιάσεις εύφλεκτων υλικών και γραμμές σωληνώσεων με πιθανότητα διαρροής εύφλεκτων υγρών.

Οι ζώνες στις οποίες χωρίζεται ένας αεριοστρόβιλος κινητήρας είναι οι ακόλουθες:

- Η **ζώνη ισχύος (power section)** του κινητήρα, η οποία περιλαμβάνει τους θαλάμους καύσης, το συγκρότημα του στροβίλου και τον αγωγό εξαγωγής του κινητήρα.
- Η **ζώνη του συμπιεστή και των παρελκομένων**, η οποία περιλαμβάνει το συμπιεστή και όλα τα παρελκόμενα του κινητήρα.
- Τέλος, η ζώνη που περιλαμβάνει το συγκρότημα του κινητήρα, στις περιπτώσεις κινητήρων που δεν διαθέτουν πυροπροστατευτικό διαχωριστικό μεταξύ των δύο παραπάνω ζωνών.

3.10.1 Αιτίες πρόκλησης πυρκαγιάς και πρόληψη εκδήλωσής της.

Για την επιτυχή αντιμετώπιση και κατάσβεση μιας πυρκαγιάς θα πρέπει να γνωρίζουμε τα αίτια που μπορούν να την προκαλέσουν και τους παράγοντες που βοηθούν στη διατήρηση και την εξάπλωσή της.

Η πυρκαγιά είναι μια χημική αντίδραση μεταξύ του οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα και κάποιου υδρογονάνθρακα, στην περίπτωσή μας καυσίμου, λιπαντικού ή υδραυλικού υγρού που εκδηλώνεται, όταν τα δύο παραπάνω στοιχεία βρεθούν σε συνθήκες μεγάλης θερμοκρασίας ή πηγής ανάφλεξης, όπως φλόγα ή σπινθήρας. Ο τρόπος **αποτροπής εκδήλωσης και εξάπλωσης** μιας πυρκαγιάς είναι η αποφυγή της συνύπαρξης και των τριών παραπάνω παραγόντων ταυτόχρονα.

Αυτό μπορεί να γίνει με σωστό σχεδιασμό των μερών και εξαρτημάτων του κινητήρα, την χρήση υλικών κατάλληλης ποιότητας και τη σωστή χωροθέτησή τους στον κινητήρα. Για παράδειγμα η χρήση κατάλληλης ποιότητας υλικού των καλωδίων υψηλής τάσης των αναφλεκτήρων, αποτρέπει την διαρροή ρεύματος και το σχηματισμό σπινθήρα έξω από το καλώδιο. Επίσης η χρήση πυροπροστατευτικών διαχωριστικών μεταξύ των ζωνών του συμπιεστή και της ζώνης ισχύος και η ψύξη του περιβλήματος του κινητήρα από αέρα του περιβάλλοντος για αποφυγή αύξησης της θερμοκρασίας μέσα στο αεροδυναμικό κάλυμμα του κινητήρα είναι μέτρα πρόληψης εκδήλωσης πυρκαγιάς.

Οι αιτίες πρόκλησης πυρκαγιάς σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες:

- Προβληματική ροή αέρα μέσα στον κινητήρα από διαταραχή της ροής μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση του περιβλήματος του θαλάμου καύσης και των πτερυγίων του στροβίλου με συνέπεια την θραύση τους. Η θραύση πτερυγίων μπορεί να προκαλέσει διάτρηση του περιβλήματος του στροβίλου, των παρελκομένων και των σωληνώσεων γύρω από αυτό και διάτρηση των δεξαμενών του αεροσκάφους.
- Υπερθέρμανση μπορούν να προκαλέσουν και βλάβες στο ρυθμιστή καυσίμου και στο σύστημα ελέγχου του κινητήρα, με αποτέλεσμα την έγχυση υπερβολικής ποσότητας καυσίμου σε σχέση με την ποσότητα αέρα που παρέχει ο συμπιεστής.
- Αστοχίες περιστρεφόμενων εξαρτημάτων από κόπωση. Τα πτερύγια και οι δίσκοι του στροβίλου μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιά από διάνοιξη του περιβλήματος του στροβίλου.
- Διαρροή ενός από τα εύφλεκτα υγρά του κινητήρα σε θερμή περιοχή.

3.10.2 Σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς

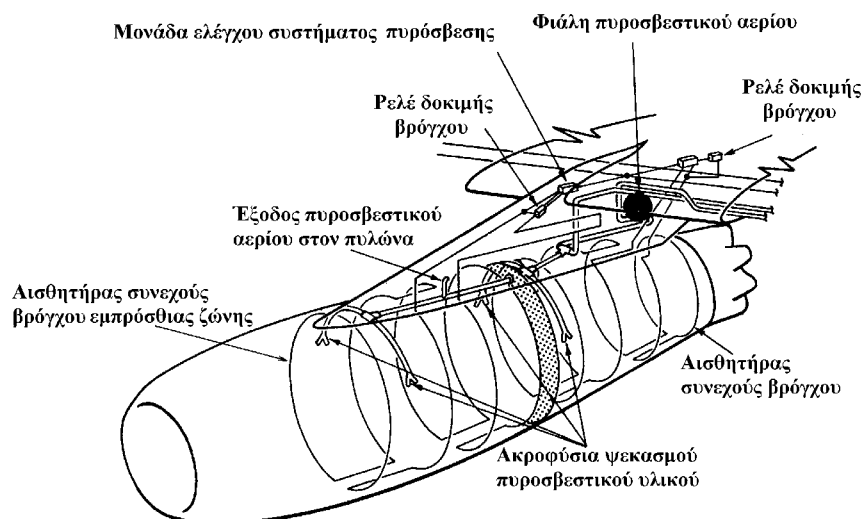
Το πρώτο βήμα για την καταστολή μιας πυρκαγιάς είναι η ανίχνευσή της. Όσο πιο γρήγορα ανιχνευτεί τόσο μικρότερη θα είναι η έκταση, αλλά και η ποσότητα του πυροσβεστικού μέσου που απαιτείται για την κατάσβεσή της. Η φιλοσοφία σχεδιασμού και εγκατάστασης συστημάτων πυρόσβεσης σε έναν αεροπορικό κινητήρα είναι η έγκαιρη ανίχνευση της πυρκαγιάς, έτσι ώστε το περιορισμένου βάρους κατασβεστικό υλικό που διαθέτει, να μπορέσει να αντιμετωπίσει την πυρκαγιά στα πρώτα στάδιά της, πριν αυτή εξαπλωθεί.

Η ανίχνευση πυρκαγιάς σε έναν κινητήρα γίνεται με τη χρήση ενός κυκλώματος πυρανίχνευσης που αποτελείται από τα ακόλουθα εξαρτήματα:

- αισθητήρες θερμοκρασίας κλειστού βρόγχου,
- μονάδες ελέγχου των βρόγχων,
- ένα ρελέ ενεργοποίησης του συστήματος,
- συσκευές προειδοποίησης στο πιλοτήριο.

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας κάθε κυκλώματος αποτελούνται από ένα σύστημα αισθητήρων συνεχούς βρόγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στα σημεία που περιβάλλουν τον κινητήρα, στις περιοχές που θέλουμε να προστατέψουμε, όπως γύρω από το θάλαμο καύσης και τον αγωγό εξαγωγής καυσαερίων, ο οποίος περιλαμβάνει και την περιοχή του μετακαυστήρα, για τους κινητήρες που διαθέτουν σύστημα μετάκαυσης. Κάποιοι κινητήρες διαθέτουν αισθητήρες και σε περιοχές γύρω από το συμπιεστή και τα παρελκόμενα, οι οποίες προστατεύονται με ξεχωριστό κύκλωμα πυρόσβεσης.

Στο Σχήμα 3.55 φαίνεται η θέση των αισθητήρων στο αεροδυναμικό περίβλημα του κινητήρα. Ο **αισθητήρας συνεχούς βρόγχου** αποτελείται από μια σειρά αισθητήρων, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και σχηματίζουν μια συνεχή γραμμή, η οποία καλύπτει τις περιοχές που «χρειάζονται» ανίχνευση και τοποθετούνται στο εσωτερικό του αεροδυναμικού καλύμματος του κινητήρα. Το σύστημα ανίχνευσης αποτελείται από αρκετούς τέτοιους βρόγχους, οι οποίοι συνδέονται με μία **μονάδα ελέγχου** για κάθε κινητήρα.



Σχήμα 3.55 Τυπική εγκατάσταση συστήματος πυρανίχνευσης σε κινητήρα

Η μονάδα ελέγχου αποτελείται από έναν ενισχυτή και ένα ρελέ δοκιμής του βρόγχου, το οποίο χρησιμοποιείται για να προσομοιώνει κατάσταση υπερθέρμανσης για τη δοκιμή του συστήματος. Ο ρόλος του ενισχυτή είναι η ενίσχυση του σήματος που δέχεται από τους αισθητήρες έτσι ώστε να μπορεί να οπλίσει ένα ρελέ το οποίο ενεργοποιεί τις συσκευές προειδοποίησης στο πιλοτήριο. Οι συσκευές προειδοποίησης περιλαμβάνουν προειδοποιητικές λυχνίες για κάθε κύκλωμα πυρανίχνευσης και ένα κοινό βομβητή κινδύνου για όλα τα κυκλώματα. Οι συσκευές αυτές είναι τοποθετημένες στο πιλοτήριο του αεροσκάφους.

Οι προειδοποιητικές λυχνίες για κάθε κινητήρα συνήθως βρίσκονται πάνω σε ειδικούς μοχλούς σχήματος «T» (**T-handles**) στην κονσόλα των οργάνων του πιλοτηρίου, οι οποίοι ενεργοποιούν το σύστημα πυρόσβεσης όταν τραβηχτούν από το χειριστή. Σε κάποιους τύπους αεροσκαφών με την ενεργοποίηση των διακοπών αυτών ενεργοποιούνται **βαλβίδες διακοπής παροχής καυσίμου (fuel shut off valves)**.

3.10.3 Καταστολή

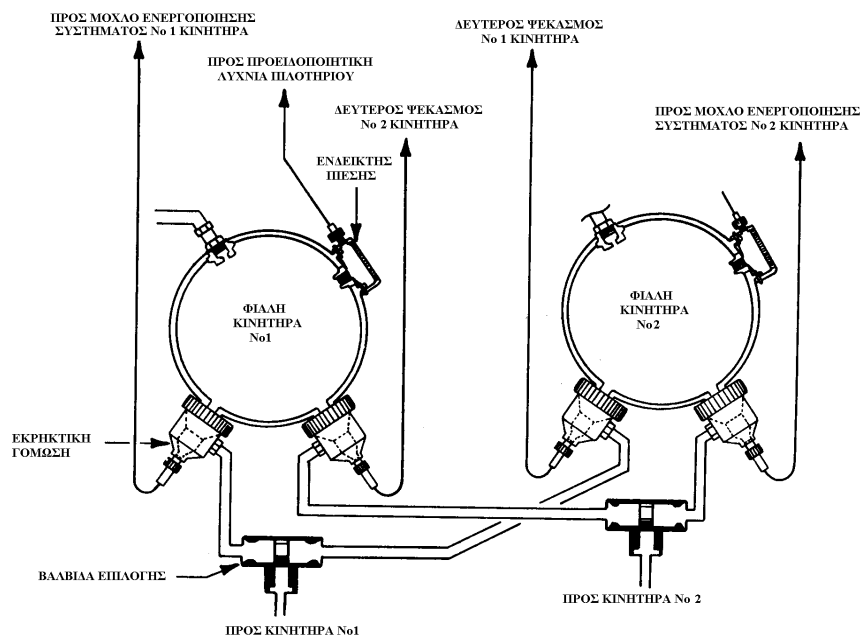
Το επόμενο βήμα, μετά την ανίχνευση μιας πυρκαγιάς, είναι η διαδικασία κατάσβεσής της. Για να περιοριστεί η έκταση μιας φωτιάς και να κατασβεστεί, θα πρέπει να εξαλείψουμε ένα τουλάχιστον από τα στοιχεία που την προκαλούν, δηλαδή την καύσιμη ύλη, το οξυγόνο ή την υψηλή θερμοκρασία. Οι τρόποι για την καταστολή πυρκαγιών σε αεριοστροβίλους κινητήρες είναι η αραίωση, ή η μετατόπιση του ατμοσφαιρικού αέρα από την εστία της πυρκαγιάς, σε επίπεδα που δεν είναι δυνατή η διατήρηση της καύσης και πτώση της θερμοκρασίας επίσης κάτω από το σημείο ανάφλεξης της καύσιμης ύλης.

Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλα πυροσβεστικά υλικά που στην περίπτωση των συστημάτων πυρόσβεσης αεριοστροβίλων κινητήρων λειτουργούν με τη μετατόπιση του ατμοσφαιρικού αέρα από την εστία της πυρκαγιάς από ένα αδρανές αέριο, ένα αέριο δηλαδή που δεν διατηρεί την καύση. Τα πυροσβεστικά υγρά που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως το **διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)** και οι **αλογονομένοι υδρογονάνθρακες (HALON)**.

Ένα **τυπικό σύστημα πυρόσβεσης** αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- **Φιάλες** που περιέχουν το πυροσβεστικό αέριο υπό πίεση και το οποίο τοποθετείται σε χώρο κοντά στον κινητήρα (ή στον πυλώνα του κινητήρα για την περίπτωση κινητήρα που τοποθετείται στην πτέρυγα του αεροσκάφους)

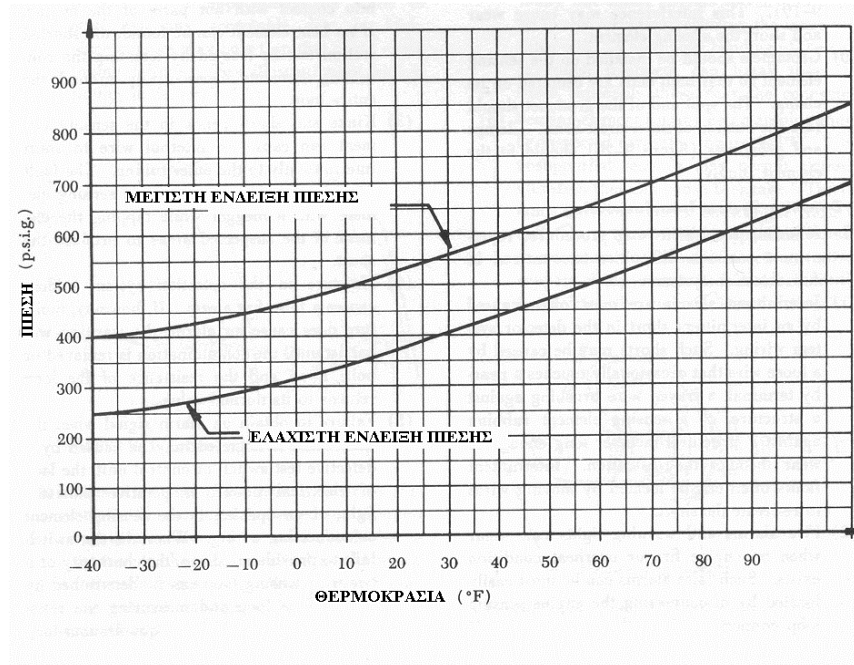
- Μια **βαλβίδα** σε κάθε φιάλη, η οποία ενεργοποιείται ηλεκτρικά από το πιλοτήριο (Σχήμα 3.56). Σε περιπτώσεις πολυκινητήριων αεροσκαφών κάθε φιάλη περιλαμβάνει δύο βαλβίδες, μία για κάθε κινητήρα της ίδιας πτέρυγας. Με αυτό το σύστημα μπορεί να πραγματοποιηθεί κατάσβεση οποιουδήποτε από τους δύο κινητήρες, από το σύστημα του άλλου. Επίσης έχοντας μία φιάλη για κάθε κινητήρα, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατάσβεση και των δύο, δίνει τη δυνατότητα δεύτερης προσπάθειας κατάσβεσης. Εξασφαλίζουμε, τέλος τη λειτουργία του ενός από τα δύο συστήματα σε περίπτωση αστοχίας ή δυσλειτουργίας ενός από τα δύο.



Σχήμα 3.56 Σχηματική παράσταση και συνδεσμολογία συστήματος κατάσβεσης πυρκαγιάς πολυκινητήριου αεροσκάφους

- **Ακροφύσια ψεκάσμου** τοποθετημένα σε κατάλληλα σημεία, μέσα στο αεροδυναμικό κάλυμμα του κινητήρα, για την ομοίμορφη κάλυψη του χώρου που καταλαμβάνει ο κινητήρας.
- Τις απαραίτητες **σωληνώσεις** που οδηγούν το πυροσβεστικό υγρό από τα δοχεία στα ακροφύσια ψεκάσμου που είναι τοποθετημένα στο περίβλημα του κινητήρα.
- Ένα **διακόπτη** για κάθε κινητήρα τοποθετημένο στο πιλοτήριο, με τον οποίο ενεργοποιείται το σύστημα πυρόσβεσης για κάθε κινητήρα.

- Ένα διακόπτη δοκιμής του συστήματος πυρόσβεσης που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο συνέχειας του κυκλώματος των αισθητήρων και της λειτουργικότητας του συστήματος προειδοποίησης.



Σχήμα 3.57 Καμπύλη πίεσης – θερμοκρασίας πυροσβεστικού αερίου

3.10.4 Έλεγχοι, συντήρηση και αποκατάσταση βλαβών συστήματος πυρόσβεσης

Ο συχνός έλεγχος και η συντήρηση του συστήματος πυρόσβεσης είναι απαραίτητος για την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας του. Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται περιλαμβάνουν τις ακόλουθες εργασίες:

- τον έλεγχο της **πίεσης των φιαλών του πυροσβεστικού αερίου** για να εξακριβωθεί εάν είναι μέσα στα όρια που δίνει ο κατασκευαστής για τη θερμοκρασία που γίνεται η επιθεώρηση. Για αυτό τον έλεγχο υπάρχουν κατάλληλα διαγράμματα (Σχήμα 3.57) που απεικονίζουν τα όρια της πίεσης του αερίου σε σχέση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Εάν η πίεση της φιάλης βρεθεί εκτός των ορίων του διαγράμματος, τότε θα πρέπει να αντικαθίσταται,
- τον έλεγχο των σωληνώσεων του πυροσβεστικού συστήματος για διαρροές,
- τον έλεγχο των βαλβίδων που ελέγχουν τη ροή του πυροσβεστικού αερίου,

- τον έλεγχο του ηλεκτρικού κυκλώματος για συνέχεια και των αισθητήρων του βρόγχου για φθορές, διάβρωση και χαλαρές συνδέσεις. Ο αισθητήρας συνεχούς βρόγχου είναι ένας αγωγός που τοποθετείται περιφερειακά στο εσωτερικό του καλύμματος του κινητήρα και διανύει αρκετό μήκος έτσι ώστε να καλύπτει μεγάλη περιοχή. Είναι συχνό φαινόμενο να καταπονείται κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησης αλλά και της λειτουργίας του κινητήρα και να φθείρεται από την επαφή του με τα στηρίγματά του στο κάλυμμα του κινητήρα. Για αυτό το λόγο πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιθεώρησή του για τυχόν φθορές και λυγισμούς του αισθητήρα και χαλαρή στήριξη που μπορεί να οδηγήσει σε τριβή του με το κάλυμμα και τέλος σε βραχυκύκλωμά του.

3.10.5 Ανίχνευση και αποκατάσταση βλαβών συστήματος πυρόσβεσης

Οι πιο συχνές βλάβες που παρουσιάζουν τα συστήματα πυρόσβεσης μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

3.10.5.1 Λανθασμένες ενεργοποιήσεις του συστήματος.

Οφείλονται συνήθως σε βραχυκύκλωμα στο κύκλωμα του ανιχνευτή βρόγχου. Τέτοια βραχυκυκλώματα οφείλονται σε χαλαρωμένους αγωγούς του ανιχνευτή που έρχονται σε επαφή με κάποιο δομικό στοιχείο του καλύμματος του κινητήρα που του κόβει το μονωτικό περίβλημα. Με αυτό τον τρόπο δίνουν εσφαλμένο σήμα καθώς ταλαντεύονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα. Τέτοια σφάλματα μπορούν να ανιχνευτούν εντοπίζοντας το σημείο και επισκευάζοντας τον αγωγό.

3.10.5.2 Ένδειξη πυρκαγιάς χωρίς να έχει προηγηθεί πυρκαγιά ή υπερθέρμανση

Η ενεργοποίηση του συστήματος πυρανίχνευσης μπορεί να γίνει χωρίς να είναι εμφανής πυρκαγιά ή υπερθέρμανση. Η αιτία τέτοιου είδους ενδείξεων μπορεί να εντοπιστεί αποσυνδέοντας το βρόγχο του αισθητήρα από το σύστημα ελέγχου. Εάν η ένδειξη σταματήσει τότε το σφάλμα είναι στον αισθητήρα και θα πρέπει να εξεταστεί για σημεία του που έχουν έρθει σε επαφή με θερμό μέρος του κινητήρα. Εάν δεν βρεθεί τέτοια ένδειξη πρέπει να ελεγχθεί απομονώνοντας διαδοχικά τα επιμέρους τμήματα του βρόγχου του αισθητήρα.

3.10.5.3 Ανεπιτυχής δοκιμή λειτουργικότητας του συστήματος

Η απουσία ένδειξης σήματος πυρκαγιάς στο πιλοτήριο σε περίπτωση δοκιμής του συστήματος πυρόσβεσης μπορεί να οφείλεται στα ακόλουθα αίτια:

- Ελαττωματικό διακόπτη δοκιμής.
- Πρόβλημα στο σύστημα ελέγχου.
- Έλλειψη ηλεκτρικής ισχύος στο κύκλωμα πυρόσβεσης.
- Ελαττωματική ενδεικτική λυχνία.
- Ασυνέχεια στο βρόγχο του αισθητήρα υπερθέρμανσης ή στην καλωδίωση του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση ελέγχουμε την αντίσταση του βρόγχου αφού τον αποσυνδέσουμε από το κύκλωμα. Εάν έχουμε ένδειξη άπειρης αντίστασης τότε υπάρχει διακοπή στο βρόγχο και πρέπει να αντικατασταθεί.

3.11 Έλεγχοι και όργανα αεριοστρόβιλου κινητήρα

Οι λειτουργίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν για τον έλεγχο ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα είναι πολλές και ο χρόνος στον οποίο πρέπει να επαναλαμβάνονται ελάχιστος (αρκετές φορές ανά δευτερόλεπτο). Για αυτό το λόγο οι λειτουργίες αυτές είναι αυτοματοποιημένες και ο μόνος έλεγχος του κινητήρα γίνεται με τη μανέτα ακόμη και για όσους κινητήρες διαθέτουν σύστημα αναστροφής ώσης και μετάκαυσης. Στη διαδικασία ελέγχου συμβάλουν τα όργανα του κινητήρα μέσω των οποίων ο χειριστής εξακριβώνει το επιθυμητό αποτέλεσμα (στροφές του κινητήρα, ώση) και ελέγχει τις τιμές κρίσιμων παραμέτρων, τα όρια λειτουργίας των οποίων δεν πρέπει να ξεπεραστούν.

Ο έλεγχος πραγματοποιείται μέσω σύνδεσης της μανέτας με το **ρυθμιστή καυσίμου** του κινητήρα, ο οποίος ρυθμίζει την ποσότητα του καυσίμου που θα εισαχθεί στο θάλαμο καύσης, μεταβάλλοντας τις στροφές του κινητήρα και, συνεπώς, την ώση.

Ο ρυθμιστής καυσίμου, εκτός από την θέση της μανέτας, διορθώνει τη ροή του καυσίμου ανάλογα με τις τιμές των ακόλουθων παραμέτρων:

- την **πυκνότητα του αέρα** στο ύψος πτήσης του αεροσκάφους. Αυτό γίνεται μέσω μετρήσεων της στατικής πίεσης και της θερμοκρασίας στην είσοδο του κινητήρα. Η πυκνότητα του αέρα καθορίζει τη μάζα του αέρα που περνάει στον κινητήρα και είναι βασική παράμετρος ρύθμισης της ώσης,
- τις **στροφές του κινητήρα,**
- την **πίεση εισαγωγής συμπιεστή,**
- την **πίεση του θαλάμου καύσης,**
- τη **θερμοκρασία εξαγωγής των καυσαερίων,**

- την **ταχύτητα του αεροσκάφους**.

3.11.1 Συγχρονισμός λειτουργίας κινητήρων

Στην περίπτωση αεροσκαφών με περισσότερους από έναν κινητήρες, οποιουδήποτε τύπου (αεριοστρόβιλους ή ελικοστρόβιλους), είναι απαραίτητη η χρήση ενός συστήματος, το οποίο να συγχρονίζει την παραγόμενη ώση ή ισχύ, από όλους τους κινητήρες, για την αποφυγή δημιουργίας **ροπής εκτροπής** στον κατακόρυφο άξονα του αεροσκάφους (**yaw**). Η δημιουργία ροπής εκτροπής από ασύμμετρη παραγωγή ώσης από τους κινητήρες είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται εντονότερα σε υψηλές στροφές των κινητήρων και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα ελέγχου του αεροσκάφους όταν η ροπή αυτή είναι μεγαλύτερη από την αντισταθμιστική ροπή του **πηδαλίου διεύθυνσης (rudder)**. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να γίνει ιδιαίτερα επικίνδυνο κατά τη φάση απογείωσης, όπου έχουμε μέγιστες στροφές των κινητήρων και μικρό ύψος, συνθήκες στις οποίες δεν υπάρχει αρκετός χρόνος για διορθωτικές ενέργειες.

Το σύστημα συγχρονισμού της λειτουργίας των κινητήρων ρυθμίζει αυτόματα τις στροφές τους, έτσι ώστε με την ίδια θέση της μανέτας σε όλους τους κινητήρες να έχουμε ίδια παραγόμενη ώση.

Στους **αεριοστρόβιλους κινητήρες** ο έλεγχος της ώσης επιτυγχάνεται μέσω ενός **συστήματος ελέγχου ασύμμετρης ώσης** το οποίο λειτουργεί με σήμα πίεσης εξόδου καυσαερίων (**compressor discharge pressure**) σαν παράμετρο για το συγχρονισμό τους. Στους **ελικοστρόβιλους κινητήρες** η δημιουργία ασύμμετρης ώσης από τις έλικες ελέγχεται με σήμα από τον **μετρητή ροπής** του κάθε κινητήρα.

3.11.2 Περιγραφή και λειτουργία των οργάνων του κινητήρα

Η σωστή ένδειξη των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα όπως για παράδειγμα στροφές, ώση, θερμοκρασία εισόδου στροβίλου, είναι βασική προϋπόθεση για τον σωστό έλεγχο και τη λειτουργία του. Εάν και τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της λειτουργίας των αεριοστρόβιλων κινητήρων διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, κάποια από αυτά είναι κοινά για όλους τους τύπους. Τα πιο σημαντικά όργανα περιγράφονται παρακάτω και χρησιμοποιούνται για τις ακόλουθες ενδείξεις:

- Λόγος πίεσης κινητήρα (**EPR**).
- Στροφές κινητήρα.
- Στοιχεία κινητήρα επί τοις εκατό.
- Ροπής άξονα αξονοστρόβιλου κινητήρα.

- Θερμοκρασίας εξαγωγής καυσαερίων.
- Ροή καυσίμου.
- Πίεση λαδιού κινητήρα.
- Θερμοκρασία εισαγωγής λιπαντικού.
- Πίεση εισαγωγής καυσίμου.
- Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής.
- Εύρος κραδασμών κινητήρα.

