

Ευάγγελος Καρέλας Ιωάννης Τριαντάφυλλος Γρηγόριος Φρέσκος

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II



Γ' ΤΑΞΗ ΕΠΑ.Λ.

ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ: ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΟΣΥΝΘΕΤΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ
ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II**

Εξώφυλλο: Κινητήρας F110 στο δοκιμαστήριο υψηλής ώσης της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας.

Το φωτογραφικό υλικό των εικόνων του βιβλίου, αποτελεί μέρος από το προσωπικό αρχείο των συγγραφέων ή δημιουργήθηκε για τις ανάγκες του βιβλίου με ευθύνη των συγγραφέων. Υποδείγματα εντύπων, κατάλογοι διεργασιών και φωτογραφίες εξοπλισμού της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας έχουν περιληφθεί μετά από σχετική ενημέρωση της εταιρείας.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Ευάγγελος Καρέλας, Ιωάννης Τριαντάφυλλος, Γρηγόριος Φρέσκος

Η συγγραφή και η επιστημονική επιμέλεια του βιβλίου πραγματοποιήθηκε
υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

Γ' ΤΑΞΗ ΕΠΑ.Λ.

ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ:
ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΟΣΥΝΘΕΤΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

Ευάγγελος Καρέλας, Αεροναυπηγός Μηχανικός, M.Sc.

Ιωάννης Τριαντάφυλλος, Μηχανολόγος Μηχανικός, M.Sc.

Γρηγόριος Φρέσκος, Μηχανολόγος Μηχανικός, D.E.A., Ph.D.

ΚΡΙΤΕΣ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΤΕΣ

Ιορδάνης Αντωνιάδης, Εκπαιδευτικός, Μηχανολόγος Μηχανικός Αεροσκαφών

Κωνσταντίνος Μαθιουδάκης, Μηχανολόγος Μηχανικός, Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αντώνιος Μπαλντούκας, Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π., Αν. Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Χαλκίδας

Μιχαήλ Στραβοπόδης, Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π., υπεύθυνος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ

Θεοδώρα Καμαρούδη, Φιλόλογος, εκπαιδευτικός, αποσπασμένη στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο

ΑΤΕΛΙΕ: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΕΣ ΕΠΕ

Ενέργεια 2.3.2: «Ανάπτυξη των Τ.Ε.Ε. και Σ.Ε.Κ.»

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Μιχάλης Αγ. Παπαδόπουλος

Ομότιμος Καθηγητής του Α.Π.Θ.

Πρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Έργο: «Εκπόνηση βιβλίων, ντοσιέ και τετραδίων εργασίας και προγραμμάτων σπουδών της Τεχνικής Επαγγελματικής Εκπαίδευσης Τ.Ε.Ε.»

– Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου

Σωτήριος Γκλαβάς

Αντιπρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

– Υπεύθυνος του Μηχανολογικού Τομέα

Ολύμπιος Ε. Δαφέρμος

Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Συντονιστική Επιτροπή του Έργου:

- **Βούτσινος Γεώργιος**, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου,
Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου έως 21/04/2004

- **Γκιζελή Βίκα**, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

- **Γκλαβάς Σωτήριος**, Αντιπρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

- **Καφετζόπουλος Κωνσταντίνος**, Πάρεδρος με θητεία Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

- **Στάππα Ματίνα**, Πάρεδρος με θητεία Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

- **Καβαλάρη Παναγιώτα**, Εκπ/κος Α/θμιας Εκπ/σης, αποσπ. στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο

- **Μεργκούνη Καλλιόπη**, Εκπ/κος Β/θμιας Εκπ/σης, αποσπ. στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας.

Πρόλογος

Το βιβλίο αυτό απευθύνεται στους σπουδαστές του μηχανολογικού τομέα του 2ου κύκλου του μηχανολογικού τομέα των ΤΕΕ της ειδικότητας «Τεχνικών Μηχανοσυνθετών Αεροσκαφών» και γράφτηκε για τη διδασκαλία του μαθήματος «Κινητήρες Αεροσκαφών II».

Το περιεχόμενο του βιβλίου είναι σύμφωνο με το πλαίσιο του προγράμματος σπουδών, το οποίο προτάθηκε από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο και εγκρίθηκε από το Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων.

Σκοπός του βιβλίου αυτού είναι να αποκτήσουν οι σπουδαστές τις βασικές γνώσεις που απαιτούνται για τη συναρμολόγηση, την επιθεώρηση, την επισκευή και την επανασυναρμολόγηση των κινητήρων και των συστημάτων τους. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται με τη μελέτη των θεωρητικών εδαφίων αλλά και με τις κατάλληλες εργαστηριακές ασκήσεις που συνοδεύουν και συμπληρώνουν την ύλη του κάθε κεφαλαίου.

Η ύλη του μαθήματος είναι κατανεμημένη σε τρία κεφάλαια, τα οποία ανταποκρίνονται στους επιδιωκόμενους στόχους, όπως αυτοί προσδιορίζονται στην αρχή του κάθε κεφαλαίου. Στο τέλος κάθε κεφαλαίου παρατίθενται ανακεφαλαίωση και ερωτήσεις που σκοπό έχουν να βοηθήσουν τους σπουδαστές να κατανοήσουν τη διδακτέα ύλη.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βασικές αρχές θερμοδυναμικής, απαραίτητες για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των αεροπορικών κινητήρων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι διαδικασίες συντήρησης των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει επίσης τις διαδικασίες επισκευής των εξαρτημάτων και συστημάτων αυτών των κινητήρων. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στους εμβολοφόρους κινητήρες ελικοπτέρων καθώς επίσης και στον υπολογισμό της ισχύος και των επιδόσεων ενός εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι διαδικασίες συντήρησης των αεριοστροβίλων αεροπορικών κινητήρων. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει τους τύπους συντήρησης και

τις βασικές εργασίες που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια αυτών, τις αρχές λειτουργίας και τη συντήρηση των συστημάτων των αεριοστρόβιλων κινητήρων, περιγραφή των βασικών οργάνων ελέγχου και τον υπολογισμό των επιδόσεων των αεριοστρόβιλων αεροπορικών κινητήρων.

Σε ειδικό παράρτημα του βιβλίου παρουσιάζεται το βασικό νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τους αεροπορικούς κινητήρες.

Οι συγγραφείς του βιβλίου αισθάνονται την υποχρέωση να ευχαριστήσουν το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο για την εμπιστοσύνη που τους επέδειξε με την ανάθεση της συγγραφής του βιβλίου αυτού και τους κριτές για τις εύστοχες και εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους. Ιδιαίτερως αναγνωρίζεται επίσης η συμβολή της Επιχειρησιακής Μονάδας Συντήρησης Αεροκινητήρων της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας. Τέλος, οι συγγραφείς θέλουν να ευχαριστήσουν τις οικογένειές τους για την αμέριστη συμπαράσταση και κατανόηση.

Οι συγγραφείς

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ	13
Διδακτικοί Στόχοι	13
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	13
1.1.1 Ορισμοί θερμοδυναμικών όρων	14
1.1.2 Θερμικές Μηχανές	15
1.1.3 Βενζινομηχανή – Πετρελαιομηχανή	17
1.1.4 Αεριοστρόβιλος	17
1.1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εμβολοφόρων και αεριοστρόβιλων κινητήρων	19
1.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ	19
1.2.1 Θερμοκρασία	19
1.2.2 Θερμότητα	22
1.3 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	23
1.3.1 Μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας	23
1.4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΡΓΟ	29
1.4.1 Ορισμοί	29
1.4.2 Πρώτο Θερμοδυναμικό Αξίωμα	30
1.4.3 Ενθαλπία – Τεχνικό Έργο	31
1.4.4 Ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο και υπό σταθερή πίεση – Ιδανικά αέρια	32
1.5 ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	34
1.5.1 Αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές μεταβολές	35
1.5.2 Δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα	36
1.5.3 Θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης θερμικής μηχανής	37
1.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ	38
1.6.1 Διαγράμματα εντροπίας θερμοκρασίας	39
1.6.2 Διάγραμμα ενθαλπίας – εντροπίας	41
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	43
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ.....	47
ΕΡΓΑΣΙΕΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	49
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ.....	51
<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.1: Μέτρηση της τάσης εξόδου ενός θερμοστοιχείου (thermocouple) κάτω από διαφορετικές θερμοκρασίες.....</i>	<i>51</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.2: Επίδειξη εφαρμογής εναλλάκτη για τη μεταφορά θερμότητας από ένα ρευστό ψύξης στην ατμόσφαιρα και μέτρηση θερμοκρασιών του ρευστού και του ατμοσφαιρικού αέρα.....</i>	<i>53</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.3: Επίδειξη του μηχανισμού ψύξης των πτερυγίων στροβίλου αεριοστρόβιλου κινητήρα με αγωγή από τον παρεχόμενο αέρα ψύξης του συμπιεστή.....</i>	<i>59</i>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ

ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥΣ	63
Διδακτικοί Στόχοι.....	63
2.1 ΟΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	64
2.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη «ζωή» του κινητήρα.....	64
2.2 ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	68
2.2.1 Επιθεώρηση πριν την πτήση	69
2.2.2 Επιθεώρηση 50 ωρών.....	71
2.2.3 Επιθεώρηση 100 ωρών και ετήσια επιθεώρηση	72
2.3 ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	79
2.3.1 Διαστήματα και είδη γενικής επισκευής	79
2.3.2 Αφαίρεση κινητήρα από αεροσκάφος.....	83
2.3.3 Καθαρισμός	84
2.3.4 Επιθεώρηση (Μη καταστροφικοί έλεγχοι, έλεγχος διαστάσεων)	87
2.3.5 Συναρμολόγηση	99
2.3.6 Ρυθμίσεις	101
2.4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ	102
2.4.1 Μεθοδολογία διερεύνησης	102
2.4.2 Διαδικασίες διερεύνησης βλαβών στα κύρια εξαρτήματα εμβολοφόρων κινητήρων	108
2.4.3 Οργάνωση αποκατάστασης βλαβών και καταγραφής των στοιχείων και αποτελεσμάτων στα μητρώα του κινητήρα.....	111
2.5 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ, ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	113
2.5.1 Στροφαλοθάλαμος	113
2.5.2 Στροφαλοφόρος άξονας.....	114
2.5.3 Διωστήρες.....	115
2.5.4 Κύλινδροι - Βαλβίδες.....	115
2.5.5 Έμβολα	117
2.5.6 Σύστημα ανάφλεξης	117
2.5.7 Σύστημα καυσίμου	119
2.5.8 Σύστημα λίπανσης.....	121
2.5.9 Σύστημα ψύξης.....	122
2.5.10 Σύστημα υπερπλήρωσης.....	123
2.5.11 Σύστημα εκκίνησης.....	123
2.5.12 Λειτουργικός έλεγχος (δοκιμή) κινητήρα	123
2.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	124
2.6.1 Αίτια αντικατάστασης εμβολοφόρου κινητήρα	124
2.6.2 Οργάνωση αφαίρεσης – τοποθέτησης εμβολοφόρου κινητήρα.....	125
2.6.3 Τεχνικά έντυπα αντικατάστασης εμβολοφόρου κινητήρα.....	133
2.7 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΩΝ	134

2.7.1 Μετάδοση κίνησης και τοποθέτηση των εμβολοφόρων κινητήρων ελικοπτέρων	135
2.8. ΙΣΧΥΣ - ΑΠΟΔΟΣΗ - ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	139
2.8.1 Γενικά	139
2.8.2 Είδη ισχύος και διαδικασίες μέτρησης αυτών	140
2.8.3 Είδη απόδοσης και κατανομή ισχύος	144
2.8.4 Καμπύλες απόδοσης εμβολοφόρου κινητήρα	146
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	149
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	153
ΕΡΓΑΣΙΕΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	161
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ	163
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.1: Εξοικείωση με το χώρο εργασίας του εργαστηρίου, τα μέσα ασφάλειας που διαθέτει και τα μέτρα ασφάλειας που πρέπει να λαμβάνονται κατά τη διάρκεια των εργασιών σε αυτό</i>	<i>163</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.2: Κατεργασία εξαρτημάτων αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα σε τόρνο και δράπανο</i>	<i>172</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.3: Κατεργασία εξαρτημάτων αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα σε φρέζα</i>	<i>190</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.4: Μετρήσεις φθορών σε εξαρτήματα εμβολοφόρων κινητήρων</i>	<i>200</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.5: Εκπόνηση πλάνων εργασίας.....</i>	<i>210</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.6: Ζυγοστάθμιση στροφαλοφόρου άξονα εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα</i>	<i>224</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.7: Ειδικός εξοπλισμός συντήρησης εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων - Μη καταστροφικοί έλεγχοι: FPI</i>	<i>232</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.8: Αποσυναρμολόγηση, επιθεώρηση και συναρμολόγηση καρμπυρατέρ</i>	<i>241</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.9: Αντικατάσταση και συγχρονισμός μανιατό, επιθεώρηση καλωδίωσης ανάφλεξης.....</i>	<i>245</i>
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥΣ.....	251
Διδακτικοί Στόχοι	251
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	251
3.2 Τύποι συντήρησης	253
3.2.1 Συντήρηση επιπέδου γραμμής	254
3.2.2 Συντήρηση επιπέδου συνεργείου	257
3.2.3 Συντήρηση εργοστασιακού επιπέδου.....	257
3.3. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ – ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ, ΡΥΘΜΙΣΗ, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ...	259
3.3.1 Συντήρηση και επισκευές ψυχρού τμήματος	259

3.3.2 Συντήρηση και επισκευές θερμού τμήματος	263
3.3.3 Συντήρηση τριβών και διατάξεων στεγανοποίησης	265
3.3.4 Διαδικασίες μη καταστροφικού ελέγχου	268
3.3.5 Διαδικασίες ζυγοστάθμισης συμπιεστού και στροβίλου	268
3.3.6 Έλεγχοι διακένων και ανοχών	269
3.4 ΛΙΠΑΝΣΗ - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ	271
3.4.1 Γενικά	271
3.4.2 Φυσικές ιδιότητες και τεχνικά χαρακτηριστικά των λιπαντικών	273
3.4.3 Προδιαγραφές λιπαντικών αεριοστροβίλων κινητήρων.....	274
3.4.4 Περιγραφή τυπικού συστήματος λίπανσης αεριοστροβίλου κινητήρα	274
3.4.5 Τύποι συστημάτων λίπανσης αεριοστροβίλων κινητήρων	282
3.4.6 Διατάξεις ενδείξεων πίεσης και θερμοκρασίας	284
3.4.7 Έλεγχοι και διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης	285
3.5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ.....	287
3.5.1 Περιφερειακή ψύξη στο εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα	287
3.5.2 Εσωτερική ψύξη του κινητήρα	288
3.5.3 Περιγραφή του συστήματος σε ένα τυπικό αεριοστροβίλο κινητήρα.....	291
3.6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΥΣΙΜΑ	292
3.6.1 Ιδιότητες και είδη καυσίμων	292
3.6.2 Σκοπός συστήματος καυσίμου και είδη συστημάτων	296
3.7. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ	307
3.7.1 Μέθοδοι εκκίνησης	308
3.8 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ.....	313
3.8.1 Γενικά	313
3.8.2 Πυκνωτικά συστήματα ανάφλεξης	315
3.8.3 Αναφλεκτήρες	317
3.8.4 Διαδικασία εκκίνησης αεριοστροβίλων κινητήρων	319
3.8.5 Διαδικασία διερεύνησης και αποκατάστασης βλαβών συστήματος ανάφλεξης.....	320
3.9. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΠΑΓΟΠΟΙΗΣΗ.....	322
3.9.1. Σύστημα προστασίας από παγοποίηση με αέρα από τον συμπιεστή	323
3.9.2 Ηλεκτρικά συστήματα αποπαγοποίησης.....	325
3.9.3 Προστασία παγοποίησης καυσίμου	326
3.10 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ	326
3.10.1 Αιτίες πρόκλησης πυρκαγιάς και πρόληψη εκδήλωσής της	327
3.10.2 Σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς.....	328
3.10.3 Καταστολή	330
3.10.4 Έλεγχοι, συντήρηση και αποκατάσταση βλαβών συστήματος πυρόσβεσης.....	332
3.10.5 Ανίχνευση και αποκατάσταση βλαβών συστήματος πυρόσβεσης.....	333
3.11 ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	334
3.11.1 Συγχρονισμός λειτουργίας κινητήρων	335

3.11.2 Περιγραφή και λειτουργία των οργάνων του κινητήρα	335
3.12 Επιδόσεις των κινητήρων αντίδρασης	343
3.12.1 Επιδόσεις στροβιλοαντιδραστήρα	343
3.12.2 Σχέση ώσης – ισχύος.....	344
3.12.3 Προωθητική απόδοση	345
3.12.4 Ειδική κατανάλωση καυσίμου	346
3.12.5 Διαφορές επιδόσεων κινητήρων turbojet, turbofan, turboprop.....	346
3.13 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ	347
3.13.1 Περιοχές λειτουργίας	347
3.13.2 Λειτουργία αεριοστρόβιλου κινητήρα.....	350
3.13.3 Λειτουργία ελικοστροβίλου – αξονοστρόβιλου.....	353
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ.....	355
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	361
ΕΡΓΑΣΙΕΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	369
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ.....	371
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.1: Συναρμολόγηση και ζυγοστάθμιση ρότορα συμπιεστή. Συναρμολόγηση βαθμίδων συμπιεστή.....</i>	<i>371</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.2: Συναρμολόγηση και ζυγοστάθμιση ρότορα στροβίλου. Συναρμολόγηση βαθμίδων στροβίλου</i>	<i>396</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.3: Ειδικός εξοπλισμός συντήρησης αεροπορικών κινητήρων -Μη καταστροφικοί έλεγχοι: MPI</i>	<i>415</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.4:</i>	
<i>Επιθεώρηση - επισκευή περιστρεφόμενων πτερυγίων συμπιεστή</i>	<i>422</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.5: Επιθεώρηση - επισκευή θαλάμου καύσης</i>	<i>430</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.6: Αποσυναρμολόγηση των κύριων παρελκομένων του συστήματος καυσίμου και ελέγχου ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα. Επιθεώρηση των εγχυτήρων καυσίμου.....</i>	<i>438</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.7: Αποσυναρμολόγηση και επιθεώρηση του συστήματος λίπανσης ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα.....</i>	<i>446</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.8: Αποσυναρμολόγηση και επιθεώρηση του συστήματος ανάφλεξης ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα.....</i>	<i>455</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.9: Εκπόνηση πλάνων εργασίας</i>	<i>460</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.10: Επίδειξη οργάνων για τον έλεγχο της λειτουργίας αεριοστρόβιλου κινητήρα</i>	<i>466</i>
<i>Εργαστηριακή άσκηση 3.11: Επιθεώρηση και έλεγχος θερμοστοιχείων μέτρησης θερμοκρασίας καυσαερίων</i>	<i>470</i>
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:	
ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	477
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:	
ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ.....	491
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	493

Κεφάλαιο 1:

ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος του πρώτου κεφαλαίου:

- Θα έχετε έρθει σε μία πρώτη επαφή με το αντικείμενο της επιστήμης της θερμοδυναμικής.
- Θα είστε σε θέση να συνδέετε τις αρχές της θερμοδυναμικής με τη λειτουργία των αεροπορικών κινητήρων.

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στη θερμοδυναμική και ιδιαίτερα σε θέματα που έχουν άμεση σχέση με τις αρχές που διέπουν τη λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης. Ειδικότερα αναφέρεται σε θέματα όπως η θερμότητα και η θερμοκρασία, ο ορισμός και η απόδοση θερμικής μηχανής, η μετάδοση θερμότητας, η μετατροπή θερμότητας σε έργο, οι κυκλικές μεταβολές καταστάσεων, ο πρώτος και ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος και η έννοια της εντροπίας.

Θερμοδυναμική ονομάζουμε τον κλάδο της επιστήμης της φυσικής που ασχολείται με τις σχέσεις μεταξύ των ιδιοτήτων της ύλης και τις έννοιες της θερμότητας και του έργου. Ειδικότερα είναι η επιστήμη που μας βοηθάει να αναλύσουμε και να κατανοήσουμε τις μεταβολές της κατάστασης της ύλης και τις διαδικασίες μέσω των οποίων παράγεται έργο από αυτές τις μεταβολές.

Πριν αναφερθούμε σε βασικές έννοιες της θερμοδυναμικής και στις εφαρμογές τους, είναι απαραίτητο να αναφερθούμε στους ειδικούς όρους που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα φαινόμενα που διαπραγματεύεται.

Παρ' όλο που η ύλη αυτού του κεφαλαίου δεν φαίνεται να έχει άμεση σχέση με το αντικείμενο της επισκευής και της συντήρησης των αεροπορικών κινητήρων, είναι σημαντικό να δοθούν οι βασικές αρχές στις οποίες στηρίζεται η λειτουργία των αεροπορικών κινητήρων, μια που αυτές αποτελούν την αφετηρία για τη σχεδίαση και συγκρότηση των κινητήρων και των συστημάτων τους.

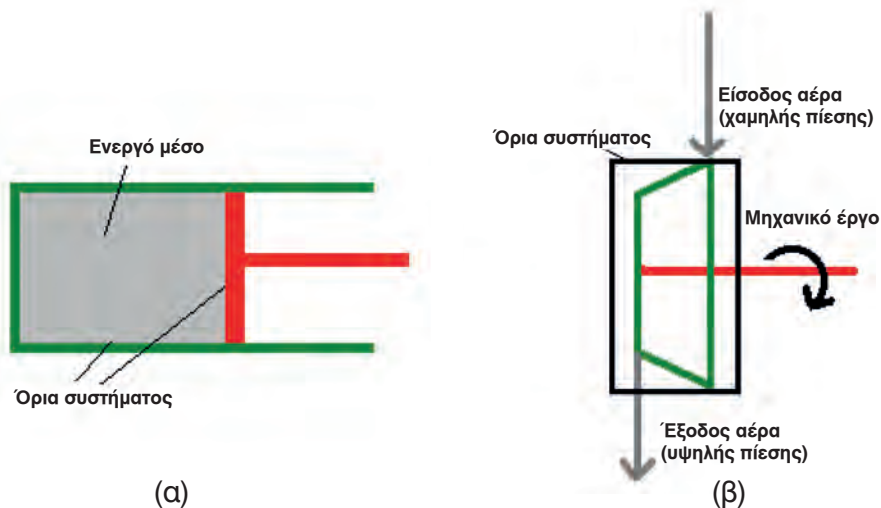
1.1.1 Ορισμοί θερμοδυναμικών όρων

Ενεργό μέσο: είναι η ποσότητα της ύλης πάνω στην οποία εκτελούνται διάφορες διεργασίες, όπως ένα αέριο το οποίο συμπιέζουμε ή ένα υγρό το οποίο θερμαίνουμε. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης, για παράδειγμα, το ενεργό μέσο είναι το μείγμα αέρα καυσίμου ενώ στην ατμομηχανή, η οποία είναι μηχανή εξωτερικής καύσης (§1.1.2), το ενεργό μέσο είναι το νερό. Το ενεργό μέσο ονομάζεται πολλές φορές και **εργαζόμενο μέσο**.

Θερμοδυναμικό Σύστημα: πρόκειται για τμήμα του σύμπαντος, το οποίο μπορεί να μελετηθεί ξεχωριστά από τον υπόλοιπο περιβάλλοντα κόσμο. Όταν αυτό περιλαμβάνει σταθερή ποσότητα μάζας καλείται **κλειστό σύστημα** (Σχήμα 1.1α), ενώ όταν αυτό περικλείεται εντός καθορισμένων ορίων χώρου (όγκου), μέσω των οποίων ρέει μάζα καλείται **ανοικτό σύστημα** (Σχήμα 1.1β).

Όρια του συστήματος: οι διαχωριστικές επιφάνειες (νοητές ή πραγματικές) μέσω των οποίων διαχωρίζεται το σύστημα από τον υπόλοιπο κόσμο.

Περιβάλλον: οτιδήποτε βρίσκεται εκτός των ορίων του συστήματος ορίζεται ως περιβάλλον, το οποίο επηρεάζεται άμεσα από μεταβολές που πραγματοποιούνται μέσα στο σύστημα.

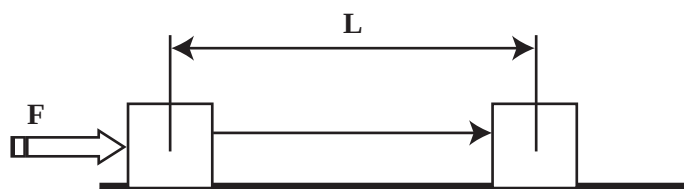


Σχήμα 1.1 Σχηματική παράσταση (α) κλειστού συστήματος (έμβολο-κύλινδρος) και (β) ανοικτού συστήματος (φυγοκεντρικός συμπιεστής)

Έργο λέμε ότι παράγεται όταν μια δύναμη εφαρμοζόμενη σε ένα σώμα το μετατοπίζει κατά μία απόσταση (Σχήμα 1.2).

Το σύστημα μπορεί να ανταλλάσσει με το περιβάλλον **μηχανικό έργο**, το οποίο είναι θετικό όταν παράγεται από το σύστημα και **αρνητικό** όταν προσδίδεται σε αυτό.

Οτιδήποτε είναι ικανό να παράγει έργο, λέμε ότι εμπεριέχει **ενέργεια**. Για παράδειγμα, το νερό σε ένα φράγμα έχει **κινητική ενέργεια** λόγω της ταχύτητας που έχει πέφτοντας από αυτό. Καθώς προσκρούει στα πτερύγια μιας υδατογεννήτριας τα περιστρέφει παράγοντας έργο. Ενέργεια, συνεπώς, ορίζουμε την ικανότητα να παράγουμε έργο.



Σχήμα 1.2 Η δύναμη F κατά τη μετατόπιση του σώματος κατά μία απόσταση L παράγει έργο FxL

Μια σημαντική μορφή ενέργειας είναι η **χημική**, η ενέργεια δηλαδή που εμπεριέχουν καύσιμα όπως το κάρβουνο, το πετρέλαιο, η κηροζίνη και το υγραέριο, λόγω της ευκολίας χρήσης τους, ειδικά στα μεταφορικά μέσα. Η **θερμότητα** είναι μια από τις μορφές ενέργειας, η οποία μπορεί για παράδειγμα να είναι το προϊόν της μετατροπής της χημικής ενέργειας (όσον αφορά την παραγωγή της θερμότητας στις Μ.Ε.Κ). Περισσότερα για τη θερμότητα θα δούμε στην παράγραφο 1.2.2 παρακάτω.

Ιδιότητες: οι ιδιότητες μιας ουσίας είναι οποιοδήποτε χαρακτηριστικό μπορούμε να παρατηρήσουμε ή να μετρήσουμε όπως ο όγκος V , η πίεση p και η θερμοκρασία T .

1.1.2. Θερμικές Μηχανές

Για να γίνει πιο κατανοητή η έννοια της θερμικής μηχανής θα ήταν σκόπιμο να αναφερθούμε πρώτα στον ορισμό της μηχανής γενικότερα. Ως μηχανή ορίζουμε γενικότερα μια διάταξη μετατροπής ενέργειας. Για παράδειγμα ένας υδρόμυλος μετατρέπει την κινητική ενέργεια του νερού σε κινητική ενέργεια άλλης μορφής, περιστρέφοντας τον άξονα του μύλου, ή μια ανεμογεννήτρια μετατρέπει τη κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω περιστροφής του άξονα της ηλεκτρογεννήτριας (Σχήμα 1.3)

Θερμική μηχανή ορίζουμε τη μηχανή η οποία μετατρέπει τη θερμότητα σε μηχανική ενέργεια. Η θερμότητα μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές όπως κάρβουνο, πετρέλαιο, υγραέριο αλλά και από τον ήλιο ή από πυρηνική αντίδραση. Στην περίπτωση της καύσης, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε θερμότητα και στη συνέχεια σε μηχανική ενέργεια:

- μέσω ενός εμβόλου, σε εμβολοφόρο κινητήρα, ή,
- μέσω της πτερωτής ενός στροβίλου, όπως π.χ. σε αεριοστρόβilo κινητήρα.

Οι θερμικές μηχανές που χρησιμοποιούν την καύση ως πηγή θερμότητας, διακρίνονται ανάλογα με το αν η καύση και η παραγωγή έργου γίνεται σε ένα ή σε ξεχωριστά συγκροτήματα. Αν η καύση γίνεται σε ένα συγκρότημα, όπως για παράδειγμα σε έναν εμβολοφόρο ή αεριοστρόβilo κινητήρα, τότε η μηχανή ονομάζεται **μηχανή εσωτερικής καύσης** (Μ.Ε.Κ.).

Αν η καύση γίνεται σε ξεχωριστά συγκροτήματα τότε η μηχανή ονομάζεται **μηχανή εξωτερικής καύσης**. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μηχανής εξωτερικής καύσης είναι η ατμομηχανή όπου το μείγμα αέρα-καυσίμου καίγεται σε λέβητα και ο παραγόμενος ατμός διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων σε έμβολα ή στα πτερύγια ενός στροβίλου μετατρέποντας έτσι τη θερμική ενέργεια του ατμού σε μηχανική.

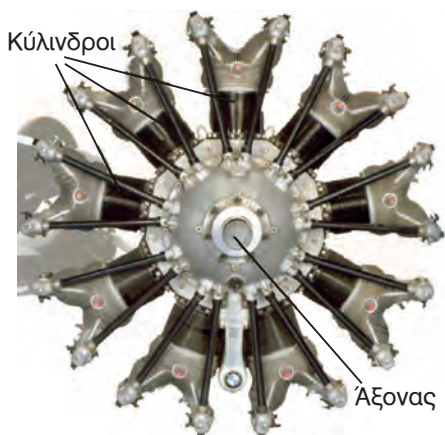


Σχήμα 1.3 Μετατρέποντας τη δυναμική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική

1.1.3 Βενζινομηχανή - Πετρελαιομηχανή

Τα πιο ευρέως διαδεδομένα είδη μηχανών εσωτερικής καύσης είναι η βενζινομηχανή και η πετρελαιομηχανή. Οι αρχές λειτουργίας τους διαφέρουν σημαντικά, αν σχεδιαστικά και λειτουργικά έχουν πολλές ομοιότητες.

Η αρχή λειτουργίας της βενζινομηχανής βασίζεται στον κύκλο του Otto, ενώ η αρχή λειτουργίας της πετρελαιομηχανής στον κύκλο του Diesel, όπως είδαμε αναλυτικά στο βιβλίο, «**Κινητήρες Αεροσκαφών I**». Η μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε μηχανική ενέργεια και στα δύο αυτά είδη των θερμικών μηχανών πραγματοποιείται μέσα στους **κύλινδρους** της μηχανής, με την εκτόνωση των καυσαερίων που δημιουργούνται από την καύση του μείγματος αέρα-καυσίμου. Η πίεση των καυσαερίων ωθεί τα **έμβολα** του κινητήρα, η **παλινδρομική κίνηση** των οποίων μετατρέπεται σε **περιστροφική** μέσω των διωστήρων (μπιέλες-connecting rods) όπου και μεταδίδεται στον άξονα του κινητήρα. Στο Σχήμα 1.4 φαίνεται ένας από τους πιο διαδεδομένους τύπους εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων (**αστεροειδής**).



Σχήμα 1.4 Αστεροειδής τύπος εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα.

Η εκτόνωση των καυσαερίων στον κύλινδρο έχει ως αποτέλεσμα την περιστροφική κίνηση του άξονα

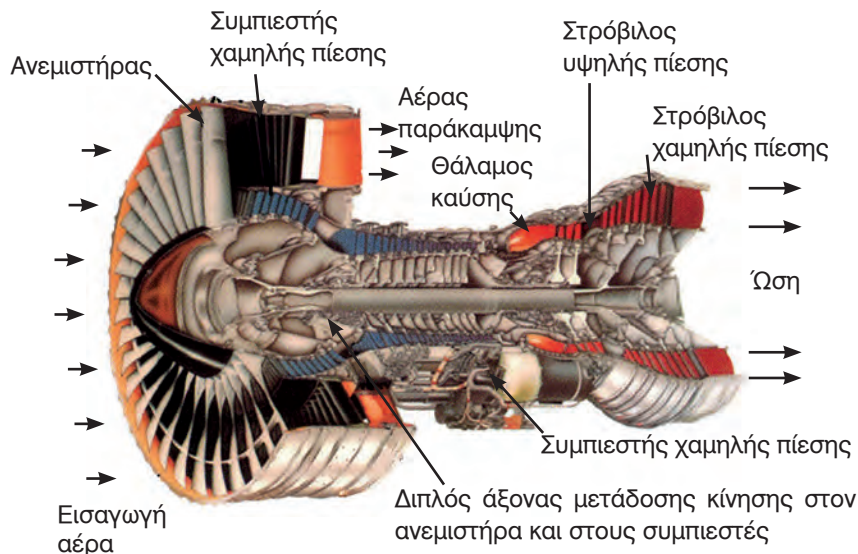
1.1.4. Αεριοστρόβιλος

Ο αεριοστρόβιλος (Σχήμα 1.5) είναι μια θερμική μηχανή¹, η λειτουργία του οποίου βασίζεται στον κύκλο του Brayton όπως είδαμε στο βιβλίο «**Κινητήρες Αεροσκαφών I**». Σε αντίθεση με τους εμβολοφόρους κινητήρες, η ισχύς εδώ παράγεται με

¹ Οι αεριοστρόβιλοι είναι στη συντριπτική τους πλειοψηφία κινητήρες εσωτερικής καύσης, αν και έχουν υπάρξει προσπάθειες σχεδιασμού αεριοστροβίλων, όπου η καύση γίνεται σε ξεχωριστό συγκρότημα και χρησιμοποιείται εναλλάκτης για τη θέρμανση του εργαζόμενου μέσου.