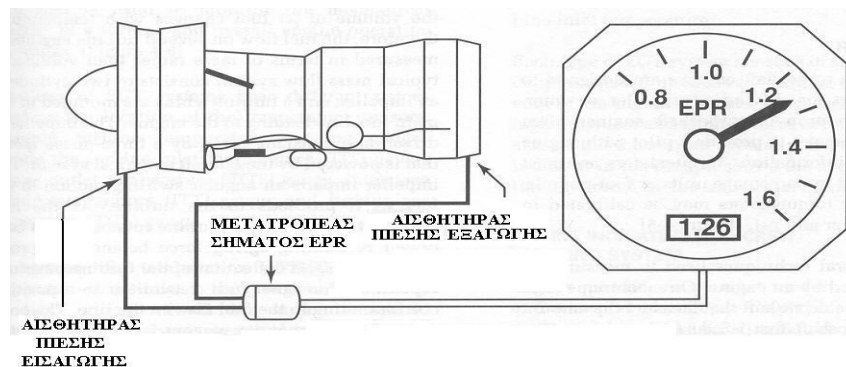
Στη συνέχεια θα δούμε αναλυτικά τον τρόπο λειτουργίας και τη χρησιμότητα των βασικότερων από τα παραπάνω όργανα.

3.11.2.1 Ένδειξη λόγου πίεσης κινητήρα

Το όργανο αυτό μας παρέχει την ένδειξη του **λόγου των πιέσεων εισαγωγής εξαγωγής**, ή **λόγου πίεσης του κινητήρα** (Σχήμα 3.58). Η μέτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της παραγόμενης ώσης.

3.11.2.2 Ένδειξη ροπής αξονοστρόβιλου κινητήρα

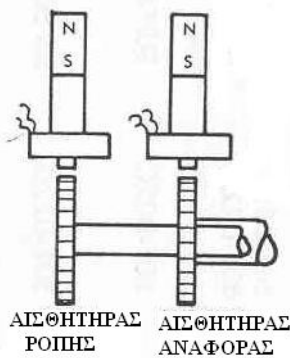
Στην περίπτωση του αξονοστρόβιλου κινητήρα, μόνο ένα μικρό ποσοστό της ώσης του κινητήρα παράγεται από τη μάζα των καυσαερίων του. Για αυτό το λόγο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πίεση που αναπτύσσουν τα καυσαερίά του για τη μέτρηση της ισχύος. Οι αξονοστρόβιλοι κινητήρες συνήθως χρησιμοποιούν όργανα ένδειξης της ροπής που αναπτύσσεται στον άξονα του κινητήρα. Η ροπή αυτή είναι ανάλογη της ισχύος (ιπποδύναμης) που αναπτύσσει ο κινητήρας.



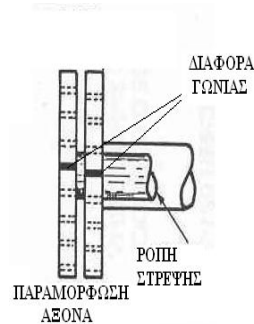
Σχήμα 3.58 Όργανο ένδειξης του λόγου πίεσης κινητήρα και μετρητική διάταξη

Η μέτρηση της ροπής μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας την παραμόρφωση άξονα σε στρέψη. Όσο μεγαλύτερη ροπή αναπτύσσει ο κινητήρας τόσο μεγαλώνει η γωνία στρέψης του άξονα. Η γωνία αυτή

μετρίεται σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς, το οποίο βρίσκεται συνήθως σε άξονα που περικλείει τον άξονα μεταφοράς της ροπής από τον κινητήρα στον έλικα. Ο εξωτερικός άξονας περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα με τον εσωτερικό άξονα, δε μεταφέρει ροπή και, συνεπώς, δεν παραμορφώνεται. Η γωνία στρέψης του εσωτερικού άξονα σε σχέση με τον εξωτερικό μας δίνει και την ένδειξη της μεταφερόμενης ροπής. Η διαφορά της γωνίας ανιχνεύεται από μαγνητικούς αισθητήρες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω από τους δύο ομόκεντρους άξονες (Σχήμα 3.59).

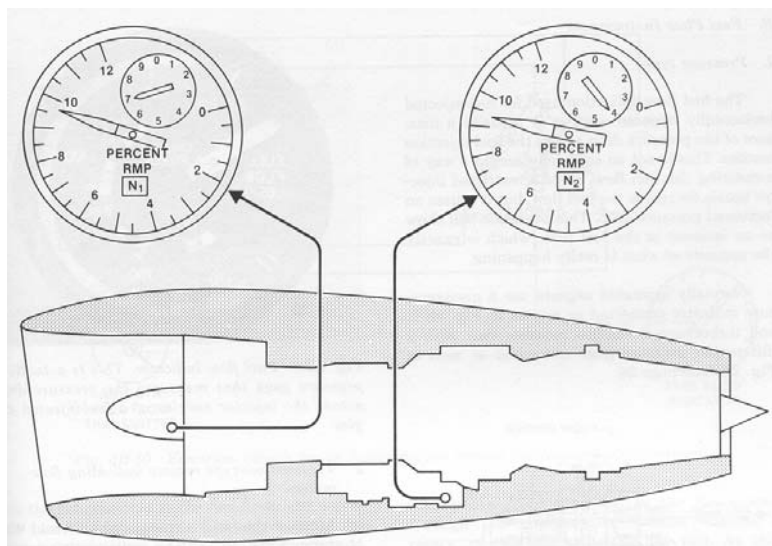


(α)



(β)

Σχήμα 3.59 Διάταξη μέτρησης ροπής αξονοστρόβιλου κινητήρα. (α) Θέση μαγνητικών αισθητήρων και (β) σχετική θέση άξονα αναφοράς και άξονα μετάδοσης ροπής



Σχήμα 3.60 Όργανα ένδειξης στροφών κινητήρα και θέση αισθητήρων στροφών

3.11.2.3 Ένδειξη στροφών κινητήρα

Η ένδειξη των στροφών του κινητήρα είναι από τις σημαντικότερες μετρήσεις αφού έχει άμεση σχέση με τις δυνάμεις που ασκούνται στα περιστρεφόμενα μέρη κατά την εκκίνηση και τη λειτουργία του, καθώς και με την απόκριση του κινητήρα στις μεταβολές της μανέτας. Η ένδειξη στροφών παράλληλα με την ένδειξη θερμοκρασίας εξαγωγής καυσαερίων είναι οι δύο πιο κρίσιμες ενδείξεις κατά την εκκίνηση ενός κινητήρα. Επίσης, γνωρίζοντας τις στροφές του κινητήρα αποφεύγουμε λειτουργία του σε υψηλές στροφές και φαινόμενα υπερστροφίας.

Η ένδειξη των στροφών του κινητήρα λαμβάνεται από τον / τους άξονες του μέσω του κιβωτίου μετάδοσης ισχύος αλλά και απευθείας από τον άξονα μέσω αισθητήρων στροφών (Σχήμα 3.61). Οι στροφές συμβολίζονται με το γράμμα N και οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για την μέτρησή τους είναι σε στροφές ανά λεπτό (**revolutions per minute** ή **RPM**). Με N_1 συμβολίζονται οι στροφές του άξονα που οδηγείται από το στρόβιλο υψηλής πίεσης, και διαδοχικά οι υπόλοιπες με N_2 και N_3 (στην περίπτωση κινητήρα πολλαπλών τυμπάνων).

Η μέτρηση των στροφών πραγματοποιείται συνήθως με τη χρήση μιας γεννήτριας (**tachometer generator**). Αυτή τοποθετείται στο κιβώτιο μετάδοσης ισχύος ή στον κώνο εισαγωγής του κινητήρα. Ο αισθητήρας στροφών είναι μια γεννήτρια ρεύματος η συχνότητα του οποίου είναι ανάλογη των στροφών του κινητήρα. Το σήμα που παράγει μεταφέρεται μέσω καλωδίων στο πιλοτήριο όπου και έχουμε ένδειξη των στροφών του κινητήρα.

3.11.2.4 Ένδειξη θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων (EGT)

Το όργανο που παρέχει τη θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (Σχήμα 3.62(α)) είναι από τα πλέον σημαντικά σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα. Η θερμοκρασία αποτελεί ένα από τα λειτουργικά όρια του κινητήρα και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της θερμικής καταπόνησης του στρόβιλου του καθώς και για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του. Η θερμοκρασία όμως που πρέπει να γνωρίζουμε και να ελέγχουμε με μεγάλη ακρίβεια είναι αυτή της **εισόδου των καυσαερίων στο στρόβιλο** γιατί σε αυτό το σημείο έχει τα υψηλότερα επίπεδα.

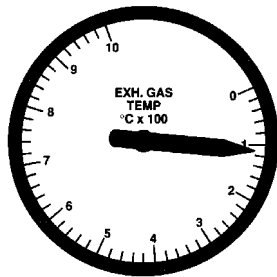
Η μέτρηση της θερμοκρασίας σε αυτό το σημείο είναι πολύ δύσκολη, ειδικά για κινητήρες που λειτουργούν με μεγάλες θερμοκρασίες εισόδου στρόβιλου για να έχουν αυξημένη απόδοση. Σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες η αξιοπιστία και η διάρκεια ζωής ενός θερμοζεύγους είναι πολύ μικρή. Ενδεχόμενη αστοχία των θερμοζευγών μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα πτερύγια του

στροβίλου. Για τους παραπάνω λόγους, στους περισσότερους κινητήρες, η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται στο ρεύμα εξόδου των καυσαερίων και τα όρια αυτής της ένδειξης έχουν συσχετιστεί από τον κατασκευαστή με τα όρια της θερμοκρασίας εισόδου στροβίλου.

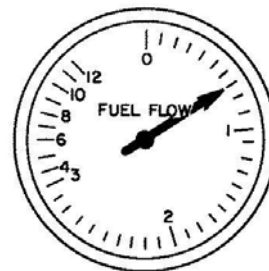
Για να έχουμε αντιπροσωπευτική μέτρηση της θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων χρησιμοποιούμε έναν αριθμό αρκετών θερμοζευγών τα οποία τοποθετούνται περιφερειακά του αγωγού εξαγωγής καυσαερίων και η θερμοκρασία που βλέπουμε στο όργανο ένδειξης είναι ο μέσος όρος των θερμοκρασιών που μετράνε τα θερμοζεύγη.

3.11.2.5 Ένδειξη παροχής καυσίμου

Η ένδειξη της παροχής του καυσίμου που καταναλώνει ο κινητήρας κατά τη λειτουργία του γίνεται με τη χρήση κατάλληλου ροομέτρου που είναι τοποθετημένο στη γραμμή καυσίμου του αεροκάφους. Το σήμα που παρέχει το ροόμετρο μεταφέρεται σε ανάλογο όργανο στο πιλοτήριο (Σχήμα 3.62(β)). Η ένδειξη αυτή είναι συνήθως σε λίβρες καυσίμου ανά ώρα, και χρησιμοποιείται από το πλήρωμα για τον έλεγχο της κατανάλωσης καυσίμου και τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του κινητήρα.



(α)

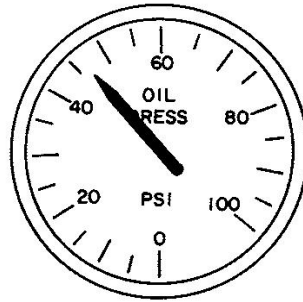


(β)

Σχήμα 3.62 (α) Όργανο ένδειξης θερμοκρασίας εξαγωγής καυσαερίων και (β)ροής καυσίμου

3.11.2.6 Ένδειξη πίεσης λιπαντικού κινητήρα

Η ένδειξη της πίεσης του λιπαντικού που κυκλοφορεί στο κύκλωμα λίπανσης του κινητήρα είναι απαραίτητη για την ένδειξη ανεπαρκούς λίπανσης στους τριβείς και το κιβώτιο μετάδοσης ισχύος του κινητήρα. Είναι δεδομένο ότι σε ενδεχόμενη αστοχία του συστήματος λίπανσης θα έχουμε και αστοχία του κινητήρα από καταστροφή των τριβέων του. Το όργανο ένδειξης πίεσης λιπαντικού (Σχήμα 3.63) δείχνει την πίεση (συνήθως σε psi) που αναπτύσσει η αντλία παροχής του συστήματος από αισθητήρα που βρίσκεται πάνω στην αντλία.



Σχήμα 3.63 Όργανο ένδειξης πίεσης λιπαντικού

3.11.2.7 Ένδειξη θερμοκρασίας εισαγωγής λιπαντικού.

Η αποτελεσματικότητα του λιπαντικού για τη λίπανση και την ψύξη των τριβέων και των υπόλοιπων κινούμενων μερών εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία, στην οποία βρίσκεται πριν έρθει σε επαφή με αυτά. Το όργανο ένδειξης της θερμοκρασίας λιπαντικού μας δείχνει τη θερμοκρασία που έχει αυτό, πριν εισέρθει στη αντλία παροχής λιπαντικού. Με την ένδειξη της θερμοκρασίας του λιπαντικού επιβεβαιώνεται και η σωστή λειτουργία του εναλλάκτη λιπαντικού του κινητήρα.

3.11.2.8 Ένδειξη κραδασμών στον κινητήρα

Άλλη μια σημαντική ένδειξη της σωστής κατάστασης λειτουργίας του κινητήρα είναι αυτή των κραδασμών που παρουσιάζει. Οι κραδασμοί σε έναν κινητήρα παρουσιάζονται όταν δημιουργηθεί άνιση κατανομή δυνάμεων στα κινούμενα μέρη του (όπως η **αζυγοσταθμία**). Έστω και μια μικρή αζυγοσταθμία μπορεί να προκαλέσει κραδασμούς στον κινητήρα εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής των αεριοστρόβιλων κινητήρων. Οι κραδασμοί έχουν σαν αποτέλεσμα την καταπόνηση των δομικών αλλά και των λειτουργικών μερών του κινητήρα και του σκάφους και για αυτό το λόγο δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν τα προκαθορισμένα από τον κατασκευαστή όρια.

Η μέτρηση του μεγέθους των κραδασμών γίνεται από ειδικούς αισθητήρες (**επιταχυνσιόμετρα – accelerometers**, ή **αισθητήρες ταχύτητας – velocity transducers**)¹, οι οποίοι τοποθετούνται στο περίβλημα του κινητήρα στο ίδιο επίπεδο με τους τριβείς, διότι οι κραδασμοί που δημιουργούνται σε οποιοδήποτε σημείο του άξονα, μεταδίδονται στον κινητήρα μέσω των τριβέων του. Συνήθως τοποθετούνται σε δύο σημεία, στην 3^η ή την 9^η και

¹ Οι μονάδες μέτρησης των κραδασμών είναι συνήθως cm/s^2 (ή $\text{g}=9.81\text{m/s}^2$) στην περίπτωση των επιταχυνσιόμετρων, ή mils ($=0.001\text{in}$) στην περίπτωση των αισθητήρων ταχύτητας.

στην 6^η ή 12^η ώρα για τη μέτρηση κραδασμών στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα, αντίστοιχα.

3.11.2.9 Σύγχρονα όργανα ενδείξεων

Στα σύγχρονα αεροσκάφη τα ηλεκτρικά σήματα των οργάνων που παρουσιάστηκαν παραπάνω μεταφέρονται σε συσκευές μετατροπής σήματος, όπου και μετατρέπονται από αναλογικά σε ψηφιακά. Σε αυτή τη μορφή είναι εύκολη η χρήση τους, η επεξεργασία από ηλεκτρονικό υπολογιστή και η απεικόνισή τους σε οθόνες πολλαπλών ενδείξεων (**MFD – Multi function display**) που διαθέτουν τα αεροσκάφη στο πιλοτήριο αντί των αναλογικών οργάνων (Σχήμα 3.64).



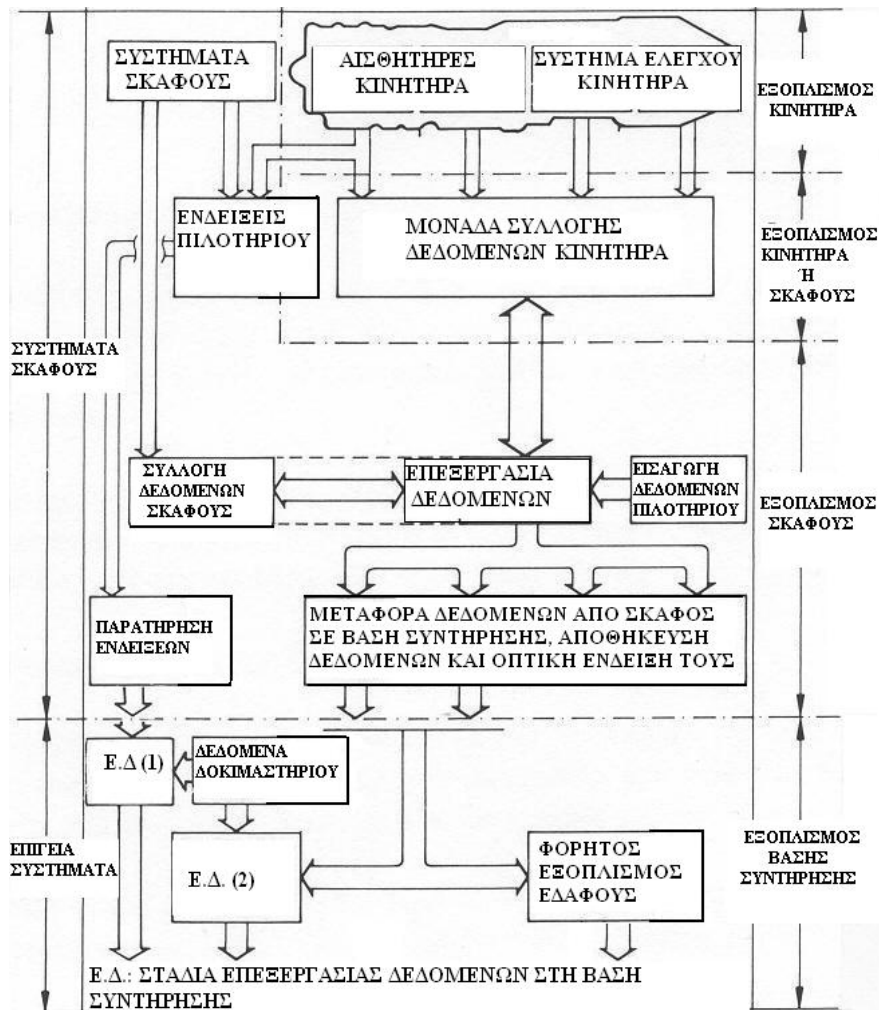
Σχήμα 3.64 Οθόνη πολλαπλών ενδείξεων στοιχείων κινητήρα δικινητήριου αεροσκάφους

3.11.2.10 Καταγραφέας ενδείξεων οργάνων

Το σύστημα καταγραφής των ενδείξεων των οργάνων του κινητήρα έχει ως σκοπό την καταγραφή των βασικών παραμέτρων του κινητήρα, όπως οι ώρες λειτουργίας, οι μέγιστες θερμοκρασίες εξαγωγής καυσαερίων, οι μέγιστες στροφές που έχει περιστραφεί κάθε άξονας του κινητήρα κ.ά.

Οι ενδείξεις αυτές αποθηκεύονται σε μαγνητικά μέσα που βρίσκονται στο αεροσκάφος ή στη μνήμη του υπολογιστή του κινητήρα για κινητήρες με ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου. Τα στοιχεία αυτά μεταφέρονται μετά από κάποιες ώρες πτήσης (ή μετά από κάθε πτήση για κάποια πολεμικά αεροσκάφη) με τη χρήση κατάλληλης συσκευής, στον υπολογιστή της βάσης συντήρησης. Τα δεδομένα στη συνέχεια επεξεργάζονται με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού και δίνουν τη δυνατότητα εξαγωγής πολύτιμων στοιχείων όσον αφορά την καταπόνηση (θερμική και μηχανική) που έχουν υποστεί τα λειτουργικά μέρη του κινητήρα καθώς και το υπολειπόμενο χρονικό διάστημα λειτουργίας κρίσιμων εξαρτημάτων, όπως δίσκοι, πτερύγια στροβίλου, κ.ά.

Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η πρόληψη τυχόν δυσλειτουργιών που μπορεί να συμβούν στο μέλλον, αφού είναι δυνατόν να εντοπιστούν σε αρχικό στάδιο πριν ακόμη δημιουργήσουν ουσιαστικό πρόβλημα. Για παράδειγμα, η λειτουργία των πτερυγίων στροβίλου (εξαρτήματα από τα πλέον καταπονούμενα σε έναν κινητήρα) σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες κατά 20°C από την μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας μπορεί να μειώσει την διάρκεια ζωής των πτερυγίων κατά το ήμισυ.



Σχήμα 3.65 Σύστημα καταγραφής παραμέτρων κινητήρα.

Για σύγχρονα πολιτικά αεροσκάφη που παρουσιάζουν κάποια ένδειξη εκτός ορίων, υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας με τη βάση συντήρησής τους, είτε αυτό βρίσκεται εν πτήση ή σε αεροδρόμιο εκτός βάσης συντήρησής, να εκτιμηθεί η ένδειξη και αν είναι ασφαλές να συνεχιστεί η πτήση ή όχι.

Στο σχήμα Σχήμα 3.65 παρουσιάζεται σχηματικά ο τρόπος που λειτουργεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα καταγραφής παραμέτρων του κινητήρα από το σκάφος έως τη βάση συντήρησης του.

3.12 *Επιδόσεις των κινητήρων αντίδρασης*

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν τα πληρώματα των αεροσκαφών, το προσωπικό συντήρησης και τους δοκιμαστές κινητήρων είναι οι επιδόσεις των κινητήρων. Έχοντας γνώση των επιδόσεων μπορούμε να γνωρίζουμε, αν ο κινητήρας αποδίδει σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή μετά από μια γενική επισκευή ή μετά την αποκατάσταση κάποιας βλάβης. Το **βασικό κριτήριο επίδοσης** για έναν **στροβιλοαντιδραστήρα** είναι η **ώση** του, ενώ για έναν **αξονοστρόβιλο** ή **ελικοστρόβιλο** είναι η **ισχύς** που αναπτύσσεται στον άξονά του.

Άλλα κριτήρια επίδοσης των κινητήρων αντίδρασης είναι η **ειδική κατανάλωση** (**specific fuel consumption**), ο **λόγος ώσης – βάρους** του κινητήρα (**power to weight ratio**), και η **προωθητική απόδοση** (**propulsive efficiency**).

Παρακάτω θα εξετάσουμε αναλυτικότερα τα κριτήρια επίδοσης των κινητήρων αντίδρασης και τις παραμέτρους που τα επηρεάζουν.

3.12.1 **Επιδόσεις στροβιλοαντιδραστήρα**

Το βασικό κριτήριο επίδοσης για ένα στροβιλοαντιδραστήρα είναι η **ώση** του. Από τη στιγμή που η λειτουργία του βασίζεται στον ατμοσφαιρικό αέρα, η κατάσταση του αέρα επηρεάζει σημαντικά την επίδοσή του. Η ώση ενός στροβιλοαντιδραστήρα εξαρτάται άμεσα από την **πυκνότητα** του αέρα και από την **ταχύτητα πτήσης**. Δευτερεύουσα επίδραση έχει το **ποσοστό υγρασίας** του αέρα.

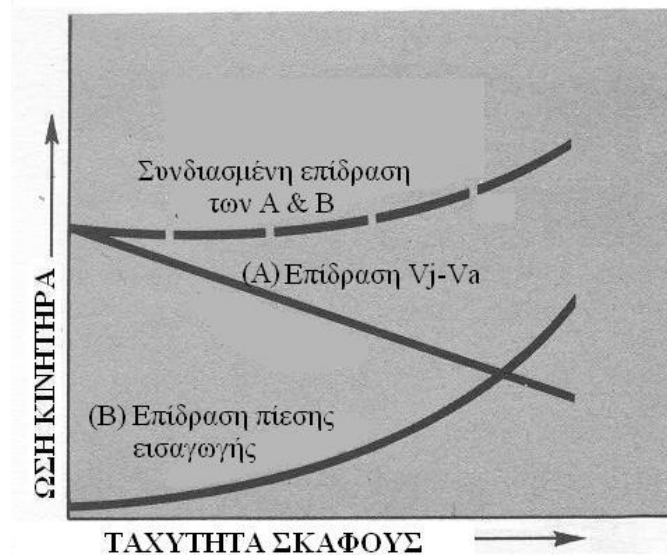
Η σχέση που μας δίνει την ώση ενός στροβιλοαντιδραστήρα, F_N είναι η ακόλουθη:

$$F = (\Delta m / \Delta t) (V_j - V_a) + A_j(P_j - P_a) \quad (3-1)$$

όπου F η παραγόμενη (καθαρή) ώση, $\Delta m / \Delta t$ η παροχή μάζας αέρα, V_a η ταχύτητα πτήσης, V_j η ταχύτητα απόρριψης των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα, P_j η πίεση των καυσαερίων κατά την έξοδό τους από το ακροφύσιο εξαγωγής, (P_a) η ατμοσφαιρική πίεση του αέρα, και (A_j) η επιφάνεια εξόδου των καυσαερίων.

Από την εξίσωση (3-1) συμπεραίνουμε ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα πτήσης του αεροσκάφους, τόσο μειώνεται η παραγόμενη ώση. Έχοντας όμως μεγάλη

ταχύτητα πλεύσης αυξάνεται η πίεση στην εισαγωγή του κινητήρα, φαινόμενο που αυξάνει την ώση αυξάνοντας το δεύτερο όρο της παραπάνω εξίσωσης. Η επίδραση των φαινομένων αυτών φαίνεται στο Σχήμα 3.66 όπου φαίνεται ότι αρχικά παρατηρείται μια μικρή πτώση της ώσης, ενώ, καθώς η ταχύτητα αυξάνεται, η ώση αυξάνεται.



Σχήμα 3.66 Επίδραση της ταχύτητας πλεύσης στην ώση

3.12.2 Σχέση ώσης - ισχύος

Η σχέση ώσης – ισχύος χρησιμοποιείται για την ευκολία στη σύγκριση της επιτυγχανόμενης πρόωσης μεταξύ του στροβιλοαντιδραστήρα (που παράγει ώση) και του ελικοστρόβιλου κινητήρα (που παράγει ισχύ). Η αντιστοιχία μεταξύ της ώσης και της ισχύος δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$P = T \times V_a / 375 \quad (3-2)$$

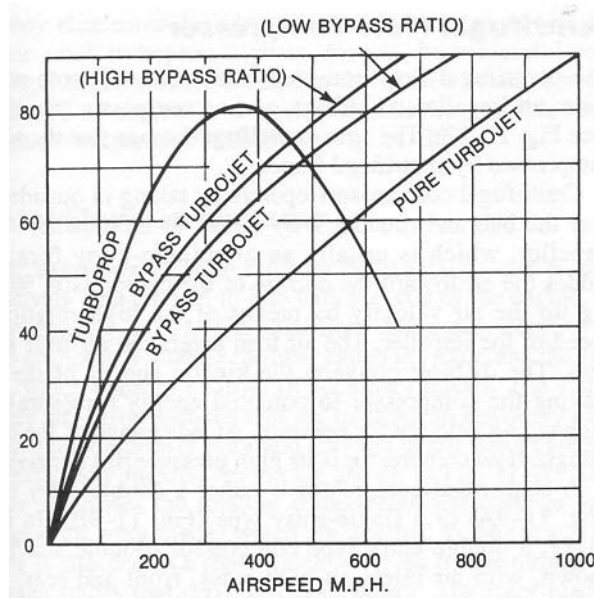
όπου P η ισχύς σε ίππους (hp), T η αναπτυσσόμενη ώση σε λίβρες (lbs), V η ταχύτητα του αεροσκάφους σε μίλια ανά ώρα (mph).

3.12.3 Προωθητική απόδοση

Η προωθητική απόδοση η_p (ή απόδοση ώσης) ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος ώσης προς το άθροισμα της ισχύος ώσης και της μη χρησιμοποιηθείσας κινητικής ενέργειας των καυσαερίων. Όπως αναφέρθηκε στο βιβλίο «Κινητήρες Αεροσκαφών Ι» η προωθητική απόδοση προσεγγίζεται ικανοποιητικά με την παρακάτω σχέση:

$$\eta_p = 2V_a / (V_a + V_j) \quad (3-3)$$

όπου V_a η ταχύτητα του αεροσκάφους και V_j η ταχύτητα απόρριψης των καυσαερίων.



Σχήμα 3.67 Προωθητική απόδοση κινητήρων αντίδρασης

Η προωθητική απόδοση όπως φαίνεται από το Σχήμα 3.67 αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας για το στροβιλοαντιδραστήρα (turbojet) όπως και για τους στροβιλοανεμιστήρες υψηλού λόγου παράκαμψης (high bypass turbofan) και χαμηλού λόγου παράκαμψης (low bypass turbofan). Η προωθητική απόδοση του ελικοστρόβιλου αυξάνεται περίπου μέχρι και τα 550 km/h και στη συνέχεια μειώνεται δραστικά.

Από το παραπάνω διάγραμμα είναι εμφανές ότι οι ελικοστρόβιλοι κινητήρες είναι οι πλέον κατάλληλοι για πτήσεις με χαμηλή και μέση ταχύτητα. Οι στροβιλοανεμιστήρες χαμηλού λόγου παράκαμψης αποδίδουν καλύτερα σε υψηλές υποηχητικές και υπερηχητικές ταχύτητες. Αντίθετα, οι στροβιλοανεμιστήρες με μεγαλύτερο λόγο παράκαμψης, όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται σε επιβατικά αεροσκάφη, λόγω μικρότερης ταχύτητας εξόδου καυσαερίων έχουν καλύτερη απόδοση σε μεσαίες έως υψηλές υποηχητικές ταχύτητες.

3.12.4 Ειδική κατανάλωση καυσίμου

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι επίσης ένα κριτήριο επίδοσης των αεροστροβίλων κινητήρων. Η **ειδική κατανάλωση καυσίμου, sfc (specific fuel consumption)** ορίζεται σαν η καταναλισκόμενη ποσότητα καυσίμου στη

μονάδα του χρόνου ανά μονάδα παρεχόμενης ώσης. Οι μονάδες της sfc είναι τα $\text{kg}/(\text{s N})$ στο S.I. (και συνηθέστερα $\text{kg}/(\text{h N})$) ή $\text{lbm}/(\text{h lbf})$ στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων.

Η διατύπωση της κατανάλωσης καυσίμου των αεριοστρόβιλων κινητήρων ανά μονάδα παρεχόμενης ώσης παρέχει άμεση εικόνα της επίδοσης κάθε κινητήρα, ενώ επιτρέπει και τη μεταξύ τους σύγκριση.

3.12.5 Διαφορές επιδόσεων κινητήρων turbojet, turbofan, turboprop

Οι διαθέσιμοι τύποι κινητήρων αντίδρασης, όπως όλοι οι τύποι κινητήρων έχουν πλεονεκτήματα που τους κάνουν ιδανικούς για μια συγκεκριμένη εφαρμογή και περιορισμούς που κάνουν απαγορευτική τη χρήση τους για κάποιες άλλες εφαρμογές. Η απόδοση του **στροβιλοαντιδραστήρα** σε μεγάλες ταχύτητες και ύψη κάνουν αυτούς τους κινητήρες ιδανικούς για πτήσεις μεγάλων ταχυτήτων σε αυτά τα ύψη και δικαιολογείται το κόστος σε καύσιμο και χρόνο για την ανύψωσή του στο ύψος μέγιστης απόδοσης. Η μικρή του απόδοση σε χαμηλές ταχύτητες σημαίνει μεγάλο διάδρομο απογείωσης.

Ο **ελικοστρόβιλος** κινητήρας συνδυάζει τα πλεονεκτήματα ενός στροβιλοκινητήρα με την προωθητική απόδοση ενός έλικα. Ο στρόβιλος ενός στροβιλοαντιδραστήρα απορροφάει τόση ισχύ όση χρειάζεται για τη λειτουργία του ο συμπιεστής και τα παρελκόμενα. Στην περίπτωση του ελικοστρόβιλου η ισχύς που χρησιμοποιείται για την κίνηση του έλικα, είτε είναι μέρος της ισχύος που αποδίδει ο στρόβιλος που κινεί και το συμπιεστή, είτε προέρχεται αποκλειστικά από τον ελεύθερο στρόβιλο (εάν υπάρχει). Η ώση παράγεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από τη λειτουργία του έλικα και σε μικρότερο ποσοστό από το ρεύμα καυσαερίων. Η απόδοση του ελικοστρόβιλου είναι μεγάλη σε μεσαίες ταχύτητες, ενώ μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας.

3.13 Λειτουργία των κινητήρων αντίδρασης

Η λειτουργία των κινητήρων αντίδρασης εξαρτάται από τον τύπο του κινητήρα και τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά. Για τη σωστή λειτουργία ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα θα πρέπει ο χειριστής ή ο τεχνικός εδάφους να συμβουλευεται το εγχειρίδιο πτήσης του αεροσκάφους προτού προβεί σε οποιαδήποτε ενέργεια σχετικά με τη λειτουργία του.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι περιοχές λειτουργίας των κινητήρων αντίδρασης καθώς και οι φάσεις της πτήσης ενός αεροσκάφους για τις οποίες έχουμε επιλογή διαφόρων περιοχών λειτουργίας.

3.13.1 Περιοχές λειτουργίας

Οι κινητήρες αντίδρασης λόγω των ιδιαιτεροτήτων της κατασκευής τους και του τρόπου λειτουργίας τους έχουν συγκεκριμένες περιοχές λειτουργίας, οι οποίες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται από το ιπτάμενο προσωπικό κατά τη διάρκεια της πτήσης και το προσωπικό εδάφους κατά τη διάρκεια της δοκιμής του κινητήρα. Η κατανόηση των περιοχών λειτουργίας των κινητήρων αντίδρασης είναι απαραίτητη για τη σωστή και αποδοτική χρήση τους, ώστε να επιτυγχάνεται η απρόσκοπτη λειτουργία τους και η αποφυγή φθορών και βλαβών στον κινητήρα, όπως για παράδειγμα υπερθέρμανση ή υπερστροφία.

Οι περιοχές λειτουργίας των κινητήρων καθορίζονται από τη θέση του μοχλού ισχύος για διάφορες φάσεις της επίγειας λειτουργίας αλλά και κατά τη διάρκεια της πτήσης.

Οι περιοχές λειτουργίας δεν είναι ίδιες για τους πολιτικούς και τους στρατιωτικούς κινητήρες λόγω των διαφορετικών απαιτήσεων που έχουν οι χρήστες των κινητήρων αυτών. Από έναν **στρατιωτικό κινητήρα** απαιτείται η μέγιστη απόδοση ισχύος σε ελάχιστο χρονικό διάστημα καθώς και η δυνατότητα μεγάλων διακυμάνσεων της ώσης όπως για παράδειγμα σε μια αερομαχία. Από έναν **πολιτικό κινητήρα** απαιτείται η μέγιστη αξιοπιστία και μεγάλο χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών επισκευών. Συνεπώς η απαιτείται πιο συντηρητική χρήση των κινητήρων.

3.13.1.1 Περιοχές λειτουργίας πολιτικών κινητήρων

Οι περιοχές λειτουργίας (**engine ratings**) των κινητήρων πολιτικής αεροπορίας είναι οι παρακάτω:

Λειτουργία «ξηρής» ώσης απογείωσης – Take off thrust (Dry)

Αυτή είναι η **μέγιστη επιτρεπόμενη ώση** που μπορεί να αναπτύξει ο κινητήρας χωρίς τη χρήση ψεκασμού νερού. Η περιοχή αυτή ορίζεται ρυθμίζοντας το μοχλό ισχύος στο σημείο ξηρής απογείωσης για δεδομένες ατμοσφαιρικές συνθήκες και σε σχέση με προκαθορισμένη πίεση εξόδου στροβίλου ή λόγου πίεσης κινητήρα. Η συγκεκριμένη περιοχή λειτουργίας έχει περιορισμένο χρονικό διάστημα χρήσης (για λόγους καταπόνησης των μερών του κινητήρα) και προορίζεται για χρήση μόνο κατά την απογείωση.

Λειτουργία «υγρής» ώσης απογείωσης – Take off trust (Wet)

Η λειτουργία αυτή αφορά κινητήρες που διαθέτουν σύστημα ψεκασμού νερού για την αύξηση της ώσης τους κατά τη διάρκεια της απογείωσης. Το **σύστημα ψεκασμού νερού** βρίσκεται σε λειτουργία και ο μοχλός ισχύος του

κινητήρα σε θέση που καθορίζεται από δεδομένη πίεση εξόδου στροβίλου ή λόγου πίεσης κινητήρα για τις εκάστοτε ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Λειτουργία μέγιστης συνεχούς ώσης (Maximum continuous)

Η συγκεκριμένη περιοχή λειτουργίας είναι η **μέγιστη δυνατή ώση** που μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνεχώς και προορίζεται μόνο σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης κατά την κρίση του χειριστή. Η ώση αυτή επιτυγχάνεται ρυθμίζοντας το μοχλό ισχύος σε μια προκαθορισμένη πίεση εξόδου στροβίλου ή λόγου πίεσης κινητήρα.

Λειτουργία κανονικής ώσης ανόδου (Normal rated)

Η κανονική ώση ανόδου είναι η μέγιστη ώση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κανονικές συνθήκες ανόδου. Με τον όρο κανονικές ορίζουμε τις συνθήκες ανόδου χωρίς αστοχία ή ξαφνική απώλεια ισχύος ενός κινητήρα από απορρόφηση ξένων σωμάτων, όπως χαλαζιού ή πουλιών. Η ώση για αυτή την περιοχή λειτουργίας επιτυγχάνεται όπως και για τη μέγιστη συνεχή ώση. Για κάποιους τύπους κινητήρων η μέγιστη συνεχής και η κανονική ώση δεν διαφέρουν.

Λειτουργία μέγιστης ώσης πλεύσης (Maximum cruise)

Η μέγιστη ώση πλεύσης είναι η μέγιστη ώση που επιτρέπεται για συνεχή πλεύση του αεροσκάφους. Η ώση για αυτή την περιοχή λειτουργίας επιτυγχάνεται όπως και για τη μέγιστη συνεχή ώση.

Βραδεία λειτουργία (Idle)

Η βραδεία λειτουργία, ή ρελαντί, είναι η θέση του μοχλού ισχύος κάτω από την οποία δεν μπορεί να λειτουργήσει ο κινητήρας. Η βραδεία λειτουργία επιτυγχάνεται τοποθετώντας το μοχλό ισχύος στη θέση “idle”, κατά τη διάρκεια της εκκίνησης ή κατά τη διάρκεια της πτήσης, όταν το αεροσκάφος κατέρχεται χάνοντας ύψος, όπως στην περίπτωση καθόδου για προσγείωση.

3.13.1.2 Περιοχές λειτουργίας στρατιωτικών αεροσκαφών

Οι περιοχές λειτουργίας των στρατιωτικών κινητήρων είναι οι παρακάτω:

Λειτουργία μέγιστης ώσης (Maximum thrust)

Η περιοχή λειτουργίας μέγιστης ώσης στρατιωτικού κινητήρα αφορά κινητήρες που χρησιμοποιούν μετακαυστήρα για την αύξηση της ώσης τους. Η ώση αυτή επιτυγχάνεται τοποθετώντας το μοχλό ισχύος στην πλήρως εμπρόσθια θέση του, κατά την οποία ενεργοποιείται το σύστημα μετάκαυσης. Η περιοχή αυτή λειτουργίας έχει χρονικό περιορισμό χρήσης για λόγους δομικής αντοχής και κατανάλωσης καυσίμου.

Λειτουργία στρατιωτικής ώσης (Military thrust)

Η στρατιωτική ώση ορίζεται ως η μέγιστη ώση που μπορεί να επιτευχθεί από τον κινητήρα χωρίς τη χρήση ψεκασμού νερού και μετάκαυσης (αν υπάρχουν). Η ώση αυτή επιτυγχάνεται τοποθετώντας το μοχλό ισχύος στην πλήρως εμπρόσθια θέση ή ρυθμίζοντας τον μοχλό σε τέτοια θέση ώστε να επιτευχθεί μια προκαθορισμένη πίεση εξαγωγής στροβίλου ή λόγος πίεσης κινητήρα. Η χρήση αυτού του ορίου ώσης είναι συνήθως περιορισμένη σε χρονική διάρκεια μισής ώρας.

Λειτουργία ώσης απογείωσης (Take off thrust)

Η περιοχή αυτή λειτουργίας περιορίζεται σε χρήση μόνο για τη φάση της απογείωσης, έχει περιορισμένο χρονικό διάστημα χρήσης και όριο ύψους χρήσης. Οι κινητήρες που δεν διαθέτουν σύστημα ψεκασμού νερού για την αύξηση της ώσης τους κατά τη διάρκεια της απογείωσης, δεν έχουν αυτή την περιοχή λειτουργίας. Η περιοχή αυτή υφίσταται για στρατιωτικά **μεταγωγικά** ή πολυκινητήρια **βομβαρδιστικά** αεροσκάφη τα οποία έχουν την δυνατότητα μεταφοράς δεξαμενών νερού. Η περιοχή αυτή λειτουργίας είναι παρόμοια με τη λειτουργία υγρής ώσης απογείωσης των πολιτικών κινητήρων.

Λειτουργία κανονικής ώσης (Normal thrust rating)

Σε αυτή την περιοχή λειτουργίας έχουμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη ώση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνεχή ρυθμό. Η ώση αυτή επιτυγχάνεται ρυθμίζοντας το μοχλό ισχύος σε θέση που επιλέγεται από προκαθορισμένη πίεση εξαγωγής στροβίλου ή λόγο πίεσης κινητήρα. Από αυτό το επίπεδο ώσης και μέχρι τη βραδεία λειτουργία μπορεί να χρησιμοποιηθούν όλες οι επιλογές ώσης για συνεχή ρυθμό λειτουργίας.

Βραδεία λειτουργία (Idle)

Η θέση βραδείας λειτουργίας έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τη βραδεία λειτουργία των πολιτικών κινητήρων.

3.13.2 Λειτουργία αεριοστρόβιλου κινητήρα

Οι βασικές διαδικασίες για τη λειτουργία του αεριοστρόβιλου κινητήρα έχουν να κάνουν με τη φάση της πτήσης που βρίσκεται το αεροσκάφος σε κάθε δεδομένη στιγμή. Οι διαδικασίες αυτές μπορεί να χωριστούν στις παρακάτω φάσεις πτήσης, οι οποίες περιλαμβάνουν αντίστοιχες εργασίες ειδικά για την κάθε φάση.

3.13.2.1 Επιθεώρηση πριν την πτήση και εκκίνηση

Η επιθεώρηση πριν την πτήση (**pre-flight inspection**) πρέπει να περιλαμβάνει οπτική επιθεώρηση της εισαγωγής και εξαγωγής του κινητήρα για ξένα σώματα, διαρροές λιπαντικού και καυσίμου εκτός των φυσιολογικών ορίων, δοκιμή για ελεύθερη περιστροφή του άξονά του, καθώς και επιθεώρηση για εμπόδια μπροστά και πίσω από το αεροσκάφος. Η εκκίνηση πραγματοποιείται με τη χρήση βοηθητικής μονάδας ισχύος που βρίσκεται πάνω στο σκάφος ή στην πίστα ανάλογα με τον τύπο του αεροσκάφους.

Κατά τη διάρκεια της εκκίνησης θα πρέπει ο χειριστής να παρατηρεί το **στροφόμετρο** του κινητήρα, την **πίεση λιπαντικού** και την **θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (EGT)**. Αυτές είναι οι βασικότερες παράμετροι που πρέπει να ελέγχονται διαρκώς κατά τη διάρκεια της εκκίνησης του κινητήρα. Μια επιτυχημένη εκκίνηση είναι προφανής από την αύξηση της EGT εντός του επιτρεπτού ορίου. Στη περίπτωση που η EGT αυξάνει με ρυθμό μεγαλύτερο από την αύξηση των στροφών του κινητήρα και υπερβεί το μέγιστο όριο θερμοκρασίας τότε θα πρέπει να διακόπτεται η παροχή καυσίμου και να συνεχίζεται η περιστροφή του κινητήρα για την ψύξη του.

3.13.2.2 Απογείωση

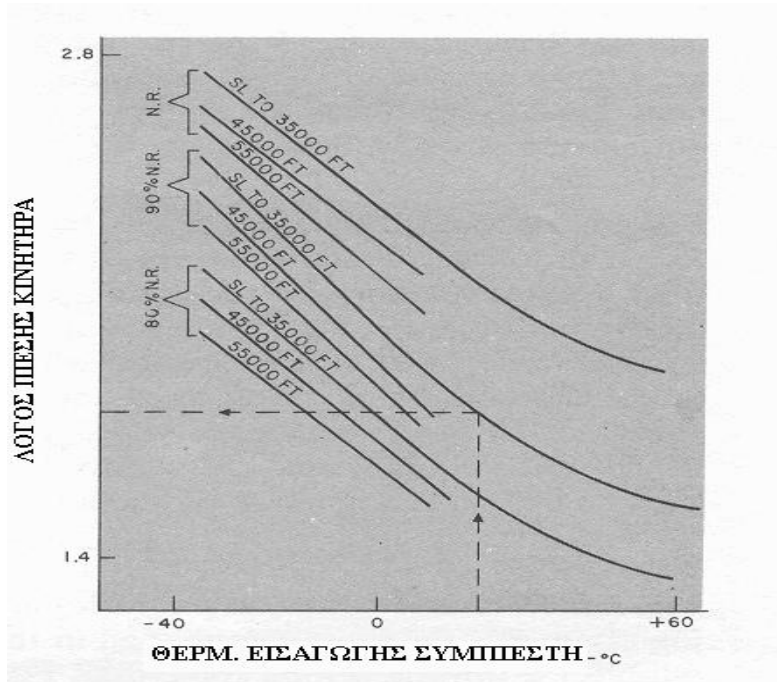
Κατά τη διάρκεια προετοιμασίας για την απογείωση (**take-off**) δεν είναι αναγκαία η δοκιμή του κινητήρα σε πλήρη στοιχεία, όπως είναι απαραίτητο με τους εμβολοφόρους κινητήρες. Επίσης δεν είναι απαραίτητη η παρατεταμένη προθέρμανσή τους πριν την πτήση. Όταν το αεροσκάφος είναι στην αρχή του διαδρόμου, έτοιμο για απογείωση γίνεται η δοκιμή των οργάνων με τον κινητήρα σε πλήρη ισχύ. Σε αυτή τη φάση γίνεται επίσης και δοκιμή της παραγόμενης ώσης ή ισχύος του κινητήρα.

3.13.2.3 Άνοδος

Πριν την απογείωση, υπολογίζεται από το χειριστή η απαιτούμενη ώση, ανάλογα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες της ημέρας, σύμφωνα με την οποία θα ρυθμίζεται η θέση της μανέτας για την ανόδο (**climb**). Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλων διαγραμμάτων του κατασκευαστή (Σχήμα 3.68) με τα οποία ρυθμίζεται η απαιτούμενη ώση του κινητήρα βάσει του **λόγου πίεσης του κινητήρα** και της **θερμοκρασίας εισαγωγής** του κινητήρα.

Σε σύγχρονα αεροσκάφη αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται αυτόματα από τον υπολογιστή του σκάφους ο οποίος έχει αποθηκευμένες τις καμπύλες

λειτουργίας του κινητήρα και έχει επίσης τα δεδομένα των παραμέτρων πτήσης, όπως η θερμοκρασία εισαγωγής διαθέσιμα σε ψηφιακή μορφή.



Σχήμα 3.68 Χαρακτηριστική καμπύλη ρύθμισης ώσης κινητήρα

3.13.2.4 Πλεύση

Οι καμπύλες που χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της ώσης κατά τη διάρκεια της ανόδου χρησιμοποιούνται επίσης και για τη φάση της πλεύσης (**cruse**). Στα πολιτικά αεροσκάφη έχει ιδιαίτερη σημασία η ρύθμιση του κινητήρα για τη μέγιστη απόδοση του, βάσει της ταχύτητας πτήσης, του συνεχώς μειούμενου βάρους του αεροσκάφους, της αλλαγής του ύψους πτήσης και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Τα οφέλη από τη μειωμένη κατανάλωση καυσίμου είναι σημαντικά, έτσι ώστε να δικαιολογούν τον πρόσθετο φόρτο εργασίας για το χειριστή. Στην περίπτωση σύγχρονων αεροσκαφών βέβαια, το ρόλο της βελτιστοποίησης του προφίλ πτήσης έχει αναλάβει ο υπολογιστής του αεροσκάφους.

3.13.2.5 Κάθοδος, Προσέγγιση και Προσγείωση

Η κάθοδος (**descent**) των αεροσκαφών με αεριοστρόβιλους κινητήρες μπορεί να γίνει με μεγάλο ρυθμό και για αυτό το λόγο η προσέγγιση (**approach**) στο αεροδρόμιο γίνεται από μεγάλο ύψος. Όταν δοθεί στο πλήρωμα άδεια για προσγείωση (**landing**), η κάθοδος ακολουθεί σε μικρό χρονικό διάστημα. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των αεριοστρόβιλων κινητήρων είναι, ότι χρειάζονται περισσότερο χρόνο για την επιτάχυνσή τους από έναν εμβολοφόρο κινητήρα. Είναι λοιπόν απαραίτητο, κατά τη διάρκεια της

προσέγγισης, να έχει ο κινητήρας όσο γίνεται υψηλότερες στροφές από αυτές της βραδείας λειτουργίας. Με αυτό τον τρόπο είναι ευκολότερη η αύξηση του ύψους του αεροσκάφους, σε περίπτωση που δεχθεί κάποιο καθοδικό ρεύμα στη φάση της προσγείωσης ή υπάρξει κάποιο πρόβλημα στον διάδρομο προσγείωσης.

3.13.2.6 Διακοπή λειτουργίας

Η διακοπή λειτουργίας (**shut down**) του κινητήρα πραγματοποιείται διακόπτοντας την παροχή καυσίμου από το μοχλό ισχύος. Για κάποιους τύπους κινητήρων είναι απαραίτητο να λειτουργήσουν για ένα μικρό χρονικό διάστημα σε βραδεία λειτουργία για την ψύξη των μερών του θερμού τμήματός τους. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί η παροδική υπερθέρμανση των πτερυγίων των στροβίλων και των δίσκων με τη διακοπή του αέρα ψύξης κατά την επιβράδυνση του συμπιεστή.

Μετά τη διακοπή της λειτουργίας του κινητήρα θα πρέπει να κλείσουν όλοι οι διακόπτες και οι βαλβίδες του κινητήρα και του σκάφους. Είναι απαραίτητο ο τεχνικός εδάφους να παρατηρήσει προσεκτικά τον κινητήρα κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης του ρότορά του για ελεύθερη περιστροφή, ασυνήθιστους θορύβους και διαρροές λιπαντικού και καυσίμου.

3.13.2.7 Διαδικασίες έκτακτης ανάγκης

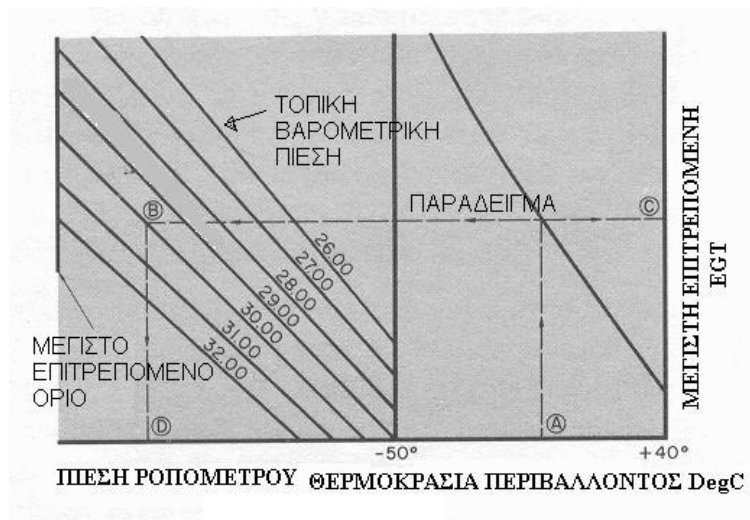
Οι διαδικασίες έκτακτης ανάγκης που μπορεί να αντιμετωπιστούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των κινητήρων αντίδρασης είναι σε περίπτωση **διακοπής της λειτουργίας του κινητήρα σε πτήση, εκδήλωσης πυρκαγιάς και αστοχίας** ενός ή περισσότερων **συστημάτων**. Στην περίπτωση διακοπής της λειτουργίας χωρίς εμφανείς ενδείξεις αστοχίας συστήματος, ο κινητήρας μπορεί να επανεκκινηθεί σε οποιοδήποτε ύψος πτήσης βρίσκεται το αεροσκάφος. Στην περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς (φαινόμενο σπάνιο) θα πρέπει να τεθεί εκτός λειτουργίας το σύστημα ανάφλεξης και να διακοπεί η παροχή καυσίμου στον κινητήρα. Αν η φωτιά εκδηλωθεί στο έδαφος, εκτός από τις παραπάνω ενέργειες θα πρέπει επιπλέον να συνεχιστεί η περιστροφή του κινητήρα με τη βοηθητική μονάδα εκκίνησης μέχρι να καεί το υπολειπόμενο καύσιμο για την αποφυγή υπερθέρμανσης του κινητήρα. Συγκρινόμενοι με άλλους τύπους κινητήρων οι **κινητήρες αντίδρασης είναι οι περισσότερο αξιόπιστοι** και σπάνια παρουσιάζουν φαινόμενα ολικής απώλειας ισχύος σε βλάβη των συστημάτων τους.

3.13.3 Λειτουργία ελικοστροβίλου - αξονοστροβίλου

Η λειτουργία του ελικοστροβίλου και του αξονοστροβίλου είναι παρόμοια με αυτή των στροβιλοαντιδραστήρων με τη διαφορά της ύπαρξης έλικα και

στροφείου αντίστοιχα, με τα παρελκόμενα συστήματά τους. Η επιθεώρηση πριν την πτήση, η εκκίνηση καθώς και οι διάφορες λειτουργίες τους έχουν αρκετές ομοιότητες.

Για τους κινητήρες αυτούς κατά τη διάρκεια της πτήσης απαιτείται παρακολούθηση των λειτουργικών ορίων τους, της θέσης του μοχλού ισχύος και της ένδειξης του οργάνου ροπής του άξονά τους. Η ένδειξη ροπής είναι σημαντική και για αυτό το λόγο θα πρέπει να γίνεται πριν την απογείωση διαδικασία υπολογισμού της **μέγιστης επιτρεπόμενης θερμοκρασίας εξαγωγής καυσαερίων (EGT)** για την **αναπτυσσόμενη ροπή** με τις εκάστοτε ατμοσφαιρικές συνθήκες (πίεσης, υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα).



Σχήμα 3.69 Καμπύλη απογείωσης ελικοστρόβιλου – αξονοστρόβιλου κινητήρα

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη βοήθεια της καμπύλης που φαίνεται στο σχήμα Σχήμα 3.69. Με την καμπύλη αυτή υπολογίζεται με δεδομένη θερμοκρασία περιβάλλοντος η μέγιστη επιτρεπόμενη EGT και με δεδομένη βαρομετρική πίεση η ροπή που ασκείται στον άξονα του έλικα ή του στροφείου.