συνεχή ρυθμό. Η μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε μηχανική πραγματοποιείται σε πρώτη φάση με τη βοήθεια του θαλάμου καύσης (όπου η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική) και στη συνέχεια με τη βοήθεια του **στροβίλου**, ο οποίος περιστρέφεται όταν προσπίπτουν πάνω στα **πτερύγιά** του τα θερμά καυσαέρια που παράγονται στο θάλαμο καύσης. Μέρος (και σε ορισμένες περιπτώσεις το σύνολο) της μηχανικής αυτής ενέργειας είναι απαραίτητη, σε όλους του τύπους των αεριοστροβίλων για την παραγωγή έργου, για την κίνηση του **συμπιεστή** και των παρελκομένων του κινητήρα.

Για τους αεριοστροβίλους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση κίνησης σε έλικα (turbo-prop, turboshaft), το υπόλοιπο ποσοστό της μηχανικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την περιστροφή του έλικα.



Σχήμα 1.5 Χαρακτηριστικός τύπος αεριοστροβίλου κινητήρα (στροβιλοανεμιστήρας - turbofan) που χρησιμοποιείται σε μεγάλα πολιτικά αεροσκάφη

Υπενθυμίζουμε τις βασικές κατηγορίες των αεριοστροβίλων (οι οποίες έχουν ήδη αναφερθεί και περιγραφεί στο βιβλίο «Κινητήρες Αεροσκαφών I»):

- Στροβιλοαντιδραστήρας (turbojet)
- Ελικοφόρος στροβιλοαντιδραστήρας ή ελικοστροβίλος (turbo-prop)
- Αεριοστροβίλος μηχανικής ισχύος ή αξονοστροβίλος (turboshaft)
- Στροβιλοανεμιστήρας (turbofan)

1.1.5. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα εμβολοφόρων και αεριοστρόβιλων κινητήρων

Γενικά οι εμβολοφόροι κινητήρες έχουν

- το μειονέκτημα της ύπαρξης κραδασμών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους,
- ενώ τα πλεονεκτήματά τους είναι
- το χαμηλό λειτουργικό κόστος λόγω χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου και φθηνών ανταλλακτικών, καθώς και
 - ο μικρός χρόνος απόκρισής τους στις μεταβολές του χειριστή (θέση μανέτας)

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά τούς κάνουν αναντικατάστατους για χρήση σε μικρά αεροσκάφη γενικής χρήσης.

Τα μειονεκτήματα των αεριοστρόβιλων κινητήρων είναι

- η μεγάλη κατανάλωση καυσίμου για την ίδια παρεχόμενη ισχύ με έναν εμβολοφόρο,
- το μεγάλο λειτουργικό κόστος και
- η απαίτηση για εξειδικευμένο εξοπλισμό συντήρησης.

Στα πλεονεκτήματά τους συγκαταλέγονται

- η μεγάλη παρεχόμενη ισχύς για το βάρος τους και
- η δυνατότητα πρόωσης σε ταχύτητες που φθάνουν ή και ξεπερνούν την ταχύτητα του ήχου.

1.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

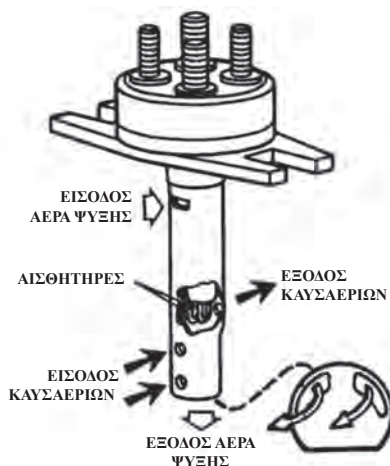
1.2.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι το φυσικό μέγεθος που προσδιορίζει το μέτρο του ζεστού ή του κρύου σχετικά με κάποια κλίμακα μέτρησης. Μπορούμε να κάνουμε μια εκτίμηση για το αν ένα σώμα είναι πιο ζεστό από ένα άλλο χρησιμοποιώντας τις αισθήσεις μας. Αυτό όμως είναι υποκειμενικό και ανακριβές. Η ακριβής μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με τη βοήθεια οργάνων, τα οποία ονομάζονται θερμόμετρα. Είναι φυσικά απαραίτητο να επιλέγεται το κατάλληλο κάθε φορά θερμόμετρο, ανάλογα με το ύψος της θερμοκρασίας που θέλουμε να μετρήσουμε.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας βασίζεται στην αλλαγή μιας φυσικής ιδιότητας με τη θερμοκρασία. Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων που έχουν διαφορετική θερμοκρασία (από το θερμότερο στο ψυχρότερο) και το γεγονός ότι τα δύο σώματα (θερμόμετρο και σώμα υπό μέτρηση) έρχονται σε θερμική ισορροπία όταν έρθουν σε επαφή μεταξύ τους μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, επιτρέπουν τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός σώματος με χρήση θερμομέτρου.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι θερμόμετρων, ανάλογα με τη φυσική ιδιότητα που χρησιμοποιούν, για να ανιχνεύσουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Τα κοινά θερμόμετρα που βασίζονται στη διαστολή ενός υγρού όταν θερμαίνεται, και στη συστολή του όταν ψύχεται. Το υγρό αυτό είναι συνήθως υδράργυρος ή αλκοόλη.
2. Τα θερμόμετρα διμεταλλικού ελάσματος που βασίζονται στην ίδια αρχή για διαστολή ενός στερεού.
3. Τα θερμόμετρα αντίστασης τα οποία μετράνε τη μεταβολή της αντίστασης ενός αγωγίμου υλικού όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία του.
4. Τα **θερμοστοιχεία** ή **θερμοζεύγη** (thermocouples), Σχήμα 1.6, τα οποία μετράνε την τάση που αναπτύσσεται στην επαφή δύο διαφορετικών μετάλλων όταν αυτά θερμαίνονται. Τα θερμοστοιχεία χρησιμοποιούνται σε αεροπορικούς κινητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας κατά την έξοδο των καυσαερίων από το στρόβιλο.



Σχήμα 1.6 Χαρακτηριστικός τύπος θερμοστοιχείου που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων σε αεριοστρόβιλο κινητήρα

5. Τα **οπτικά πυρόμετρα (optical pyrometers)**, τα οποία χρησιμοποιούνται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και μετράνε την εκπεμπόμενη ακτινοβολία από την πηγή θερμότητας. Αυτά μετράνε τη θερμοκρασία επιφάνειας του μετάλλου και χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των πτερυγίων στις πρώτες βαθμίδες στροβίλων. Αποτελούν πρόσφατη σχετικά τεχνολογία, η οποία εξελίσσεται.

Βασική προϋπόθεση για ακριβή μέτρηση είναι η μεταφορά θερμότητας από το σώμα στο θερμόμετρο να είναι πολύ μικρή.

Κλίμακες μέτρησης θερμοκρασίας

Οι κλίμακες μέτρησης θερμοκρασίας έχουν οριστεί με βάση τις φυσικές ιδιότητες κάποιου υγρού και της μεταβολής της κατάστασής του σε δύο διαφορετικές σταθερές θερμοκρασίες. Η διαφορά των δύο αυτών θερμοκρασιών χωρίζεται σε ίσες υποδιαιρέσεις και αποτελεί την κλίμακα του θερμομέτρου.

Η κλίμακα **Κελσίου** έχει οριστεί με αυτό τον τρόπο από τον Σουηδό αστρονόμο Celsius από τον οποίο πήρε και την ονομασία της, χρησιμοποιώντας τη θερμοκρασία τήξης και βρασμού σε πίεση 760mmHg, του καθαρού νερού. Ορίζοντας τη θερμοκρασία 0 στο σημείο τήξης και 100 στο σημείο βρασμού, βαθμονόμησε την κλίμακα σε 100 ίσες υποδιαιρέσεις. Κάθε υποδιαίρεση αποτελεί και έναν βαθμό Κελσίου και συμβολίζεται 1°C. Η υποδιαίρεση της κλίμακας συνεχίζει και χαμηλότερα του μηδενός για τη μέτρηση θερμοκρασιών μικρότερων του μηδενός.

Η κλίμακα Κελσίου είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη κλίμακα παγκοσμίως με εξαίρεση κάποιων αγγλόφωνων χωρών, μεταξύ των οποίων και οι Η.Π.Α., που χρησιμοποιούν την κλίμακα Φαρενάιτ.

Η κλίμακα **Φαρενάιτ** ορίστηκε με παρόμοιο τρόπο από τον Γερμανό φυσικό Daniel Fahrenheit με τη διαφορά ότι η θερμοκρασία τήξης του πάγου ορίστηκε στους 32 βαθμούς Fahrenheit (32°F) και η θερμοκρασία βρασμού του νερού στους 212 βαθμούς Fahrenheit (212°F). Το διάστημα μεταξύ των δύο θερμοκρασιών διαιρείται σε 180 ίσες υποδιαιρέσεις ορίζοντας με αυτό τον τρόπο 1 βαθμό Fahrenheit.

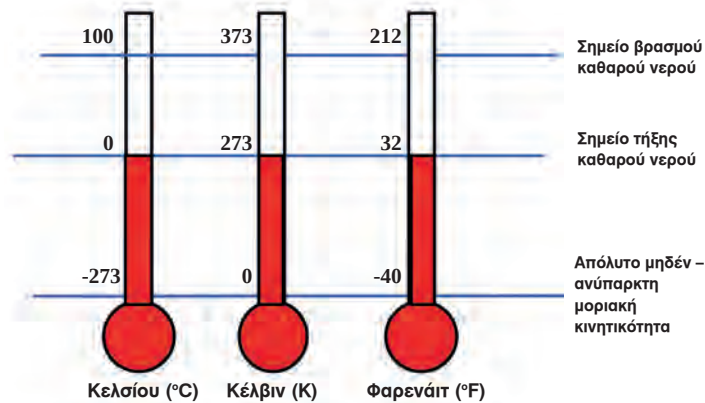
Για τη μετατροπή θερμοκρασίας από βαθμούς Κελσίου σε βαθμούς Φαρενάιτ χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση (βλέπε και Σχήμα 1.7):

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 \quad (1-1)$$

Ενώ για τη μετατροπή θερμοκρασίας από βαθμούς Φαρενάιτ σε βαθμούς Κελσίου λύνουμε την παραπάνω σχέση ως προς T_C και έχουμε την ακόλουθη σχέση:

$$T_C = \frac{5}{9}T_F - 32 \quad (1-2)$$

Στα μέσα του 19ου αιώνα ο λόρδος Κέλβιν (Kelvin) όρισε την **απόλυτη κλίμακα** μέτρησης θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία στην κλίμακα αυτή μετريέται σε Κέλβιν, **K** (και όχι βαθμούς Κέλβιν °K) προς τιμή του εφευρέτη της κλίμακας, και έχει οριστεί έτσι ώστε ένα Κέλβιν να είναι ακριβώς ίσο με ένα βαθμό Κελσίου. Και αυτή η κλίμακα έχει βασιστεί στις θερμοκρασίες τήξης και βρασμού του καθαρού νερού σε πίεση 760mmHg. Η διαφορά με τις άλλες κλίμακες έγκειται στο ότι το σημείο τήξης του πάγου είναι 273,15K και άρα το σημείο βρασμού του νερού είναι 373,15K.



Σχήμα 1.7 Συγκριτική παρουσίαση των ευρέως χρησιμοποιούμενων κλιμάκων μέτρησης θερμοκρασίας

Η σχέση μεταξύ της κλίμακας Κελσίου και της κλίμακας Κέλβιν είναι η παρακάτω (βλέπε και Σχήμα 1.7):

$$T_K = T_C + 273,15 \quad (1-3)$$

1.2.2 Θερμότητα

Η **θερμότητα** είναι μια μορφή ενέργειας, η οποία ορίζεται ως η ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο, εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τους. Η θερμότητα είναι μια από τις πιο χρήσιμες μορφές ενέργειας λόγω της άμεσης σχέσης της με το έργο.

Η **διαφορά της θερμότητας με τη θερμοκρασία** είναι ότι η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας, ενώ η θερμοκρασία είναι το μέτρο εκείνο με το οποίο προσ-

διορίζουμε το ποσό της θερμότητας και αποτελεί ένδειξη της ενεργειακής κατάστασης του σώματος.

Μονάδες θερμότητας

Ως μονάδα για τη μέτρηση της ποσότητας της θερμοκρασίας ορίζεται η θερμίδα ή cal (calorie), δηλαδή η ποσότητα θερμότητας που χρειάζεται ένα γραμμάριο νερό για να αυξήσει τη θερμοκρασία του από $14,5^{\circ}\text{C}$ σε $15,5^{\circ}\text{C}$. Στην πράξη χρησιμοποιείται το kcal ($1\text{kcal} = 1000\text{cal}$) λόγω του πολύ μικρού μεγέθους που αντιπροσωπεύει το ένα cal.

Στο αγγλοσαξωνικό σύστημα η αντίστοιχη μονάδα θερμότητας είναι το BTU (British Thermal Unit), η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για να αυξήσει τη θερμοκρασία νερού βάρους μιας λίβρας ($1\text{lb} = 0,45\text{kg}$) κατά ένα βαθμό Φαρενάιτ, από τους 63°F στους 64°F .

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.), η θερμότητα μετρείται σε Joule (J) ή kiloJoule (kJ - η διεθνώς επικρατούσα μονάδα ενέργειας).

Αριθμητική εφαρμογή:

Υπολογισμός θερμοκρασίας σε διάφορες κλίμακες.

Η θερμοκρασία βρασμού της αεροπορικής βενζίνης είναι $353,3\text{K}$. Υπολογίστε τη θερμοκρασία στις κλίμακες Κελσίου και Φαρενάιτ

Λύση:

Από τις σχέσεις (1-3) και (1-1) έχουμε:

Λύνοντας προς T_C τη σχέση (1-3) υπολογίζουμε τη θερμοκρασία σε βαθμούς $^{\circ}\text{C}$:

$$T_C = T_K - 273,15 = 353,3 - 273,15 = 80,15^{\circ}\text{C}$$

Λύνοντας προς T_F τη σχέση (1-1) έχουμε:

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 = 1,8 * 80,15 + 32 = 176,27^{\circ}\text{F}$$

1.3 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

1.3.1 Μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας

Η θερμότητα, όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο, είναι η ενέργεια η οποία μεταδίδεται έχοντας ως κινητήρια δύναμη τη διαφορά θερμοκρασίας. Η μετάδοσή της γίνεται με τρεις βασικούς τρόπους, οι οποίοι έχουν να κάνουν με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η ύλη (στερεή ή ρευστή). Το σημαντικό στοιχείο είναι ότι σε όλους τους τρόπους η μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο

σωμάτων γίνεται **μόνο αν** υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας και, επιπλέον, αν και τα δύο σώματα είναι αγωγοί τη θερμότητας. Η φορά της ροής της θερμότητας είναι από το σώμα με την υψηλότερη θερμοκρασία προς το σώμα με τη χαμηλότερη θερμοκρασία.

Οι τρόποι, λοιπόν, μετάδοσης θερμότητας είναι οι ακόλουθοι:

- (i) Μετάδοση με αγωγή (conduction)
- (ii) Μετάδοση με μεταφορά (convection)
- (iii) Μετάδοση με ακτινοβολία (radiation)

Τέλος, υπάρχει και η μικτή μετάδοση, η οποία αποτελεί συνδυασμό των παραπάνω.

1.3.1.1 Μετάδοση με αγωγή

Η διάδοση θερμότητας με αγωγή είναι ο τρόπος μετάδοσης θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων σε επαφή (ή δύο σημείων ενός σώματος), χωρίς να υπάρχει μεταφορά ύλης (Σχήμα 1.8).

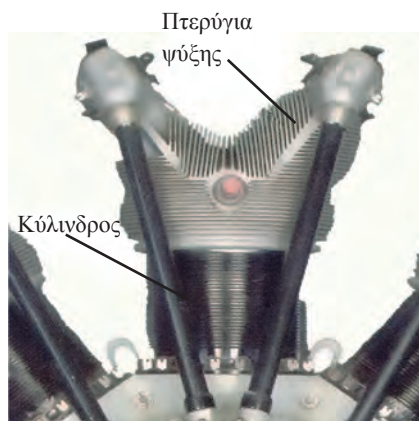


Σχήμα 1.8 Η θέρμανση της λαβής γίνεται μέσω «αγωγής»

Η μετάδοση με αγωγή είναι χαρακτηριστικός τρόπος μετάδοσης θερμότητας στα στερεά. Η μετάδοση οφείλεται μερικώς στην επαφή των γειτονικών ατόμων τα οποία, ταλαντευόμενα γύρω από τη σχετική τους θέση, μεταδίδουν θερμότητα με τη μορφή κυμάτων στο υπόλοιπο στερεό και μερικώς στην εσωτερική ακτινοβολία. Αν τώρα το στερεό είναι μέταλλο, υπάρχουν επίσης μεγάλοι αριθμοί ελεύθερων ηλεκτρονίων στα άτομά του, τα οποία μπορούν να μετακινηθούν μέσα στο υλικό, από το ένα άτομο στο άλλο συνεισφέροντας στη μεταφορά της θερμότητας.

Είναι γεγονός ότι η συμμετοχή των ελεύθερων ηλεκτρονίων παίζει τον πρωταρχικό ρόλο στη μετάδοση θερμότητας στα μέταλλα και επίσης δικαιολογεί τη σχέση μεταξύ ηλεκτρικής και θερμικής αγωγιμότητας. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μετάδοσης θερμότητας με αγωγή σε εμβολοφόρο κινητήρα έχουμε στον κύλινδρο καύσης (Σχήμα 1.9). Η θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της καύ-

σης διοχετεύεται μέσω των τοιχωμάτων του κυλίνδρου από την εσωτερική στην εξωτερική του επιφάνεια¹.



Σχήμα 1.9 Μεταφορά παραγόμενης θερμότητας με αγωγή σε αερόψυκτο κινητήρα. Η θερμότητα περνάει από τον κύλινδρο στο περιβάλλον και με τη βοήθεια πτερυγίων ψύξης και του ρεύματος αέρα από τον έλικα.

1.3.1.2 Μετάδοση με μεταφορά

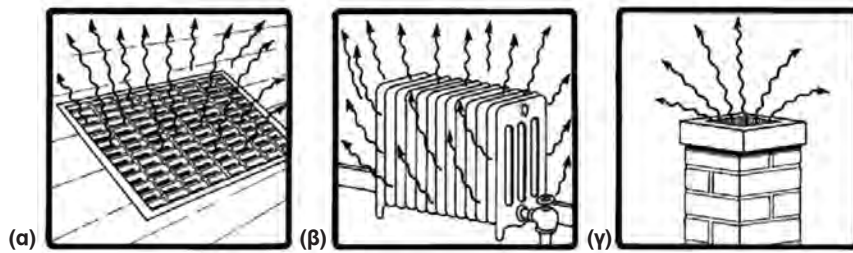
Μεταφορά ονομάζουμε τον τρόπο μετάδοσης της θερμότητας λόγω μετακίνησης της μάζας ενός ρευστού (υγρού ή αερίου) από μια περιοχή του χώρου ή της μάζας του ρευστού, σε μια άλλη.

Η μετάδοση με μεταφορά διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

- (i) Την **εξαναγκασμένη μεταφορά** (Σχήμα 1.10α), όπου έχουμε μεταφορά μάζας του ρευστού εξαιτίας της διαφοράς πίεσης που δημιουργεί μια εξωτερική αιτία, όπως για παράδειγμα μια αντλία, π.χ. η αντλία νερού στο σύστημα ψύξης του κινητήρα ενός αυτοκινήτου, ή η παροχή θερμού αέρα για τη θέρμανση μεγάλων χώρων, μέσω αεραγωγών και με τη χρήση ανεμιστήρα.
- (ii) Την **ελεύθερη μεταφορά** (Σχήμα 1.10 (β) και (γ)), όπου η μεταφορά μάζας του ρευστού οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας των θερμών μαζών, οι οποίες είναι ελαφρότερες από τις ψυχρότερες. Ελεύθερη μεταφορά θερμότητας συναντάμε στα οικιακά συστήματα θέρμανσης όπου ο αέρας σε επαφή με το θερμαντικό σώμα καθώς θερμαίνεται

¹Αν ο κινητήρας είναι αερόψυκτος (air cooled) (όπως η πλειοψηφία των αεροπορικών κινητήρων), η θερμότητα αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα με τη βοήθεια πτερυγίων ψύξης (cooling fins), η ύπαρξη των οποίων αποσκοπεί στην αύξηση της ψυχόμενης επιφάνειας. Πρόκειται για μετάδοση με μεταφορά (βλ. επόμενη παράγραφο).

ανέρχεται λόγω μικρότερης πυκνότητας (άρα και βάρους), και τη θέση του καταλαμβάνει ψυχρότερος αέρας ο οποίος με τη σειρά του θερμαίνεται από το σώμα. Ο θερμός αέρας μεταδίδει τη θερμότητά του στο χώρο και κατέρχεται καθώς ψύχεται επαναλαμβάνοντας τον κύκλο.



Σχήμα 1.10 Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά:
(α) Παροχή ζεστού αέρα, (β) Καλοριφέρ, (γ) Καμινάδα

Ένα άλλο παράδειγμα μετάδοσης θερμότητας με μεταφορά είναι η περίπτωση υγρόψυκτου (water cooled) κινητήρα, όπου η θερμότητα από τα τοιχώματα των κυλίνδρων διοχετεύεται στο ψυκτικό υγρό κυρίως μέσω μεταφοράς. Το ψυκτικό υγρό με τη σειρά του διοχετεύει τη θερμότητα που έχει στην ατμόσφαιρα μέσω ενός εναλλάκτη (heat exchanger) ή κοινώς ψυγείο, τον τρόπο λειτουργίας του οποίου θα μελετήσουμε στην §1.3.1.5. Οι εναλλάκτες ψύξης χρησιμοποιούνται στους αεροπορικούς κινητήρες κυρίως για την ψύξη του ελαίου λίπανσης.

1.3.1.3 Μετάδοση με ακτινοβολία

Η θερμότητα στην περίπτωση μετάδοσης με ακτινοβολία μεταδίδεται μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπει ένα σώμα το οποίο έχει μια δεδομένη θερμοκρασία. Κάθε σώμα που βρίσκεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη του απόλυτου μηδενός εκπέμπει ακτινοβολία, το μήκος κύματος της οποίας είναι αντιστρόφως ανάλογο της θερμοκρασίας.

Τα σώματα που έχουν θερμοκρασία κοντά σε αυτήν του περιβάλλοντος εκπέμπουν στο υπέρυθρο φάσμα, του οποίου το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο από αυτού του ορατού φωτός. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, τα μικρότερα μήκη κύματος κυριαρχούν και σε θερμοκρασίες της τάξης των 800°C - 900°C ένα σώμα εκπέμπει ακτινοβολία σε ορατό μήκος κύματος έτσι ώστε να φαίνεται ερυθροπυρωμένο. Σε θερμοκρασίες της τάξης των 3000°C κατά το μέγιστο ποσοστό η ακτινοβολία αποτελείται από ορατό φως, και το σώμα φαίνεται λευκοπυρωμένο (π.χ. το νήμα μιας λάμπας πυρακτώσεως).

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία είναι ο μοναδικός από τους τρόπους μετάδοσης που δεν εξαρτάται από την ύπαρξη ενός μέσου για να λειτουργήσει ως αγωγός της θερμότητας. Ένα μέρος της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα σώμα απορροφάται, ενώ ένα άλλο αντανακλάται, αναλόγως του χρώματος που έχει το σώμα. Η θερμική ακτινοβολία μπορεί να διέρχεται και μέσα από το κενό, όπως για παράδειγμα η ηλιακή ακτινοβολία φθάνει από τον ήλιο στη γη.



Σχήμα 1.11 Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

1.3.1.4 Μικτή μετάδοση

Η μεταφορά θερμότητας στην πραγματικότητα σπάνια γίνεται μόνο με έναν από τους παραπάνω τρόπους. Τις περισσότερες φορές παρατηρείται ταυτόχρονα μεταφορά θερμότητας με περισσότερους από ένα τρόπους. Έχοντας ως δεδομένο ότι ένα θερμό σώμα ακτινοβολεί σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις μεταφοράς θερμότητας θα έχουμε επιπρόσθετα και μεταφορά με ακτινοβολία. Για παράδειγμα, η θερμότητα που μεταδίδει ένα θερμαντικό σώμα οφείλεται στη μεταφορά θερμότητας, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του θερμού νερού που περιέχει, με τον περιβάλλοντα αέρα. Ένα σημαντικό ποσό θερμότητας όμως μεταδίδεται και με ακτινοβολία, κάτι που μπορούμε να αισθανθούμε σε απόσταση αρκετών εκατοστών μακριά από το σώμα.

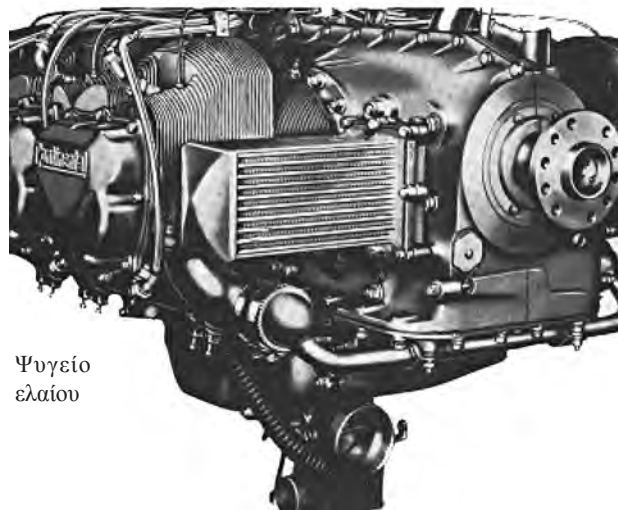
1.3.1.5 Εναλλάκτες

Όταν υπάρχει απαίτηση για μεταφορά θερμότητας χωρίς να λαμβάνει μέρος και μεταφορά ύλης, όπως στο παραπάνω παράδειγμα του θερμαντικού σώματος, τότε χρησιμοποιούμε συσκευές που ονομάζονται εναλλάκτες θερμότητας. Ο εναλλάκτης επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών, χωρίς ανάμιξή τους. Είναι μια συσκευή κατασκευασμένη από θερμοαγώγιμο υλικό και βασικό χαρακτηριστικό της είναι η μεγάλη επιφάνεια που διαθέτει για τη μεγιστοποίηση της ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ των ρευστών. Η λειτουργία του εναλλάκτη

βασίζεται κυρίως στα φαινόμενα της φυσικής ή της εξαναγκασμένης μεταφοράς.

Γνωστοί τύποι εναλλακτών στην καθημερινή χρήση είναι το θερμαντικό σώμα όπως είδαμε παραπάνω, το ψυγείο του οικιακού καταψύκτη, και το ψυγείο του αυτοκινήτου. Τα δύο πρώτα λειτουργούν με φυσική μεταφορά, ενώ το τελευταίο με εξαναγκασμένη.

Οι εναλλάκτες βρίσκουν εφαρμογή σε αεροπορικές εφαρμογές για την ψύξη του ελαίου λίπανσης, Σχήμα 1.12, για τη θέρμανση του καυσίμου, στα συστήματα κλιματισμού κ.ά.



Ψυγείο
ελαίου

Σχήμα 1.12 Ψυγείο ελαίου αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα.

Αριθμητική εφαρμογή:

Υπολογισμός του ποσού ροής θερμότητας με αγωγή.

Η θερμότητα που μεταφέρεται με αγωγή μεταξύ δύο σωμάτων ορίζεται από τον τύπο:

$$Q = -kA(dT/L) \quad (1),$$

όπου k : συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας,

A : η επιφάνεια στην οποία πραγματοποιείται η μετάδοση του ποσού της θερμότητας,

dT : η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ των δύο σωμάτων,

L : το μήκος στο οποίο πραγματοποιείται η μεταφορά της θερμότητας

Θεωρώντας ότι η ροή θερμότητας (heat flux) ορίζεται από το μέγεθος Q/A υπολογίστε τη ροή θερμότητας που προκύπτει από μία θερμοκρασιακή διαφορά 50K

διαμέσου δύο επιφανειών ενός ελάσματος από χάλυβα ($k=45\text{W/mK}$) πάχους 2m .

Λύση:

Από την εξίσωση (1) προκύπτει:

$$Q/A = -k(dT/L) \quad (2).$$

Εισάγοντας τα αριθμητικά δεδομένα στην εξίσωση (2) ισχύει:

$$Q/A = -45 \times (50 / 2) = 1.125\text{W/m}^2$$

1.4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΡΓΟ

1.4.1. Ορισμοί

Μία από τις επίσης θεμελιώδεις έννοιες της θερμοδυναμικής, είναι αυτή της εσωτερικής ενέργειας λόγω της άμεσης σχέσης της με την παραγωγή έργου. Για να γίνει κατανοητή η έννοια της εσωτερικής ενέργειας, θα αναφερθούμε συνοπτικά στα είδη ενέργειας που μπορεί να έχει ένα σώμα. Αυτά είναι τα παρακάτω:

- Η **δυναμική ενέργεια**: είναι η ενέργεια που έχει ένα σώμα λόγω της θέσης του μέσα σε ένα πεδίο (ηλεκτρικό, μαγνητικό ή βαρυτικό) ή λόγω της κατάστασής του. Μία από τις κοινές μορφές δυναμικής ενέργειας είναι αυτή που έχει ένα σώμα λόγω του ύψους στο οποίο βρίσκεται.
- Η **κινητική ενέργεια**: είναι η ενέργεια που έχει ένα σώμα δεδομένης μάζας όταν κινείται, όπως π.χ. η ενέργεια που έχει ένα αεροσκάφος λόγω της ταχύτητάς του. Η δυναμική και η κινητική ενέργεια αποτελούν «τμήματα» της **μηχανικής ενέργειας** ενός σώματος. Για παράδειγμα, η δυναμική ενέργεια του νερού στην κορυφή ενός υδατοφράγματος μετατρέπεται αρχικά σε κινητική ενέργεια (λόγω της ταχύτητας που αποκτά κατά την πτώση του) πριν μετατραπεί τελικά σε ηλεκτρική μέσω της γεννήτριας ρεύματος που είναι συνδεδεμένη στον άξονα του υδροστροβίλου.
- Η **εσωτερική ενέργεια** σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα είδη, έχει να κάνει με το τι συμβαίνει στο εσωτερικό ενός σώματος, δηλαδή στα δομικά στοιχεία που το αποτελούν, όπως τα μόρια και τα άτομα. Τα μόρια ενός σώματος κατέχουν κινητική ενέργεια λόγω των ταλαντώσεων που εκτελούν γύρω από τη θέση τους και δυναμική ενέργεια ως αποτέλεσμα της έλξης - άπωσης που ασκούν το ένα στο άλλο λόγω των ηλεκτρομα-

γνητικών πεδίων που έχουν. Η εσωτερική ενέργεια αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του σώματος¹.

Η εσωτερική ενέργεια αποτελεί μία από τις **ιδιότητες της ύλης**, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και ο όγκος. Η **κατάσταση** της ύλης καθορίζεται πλήρως αν γνωρίζουμε δύο ιδιότητες.