Κατά τη διαδικασία εκκίνησης του αξονοστρόβιλου κινητήρα απαιτείται η απεμπλοκή του στροφείου για την ελεύθερη περιστροφή του κινητήρα μέχρι τη βραδεία λειτουργία, ενώ σταδιακά γίνεται στη συνέχεια η εμπλοκή του στροφείου για να αρχίσει η περιστροφή του.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Η χρήση των τεχνικών εγχειριδίων είναι απαραίτητη κατά τη διαδικασία της συντήρησης ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα για την ασφαλή εκτέλεση των εργασιών για τους ακόλουθους λόγους:
 1. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας της κατασκευής των αεριοστρόβιλων κινητήρων.
 2. Λόγω της έκδοσης αλλαγών στη βιβλιογραφία από τον κατασκευαστή κατά τακτά χρονικά διαστήματα.
- Η συντήρηση που πραγματοποιείται σε ένα κινητήρα διακρίνεται, ανάλογα με το αν αυτός πραγματοποιείται στο σκάφος ή όχι, στους ακόλουθους τύπους:
 1. Η συντήρηση γραμμής (line maintenance) ή οργανωτικού επιπέδου η οποία πραγματοποιείται με τον κινητήρα πάνω στο σκάφος.
 2. Η συντήρηση επιπέδου συνεργείου (shop maintenance) ή μέσου επιπέδου, η οποία πραγματοποιείται σε κατάλληλα εξοπλισμένο χώρο και εν γένει, στη γραμμή πτήσης.
- Η συντήρηση τμημάτων αεριοστρόβιλου κινητήρα περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:
 1. Συντήρηση και επισκευές ψυχρού τμήματος
 2. Συντήρηση και επισκευές θερμού τμήματος
 3. Συντήρηση τριβέων και διατάξεων στεγανοποίησης
 4. Διαδικασία ζυγοστάθμισης συμπιεστού και στροβίλου
 5. Έλεγχοι διακένων και ανοχών
- Για την ανεύρεση και αποκατάσταση μιας βλάβης σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα είναι απαραίτητη η χρήση ειδικών πινάκων οι οποίοι παρουσιάζουν μεθοδικά την διαδικασία ανεύρεσης μιας βλάβης και τον τρόπο αποκατάστασής της.
- Οι διαδικασίες επιθεώρησης πραγματοποιούνται με τις ακόλουθες μεθόδους επιθεώρησης:
 1. Οπτικός έλεγχος
 2. Επιθεώρηση με φωσφορίζοντα ή έγχρωμα υγρά
 3. Έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια

4. Ακτινογραφία
 5. Επιθεώρηση με δινορεύματα
 6. Υπερήχους
- Η χρήση του λιπαντικού στον αεριοστρόβιλο κινητήρα είναι απαραίτητη για την μείωση των τριβών και την ψύξη των κινούμενων μερών του.
 - Τα βασικά μέρη ενός συστήματος λίπανσης είναι τα ακόλουθα:
 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 κυστίδων
 9. Θερμοστατικές βαλβίδες
 10. Εγχυτήρες ψεκασμού λιπαντικού
 11. Διατάξεις στεγανοποίησης
 12. Όργανα ένδειξης πίεσης και θερμοκρασίας λιπαντικού
 - Οι τύποι των αντλιών λιπαντικού που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες αντίδρασης είναι οι ακόλουθοι:
 1. Η γραναζωτή αντλία
 2. Η αντλία αξονικού στροφείου
 3. Η αντλία τύπου gerotor
 - Τα συστήματα λίπανσης διακρίνονται στα ακόλουθα είδη:
 1. Σύστημα με ανακουφιστική βαλβίδα πίεσης κυστίδας τριβέα.
 2. Σύστημα συνεχούς ροής.
 3. Σύστημα λίπανσης ανοιχτού τύπου
 - Ο σκοπός ύπαρξης του συστήματος ψύξης στους στροβιλοκινητήρες είναι η μείωση της θερμοκρασίας των εξαρτημάτων του θερμού

τμήματος του στροβίλου, όπως τα πτερύγια και οι δίσκοι, ώστε να είναι δυνατή η αύξηση της θερμοκρασίας των αερίων εξόδου του θαλάμου καύσης. Έτσι επιτυγχάνεται αύξηση της απόδοσης των κινητήρων και της διάρκειας ζωής και αξιοπιστίας των εξαρτημάτων του θερμού τμήματος.

- Τα μέρη των στροβιλοκινητήρων για τα οποία απαιτείται ψύξη είναι τα ακόλουθα:
 1. Το εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα
 2. Ο Θάλαμος καύσης
 3. Σταθερά και κινητά πτερύγια στροβίλου
 4. Δίσκοι στροβίλου
- Οι προδιαγραφές που να πληροί έχει ένα **καύσιμο** για να είναι κατάλληλο για χρήση σε έναν αεριοστρόβιλο αεροπορικό κινητήρα είναι οι ακόλουθες:

Χαμηλό ιξώδες / μέγιστη δυνατή θερμοδική αξία / ελάχιστη τάση διάβρωσης / χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο / χαμηλή πτητικότητα
- Οι ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι αεροπορικών καυσίμων είναι το **JP-4** και το **JP-8** για τα στρατιωτικά αεροσκάφη και τα **Jet A** και **Jet A-1** για πολιτικά αεροσκάφη.
- Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα καυσίμου είναι τα παρακάτω:

Εξαρτήματα σκάφους

1. Δεξαμενές καυσίμου (fuel tanks)
2. Ενισχυτικές αντλίες καυσίμου αεροσκάφους (fuel booster pumps)
3. Βαλβίδες ελέγχου ροής καυσίμου (fuel shut of valves)
4. Φίλτρο καυσίμου χαμηλής πίεσης (low pressure fuel filter)
5. Ενδείκτες ποσότητας καυσίμου (fuel quantity indicators)

Εξαρτήματα κινητήρα

1. Κύρια αντλία καυσίμου (main fuel pump)
2. Φίλτρο καυσίμου (fuel filter)
3. Κύριος ρυθμιστής καυσίμου (Main fuel controller)
4. Εναλλάκτης λιπαντικού (Oil cooler)

5. Διανομέας καυσίμου (Fuel Manifold)
 6. Εγχυτήρες ψεκασμού καυσίμου (Fuel Injectors)
 7. Θερμαντήρας καυσίμου (Fuel Heater)
 8. Ενδείκτες πίεσης, θερμοκρασίας, και ροής καυσίμου (Pressure)
- Οι τύποι των εγχυτήρων καυσίμου που χρησιμοποιούνται στους στροβιλοκινητήρες είναι οι ακόλουθοι:
 1. Εγχυτήρες μονής ροής (Simplex)
 2. Εγχυτήρες διπλής ροής (Duplex)
 3. Εγχυτήρες ατμοποίησης καυσίμου.
 - Ο ρυθμιστής καυσίμου έχει σαν σκοπό την παροχή μετρημένης ποσότητας καυσίμου που θα ψεκάσουν οι εγχυτήρες καυσίμου στον θάλαμο καύσης. Η παροχή καυσίμου θα πρέπει να ανταποκρίνεται σε όλες τις συνθήκες πτήσης του αεροσκάφους.
 - Ο σκοπός ύπαρξης του συστήματος εκκίνησης σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα είναι η αύξηση των στοφών του άξονά του σε ύψος στροφών από τις οποίες θα μπορεί να διατηρήσει σταθερή καύση και να επιταχύνει μέχρι το σημείο βραδείας λειτουργίας.
 - Οι γνωστές μέθοδοι εκκίνησης αεριοστρόβιλων κινητήρων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα είναι οι ακόλουθες:
 1. Εκκίνηση με πνευματικό εκκινητή
 2. Εκκίνηση με ηλεκτρικό εκκινητή
 3. Εκκίνηση με ηλεκτρικό εκκινητή – γεννήτρια
 4. Εκκίνηση με φυσίγγιο πεπιεσμένου αερίου ή με στερεό καύσιμο
 5. Εκκίνηση με αξονοστρόβιλο
 - 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 ανάφλεξή του σε όλες τις πιθανές συνθήκες πτήσεως που μπορεί να αντιμετωπίσει το αεροσκάφος.
 - Τα είδη των συστημάτων ανάφλεξης που χρησιμοποιούνται στους στροβιλοκινητήρες είναι τα παρακάτω:
 1. Τα επαγωγικά συστήματα
 2. Τα πυκνωτικά συστήματα

3. Τα συστήματα ηλεκτρικής αντίστασης.

- Τα συστήματα προστασίας από παγοποίηση που χρησιμοποιούνται στους στροβιλοκινητήρες διακρίνονται στα συστήματα αντιπαγοποίησης και συστήματα αποπαγοποίησης. Τα πρώτα προλαμβάνουν την δημιουργία πάγου στον κινητήρα ενώ τα δεύτερα καταπολεμούν τον πάγο όταν αυτός δημιουργηθεί. Για την αντιπάγωση των μερών του κινητήρα χρησιμοποιείται θερμός αέρας που εξάγεται από τον συμπιεστή. Για την αποπάγωση χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές αντιστάσεις οι οποίες τοποθετούνται στα μέρη του κινητήρα που απαιτείται.
- Τα συστήματα πυρόσβεσης χωρίζονται σε συστήματα ανίχνευσης και συστήματα καταστολής της πυρκαγιάς. Για την αποτελεσματική προστασία του κινητήρα από εκδήλωση πυρκαγιάς και αντιμετώπιση της πυρκαγιάς όταν αυτή εκδηλωθεί ο κινητήρας χωρίζεται σε ζώνες προστασίας.
- Για την σωστή λειτουργία των στροβιλοκινητήρων είναι απαραίτητη η ένδειξη βασικών παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα:
 1. Λόγος πίεσης κινητήρα
 2. Στροφές κινητήρα
 3. Στοιχεία κινητήρα επί τοις εκατό
 4. Ροπή άξονα αξονοστρόβιλου κινητήρα
 5. Θερμοκρασία εξαγωγής καυσαερίων
 6. Ροή καυσίμου
 7. Πίεση λαδιού κινητήρα
 8. Θερμοκρασία εισαγωγής λιπαντικού
 9. Πίεση εισαγωγής καυσίμου
 10. Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής
 11. Εύρος ταλαντώσεων κινητήρα
- Τα βασικά κριτήρια επίδοσης των στροβιλοκινητήρων είναι η ώση για τους αεριοστρόβιλους κινητήρες και η παραγόμενη ισχύς στον άξονα των ελικοστρόβιλων και αξονοστρόβιλων κινητήρων. Άλλα κριτήρια επίδοσης των παραπάνω κινητήρων είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου, sfc, ο λόγος ώσης βάρους και η προωθητική απόδοση .

- Οι περιοχές λειτουργίας των στροβιλοκινητήρων που χρησιμοποιούνται σε πολιτικούς κινητήρες είναι οι ακόλουθες:
 1. Λειτουργία ξηρής ώσης απογείωσης– Take off thrust (Dry)
 2. Λειτουργία υγρής ώσης απογείωσης – Take off trust (Wet)
 3. Λειτουργία μέγιστης συνεχούς ώσης (Maximum continuous)
 4. Λειτουργία κανονικής ώσης ανόδου (Normal rated)
 5. Λειτουργία μέγιστης ώσης πλεύσης (Maximum cruise)
 6. Βραδεία λειτουργία (Idle)
- Οι περιοχές λειτουργίας των στροβιλοκινητήρων που χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικούς κινητήρες είναι οι ακόλουθες:
 1. Λειτουργία μέγιστης ώσης (Maximum thrust)
 2. Λειτουργία στρατιωτικής ώσης (Military thrust)
 3. Λειτουργία ώσης απογείωσης (Take off thrust)
 4. Λειτουργία κανονικής ώσης (Normal thrust rating)
 5. Βραδεία λειτουργία (Idle)

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

(3.1 Γενικά)

1. Για ποιους λόγους πρέπει κατά τη διάρκεια της συντήρησης ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα να χρησιμοποιείται η βιβλιογραφία του κατασκευαστή;
2. Ποιες πληροφορίες περιγράφουν τα εγχειρίδια συντήρησης;
3. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της ηλεκτρονικής βιβλιογραφίας συντήρησης αεριοστρόβιλων κινητήρων;

(3.2 Τύποι συντήρησης)

1. Αναφέρατε τους τύπους συντήρησης που πραγματοποιούνται σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα και τις απαιτήσεις σε εγκαταστάσεις συντήρησης που απαιτεί ο κάθε τύπος.
2. Σε ποιο τύπο συντήρησης πραγματοποιείται ο καθαρισμός του κινητήρα;
3. Ο καθαρισμός του συμπιεστή ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα πραγματοποιείται και με υλικά όπως κελύφη καρυδιών και πυρήνες βερύκοκου.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

4. Αναφέρατε τους λόγους αφαίρεσης του κινητήρα από το αεροσκάφος με σκοπό τη γενική επισκευή.
5. Αναφέρατε τους λόγους αφαίρεσης του κινητήρα από το αεροσκάφος με σκοπό τη γενική επισκευή.
6. Για την πραγματοποίηση γενικής επισκευής ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα απαιτείται:
 - A) Η εξουσιοδότηση από τον κατασκευαστή του κινητήρα.
 - B) Η απασχόληση από το επισκευαστικό κέντρο άρτια εκπαιδευμένου προσωπικού.
 - Γ) Το προσωπικό του επισκευαστικού κέντρου θα πρέπει να έχει άδεια εγκεκριμένη από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας.
 - Δ) Όλα τα παραπάνω είναι σωστά.

(3.3 Επιθεώρηση-συντήρηση, ρύθμιση, διερεύνηση και αποκατάσταση βλαβών σε τμήματα αεριοστρόβιλων κινητήρων)

1. Αναφέρατε τα πιο συνηθισμένα ευρήματα που εντοπίζονται κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης του συμπιεστή ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα.
2. Με ποιους τρόπους αποκαθίστανται οι φθορές που εντοπίζονται στα πτερύγια του συμπιεστή;
3. Τα συνήθη ευρήματα κατά την επιθεώρηση των θαλάμων καύσης περιλαμβάνουν ρωγμές, καψίματα, ενδείξεις υπερθέρμανσης, στρεβλώσεις και μηχανική διάβρωση.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

4. Οι θερμοπροστατευτικές επιστρώσεις στα πτερύγια του συμπιεστή χρησιμοποιούνται για:
 - A) την αποφυγή υπερθέρμανσης των πτερυγίων.
 - B) την αποτελεσματικότερη ψύξη τους.
 - Γ) τη μείωση του βάρους των πτερυγίων και άρα των φυγοκεντρικών φορτίων που δέχονται αφού αφαιρείται ποσότητα μετάλλου για την τοποθέτηση της επίστρωσης.
 - Δ) Όλα τα παραπάνω είναι σωστά.
5. Ποιοι είναι οι λόγοι που επιθεωρούνται διεξοδικά οι δίσκοι των αεριοστρόβιλων κινητήρων; Ποιοι μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την επιθεώρησή τους;
6. Αναφέρατε τις μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου που γνωρίζετε.
7. Σε τι αποσκοπεί η ζυγοστάθμιση των στροφείων ενός στροβιλοκινητήρα και με ποιόν τρόπο πραγματοποιείται;

(3.4 Λίπανση –Συστήματα λίπανσης)

1. Αναφέρατε τα αίτια πρόκλησης της τριβής και τους τρόπους που την αντιμετωπίζουμε.
2. Ποια είναι η βασικότερη φυσική ιδιότητα ενός λιπαντικού;
3. Ποιες συνέπειες έχει η δημιουργία αφρού σε ένα σύστημα λίπανσης και πως αντιμετωπίζεται το φαινόμενο αυτό;
4. Αναφέρατε τα εξαρτήματα, από τα οποία αποτελείται ένα αντιπροσωπευτικό σύστημα λίπανσης.

5. Ποιος είναι ο σκοπός ύπαρξης της ανακουφιστικής βαλβίδας στο φίλτρο και στην αντλία λιπαντικού;
6. Ο σκοπός ύπαρξης του μαγνητικού ανιχνευτή ρινισμάτων είναι η συλλογή όλων των ρινισμάτων που δημιουργούνται από την φθορά στον κινητήρα για αποφυγή δημιουργίας βλάβης στον κινητήρα .

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

7. Ποια είναι η βασική διαφορά ενός ανοιχτού τύπου συστήματος λίπανσης από τα άλλα συστήματα λίπανσης, και ποιά είναι τα πλεονεκτήματα που έχει; Αναφέρατε μια εφαρμογή του συστήματος αυτού.

(3.5 Σύστημα Ψύξης)

1. Αναφέρατε τους λόγους που χρησιμοποιείται το σύστημα ψύξης στους αεριοστρόβιλους κινητήρες. Ποιος παράγοντας συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του αεριοστρόβιλου κινητήρα σε σχέση με τον εμβολοφόρο;
2. Αναφέρατε τις μεθόδους ψύξης των σταθερών και κινητών πτερυγίων του στροβίλου των αεριοστρόβιλων κινητήρων.
3. Ποια είναι η βασική προϋπόθεση για να λειτουργήσει ο μηχανισμός ψύξης των πτερυγίων τα οποία διαθέτουν οπές ψύξης στην επιφάνεια τους;.
4. Ποιος είναι ο λόγος που απαιτείται η μεγαλύτερη επιτρεπόμενη θερμοκρασία εισαγωγής στροβίλου στους αεριοστρόβιλους κινητήρες;
5. Είναι απαραίτητη ψύξη των δίσκων του στροβίλου και για ποιο λόγο;

(3.6 Σύστημα καυσίμου και καύσιμα)

1. Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο προκαλεί οξείδωση στα μέρη του κινητήρα που βρίσκονται στο ρεύμα των καυσαερίων δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια της καύσης παράγεται θειικό οξύ καθώς αντιδρά το θείο με τους υδρατμούς των καυσαερίων.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

2. Αναφέρατε με ποιον ή ποιους τρόπους γίνεται η εισροή νερού στα αεροπορικά καύσιμα.
3. Ποιοι είναι οι παράγοντες που συντελούν στο σχηματισμό μικροοργανισμών στις δεξαμενές καυσίμου των αεροσκαφών; Τι

μπορεί να προκαλέσει στον κινητήρα η ύπαρξη μικροοργανισμών στο καύσιμο;

4. Οι ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι αεροπορικών καυσίμων είναι το Jet A και Jet A-1 για τα στρατιωτικά αεροσκάφη και τα JP-4 και JP-8 για τα πολιτικά αεροσκάφη.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

5. Αναφέρατε τα είδη εγχυτήρων που χρησιμοποιούνται στους αεριοστρόβιλους κινητήρες. Ποιος είναι ο λόγος που σε κάποιους τύπους εγχυτήρων χρησιμοποιούνται περισσότερες της μιας παροχές καυσίμου;

(3.7 Συστήματα εκκίνησης)

1. Αναφέρατε τις διαφορές στην διαδικασία εκκίνησης ενός εμβολοφόρου και ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα.
2. Τι σημαίνει ο όρος 'θερμή εκκίνηση' αεριοστρόβιλου κινητήρα και ποιος είναι ο λόγος που συμβαίνει;
3. Αναφέρατε τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη εκκίνηση αεριοστρόβιλων κινητήρων.
4. Ο ηλεκτρικός εκκινητής – γεννήτρια συνδυάζει την λειτουργία του εκκινητήρα με αυτόν της γεννήτριας εξοικονομώντας με αυτό τον τρόπο βάρος και χώρο στον κινητήρα.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

5. Ποια είναι τα είδη υδραυλικών εκκινητών που γνωρίζετε και ποιος είναι ο τρόπος λειτουργίας τους ;

(3.8 Συστήματα ανάφλεξης)

1. 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 ανάφλεξή του σε όλες τις πιθανές συνθήκες πτήσεως που μπορεί να αντιμετωπίσει το αεροσκάφος.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

2. Ποια είναι τα είδη των συστημάτων ανάφλεξης; Αναφέρατε τις διαφορές στον τρόπο λειτουργίας τους.
3. Αναφέρατε τα βασικά εξαρτήματα του πυκνωτικού συστήματος ανάφλεξης και τον τρόπο λειτουργίας του.

4. Ποια είναι τα βασικά τμήματα ενός τυπικού αναφλεκτήρα αεριοστρόβιλου κινητήρα;
5. Για ποιο λόγο πρέπει ο εκκινητής ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα να συνεχίζει να λειτουργεί από τη στιγμή που θα αναφλεγεί το μείγμα αέρα καυσίμου στον θάλαμο καύσης του κινητήρα;

(3.9 Προστασία από παγοποίηση.)

1. Ποια είναι τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσει ο σχηματισμός πάγου σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα;
2. Ποια είναι η φιλοσοφία λειτουργίας των συστημάτων αντιπάγωσης και ποιά των συστημάτων αποπάγωσης;
3. Ο σχηματισμός πάγου στην εισαγωγή ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα μπορεί να προκαλέσει:
 - A) Την αύξηση της ώσης του κινητήρα.
 - B) Την μείωση της θερμοκρασίας εξαγωγής καυσαερίων.
 - Γ) Τη μείωση της ώσης του κινητήρα.
 - Δ) Την αύξηση της ποσότητας λιπαντικού στην δεξαμενή του κινητήρα.
4. Περιγράψτε τα βασικά εξαρτήματα ενός τυπικού αντιπαγωτικού συστήματος αεριοστρόβιλου κινητήρα.
5. Η ύπαρξη νερού στο κύκλωμα του καυσίμου μπορεί να προκαλέσει απόφραξη των φίλτρων καυσίμου όταν το αεροσκάφος πετάει σε μεγάλα ύψη.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

(3.10 Συστήματα πυρόσβεσης)

1. Τα συστήματα πυρόσβεσης που χρησιμοποιούνται στους αεριοστρόβιλους κινητήρες είναι μόνιμα ή φορητά;
2. Πόσες και ποιες είναι οι ζώνες πυρόσβεσης που διαθέτουν οι αεριοστρόβιλοι κινητήρες;
3. Η πυρκαγιά είναι μια χημική αντίδραση μεταξύ του οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα και του καυσίμου η οποία εκδηλώνεται όταν τα δύο παραπάνω στοιχεία βρεθούν σε συνθήκες μεγάλης θερμοκρασίας ή παρουσία πηγής ανάφλεξης, όπως φλόγα ή σπινθήρας.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

4. Αναφέρατε τις αιτίες πρόκλησης πυρκαγιάς σε ένας αεριοστρόβιλο κινητήρα. Με ποιον τρόπο εκτός του συστήματος πυρόσβεσης, μπορεί να αποτραπεί η εξάπλωση της πυρκαγιάς;
5. Αναφέρατε τα εξαρτήματα ενός κυκλώματος πυρανίχνευσης και τον τρόπο που αυτό λειτουργεί.

(3.11 Έλεγχοι και όργανα αεριοστρόβιλου κινητήρα)

1. Ο ρυθμιστής καυσίμου εκτός από την θέση του μοχλού ισχύος διορθώνει τη ροή του καυσίμου με τις ακόλουθες παραμέτρους:
 - A) Τη στατική πίεση του αέρα.
 - B) Την περιστροφική ταχύτητα του κινητήρα.
 - Γ) Την στατική πίεση του θαλάμου καύσης.
 - Δ) Όλα τα παραπάνω.
2. Ποιος είναι ο ρόλος ύπαρξης του συστήματος συγχρονισμού λειτουργίας κινητήρων στα πολυκινητήρια αεροσκάφη;
3. Ποια είναι η χρήση του οργάνου μέτρησης της ροής καυσίμου στον αεριοστρόβιλο κινητήρα;
4. Με ποιον τρόπο λειτουργεί το όργανο μέτρησης της ώσης του αεριοστρόβιλου κινητήρα;
5. Περιγράψτε την αρχή λειτουργίας της διάταξης μέτρησης της ροπής ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα.
6. Για ποιους λόγους είναι βασική η ένδειξη της θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα;

(3.12 Επιδόσεις των κινητήρων αντίδρασης)

1. Ποια είναι τα βασικά κριτήρια επίδοσης για τους αεριοστρόβιλους και ποια για τους αξονοστρόβιλους κινητήρες;
2. Με ποιο τρόπο μπορεί να αυξηθεί η ώση ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα χωρίς την χρήση μετάκαυσης και ποιο είναι το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου;
3. Ποιος είναι ο ορισμός της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου; Ποια είναι τα πλεονεκτήματα ενός κινητήρα με μικρή ειδική κατανάλωση καυσίμου;
4. Ο στροβιλοαντιδραστήρας είναι ο πλέον κατάλληλος τύπος κινητήρα για πτήσεις με μικρές ταχύτητες και σε μικρά ύψη.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

5. Για ποιες εφαρμογές θα προτεινάτε έναν αεριοστρόβιλο υψηλής παράκαμψης; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

(3.13 Λειτουργία των κινητήρων αντίδρασης)

1. Αναφέρατε τις περιοχές λειτουργίας των πολιτικών κινητήρων. Για ποιο λόγο υπάρχει διάκριση μεταξύ των περιοχών λειτουργίας των πολιτικών κινητήρων σε σχέση με τους στρατιωτικούς;
2. Είναι δυνατόν ένας στρατιωτικός κινητήρας να αναπτύξει μεγαλύτερη ώση από τη «στρατιωτική» και αν ναι με ποιον τρόπο;
3. Ποιος είναι ο λόγος που χρησιμοποιούνται οι καμπύλες ρύθμισης ώσης στους στροβιλοαντιδραστήρες;
4. Περιγράψτε τις ενέργειες που πρέπει να πραγματοποιήσει το πλήρωμα ενός αεροσκάφους σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης που οφείλεται σε συμβάν από κινητήρα.
5. Για κάποιους τύπους κινητήρων είναι απαραίτητο να λειτουργήσουν για ένα μικρό χρονικό διάστημα σε βραδεία λειτουργία για την ψύξη των μερών του θερμού τμήματός τους.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

ΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Αναζητείστε πληροφορίες σχετικά με τους τύπους λιπαντικών και καυσίμων που χρησιμοποιούνται στους αεριοστρόβιλους κινητήρες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους όπως:
 - Τις τιμές του ιξώδους που παράγονται.
 - Τις προδιαγραφές των καυσίμων JP-8 και Jet A.
 - Συγκρίνετε τις προδιαγραφές των δύο παραπάνω τύπων καυσίμου φτιάχνοντας έναν κατάλογο με αυτές.
2. Αναζητήστε πληροφορίες για τα συστήματα εκκίνησης αεριοστρόβιλων κινητήρων:
 - Σχετικά με τους υπάρχοντες τύπους επίγειων μονάδων και του τύπου των κινητήρων που χρησιμοποιούν.
 - Σχετικά με τις δυνατότητες που έχουν σε παροχή αέρα, ρεύματος και υδραυλικής πίεσης.
3. Επισκεφθείτε την τεχνική βάση συντήρησης μιας αεροπορικής εταιρείας:
 - Φτιάξτε μια λίστα από τα όργανα του κινητήρα και αναγνωρίστε τα στην κονσόλα ενός αεροσκάφους.
 - Εντοπίστε στη άτρακτο του αεροσκάφους τα σημεία λήψης στατικής και δυναμικής πίεσης.
 - Ανατρέξτε στην τεχνική βιβλιογραφία ενός κινητήρα και εντοπίστε στον κινητήρα τα σημεία που βρίσκονται οι γεννήτριες στροφών του κινητήρα.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ

Εργαστηριακή άσκηση 3.1: Συναρμολόγηση και ζυγοστάθμιση ρότορα συμπιεστή. Συναρμολόγηση βαθμίδων συμπιεστή.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να συναρμολογείτε τα κινητά περυγία στο δίσκο του συμπιεστή αεροπορικού αεριοστροβίλου κινητήρα, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής του κατασκευαστή.
- β) Να εκτελείτε τη διαδικασία της ζυγοστάθμισης των περυγίων σε όλη την έκτασή της.
- γ) Να συναρμολογείτε τις βαθμίδες του συμπιεστή.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Η διαδικασία αποσυναρμολόγησης των βαθμίδων συμπιεστή έχει ως αναφορά κινητήρα τύπου TF33 (στροβιλοανεμιστήρας, υψηλού λόγου παράκαμψης). Το τμήμα του συμπιεστή αποτελείται από ανεμιστήρα 2 βαθμίδων ($1^n - 2^n$)¹, το συμπιεστή χαμηλής πίεσης 6 βαθμίδων ($4^n - 9^n$)² και το συμπιεστή υψηλής πίεσης 7 βαθμίδων ($10^n - 16^n$).

Απαιτούμενα μέσα

Κινητήρας τύπου στροβιλοανεμιστήρα, κατάλληλη περιστρεφόμενη κλίνη για την τοποθέτησή του, εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής από την κατασκευάστρια εταιρεία, μία σειρά των απαραίτητων ειδικών εργαλείων για την διαδικασία της συναρμολόγησης, ειδικές μηχανές για την τοποθέτηση των κινητών περυγίων στους δίσκους, ειδικές μηχανές ζυγοστάθμισης, γενικά εργαλεία (συγκράτησης, μέτρησης, χάραξης, κοπής, κρούσης), μικρός γερανός με σχοινιά ανάρτησης («σαμπάνια») ή αλυσίδες ή ιμάντες βαρούλκων, κηροζίνη ή άλλο κατάλληλο καθαριστικό διάλυμα.

¹ Υπενθυμίζεται ότι η αρίθμηση των βαθμίδων γίνεται από το εμπρόσθιο προς το οπίσθιο τμήμα του κινητήρα. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αρίθμηση ανά τύμπανο (π.χ. 2^η βαθμίδα συμπιεστή χαμηλής πίεσης).

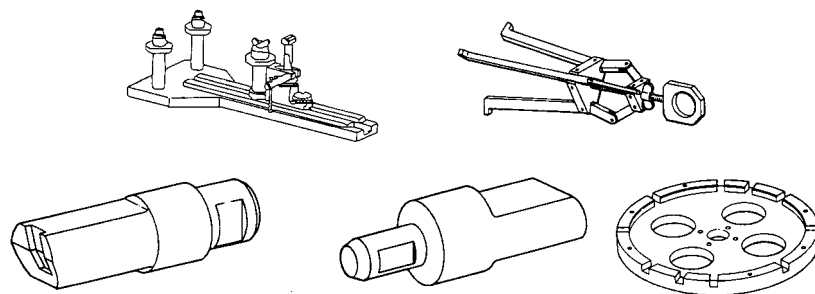
² Η 3^η βαθμίδα δεν υπάρχει. Τη θέση της καταλαμβάνει ο δίσκος απόστασης $2^{15} - 4^{15}$ βαθμίδας.

Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθείστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας του Παραρτήματος Β.

Πορεία εργασίας

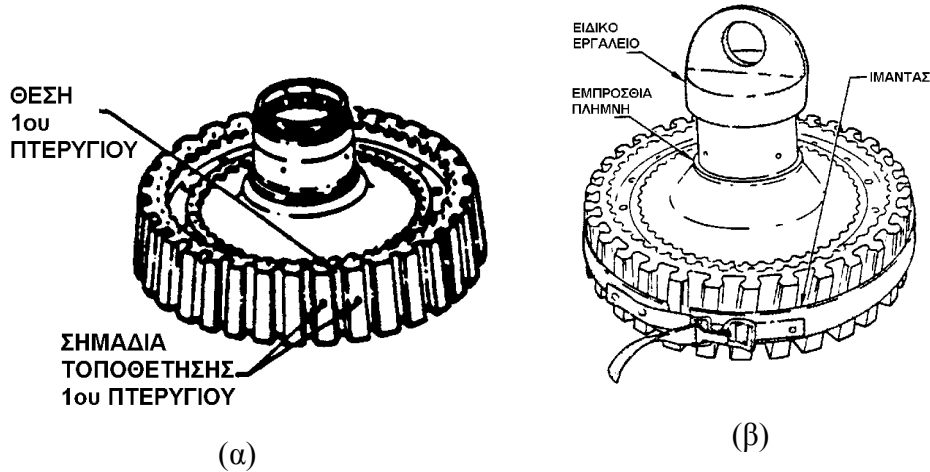
1. Μελετήστε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής. Προδιαγράψτε τη σειρά των εργασιών που θα πραγματοποιήσετε στα πλαίσια της συναρμολόγησης των στροφείων, της ζυγοστάθμισής τους και της συναρμολόγησης των βαθμίδων. Βεβαιωθείτε για την ύπαρξη των ειδικών εργαλείων που θα απαιτηθούν για την απρόσκοπτη διεξαγωγή τους.
2. Εξασφαλίστε ικανό αριθμό πάγκων εργασίας, χωρίς αντικείμενα στην επιφάνειά τους.
3. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.
 - ◆ Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της ενότητας αυτής (Σχήμα 3.70).
 - ◆ Συγκεντρώστε τα κινητά πτερύγια των βαθμίδων του ανεμιστήρα και του συμπιεστή χαμηλής πίεσης. Βεβαιωθείτε ότι για κάθε ρότορα, ο αριθμός των πτερυγίων που έχουν υποστεί επισκευή (blend) δεν ξεπερνά το 50% του συνόλου τους. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για τα όρια που τίθενται όσον αφορά την επισκευή αυτή.
 - ◆ Βεβαιωθείτε ότι όλα τα πτερύγια έχουν ζυγιστεί και το βάρος τους αναγράφεται σε ειδικό σημείο στην επιφάνειά τους. Ακόμη, βεβαιωθείτε ότι τα πτερύγια δεν έχουν εξαντλήσει το μέγιστο επιτρεπόμενο χρονικό όριο λειτουργίας τους, ελέγχοντας τα μητρώα του κινητήρα.



Σχήμα 3.70 Ειδικά εργαλεία

- ◆ Η θέση στην οποία τοποθετείται το πρώτο κινητό πτερύγιο στο δίσκο του στροφείου οριοθετείται από ειδικά σημάδια (Σχήμα 3.71^α). Τοποθετείστε το κατάλληλο ειδικό εργαλείο στην πλήμνη του

συμπιεστή και έναν μάντα στην περιφέρειά της (Σχήμα 3.71β). Ανασηκώστε το δίσκο με το γερανό και τοποθετήστε τον στον πάγκο εργασίας, ή σε κατάλληλο υποδοχέα. Απομακρύνετε το γερανό.

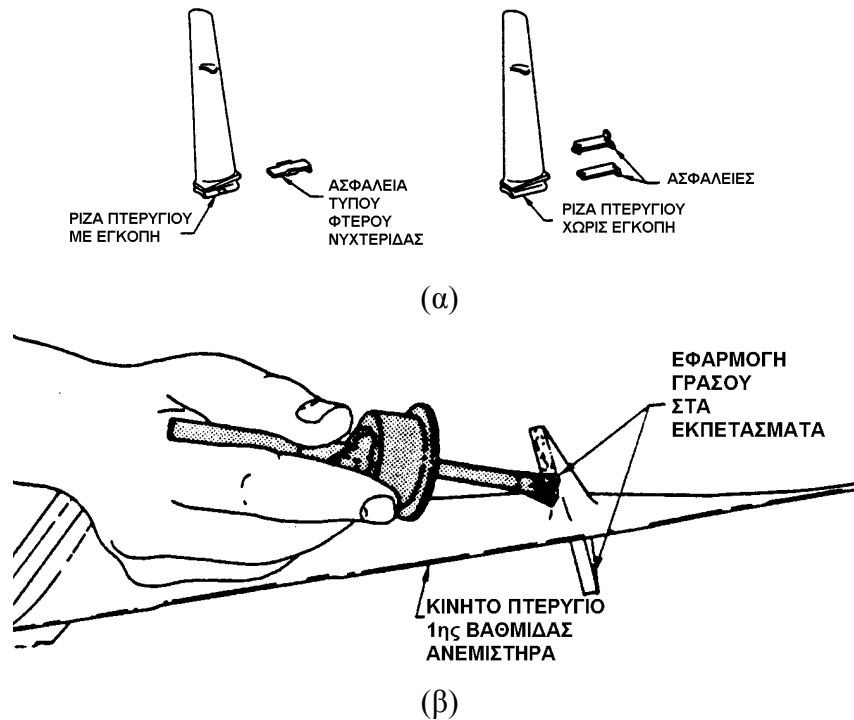


Σχήμα 3.71 Δίσκος συμπιεστή χαμηλής πίεσης

- ◆ Απομονώστε τα κινητά πτερύγια της 1^{ης} βαθμίδας του ανεμιστήρα πραγματοποιώντας τους προαναφερόμενους ελέγχους. Επίσης, συγκεντρώστε τις κατάλληλες ασφάλειες (locks) των πτερυγίων, ανάλογα με τον τύπο τους, και σιγουρευτείτε ότι δεν παρουσιάζουν την οποιαδήποτε φθορά (Σχήμα 3.72α).
- ◆ Πριν ξεκινήσετε την τοποθέτηση των πτερυγίων στην πλήμνη, εφαρμόστε στα **εκπετάσματα**¹ που αυτά φέρουν, ειδικό γράσο, το οποίο θα εμποδίσει τη δημιουργία φθοράς από την επαφή των πτερυγίων στα σημεία αυτά (Σχήμα 3.72β).
- ◆ Ξεκινήστε την τοποθέτηση των πτερυγίων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.73. Τοποθετήστε το πρώτο πτερύγιο ή το σετ των πρώτων πτερυγίων και εφαρμόστε τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής για τη σειρά τοποθέτησης την οποία πρέπει να ακολουθήσετε (Σχήμα 3.73).
- ◆ Αφαιρέστε τον μάντα από την πλήμνη. Χρησιμοποιώντας πλαστική ματσόλα χτυπήστε τις ρίζες των πτερυγίων ώστε αυτά να «καθήσουν» στη θέση τους. Εξασφαλίστε την καλή τοποθέτηση των πτερυγίων,

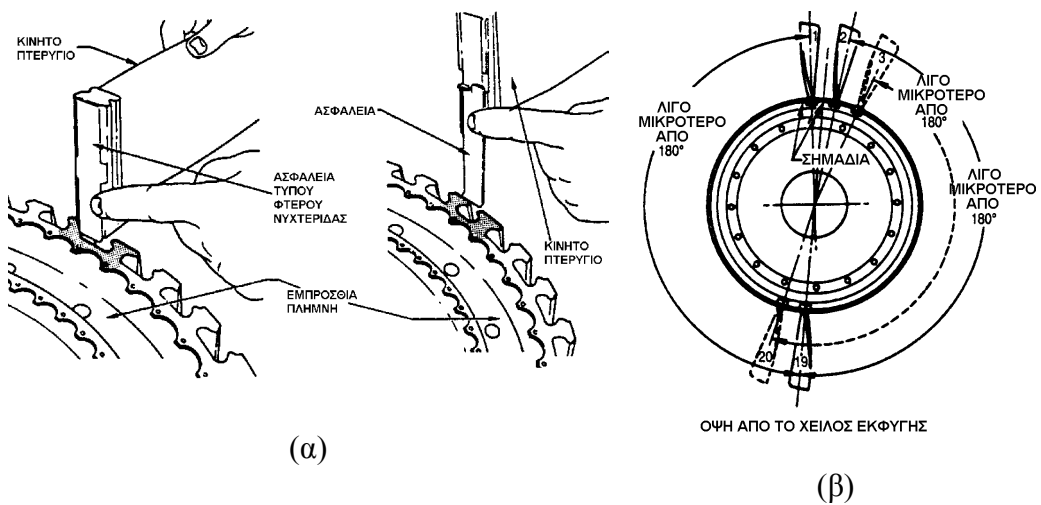
¹ Τα εκπετάσματα προσφέρουν «στήριξη» μεταξύ των πτερυγίων της 1^{ης} βαθμίδας του ανεμιστήρα. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίζεται η μεγάλη καμπτική ροπή που αναπτύσσεται, εξαιτίας του μεγάλου μήκους αυτών των πτερυγίων.

ελέγχοντας ότι η ρίζα του κάθε πτερυγίου βρίσκεται «πρόσωπο» με την επιφάνεια της πλήμνης.



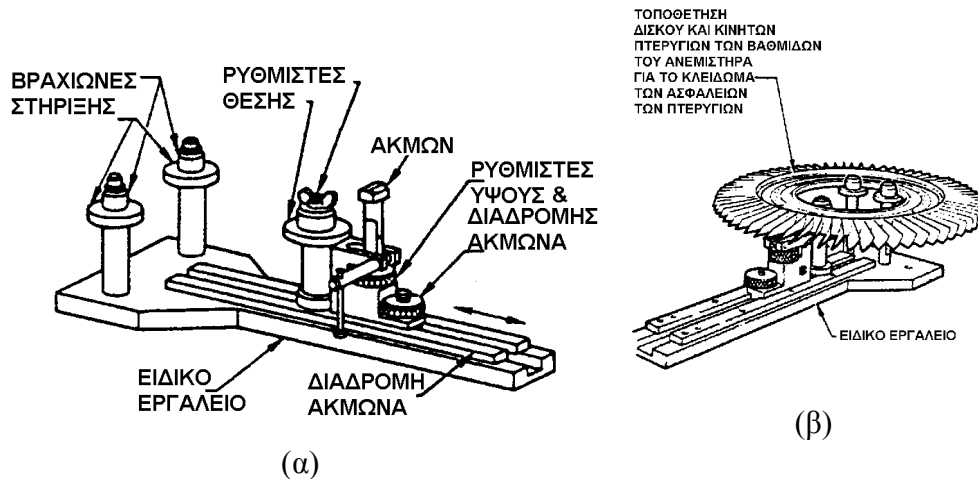
Σχήμα 3.72 Κινητά πτερύγια 1ης βαθμίδας ανεμιστήρα

- ◆ Τοποθετείστε, προσωρινά, ταινία στην περιφέρεια της πλήμνης, ώστε να αποφευχθεί η μετατόπιση των πτερυγίων από τη θέση τους.
- ◆ Στη συνέχεια, τα πτερύγια και ο δίσκος θα υποστούν έλεγχο στατικής ζυγοστάθμισης, σύμφωνα με τη διαδικασία που θα περιγράψουμε στη συνέχεια.



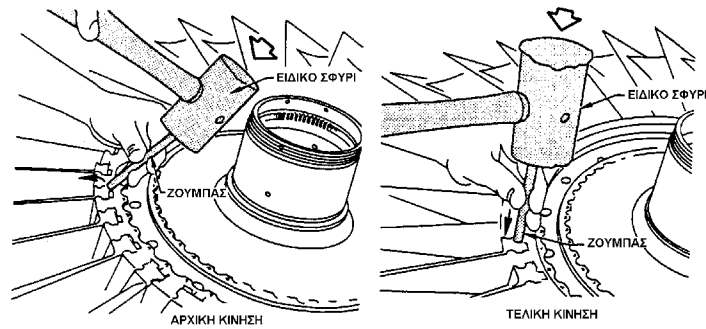
Σχήμα 3.73 Τοποθέτηση κινητών πτερυγίων ανεμιστήρα.

- ◆ Τέλος, «κλειδώστε» τις ασφάλειες των πτερυγίων. Χρησιμοποιήστε το κατάλληλο ειδικό εργαλείο για την εργασία αυτήν, Σχήμα 3.74α. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για τους ελέγχους που πρέπει να κάνετε στο εργαλείο αυτό πριν τη χρήση του.
- ◆ Τοποθετείστε το δίσκο και τα πτερύγια στο ειδικό εργαλείο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.74β.

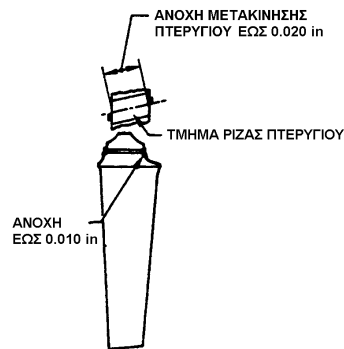


Σχήμα 3.74 (α) Ειδικό εργαλείο για την ασφάλιση πτερυγίων, (β) τοποθέτηση δίσκου και πτερυγίων σε ειδική βάση.

- ◆ Ακολουθείστε τις οδηγίες του εγχειριδίου και «κλειδώστε» τις ασφάλειες των πτερυγίων χρησιμοποιώντας ειδικό σφυρί και ζουμπά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.75α. Ελέγξτε τις ανοχές των πτερυγίων και τις κινήσεις που είναι σε θέση να πραγματοποιούν μετά την εργασία της ασφάλισης (Σχήμα 3.75). Συγκρίνετε με τα επιτρεπόμενα όρια όπως αυτά δίνονται στο εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής.
- ◆ Η εργασία του κλειδώματος των ασφαλειών των πτερυγίων μπορεί να γίνει και με τη χρήση ειδικού μηχανήματος, όπως αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 3.76.
- ◆ Η ίδια διαδικασία με την παραπάνω θα ακολουθηθεί για την τοποθέτηση των κινητών πτερυγίων της 2^{ης} βαθμίδας του ανεμιστήρα και των βαθμίδων 4 έως 9 του συμπιεστή χαμηλής πίεσης. Πραγματοποιήστε τους ίδιους ελέγχους όπως στα πτερύγια της 1^{ης} βαθμίδας του ανεμιστήρα. Εφαρμόστε ειδικό γράσο στα εκτετάσματα που φέρουν τα πτερύγια της 2^{ης} βαθμίδας.

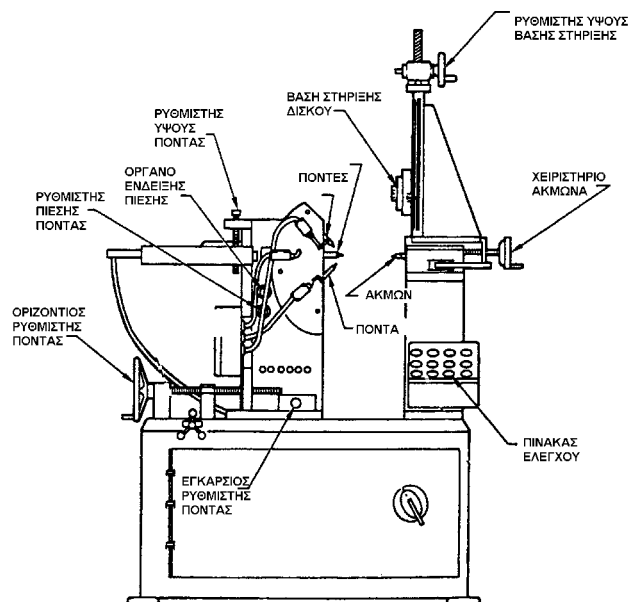


(α)



(β)

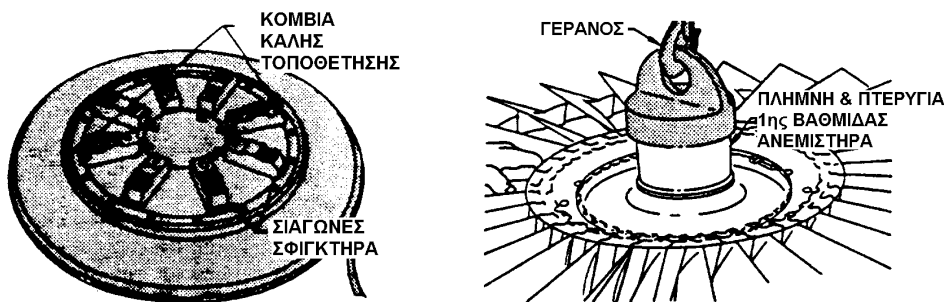
Σχήμα 3.75 (α) Ασφάλιση κινητών πτερυγίων, (β) περιοχές ελέγχου των κινητών πτερυγίων μετά την ασφάλισή τους στο δίσκο.



Σχήμα 3.76 Ειδικό μηχάνημα ασφάλισης κινητών πτερυγίων.

4. ΣΤΑΤΙΚΗ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ¹

- ◆ Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της ενότητας αυτής.
- ◆ Η διαδικασία της στατικής ζυγοστάθμισης (ή ζυγοστάθμισης ενός επιπέδου) θα πραγματοποιηθεί σε ειδική μηχανή. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο του κατασκευαστή για τις συγκεκριμένες ενέργειες που πρέπει να κάνετε πριν, κατά διάρκεια και μετά το πέρας της διαδικασίας της στατικής ζυγοστάθμισης.
- ◆ Τοποθετείστε το δίσκο με τα κινητά πτερύγια της 1^η βαθμίδας του ανεμιστήρα στο σφιγκτήρα (τσοκ) του μηχανήματος της στατικής ζυγοστάθμισης, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο και το γερανό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.77.
- ◆ Ασφαλίστε την πλήμνη και τα πτερύγια στο σφιγκτήρα. Κλείστε το σκέπαστρο του μηχανήματος και ξεκινήστε τη λειτουργία του στις 900 RPM το ελάχιστο.
- ◆ Ελέγξτε τη στατική αζυγοσταθμία. Συγκρίνετε με τα επιτρεπόμενα όρια όπως αυτά δίνονται στο εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής. Στην περίπτωση που η μέτρηση του μηχανήματος βρίσκεται εκτός αυτών των ορίων, χρησιμοποιήστε τα βάρη ζυγοστάθμισης.

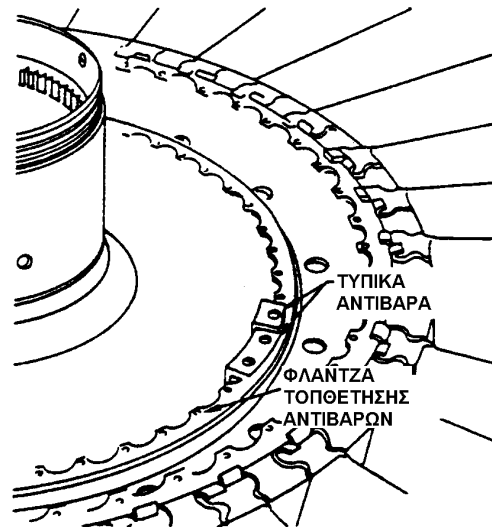


Σχήμα 3.77 Τοποθέτηση του δίσκου και των πτερυγίων της 1ης βαθμίδας στη μηχανή στατικής ζυγοστάθμισης.

- ◆ Τοποθετείστε ένα έως τέσσερα αντίβαρα ζυγοστάθμισης, στην ειδική υποδοχή του της φλάντζας της πλήμνης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.78, σύμφωνα φυσικά με τις οδηγίες του εγχειριδίου,. Ασφαλίστε τα προσωρινά με πείρους και ταινία.

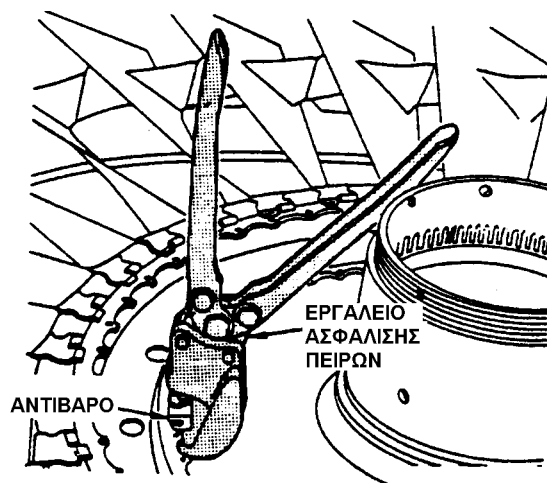
¹ Βλέπε και §3.3.5.

- ◆ Κλείστε το σκέπαστρο του μηχανήματος και επαναλάβετε τη λειτουργία του στις 900 RPM το ελάχιστο. Η στατική αζυγοσταθμία θα είναι εντός των επιτρεπομένων ορίων (στην αντίθετη περίπτωση επιβάλλεται αποσυναρμολόγηση του ανεμιστήρα και του συμπιεστή χαμηλής πίεσης και επανασυναρμολόγησή τους). Σημειώστε το σημείο της μέγιστης αζυγοσταθμίας όπως αυτό μετρήθηκε από το μηχάνημα.



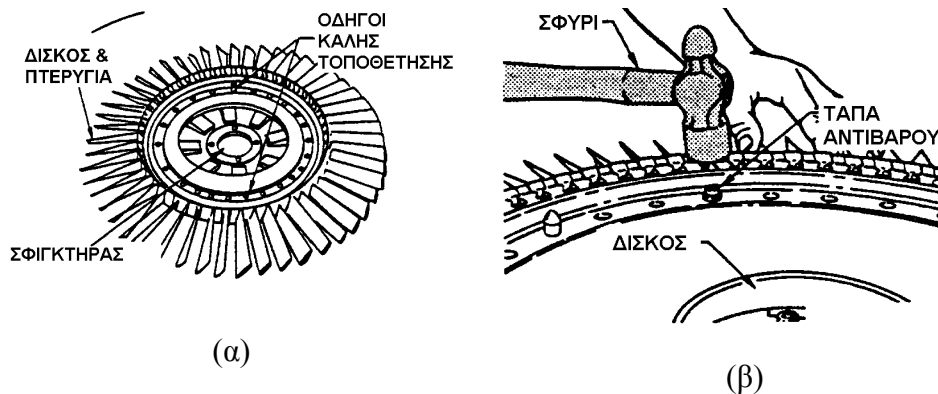
Σχήμα 3.78 Τοποθέτηση αντιβάρων.

- ◆ Αφαιρέστε την ταινία από τα πτερύγια. Ασφαλίστε τα αντίβαρα ζυγοστάθμισης στην τελική τους θέση χρησιμοποιώντας ειδικό εργαλείο για τους πείρους ασφάλισης (Σχήμα 3.79). Επιθεωρείστε τους πείρους με μεγεθυντικό φακό 10X. Στην περίπτωση που έχει δημιουργηθεί ρωγμή σε κάποιον από αυτούς, αντικαταστήστε τον.



Σχήμα 3.79 Ασφάλιση των αντιβάρων ζυγοστάθμισης.

- ◆ Τοποθετείστε το δίσκο και τα πτερύγια της 2^{ης} βαθμίδας του ανεμιστήρα στο σφιγκτήρα (τσοκ) του μηχανήματος της στατικής ζυγοστάθμισης, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο και το γερανό. Ακολουθείστε την ίδια ακριβώς διαδικασία όπως παραπάνω. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για τα όρια αζυγοσταθμίας και τον αριθμό των βαρών ζυγοστάθμισης που θα πρέπει να τοποθετήσετε στο δίσκο σε περίπτωση στατικής αζυγοσταθμίας. Μετά την επίτευξη των ορίων, ασφαλίστε τους πείρους όπως παραπάνω.



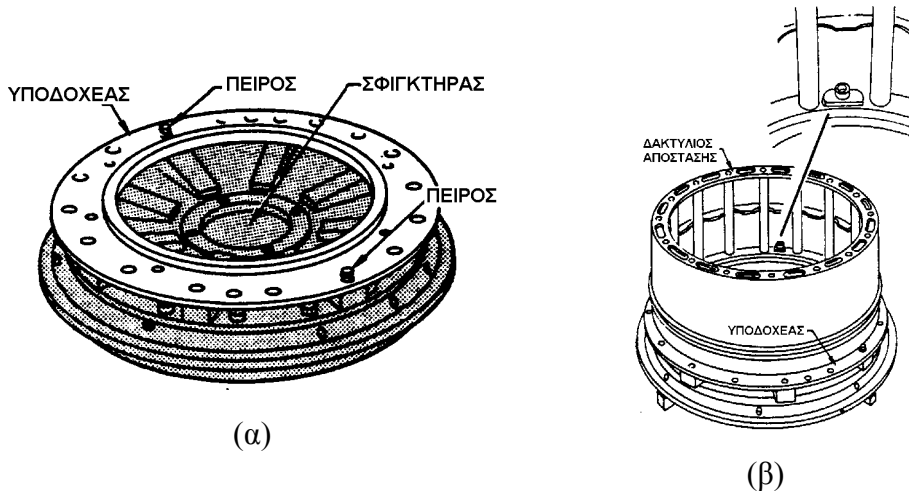
Σχήμα 3.80 Διαδικασία στατικής ζυγοστάθμισης για τις βαθμίδες του συμπιεστή χαμηλής πίεσης.