1.4.2 Πρώτο Θερμοδυναμικό Αξίωμα

Το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα δεν μπορεί να αποδειχθεί, γι' αυτό ονομάζεται και αξίωμα. Η εγκυρότητά του έγκειται στο γεγονός ότι από την εποχή που διατυπώθηκε μέχρι τώρα δεν έχει διαψευστεί, αντιθέτως η εμπειρία το επαληθεύει σε κάθε θερμοδυναμική μεταβολή.

Το αξίωμα εφαρμόζεται τόσο σε κλειστά όσο και σε ανοικτά συστήματα. Στη συνέχεια αναφερόμαστε σε αυτό, όπως εφαρμόζεται σε κλειστά συστήματα. Το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα περιγράφει την αρχή διατήρησης της ενέργειας κατά τις μεταβολές της κατάστασης του συστήματος λόγω συναλλαγής έργου και θερμότητας μεταξύ του περιβάλλοντος και του συστήματος.

Η διατύπωση του πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος οφείλεται στη δουλειά πολλών ερευνητών κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα. Την πιο συστηματική έρευνα στο πεδίο της ενέργειας και του έργου πραγματοποίησε ο James Joule την περίοδο 1840-50, ο οποίος απέδειξε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ της εσωτερικής ενέργειας και του έργου και συγκεκριμένα ότι μπορούμε να προσθέσουμε εσωτερική ενέργεια σ' ένα σώμα μέσω μηχανικού έργου.

Το **πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα** για κλειστό σύστημα μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

Η συναλασσόμενη με ένα κλειστό σύστημα θερμότητα Q είναι ίση με το άθροισμα της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος ΔU και του έργου που σχετίζεται με τη μεταβολή αυτή W_{12} . $\Delta U = U_2 - U_1$, είναι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας πριν (U_1) και μετά (U_2) την προσθήκη θερμότητας στο σύστημα.

Μαθηματικά εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q = (U_2 - U_1) + W_{12} \quad (1-4)$$

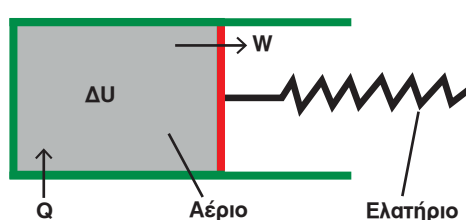
¹ Ορίζεται επίσης η ειδική εσωτερική ενέργεια ως η εσωτερική ενέργεια ανά μονάδα μάζας (αντιστοίχως ορίζεται ο ειδικός όγκος).

² Η θερμότητα θεωρείται θετική όταν προδίδεται στο σύστημα, ενώ το έργο όταν αποδίδεται από αυτό.

όπου Q είναι η συναλλασσόμενη θερμότητα, U_2 και U_1 η εσωτερική ενέργεια του εργαζόμενου μέσου στην αρχική (1) και τελική (2) κατάσταση της μεταβολής και W το προσδιδόμενο ή αποδιδόμενο έργο.

Όταν προσθέτουμε ένα ποσό θερμότητας σε ένα σύστημα και αυτό δεν παράγει έργο τότε η εσωτερική του ενέργεια αυξάνεται. Αντιστρόφως, όταν ένα σύστημα παράγει έργο χωρίς να του προσθέτουμε θερμότητα, τότε η εσωτερική του ενέργεια μειώνεται.

Για παράδειγμα (Σχήμα 1.13) το καθαρό ποσό θερμότητας (Q) που προσδίδεται στο κλειστό σύστημα του σχήματος, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του αερίου (ΔU) και την παραγωγή έργου (W) το οποίο χρησιμοποιείται για τη μετατόπιση του περιβάλλοντος αέρα και για τη συμπίεση του ελατηρίου.



Σχήμα 1.13 Πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα

1.4.3 Ενθαλπία – Τεχνικό Έργο

Η **ειδική ενθαλπία** είναι μια ιδιότητα ενός ρευστού (και της ύλης κατ' επέκταση) και ορίζεται ως το άθροισμα της **ειδικής εσωτερικής ενέργειας** u , ενός ρευστού, και του γινομένου της **πίεσης** και του **ειδικού όγκου** του, pn^1 .

$$h = u + pn \quad (1-5)$$

Όπου h είναι η ενθαλπία, u η ειδική εσωτερική ενέργεια, p η πίεση και n ο ειδικός όγκος του ρευστού.

Το άθροισμα $u + pn$ συναντάται συχνά στη θερμοδυναμική σε διάφορες μεταβολές.

Καθώς αποτελείται από τις ιδιότητες της ύλης όπως η πίεση, ο όγκος και η εσωτερική ενέργεια, η ενθαλπία αποτελεί επίσης μια ιδιότητα της ύλης. Η αλλαγή της ενθαλπίας μεταξύ δύο καταστάσεων ενός αερίου εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση του αερίου και όχι από τη διαδικασία στην οποία υποβάλλεται το αέριο (το ίδιο ισχύει και για τις υπόλοιπες ιδιότητες της ύλης).

¹ Πρόκειται για τον όγκο «μίας» μονάδας μάζας του ρευστού. Αντίστοιχα ορίζονται οι λοιπές «ειδικές» ιδιότητες, όπως ειδική ενθαλπία, εσωτερική ενέργεια κλπ.

1.4.4 Ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο και υπό σταθερή πίεση – Ιδανικά αέρια

Αναγκαία συνθήκη για να έχουμε μεταφορά θερμότητας από ένα σώμα σε ένα άλλο όπως είδαμε στην παράγραφο 1.2.1, είναι η ύπαρξη διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τους (η μεταφορά γίνεται πάντα από το θερμότερο στο ψυχρότερο).

Αν θέλουμε να θερμάνουμε ένα σώμα σε μια δεδομένη θερμοκρασία, για να βρούμε το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται, θα πρέπει να γνωρίζουμε τη μάζα του και το υλικό από το οποίο αποτελείται. Εμπειρικά έχει αποδειχθεί ότι διαφορετικά υλικά ίδιας μάζας απαιτούν διαφορετικές ποσότητες θερμότητας για να αυξηθεί η θερμοκρασία τους κατά τον ίδιο βαθμό. Αυτό εκφράζεται με τον ορισμό σταθερών, οι οποίες καλούνται **ειδικές θερμοχωρητικότητες ή ειδικές θερμότητες**.

Έτσι κατά τη διάρκεια της μεταβολής ενός συστήματος μάζας m , με συναλλαγή θερμότητας (Q_{12}) από μία κατάσταση θερμοκρασίας T_1 , σε μία κατάσταση θερμοκρασίας T_2 , η οποία λαμβάνει χώρα υπό σταθερή πίεση (**ισοβαρής μεταβολή**), ορίζεται η **μέση ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση c_p** ως ακολούθως:

$$Q_{12} = c_p m (T_2 - T_1) \quad (1-6)$$

Η **μέση ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο c_v** ορίζεται με τον ίδιο τρόπο για μεταβολές οι οποίες πραγματοποιούνται υπό σταθερό όγκο (**ισόχωρες μεταβολές**). Η ειδική θερμότητα εκφράζει στην πράξη το ποσό θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε σε ένα σώμα μάζας 1kg για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1K.

Όσον αφορά τα αέρια, οι μεταβολές των πραγματικών αερίων, όπως αυτά συναντώνται στη φύση, μελετούνται στη θερμοδυναμική με τη χρήση ενός υποθετικού αερίου το οποίο αντιπροσωπεύει τη συμπεριφορά όλων των πραγματικών αερίων, κάτω από δεδομένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε αέριο ανταποκρίνεται διαφορετικά στις μεταβολές της πίεσης και της θερμοκρασίας από κάποιο άλλο, οπότε μια σχέση που ισχύει για όλα τα αέρια μας βοηθάει στην ανάλυση των μεταβολών των αερίων. Αυτή η σχέση ονομάζεται **καταστατική εξίσωση των αερίων** και το παραπάνω υποθετικό αέριο ονομάζεται **ιδανικό αέριο**. Την καταστατική εξίσωση των αερίων αντιπροσωπεύει η ακόλουθη σχέση :

$$pV = n R T \quad (1-7)$$

Όπου:

- p , η πίεση,
- V , ο όγκος,
- T , η θερμοκρασία,
- n , είναι ο αριθμός των γραμμομορίων¹ του ιδανικού αερίου, και
- **R , η παγκόσμια σταθερά των αερίων²**, η οποία είναι ανεξάρτητη από το είδος του αερίου.

Για τα ιδανικά αέρια αποδεικνύεται [5] ότι υπάρχει σχέση **μεταξύ των c_p , c_v και R** , η οποία δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$c_p - c_v = R_g \quad (1-8)$$

Στην παραπάνω σχέση, **R_g είναι η σταθερά του συγκεκριμένου αερίου**, η οποία προκύπτει διαιρώντας την παγκόσμια σταθερά των αερίων προς το μοριακό βάρος του αερίου.

Αριθμητική εφαρμογή:

Υπολογισμός της μεταβολής στην εσωτερική ενέργεια ιδανικού αερίου στις ακόλουθες περιπτώσεις:

A) το αέριο απορροφά θερμότητα

$Q = 1000\text{J}$ και παράγεται έργο $W = 300\text{J}$.

B) το αέριο απορροφά θερμότητα

$Q = 1500\text{J}$ και του προσφέρεται έργο $W = 500\text{J}$.

Λύση:

Χρησιμοποιούμε την εξίσωση (1-4) στη μορφή

$$\Delta U = Q - W$$

Τα μεγέθη Q και W εισάγονται με τα πρόσημά τους.

Το ποσό θερμότητας Q είναι αρνητικό όταν προσφέρεται στο σύστημα και αρνητικό όταν αφαιρείται από αυτό.

Το έργο W είναι θετικό όταν παράγεται από το σύστημα και αρνητικό όταν προσφέρεται σε αυτό από το περιβάλλον.

Από την παραπάνω εξίσωση έχουμε λοιπόν:

A) $Q = +1000\text{J}$, $W = +300\text{J}$ οπότε: $\Delta U = 1000 - 300 = +700\text{J}$

B) $Q = +1500\text{J}$, $W = -500\text{J}$ οπότε: $\Delta U = 1000 - (-500) = +1500\text{J}$

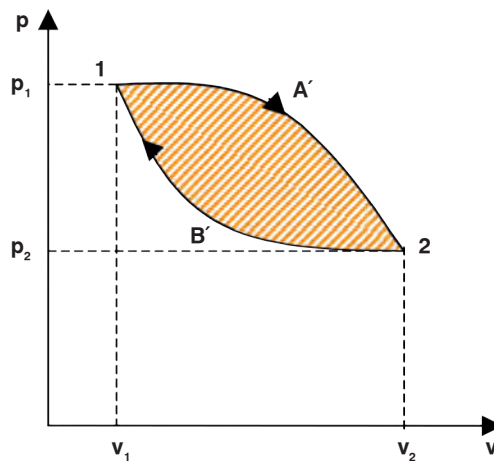
¹Γραμμομόριο είναι η μάζα του αερίου, όση το μοριακό του βάρος.

² $R=8,314\text{kJoule/kmol-K}$

1.5 ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Ονομάζουμε κυκλική μεταβολή ενός θερμοδυναμικού συστήματος, τη μεταβολή κατά την οποία αυτό εκκινεί από μία κατάσταση, διέρχεται από διαδοχικές καταστάσεις ισορροπίας, για να καταλήξει εκ νέου στην ίδια αρχική κατάσταση. Κατά τη διάρκεια των μεταβολών αυτών γίνεται συναλλαγή θερμότητας και έργου μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος.

Ένα παράδειγμα κυκλικής μεταβολής φαίνεται στο Σχήμα 1.14. Εδώ έχουμε την κυκλική μεταβολή ενός αερίου σε κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα το οποίο υπόκειται στις μεταβολές 1A'2 και 2B'1, ξεκινώντας και καταλήγοντας στο σημείο 1.



Σχήμα 1.14 Διάγραμμα p-v απλής κυκλικής μεταβολής.

Το παραγόμενο έργο ισούται με το εμβαδόν της διαγραμμισμένης επιφάνειας.

Το έργο που συναλλάσσεται σε μια μεταβολή είναι ίσο με το εμβαδόν της επιφάνειας που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης της μεταβολής και του οριζόντιου άξονα.

Το έργο που παράγεται κατά τη μεταβολή 1A'2 ισούται με το εμβαδόν 1A'2V₂V₁1. Κατά τη μεταβολή 2B'1 απορροφάται έργο που είναι ίσο με το εμβαδόν 1B'2V₂V₁1. Η διαφορά των εμβαδών των δύο μεταβολών (ή το εμβαδόν της κλειστής καμπύλης) μας δίνει το έργο που παράγεται κατά τη διάρκεια της κυκλικής μεταβολής. Δηλαδή :

$$W_{1A'2B'1} = W_{1A'2V_2V_11} - W_{1B'2V_2V_11} \quad (1-9)$$

Στη συγκεκριμένη μεταβολή το έργο που παράγεται κατά τη διαδρομή 2B'1 είναι αρνητικό γιατί πρέπει να προσθέσουμε έργο στο αέριο για να αυξήσουμε την πίεσή του, ασκώντας για παράδειγμα μία δύναμη στο έμβολο ενός κυλίνδρου.

Στη διαδρομή 1Α'2 το παραγόμενο έργο είναι θετικό, γιατί καθώς το αέριο εκτονώνεται μπορεί να παράσχει έργο μετακινώντας ένα βάρος με τη βοήθεια ενός εμβόλου σε κάποιο ύψος.

Σε μια κυκλική μεταβολή όπου στο τέλος της, όπως αναφέραμε παραπάνω, το σύστημα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση, η ολική μεταβολή της εσωτερικής του ενέργειας ισούται με μηδέν, δηλαδή $U_2 - U_1 = 0$. Από τη σχέση (1-4) συμπεραίνουμε ότι:

$$Q = W \quad (1-10)$$

Όπως βλέπουμε λοιπόν, το έργο που συναλλάσσεται σε μια κυκλική μεταβολή είναι ίσο με τη θερμότητα. Έτσι η θερμότητα μετατρέπεται σε έργο. Αυτό μας δείχνει την αρχή λειτουργίας των θερμικών μηχανών με την πραγματοποίηση κυκλικών μεταβολών.

1.5.1 Αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές μεταβολές

Θερμαίνοντας ένα δοχείο νερού, εμβαπτίζοντας σε αυτό μια ηλεκτρική αντίσταση, μετατρέπουμε την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα. Τα δύο ποσά ενέργειας είναι ίσα και η αρχή διατήρησης της ενέργειας προφανώς ικανοποιείται. Η εμπειρία όμως δείχνει ότι σε καμία περίπτωση δεν είναι δυνατόν να μετατραπεί μόνη της η θερμική ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική και συνεπώς δεν μπορεί να μεταφερθεί θερμότητα, υπό τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, από το νερό στην ηλεκτρική αντίσταση. Το φαινόμενο πραγματοποιείται προς μία μόνον κατεύθυνση και χαρακτηρίζεται ως **μη αναστρέψιμο**.

Κατά τη θερμική επαφή δύο σωμάτων διαφορετικών θερμοκρασιών, των οποίων η κατάσταση δεν αλλάζει φάση, η μεταφορά θερμότητας γίνεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο. Η αρχή διατήρησης της ενέργειας ισχύει, μια και το ποσό θερμότητας που αφαιρείται από το θερμότερο προστίθεται στο ψυχρότερο. Η εμπειρία δείχνει ότι η μεταφορά θερμότητας, χωρίς την παρουσία τρίτου παράγοντα, μπορεί να γίνει μόνο από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα. Πρόκειται και πάλι για φαινόμενο μη αναστρέψιμο.

Ένα τρίτο κλασσικό παράδειγμα εμφάνισης μη αναστρεψιμότητας είναι η ροή ρευστού μέσω αγωγού. Η διατήρηση της ροής επιτυγχάνεται μέσω αντλίας, η οποία καταβάλλει συνεχώς μηχανική ενέργεια, η οποία εκμηδενίζεται λόγω των τριβών μεταξύ των στρωμάτων του ρευστού και κυρίως των τριβών μεταξύ του ρευστού και του αγωγού (απώλειες ενέργειας). Η μηχανική ενέργεια (μέρος ή το σύνολο αυτής) της αντλίας μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία προσδίδεται στο ρευστό και στον αγωγό. Η εμπειρία διδάσκει ότι σε καμία περίπτωση δεν είναι δυ-

νατή η αφ'εαυτής μετατροπή της θερμότητας σε μηχανική ενέργεια, η οποία θα μπορούσε να θέσει σε κίνηση το ρευστό.

Γενικά, όλα τα φυσικά φαινόμενα είναι λιγότερο ή περισσότερο μη αναστρέψιμα και μόνο με την εισαγωγή κατάλληλων παραδοχών ή εξιδανικεύσεων, μπορούν να κατασκευασθούν ιδανικά αναστρέψιμα πρότυπα, τα οποία προσομοιάζουν προς τα πραγματικά φαινόμενα. Ένα αναστρέψιμο φαινόμενο είναι η κίνηση του εκκρεμούς, αν βεβαίως αμελήσουμε τις τριβές. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε δυναμική και αντίστροφα.

Η αδυναμία αναστροφής των προαναφερθέντων γεγονότων αποτελεί, όπως τονίσθηκε, προϊόν της μακρόχρονης ανθρώπινης πείρας. Δεν αποδεικνύονται με μαθηματικό τρόπο και ούτε προκύπτουν από άλλους θεμελιώδεις νόμους της φυσικής. Η έκφραση αυτής της διαπίστωσης γίνεται μέσω του **Δεύτερου Θερμοδυναμικού Αξιώματος**.

1.5.2 Δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα

Όπως είδαμε στη διατύπωση του πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος δεν μπορούμε να παράγουμε έργο κατά τη διάρκεια ενός θερμοδυναμικού κύκλου χωρίς να προσθέσουμε μια ποσότητα θερμότητας. Αυτή η διατύπωση δεν αποκλείει την κατά 100% μετατροπή της προσφερόμενης θερμότητας σε έργο, και άρα την 100% απόδοση μιας θερμικής μηχανής. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει στην πραγματικότητα.

Η διατύπωση του δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος έρχεται να συμπληρώσει και να περιορίσει το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα δηλώνοντας ότι κάποιο ποσό θερμότητας πρέπει πάντα να απορρίπτεται στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της παραπάνω κυκλικής μεταβολής και συνεπώς δεν μπορούμε να έχουμε μετατροπή της θερμότητας σε έργο κατά 100%.

Μία από τις διατυπώσεις του **Δεύτερου Θερμοδυναμικού Αξιώματος** είναι η ακόλουθη:

Είναι αδύνατο να κατασκευάσουμε ένα σύστημα που θα εκτελεί μια κυκλική μεταβολή παράγοντας έργο ίσο με το ποσό της θερμότητας που του προσδώσαμε.

Συνεπώς, η διαφοροποίηση που εισάγει το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα στο πρώτο αξίωμα είναι ότι το παραγόμενο έργο είναι **πάντοτε μικρότερο** της παρεχόμενης θερμότητας. Το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα μαθηματικά γίνεται αντι-

ληπτό από την έννοια της εντροπίας, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο.

Επιπλέον, αν θέλουμε να συνδέσουμε άμεσα το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα με τις έννοιες των μη αντιστρεπτών διαδικασιών της προηγούμενης παραγράφου, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον ακόλουθο ορισμό:

Είναι αδύνατη η λειτουργία μιας μηχανής που θα λειτουργεί με βάση κυκλική διαδικασία και η μόνη της εργασία θα είναι η μεταφορά ποσού θερμότητας από ένα ψυχρό σώμα σε ένα θερμότερο.

1.5.3 Θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης θερμικής μηχανής

Η θερμική μηχανή είναι ένα σύστημα το οποίο εκτελεί μια κυκλική μεταβολή, παράγοντας έργο από μια παρεχόμενη ποσότητα θερμότητας. Όσο μεγαλύτερο ποσοστό της προσδιδόμενης στη μηχανή θερμότητας μετατρέπεται σε έργο, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση της μηχανής. Συνεπώς, **ο βαθμός απόδοσης η** μιας θερμικής μηχανής ορίζεται ως ο λόγος του **παραγόμενου έργου W** προς την **προσδιδόμενη θερμότητα Q** :

$$\eta = \frac{W}{Q} \quad (1-11)$$

Η προσδιδόμενη θερμότητα, σε αντίθεση με τη συναλλασσόμενη, περιλαμβάνει και ενέργεια, η οποία δεν μετατρέπεται σε έργο.

Θεωρητικά αν καταφέρναμε με κάποιο τρόπο να μετατρέψουμε όλη την ποσότητα της θερμότητας σε έργο, η απόδοση της μηχανής θα έφτανε το 100%. Αλλά κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατόν, όπως είδαμε στη διατύπωση του δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός βενζινοκινητήρα φτάνει το 30%, ενός νηζελοκινητήρα το 45% ενώ ένας αεριοστρόβιλος μπορεί να φθάσει το 35%. Το υπόλοιπο τμήμα της προσδιδόμενης ενέργειας απορρίπτεται κατά κύριο λόγο ως θερμότητα στο περιβάλλον, ενώ ένα μικρό ποσοστό αφορά απώλειες τριβών στα μηχανικά μέρη των κινητήρων.

Από πρακτική σκοπιά, οι περιορισμοί στην αύξηση του βαθμού απόδοσης ενός κινητήρα οφείλονται:

α) για τους εμβολοφόρους, στα όρια της μέγιστης θερμοκρασίας και πίεσης λειτουργίας, πάνω από τα οποία έχουμε προανάφλεξη του μείγματος αέρα - καυσίμου και πτώση της απόδοσης του κινητήρα

β) για τους αεριοστροβίλους, στις μέγιστες επιτρεπτές θερμοκρασίες των υπαρχόντων υλικών κατασκευής των πτερυγίων του στροβίλου, και στα μέγιστα όρια πίεσης λειτουργίας των συμπιεστών.

Αριθμητική εφαρμογή:

Να υπολογίσετε το παραγόμενο έργο της μεταβολής που παριστάνεται από το διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 1.14, αν γνωρίζετε ότι το έργο συμπίεσης είναι ίσο με 10J και το έργο εκτόνωσης ίσο με 20J.

Λύση:

Η μεταβολή που περιγράφεται στο διάγραμμα είναι μία απλή κυκλική μεταβολή. Το παραγόμενο έργο ισούται με το εμβαδόν της διαγραμμισμένης επιφάνειας και δίνεται από την εξίσωση (1-9). Ισχύει:

$W_{1A'2B'1}$: ολικό παραγόμενο έργο.

$W_{2A'1V_1V_22}$: έργο συμπίεσης

$W_{1A'2V_2V_11}$: έργο εκτόνωσης

Τότε, η εξίσωση (1-9) δίνει:

$$W_{1A'2B'1} = W_{1A'2V_2V_11} - W_{2A'1V_1V_22} = 20 - 10 = 10J.$$

1.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ

Η ποσοτική διατύπωση του πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος βασίζεται στην ύπαρξη της εσωτερικής ενέργειας, μιας ιδιότητας του συστήματος η οποία είναι ίση, όπως έχουμε αναφέρει, με τη διαφορά της παρεχόμενης θερμότητας και του παραγόμενου έργου από το σύστημα.

Όπως προαναφέρθηκε, το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα επιβεβαιώνεται μόνο εμπειρικά, χωρίς θεωρητική απόδειξη. Ποσοτικά μπορεί να διατυπωθεί μέσω της έννοιας της εντροπίας.

Για ένα κλειστό σύστημα που πραγματοποιεί αντιστρεπτή μεταβολή ανταλλάσσοντας ένα πολύ μικρό ποσό θερμότητας ΔQ με το περιβάλλον, η **μεταβολή της εντροπίας** ΔS ορίζεται ως εξής:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (1-12)$$

Όπου T είναι η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου. Σημειώνεται ότι η εντροπία αποτελεί ιδιότητα του εργαζόμενου μέσου. Σε αντίθεση με την εσωτερική ενέργεια, ο υπολογισμός της οποίας είναι δυνατός για κάθε μεταβολή (αντιστρεπτή και μη αντιστρεπτή), η μεταβολή της εντροπίας μπορεί να υπολογιστεί μόνο για αντιστρεπτές μεταβολές.

Επίσης, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, μπορούμε να υπολογίσουμε μόνο μεταβολές τις εντροπίας και όχι απόλυτες τιμές της. Μία εναλλακτική διατύπωση του δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος αναφέρει ότι η εντροπία ενός θερμικά μονωμένου από το περιβάλλον συστήματος που εκτελεί μια μεταβολή αυξάνεται ή παραμένει σταθερή, αν η μεταβολή είναι αντιστρεπτή.

Στην πράξη η εντροπία αντιπροσωπεύει την κατάσταση της αταξίας ενός συστήματος. Αν για παράδειγμα σε μια ποσότητα ύλης, η οποία βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία, με μικρή μοριακή δραστηριότητα (δηλαδή μικρή κινητικότητα των μορίων που την αποτελούν) προσθέσουμε μια ποσότητα θερμότητας Q , η δραστηριότητα θα αυξηθεί σημαντικά. Αν το ίδιο ποσό θερμότητας προστεθεί στην ίδια ποσότητα ύλης, όταν αυτή βρίσκεται σε αυξημένη θερμοκρασία, η αύξηση της μοριακής δραστηριότητας θα είναι μικρότερη σχετικά με την πρώτη περίπτωση.

1.6.1 Διαγράμματα εντροπίας θερμοκρασίας

Τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις μεταβολές της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με την εντροπία είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν μελετάμε τα χαρακτηριστικά των θερμοδυναμικών κύκλων των θερμικών μηχανών. Συνεπώς οι μεταβολές των καταστάσεων των θερμικών μηχανών μπορούν να απεικονιστούν και σε διαγράμματα εντροπίας-θερμοκρασίας.

Τα διαγράμματα **εντροπίας - θερμοκρασίας** για τις χαρακτηριστικές μεταβολές των αερίων, δηλαδή ισοθερμοκρασιακή, ισόχωρη, αδιαβατική και, ισοβαρής παρουσιάζονται στη συνέχεια.

• Ισοθερμοκρασιακή μεταβολή

Για την ισοθερμοκρασιακή αντιστρεπτή μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta S_{AB} = nR \ln \frac{V_B}{V_A} \quad (1.13)$$

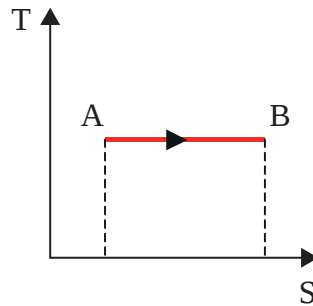
Όπου ΔS_{AB} : η αλλαγή της εντροπίας του αερίου από την κατάσταση A στην κατάσταση B

n : ο αριθμός των moles του αερίου που εκτελεί τη μεταβολή

R : η σταθερά της καταστατικής εξίσωσης των αερίων

V_A : ο όγκος του αερίου στην κατάσταση A

V_B : ο όγκος του αερίου στην κατάσταση B

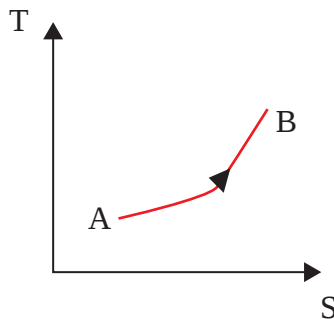


Σχήμα 1.15 Διάγραμμα T-S ισοθερμοκρασιακής αντιστρεπτής μεταβολής

- **Ισόχωρη μεταβολή**

Για την ισόχωρη αντιστρεπτή μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta S_{AB} = nc_v \ln \frac{T_B}{T_A} \quad (1-14)$$

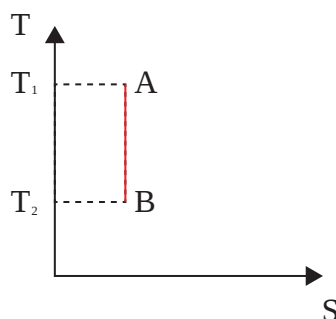


Σχήμα 1.16 Διάγραμμα T-S ισόχωρης αντιστρεπτής μεταβολής

- **Αδιαβατική μεταβολή**

Για την αδιαβατική αντιστρεπτή μεταβολή είναι εμφανές από το παραπάνω διάγραμμα ότι δεν έχουμε μεταβολή της εντροπίας, οπότε:

$$\Delta S_{AB} = 0 \quad (1-15)$$

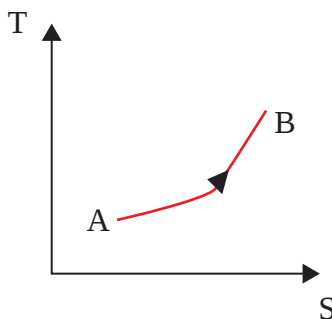


Σχήμα 1.17 Διάγραμμα T-S αδιαβατικής αντιστρεπτής μεταβολής

- Ισοβαρής μεταβολή

Για την ισοβαρή αντιστρεπτή μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$S_{AB} = nc_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (1-16)$$

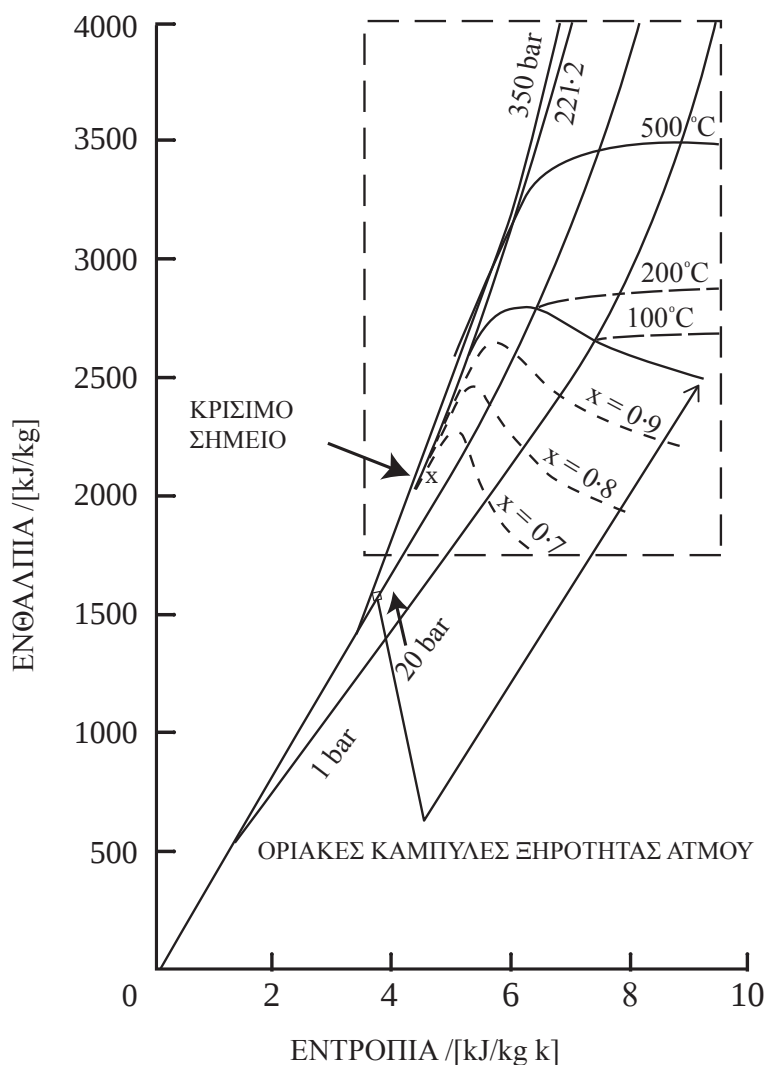


Σχήμα 1.18 Διάγραμμα T-S ισοβαρούς αντιστρεπτής μεταβολής

1.6.2 Διάγραμμα ενθαλπίας – εντροπίας

Τα διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται οι μεταβολές της εντροπίας σε σχέση με την ενθαλπία, γνωστά και σαν διαγράμματα Mollier, βρίσκουν εφαρμογή στην ανάλυση της απόδοσης αδιαβατικών μεταβολών όπως αυτές που λαμβάνουν μέρος σε συμπιεστές, διαχύτες, στροβίλους, και άρα στην ανάλυση θερμοδυναμικών κύκλων αεριοστροβίλων κινητήρων. Για παράδειγμα, το έργο που απαιτείται για να αυξήσει ένας συμπιεστής την πίεση μιας ποσότητας αέρα, είναι ίσο με την αύξηση της ενθαλπίας μεταξύ της εισαγωγής και της εξαγωγής του συμπιεστή. Συνεπώς αν η θερμοδυναμική κατάσταση του αέρα μπορεί να απεικονιστεί σε ένα διάγραμμα εντροπίας – ενθαλπίας, $h-s$, το έργο που απαιτείται για την παραπάνω μεταβολή μπορεί να υπολογιστεί από τη διαφορά αρχικής και τελικής κατάστασης.