- ◆ Στη συνέχεια, τοποθετείστε στο σφιγκτήρα (τσοκ) του μηχανήματος το δίσκο και τα κινητά πτερύγια κάθε μίας από τις βαθμίδες του συμπιεστή χαμηλής πίεσης (4^η – 9^η) ξεχωριστά, Σχήμα 3.80α. Ακολουθείστε την παραπάνω διαδικασία, με τη βοήθεια του εγχειριδίου για τον καθορισμό των αντιβάρων ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.80β) ανάλογα με τα καθορισμένα, για κάθε μία από τις βαθμίδες, όρια αζυγοσταθμίας.

5. ΣΤΑΤΙΚΗ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΒΑΘΜΙΔΑΣ

- ◆ Τοποθετείστε τον κατάλληλο υποδοχέα στο σφιγκτήρα του μηχανήματος στατικής ζυγοστάθμισης για την υποδοχή του δακτυλίου απόστασης της πρώτης βαθμίδας του ανεμιστήρα, Σχήμα 3.81α.
- ◆ Τοποθετείστε το δακτύλιο στον υποδοχέα, Σχήμα 3.81β.
- ◆ Ασφαλίστε το δακτύλιο. Κλείστε το σκέπαστρο του μηχανήματος και ξεκινήστε τη λειτουργία του στις 600 RPM το ελάχιστο.

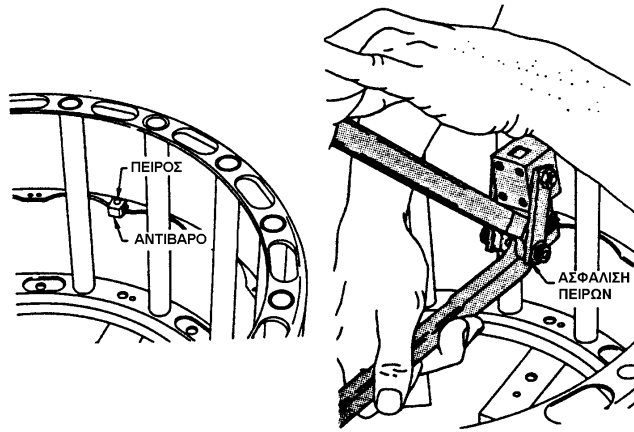
- ◆ Ελέγξτε τη στατική αζυγοσταθμία. Συγκρίνετε με τα επιτρεπόμενα όρια όπως αυτά δίνονται στο εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής. Στην περίπτωση που η μέτρηση του μηχανήματος βρίσκεται εκτός αυτών των ορίων, χρησιμοποιήστε τα βάρη ζυγοστάθμισης.



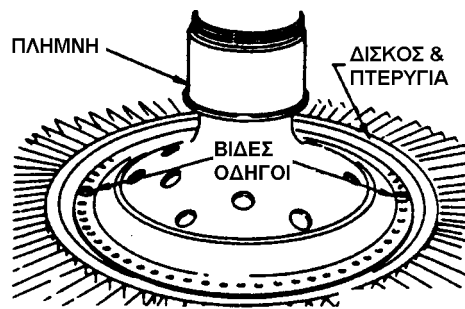
Σχήμα 3.81 Προετοιμασία για τη ζυγοστάθμιση δακτυλίου απόστασης

- ◆ Τοποθετείστε τον απαραίτητο αριθμό βαρών ζυγοστάθμισης για τον περιορισμό της αζυγοσταθμίας, όπως αυτός προκύπτει από τη μέτρηση του μηχανήματος και τις οδηγίες του εγχειριδίου, στην ειδική υποδοχή του δακτυλίου απόστασης. Ασφαλίστε τα προσωρινά με πείρους και ταινία.
- ◆ Κλείστε το σκέπαστρο του μηχανήματος και επαναλάβετε τη λειτουργία του στις 600 RPM το ελάχιστο. Η στατική αζυγοσταθμία θα είναι εντός των επιτρεπομένων ορίων. Σημειώστε το σημείο της μέγιστης αζυγοσταθμίας όπως αυτό μετρήθηκε από το μηχανήμα.
- ◆ Αφαιρέστε την ταινία από τους πείρους. Ασφαλίστε τα βάρη ζυγοστάθμισης στην τελική τους θέση χρησιμοποιώντας ειδικό εργαλείο για τους πείρους ασφάλισης (Σχήμα 3.82). Επιθεωρείστε τους πείρους με μεγεθυντικό φακό 10X. Στην περίπτωση που έχει δημιουργηθεί ρωγμή σε κάποιον από αυτούς, αντικαταστήστε τον.
- ◆ Επαναλάβετε την παραπάνω διαδικασία για το δακτύλιο απόστασης της 2^{ης} βαθμίδας του ανεμιστήρα και για τους δακτυλίους των βαθμίδων 4 έως 9 του συμπιεστή χαμηλής πίεσης. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για τον καθορισμό των αντίβαρων ζυγοστάθμισης ανάλογα με τα καθορισμένα, για κάθε έναν από τους δακτυλίους, όρια αζυγοσταθμίας.

- ◆ Τέλος, επαναλάβετε την παραπάνω διαδικασία αφού συναρμολογήσετε μεταξύ τους την πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης, τον αντίστοιχο δίσκο και τον αντίστοιχο δακτύλιο απόστασης (Σχήμα 3.83).



Σχήμα 3.82 Διαδικασία ζυγοστάθμισης δακτυλίου.

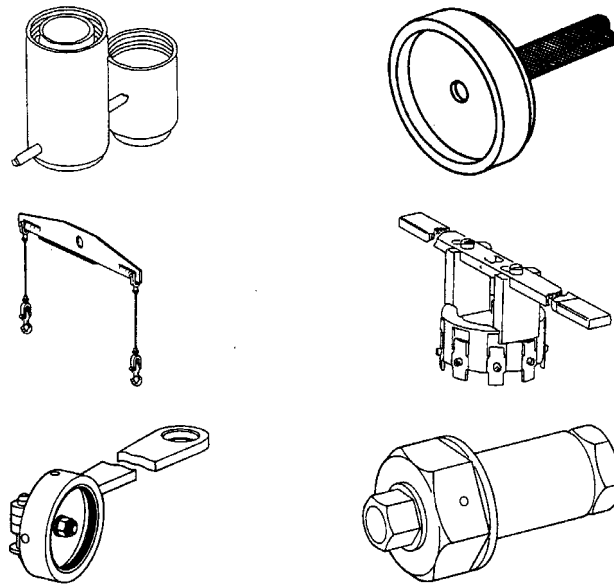


Σχήμα 3.83 Τοποθέτηση της πλήμνης στο δίσκο.

6. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΡΟΤΟΡΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΤΟ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- ◆ Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της ενότητας αυτής (Σχήμα 3.84).
- ◆ Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία και την αντλία πίεσης τοποθετείστε το σύνδεσμο και τα υπόλοιπα εξαρτήματα στην πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.85¹.

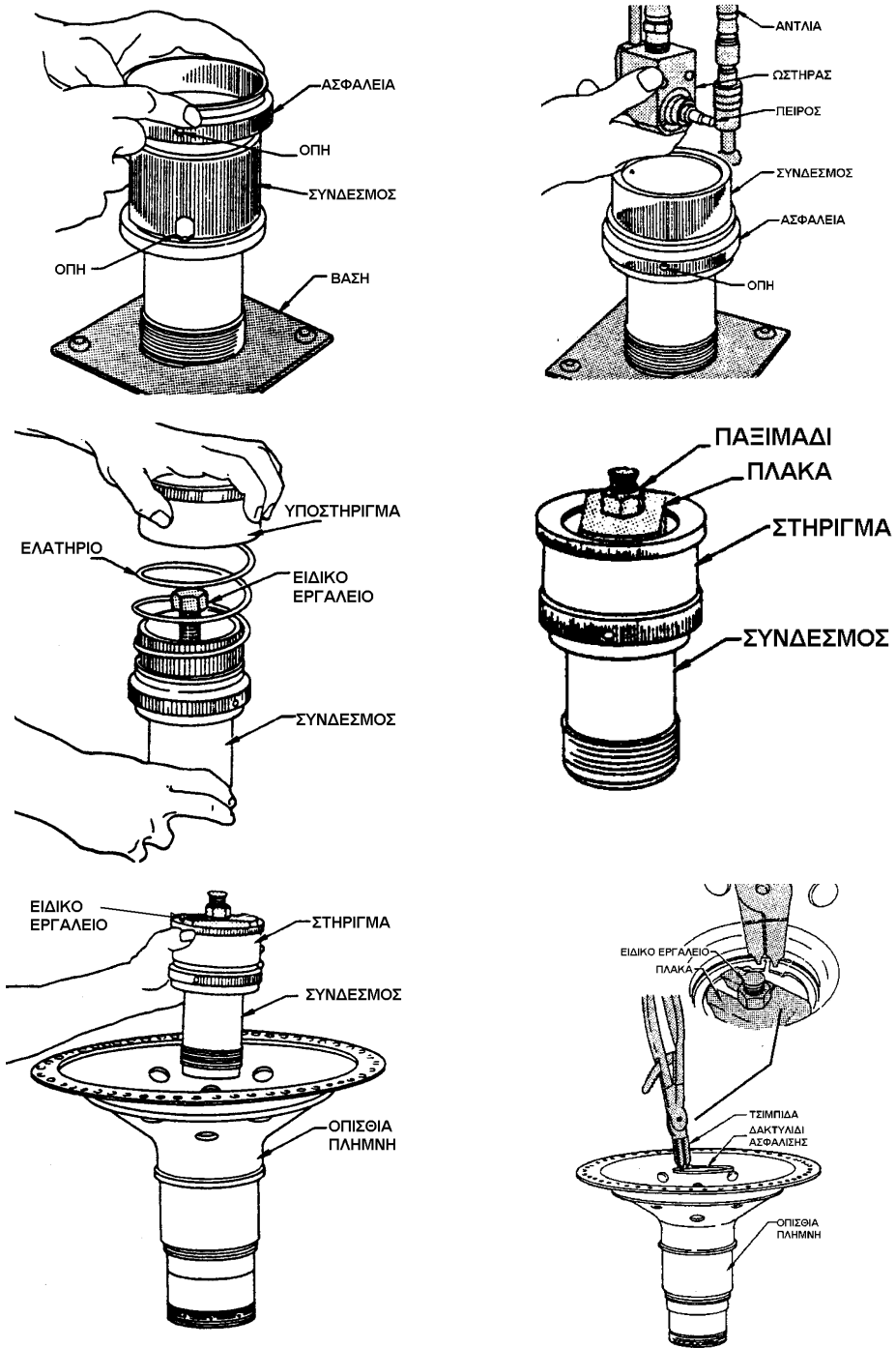
¹ Ο σύνδεσμος εξασφαλίζει τη μετάδοση κίνησης από τον άξονα του στροβίλου χαμηλής πίεσης στην οπίσθια πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης.



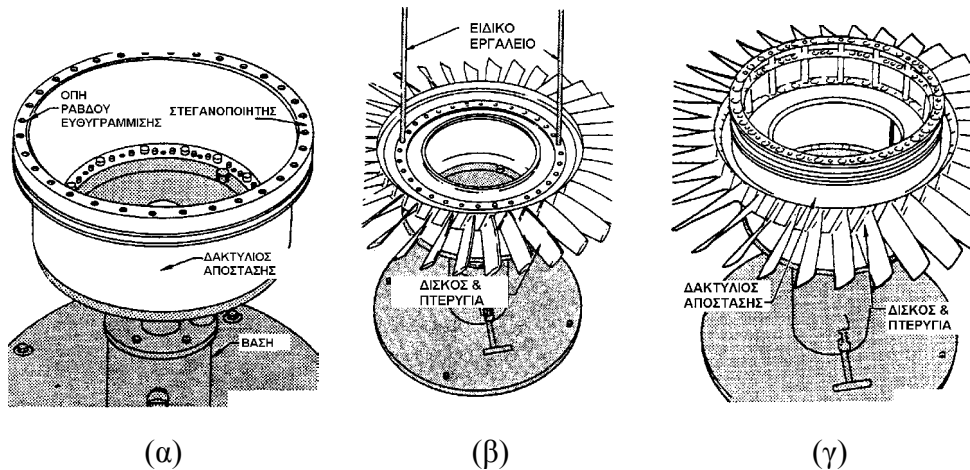
Σχήμα 3.84 Ειδικά εργαλεία.

- ◆ Στη συνέχεια, θα συναρμολογήσετε τους ρότορες και τους στάτορες για τις βαθμίδες 4 έως 9. Θερμάνετε σε φούρνο τους δακτυλίους απόστασης των βαθμίδων αυτών. Η συνήθης θερμοκρασία είναι 120°C.
- ◆ Τοποθετείστε το δακτύλιο απόστασης 2^{ης} – 4^{ης} βαθμίδας στο κατάλληλο ειδικό εργαλείο και τοποθετείστε τον στεγανοποιητή αέρα (air seal) (Σχήμα 3.86α). Χρησιμοποιήστε δύο ή τέσσερις ειδικές ράβδους ευθυγράμμισης για τη σωστή τοποθέτηση του στεγανοποιητή.
- ◆ Αφαιρέστε τις ράβδους και τοποθετείστε το δίσκο και τα κινητά περύγια της 4^{ης} βαθμίδας¹ πάνω στο στεγανοποιητή χρησιμοποιώντας ξανά τις ειδικές ράβδους ευθυγράμμισης (Σχήμα 3.86β). Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για τη θέση τοποθέτησης του δίσκου σύμφωνα με ειδικό σημάδι που φέρει ο τελευταίος.
- ◆ Αφαιρέστε τις ράβδους και τοποθετείστε το δακτύλιο απόστασης 4^{ης} – 5^{ης} βαθμίδας αφού τις τοποθετήσετε ξανά (Σχήμα 3.86γ).

¹ Πολύ συχνά παρατηρείται η τοποθέτηση παρόμοιων εξαρτημάτων σε λανθασμένη θέση. Κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης τέτοιων εξαρτημάτων να ελέγχετε πάντοτε τον αριθμό της οικογένειας του εξαρτήματος (part number).

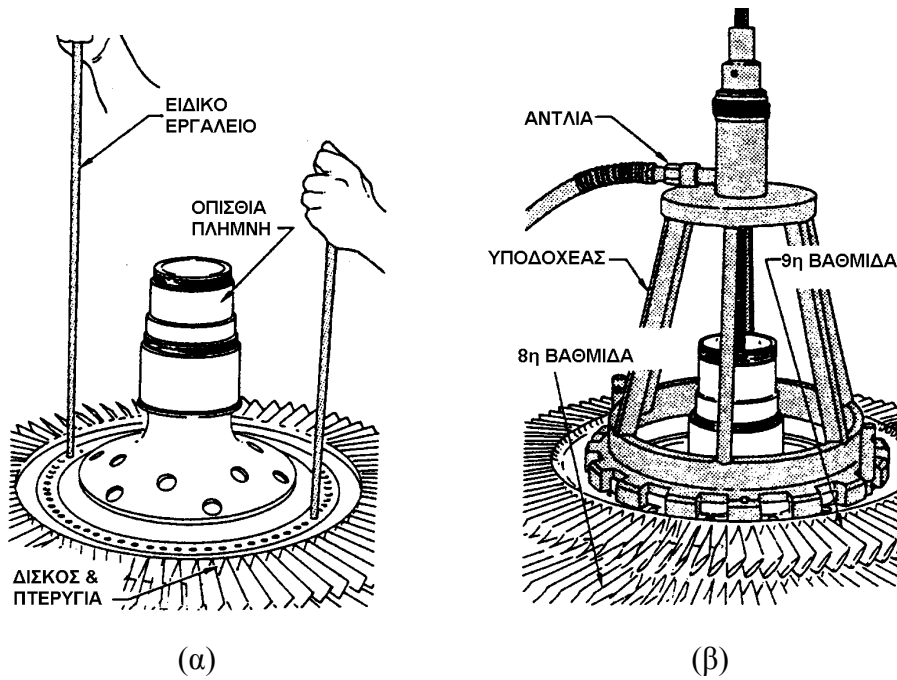


Σχήμα 3.85 Τοποθέτηση εξαρτημάτων στην πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης.

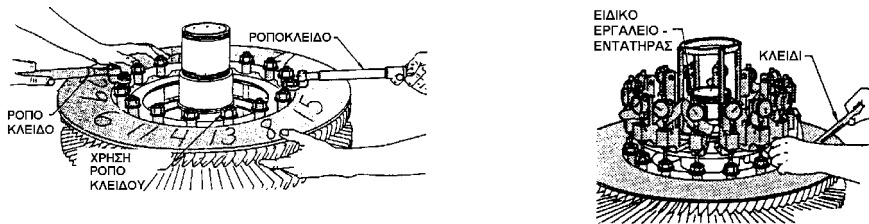


Σχήμα 3.86 Συναρμολόγηση δακτυλίου απόστασης και στεγανοποιητή.

- ◆ Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για τις αποκλίσεις που επιτρέπονται στις οπές των δίσκων κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης.
- ◆ Ακολουθώντας την ίδια μέθοδο όπως παραπάνω, τοποθετείστε στη συνέχεια τους δίσκους και τα κινητά πτερύγια των βαθμίδων 5 έως 7 με τους αντίστοιχους δακτυλίους απόστασης.
- ◆ Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία, τις ράβδους ευθυγράμμισης και το γερανό, τοποθετείστε την πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης, το δίσκο και τα κινητά πτερύγια της 7^{ης} βαθμίδας (Σχήμα 3.87α).
- ◆ Στη συνέχεια, ακολουθώντας την ίδια μέθοδο όπως στις βαθμίδες 5 έως 7, τοποθετείστε τους δίσκους και τα κινητά πτερύγια των βαθμίδων 8 και 9 με τους αντίστοιχους δακτυλίους απόστασης.
- ◆ Ακολουθείστε τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής και χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία και την αντλία πίεσης συσφίξτε τους δίσκους και τους δακτύλιους απόστασης (Σχήμα 3.87β).
- ◆ Τοποθετείστε ράβδους συγκράτησης με τους αντίστοιχους δακτύλιους και παξιμάδια. Χρησιμοποιήστε το κατάλληλο κλειδί και το κατάλληλο ειδικό εργαλείο – εντατήρα (stretch gage) και βιδώστε τα παξιμάδια με την κατάλληλη σειρά, ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.88.

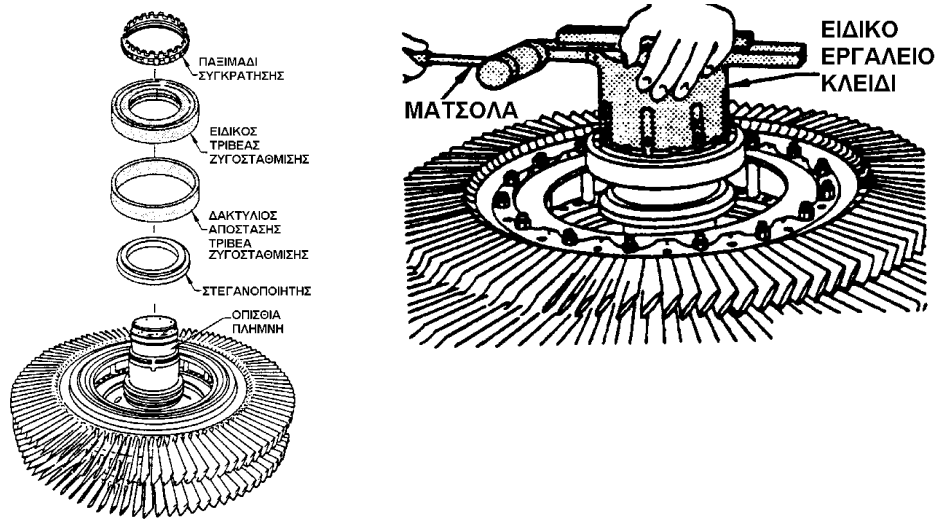


Σχήμα 3.87 (α) Τοποθέτηση δίσκου και κινητών πτερυγίων 7ης βαθμίδας, (β) σύσφιγξη δίσκων και δακτυλίων απόστασης.



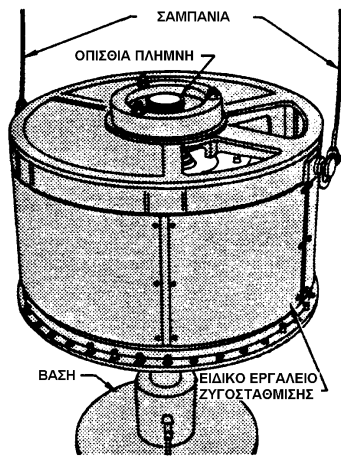
Σχήμα 3.88 Τοποθέτηση εξαρτημάτων.

- ◆ Στη συνέχεια, θερμάνετε τον οπίσθιο ειδικό τριβέα ζυγοστάθμισης (balance bearing) και τοποθετήστε τον, μαζί με τα υπόλοιπα εξαρτήματα, στην πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.89.

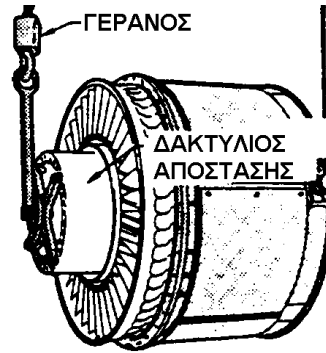


Σχήμα 3.89 Τοποθέτηση του ειδικού τριβέα ζυγοστάθμισης στο δίσκο.

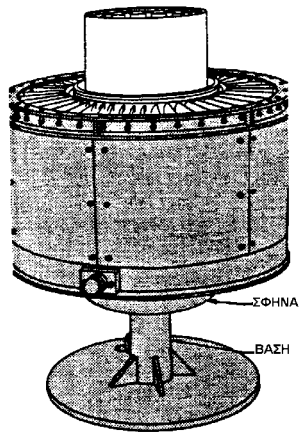
- ◆ Τοποθετείστε το περίβλημα του εξαρτήματος ζυγοστάθμισης πάνω από την πλήμνη, μετακινήστε το συγκρότημα με τη βοήθεια του γερανού και τοποθετείστε τα στην κατάλληλη βάση (Σχήμα 3.90α, β, γ). Κατόπιν, τοποθετείστε τα σταθερά πτερύγια της 2^{ης} βαθμίδας (Σχήμα 3.90δ).
- ◆ Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής, τοποθετείστε διαδοχικά, με τη βοήθεια του γερανού, το περίβλημα εξαγωγής και το ρότορα της 2^{ης} βαθμίδας του ανεμιστήρα, το περίβλημα και το στάτορα της 1^{ης} βαθμίδας του ανεμιστήρα και το ρότορα της 1^{ης} βαθμίδας του ανεμιστήρα. Συσφίξτε τα παξιμάδια των ράβδων συγκράτησης. Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στο Σχήμα 3.91.
- ◆ Αφού συναρμολογηθούν τα παραπάνω εξαρτήματα, τοποθετήστε τον εμπρόσθιο ειδικό τριβέα ζυγοστάθμισης με την ίδια διαδικασία που τοποθετήσατε τον οπίσθιο τριβέα (Σχήμα 3.92α). Τέλος, τοποθετήστε την εμπρόσθια πλάκα ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.93β).



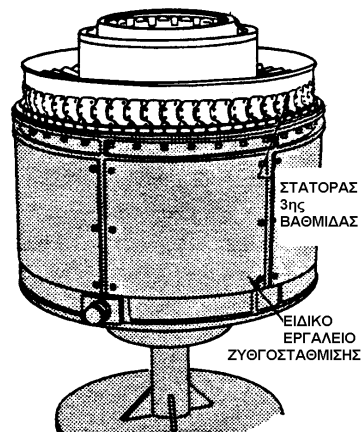
(α)



(β)

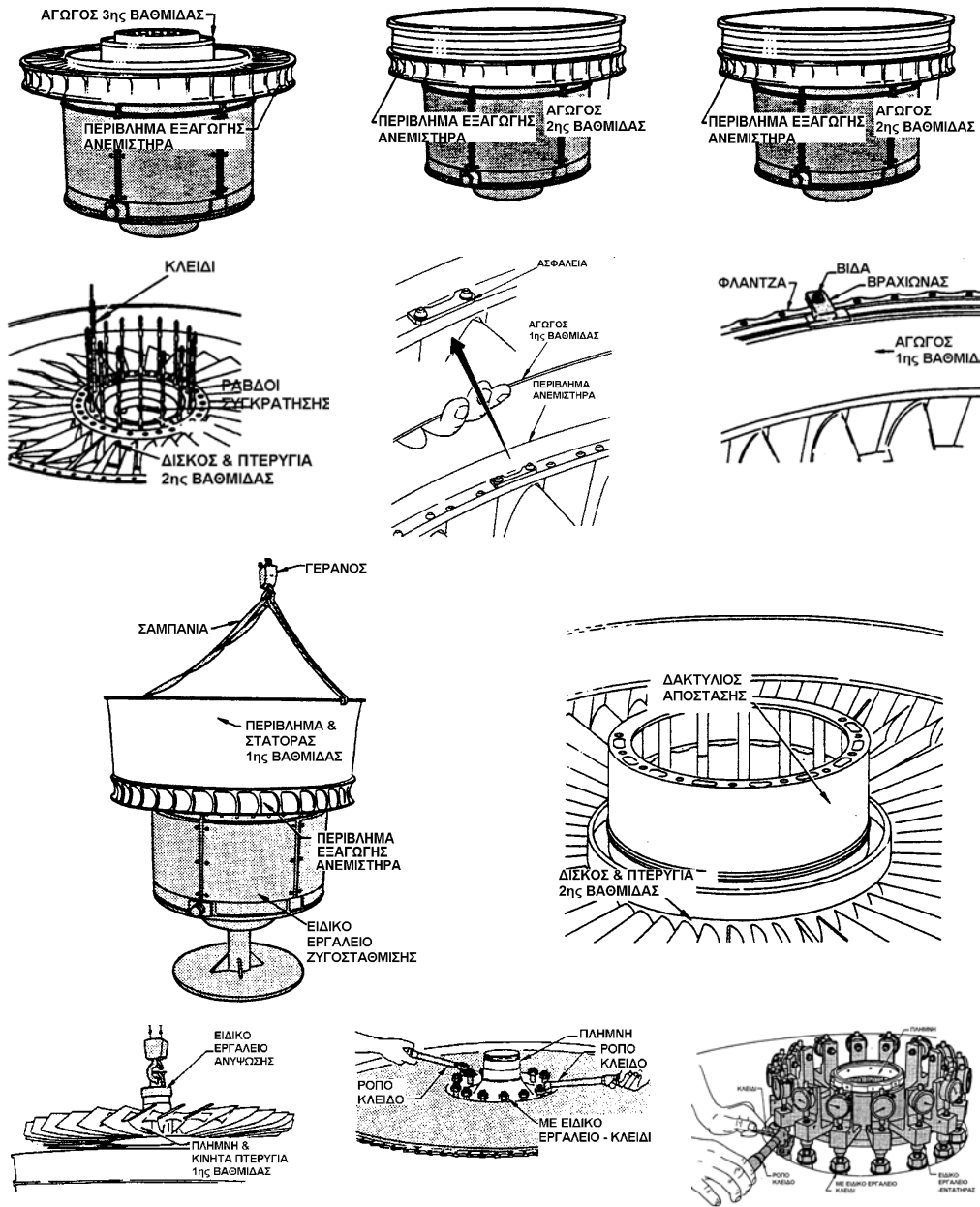


(γ)

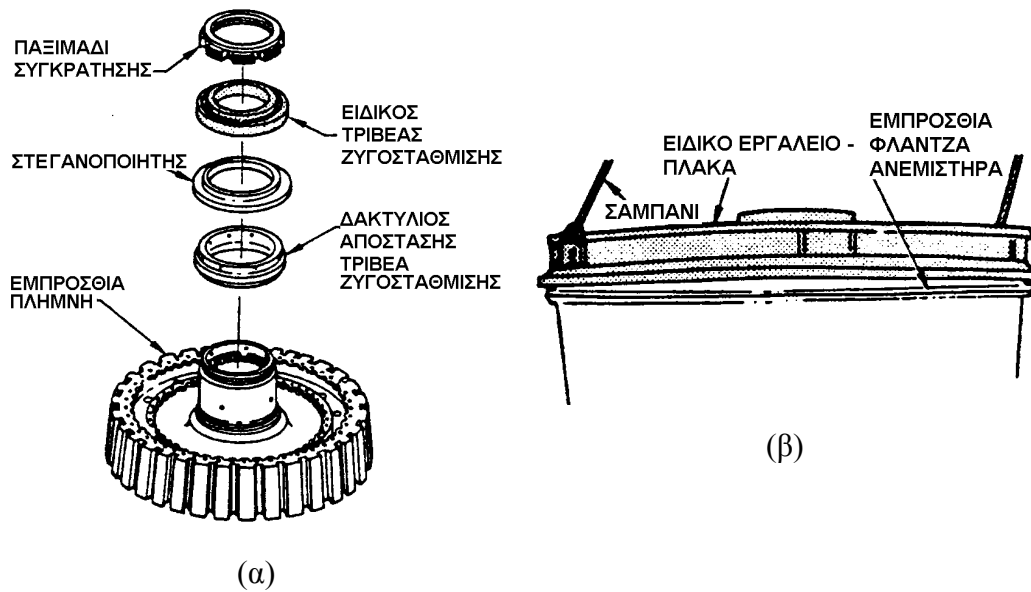


(δ)

Σχήμα 3.90 (α), (β), (γ) Τοποθέτηση των εξαρτημάτων σε ειδική βάση, (δ) Τοποθέτηση των σταθερών πτερυγίων της 2^{ης} βαθμίδας.