Ένα αντιπροσωπευτικό διάγραμμα $h-s$ για τον ατμό [12] παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.19. Σε αυτό εμφανίζονται οι καμπύλες ξηρότητας του ατμού¹ ($x=0,7$, $x=0,8$, κλπ.), οι ισοθερμοκρασιακές ($T=100^\circ\text{C}$, 500°C , κλπ.) και οι ισόθλιπτες ($p=300\text{bar}$, κλπ.). Στο «**Κρίσιμο Σημείο**» τέμνονται οι καμπύλες της υγρής και της αέριας κατάστασης². Το κρίσιμο σημείο χαρακτηρίζεται από τις αντίστοιχες ιδιότητες (T , p , v , κλπ.) των οποίων οι τιμές αναφέρονται ως «**κρίσιμες**».



Σχήμα 1.19 Διάγραμμα $h-s$ για τον ατμό

¹ Χαρακτηρίζουν το ποσοστό της υγρασίας που περιέχει ο ατμός.

² Δε μπορεί δηλαδή να διακριθεί η υγρή από την αέρια μορφή.

Ανακεφαλαίωση

- Η **Θερμοδυναμική** είναι ο κλάδος της επιστήμης της φυσικής που ασχολείται με τις σχέσεις μεταξύ των ιδιοτήτων της ύλης και τις έννοιες της θερμότητας και του έργου.
- **Θερμική μηχανή** ονομάζουμε τη μηχανή που μετατρέπει τη θερμότητα σε μηχανική ενέργεια. Οι μηχανές στις οποίες η θερμότητα προσδίδεται με την καύση κάποιου καυσίμου διακρίνονται σε μηχανές **εσωτερικής** και **εξωτερικής καύσης** και σε **παλινδρομικές** και **περιστροφικές** μηχανές.
- Η **θερμοκρασία** είναι το φυσικό μέγεθος που προσδιορίζει το μέτρο του ζεστού ή του κρύου σχετικά με κάποια κλίμακα μέτρησης.
- Οι ευρέως χρησιμοποιούμενες κλίμακες μέτρησης θερμοκρασίας είναι οι κλίμακες **Κελσίου**, **Κέλβιν** και **Φαρενάιτ**. Οι σχέσεις μεταξύ τους είναι οι ακόλουθες:

$$T_F = \frac{9}{5}(T_C + 32)$$

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)$$

$$T_K = T_C + 273,15$$

- Η **θερμότητα** είναι μια μορφή ενέργειας, η οποία ορίζεται ως η ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τους. Οι μονάδες μέτρησης της θερμότητας είναι το kJoule, το kcal και το BTU.
- Η μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων γίνεται **μόνο αν** υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας. Οι τρόποι μετάδοσης θερμότητας είναι:
 - ▶ Μετάδοση με **αγωγή**
 - ▶ Μετάδοση με **μεταφορά** (ελεύθερη και εξαναγκασμένη)
 - ▶ Μετάδοση με **ακτινοβολία**

- **Διατύπωση πρώτου θερμοδυναμικού αξιώματος**

Η συναλλασσόμενη με ένα κλειστό σύστημα θερμότητα Q είναι ίση με το άθροισμα της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος ($U_2 - U_1$) και του έργου που σχετίζεται με τη μεταβολή αυτή.

$$Q = (U_2 - U_1) + W_{12}$$

- Η **ενθαλπία** ενός αερίου δίνεται από τη σχέση:

$$h = u + pv$$

- Η **καταστατική** εξίσωση των αερίων δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$pV = nRT$$

- Η σχέση μεταξύ των c_p , c_v και R_g δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$c_p - c_v = R_g$$

Όπου R_g είναι η σταθερά του αερίου, η οποία προκύπτει διαιρώντας την παγκόσμια σταθερά R προς το μοριακό βάρος του αερίου.

- Ο **βαθμός απόδοσης η** μιας **θερμικής μηχανής** δίνεται από το λόγο του αποδιδόμενου από τη μηχανή έργου προς την προσδιδόμενη σε αυτό θερμότητα:

$$\eta = \frac{W}{Q}$$

- **Διατύπωση δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος**

Είναι αδύνατο να κατασκευάσουμε ένα σύστημα που θα εκτελεί μια κυκλική μεταβολή παράγοντας έργο ίσο με το ποσό της θερμότητας που του προσδώσαμε.

- Η μεταβολή της εντροπίας ΔS ορίζεται ως εξής:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

- Για την **ισοθερμοκρασιακή αντιστρεπτή** μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta S_{AB} = nR \ln \frac{V_B}{V_A}$$

- Για την **ισόχωρη αντιστρεπτή** μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta S_{AB} = nc_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

- Για την **αδιαβατική αντιστρεπτή** μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta S_{AB} = 0$$

- Για την **ισοβαρή αντιστρεπτή** μεταβολή ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\Delta S_{AB} = nc_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Ερωτήσεις

(1.1 Γενικά)

1. Ποιες από τις ακόλουθες μηχανές θα χαρακτηρίζατε ως θερμικές μηχανές; Μια ανεμογεννήτρια, έναν αεροπορικό αεριοστρόβιλο, μια υδατογεννήτρια, έναν κινητήρα τύπου Wankel.
2. Ποιο είναι το ενεργό μέσο σε έναν δίχρονο εμβολοφόρο κινητήρα και σε έναν ατμοστρόβιλο;
3. Αναφέρατε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του εμβολοφόρου κινητήρα και του στροβιλοκινητήρα.

(1.2 Θερμοκρασία και θερμότητα)

1. Περιγράψτε τη διαφορά μεταξύ της θερμότητας και της θερμοκρασίας.
2. Αναφέρατε τα κυριότερα είδη θερμομέτρων και τις αρχές λειτουργίας. Ποια από αυτά βρίσκουν εφαρμογή σε αεροπορικούς κινητήρες;

(1.3 Μετάδοση θερμότητας)

1. Περιγράψτε με ποιον ή ποιους τρόπους μεταδίδεται η θερμότητα του ελαίου ψύξης ενός αερόψυκτου εμβολοφόρου κινητήρα από τον κινητήρα στο περιβάλλον.
2. Με ποιον τρόπο μεταδίδεται η θερμότητα που δημιουργείται από την καύση του μείγματος αέρα καυσίμου από το εσωτερικό του κυλίνδρου ενός αερόψυκτου εμβολοφόρου κινητήρα στο περιβάλλον;
3. Το καλοκαίρι η άσφαλτος θερμαίνεται κυρίως εξαιτίας:
Α) μετάδοσης θερμότητας με μεταφορά.

Β) από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων.

Γ) μετάδοσης θερμότητας με ακτινοβολία.

4. Αναφέρατε τις εφαρμογές ενός εναλλάκτη σε έναν αερόψυκτο εμβολοφόρο αεροπορικό κινητήρα και σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα

(1.4 Μετατροπή θερμότητας σε έργο)

1. Με ποιο τρόπο θα μπορούσαμε να παράγουμε έργο από μια μεταβολή ενός συστήματος χωρίς να προσθέσουμε ενέργεια στο σύστημα;
2. Πώς θα χαρακτηρίζατε την ενέργεια που έχουν τα καυσαέρια ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα μετά την έξοδό τους από την εξαγωγή του κινητήρα;
3. Διατυπώστε το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα.
4. Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ιδανικό αέριο.

ΣΩΣΤΟ ☐

ΛΑΘΟΣ ☐

(1.5 Κυκλικές μεταβολές καταστάσεων)

1. Δώστε παραδείγματα μη αντιστρεπτών μεταβολών.
2. Διατυπώστε το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα. Ποια διαφοροποίηση εισάγει το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα στο πρώτο;
3. Πώς ορίζεται ο θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης μιας μηχανής; Είναι δυνατόν ένας κινητήρας να έχει βαθμό απόδοσης 100%; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Εργασίες - Δραστηριότητες

1. Αναζητήστε πληροφορίες σχετικά με τους τύπους θερμοστοιχείων και τις περιοχές εφαρμογής τους:
 - Υλικά κατασκευής
 - Προδιαγραφές κάθε τύπου θερμοστοιχείου, όπως ακρίβεια μέτρησης, διάρκεια ζωής, κλπ.
 - Περιοχές μετρήσεων κάθε τύπου
 - Σχέση τύπου θερμοστοιχείου - είδους εφαρμογής
2. Επισκεφθείτε ένα από τα εργαστήρια θερμικών μηχανών του Ε.Μ.Π., ή άλλου εκπαιδευτικού ιδρύματος:
 - Αναγνωρίστε τα βασικά εξαρτήματα της / των θερμικών μηχανών που διαθέτει το εργαστήριο
 - Προσέξτε ιδιαίτερα τις πειραματικές διατάξεις
 - Συζητήστε με τους υπεύθυνους του εργαστηρίου μια τυπική διαδικασία πειραματικής μέτρησης
 - Καταγράψτε τα κύρια σημεία της διαδικασίας
3. Αναζητήστε πληροφορίες αναφορικά με τους εναλλάκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε αεροπορικές εφαρμογές:
 - Υλικά κατασκευής
 - Τρόπο λειτουργίας
 - Ικανότητα ψύξης

Εργαστήρια

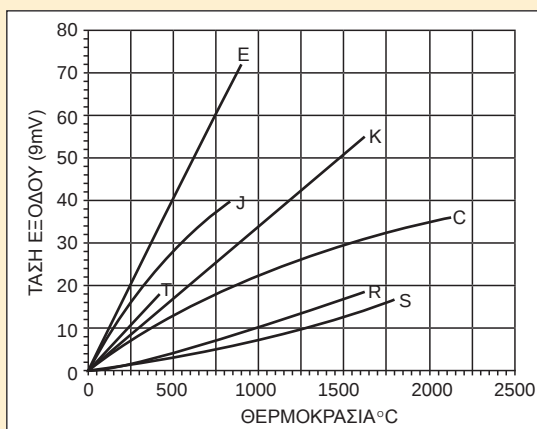
Εργαστηριακή άσκηση 1.1:

Μέτρηση της τάσης εξόδου ενός θερμοστοιχείου (thermocouple) κάτω από διαφορετικές θερμοκρασίες.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας εργαστηριακής άσκησης θα είστε σε θέση:

- Να χειρίζεστε τον εργαστηριακό εξοπλισμό.
- Να μετράτε την τάση εξόδου θερμοστοιχείου σε διαφορετικές θερμοκρασίες (κατασκευή της καμπύλης απόκρισης του θερμοστοιχείου και



Σχήμα 1.20 Καμπύλες τάσης εξόδου - θερμοκρασίας για θερμοστοιχεία διαφόρων τύπων

της καμπύλης θερμοκρασίας- τάσης). Το Σχήμα 1.20 περιέχει ενδεικτικές καμπύλες για θερμοστοιχεία διαφόρων τύπων.

Μέτρα ασφαλείας

Βεβαιωθείτε ότι δεν έχει παρέλθει η ημερομηνία επιθεώρησης για την ασφαλή κατάσταση εξοπλισμού. Η ημερομηνία της τελευταίας και επόμενης επιθεώρησης

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

αναγράφεται σε ειδικό ταμπελάκι, τοποθετημένο σε εμφανές σημείο των οργάνων.

- Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, κατά τη διεξαγωγή της άσκησης, λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στον εξοπλισμό. Συνιστάται η χρήση γαντιών.
- Γενικά, ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Β.

Απαιτούμενος εξοπλισμός

- Ψηφιακό πολύμετρο
- Ένα θερμοστοιχείο
- Θερμαντήρας νερού με ρυθμιζόμενο θερμοστάτη από 0°C έως 100°C
- Ένα θερμόμετρο
- Ένας γυάλινος δοκιμαστικός σωλήνας με βάση

Πορεία εργασίας

- Τοποθετήστε το θερμοστοιχείο μαζί με το θερμόμετρο στο δοκιμαστικό σωλήνα και ασφαλίστε τα στη βάση του σωλήνα.
- Τοποθετήστε το δοκιμαστικό σωλήνα μέσα στη δεξαμενή νερού (ανοικτός θερμαντήρας) και ενώστε τα καλώδια του θερμοστοιχείου με τους ακροδέκτες του πολύμετρου (πιθανή χρήση ενισχυτή ρεύματος για ενίσχυση του σήματος του θερμοστοιχείου).
- Ανοίξτε το διακόπτη του θερμαντήρα και ρυθμίστε το θερμοστάτη διαδοχικά στις θερμοκρασίες που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Μέτρηση	Θερμοκρασία (°C)	Τάση (mV)
1	20	
2	35	
3	50	
4	65	
5	80	

Πριν μετρήσετε την τάση εξόδου του θερμοστοιχείου, να βεβαιωθείτε ότι η ένδειξη έχει σταθεροποιηθεί.

- iv. Αφού καταγράψετε την τάση για όλα τα σημεία, φτιάξτε το διάγραμμα θερμοκρασίας-τάσης για το θερμοστοιχείο και υπολογίστε την εξίσωση της καμπύλης του θερμοστοιχείου.

Εργαστηριακή άσκηση 1.2:

Επίδειξη εφαρμογής εναλλάκτη για τη μεταφορά θερμότητας από ένα ρευστό ψύξης στην ατμόσφαιρα και μέτρηση θερμοκρασιών του ρευστού και του ατμοσφαιρικού αέρα.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας εργαστηριακής άσκησης θα είστε σε θέση:

- Να αναλύετε τον τρόπο λειτουργίας ενός εναλλάκτη ψύξης και να καταλαβαίνετε την αναγκαιότητα χρήσης του, στη λειτουργία ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- Να εξηγείτε τον τρόπο λειτουργίας ενός συστήματος ψύξης και τη χρησιμότητα των επιμέρους εξαρτημάτων του συστήματος για τη σωστή λειτουργία του.
- Να λαμβάνετε μετρήσεις θερμοκρασιών σε ροές υγρών και αερίων.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Περιγραφή και τρόπος λειτουργίας ενός εναλλάκτη

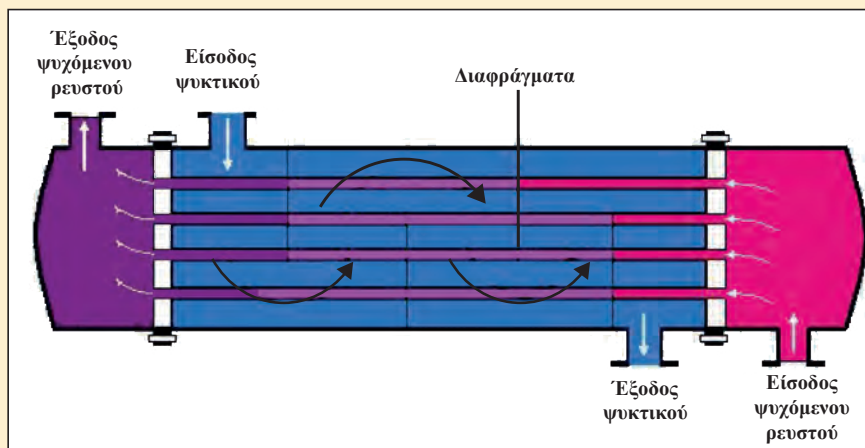
Οι εναλλάκτες είναι συσκευές οι οποίες επιτρέπουν τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο (ή και περισσότερων) ρευστών, χωρίς να επιτρέπουν τη μεταξύ τους επαφή. Η μεταφορά της θερμότητας πραγματοποιείται μέσω του τοιχώματος που διαχωρίζει τα δύο ρευστά.

Η χρήση τους στους κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι πρωταρχικής σημασίας, είτε για τη μείωση της θερμοκρασίας των ρευστών που χρησιμοποιούνται για την ψύξη είτε για τη λειτουργία των διαφόρων συστημάτων αυτών των κινητήρων. Η ψύξη των ρευστών αυτών, συνεπάγεται τη διατήρηση των ιδιοτήτων τους, την αύ-

ξηση της διάρκειας ζωής τους και συνεπώς την αποδοτική λειτουργία του κινητήρα. Μέσω της ψύξης των ρευστών επιτυγχάνουμε την ψύξη των εξαρτημάτων που αυτά διαβρέχουν αποφεύγοντας την υπερθέρμανση και συνεπώς την καταστροφή τους.

Η μεταφορά θερμότητας από το ένα ρευστό στο άλλο, εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας επαφής των δύο ρευστών, δηλαδή το μέγεθος της επιφάνειας του εναλλάκτη και από τη θερμοαγωγιμότητα του τοιχώματος του εναλλάκτη. Για αυτό το λόγο για την κατασκευή των εναλλακτών χρησιμοποιούνται υλικά που έχουν μεγάλη θερμική αγωγιμότητα. Επίσης, λόγω της μεγάλης επιφάνειας επαφής που απαιτείται για τη μεταφορά θερμότητας και την απαίτηση για μικρό βάρος στους αεροπορικούς κινητήρες, χρησιμοποιούνται υλικά που είναι ελαφριά. Τα υλικά που καλύπτουν και τις δύο παραπάνω απαιτήσεις είναι κράματα αλουμινίου και χαλκού.

Ο τρόπος που επιτυγχάνουμε τη μεταφορά θερμότητας σε έναν εναλλάκτη φαίνεται στο Σχήμα 1.21. Ο συγκεκριμένος εναλλάκτης αποτελείται από ένα κλειστό δοχείο που περιέχει έναν αριθμό σωληνώσεων μέσα από τις οποίες περνάει το ρευστό που θέλουμε να ψύξουμε ενώ από το εξωτερικό τοίχωμα των σωληνώσεων περνάει το ρευστό που ψύχει τις σωληνώσεις. Διακρίνεται η εισαγωγή και εξαγωγή του ρευστού που θέλουμε να ψύξουμε, καθώς και η εισαγωγή και εξαγωγή του ψυκτικού. Το θερμό ρευστό καθώς εισέρχεται στον εναλλάκτη περνάει μέσα από τις σωληνές, οι οποίες είναι σε επαφή με το ψυκτικό. Η θερμότητα που περιέχει, περνάει με επαφή στα τοιχώματα των σωληνώσεων και στη συνέχεια



Σχήμα 1.21 Σχηματική παράσταση τρόπου λειτουργίας ενός εναλλάκτη

από τα τοιχώματα πάλι με επαφή στο ψυκτικό. Έτσι επιτυγχάνεται η μεταφορά θερμότητας και παράλληλα μειώνεται η θερμοκρασία του θερμού ρευστού. Τα διαφράγματα που υπάρχουν μέσα στο κλειστό δοχείο έχουν ως σκοπό την ανά-

δευση του ψυκτικού έτσι ώστε και μεγαλύτερη ποσότητά του να έρχεται σε επαφή με τις σωλήνες και να αυξάνεται με αυτό τον τρόπο η αποτελεσματικότητά του.

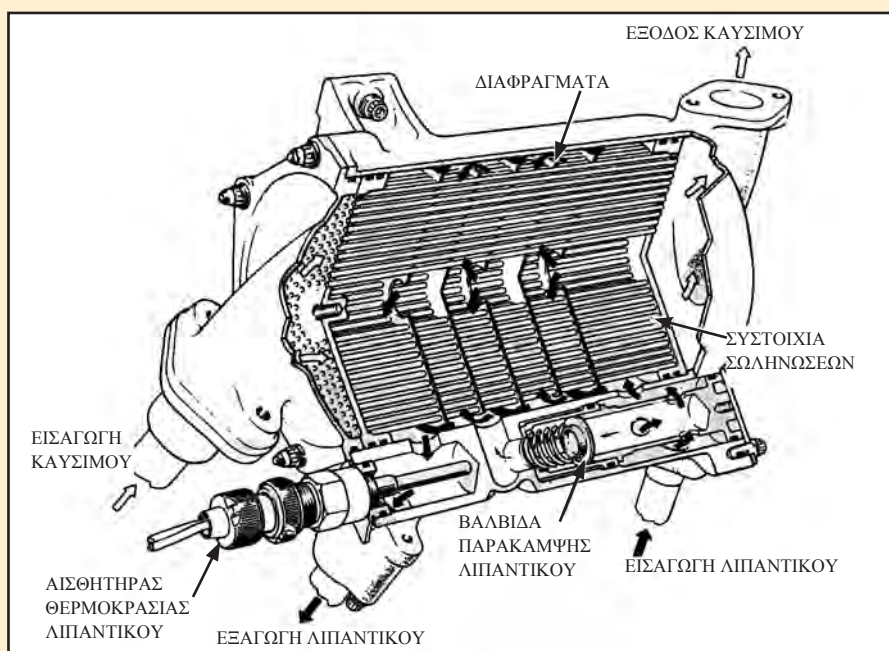
Είδη εναλλακτών

Οι εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται στους αεροπορικούς εμβολοφόρους και αεριοστρόβιλους κινητήρες διακρίνονται στα ακόλουθα είδη:

Εναλλάκτες υγρού - υγρού

Αυτοί οι τύποι εναλλακτών χρησιμοποιούνται στους αεριοστρόβιλους κινητήρες για την ψύξη του λιπαντικού ή του υδραυλικού του κινητήρα, όπου σαν ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται το καύσιμο του κινητήρα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του τύπου εναλλάκτη συναντάμε σε αεριοστρόβιλους κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούν ακροφύσιο καυσαερίων μεταβλητής γεωμετρίας ή / και σύστημα αλλαγής της γωνίας προσβολής των πτερυγίων σε κάποιες βαθμίδες του συμπιεστή. Η λειτουργία αυτών των συστημάτων πραγματοποιείται με τη βοήθεια υδραυλικού συστήματος, η ψύξη του οποίου είναι απαραίτητη. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται εναλλάκτης υδραυλικού-καυσίμου, όπου το καύσιμο έχει το ρόλο του ψυκτικού.

Στο Σχήμα 1.22 εικονίζεται ένας εναλλάκτης καυσίμου λιπαντικού για αεριοστρόβιλο κινητήρα.



Σχήμα 1.22 Εναλλάκτης καυσίμου λιπαντικού για αεριοστρόβιλο κινητήρα

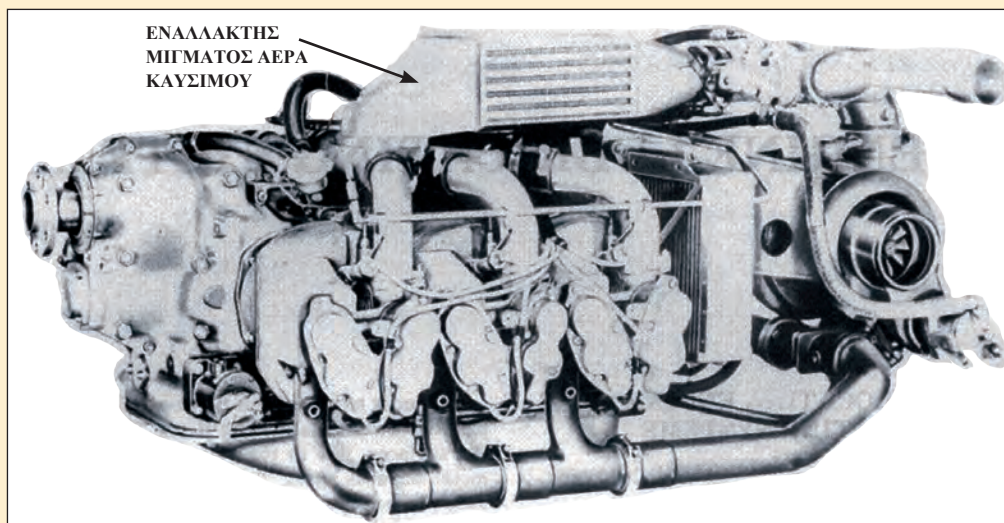
Εναλλάκτες υγρού - αερίου

Οι εναλλάκτες υγρού - αερίου χρησιμοποιούνται για την ψύξη του λιπαντικού των αερόψυκτων εμβολοφόρων κινητήρων από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Επίσης χρησιμοποιούνται για την ψύξη του λιπαντικού το οποίο χρησιμοποιείται για τη λειτουργία σε έλικες μεταβλητού βήματος. Οι εναλλάκτες αυτοί τοποθετούνται στο ρεύμα αέρα του έλικα για την επαρκή ψύξη του λιπαντικού, ακόμη κατά τη λειτουργία του κινητήρα στο έδαφος, οπότε δεν υπάρχει ρεύμα αέρα ψύξης προερχόμενο από την ταχύτητα του σκάφους. Τα εξαρτήματα του κινητήρα που ψύχονται από το λάδι είναι τα πιστόνια, οι βαλβίδες του κυλίνδρου και τα έδρανα.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ευρέως γνωστού εναλλάκτη υγρού - αερίου είναι αυτό που χρησιμοποιείται στους υγρόψυκτους εμβολοφόρους κινητήρες όπως αυτοί των αυτοκινήτων. Σε αυτό τον τύπο εναλλάκτη η θερμοκρασία που παράγεται από την καύση του καυσίμου μεταφέρεται στο ψυκτικό υγρό και στη συνέχεια αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα μέσω του εναλλάκτη.

Εναλλάκτες αερίου - αερίου

Οι εναλλάκτες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για την ψύξη ενός αερίου από ένα άλλο. Βρίσκουν εφαρμογή στους εμβολοφόρους κινητήρες που χρησιμοποιούν υπερσυμπιεστή και χρησιμοποιούνται για τη μείωση της θερμοκρασίας του μείγματος αέρα / καυσίμου και συνεπώς φαινομένων αυτανάφλεξης (intercooler, Σχήμα 1.23).



**Σχήμα 1.23 Εναλλάκτης μείγματος αέρα καυσίμου
(intercooler) εμβολοφόρου κινητήρα**

Απαιτούμενα μέσα

Για την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής απαιτείται ο παρακάτω εξοπλισμός¹:

- Ένας εναλλάκτης ρευστού - αέρα με ενσωματωμένο ανεμιστήρα (για παράδειγμα το ψυγείο νερού ενός κινητήρα αυτοκινήτου)
- Ένα τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος 12V/10A
- Ένας ταχυθερμαντήρας νερού με ενσωματωμένο θερμοστάτη
- Μία αντλία νερού συστήματος κεντρικής θέρμανσης
- Δύο θερμόμετρα βολβού για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του ρεύματος αέρα πριν και μετά τον εναλλάκτη
- Δύο θερμόμετρα με υποδοχή για σωλήνα για μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο και την έξοδο του εναλλάκτη
- Ένα πολύπριζο με διακόπτη για παροχή 220V
- Εύκαμπτη σωλήνα κατάλληλη για χρήση σε υψηλές θερμοκρασίες

Μέτρα ασφάλειας

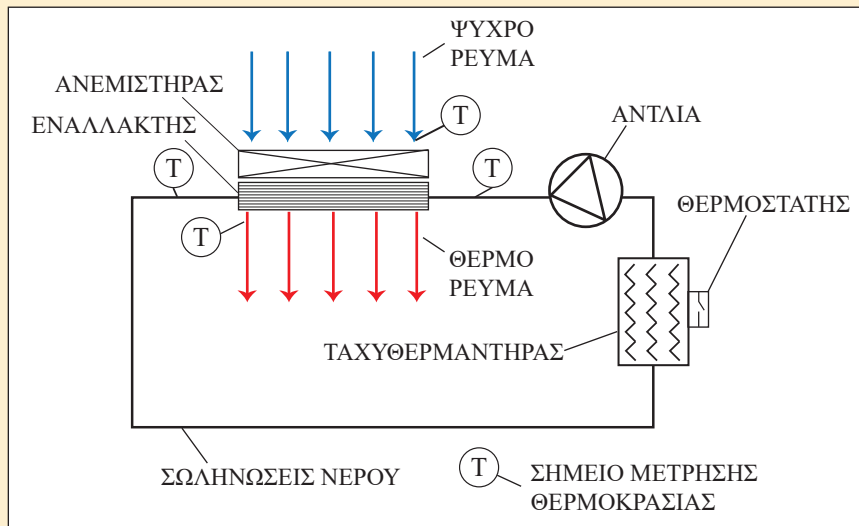
- Κατά τη διάρκεια της άσκησης απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στα εξαρτήματα του εξοπλισμού, της ύπαρξης κινουμένων μερών και του ηλεκτρικού ρεύματος στον εξοπλισμό.
- Βεβαιωθείτε ότι δεν έχει παρέλθει η ημερομηνία επιθεώρησης για την ασφαλή κατάσταση του εξοπλισμού. Η ημερομηνία της τελευταίας και επόμενης επιθεώρησης αναγράφεται σε ειδικό ταμπελάκι, που είναι τοποθετημένο σε εμφανές σημείο του εξοπλισμού.
- Φροντίστε να μην υπάρχουν εκτεθειμένα αντικείμενα που μπορεί να παρasyρθούν από το ρεύμα αέρα του ανεμιστήρα του εναλλάκτη και προκαλέσουν τραυματισμό.
- Φροντίστε να είναι προσβάσιμος ένας πυροσβεστήρας πολλαπλού τύπου (ABC).

¹Η πραγματοποίηση της άσκησης προϋποθέτει ότι ο εξοπλισμός που παρατίθεται θα είναι ήδη μονταρισμένος και τοποθετημένος σε κατάλληλη βάση και θα έχει ελεγχθεί η ασφάλειά του.

- Γενικά, ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Β.

Πορεία εργασίας

Το Σχήμα 1.24 παρουσιάζει μια τυπική διάταξη του προτεινόμενου εξοπλισμού για την πραγματοποίηση της παρούσας άσκησης.



Σχήμα 1.24 Προτεινόμενη διάταξη εξοπλισμού για την Εργαστηριακή άσκηση 1.2: «Επίδειξη εφαρμογής εναλλάκτη»

- Ρυθμίστε τη θερμοκρασία του θερμοστάτη του ταχυθερμαντήρα στους 90°C .
- Ανοίξτε το διακόπτη λειτουργίας της αντλίας νερού του κυκλώματος.
- Ανοίξτε τον διακόπτη παροχής ρεύματος του ταχυθερμαντήρα.
- Αφήστε να λειτουργήσει το σύστημα μέχρι το θερμόμετρο εισόδου του εναλλάκτη να ανέβει στους 80°C .
- Παρατηρήστε τη θερμοκρασία εξόδου νερού του εναλλάκτη πριν την έναρξη λειτουργίας του ανεμιστήρα του.
- Ανοίξτε το διακόπτη του τροφοδοτικού βάζοντας σε λειτουργία τον ανεμιστήρα του εναλλάκτη.
- Καταγράψτε τη θερμοκρασία εξόδου νερού του εναλλάκτη και συγκρίνετέ τη με τη θερμοκρασία εξόδου του εναλλάκτη έχοντας τον ανεμιστήρα εκτός λειτουργίας.

- Καταγράψτε τις θερμοκρασίες του ρεύματος του αέρα ψύξης πριν και μετά τον εναλλάκτη.

Εργαστηριακή άσκηση 1.3:

Επίδειξη του μηχανισμού ψύξης των πτερυγίων στροβίλου αεριοστροβίλου κινητήρα με αγωγή από τον παρεχόμενο αέρα ψύξης του συμπιεστή

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της παρούσας εργαστηριακής άσκησης θα είστε σε θέση:

- Να αναλύετε τον τρόπο λειτουργίας του μηχανισμού ψύξης με μεταφορά των πτερυγίων του στροβίλου ενός αεριοστροβίλου κινητήρα.
- Να προσαρμόζετε θερμομέτρα βολβού σε επιφάνειες και να πραγματοποιείτε μετρήσεις θερμοκρασίας με αυτά.

Εισαγωγικές πληροφορίες

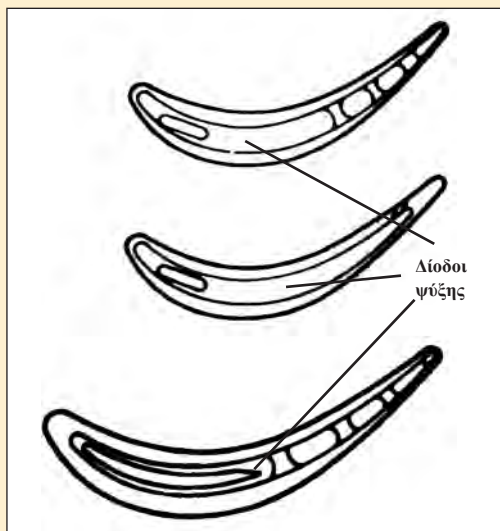
Μια από τις βασικές προϋποθέσεις για τη σωστή και αποδοτική λειτουργία των σύγχρονων αεριοστροβίλων κινητήρων είναι η ικανοποιητική ψύξη των πτερυγίων του στροβίλου τους. Ένας παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση της λειτουργίας ενός αεριοστροβίλου κινητήρα είναι η θερμοκρασία εισαγωγής του στροβίλου του. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση του κινητήρα, και άρα λιγότερο το καύσιμο που απαιτείται για την παραγωγή του ίδιου ποσού έργου.