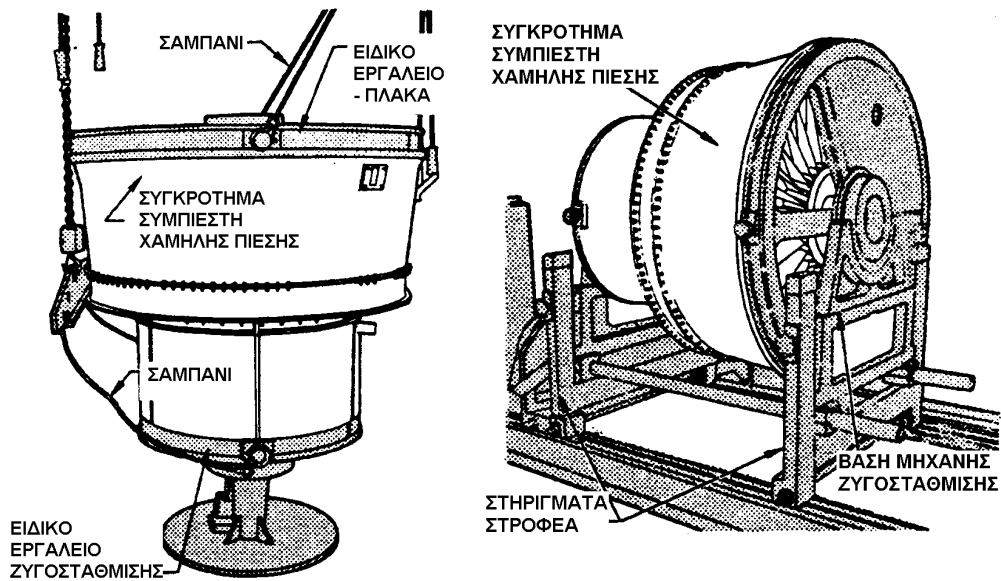
Σχήμα 3.91 Τοποθέτηση κινητών και σταθερών βαθμίδων.



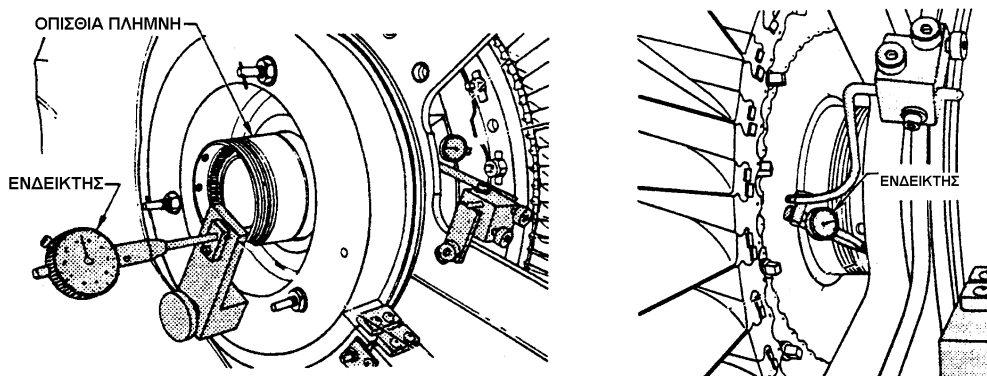
Σχήμα 3.92 Τοποθέτηση εξαρτημάτων για τη διαδικασία της δυναμικής ζυγοστάθμισης

7. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΡΟΤΟΡΑ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- ◆ Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της ενότητας αυτής.
- ◆ Η διαδικασία της δυναμικής ζυγοστάθμισης θα πραγματοποιηθεί σε ειδική μηχανή. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο του κατασκευαστή για τις συγκεκριμένες ενέργειες που πρέπει να κάνετε πριν, κατά διάρκεια και μετά το πέρας της διαδικασίας της δυναμικής ζυγοστάθμισης.
- ◆ Τοποθετήστε τα σαμπάνια στις κατάλληλες υποδοχές των περιβλημάτων και με τη βοήθεια του γερανού, μετακινήστε το συγκρότημα του ανεμιστήρα, του συμπιεστή χαμηλής πίεσης και των περιβλημάτων και τοποθετήστε το στο ειδικό μηχάνημα ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.93).
- ◆ Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για τις μετρήσεις οριζόντιων αποκλίσεων σε διάφορα σημεία του συγκροτήματος που απαιτείται να μετρηθούν. Τοποθετήστε τον ειδικό ενδείκτη σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου και πραγματοποιήστε τις μετρήσεις, Σχήμα 3.94. Στην περίπτωση απόκλισης πέραν των επιτρεπόμενων ορίων, πραγματοποιήστε τις διορθωτικές κινήσεις που προβλέπονται στο εγχειρίδιο.

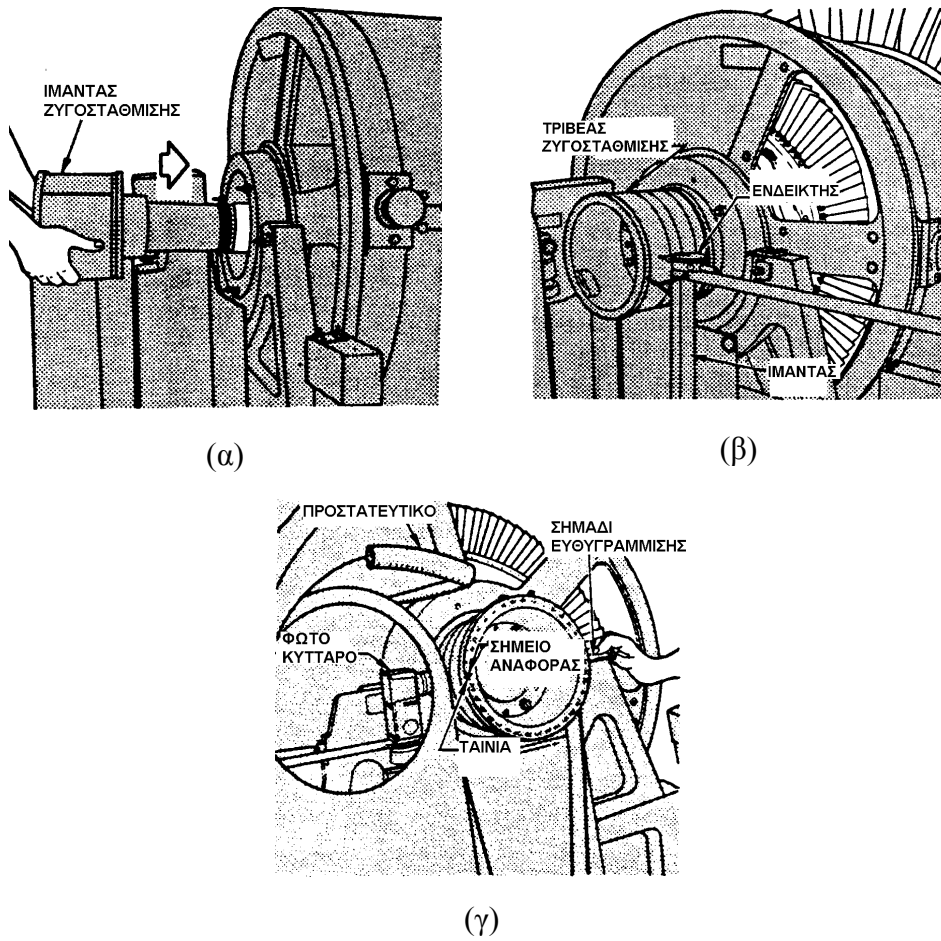


Σχήμα 3.93 Τοποθέτηση του συγκροτήματος ανεμιστήρα και συμπιεστή χαμηλής πίεσης στο μηχάνημα δυναμικής ζυγοστάθμισης.



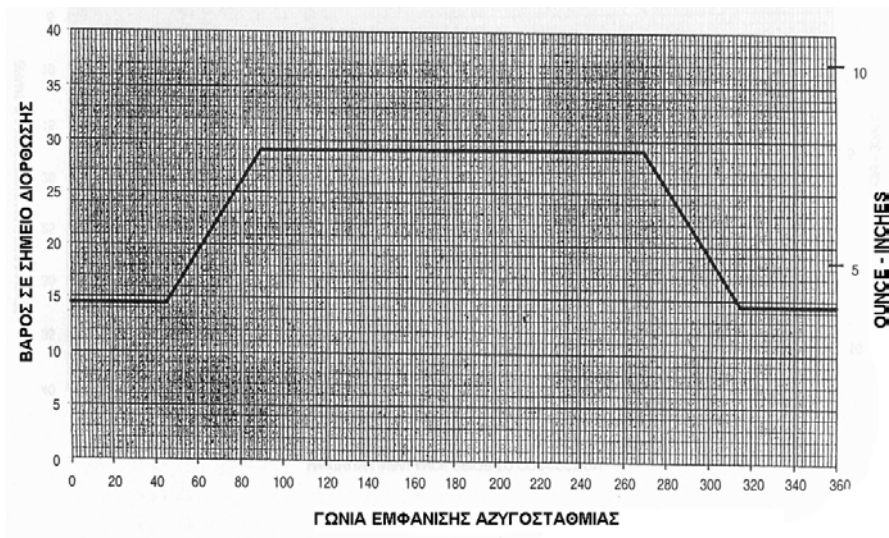
Σχήμα 3.94 Μετρήσεις οριζόντιων αποκλίσεων πριν τη δυναμική ζυγοστάθμιση.

- ♦ Τοποθετήστε την τροχαλία ζυγοστάθμισης και τον οδηγό μάντα στην πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης (Σχήμα 3.95α) και μετρήστε την οριζόντια απόκλισή της (Σχήμα 3.95β). Τοποθετήστε την ειδική ασημένια ταινία στην περιφέρεια της τροχαλίας, ευθυγραμμίζοντάς τη με το φωτοκύτταρο του μηχανήματος ζυγοστάθμισης, Σχήμα 3.95γ. Κλείστε το κάλυμμα προστασίας.



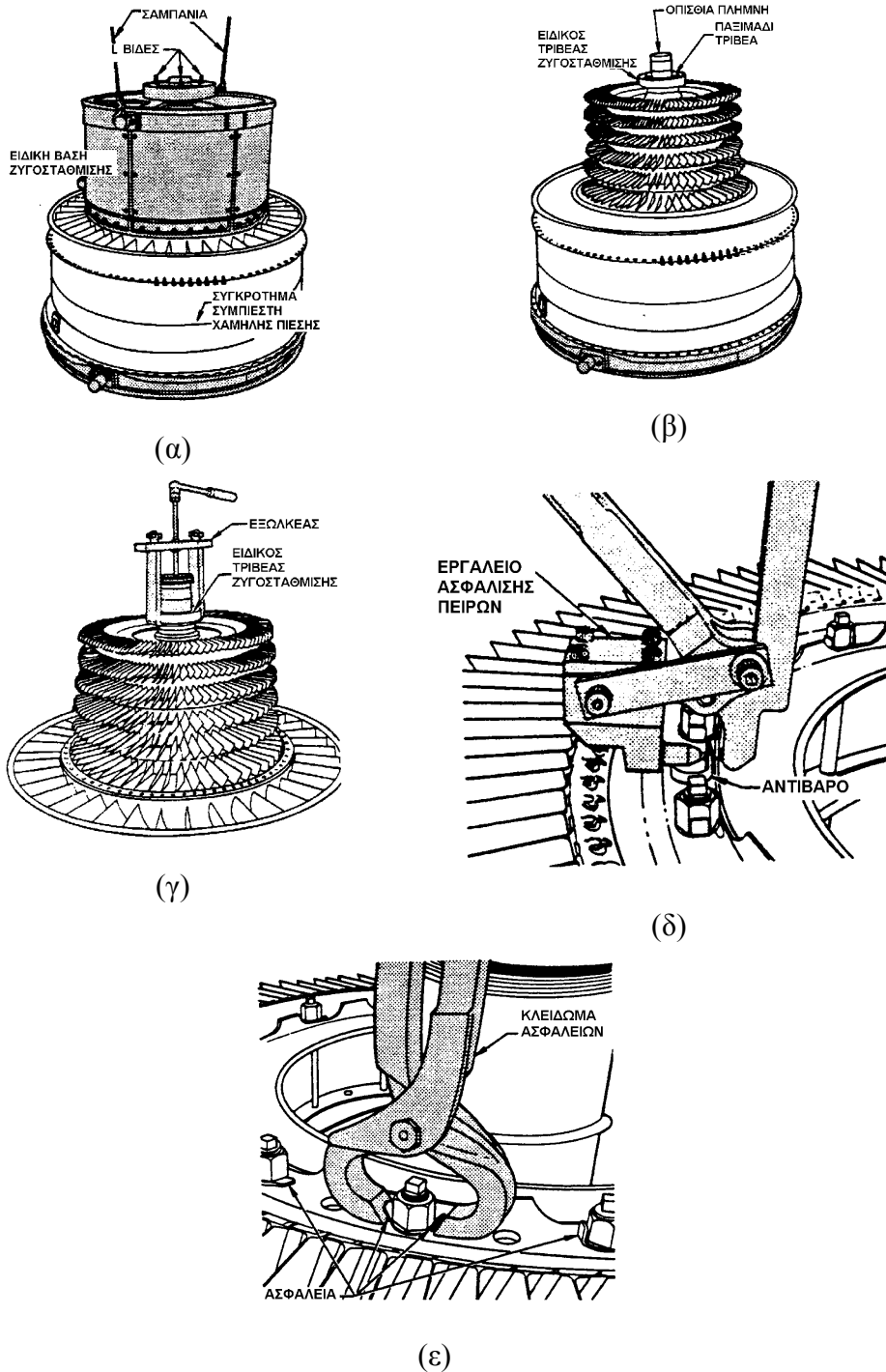
Σχήμα 3.95 Προετοιμασία για τη διαδικασία της δυναμικής ζυγοστάθμισης.

- ◆ Ξεκινήστε τη λειτουργία του μηχανήματος ζυγοστάθμισης στις 900 RPM τουλάχιστον.
- ◆ Ελέγξτε την αζυγοσταθμία (uncorrected unbalance). Χρησιμοποιήστε το διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 3.96, για τον προσδιορισμό των ορίων της, για την εμπρόσθια φλάντζα του περιβλήματος. Στην περίπτωση που η αζυγοσταθμία είναι εκτός των ορίων του διαγράμματος, δεν επιτρέπεται η διόρθωσή της με προσθήκη βαρών. Σε αυτή την περίπτωση ακολουθείτε τις διορθωτικές ενέργειες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής.



Σχήμα 3.96 Αποδεκτές τιμές αζυγοσταθμίας.

- ◆ Στην περίπτωση που η αζυγοσταθμία είναι εντός ορίων, διορθώστε τη με την προσθήκη βαρών, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής.
- ◆ Λειτουργήστε ξανά το μηχάνημα στις 900 RPM τουλάχιστον. Η μέγιστη αζυγοσταθμία δεν πρέπει να ξεπερνά τα όρια που δίνονται στο εγχειρίδιο. Σε διαφορετική περίπτωση, διορθώστε.
- ◆ Στη συνέχεια, περιστρέψτε την τροχαλία κατά 180° από την αρχική της θέση. Επαναλάβετε τη διαδικασία της μέτρησης της αζυγοσταθμίας. Σε περίπτωση που είναι αυτή βρίσκεται εκτός ορίων, μετρήστε την οριζόντια απόκλιση και τη ζυγοστάθμιση της τροχαλίας.
- ◆ Αφαιρέστε την τροχαλία και μετακινήστε το συγκρότημα του ανεμιστήρα και του συμπιεστή χαμηλής πίεσης από το μηχάνημα δυναμικής ζυγοστάθμισης με τη βοήθεια των σαμπανιών και του γερανού (Σχήμα 3.97α).
- ◆ Αφαιρέστε τον οπίσθιο ειδικό τριβέα ζυγοστάθμισης και τα εξαρτήματά του (Σχήμα 3.97β και γ).
- ◆ Τοποθετείστε τους πείρους στα αντίβαρα ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.97δ). Επιθεωρήστε τους για την ύπαρξη ρωγμών.
- ◆ Ασφαλίστε τα παξιμάδια των ράβδων στήριξης με τη χρήση του κατάλληλου ειδικού εργαλείου (Σχήμα 3.97ε).



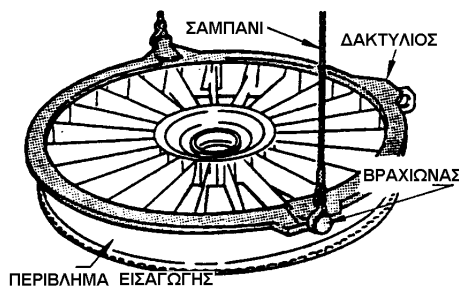
Σχήμα 3.97 Μετακίνηση από το μηχάνημα ζυγοστάθμισης και ασφάλιση των αντίβαρων.

- ◆ Στη συνέχεια, ακολουθείτε τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής και αφαιρέστε τον εμπρόσθιο ειδικό τριβέα ζυγοστάθμισης και τα εξαρτήματά του. Ασφαλίστε τις ράβδους

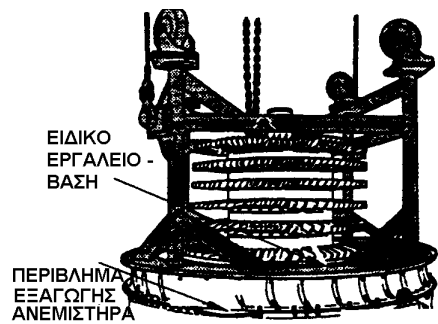
στήριξης και τοποθετείστε τους πείρους στα αντίβαρα ζυγοστάθμισης.

8. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΛΟΙΠΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- ◆ Μετά το πέρας των εργασιών της δυναμικής ζυγοστάθμισης, θα τοποθετήσετε στο συγκρότημα ανεμιστήρα και συμπιεστή χαμηλής πίεσης ορισμένα εξαρτήματα ακόμη. Τότε, το συγκρότημα θα είναι έτοιμο για τη συναρμολόγησή του με τα άλλα βασικά μέρη του κινητήρα.
- ◆ Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της ενότητας αυτής.
- ◆ Τοποθετήστε τον ειδικό δακτύλιο στην εμπρόσθια φλάντζα του περιβλήματος εισαγωγής (Σχήμα 3.98α). Χρησιμοποιώντας τα σαμπάνια και το γερανό τοποθετήστε το περίβλημα εισαγωγής στην κλίνη συναρμολόγησης.
- ◆ Χρησιμοποιώντας τα σαμπάνια και το γερανό τοποθετήστε το συγκρότημα ανεμιστήρα και συμπιεστή χαμηλής πίεσης στο περίβλημα της εισαγωγής (Σχήμα 3.98β). Βιδώστε τις βίδες στις φλάντζες σύνδεσης.



(α)

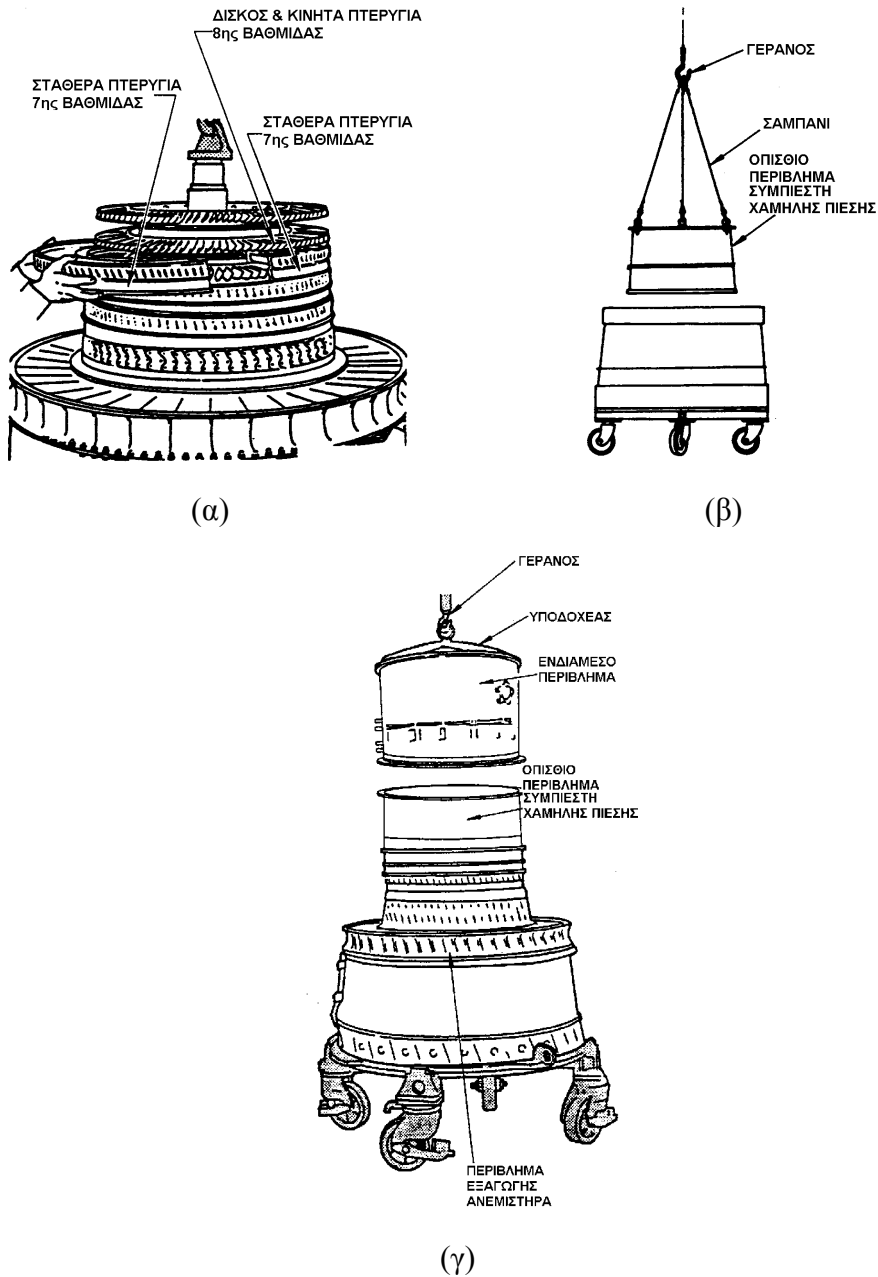


(β)

Σχήμα 3.98 (α) Τοποθέτηση του περιβλήματος εισαγωγής στην κλίνη, (β) συναρμολόγηση του συγκροτήματος ανεμιστήρα και συμπιεστή χαμηλής πίεσης στο περίβλημα εισαγωγής.

- ◆ Τοποθετείστε τα σταθερά πτερύγια και τους δακτύλιους στήριξης των βαθμίδων 4 έως 9 (Σχήμα 3.99α). Κατά τη συναρμολόγηση ακολουθείστε τα σημάδια ευθυγράμμισης κάθε στάτορα.
- ◆ Με τη βοήθεια του γερανού, τοποθετείστε το οπίσθιο περίβλημα του συμπιεστή χαμηλής πίεσης (Σχήμα 3.99β). Ακολούθως, τοποθετήστε το ενδιάμεσο περίβλημα (Σχήμα 3.99γ). Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο

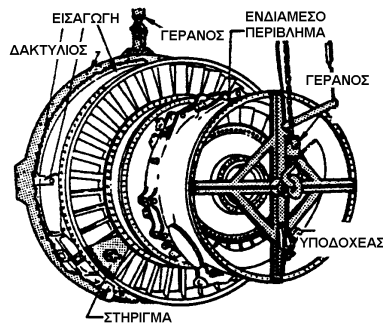
Γενικής Επισκευής για τις τιμές της ροπομέτρησης που θα χρησιμοποιήσετε.



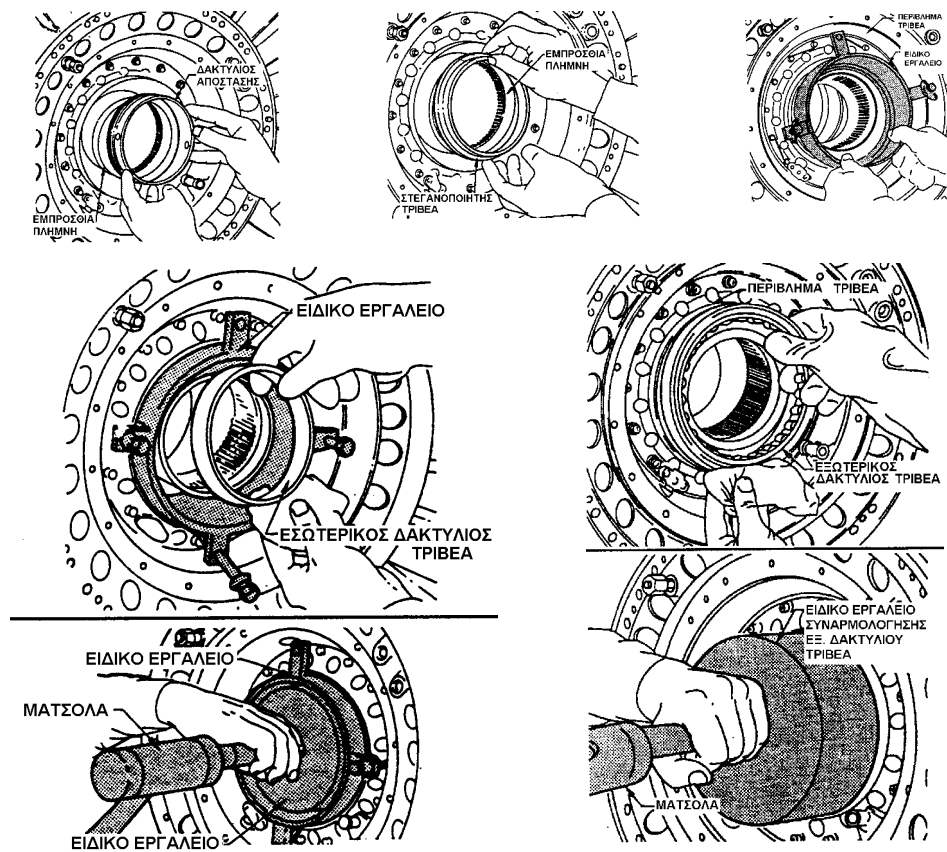
Σχήμα 3.99 Τοποθέτηση (α) σταθερών πτερυγίων, (β) οπίσθιου περιβλήματος συμπίεστη χαμηλής πίεσης, (γ) ενδιάμεσου περιβλήματος.