Ο περιορισμός που υπάρχει για την επίτευξη μεγάλου βαθμού απόδοσης σε ένα αεριοστροβίλο κινητήρα είναι οι μέγιστες θερμοκρασίες στις οποίες μπορούν να λειτουργήσουν τα υλικά που γνωρίζουμε μέχρι σήμερα, χωρίς αυτά να καταστραφούν. Είναι γεγονός ότι τα πτερύγια των πρώτων βαθμίδων του στροβίλου πολλών σύγχρονων αεριοστροβίλων κινητήρων λειτουργούν σε θερμοκρασίες αρκετών βαθμών (από 950 °C έως 1100 °C) πάνω από τη θερμοκρασία τήξης τους. Ο τρόπος που το επιτυγχάνουμε αυτό είναι με την ψύξη των πτερυγίων αυτών με αέρα που διοχετεύουμε από το συμπιεστή του κινητήρα. Το μειονέκτημα της χρήσης αέρα ψύξης από το συμπιεστή είναι ότι δημιουργεί μια μικρή απώλεια απόδοσης του κινητήρα η οποία όμως υπερκαλύπτεται από την αύξηση της απόδοσης του κινητήρα λόγω αύξησης της θερμοκρασίας εισαγωγής των καυσαερίων στο στροβίλο.

Για την ψύξη των πτερυγίων ενός στροβίλου εφαρμόζονται οι ακόλουθες τεχνικές ψύξης:

Ψύξη με μεταφορά

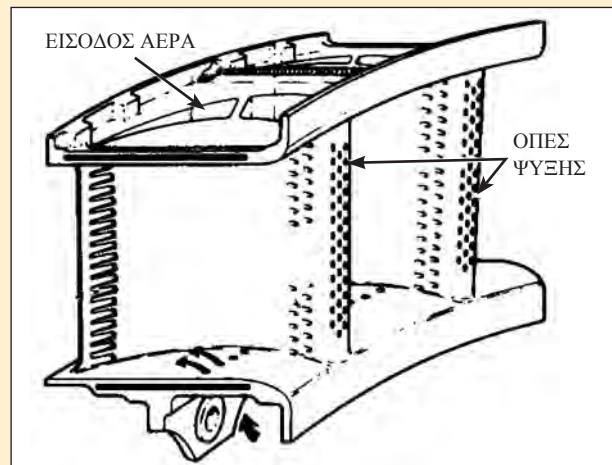
Η μέθοδος ψύξης πτερυγίων με μεταφορά είναι η πρώτη μέθοδος ψύξης που εφαρμόστηκε. Με αυτή την τεχνική διοχετεύεται αέρας από τον συμπιεστή του κινητήρα στη ρίζα των πτερυγίων όπου και διέρχεται μέσω αυτών από κατάλληλα διαμορφωμένη οπή που έχει στο εσωτερικό του (Σχήμα 1.25) και εξέρχεται από το άκρο του. Η θερμότητα μεταδίδεται από τα εσωτερικά τοιχώματα του πτερυγίου στον αέρα ψύξης και στη συνέχεια αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα μέσω του ρεύματος καυσαερίων.



Σχήμα 1.25 Διαμόρφωση εσωτερικών διόδων ψύξης πτερυγίων

Ψύξη με προστατευτικό στρώμα αέρα στην επιφάνεια του πτερυγίου

Μια δεύτερη μέθοδος ψύξης πτερυγίων που συναντάμε είναι η ψύξη με τη δημιουργία ενός στρώματος αέρα στην επιφάνεια του πτερυγίου. Η παροχή του αέρα ψύξης στο πτερύγιο πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο όπως και στη μέθοδο με μεταφορά. Η διαφορά βρίσκεται στο ότι ο αέρας, εκτός από το άκρο του πτερυγίου, διαφεύγει και από κατάλληλα διαμορφωμένες οπές οι οποίες βρίσκονται στο χείλος προσβολής και εκφυγής αλλά και πάνω στην επιφάνεια του πτερυγίου (Σχήμα 1.26). Η ψύξη με αυτή τη μέθοδο πραγματοποιείται μέσω μεταφοράς θερμότητας από το πτερύγιο στον αέρα ψύξης αλλά και με τη δημιουργία ενός προστατευτικού στρώματος στην επιφάνεια του πτερυγίου το οποίο δεν επιτρέπει τα καυσαέρια να έρθουν σε επαφή με το πτερύγιο στα σημεία που υπάρχουν οπές αέρα.



Σχήμα 1.26 Διαμόρφωση πτερυγίου με ψύξη στρώματος αέρα

Ψύξη με χρήση πορώδους υλικού

Αυτή η μέθοδος ψύξης χρησιμοποιείται μόνο για την ψύξη σταθερών πτερυγίων στροβίλου. Με αυτή τη μέθοδο ο αέρας ψύξης περνάει μέσα από εσωτερική οπή όπως και στις δύο προηγούμενες μεθόδους με τη διαφορά ότι εξέρχεται στο ρεύμα καυσαερίων μέσα από τους πόρους που έχει το υλικό του πτερυγίου.

Απαιτούμενα μέσα

- Γραμμή με παροχή πεπιεσμένου αέρα στο εργαστήριο ή φορητός συμπιεστής αέρα με ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης
- Ένα φλόγιστρο προπανίου
- Δύο σωλήνες χαλκού διαμέτρου 22mm και μήκους 1m
- Θερμοαγώγιμη αλοιφή
- Δύο θερμομέτρα βολβού με κλίμακα μέτρησης από 0°C έως 300°C
- Δύο θερμοζεύγη με κλίμακα μέτρησης θερμοκρασίας από 0°C έως 300°C
- Ταινία συγκράτησης αλουμινίου
- Ξύλινη βάση συγκράτησης για τις σωλήνες

Μέτρα ασφάλειας

- Κατά τη διάρκεια της άσκησης απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στα εξαρτήματα του εξο-

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

πλισμού. Συνιστάται η χρήση προστατευτικών θερμομονωτικών γαντιών.

- Φροντίστε να είναι προσβάσιμος ένας πυροσβεστήρας πολλαπλού τύπου (ABC).
- Γενικά, ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Β.

Πορεία εργασίας

- Τοποθετήστε τα θερμόμετρα βολβού πάνω στις σωλήνες στα 2/3 του μήκους τους χρησιμοποιώντας την ταινία συγκράτησης και προσθέστε θερμοαγώγιμη αλοιφή μεταξύ της σωλήνας και του βολβού του θερμομέτρου για καλύτερη μεταφορά θερμότητας.
- Τοποθετήστε τα θερμοζεύγη στο άκρο των σωλήνων μετά από τους βολβούς των θερμομέτρων χωρίς αυτά να έρχονται σε επαφή με τα τοιχώματά τους.
- Τοποθετήστε κατάλληλα τη μια σωλήνα δίπλα από την άλλη χωρίς αυτές να έρχονται σε επαφή πάνω σε κατάλληλα διαμορφωμένη ξύλινη βάση.
- Προσαρμόστε κατάλληλα τη σωλήνα παροχής του πεπιεσμένου αέρα σε μια από τις δύο σωλήνες.
- Ρυθμίστε τη ρυθμιστική βαλβίδα της γραμμής του πεπιεσμένου αέρα στην ένδειξη 1psi και ανοίξτε το διακόπτη παροχής αέρα.
- Θερμάνετε και τις δύο σωλήνες ταυτόχρονα με το φλόγιστρο και καταγράψτε τις θερμοκρασίες των τεσσάρων θερμομέτρων μόλις αυτές σταθεροποιηθούν.
- Επαναλάβετε τη διαδικασία 10 φορές αυξάνοντας την πίεση του αέρα κατά 1psi, κάθε φορά.

Κεφάλαιο 2:

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥΣ

Διδακτικοί στόχοι

Στο τέλος του δεύτερου κεφαλαίου θα είστε ικανοί:

- Να αναφέρετε τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τη «ζωή» του κινητήρα και καθορίζουν την πραγματοποίηση περιοδικών επιθεωρήσεων και γενικών επισκευών.
- Να περιγράφετε τα είδη των κυρίων επιθεωρήσεων των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων, καθώς επίσης και τις διαδικασίες που περιλαμβάνονται σε αυτές.
- Να αναλύετε τους τρόπους επιθεώρησης των εξαρτημάτων των κινητήρων και τις αρχές στις οποίες βασίζονται οι κύριες μέθοδοι μη καταστροφικών ελέγχων.
- Να περιγράφετε τις φάσεις μιας διερεύνησης βλάβης σε κινητήρα.
- Να συμπληρώνετε μητρώα κινητήρων.
- Να περιγράφετε τις βασικές διαφορές των εμβολοφόρων κινητήρων ελικοπτέρων από τους εμβολοφόρους κινητήρες αεροσκαφών.
- Να αναφέρετε τις βασικές παραμέτρους, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της επίδοσης των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων.

2.1 ΟΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι πρώτες πιστοποιήσεις¹ των τύπων αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα, χρονολογούνται από τις πρώτες μεταπολεμικές δεκαετίες (1940-1960). Ο προδιαγεγραμμένος από τους κατασκευαστές **χρόνος λειτουργίας** αυτών των κινητήρων **πριν από τη συνιστώμενη γενική επισκευή (Time Between Overhaul - TBO)** δεν ξεπερνούσε τις 500-700 ώρες. Η πρόοδος της τεχνολογίας υλικών, των μεθόδων σχεδίασης, αλλά και των μεθόδων δοκιμής, έχει επιτρέψει τη σταδιακή αύξηση του διαστήματος γενικής επισκευής κατά τα τελευταία 50 χρόνια, σε 1500 έως 2000 ώρες, για τους σύγχρονους αεροπορικούς εμβολοφόρους κινητήρες. Οι χρόνοι αυτοί προτείνονται από τον κατασκευαστή του κινητήρα και υπόκεινται στην έγκριση των διαφόρων φορέων εκδόσεων κανονισμών και διενέργειας ελέγχων (Federal Aviation Administration - FAA, Joint Aviation Authority - JAA, Civil Aviation Authorities - CAA, Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας - ΥΠΑ).

2.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη «ζωή» του κινητήρα

Τα όρια γενικής επισκευής, τα οποία συνιστώνται από τους κατασκευαστές προϋποθέτουν σωστή συντήρηση των κινητήρων και λειτουργία αυτών σε «κανονικές» συνθήκες (π.χ. όχι σε περιβάλλον ερήμου, όχι με υπέρβαση των επιτρεπτών στροφών, κλπ.), έτσι ώστε να μειώνονται οι φθορές των κινούμενων μερών, αλλά και να περιορίζεται η καταπόνηση των υλικών, εξαιτίας απότομων θερμοκρασιακών μεταβολών. Η «ζωή» του κινητήρα (το χρονικό δηλαδή διάστημα κατά το οποίο ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει με ασφαλή και αποδοτικό τρόπο) εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στους βασικότερους από αυτούς.

Συνθήκες λειτουργίας:

Η λειτουργία κοντά σε θάλασσα, ή σε περιβάλλον επιβαρημένο από άμμο ή σκόνη, είναι παραδείγματα συνθηκών λειτουργίας, οι οποίες μπορεί να έχουν αρνητικά αποτελέσματα στην «υγεία» του κινητήρα και να προκαλέσουν την ανάγκη γενικής επισκευής, νωρίτερα από το προδιαγεγραμμένο από τον κατασκευαστή διάστημα.

¹Ως πιστοποίηση εννοείται η διαδικασία ελέγχου και αποδοχής από εξουσιοδοτημένο ελεγκτικό οργανισμό του σχεδιασμού και της κατασκευής του κινητήρα.

Τρόπος πτήσης:

Η τεχνική πτήσης που ακολουθεί ο χειριστής επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τη ζωή του κινητήρα. Απότομες μετακινήσεις της μανέτας, απότομοι ελιγμοί, στροφές ή πίεση μείγματος άνω των επιτρεπτών ορίων, υπέρβαση της επιτρεπτής θερμοκρασίας καυσαερίων μπορούν να έχουν ιδιαίτερα αρνητικές συνέπειες στη συμπεριφορά και κατά συνέπεια στην κατάσταση του κινητήρα.

Περιοδική συντήρηση:

Η καλή λειτουργία του κινητήρα κατά το διάστημα μεταξύ γενικών επισκευών, που προδιαγράφει ο κατασκευαστής, προϋποθέτει την τακτική συντήρηση από κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό, σύμφωνα με τις διαδικασίες επιθεώρησης και αντικαταστάσεων του κατασκευαστή.

Συχνότητα πτήσεων:

Η συχνότητα πτήσης αποτελεί επίσης ένα σημαντικό παράγοντα στη «ζωή» του κινητήρα. Κινητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται περιστασιακά και με μεγάλα χρονικά διαστήματα αλλαγής λαδιών, είναι δυνατό να παρουσιάσουν έντονα φαινόμενα διάβρωσης από τη δημιουργία οξέων στο λάδι, τα οποία προσβάλλουν τα εσωτερικά μεταλλικά μέρη του κινητήρα. Αλλαγή λαδιών, σε τακτά χρονικά διαστήματα, είναι ο ενδεικνυόμενος τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος.

Η υγρασία που εμφανίζεται στους κυλίνδρους μπορεί επίσης να προκαλέσει προβλήματα διάβρωσης, όταν ο κινητήρας μένει ανενεργός επί μακρόν. Σύντομες επίγειες εκκινήσεις, είναι πιθανό να επιδεινώσουν το πρόβλημα, μια και το λάδι δεν θα ζεσταθεί αρκετά, με αποτέλεσμα η παγιδευμένη υγρασία να αντιδράσει με το θείο, σχηματίζοντας θειικό οξύ, το οποίο είναι εξαιρετικά διαβρωτικό.

Γενικότερα, κινητήρες που παραμένουν ανενεργοί για μεγάλο χρονικό διάστημα, θα πρέπει να προστατεύονται ψεκάζοντας ειδικό προστατευτικό λάδι (preservation) στα τοιχώματα των κυλίνδρων. Σημειώνεται επίσης, ότι οι κατασκευαστές προδιαγράφουν ένα μέγιστο αριθμό ετών μεταξύ δύο γενικών επισκευών (συνήθως 10 έως 15 έτη), ακόμη και στην περίπτωση που ο κινητήρας δεν έχει συμπληρώσει τις ώρες λειτουργίας πριν τη συνιστώμενη γενική επισκευή (TBO).

2.1.1.1 Βασικοί κανόνες καλής λειτουργίας

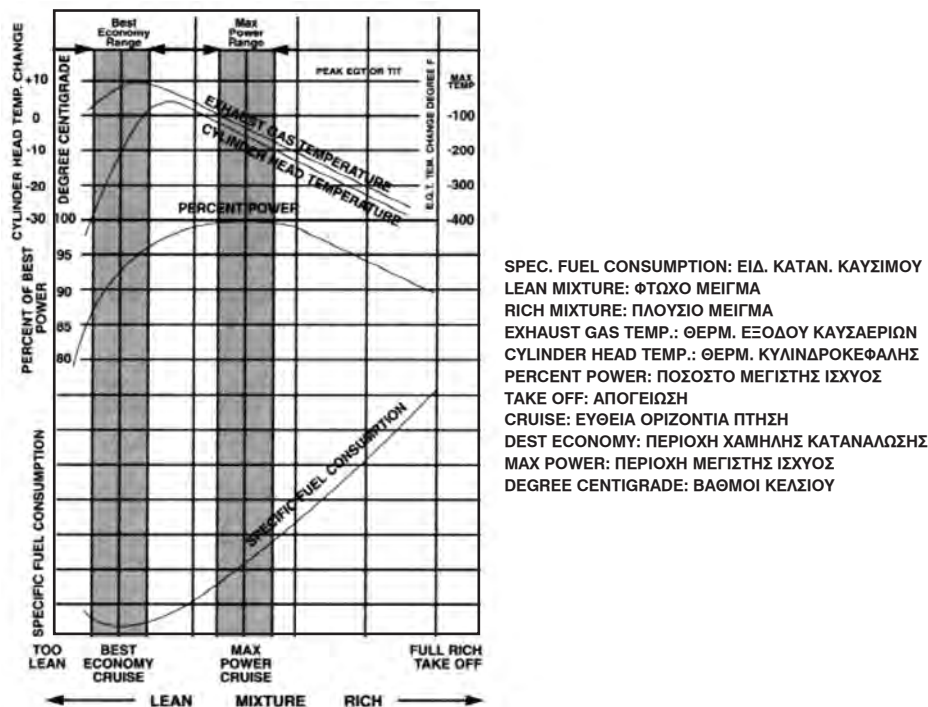
Χαμηλή θερμοκρασία εδάφους (<-5 °C): Η προθέρμανση του καυσίμου βοηθά στην αποφυγή φθορών κατά το «ζέσταμα» του κινητήρα.

Απότομες επιταχύνσεις: Διατήρηση χαμηλών στροφών για αρκετά λεπτά κατά το «ζέσταμα» και αποφυγή απότομων επιταχύνσεων.

Επιλογή λιπαντικού: Θα πρέπει να χρησιμοποιείται το κατάλληλο λάδι για τις προβλεπόμενες μέσες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, ενώ θα πρέπει να παρακολουθείται και η θερμοκρασία λαδιού, για την αποφυγή υπερθέρμανσης κατά την απογείωση.

Θέση μανέτας: Χρήση της ελάχιστης απαιτούμενης κάθε φορά ισχύος.

Μείγμα καυσίμου: Λειτουργία με υπερβολικά πλούσιο μείγμα, αφενός αυξάνει το κόστος πτήσης (υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου), αφετέρου μπορεί να προκαλέσει φθορές εξαιτίας του αυξημένου μολύβδου. Αντίθετα, φτωχό μείγμα είναι επίσης πιθανόν να προκαλέσει φθορές εξαιτίας υψηλότερων θερμοκρασιών των καυσαερίων. Το Σχήμα 2.1 παρουσιάζει την επίδραση του λόγου καυσίμου-αέρα στις θερμοκρασίες καυσαερίων και κυλινδροκεφαλής, καθώς επίσης και στην ειδική κατανάλωση καυσίμου



Σχήμα 2.1 Επίδραση του λόγου καυσίμου-αέρα στη λειτουργία του κινητήρα



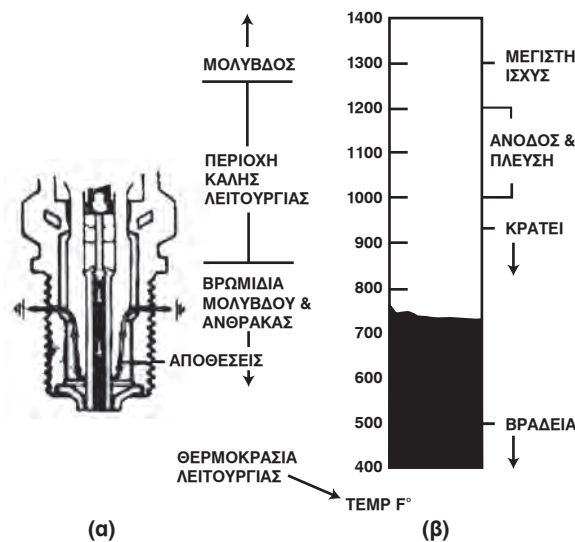
**Σχήμα 2.2 Αισθητήρας και όργανο ένδειξης θερμοκρασίας
εξόδου καυσαερίων**

Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων: Ένα από τα πιο χρήσιμα όργανα του πιλοτηρίου είναι αυτό που δείχνει τη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων (Σχήμα 2.2). Ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή όσον αφορά τη συνιστώμενη θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (βλέπε και Σχήμα 2.1), μπορεί ο χειριστής να λειτουργήσει τον κινητήρα στον οικονομικότερο λόγο καυσίμου-αέρα, αποφεύγοντας υπερθερμάνσεις και/ή προανάφλεξη.

Θερμοκρασία κυλινδροκεφαλής: Σε κινητήρες αυξημένης ισχύος το πιλοτήριο διαθέτει όργανο καταγραφής της θερμοκρασίας της κεφαλής των κυλίνδρων. Η θερμοκρασία αυτή παρέχει μία ένδειξη καλής λειτουργίας του μηχανισμού καύσης. Υψηλές θερμοκρασίες κατά την πτήση πρέπει να αναφέρονται στους τεχνικούς συντήρησης για διορθωτικές ενέργειες.

Σπινθηριστές: Αποθέσεις μολύβδου παρατηρούνται στους σπινθηριστές, από τους τύπους των οποίων μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τον τρόπο λειτουργίας του κινητήρα. Όπως δείχνεται παραστατικά και στο Σχήμα 2.3, παρατεταμένη λειτουργία του κυλίνδρου σε χαμηλές θερμοκρασίες (και / ή πλούσιο μείγμα σε χαμηλές στροφές) έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό βρωμιδίου του μολύβδου και μαύρου άνθρακα, χρώματος κοκκινωπού καφέ. Αντίθετα, έκλυση υψηλής θερμότητας στον κύλινδρο προκαλεί την απόθεση μολύβδου που παρουσιάζεται ως στίλβωση του σπινθηριστή. Το χρώμα κανονικής λειτουργίας των σπινθηριστών είναι καφέ-γκρι.

Προσγείωση: Η προσγείωση θα πρέπει απαραίτητως να ακολουθείται από λειτουργία σε χαμηλές στροφές για πέντε τουλάχιστον λεπτά, έτσι ώστε να αποφευχθεί απότομη ψύξη του κινητήρα.



Σχήμα 2.3 (α) Εικόνα σπινθηριστή και θέση εναποθέσεων, (β) Είδη αποθέσεων, ανάλογα με τη θερμοκρασία και τις συνθήκες λειτουργίας

2.1.1.2 Εισαγωγή σχεδιαστικών αλλαγών

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι κάθε τύπος κινητήρα από την ημερομηνία παρουσί-
ασης του πρωτοτύπου, έως την ημερομηνία απόσυρσης και του τελευταίου πα-
ραχθέντος αντιτύπου, υπόκειται σε πολλές αλλαγές και έτσι εξαρτήματα νέας
σχεδίασης εισάγονται στον **κατάλογο τεμαχίων του κινητήρα (Engine Parts
Catalog)**. Η βελτιωμένη σχεδίαση μπορεί να αφορά αλλαγές γεωμετρίας, υλικών,
διαδικασιών κατεργασίας υλικών, ή συνδυασμό αυτών, και γίνεται πάντα μετά από
έγκριση του κατασκευαστή (τα σχετικά έντυπα εγκρίσεων είναι γνωστά ως Part
Manufacturer Approval - PMA ή Supplemental Type Certificates - STC). Οι συνέ-
πειες των αλλαγών στο διάστημα γενικής επισκευής είναι από τις κυριότερες πα-
ραμέτρους, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη, για την έγκριση εισαγωγής των νέων
εξαρτημάτων. Η τεκμηρίωση της προτεινόμενης αλλαγής περιλαμβάνει μεταξύ
άλλων και εκτεταμένες δοκιμές, έτσι ώστε να πιστοποιηθεί η δυνατότητα διατήρη-
σης (ή αύξησης) του διαστήματος μεταξύ γενικών επισκευών.

2.2 ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Κάθε καινούργιο αεροσκάφος, συνοδεύεται υποχρεωτικά από έγγραφα του κα-
τασκευαστή, τα οποία πιστοποιούν την καλή κατάσταση του σκάφους και τη δυ-
νατότητά του να πραγματοποιεί πτήσεις. Τα έγγραφα αυτά συντάσσονται σύμ-
φωνα με τους κανόνες των διαφόρων οργανισμών πιστοποίησης (FAA, JAA) και
βεβαιώνουν, ότι ο οργανισμός έχει εξετάσει εκτενώς το σχεδιασμό του σκάφους,

αλλά και τις συνθήκες κατασκευής του και ότι αυτό ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις «πλοϊμότητας» (**airworthiness**).

Φυσικά, ο έλεγχος του αεροσκάφους, δε σταματά μετά από την παράδοσή του στον χρήστη. Η πιστοποίηση διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας του, απαιτεί την πραγματοποίηση συχνών περιοδικών ελέγχων. Οι έλεγχοι αυτοί καλύπτουν όλα τα συστήματα του αεροσκάφους και φυσικά τον κινητήρα. Οι συνηθέστεροι τύποι επιθεώρησης είναι:

- **Η επιθεώρηση πριν από κάθε πτήση (preflight check)**
- **Η επιθεώρηση μετά από 50 ώρες λειτουργίας**
- **Η επιθεώρηση μετά από 100 ώρες λειτουργίας και η ετήσια επιθεώρηση**

Οποιαδήποτε επιθεώρηση συνοδεύεται από έγγραφα (checklists - καταλόγους ελέγχου) τα οποία συμπληρώνονται και υπογράφονται από τον εξουσιοδοτημένο, για κάθε περίπτωση, τεχνικό.

2.2.1 Επιθεώρηση πριν την πτήση

Η επιθεώρηση πριν από κάθε πτήση εμπλέκει, εκτός από τον τεχνικό, και τον χειριστή, και αφορά όλο το αεροσκάφος. Όπως κάθε είδους επιθεώρηση, θα πρέπει να συνοδεύεται από την απαραίτητη κατάσταση ελέγχου, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αποφυγή παραλείψεων, ιδιαίτερα σε επιθεωρήσεις αυτού του είδους, οι οποίες λόγω της συχνότητάς τους μπορούν να εξελιχθούν σε επιθεωρήσεις «ρουτίνας».

Όσον αφορά τον κινητήρα, η επιθεώρηση απαιτεί αρχικά την οπτική τουλάχιστον πρόσβαση σε αυτόν, η οποία επιτυγχάνεται με την αφαίρεση, ή ανάρτηση του προστατευτικού αεροδυναμικού καλύμματος (cowl), αφού φυσικά επιβεβαιωθεί ότι ο διακόπτης ανάφλεξης (ignition switch) είναι απενεργοποιημένος και ότι η δικλείδα ισχύος είναι «κλειστή» (θέση "idle cutoff"). Βασικός στόχος αυτής της επιθεώρησης είναι η διαπίστωση τυχόν διαρροών (ελαίου, καυσίμου), ο έλεγχος της κατάστασης των διαφόρων καλωδιώσεων, η αναζήτηση άλλων πιθανών ενδείξεων προβληματικής λειτουργίας του κινητήρα, ή παρελκομένων αυτού.

Μία τυπική διαδοχή ενεργειών κατά την επιθεώρηση πριν την πτήση περιλαμβάνει:

- i) έλεγχο των σωληνώσεων και της στάθμης του λιπαντικού για τυχόν υπερβολική φθορά των σωληνώσεων, έλλειψη λιπαντικού, κλπ.

ii) έλεγχο των ηλεκτρικών καλωδιώσεων:

- του μανιατό (magneto) για ύπαρξη χαλαρών συνδέσεων, φθαρμένων (chaffed) καλωδίων, κλπ.,
- των σπινθηριστών, με ιδιαίτερη προσοχή στη σύνδεση των ακροδεκτών της καλωδίωσης στους σπινθηριστές,
- της γεννήτριας (generator / alternator) και του ρυθμιστή τάσης (voltage regulator),

iii) έλεγχο για την ύπαρξη διαρροών καυσίμου και / ή λιπαντικού: η ύπαρξη λιπαντικού ή «λεκέδων» καυσίμου (blue fuel stains) στο κάτω μέρος του προστατευτικού περιβλήματος, είναι ένδειξη για την ύπαρξη διαρροής σε κάποιο σημείο του κινητήρα, χρειάζεται προσοχή στην επιθεώρηση των διαφόρων σημείων στεγανοποίησης του κινητήρα και ιδιαίτερα σε αυτά γύρω από τους κυλίνδρους. Ανεπαρκής στεγανοποίηση (π.χ. από τις ρωγμές κάποιου στεγανοποιητικού παρεμβύσματος - seal) μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την τοπική υπερθέρμανση του κυλίνδρου και την αλλαγή χρώματος. Οι γραμμές του καυσίμου χρειάζονται επίσης ενδελεχή επιθεώρηση, ιδιαίτερα στα σημεία των ενώσεων,

iv) έλεγχο του συστήματος εξαγωγής καυσαερίων για κατεστραμμένα παρεμβύσματα (gaskets), κοχλίες και τυχόν διαρροές,

v) έλεγχο του καυσίμου, μετά από λήψη δείγματος,

vi) έλεγχο της κατάστασης του φίλτρου αέρα και του αγωγού εισαγωγής για την ύπαρξη «λεκέδων» (fuel dye stains) καυσίμου, οι οποίοι αποτελούν ενδείξεις για την ύπαρξη διαρροής,

vii) έλεγχο του έλικα για τυχόν εγκοπές (nicks) & ξυσίματα (scratches), ασφάλιση των κοχλιών και των περικοχλίων και έλεγχο της σύνδεσης με τον ρυθμιστή στροφών (governor).

Τα καθήκοντα ενός τεχνικού κινητήρων περιλαμβάνουν και τον έλεγχο του κινητήρα σε λειτουργία (runup). Σε αυτήν την περίπτωση, και μετά την εκκίνηση του κινητήρα, σύμφωνα πάντα με τον αντίστοιχο κατάλογο ενεργειών, πρέπει να ελεγχθεί ότι οι πιέσεις καυσίμου και λιπαντικού είναι αποδεκτές και ότι επιτυγχάνεται ο απαιτούμενος αριθμός στροφών (rpm - στροφές ανά λεπτό) και η πίεση πολλοπλής σωλήνωσης εισαγωγής (manifold). Απαιτείται επίσης έλεγχος του μανιατό, της έλικας και της λειτουργίας του αναμεικτήρα καυσίμου (καρμπυρατέρ).

2.2.2 Επιθεώρηση 50 ωρών

Η επιθεώρηση του κινητήρα μετά από 50 ώρες λειτουργίας δεν απαιτείται από τους κανονισμούς της FAA / JAA (FAR, JAR). Παρ' όλα αυτά, αποτελεί σύσταση όλων σχεδόν των κατασκευαστών κινητήρων, οι οποίοι και παρέχουν συνήθως σχετικό κατάλογο ενεργειών. Η 50ωρη επιθεώρηση περιλαμβάνει έλεγχο σε λειτουργία του κινητήρα και όλων των υποσυστημάτων (ανάφλεξης, καυσίμου, λίπανσης κλπ.):

- i) Σύστημα ανάφλεξης: Έλεγχος των καλωδιώσεων (leads) των σπινθηριστών για φθορά (chaffing), με προσοχή στην ύπαρξη διάβρωσης και στιβαρή στήριξη αυτών. Έλεγχος του σπειρώματος των σπινθηριστών για ενδείξεις διαρροών από τον κύλινδρο.
- ii) Συστήματα καυσίμου και εισαγωγής: Έλεγχος των γραμμών καυσίμου για διαρροές και στήριξη. Αφαίρεση και καθαρισμός των σωλήνων εξομάλυνσης της ροής του καυσίμου (fuel inlet strainer). Έλεγχος του μοχλού του συστήματος ελέγχου (mixture control) και της δικλείδας ισχύος (πεταλούδα - throttle) όσον αφορά τα όρια, την ευκολία μετακίνησης και τη στήριξή τους. Λίπανση αυτών, αν είναι απαραίτητο. Έλεγχος της εισαγωγής αέρα για διαρροές, ενδείξεις φθοράς στο φίλτρο αέρα και πιθανά ευρήματα (σκόνη ή άλλα στερεά σωματίδια) τα οποία διαπέρασαν το φίλτρο αέρα. Έλεγχος των εξαεριστικών σωληνώσεων (vent lines) της αντλίας καυσίμου για ενδείξεις διαρροής καυσίμου ή λιπαντικού.
- iii) Σύστημα λίπανσης: Η 50ωρη επιθεώρηση συνοδεύεται συνήθως από αποστράγγιση και αλλαγή του λιπαντικού. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται έλεγχος του φίλτρου λαδιού (το οποίο επίσης αντικαθίσταται) ή του διαφράγματος λαδιού (oil screen) για τυχόν υπολείμματα μεταλλικών σωματιδίων και φυσικά των σωληνώσεων λίπανσης για διαρροές ή φθορά.
- iv) Σύστημα εξαγωγής καυσαερίων: Έλεγχος των φλαντζών των αγωγών καυσαερίων στα σημεία ένωσης με τους κυλίνδρους για διαρροές. Κατεργασία τους, αν είναι απαραίτητο, για επανάκτηση της επιπεδότητας. Γενικότερος έλεγχος του συλλέκτη πολλαπλής εξαγωγής (manifold) και του σιγαστήρα (muffler, σιλανσιέ) για άλλες διαρροές.

- v) Σύστημα ψύξης: Έλεγχος του περιβλήματος και των διαχωριστικών ελασμάτων (baffles) για ενδείξεις ρωγμών ή άλλων ζημιών. Μικρές ρωγμές αποκαθίστανται συνήθως με τη διάνοιξη μικρών οπών (stop drill) για την αποφυγή περαιτέρω επέκτασής της.
- vi) Κύλινδροι: Έλεγχος των καλυμμάτων των κιβωτίων πλήκτρων και αντικατάσταση των παρεμβυσμάτων σε περίπτωση διαρροών. Ενδελεχής έλεγχος κάθε κυλίνδρου για υπερθέρμανση, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα καψίματα ή αλλαγή του χρώματος του κυλίνδρου. Διαπίστωση υπερθέρμανσης απαιτεί περαιτέρω επιθεώρηση (π.χ. με ενδοσκόπιο - borescope) ή ακόμη και αφαίρεση του κυλίνδρου.
- vii) Υπερπληρωτής: Έλεγχος των αγωγών παροχής και επιστροφής λιπαντικού για διαρροές ή φθορές και των διαφόρων υποστηρίγμάτων (brackets) και θερμοπροστατευτικών κατασκευών για ρωγμές ή άλλες ζημιές. Επιβεβαίωση της ανεμπόδιστης κίνησης της βαλβίδας διαφυγής (waste gate) καθώς επίσης και της καλής λειτουργίας και στεγανοποίησης της δευτερεύουσας διόδου αέρα (alternate air door).

2.2.3 Επιθεώρηση 100 ωρών και ετήσια επιθεώρηση

Σε αντίθεση με την 50ωρη, η ετήσια επιθεώρηση απαιτείται και από τους οργανισμούς ελέγχου της αεροπλοΐας (FAA, JAA), μέσω κανονισμών όπως ο FAR Part 91. Ο ετήσιος έλεγχος πρέπει να διεξάγεται εντός ενός έτους από την ολοκλήρωση του προηγούμενου, ανεξάρτητα από τις ώρες λειτουργίας του αεροσκάφους ή του κινητήρα. Βασική απαίτηση του προαναφερθέντος κανονισμού, είναι η διεξαγωγή της ετήσιας επιθεώρησης αυτοπροσώπως από μηχανικό, ο οποίος κατέχει ειδική εξουσιοδότηση (inspection authorization).

Αναφορές τυχόν ευρημάτων, τα οποία καθιστούν το σκάφος / κινητήρα μη ικανό προς πτήση, κοινοποιούνται γραπτώς στον ιδιοκτήτη, ο οποίος και υποχρεούται να αποκαταστήσει το ελάττωμα, πριν από την επόμενη πτήση.

Η 100ωρη επιθεώρηση περιέχει τους ίδιους ελέγχους με αυτούς της ετήσιας, απαιτείται όμως να επαναλαμβάνεται πριν από τη συμπλήρωση 100 ωρών λειτουργίας από την προηγούμενη¹. Στην περίπτωση της 100ωρης επιθεώρησης, δεν

¹ Είναι δυνατόν να υπάρξει απόκλιση 10 ωρών για τη μεταφορά του σκάφους / κινητήρα στον οργανισμό ο οποίος θα πραγματοποιήσει την επιθεώρηση.

απαιτείται από τον μηχανικό που θα την εκτελέσει, η κατοχή της ειδικής εξουσιοδότησης που προαναφέρθηκε.

2.2.3.1 Κατάλογοι επιθεώρησης (inspection checklists)

Οι οργανισμοί ελέγχου περιγράφουν στους αντίστοιχους κανονισμούς (FAR 43 Appendix D, JAR M), τους κατ' ελάχιστον ελέγχους, οι οποίοι θα πρέπει να πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια μίας 100ωρης ή ετήσιας επιθεώρησης. Συνήθως οι κατασκευαστές των αεροσκαφών παρέχουν τέτοιους καταλόγους, οι οποίοι υπερκαλύπτουν τις απαιτήσεις αυτών των κανονισμών (Σχήμα 2.4), ενώ μπορεί να περιέχουν και αναφορές σε ανακοινώσεις του κατασκευαστή του κινητήρα (οι οποίες συνήθως ονομάζονται Service Bulletins ή Service Information Letters), οι οποίες εισάγουν νέες οδηγίες, που δεν περιέχονται στα εγχειρίδια συντήρησης.

2.2.3.2 Προετοιμασία - Συμπλήρωση Εγγράφων

Η διακίνηση, ο έλεγχος και η σωστή συμπλήρωση των εγγράφων είναι ιδιαίτερης σημασίας σε όλες τις εργασίες επιθεώρησης / συντήρησης ενός αεροπορικού κινητήρα. Έτσι, πέρα από τον έλεγχο των μητρώων, τα οποία συνοδεύουν κάθε κινητήρα, θα πρέπει να υπάρχει διαρκής και επαρκής ενημέρωση του τεχνικού σε θέματα ασφάλειας, όπως έχουν προκύψει από τη χρήση του κινητήρα και σε έκτακτες εργασίες συντήρησης σύμφωνα με τις ανακοινώσεις του κατασκευαστή.

Η τοποθέτηση εγκεκριμένων ποιοτικά εξαρτημάτων στον κινητήρα είναι καθήκον του επιθεωρητή, ο οποίος θα πρέπει να επιβεβαιώνει ότι τα διάφορα συστήματα και παρελκόμενα διαθέτουν τις απαραίτητες εγκρίσεις. Τα κομμάτια **ΛΟΖ (Λήξη Ορίου Ζωής)** θα πρέπει να αποσύρονται, εφόσον φυσικά έχουν καλύψει τις ώρες λειτουργίας τους, σύμφωνα με τα αναγραφόμενα στα μητρώα του κινητήρα.

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

PIPER AIRCRAFT CORPORATION INSPECTION REPORT This Form Meets Requirements of FAR Part 43									
Make Piper Super Cub		Model PA18 & PA-18A		Serial No.		Registration No.			
Circle Type of Inspection (See Note 1, pg 3) 50 100 500 1000		50	100	500	1000	Inspector	Perform all inspections or operations at each of the inspection intervals as indicated by a circle (O)		Inspector
DESCRIPTION		50	100	500	1000		DESCRIPTION		
A. PROPELLER GROUP							ENGINE GROUP CONT.		
1 Inspect spinner & backplate for damage & security		☐	☐	☐	☐		29 Inspect & lubricate fuel selector valve		☐
2 Inspect blades for nicks and cracks		☐	☐	☐	☐		30 Check vacuum pump, lines & separator		☐
3 Check spinner mounting brackets for damage & security		☐	☐	☐	☐		31 Overhaul or replace vacuum pump (SEE NOTE 4)		☐
4 Check propeller mounting bolts and safety (Check torque if safety is broken)		☐	☐	☐	☐		32 Check throttle, carburetor heat & mixture controls for travel & operating condition		☐
B. ENGINE GROUP							33 Inspect exhaust stacks, connections & gaskets (Replace exhaust gaskets as required)		☐
CAUTION: Ground Magneto Primary Circuit Before Working on Engine							34 Inspect muffler, heat exchanger & baffles		☐
1 Remove Engine Cowl		☐	☐	☐	☐		35 Check exhaust stack braces		☐
2 Clean & check cowl for cracks, distortion & loose or missing fasteners		☐	☐	☐	☐		36 Check breather tube for obstructions and security		☐
3 Drain oil sump (SEE NOTE 6)		☐	☐	☐	☐		37 Check crankcase for cracks, leaks & security of seam bolts		☐
4 Clean suction oil strainer (Check strainer for foreign particles.)		☐	☐	☐	☐		38 Check engine mounts for cracks & loose mountings		☐
5 Clean pressure oil strainer (Check oil strainer for foreign particles.)		☐	☐	☐	☐		39 Check all engine baffles for damage & security		☐
6 Check oil temperature sender unit for leaks and security		☐	☐	☐	☐		40 Check rubber engine mount bushings for deterioration		☐
7 Check oil lines & fittings for leaks, security, chafing, dents and cracks (SEE NOTE 5)		☐	☐	☐	☐		41 Check condition of firewall seals		☐
8 Clean & check oil radiator cooling fins for damage		☐	☐	☐	☐		42 Check condition & tension of generator or alternator drive belt		☐
9 Remove & flush oil radiator		☐	☐	☐	☐		43 Check condition of generator or alternator & starter		☐
10 Fill engine with oil per lubrication chart		☐	☐	☐	☐		44 Lubricate all controls		☐
11 Clean engine		☐	☐	☐	☐		45 Complete overhaul of engine or replace with factory rebuilt (SEE NOTE 4)		☐
12 Check condition of spark plugs (Clean & adjust gap as required, adjust per Lycoming Service Instruction)		☐	☐	☐	☐		46 Reinstall engine cowl		☐
13 Check ignition harness and insulators (High tension leakage and continuity.)		☐	☐	☐	☐		C. CABIN GROUP		
14 Check magneto points for proper clearance (Maintain clearance @ 0.018 +/- 0.006)		☐	☐	☐	☐		1 Inspect cabin entrance, doors & windows for damage & operation		☐
15 Check magneto for oil seal leakage		☐	☐	☐	☐		2 Check all plexiglas for cracks		☐
16 Check breaker felts for proper lubrication		☐	☐	☐	☐		3 Check upholstery for tears		☐
17 Check distributor block for cracks, turned areas or corrosion, and height of contact springs		☐	☐	☐	☐		4 Check seats, seat belts, security brackets & bolts		☐
18 Check magnetos to engine timing		☐	☐	☐	☐		5 Check trim operation & adjustment		☐
19 Overhaul or replace magnetos (SEE NOTE 4, PAGE 3)		☐	☐	☐	☐		6 Check rudder pedals		☐
20 Check valve clearance at 0.010 on 0-290-D engine only		☐	☐	☐	☐		7 Check control stick, torque tube, pulleys & cables		☐
21 Remove air filter & clean (Refer to owner's handbook.) (Replace as required.)		☐	☐	☐	☐		8 Check flap lever for adjustment & safety		☐
22 Drain carburetor and clean inlet line fuel strainer		☐	☐	☐	☐		9 Check controls for ease of operation		☐
23 Check condition of carburetor heat air door and box		☐	☐	☐	☐		10		☐
24 Check intake seals and clamps for tightness		☐	☐	☐	☐		11 Check fuse box for burned out fuses		☐
25 Remove, drain & clean fuel filter bowl & screen (Drain & clean every 90 days)		☐	☐	☐	☐		12 Check instruments, lines & attachments		☐
26 Check condition of flexible fuel and primer lines		☐	☐	☐	☐		13 Check gyro operated instruments (Overhaul or replace as needed.)		☐
27 Replace flexible fuel lines (SEE NOTE 4)		☐	☐	☐	☐		14 Replace filters on gyro horizon & directional gyro		☐
28 Check fuel system for leaks		☐	☐	☐	☐		15 Clean or replace vacuum regulator filter		☐

Owner

Σχήμα 2.4 Απόσπασμα από έντυπο επιθεώρησης α/φους PIPER.

Εμφανίζεται η ομαδοποίηση των επιθεωρήσεων για τον έλικα, τον κινητήρα και το σκάφος. Επισημαίνεται επίσης η απαίτηση ή μη πραγματοποίησης κάθε ελέγχου στις επιθεωρήσεις 50, 100, 500 και 1000 ωρών.

2.2.3.3 Καθαρισμός

Ο καθαρισμός του κινητήρα, για την απομάκρυνση λαδιών, γράσων και κάθε είδους βρωμιάς είναι απαραίτητος, έτσι ώστε, ρωγμές, ή άλλες ζημίες, να μπορέσουν να γίνουν αντιληπτές κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης. Συνιστάται η χρήση ειδικών καθαριστικών. Είναι, βεβαίως, απαραίτητο να έχει προηγηθεί η προστατευτική επικάλυψη (με τη χρήση συνήθως ταινίας) των ηλεκτρικών εξαρτημάτων και των καλωδιώσεων.

2.2.3.4 Έλεγχος σε λειτουργία

Πριν από την έναρξη της επιθεώρησης απαιτείται ο έλεγχος της καλής λειτουργίας του κινητήρα. Το Σχήμα 2.5 περιέχει έναν τυπικό κατάλογο καταγραφών και ελέγχων, οι οποίοι απαιτούνται κατά τον έλεγχο σε λειτουργία του κινητήρα. Ασυνήθιστοι θόρυβοι, ή υπερβολικοί κραδασμοί θα πρέπει επίσης να σημειώνονται. Μετά το σβήσιμο του κινητήρα γίνεται αποστράγγιση του λιπαντικού και αφαίρεση ενός σπινθηριστή από κάθε κύλινδρο για την πραγματοποίηση της δοκιμής συμπίεσης (compression test).

2.2.3.5 Σύστημα λίπανσης¹

Η αλλαγή και επιθεώρηση του φίλτρου λαδιού είναι απαραίτητη κατά τη διάρκεια της 100ωρης και ετήσιας επιθεώρησης. Θα πρέπει να συνοδεύεται από την καταστροφή, άνοιγμα και επιθεώρηση του φίλτρου για εντοπισμό υπερβολικής συγκέντρωσης μεταλλικών σωματιδίων (Σχήμα 2.6). Χαρακτηριστικές είναι και οι οδηγίες, που περιέχονται σε έγγραφο της Avco Lycoming:

«Πριν από την απόρριψη του φίλτρου, θα πρέπει να γίνεται έλεγχος αφού αφαιρεθεί το εξωτερικό διάτρητο χάρτινο κάλυμμα. Χρησιμοποιώντας κάποιο αιχμηρό μαχαίρι κόψτε τις αναδιπλώσεις κοντά στα μεταλλικά καπάκια. Ανοίξτε το διπλωμένο στοιχείο και εξετάστε τα υλικά που έχουν συγκρατηθεί από αυτό, για πιθανές ενδείξεις υπερβολικής φθοράς του κινητήρα, όπως μεταλλικά ρινίσματα ή κομματάκια των τριβένων. Είναι πιθανόν σε νέους κινητήρες (ή κινητήρες γενικής επισκευής) να εντοπισθούν ίχνη μετάλλων. Αυτά δεν θεωρούνται αξιόλογα ευρήματα και δεν θα πρέπει να συγχέονται με σωματίδια που δημιουργούνται από κρούση, τριβή ή πίεση. Υπερβολική συγκέντρωση μεταλλικών σωματιδίων στο φίλτρο απαιτεί περαιτέρω εξέταση για τον προσδιορισμό της αιτίας».

¹Τα διάφορα συστήματα έχουν περιγραφεί λεπτομερώς στο βιβλίο «Κινητήρες Αεροσκαφών I», όπου και παρατίθεται εκτενής εποπτική κάλυψη.

Είναι επίσης απαραίτητη η επιθεώρηση του διαφράγματος λαδιού, αν υπάρχει.

Μετά την τοποθέτηση νέου φίλτρου, ακολουθεί η επαναπλήρωση του κινητήρα με λιπαντικό και ο έλεγχος όλου του συστήματος λίπανσης για τυχόν διαρροές.

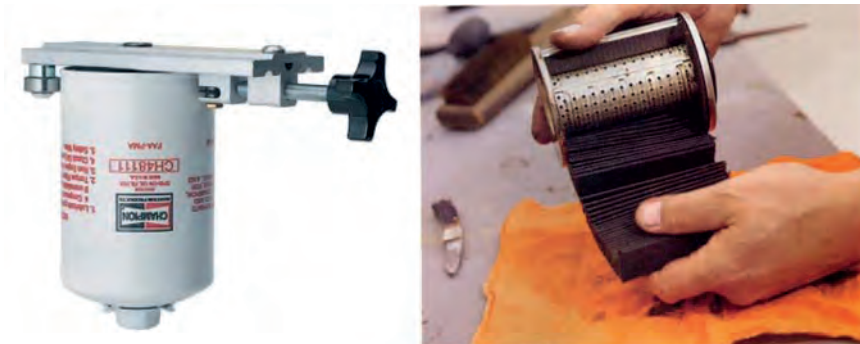
PRE INSPECTION RUNUP

Πεδία προς συμπλήρωση

- B1: Record aircraft Tach hours or hobbs hour reading on work sheets
- B2: Engine or Boost pump pressure: p.s.i. indicated
- B3: Start up oil pressure @ 1500RPM..... p.s.i. indicated
- B4: Warm up engine; oil Temp..... Deg. F.; Oil Press@700RPM:.....psi
- B5: Magneto check - Left..... / Right...../ Smooth Y/N.....
- B7: Propeller cycle check @1700RPM.....In Hg.
- B8: Suction gauge @ 1700RPM.....In Hg
- B9: At max electrical load, min RPM for positive charge:
- B10: Check Buss voltage with voltmeter @ 1700RPM Volts
- B11:M/P @ 2200RPM, RPM@25"M/P.....Max Static RPM.....
- B12: Minimum idle speed: RPM; ICO RPM increase: RPM
- B13: General Running Conditions, Throttle Response Etc. OK? Y/N:
- B14: Taxi check. Brake effectiveness & pedal adjustment
- B15: Check hydraulic pump & accumulator for operation.

Σχήμα 2.5 Έλεγχος σε λειτουργία

2.2.3.6 Σύστημα ανάφλεξης



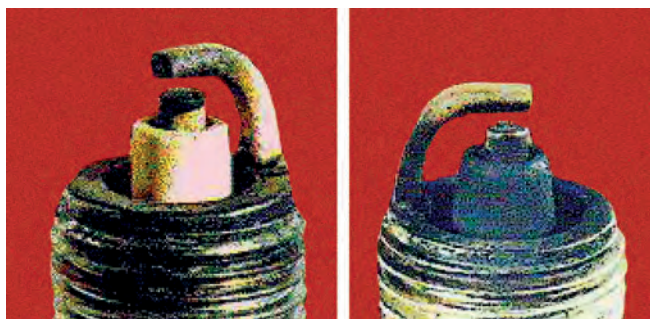
Σχήμα 2.6 Καταστροφικός έλεγχος φίλτρου ελαίου

Η εξέταση των χρησιμοποιημένων σπινθηριστών μπορεί να παράσχει σημαντικές πληροφορίες για πιθανά προβλήματα στους κυλίνδρους. Η επιθεώρηση περιλαμβάνει τόσο την κατάσταση του ηλεκτροδίου (firing end), όσο και τα χαρακτηριστικά των εναποθέσεων στον σπινθηριστή. Έτσι, το Σχήμα 2.7α δείχνει έναν σπινθηριστή, ο οποίος έχει λειτουργήσει κανονικά, όπως φαίνεται από το καφέ (ή γκρι

σε άλλες περιπτώσεις) χρώμα των εναποθέσεων. Αντίθετα, μαύρες εναποθέσεις καρβιδίων (Σχήμα 2.7β) αποτελούν ενδείξεις κακής επιλογής σπινθηριστή ή λειτουργίας με υπερβολικά πλούσιο μείγμα.

Σπινθηριστές των οποίων τα ηλεκτρόδια δεν είναι φθαρμένα, μπορούν να επαναλειτουργήσουν (reconditioned). Η επανατοποθέτηση του σπινθηριστή απαιτεί φυσικά την προηγούμενη δοκιμή καλής λειτουργίας του.

Κατά την τοποθέτηση των σπινθηριστών αντικαθίστανται τα παρεμβύσματα (τσιμούχες). Συνήθης πρακτική είναι η τοποθέτηση των σπινθηριστών σε διαφορετικό κύλινδρο, έτσι ώστε να εξισορροπείται η διαφορετική φθορά (λόγω θέσης) την οποία υφίστανται.



Σχήμα 2.7 (α) "Υγιής" και (β) προβληματικός σπινθηριστής

Τα σπειρώματα των σπινθηριστών, θα πρέπει να είναι καθαρά, έτσι ώστε η αρχική σύσφιγξη να επιτυγχάνεται με το χέρι. Η τελική σύσφιγξη γίνεται βέβαια με ροπόκλειδο, στην τιμή ροπής που προδιαγράφει ο κατασκευαστής. Η τοποθέτηση των καλωδιώσεων θα πρέπει να γίνεται μετά από καλό καθαρισμό των ακροδεκτών.

Απαιτείται, τέλος, ο έλεγχος του χρονισμού μανιατό-κινητήρα καθώς επίσης και της καλής γείωσης του μανιατό.

2.2.3.7 Σύστημα καυσίμου

Μετά τον καθαρισμό της αποστράγγισης και των φίλτρων στο καρμπυρατέρ ή στο σύστημα έγχυσης καυσίμου ακολουθεί δοκιμή υπό πίεση, μετά την τοποθέτηση των φίλτρων, με την αντικατάσταση φυσικά των παρεμβυσμάτων. Θα πρέπει επίσης να καθαρισθούν και να λιπανθούν όλοι οι άξονες (controls) σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, με τη χρήση εγκεκριμένου λιπαντικού.

Στο σύστημα έγχυσης καυσίμου (fuel injection) απαιτείται ο καθαρισμός και ο έλεγχος όλων των ψεκαστήρων και των αγωγών καυσίμου.

2.2.3.8 Εισαγωγή αέρα

Το φίλτρο αέρα θα πρέπει να καθαρίζεται, ή να αντικαθίσταται, ενώ όλο το σύστημα εισαγωγής αέρα θα πρέπει να ελέγχεται για πιθανές διαρροές. Απαιτείται επίσης ο έλεγχος της βαλβίδας θερμού αέρα και της βαλβίδας ασφαλείας. Θα πρέπει το άνοιγμα των θυρών ασφαλείας (alternate air doors) να πραγματοποιείται ανεμπόδιστα. Ελέγχεται, τέλος, η κατάσταση των εύκαμπτων σωληνώσεων.

2.2.3.9 Σύστημα εξαγωγής καυσαερίων

Σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται η δοκιμή υπό πίεση του συστήματος εξαγωγής καυσαερίων (πιθανές επικίνδυνες διαρροές ακόμη και στην καμπίνα του σκάφους). Ο αγωγός του σιγαστήρα θα πρέπει να ελέγχεται για διαρροές. Η βαλβίδα ελέγχου της ροής θερμού αέρα στην καμπίνα θα πρέπει να λειτουργεί σωστά. Απαιτείται έλεγχος (και πιθανώς αντικατάσταση) των τσιμουχών στις εξαγωγές των καυσαερίων από τους κυλίνδρους, όπως επίσης και της συναρμογής των οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας στους αγωγούς εξόδου των καυσαερίων.

2.2.3.10 Υπερπληρωτής

Η επιθεώρηση πραγματοποιείται σύμφωνα με τις ειδικές οδηγίες του κατασκευαστή. Ελέγχεται το σύστημα εξαγωγής του υπερπληρωτή και η βαλβίδα διαφυγής, το σύστημα εισαγωγής αέρα (βαλβίδες εκτόνωσης, ψύκτες και αισθητήρες πίεσης πολλαπλής εισαγωγής) και το σύστημα λίπανσης.

2.2.3.11 Σύστημα ψύξης

Ελέγχονται τα πτερύγια ψύξης και τα διαχωριστικά ελάσματα (cooling fins & baffles) για ρωγμές ή άλλες ζημιές. Πιθανή επισκευή πτερυγίου με ρωγμές απαιτεί τη σωστή διαμόρφωση της περιοχής (πιθανόν με αφαίρεση υλικού), Θα πρέπει να επιβεβαιώνεται η πλήρης κίνηση των θυρίδων εξαγωγής αέρα ψύξης μεταξύ της ανοικτής και κλειστής θέσης αυτών.

2.2.3.12 Ηλεκτρικό σύστημα

Ελέγχεται η ανάρτηση της γεννήτριας για πιθανές ρωγμές, η ασφαλής λειτουργία του ρυθμιστή τάσης, των ηλεκτρονόμων (ρελέ) και των σωληνοειδών, καθώς επίσης και η κατάσταση των καλωδιώσεων.

2.2.3.13 Παρελκόμενα και συστήματα ελέγχου

Ελέγχονται οι αντλίες αέρα, καυσίμου και λαδιού για ενδείξεις διαρροών, ιδιαίτερα στις ενώσεις, όπου χρησιμοποιούνται στεγανοποιητικά. Οι γραμμές εξαέρωσης και αερισμού (vent & breather) θα πρέπει να είναι τοποθετημένες με ασφαλή τρόπο.

Θα πρέπει να επιβεβαιώνεται η καλή λειτουργία του διαχωριστή λαδιού και όλα τα φίλτρα θα πρέπει να αλλάζονται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Όλοι οι βραχίονες και οι άξονες των συστημάτων ελέγχου θα πρέπει να κινούνται ελεύθερα, ενώ τα όρια της κίνησής τους θα πρέπει να βρίσκονται σε απόλυτη αντιστοιχία με τις ακραίες θέσεις των μοχλών του χειριστηρίου. Η κατάσταση του θερμοπροστατευτικού καλύμματος θα πρέπει να είναι καλή, έτσι ώστε όλες οι γραμμές ελέγχου και οι καλωδιώσεις που διέρχονται από αυτό να είναι επαρκώς στεγανοποιημένες και να μη φέρουν ενδείξεις διάβρωσης, ή άλλης ζημίας. Οι αντικρουστικές αναρτήσεις του κινητήρα θα πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση, ενώ θα πρέπει να ροπομετρούνται οι κοχλίες σύσφιγξης. Είναι επίσης αναγκαίο να ελέγχεται η κατάσταση της γείωσης, μεταξύ του κινητήρα και του σκάφους, για να μην υπάρχει επιστροφή του ρεύματος εκκίνησης στο σκάφος.

2.2.3.14 Έλικας

Ο έλικας θα πρέπει να υπόκειται σε προσεκτική επιθεώρηση, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, διαδικασίες μη καταστροφικού ελέγχου, για τον εντοπισμό πιθανών ρωγμών. Η στιβαρή σύνδεση των πτερύγων στη βάση τους και η απουσία διαρροών θα πρέπει να επιβεβαιώνεται. Τέλος, πρέπει να ελέγχονται η ρίζα του έλικα για πιθανές ρωγμές, όπως και ο ρυθμιστής στροφών (governor) για καλή τοποθέτηση και πλήρη κίνηση του μοχλού του.

2.2.3.15 Δοκιμή και μητρώα

Η 100ωρη και η ετήσια δοκιμή ολοκληρώνονται με τον έλεγχο καλής λειτουργίας του κινητήρα. Μετά την επιτυχή διενέργεια της δοκιμής, συμπληρώνονται τα μητρώα συντήρησης και επιθεώρησης του κινητήρα.

Ο τρόπος συμπλήρωσης και το περιεχόμενο των μητρώων, ορίζονται από τους ελεγκτικούς οργανισμούς και εν γένει διαφέρουν αν πρόκειται για μητρώο επιθεώρησης ή συντήρησης.

Σε περίπτωση εκτεταμένης επισκευής, ή τροποποίησης, συμπληρώνεται ειδικό έντυπο (π.χ. FAR FORM 337, JAR FORM ONE) και ενημερώνονται οι αρμόδιες αρχές.

2.3 ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

2.3.1 Διαστήματα και είδη γενικής επισκευής

Με τον όρο **γενική επισκευή (Overhaul)** εννοείται η πλήρης αποσυναρμολόγηση του κινητήρα και η επιθεώρηση κάθε εξαρτήματος ξεχωριστά. Η αποσυναρμολόγηση και η επιθεώρηση γίνεται πάντα σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή,

όπως αυτές δίνονται σε σχετικά τεχνικά εγχειρίδια. Κατά τη γενική επισκευή, ο κατασκευαστής προδιαγράφει την αντικατάσταση ορισμένων εξαρτημάτων, ενώ για τα υπόλοιπα προβλέπεται υποχρεωτικά κάποια μορφή επιθεώρησης:

- οπτική επιθεώρηση, για τον εντοπισμό τυχόν φθορών ή άλλων ζημιών,
- μη καταστροφικός έλεγχος (non-destructive testing) ή κάποια μορφή μηχανικού ελέγχου,
- διαστατική επιθεώρηση.

Περαιτέρω χρήση των εξαρτημάτων επιτρέπεται, εφόσον αυτά ικανοποιούν τα κριτήρια και τα όρια (serviceable limits) των αντίστοιχων εγχειριδίων. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι δυνατή η εκ νέου χρήση των εξαρτημάτων μετά από επισκευή, εφόσον αυτά βρίσκονται εντός των επισκευαστικών ορίων (repairable limits) των εγχειριδίων.

Τα διαστήματα γενικής επισκευής προδιαγράφονται από τον κατασκευαστή του κινητήρα σε ειδικά έγγραφα, τα οποία ανανεώνονται περιοδικά, έτσι ώστε να περιλαμβάνουν νέα μοντέλα και πιθανές αλλαγές (ενδεικτικά παρατίθενται σχετικοί κατάλογοι για κινητήρες Lycoming και Teledyne - Πίνακας 2.1 & Πίνακας 2.2, αντίστοιχα).

Αν και η πολιτική συντήρησης, είναι γενικότερα επιλογή του ιδιοκτήτη του σκάφους, οι φορείς ελέγχου απαιτούν την προληπτική συντήρηση, αλλά και γενική επισκευή του κινητήρα, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Σημειώνεται ότι αυτές οι προδιαγραφές αφορούν κυρίως τον κινητήρα, ενώ είναι πιθανόν παρελκόμενα (μανιατό, καλωδιώσεις, ρυθμιστές στροφών κ.ά) να απαιτούν διαφορετική πολιτική συντήρησης ή / και αντικατάστασης.

Πρέπει, επίσης, να γίνει διάκριση μεταξύ «κυρίας» γενικής επισκευής (major overhaul) και γενικής επισκευής προσβάσιμων μερών (top overhaul). Η γενική επισκευή προσβάσιμων μερών αναφέρεται στην επισκευή ή / και καθαρισμό κυλίνδρων και εμβόλων, χωρίς την πλήρη αποσυναρμολόγηση του κινητήρα. Συνιστάται σε περιπτώσεις ζημιών, οι οποίες εντοπίζονται στους κυλίνδρους του κινητήρα.

Σημειώνεται ότι οι οδηγίες των κατασκευαστών αφορούν εν γένει διαστήματα κύριων γενικών επισκευών. Σε πολλές περιπτώσεις, η επιλογή μεταξύ κύριας και γενικής επισκευής, μπορεί να βασίζεται σε οικονομικά κριτήρια, αν και στους νεότερους κινητήρες εφαρμόζεται γενικότερα η «κύρια» γενική επισκευή. Για το λόγο αυτό, στις επόμενες παραγράφους, με τον όρο γενική επισκευή, θα εννοείται η «κύρια» γενική επισκευή.