- ♦ Στη συνέχεια, ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου, τοποθετήστε τους τριβείς No 2, No 2 ½, No 3 και τα εξαρτήματά τους. Πραγματοποιήστε τις μετρήσεις των οριζόντιων μετατοπίσεων και της καλής τοποθέτησης των τριβέων, σύμφωνα με το εγχειρίδιο. Ελέγξτε τη σωλήνωση τροφοδοσίας λαδιού λίπανσης των τριβέων για

την ύπαρξη πιθανών σωματιδίων με τη χρήση ειδικού μηχανήματος παροχής αέρα υπό πίεση.



Σχήμα 3.100 Τοποθέτηση σε οριζόντια θέση



Σχήμα 3.101 Τοποθέτηση του τριβέα Νο 1.

- ◆ Τέλος, τοποθετήστε το συγκρότημα σε οριζόντια θέση (Σχήμα 3.100) και τοποθετήστε τον τριβέα Νο 1, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.101.

Εργαστηριακή άσκηση 3.2: Συναρμολόγηση και ζυγοστάθμιση ρότορα στροβίλου. Συναρμολόγηση βαθμίδων στροβίλου.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να συναρμολογείτε τα κινητά πτερύγια στο δίσκο του στροβίλου αεροπορικού αεριοστρόβιλου κινητήρα, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής του κατασκευαστή.
- β) Να εκτελείτε τη διαδικασία της ζυγοστάθμισης των πτερυγίων σε όλη την έκτασή της.
- γ) Να συναρμολογείτε τις βαθμίδες του στροβίλου.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Όπως αναφέρονται στην Εργαστηριακή άσκηση 3.1.

Απαιτούμενα μέσα

Όπως αναφέρονται στην Εργαστηριακή άσκηση 3.1.

Μέτρα ασφάλειας

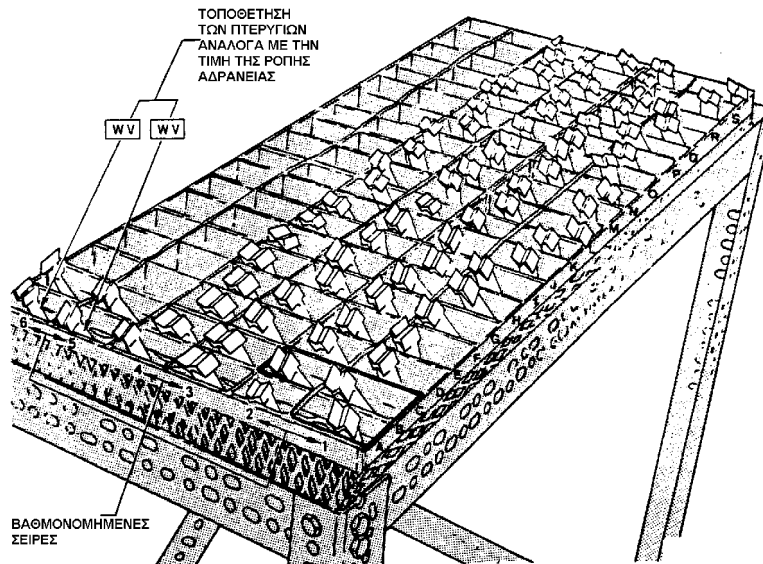
Ακολουθείστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που περιγράφονται στο Παράρτημα Β.

Πορεία εργασίας

1. Μελετήστε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής. Προδιαγράψτε τη σειρά των εργασιών που θα πραγματοποιήσετε στα πλαίσια της συναρμολόγησης των στροφείων, της ζυγοστάθμισής τους και της συναρμολόγησης των βαθμίδων. Βεβαιωθείτε για την ύπαρξη των ειδικών εργαλείων που θα απαιτηθούν για την απρόσκοπτη διεξαγωγή τους.
2. Εξασφαλίστε ικανό αριθμό πάγκων εργασίας, χωρίς αντικείμενα στην επιφάνειά τους.
3. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΣΚΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.
 - ◆ Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της ενότητας αυτής.
 - ◆ Συγκεντρώστε τα κινητά πτερύγια των βαθμίδων του στροβίλου χαμηλής πίεσης. Βεβαιωθείτε ότι για κάθε ρότορα, ο αριθμός των πτερυγίων που έχουν υποστεί επισκευή (blend) δεν ξεπερνά το 50%

του συνόλου τους¹. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για το μέγιστο όριο επισκευής.

- ◆ Τα κινητά πτερύγια που θα τοποθετηθούν στον ίδιο δίσκο θα πρέπει να έχουν τον ίδιο αριθμό οικογένειας, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά στο εγχειρίδιο.
- ◆ Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για την περίπτωση τοποθέτησης στον ίδιο δίσκο πτερυγίων με διαφορετικό υλικό κατασκευής.
- ◆ Τοποθετείστε τα κινητά πτερύγια στις ειδικές θήκες κατά ζεύγη, Σχήμα 3.102. Τα πτερύγια του ίδιου ζεύγους θα έχουν σημειωμένη στην επιφάνειά τους την ίδια τιμή **ροπής αδράνειας (moment weight)** και θα τοποθετηθούν με διαφορά 180° πάνω στο δίσκο. Κάθε ζεύγος τοποθετείται στο ανάλογο βαθμονομημένο κουτί, ανάλογα με τη ροπή αδράνειας των πτερυγίων του².



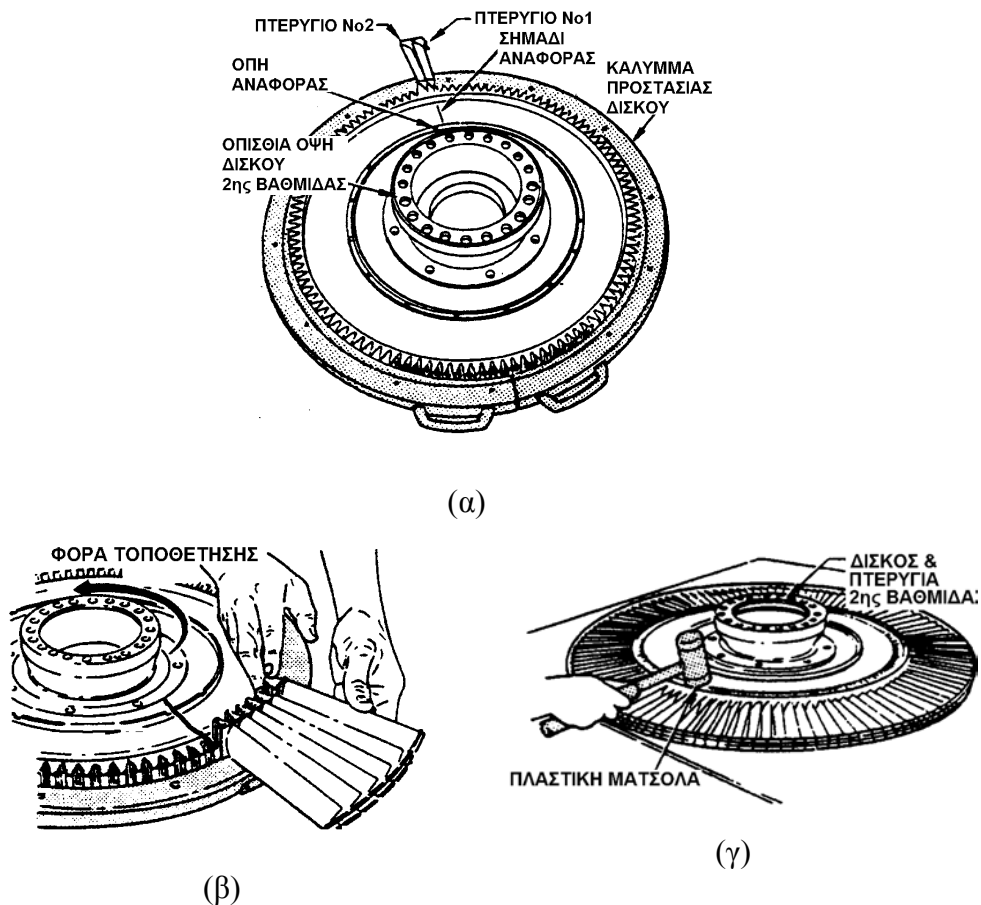
Σχήμα 3.102 Ειδικές θήκες τοποθέτησης των πτερυγίων ανάλογα με τη ροπή αδράνειάς τους.

- ◆ Βεβαιωθείτε ότι τα πτερύγια δεν έχουν εξαντλήσει το μέγιστο επιτρεπόμενο χρονικό όριο λειτουργίας τους, ελέγχοντας τα μητρώα του κινητήρα.

¹ Σε αντίθετη περίπτωση, το αποτέλεσμα θα είναι η αυξημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου και η μείωση της αντοχής των πτερυγίων των βαθμίδων του στροβίλου.

² Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται για τα πτερύγια όλων των βαθμίδων του στροβίλου.

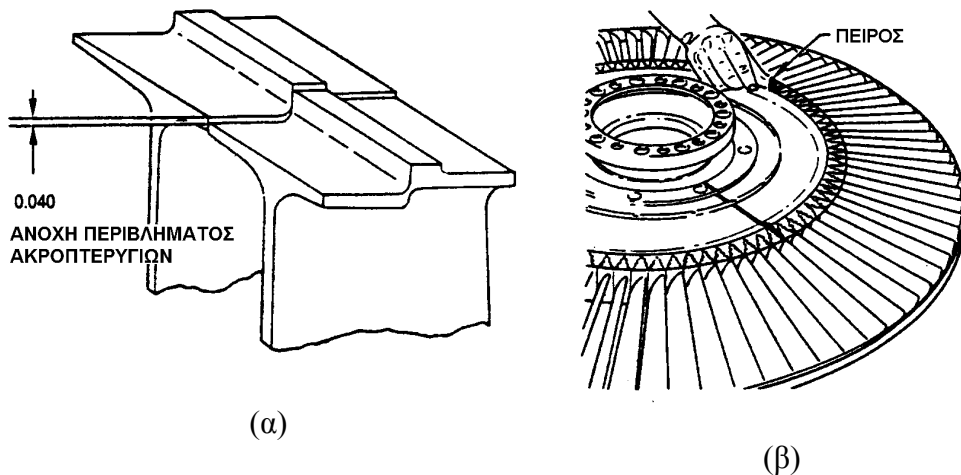
- ◆ Τοποθετήστε το δίσκο της 2^{ης} βαθμίδας, με την οπίσθια όψη του δίσκου προς τα πάνω, με τη βοήθεια του γερανού. Εφαρμόστε το ειδικό προστατευτικό εργαλείο στην περιφέρεια του δίσκου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.103α.
- ◆ Εντοπίστε τη θέση τοποθέτησης του πτερυγίου Νο 1 στο δίσκο της βαθμίδας. Τοποθετήστε το πτερύγιο Νο 1. Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής, συνεχίστε την τοποθέτηση των πτερυγίων με τη σειρά που καθορίζεται ανάλογα με τη βαθμονόμησή τους ως προς την τιμή της ροπής αδράνειάς τους (Σχήμα 3.103β).



Σχήμα 3.103 Διαδικασία τοποθέτησης των κινητών πτερυγίων της 2^{ης} βαθμίδας του στροβίλου.

- ◆ Μετά την τοποθέτηση όλων των πτερυγίων, αφαιρέστε το προστατευτικό εργαλείο από το δίσκο.
- ◆ Χρησιμοποιώντας πλαστική ματσόλα, χτυπήστε τις ρίζες των πτερυγίων ώστε αυτά να «καθίσουν» στη θέση τους (Σχήμα 3.103γ).

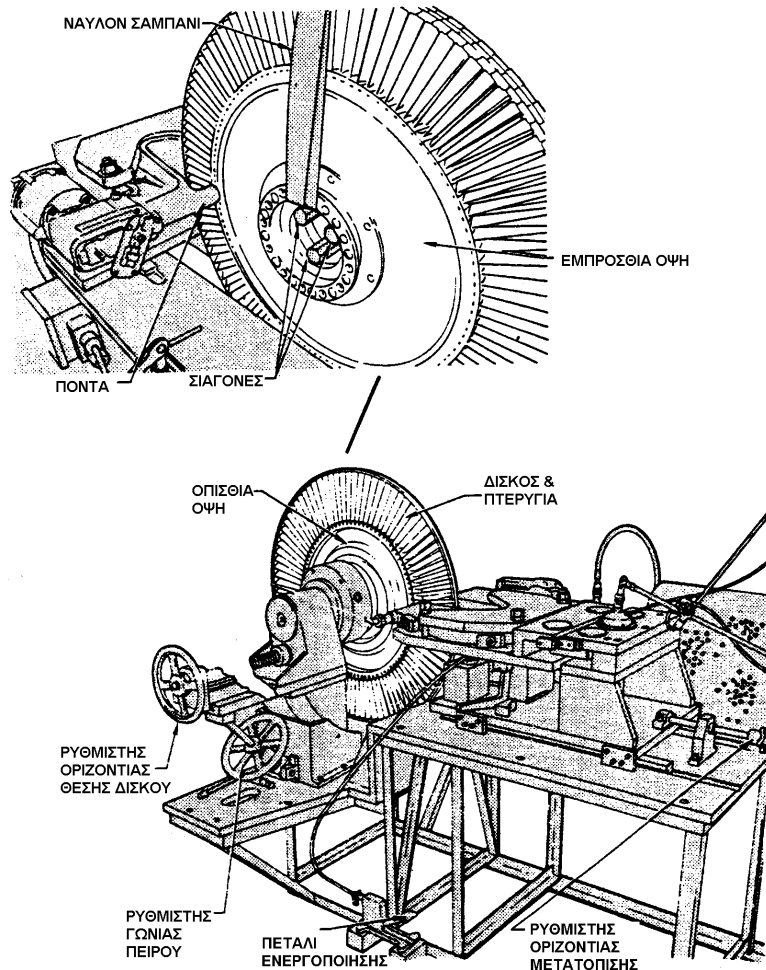
- ◆ Στην περίπτωση που τα πτερύγια είναι τύπου shrouded, ελέγξτε την καλή συναρμογή των ακροπτερυγίων με ειδικό filler, σύμφωνα με το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής (Σχήμα 3.104α). Αν κάποιο πτερύγιο βρεθεί εκτός ορίων, ακολουθείστε την προτεινόμενη στο εγχειρίδιο διαδικασία αντικατάστασής τους.
- ◆ Λιπάνετε με κατάλληλο λάδι τους πείρους ασφάλισης των πτερυγίων και τοποθετήστε τους (Σχήμα 3.104β). Η ασφάλισή τους στο δίσκο θα περιγραφεί παρακάτω.



Σχήμα 3.104 (α) Έλεγχος συναρμογής πτερυγίων τύπου shrouded, (β) τοποθέτηση πείρων ασφάλισης.

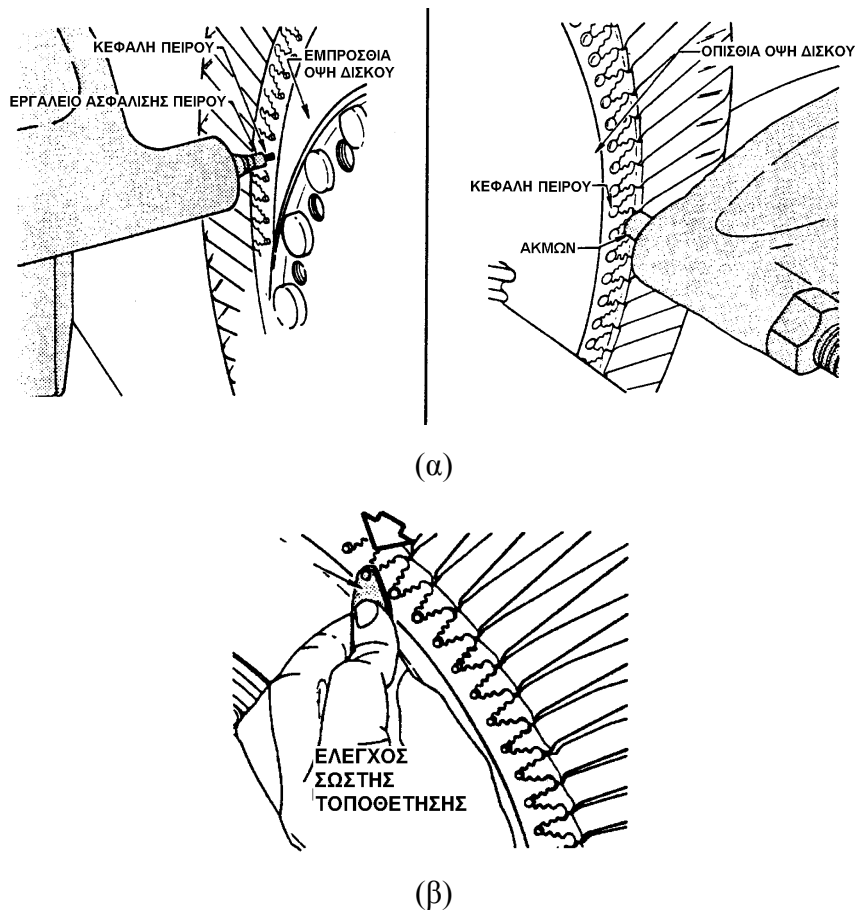
- ◆ Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία, τοποθετήστε τα κινητά πτερύγια της 3^{ης} και 4^{ης} βαθμίδας στους αντίστοιχους δίσκους. Στην περίπτωση που τα πτερύγια είναι τύπου shrouded, πραγματοποιήστε τον έλεγχο για την καλή συναρμογή τους όπως παραπάνω.
- ◆ Στη συνέχεια, χρησιμοποιήστε το ειδικό μηχάνημα ασφάλισης των πείρων των πτερυγίων. Η διαδικασία είναι όμοια και για τις 3 βαθμίδες. Να είστε ιδιαίτερα προσεκτικοί κατά τη μεταφορά των δίσκων με τα πτερύγια, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος της καταστροφής τους αν αυτά πέσουν από τη θέση τους.
- ◆ Βεβαιωθείτε ότι δεν υπάρχουν ακαθαρσίες στον υποδοχέα του μηχανήματος ασφάλισης. Χρησιμοποιήστε ειδικό σαμπάνι για τη μεταφορά του δίσκου με το γερανό και τοποθετείστε τον τελευταίο στον υποδοχέα του μηχανήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.105.
- ◆ Αφαιρέστε το σαμπάνι και χτυπήστε τις ρίζες των πτερυγίων για να σιγουρευτείτε για την καλή τοποθέτησή τους σε σχέση με το δίσκο.

- ◆ Ακολουθείστε τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής και του εγχειριδίου λειτουργίας του μηχανήματος και πραγματοποιήστε την ασφάλιση των πείρων (Σχήμα 3.106α).
- ◆ Ελέγξτε την κεφαλή του κάθε πείρου για τη σωστή τοποθέτησή τους (Σχήμα 3.106β).



Σχήμα 3.105 Μηχάνημα ασφάλισης πείρων.

- ◆ Χρησιμοποιώντας μεγεθυντικό φακό 3X ελέγξτε την ύπαρξη ρωγμών στην περιοχή της κεφαλής.
- ◆ Ελέγξτε κάθε πτερύγιο ως προς την πιθανότητα αξονικής κίνησής του. Σε μία τέτοια περίπτωση, η συγκεκριμένη ασφάλιση θα πρέπει να επαναληφθεί χρησιμοποιώντας καινούριο πείρο.
- ◆ Απομακρύνετε το δίσκο με τα πτερύγια από το μηχάνημα χρησιμοποιώντας το ειδικό σαμπάνι και το γερανό.



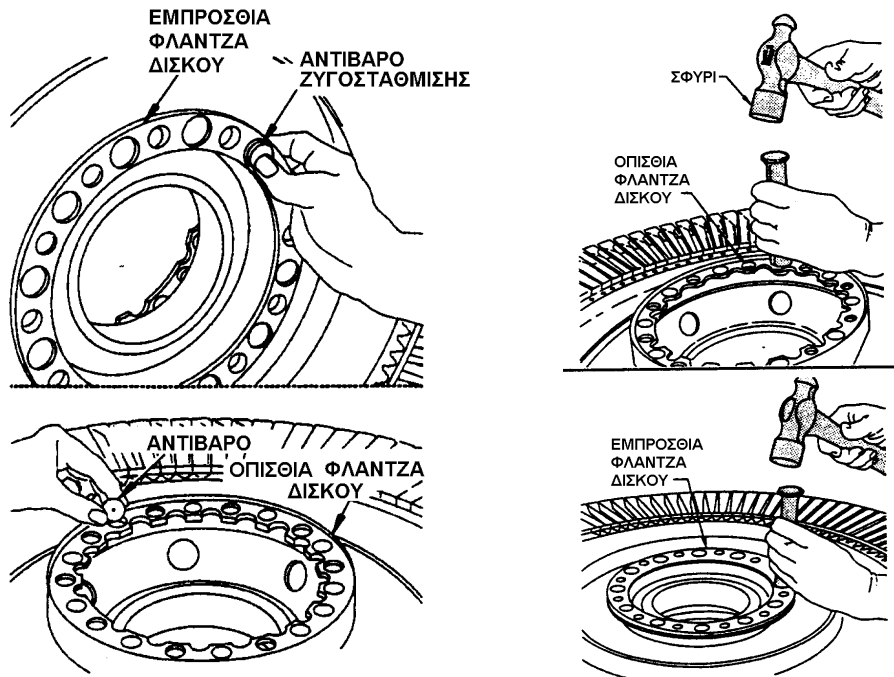
Σχήμα 3.106 (α) Ασφάλιση πείρων, (β) έλεγχος σωστής τοποθέτησης.

4. ΣΤΑΤΙΚΗ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.

- ◆ Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της ενότητας αυτής.
- ◆ Η διαδικασία της στατικής ζυγοστάθμισης θα πραγματοποιηθεί σε ειδική μηχανή. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο του κατασκευαστή για τις συγκεκριμένες ενέργειες που πρέπει να κάνετε πριν, κατά διάρκεια και μετά το πέρας της διαδικασίας της στατικής ζυγοστάθμισης.
- ◆ Τοποθετήστε το δίσκο και τα πτερύγια της 2^{ης} βαθμίδας στο σφιγκτήρα της μηχανής ζυγοστάθμισης, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο και το γερανό.
- ◆ Ασφαλίστε το δίσκο και τα πτερύγια στο σφιγκτήρα. Κλείστε το σκέπαστρο του μηχανήματος και ξεκινήστε τη λειτουργία του στις 900 RPM το ελάχιστο.
- ◆ Ελέγξτε τη στατική αζυγοσταθμία. Συγκρίνετε με τα επιτρεπόμενα όρια όπως αυτά δίνονται στο εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής.

Χρησιμοποιήστε τα αντίβαρα ζυγοστάθμισης για να διορθώσετε την αζυγοσταθμία.

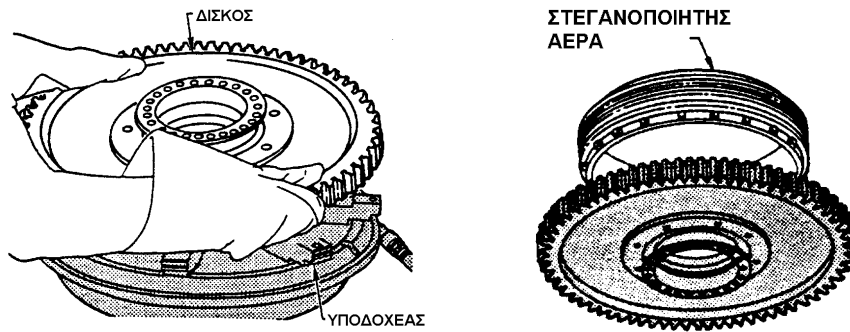
- ◆ Τοποθετείστε τα αντίβαρα ζυγοστάθμισης, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου, στις ειδικές υποδοχές του δίσκου της βαθμίδας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.107.



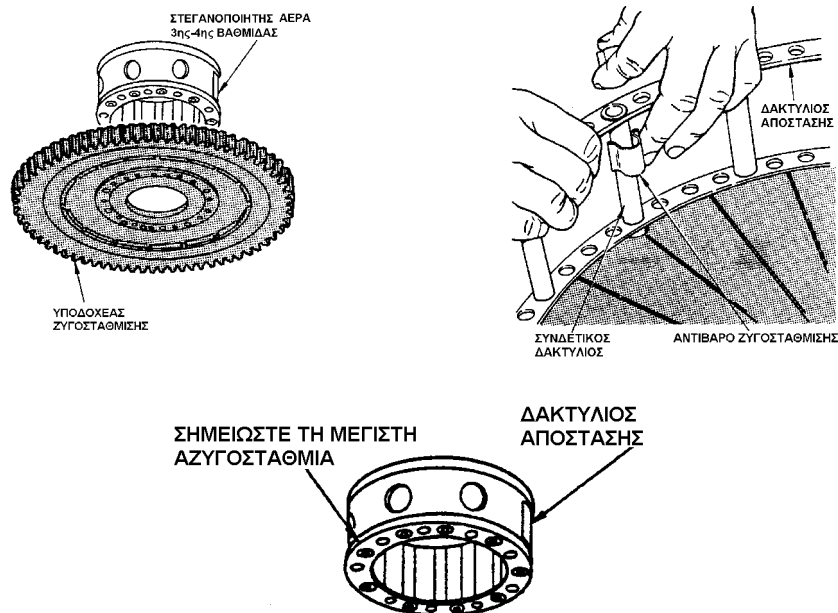
Σχήμα 3.107 Τοποθέτηση αντίβαρων ζυγοστάθμισης.

- ◆ Εφαρμόστε την παραπάνω διαδικασία για τους δίσκους και τα πετύγια της 3^{ης} και 4^{ης} βαθμίδας του στροβίλου χαμηλής πίεσης.
- ◆ Στη συνέχεια, τοποθετείστε το στεγανοποιητή αέρα της 3^{ης} και 4^{ης} βαθμίδας σε ειδικό υποδοχέα και, κατόπιν, τοποθετείστε το συγκρότημα στον υποδοχέα της μηχανής στατικής ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.108).
- ◆ Λειτουργήστε τη μηχανή ζυγοστάθμισης στις 900 RPM τουλάχιστον. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για τα επιτρεπτά όρια της αζυγοσταθμίας. Πραγματοποιήστε τις προτεινόμενες διορθωτικές κινήσεις για το στεγανοποιητή, ανάλογα με τη μέτρηση της αζυγοσταθμίας. Τις περισσότερες φορές περιλαμβάνουν προσθήκη ποσότητας υλικού με τη μέθοδο του **ψεκασμού πλάσματος (plasma spray)**. Σημειώστε το σημείο με τη μέγιστη αζυγοσταθμία πάνω στο δίσκο.

- ◆ Πραγματοποιήστε την παραπάνω διαδικασία για το δακτύλιο απόστασης της 3^{ης} – 4^{ης} βαθμίδας (Σχήμα 3.109).



Σχήμα 3.108 Τοποθέτηση του στεγανοποιητή αέρα 3^{ης} – 4^{ης} βαθμίδας στο μηχάνημα στατικής ζυγοστάθμισης.



Σχήμα 3.109 Τοποθέτηση του δακτυλίου απόστασης 3^{ης} – 4^{ης} βαθμίδας στο μηχάνημα στατικής ζυγοστάθμισης.

5. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΡΟΤΟΡΑ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.

- ◆ Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της ενότητας αυτής, Σχήμα 3.110.
- ◆ Με τον άξονα του στροβίλου χαμηλής πίεσης σε κατακόρυφη θέση τοποθετήστε τους στεγανοποιητικούς δακτυλίους στην περιοχή του