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

**Πίνακας 2.1 Διαστήματα γενικής επισκευής κινητήρων Lycoming -
Αναφέρεται ο συνιστώμενος χρόνος λειτουργίας, σε ώρες, των διαφόρων
τύπων κινητήρων, πριν την πραγματοποίηση γενικής επισκευής**

RECOMMENDED TIME BETWEEN OVERHAUL PERIODS

Τύποι κινητήρων	Συνιστώμενος χρόνος γενικής επισκευής	Ωρες
FIXED WING AIRCRAFT		
Engine Models	See Note	Hours
O-235 Series (except -F, -G -J)	12	2400
O-235-F, -G -J	13	2000
O-290-D	-----	2000
O-290-D2	-----	1500
O-320 Series (except O-320-H); IO-320-A, -E	1,10	2000
O-320-H	10	2000
IO-320-B, -D, -F	4,6,10	2000
IO-320-C	2,4,10	1800
AIO-320 (160 HP)	6,10	1600
AEIO-320 Series	6,10	1600
O-340 Series	1	2000
O-360 Series (except O-360-E, -J2A); IO-360-B, -E, -F (180 HP)	1,4,10	2000
O-360-E	4,10	2000
IO-360-L2A	1,4,10	2000
IO-360-A, -C, -D, -J (200 HP)	4,5,6,10	2000
TO-360-C, -F; TIO-360-C	3	1800
TO-360-E (180 HP)	3,4	1800
AIO-360 (200 HP)	6,10	1400
TIO-360-A Series	3	1200
AEIO-360 Series (180 HP)	6,10	1600
AEIO-360 Series (200 HP)	6,10	1400
O-435; GO-435	-----	1200
GO, GSO-480; IGSO-480	1	1400
O-540-A, -B, -E4A5, -F; IO-540-C, -D	1,10	2000
O-540-E4B5, -E4C5	1,10,11	2000
O-540-G, -H -J; IO-540-N, -T, -V, -W	10	2000
O-540-L3C5D	2,10	2000
IO-540-A, -B(290 HP)	1 10 11	1400
IO-540-E, -G, -P	1,10 11	1600
IO-540-S, -AA,	2,10	1800
IO-540-J, -R	2,10	1800
IO-540-AB1A5	10	2000
IO-540-K, -L, -M	10	2000
IO-540-K1B5, -K1G5	10,11	2000
AEIO-540 Series	6,10	1400
IGO& IGSO-540 Series	-----	1200
TIO-540-V, -W, -AE	3,4,11	2000
TIO-540-C-AA, -AB, -AF, -AG	3,4,7,11	2000
TIO-540-A, -F, -J, -N, -R, -S, -U	3,4,11,14	1800
TIO-540-C (320 HP)	3	1300
TIO-541-A (380 HP)	3,9	1600
TIGO-541 (425 HP)	3	1200
IO-720 Series	10,11	1800

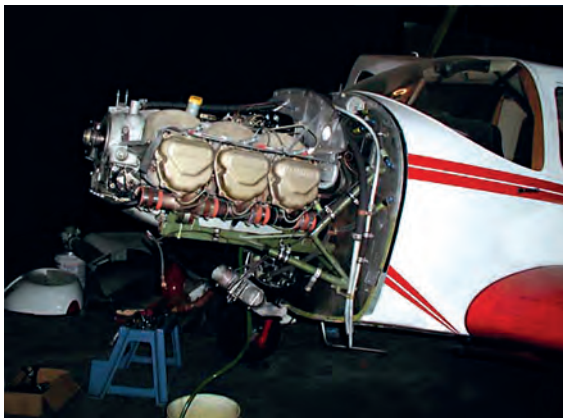
Πίνακας 2.2. Διαστήματα γενικής επισκευής κινητήρων Teledyne

Αριθμός κυλίνδρων	Τύποι κινητήρων	MODEL	NO. of CYL	TAKEOFF POWER HP@RPM	METRO POWER HP@RPM	BORE & STROKE	DISPL. CUBIC IN.	ENGINE DIMENSIONS (INCHES)			WEIGHT DRY LBS. BASIC ENGINE	FUEL GRADE	COMPR. RATIO	RECOMMEND TBO HRS/YEARS
								ENGINE DIMENSIONS (INCHES)						
								HEIGHT	WIDTH	LENGTH				
Ισχύς αερίων κίνησης	Ισχύς λατομυρίας	Διάμετρος και διάφορη επιβολή	O-200-A & B IO-200-A & B O300-A, C & D IO-300-C, CB, D, DB, G, DB, H & HB IO-300-ES IO-300-J, JB IO-300-K & KB TSIO-300-A & AB TSIO-300-C, CB TSIO-300-D, DB TSIO-300-E, EB TSIO-300-F - FB TSIO-300-H - HB TSIO-300-I LTSIO-300-KB TSIO-300-LB LTSIO-300-RB TSIO-300-SB O-470-GCI O-470-J O-470-K, L & M O-470-R & S O-470-U IO-470-C IO-470-D & E IO-470-F IO-470-H IO-470-I & K IO-470-L & M IO-470-N IO-470-S IO-470-U, V & VO IO-500-A & J IO-500-B, BA, BB IO-500-C, CB IO-500-D & E IO-500-F IO-500-K	4 4 6 										

2.3.2 Αφαίρεση κινητήρα από αεροσκάφος

Πριν από τη γενική επισκευή, είναι φυσικά απαραίτητη η αφαίρεση του κινητήρα από το αεροσκάφος. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποσύνδεση των καλωδίων, σωληνώσεων, καλωδιώσεων ελέγχου (control cables) και όλων των σφιχτήρων συγκράτησης.

Πριν από την αφαίρεση του κινητήρα, απαιτείται η αποστράγγιση του λιπαντικού. Συνήθως απαιτείται επίσης η αφαίρεση του καλύμματος, της έλικας, των διαφόρων controls και σωληνώσεων καθώς και του πολλαπλού αγωγού εξαγωγής (exhaust manifold), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.8 Κινητήρας πριν την αφαίρεση από το α/φος

Μετά την αφαίρεσή του, ο κινητήρας τοποθετείται σε ειδικό φορέα (κλίνη αποσυναρμολόγησης, Σχήμα 2.9).

Στη θέση αυτή απομακρύνονται αρχικά τα διαχωριστικά ελάσματα (baffles), η εισαγωγή, τα παρελκόμενα (γεννήτρια, αντλία κενού, αντλία υδραυλικού, κλπ.), οι φλάντζες προσαρμογής (rads) και τα οδηγά γρανάζια (drives). Τα παρελκόμενα αποστέλλονται συνήθως για επιθεώρηση (και πιθανή επισκευή) σε εξειδικευμένα συνεργεία. Στη συνέχεια αποσυναρμολογούνται οι κύλινδροι και τα έμβολα, και λύνεται ο στροφαλοθάλαμος.

Κατά τη διάρκεια της αποσυναρμολόγησης, τοποθετούνται διακριτικά ταμπελάκια σε κάθε κομμάτι, ενώ τα μικρά υλικά (βίδες, παξιμάδια) τοποθετούνται σε κουτιά. Τα αναλώσιμα κομμάτια (αντικατάσταση «100%») ή αυτά τα οποία πρέπει να αντικατασταθούν (έδρανα στροφαλοφόρου, τσιμούχες, κλπ.) πετιούνται. Πριν από τον καθαρισμό, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη μια προκαταρκτική επιθεώρηση των διαφόρων εξαρτημάτων, μια και αυτή μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικές με την κατάσταση του κινητήρα (διαρροές, μεταλλικές εναποθέσεις, κλπ.)



Σχήμα 2.9 Κινητήρας O-470 σε κλίση αποσυναρμολόγησης

2.3.3 Καθαρισμός

Για τον καθαρισμό των αποσυναρμολογημένων εξαρτημάτων χρησιμοποιούνται υγρά διαλύματα ή και σπρέι για την απομάκρυνση των λαδιών και των άλλων ακαθαρσιών. Το καθοριστικό θα πρέπει να είναι αποδεκτό από τον κατασκευαστή, για την αποφυγή πρόκλησης οξείδωσης σε ευαίσθητα υλικά, όπως το αλουμίνιο και το μαγνήσιο, ή ακόμη για την αποφυγή εναπόθεσης υπολειμμάτων του καθοριστικού στον κινητήρα. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι πιθανόν να απαιτείται η χρήση ειδικής συσκευής καθαρισμού (Σχήμα 2.10).

Η διαδικασία εμβάπτισμού σε καθαριστικά διαλύματα απομάκρυνσης λαδιών, ή η χρήση σπρέι, δεν είναι συνήθως επαρκής για την απομάκρυνση στερεών επικαθήσεων, οι οποίες συναντώνται σε εσωτερικές επιφάνειες. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως ειδικά διαλύματα υδρογονανθράκων, τα οποία φυσικά δεν θα πρέπει να είναι οξειδωτικά (ειδικά για το μαγνήσιο).

Η τελική φάση μπορεί να περιλαμβάνει καθαρισμό με ατμό, ψεκασμό υπό πίεση με στερεά σωματίδια (grit-blasting), κλπ. Η χρήση επίσης συρματόβουρτσας (wire brush) ή γυαλόχαρτου (#400 sand paper) ενδείκνυται σε αρκετές περιπτώσεις για τον καθαρισμό κυλίνδρων και άλλων εξαρτημάτων. Σε όλες τις φάσεις καθαρισμού θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα προστασίας, τόσο για το προσωπικό (π.χ. μάσκες κατά τις φάσεις χημικού καθαρισμού), όσο και για τυ-

χόν ευαίσθητες περιοχές των εξαρτημάτων (π.χ. κάλυψη επιφανειών συναρμογής κατά το grit-blasting).



Σχήμα 2.10 Συσκευή καθαρισμού

Ο Πίνακας 2.3 παραθέτει κατάλογο διαδικασιών χημικού και μηχανικού καθαρισμού, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία.

Έδρανα και κομβία αξόνων απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή κατά τον καθαρισμό τους, ο οποίος συνήθως γίνεται με τη χρήση γάζας εμποτισμένης με αλκοόλ (**crocus cloth moistened with mineral spirits**).

Μετά την ολοκλήρωση του καθαρισμού απαιτείται η επάλειψη των χαλύβδινων εξαρτημάτων με προστατευτικό λάδι (preservation oil), για την αποφυγή οξείδωσής τους από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Πίνακας 2.3 Διαδικασίες Καθαρισμού¹

01 ΧΗΜΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ						
Τύπος	PS No	Θέμα	Ημερ.αναθ.	Αναθ.	Τροπ.	Προσθ.
PS	01-01	VAPOR DEGREASING	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-02	ALKALINE RUST REMOVER	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-03	MILD ALKALINE CLEANING FOR ALUMINUM	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-04	STEAM CLEANING	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-05	ANODIC ALKALINE CLEANING FOR FERROUS PARTS	XX/XX/XXXX	Y	Z	V

¹Ο πίνακας παρατίθεται στην αγγλική γλώσσα, μια και είναι η επικρατούσα ορολογία, η μετάφρασή του στην ελληνική γλώσσα θα ήταν αδόκιμη και επίσης ανταποκρίνεται στις συνθήκες εργασίας του τεχνικού συντήρησης αεροσκαφών.

KΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

PS	01-06	HYDROCHLORIC ACID CLEANING OR ETCHING	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PR	01-07	NITRIC ACID DESCALING (CANCELLED AND REPLACED BY PS-01.23)	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PR	01-08	STRIPPING & DEOXIDIZING (CANCELLED)	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-09	SOLVENT CLEANING	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PR	01-10	CARBON REMOVER - PAINT STRIPPING (HOT TANK CLEANER) (CANCELLED)	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-11	CARBON & PAINT REMOVER (COLD TANK)	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-12	PAINT STRIPPING (POLYURETHANE - EPOXY)	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-13	ALKALINE DESCALING SYSTEM	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PR	01-14	ALKALINE DESCALING SOLUTION SPECIFICATION MIL-D-26549 (USAF) (CANCELLED AND REPLACED BY PS-01.13)	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PR	01-15	ALKALINE PERMANGANATE SOLUTION (CANCELLED AND REPLACED BY PS-01.13)	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PR	01-16	PHOSPHORIC ACID DESCALING (CANCELLED AND REPLACED BY PS-01.13)	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-17	WATER RINSING	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PR	01-18	CLEANING AND PICKLING METHODS FOR MAGNESIUM AND MAGNESIUM ALLOYS (CANCELLED)	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-19	PAINT REMOVAL ON ALUMINUM AND ALUMINUM ALLOYS (ARDROX 29 AND ARDROX 6025)	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-20	CLEANING - DEOXIDIZING - ETCHING OF ALUMINUM & ALUMINUM ALLOYS	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PR	01-21	PASSIVATION OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL BEFORE SOLUTION. HEAT TREAT FOR SNECMA	XX/XX/XXXX	Y	Z	V

		FLAPS (CANCELLED)				
PR	01-22	ALUMINUM BRIGHTENER (CANCELLED)	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
PS	01-23	CLEANING - DESCALING - ETCHING OF TITANIUM ALLOYS	XX/XX/XXXX	Y	Z	V
02	ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ					
Τύπος	PS No	Θέμα	Ημερ.αναθ.	Αναθ.	Τροπ.	Προσθ.
PS	02-01	DRY ABRASIVE BLASTING/ CLEANING	XX/XX/XXXX	Y	Z	Z
PS	02-02	WET ABRASIVE BLASTING/ CLEANING	XX/XX/XXXX	Y	Z	V

2.3.4 Επιθεώρηση (Μη καταστροφικοί έλεγχοι, έλεγχος διαστάσεων)

2.3.4.1 Οπτική επιθεώρηση

Βασικός παράγοντας για την υπεύθυνη και επιτυχή ολοκλήρωση μιας γενικής επι-σκευής είναι ο εξονυχιστικός έλεγχος όλων των εξαρτημάτων του κινητήρα. Κατά τη φάση της οπτικής επιθεώρησης, ο τεχνικός ελέγχει κάθε κομμάτι σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Τα εγχειρίδια εντοπίζουν περιοχές υψηλού κινδύνου και κάνουν αναφορές στους αναμενόμενους τύπους φθορών και συνήθως παρέχουν τα **αποδεκτά (serviceable)** και / ή **επισκευάσιμα (repairable)** όρια. Είναι λοιπόν απαραίτητο για τον τεχνικό, να έχει κατανοήσει πλήρως τις μορφές των ζημιών, οι οποίες συναντώνται στον κινητήρα, αλλά και τους όρους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την περιγραφή τους (Πίνακας 2.4).

Η οπτική επιθεώρηση είναι εύκολα πραγματοποιήσιμη, ανέξοδη και δεν απαιτεί (κατά κανόνα) ειδικό εξοπλισμό. Απαιτεί βεβαίως καλή όραση, φωτισμό και καθαρισμό της επιφάνειας προς επιθεώρηση. Οι τρόποι καθαρισμού περιλαμβάνουν καθαρισμό με πανί, grit-blasting, χημικό καθαρισμό κλπ. Η οπτική επιθεώρηση μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω με τη χρήση μεγεθυντικών φακών και **ενδοσκοπίων (borescopes)**, τα οποία μπορούν να συνδυασθούν με οθόνες τηλεόρασης ή βίντεο.

Πίνακας 2.4 Τύποι φθορών¹

ABRASION	A wearing, grinding, or rubbing away of small amounts of material. Surface finish may be smooth or rough.
BLISTER	A raised portion of a surface caused by separation of outer layers of parent material or of a coating applied to parent material.
BRINELLING	Often related to ball and roller bearings having been improperly installed or subjected to extremely high shock or impact loads at zero revolutions per minute. Usually occurs as a series of shallow depressions in load area of raceway.
BRITTLE	A change in resiliency of parent material, usually due to aging, extreme heat, extreme cold, chemical action, or cold working (metal).
BURN	A rapid, destructive, oxidizing action usually caused by higher temperatures than parent material can structurally withstand. Change in color and appearance often indicates this condition.
BURR	A rough edge or sharp protrusion on the edge or surface of the parent material.
CHAFING	A rubbing action between parts having limited relative motion (as in vibration).
CHIP	A breaking away of edge of parent material, usually caused by heavy impact from a foreign object.
COKING	An accumulation of carbon.
CORROSION	The gradual conversion of material to another compound due to chemical attack. It appears as a mass of small pits due to the loss of formed compound from affected surface, which cumulatively creates a cavity (usually shallow) in surface of parent material.
CRACK	A parting of parent material.
DEFORMATION	A change in original shape or dimension of a body resulting from stress.
DENT	A completely smooth surface depression caused by pressure or impact from a smooth ball-like foreign object. Parent material is displaced, but usually none is separated.
EROSION	The gradual wearing away of material caused by hot flow of gases, or foreign particles. An eroded surface may appear similar to a corroded surface.
FLAKE	A thin chiplike or scalelike layer of metal.
FRETTING	Wear, in a rippled pattern, caused by friction.
FROSTING	A gray or dull area around active surface of bearing races, varying in width and length.

¹ Ο πίνακας παρατίθεται αρχικά στην αγγλική γλώσσα, μια και είναι η επικρατούσα ορολογία και επίσης ανταποκρίνεται στις συνθήκες εργασίας του τεχνικού συντήρησης αεροσκαφών. Ακολουθεί η μετάφρασή του στην ελληνική γλώσσα.

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

GALL	A defect caused by movement of two surfaces in contact with each other. In most cases an accumulation of foreign material is deposited on parent material.
GOUGE	A wide, rough scratch or group of scratches, usually with one or more sharply impressed corners, and frequently accompanied by deformation or removal of parent material.
GROOVE	A long, narrow, continuous cavity or impression caused by pressure of a moving surface in contact with parent material.
HIGH METAL	A defect caused by two parts contacting each other.
IMBALANCE	The state of being out of balance. An unequal distribution of weight about the axis of rotation.
LOOSE	Abnormal movement of a part.
MISALIGNED	A mismatching or malformation of any parts that either prevents perfect assembly or results in faulty operation and/or ultimate part failure.
MISSING PIECE	Removal or loss of a portion of parent material due to a combination of defects or damage.
NICK	A surface impression with sharp corners or bottom, usually caused by pressure or impact from a sharp-edged foreign body. Parent material is displaced, but usually none is separated.
NOISY	An abnormal sound condition of moving parts, usually an increase in volume or a change of pitch.
OBSTRUCTED	Prevention of free flow of fluid (air, oil, fuel, water) because of foreign material in the flow-path or malformation in the flow member.
OXIDATION	A surface deterioration caused by chemical reaction between oxygen in the air and the metal surface. Attack is manifested as red rust in iron and low-alloy steels when formed at ambient temperature. Oxides which form on super alloys are complex and can be green or black depending on material composition and temperature at which it is formed.
PICKUP	Transfer of one material into or upon the surface of another, caused by contact between moving parts or deposits of molten material on a cooler material.
PINCHED	Distortion of one or more surfaces of parent material, caused by pressure.
PIT	A minute depression or cavity, with no sharp high stress corners in surface of material. Pits are usually caused by chemical reaction (rusting, chemical corrosion).
RUB	A surface cavity or impression caused by two surfaces moving against each other.
SCORING	Deep scratches

SCRAPING	Circumferential bands on ball bearings with a coarse grinding appearance and discoloration.
SCRATCH	A long, narrow sharp-cornered impression caused by movement of a sharp object across surface of parent material.
SCUFF	A surface roughened by wear.
SEIZURE	A welding or binding of two surfaces that prevents further movement.
SHEET-METAL DENT	A large-area smooth depression in parent material.
SHINGLING	The effect of two adjacent surfaces overlapping, usually caused by wear to one edge of adjoining planes.
SPALL	Broken or crushed material due to heat, mechanical, or structural causes. Chipping edge of adjoining planes.
SPLATTER	To strike with a shower of small particles. To splash with small particles so as to stain. Adherence of foreign material.
SULFIDATION	A form of hot corrosion in heat resistant alloys by reaction of metal surface with sodium chloride (sea air) and sulfur (from the fuel). Attack usually occurs over a broad front and can be identified as gray to black blisters (early stage) or surface delamination (advanced stage).
TEAR	A physical separation, pulling apart, or wrenching of metal which can be caused by impact damage.
WEAR	Relatively slow removal of parent material from any cause, frequently not visible to the naked eye.

ABRASION	ΑΠΟΘΕΣΗ: είδος φθοράς όπου παρατηρείται απώλεια μικρής ποσότητας υλικού. Η υφή της επιφάνειας είναι λεία ή τραχειά.
BLISTER	ΦΟΥΣΚΩΜΑ: τμήματα υλικού «ξεφλουδίζουν». Συμβαίνει κατά την αποκόλληση των εξωτερικών στρωμάτων του υλικού ή του επιστρώματος που τυχόν έχει εφαρμοστεί σε αυτό.
BRINELLING	Φθορά που συναντάται συχνά στα έδρανα κύλισης τα οποία έχουν τοποθετηθεί λανθασμένα ή έχουν υποστεί εξαιρετικά μεγάλη κρουστική καταπόνηση χωρίς να λειτουργούν. Συνήθως έχει τη μορφή διαδοχικών καταπονήσεων (κρατήρων) στην περιοχή φορτίου του δρομέα.
BRITTLE	ΨΑΘΥΡΟΤΗΤΑ: μεταβολή της ελαστικότητας (ευκαμψίας) ενός υλικού η οποία μπορεί να προέρχεται από γήρανση, έκθεση σε υπερβολικές χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες, χημική αντίδραση ή ψυχή κατεργασία (αν πρόκειται για μεταλλικό υλικό).
BURN	ΚΑΨΙΜΟ: ταχύτατο, καταστροφικό, οξειδωτικό φαινόμενο το οποίο οφείλεται σε έκθεση του υλικού σε υψηλότερες από την αντοχή του θερμοκρασίες. Πολύ συχνά συνοδεύεται από αλλαγή στο χρωματισμό του υλικού.
BURR	ΓΡΕΖΙ: μία προεξοχή στην επιφάνεια του υλικού.

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

CHAFING	Είδος φθοράς η οποία έχει τη μορφή γδαρσίματος και απαντάται, συνήθως, μεταξύ εξαρτημάτων που βρίσκονται σε σχετική κίνηση μεταξύ τους.
CHIP	PINΙΣΜΑ: αποκομμένο τμήμα υλικού, το οποίο προκαλείται από μεγάλο κρουστικό φορτίο με ξένο σωματίδιο.
COKING	Επικάθηση άνθρακα σε μία επιφάνεια.
CORROSION	ΔΙΑΒΡΩΣΗ: η βαθμιαία μετατροπή της χημικής δομής του υλικού εξαιτίας χημικής επίδρασης. Εμφανίζεται με τη μορφή μικρών κοιλωμάτων, στην επιφάνεια του εξαρτήματος, τα οποία συνεχώς διευρύνονται.
CRACK	ΡΩΓΜΗ.
DEFORMATION	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ: η αλλαγή της μορφής ή των διαστάσεων ενός εξαρτήματος ως συνέπεια της εφαρμογής τάσης.
DENT	Κοιλότητα-εσοχή: μία μικρή κοιλότητα στην επιφάνεια του εξαρτήματος που προκαλείται με την εφαρμογή φορτίου από ξένο αντικείμενο σφαιρικού σχήματος. Συνήθως, δεν προκαλείται αποκόλληση υλικού.
EROSION	ΔΙΑΒΡΩΣΗ: προκαλείται από την έκθεση του εξαρτήματος σε θερμά ρευστά. Συχνά, η μορφή της είναι όμοια με τη μορφή της διάβρωσης CORROSION.
FLAKING	ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ: η αποκόλληση ενός πολύ λεπτού στρώματος υλικού.
FRETTING	Είδος φθοράς που εμφανίζεται σε υλικό με κυματοειδή μορφή και οφείλεται σε φαινόμενα τριβής.
FROSTING	Μία θαμπή περιοχή στο δρομέα του τριβέα.
GALL	Μία φθορά που προέρχεται από τη σχετική κίνηση μεταξύ δύο επιφανειών που έρχονται σε επαφή. Στις περισσότερες περιπτώσεις παρατηρείται επικάθηση ξένου υλικού στην επιφάνεια του εξαρτήματος.
GOUGE	Μία ή περισσότερες βαθιές αμυχές (scratches) η οποία συχνά συνοδεύεται από παραμόρφωση ή απώλεια υλικού.
GROOVE	ΑΥΛΑΚΩΣΗ: μία μακριά, συνεχής κοιλότητα που οφείλεται στην καταπόνηση από κινούμενη επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το εξάρτημα.
HIGH METAL	Φθορά που προέρχεται από την επαφή δύο επιφανειών.
IMBALANCE	ΑΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΑ: η κατάσταση κατά την οποία παρατηρείται έλλειψη ζυγοστάθμισης (μία ανομοιόμορφη κατανομή βάρους αναφορικά με τον άξονα περιστροφής).
LOOSE	Η κατάσταση κατά την οποία ένα εξάρτημα βρίσκεται ασύνδετο από τα μέρη με τα οποία συνδέεται.
MISALIGNED	Η κατάσταση κατά την οποία δεν επιτυγχάνεται η ευθυγράμμιση δύο μερών και αποτρέπει την καλή σύνδεσή τους.

MISSING PIECE	Η αποκόλληση ενός τμήματος από το υλικό ενός εξαρτήματος.
NICK	ΕΓΚΟΠΗ: μία επιφανειακή ατέλεια η οποία προέρχεται από την καταπόνηση από ξένο σώμα με αιχμηρές ακμές. Παρατηρείται μετακίνηση υλικού, αλλά όχι αποκόλλησή του.
NOISY	ΘΟΡΥΒΟΣ.
OBSTRUCTED	Εμπόδιο στην ελεύθερη ροή ενός ρευστού (αέρα, λαδιού, καυσίμου, νερού) εξαιτίας της παρουσίας ξένου σώματος ή της ανώμαλης ελεύθερης επιφάνειας του εξαρτήματος.
OXIDATION	ΟΞΕΙΔΩΣΗ: μία επιφανειακή ανωμαλία που προέρχεται από τη χημική αντίδραση μεταξύ οξυγόνου και μεταλλικής επιφάνειας. Έχει τη μορφή κόκκινης σκουριάς όταν εμφανίζεται σε σιδηρούχα υλικά, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σε κράματα παίρνει πράσινο ή μαύρο χρωματισμό, ανάλογα με τη σύσταση του κράματος και τη θερμοκρασία που επικρατεί.
PICKUP	Μεταφορά υλικού από μία επιφάνεια σε μία άλλη κατά την επαφή δύο κινούμενων μερών ή από κατακαθίσεις.
PINCHED	Παραμόρφωση της επιφάνειας του εξαρτήματος εξαιτίας της εφαρμογής υπερβολικών τιμών πίεσης.
PIT	Μία μικρή εσοχή - κοιλότητα χωρίς αμβλείες άκρες. Οφείλεται συνήθως σε χημική αντίδραση.
RUB	Μία επιφανειακή κοιλότητα που οφείλεται στην κίνηση δύο επιφανειών και την τριβή που αναπτύσσεται.
SCORING	Βαθιές αμυχές
SCRAPING	ΑΠΟΞΕΣΗ: περιφερειακές κηλίδες σε σφαιρικά έδρανα κύλισης με τραχειά επιφάνεια και σημάδια αποχρωματισμού.
SCRATCH	ΑΜΥΧΗ: μία μακριά εγκοπή η οποία οφείλεται στην κίνηση ενός αντικειμένου με αμβλύ σχήμα στην επιφάνεια του εξαρτήματος.
SCUFF	Εκτράχυνση της επιφάνειας λόγω φθοράς.
SEIZURE	Η σύνδεση δύο επιφανειών (με συγκόλληση ή άλλη μέθοδο) για την παρεμπόδιση της περαιτέρω κίνησής τους.
SHEET-METAL DENT	Μία μεγάλη περιοχή μικρού βαθμού παραμόρφωσης.
SHINGLING	Η επικάλυψη ενός υλικού από ένα άλλο που βρίσκεται σε γειτονικό του επίπεδο.
SPALL	Υλικό που έχει υποστεί θραύση από μηχανική ή θερμική αιτία.
SPLATTER	Η εφαρμογή πίεσης από δέσμη στερεών σωματιδίων. Συνοδεύεται από επικάλυψη ξένου υλικού.
SULFIDATION	ΘΕΙΟΠΟΙΗΣΗ: Μία μορφή θερμής διάβρωσης σε κράματα θερμικής αντοχής με την αντίδραση μεταλλικής επιφάνειας σε περιβάλλον άλατος και θείου (που προέρχεται από καύσιμο).
TEAR	ΣΧΙΣΙΜΟ
WEAR	Φθορά που δρα με πολύ αργό ρυθμό, προκαλεί αποκόλληση υλικού και, συχνά, δεν είναι ορατή με γυμνό μάτι.

2.3.4.2 Μη καταστροφικοί έλεγχοι

Μετά το τέλος της οπτικής επιθεώρησης, τα κύρια (και κρίσιμα) κομμάτια του κινητήρα υπόκεινται σε πρόσθετους (μη καταστροφικούς) ελέγχους, για να εντοπιστούν ρωγμές, οι οποίες συνήθως είναι αδύνατο να πιστοποιηθούν με γυμνό μάτι, ή ακόμη και κάποιο κοινό μεγεθυντικό φακό. Οι συνηθέστερες μέθοδοι μη καταστροφικού ελέγχου είναι η μαγνητική επιθεώρηση, η επιθεώρηση με φωσφορίζον ή έγχρωμο υγρό, η σκηνογραφία, η επιθεώρηση με δινορεύματα και οι υπέρηχοι.

2.3.4.2.1 Μαγνητική επιθεώρηση (Magnetic Particle Inspection - MPI)

Πρόκειται για το συνηθέστερο τρόπο επιθεώρησης, όσον τουλάχιστον αφορά τα σιδηρούχα (μαγνητιζόμενα) υλικά (Σχήμα 2.11). Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ρωγμών, αλλά και πιθανών προσμειξεων, οι οποίες είχαν πραγματοποιηθεί κατά τη χύτευση του κομματιού.



Σχήμα 2.11 Συσκευή μαγνητικής επιθεώρησης

Η μέθοδος της **μαγνητικής επιθεώρησης** χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό «επιφανειακών» ή «σχεδόν επιφανειακών» ατελειών σε μαγνητιζόμενα υλικά, όπως ο χάλυβας και ο σίδηρος.

Η μέθοδος βασίζεται στο γεγονός ότι το μαγνητικό πεδίο διαταράσσεται από την παρουσία ατελειών στο επιθεωρούμενο εξάρτημα. Με τον τρόπο αυτό γίνεται αντιληπτή η ατέλεια: Μία ρωγμή εντοπίζεται από τη μεταβολή της μαγνητικής ροής, η οποία προκαλείται από την εναπόθεση μεταλλικών σωματιδίων στην υπό εξέταση περιοχή. Ο τρόπος εφαρμογής του μαγνητικού πεδίου μπορεί να διαφέρει, η αρχή όμως λειτουργίας είναι η ίδια.

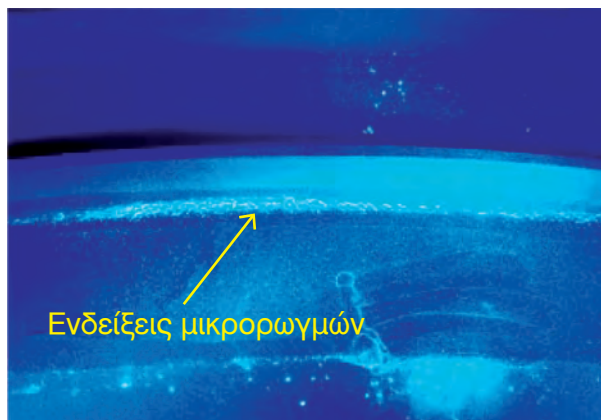
Τα **μεταλλικά σωματίδια** βρίσκονται συνήθως σε κάποιο υγρό, **φωσφορίζον** ή **έγχρωμο**. Η μαγνητική επιθεώρηση εντοπίζει κυρίως επιφανειακές ατέλειες. Η αποτελεσματικότητά της μειώνεται γρήγορα σε πιο βαθιές ατέλειες.

Η προετοιμασία της προς επιθεώρηση επιφάνειας πρέπει να είναι προσεκτική: χαραγματιές ή άλλες επιφανειακές ανωμαλίες μπορεί να παράσχουν εσφαλμένες ενδείξεις.

2.3.4.2.2 Επιθεώρηση με διεισδυτικά υγρά (Penetrant Inspection)

Η επιθεώρηση με **διεισδυτικά υγρά** είναι μία μέθοδος μη καταστροφικού ελέγχου, η οποία χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ρωγμών, πόρων ή άλλων ελαττωμάτων. Τα ελαττώματα αυτά θα πρέπει να είναι «ανοικτά» στην επιφάνεια. Η μέθοδος χρησιμοποιείται σε μαγνητιζόμενα και μη υλικά.

Η μέθοδος βασίζεται στην αρχή του τριχοειδούς φαινομένου. Η προς επιθεώρηση επιφάνεια καλύπτεται με **διεισδυτικό υγρό (penetrant)**, χαμηλού ιξώδους και χαμηλής επιφανειακής τάσης. Το υγρό απορροφάται (λόγω του τριχοειδούς φαινομένου) σε κάθε ασυνέχεια, η οποία είναι βέβαια ανοικτή στην επιφάνεια. Το υγρό θα πρέπει να παραμείνει σε επαφή με το κομμάτι για το χρονικό διάστημα που απαιτείται από τον κατασκευαστή (dwell time), το οποίο εξαρτάται από το μέγεθος και τη μορφή των ρωγμών ή γενικότερα ασυνεχειών, τις οποίες αναζητούμε. Στη συνέχεια, το διεισδυτικό υγρό που περισσεύει καθαρίζεται και η επιφάνεια καλύπτεται με **εμφανιστικό υγρό (developer)**. Το εμφανιστικό υγρό «τραβάει» το διεισδυτικό προς την επιφάνεια, δημιουργώντας έτσι ορατά ίχνη (Σχήμα 2.12).

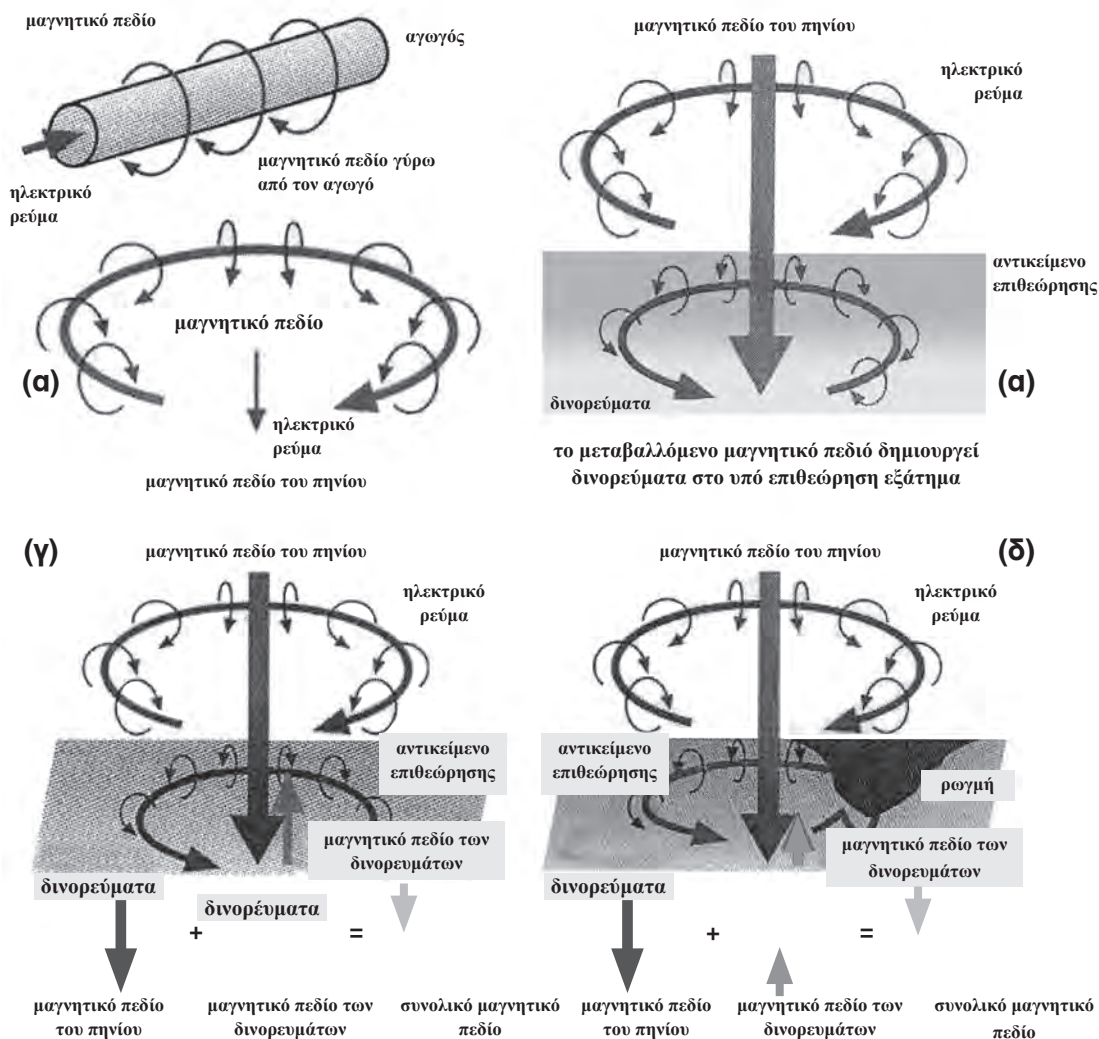


Σχήμα 2.12 Επιθεώρηση FPI

Το διεισδυτικό υγρό μπορεί να είναι **φωσφορίζον (fluorescent)** ή **έγχρωμο**. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιείται **υπεριώδες φως (ultra violet)** για την επιθεώρηση, το οποίο καλείται επίσης **μαύρο φως (black light)**, και οι ασυνέχειες εμφανίζονται σαν πράσινες γραμμές. Στην περίπτωση των έγχρωμων υγρών, οι ασυνέχειες εμφανίζονται σαν κόκκινες γραμμές (με λευκό εμφανιστικό υγρό).

2.3.4.2.3 Επιθεώρηση με δινореύματα (Eddy Current Inspection)

Η **επιθεώρηση με δινореύματα** βασίζεται στις αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού και χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε αγώγιμα υλικά. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ρωγμών αλλά και άλλων ατελειών στο υλικό (π.χ. μεταβολές πρώτης ύλης).



Σχήμα 2.13 Ανίχνευση ρωγμής με δινορεύματα: (α) Μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου και κυκλικού αγωγού, (β) Δημιουργία δινορευμάτων, (γ) Εξάρτημα χωρίς ρωγμή, (δ) Εντοπισμός ρωγμής

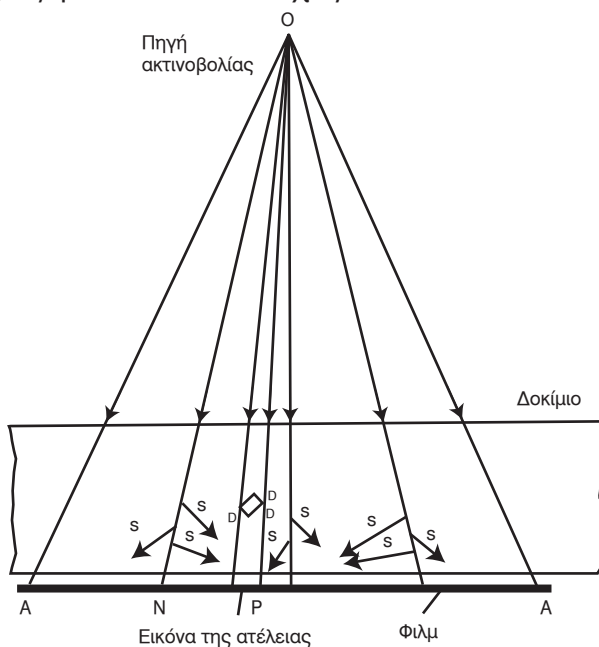
Όταν ένα πηνίο, το οποίο βρίσκεται υπό τάση, προσεγγίσει ένα μεταλλικό αντικείμενο, προκαλεί τη δημιουργία δινορευμάτων σε αυτό. Αυτά με τη σειρά τους, δημιουργούν μαγνητικό πεδίο, το οποίο είναι αντίθετης φοράς με αυτό του πηνίου.

Ως εκ τούτου, η σύνθετη αντίσταση του πηνίου επηρεάζεται από την ανάπτυξη των δινορευμάτων.

Όταν τα δινορεύματα μεταβληθούν, εξαιτίας της παρουσίας ατελειών, ή αλλαγής υλικού, **το συνολικό μαγνητικό πεδίο αλλάζει** (Σχήμα 2.13). Η μεταβολή αυτή μετριέται, παρέχοντας έτσι πληροφορίες για τον τύπο και το μέγεθος της ατέλειας.

2.3.4.2.4 Ακτινογραφία

Οι **ακτίνες X (X-rays)** και **γ (gamma rays)** είναι ακτινοβολία ηλεκτρομαγνητικής φύσης ορισμένου μήκους κύματος, με την ιδιότητα να διεισδύουν στα υλικά. Ένα μέρος των ακτίνων διαπερνά το υλικό και αποτυπώνεται σε φιλμ, δημιουργώντας μια εικόνα της εσωτερικής δομής του (Σχήμα 2.14). Αν σε κάποιο σημείο υπάρχει ρωγμή, αυτό θα φανεί στο φιλμ, εξαιτίας της διαφορετικής απορρόφησης της ακτινοβολίας, που διαπέρασε το τμήμα που περιείχε το κενό. Η επιλογή μεταξύ των ακτίνων, εξαρτάται από το πάχος του υλικού που ελέγχεται.



Σχήμα 2.14 Εντοπισμός ατέλειας υλικού με ακτινογραφία

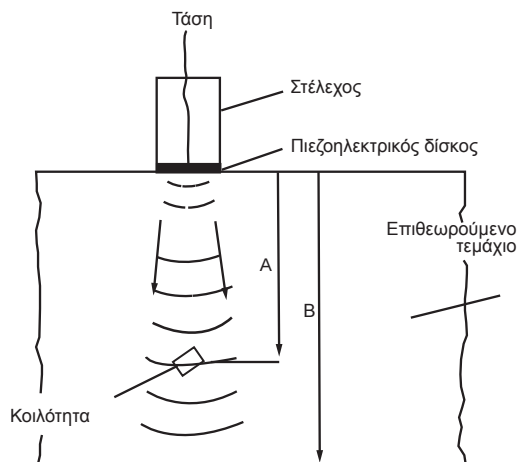
Λόγω της φύσης των ακτίνων, αποτελούν κίνδυνο για την υγεία του ανθρωπίνου σώματος. Είναι λοιπόν απαραίτητο να λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις και μέτρα για την πρόληψη επιβλαβών επεισοδίων.

2.3.4.2.5 Υπερήχοι (Ultrasonic Inspection)

Η μέθοδος των **υπερήχων** βασίζεται στη διάδοση ηχητικών σημάτων υψηλής συχνότητας διά μέσου του αντικειμένου που πρόκειται να εξετασθεί. Τα ηχητικά αυτά σήματα είναι παλμοί, οι οποίοι παράγονται από **πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους**. Η άσκηση τάσης (θλιπτικής ή εφελκυστικής) στον κρύσταλλο προκαλεί την ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού στα άκρα του. Αντίθετα, η εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης στα άκρα του κρυστάλλου, τον παραμορφώνει.

Κατά τη μετάδοση των παλμών από τον **εκπομπό (transmitter)** μέσα στο υλικό, η έντασή τους μειώνεται, ενώ ένα μέρος της ενέργειάς τους διαχέεται και ένα άλλο ανακλάται. Αυτή η ανάκλαση, ή διάχυση της ενέργειας των ηχητικών παλμών, ανιχνεύεται από ένα **δέκτη (receiver)** που είναι και αυτός πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος (Σχήμα 2.15). Το χρονικό διάστημα, που μεσολάβησε μεταξύ των δύο μετρήσεων, είναι μία ένδειξη του μεγέθους της ασυνέχειας από την επιφάνεια, ενώ η διαφορά της ενέργειας είναι ένδειξη του μεγέθους της ασυνέχειας.

Πρόκειται για περίπλοκη μέθοδο, η οποία απαιτεί καλή εκπαίδευση του επιθεωρητή.



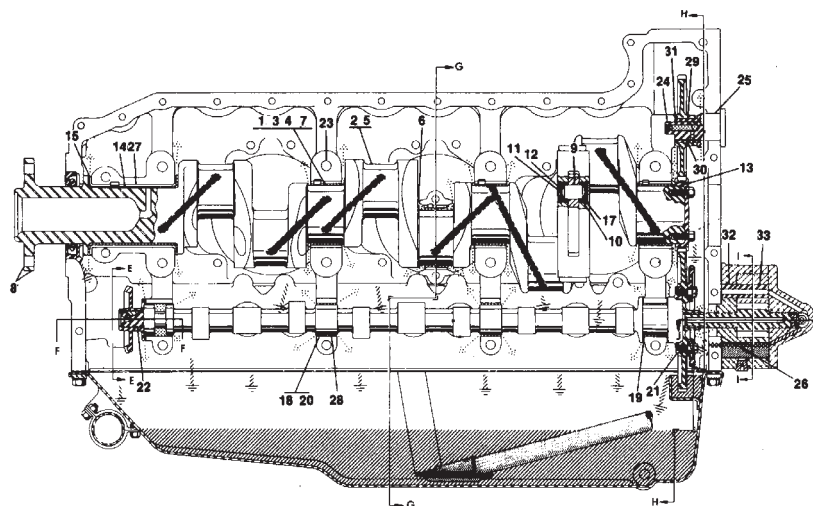
Σχήμα 2.15 Επιθεώρηση με υπερήχους

2.3.4.3 Διαστατικοί έλεγχοι

Ο διαστατικός έλεγχος κάθε εξαρτήματος, πραγματοποιείται σε κάποιες (ή και σε όλες) από τις ακόλουθες φάσεις:

- στην αρχή των επιθεωρήσεων, για τον έλεγχο της κατάστασης του κομματιού και την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τη δυνατότητα περαιτέρω χρήσης του ως έχει, κατόπιν επισκευής ή την απόρριψή του,
- στο τέλος των επισκευών, για την πιστοποίηση της αποδεκτής κατάστασης του κομματιού,

- κατά τη διάρκεια των επισκευών, για τον έλεγχο της πορείας της επι-
σκευής.



REF. NO.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ DESCRIPTION	SERVICE LIMIT	NEW PARTS	
			MIN.	MAX.
	CRANKSHAFTS	ΟΡΙΑ ΕΥΧΡΗΣΤΟΤΗΤΑΣ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΟΧΕΣ	
1	Crankshaft in main bearings (tri-metal) diameter	0.006 L ①	0.0018 L	0.0047 L
2	Crankpins, out-of-round	0.0015 ①	0.000	0.0005
3	Main journals, out-of-round	0.0015 ①	0.000	0.0005
4	Crankshaft main and thrust journals, dia.	2.372 ①	2.374	2.375
5	Crankpins, diameter	2.247 ①	2.249	2.250
6	Connecting rod on crankpin, end clearance	0.016	0.006	0.010
7	Taper over full crankshaft, bearing length	0.0015	0.000	0.0005
7	Crankshaft run-out at center main journals, (Shaft supported at thrust and rear, full indicator reading	0.015	0.000	0.015
8	Crankshaft wobble at propeller flange when supported at front and rear main journals, full indicator reading	0.005	0.000	0.005
9	Damper Pin Bushing in crank cheek extension, diameter		0.0015 T	0.003 T
10	Damper pin bushing in counterweight, dia.		0.0015 T	0.003 T
11	Damper pin in counterweight, end clearance	0.040	0.001	0.029
12	Pin retaining plate in counterweight, dia.	0.005 L	0.0005 T	0.0025 L
13	Crankshaft gear on crankshaft, dia.		0.000	0.002 T
14	Crankshaft in front bearing, diameter.	0.005 L	0.0001 L	0.0021 L
14	Crankshaft in front bearing, diameter.	0.006 L	0.0009 L	0.0039 L
15	Crankshaft in thrust bearing, end clearance	0.025	0.004	0.016
16	Oil transfer sleeve in crankcase, dia.		0.0005 L	0.002 L
16	Oil transfer collar on crankshaft, dia.	0.0018	0.0006 L	0.0013 L
16	Sleeve in oil transfer collar, dia.		0.0005 L	0.002 L
17	Damper pin bushing bore in counterweight and crankshaft extension, diameter	0.6265	0.622	0.626

Σχήμα 2.16 Διαστατική επιθεώρηση στροφαλοφόρου άξονα (Teledyne IO-470
Overhaul Manual) – οι διαστάσεις είναι σε ίντσες

Η μετρούμενη διάσταση συγκρίνεται με τα αποδεκτά όρια ευχρηστότητας (serviceable limits), τα οποία θέτει ο κατασκευαστής στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κινητήρα (Σχήμα 2.16). Το εγχειρίδιο περιέχει συνήθως και τα κατασκευαστικά όρια του κομματιού.

Ιδιαίτερα συνηθισμένη στα εγχειρίδια γενικής επισκευής είναι η παροχή ορίων για διάκενα (clearances) μεταξύ κομματιών και όχι για τις διαστάσεις των κομματιών (Σχήμα 2.16). Σε αυτές τις περιπτώσεις, το όριο του διακένου (συνήθως μεταξύ κυλινδρικών επιφανειών) μπορεί να συνοδεύεται από τα γράμματα "L" (Loose-ελεύθερο) ή "T" (Tight-σφιχτό). Το γράμμα "L" υποδηλώνει, ότι η εσωτερική διάμετρος είναι μικρότερη της εξωτερικής και συνεπώς η συναρμολόγηση γίνεται εύκολα. Στην περίπτωση σφιχτής συναρμογής ("T") η εσωτερική διάμετρος είναι μεγαλύτερη της εξωτερικής. Σε αυτήν την περίπτωση η συναρμολόγηση απαιτεί ειδικές διαδικασίες (π.χ. ψύξη του «αρσενικού» κομματιού με τη χρήση ξηρού πάγου).

2.3.5 Συναρμολόγηση

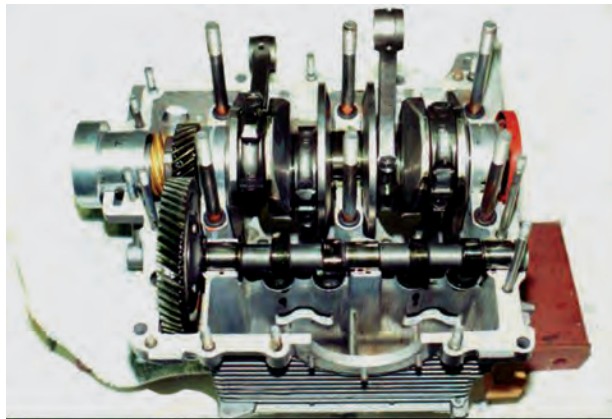
Η φάση της συναρμολόγησης ακολουθεί μετά την ολοκλήρωση της επιθεώρησης και πιθανής επισκευής ή αντικατάστασης των διαφόρων εξαρτημάτων. Όπως και σε κάθε άλλη περίπτωση, θα πρέπει να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες του κατασκευαστή. Περιγράφονται στη συνέχεια, συνοπτικά, ορισμένες γενικές πρακτικές, οι οποίες εφαρμόζονται κατά τη συναρμολόγηση των κυρίων κομματιών του κινητήρα.

2.3.5.1 Στροφαλοθάλαμος

Εφαρμόζεται ελαφριά επίστρωση ειδικής στεγανοποιητικής ουσίας (π.χ. Locktite 515) στις επιφάνειες συναρμογής των δύο τμημάτων του στροφαλοθάλαμου. Αφού προετοιμασθεί κατάλληλα ο στροφαλοφόρος άξονας (γρασάρισμα / λίπανση) τοποθετείται στο κάτω τμήμα του στροφαλοθάλαμου (Σχήμα 2.17). Αφού ελεγχθεί η σωστή θέση του άξονα αναφορικά με τις επιφάνειες συναρμογής του θαλάμου, τοποθετείται και το άνω μέρος του στροφαλοθάλαμου και σφίγγονται οι απαραίτητες βίδες (φυσικά ροπομετρούμενες).

2.3.5.2 Κύλινδροι

Κατά την προσαρμογή των κυλινδρών στις κυλινδροκεφαλές είναι συνήθης πρακτική να πραγματοποιείται επιφανειακή κατεργασία (π.χ. λείανση - lapping) για τη διασφάλιση της καλής στεγανοποίησης και την αποφυγή διαφυγής καυσαερίων (Σχήμα 2.18).



Σχήμα 2.17 Κάτω τμήμα στροφαλοθάλαμου

Για την τοποθέτηση των βαλβίδων στους κυλίνδρους, είναι απαραίτητο να λιπαίνονται τα στελέχη τους, με το προδιαγεγραμμένο από τον κατασκευαστή, λιπαντικό. Οι βαλβίδες τοποθετούνται στους οδηγούς και στη συνέχεια, με τη χρήση κατάλληλου εργαλείου, εισάγονται τα ελατήρια και οι συγκρατητές γύρω από κάθε στέλεχος. Τα ελατήρια συμπιέζονται (με τη χρήση εργαλείου) και τοποθετούνται οι ασφάλειες (valve keeper keys). Εφαρμόζονται τέλος τα στεγανοποιητικά βάσης (cylinder base seal) και τα πτερύγια ψύξης ή τα διαχωριστικά ελάσματα, εφόσον δεν παρεμποδίζουν τις περαιτέρω διαδικασίες συναρμολόγησης.



Σχήμα 2.18 Προσαρμογή κυλίνδρου σε κυλινδροκεφαλή

2.3.5.3 Έμβολα και δακτύλιοι

Πριν από την τοποθέτηση των εμβόλων στους κυλίνδρους, είναι πολύ σημαντικό να γίνεται αντιστοίχιση μεταξύ εμβόλων και δακτυλίων (Σχήμα 2.19). Η σκληρότητα των δακτυλίων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει αυτή των εμβόλων (π.χ. επιχρωμωμένοι δακτύλιοι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε έμβολα, τα οποία έχουν υποστεί εναζώτωση, ή είναι από σκληρό χάλυβα). Η τοποθέτηση των δακτυλίων θα πρέπει να γίνεται με τη χρήση ειδικού εργαλείου διαστολής, έτσι ώστε να απο-

φεύγονται χαραγματιές στους κυλίνδρους. Η εισαγωγή των εμβόλων στους κυλίνδρους, γίνεται με την χρήση ειδικών εργαλείων συμπίεσης των δακτυλίων.



Σχήμα 2.19 Αντιστοίχιση εμβόλων και δακτυλίων

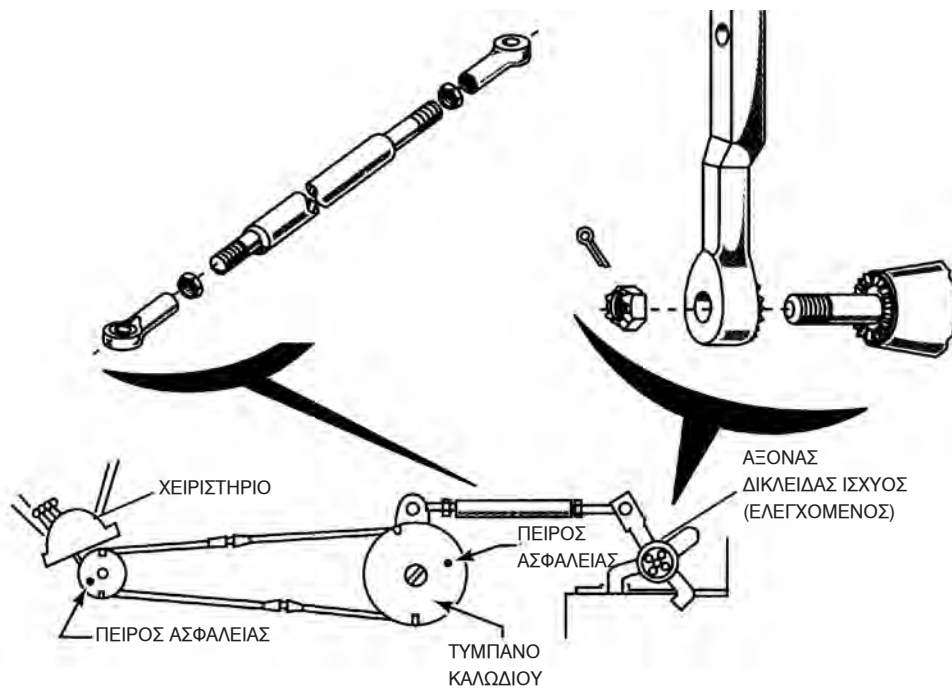
2.3.5.4 Τελική φάση

Τοποθετείται ο ελαιοσυλλέκτης στο στροφαλοθάλαμο, με τη χρήση καινούργιων παρεμβυσμάτων. Ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή, αναρτώνται το μανιατό, ο αναμεικτήρας ή το σύστημα έγχυσης καυσίμου και το σύστημα εισαγωγής. Τα λοιπά παρελκόμενα (αντλίες, γεννήτρια, κ.ά) τοποθετούνται τελευταία.

2.3.6 Ρυθμίσεις

Η γενική επισκευή του κινητήρα ολοκληρώνεται με τη δοκιμή του σε επίγειο δοκιμαστήριο και την εν συνεχεία τοποθέτησή του στο αεροσκάφος. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται η σύνδεση των καλωδιώσεων, όπως και των γραμμών καυσίμου ή λιπαντικού με αντίστοιχες αναμονές του σκάφους. Σε κάθε περίπτωση, οι εργασίες γίνονται σύμφωνα με τα τεχνικά εγχειρίδια του κατασκευαστή.

Ιδιαίτερες ρυθμίσεις απαιτούνται για τα συστήματα ελέγχου του κινητήρα, μια και αυτά μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με το αεροσκάφος στο οποίο τοποθετείται ο κινητήρας. Τυπικά μηχανικά συστήματα ελέγχου περιλαμβάνουν άξονες, συρματόσχοινα, εύκαμπτες καλωδιώσεις, τροχαλίες, κλπ. Το ζητούμενο σε κάθε περίπτωση, είναι η άμεση απόκριση του συστήματος ελέγχου στις εντολές του χειριστή. Το Σχήμα 2.20 παρουσιάζει ένα τυπικό σύστημα ελέγχου της θέσης της μανέτας. Αν και σε κάθε περίπτωση οι διάφορες ρυθμίσεις ακολουθούν τις οδηγίες του κατασκευαστή, θα πρέπει να επισημανθεί η ιδιαίτερη σημασία της στιβαρής τοποθέτησης των διαφόρων στοιχείων του συστήματος ελέγχου (συνήθως με τη χρήση κολάρων).



Σχήμα 2.20 Σύστημα ελέγχου θέσης μανέτας

2.4 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ

2.4.1 Μεθοδολογία διερεύνησης

2.4.1.1 Γενικά

Η **διερεύνηση μιας βλάβης** σε έναν αεροπορικό κινητήρα ορίζεται ως ο εντοπισμός των ενδείξεων της βλάβης και η απομόνωση της βλάβης ή των βλαβών που προκαλούν τις ενδείξεις αυτές. Από τη στιγμή που αναγνωριστεί και απομονωθεί μια βλάβη, η αποκατάστασή της είναι θέμα εργασιών αποσυναρμολόγησης και αντικατάστασης ή επισκευής του ελαττωματικού εξαρτήματος ή παρελκόμενου.

Η διερεύνηση των βλαβών που μπορεί να παρουσιάσει ένας εμβολοφόρος κινητήρας και τα παρελκόμενά του είναι μια διαδικασία που απαιτεί από το μηχανικό πολύ καλή γνώση του συγκεκριμένου τύπου κινητήρα, του τρόπου και της θεωρίας λειτουργίας αυτού και των παρελκομένων του. Με την ολοένα αυξανόμενη πολυπλοκότητα των σύγχρονων κινητήρων οι μηχανικοί χρειάζεται επίσης να έχουν την ικανότητα να χρησιμοποιούν την τεχνική βιβλιογραφία παράλληλα με τις γνώσεις και την εμπειρία τους για να εντοπίσουν μια βλάβη, θα πρέπει, επίσης, να διαθέτει αναλυτικές ικανότητες που θα του επιτρέψει να εντοπίσει την πραγματική

αιτία μιας βλάβης, ακολουθώντας μια συστηματική μέθοδο, χωρίς όμως να αποκαθιστά τη βλάβη αντικαθιστώντας εξαρτήματα ή παρελκόμενα που υποψιάζεται ότι δημιουργούν το πρόβλημα. Μια τέτοια τακτική μπορεί να αποκαταστήσει μια βλάβη, ενδέχεται όμως να μην εντοπίσει την αιτία που την προκάλεσε.

Η μεθοδολογία διερεύνησης μιας βλάβης μπορεί να συνοψιστεί στα ακόλουθα στάδια:

1. Αναγνώριση των συμπτωμάτων
2. Ερμηνεία και ανάλυση των συμπτωμάτων
3. Καταγραφή των πιθανών αιτιών που μπορούν να προκαλέσουν τη δυσλειτουργία
4. Εντοπισμός της δυσλειτουργίας
5. Απομόνωση της δυσλειτουργίας σε συγκεκριμένο σημείο ή σύστημα του κινητήρα
6. Ανάλυση της αιτίας που προκάλεσε τη βλάβη

Ας δούμε πιο αναλυτικά τις διαδικασίες που περιλαμβάνει κάθε ένα από τα παραπάνω στάδια:

2.4.1.2 Αναγνώριση των συμπτωμάτων

Βασική προϋπόθεση για να μπορέσει κάποιος να διερευνήσει μια βλάβη είναι η γνώση της κανονικής κατάστασης λειτουργίας του κινητήρα, της κατάστασης δηλαδή στην οποία αυτός δεν παρουσιάζει κάποιο πρόβλημα. Η κανονική λειτουργία μπορεί να εκτιμηθεί από έναν έμπειρο μηχανικό με την παρατήρηση στοιχείων της λειτουργίας του, όπως:

- θόρυβος
- επίπεδο των κραδασμών του κινητήρα σε διάφορες στροφές
- χρώμα των καυσαερίων
- ευκολία εκκίνησης
- ρυθμός αύξησης στροφών, κ.ά.

Στην περίπτωση που έχει προκληθεί οποιαδήποτε ανωμαλία στη λειτουργία του κινητήρα, αλλάζει και η συμπεριφορά του και συνεπώς διαφοροποιείται ο τρόπος λειτουργίας του σε σχέση με αυτόν κάτω από φυσιολογικές συνθήκες. Η διαφορά αυτή στη συμπεριφορά του κινητήρα και η διαπίστωσή της είναι και το πρώτο βήμα στη διαδικασία ανεύρεσής της.

Οι ενδείξεις των οργάνων και η διασταύρωση των ενδείξεων διαφορετικών οργάνων του κινητήρα είναι ένας δεύτερος τρόπος ελέγχου της κατάστασης του κινητήρα. Για παράδειγμα, η μη ομαλή λειτουργία του κινητήρα σε στροφές ρελαντί είναι ένα σύμπτωμα που γίνεται αντιληπτό άμεσα από την αλλαγή του θορύβου του κινητήρα, αλλά και από την πτώση, ή αύξηση των στροφών του κάτω από το ενδεδειγμένο όριο στροφών για λειτουργία σε ρελαντί.

2.4.1.3 Ερμηνεία και ανάλυση των συμπτωμάτων

Από τη στιγμή που εντοπιστεί ένα σύμπτωμα δυσλειτουργίας στον κινητήρα, το επόμενο βήμα είναι η προσπάθεια να ερμηνευτούν οι αιτίες που ενδεχόμενα το προκάλεσαν. Στη διαδικασία αυτή ο μηχανικός χρησιμοποιεί διάφορα διαγνωστικά εργαλεία όπως για παράδειγμα **αναλυτή κινητήρα (engine analyzer, Σχήμα 2.21)**, πολύμετρο, μετρητή συμπίεσης κυλίνδρων και χημική ανάλυση ελαίου, με σκοπό να μπορέσει να εκτιμήσει το μέγεθος της μεταβολής της απόδοσης του κινητήρα και των συστημάτων του. Τα εργαλεία αυτά του δίνουν τη δυνατότητα να εκτιμήσει το μέγεθος της αλλαγής σε σχέση με τα φυσιολογικά όρια λειτουργίας και να συλλέξει περισσότερες πληροφορίες για να καθορίσει περαιτέρω τα συμπτώματα.



Σχήμα 2.21 Συσκευή ανίχνευσης βλαβών συστήματος ανάφλεξης

Ο **αναλυτής κινητήρα** καταγράφει την κυματομορφή του συστήματος ανάφλεξης χαμηλής τάσης. Καταγράφονται ταυτόχρονα οι διανομές Left & Right για την

επιλεγμένη σειρά κυλίνδρων, διαδοχικά για κάθε κύλινδρο. Η ταυτοποίηση των κυλίνδρων επιτυγχάνεται είτε με την αφαίρεση ενός σπινθηριστή είτε με τη χρήση ενός επαγωγικού πηνίου. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνονται:

- i. Άμεσος εντοπισμός ανενεργών ή προβληματικών σπινθηριστών
- ii. Προσδιορισμός συγκεκριμένου σπινθηριστή, συγκεκριμένου κυλίνδρου, το κύκλωμα του οποίου οφείλει να ελεγχθεί.
- iii. Άμεσος έλεγχος του συγχρονισμού των σπινθηριστών L & R σε κάθε κύλινδρο

Η μέτρηση της συμπίεσης ενός ή περισσότερων κυλίνδρων για παράδειγμα, θα μας δώσει μια άμεση εικόνα της κατάστασης αυτών και των ελατηρίων τους και το ποσοστό της μεταβολής της πίεσης που αυτοί αναπτύσσουν. Η ανάλυση των συμπτωμάτων πρέπει να γίνει με μεθοδικό τρόπο έχοντας συλλέξει όσο γίνεται περισσότερες πληροφορίες για το συγκεκριμένο σύμπτωμα. Επιπλέον, δεν θα πρέπει να αγνοηθεί οποιαδήποτε πληροφορία, όσο ασήμαντη και αν φαίνεται σε μια πρώτη εκτίμηση, αφού η εμπειρία έχει δείξει ότι τέτοιες πληροφορίες μπορεί να οδηγήσουν στην ανίχνευση της αιτίας μιας βλάβης.

Μετά τον εντοπισμό του συμπτώματος η μεθοδολογία για την ανάλυσή τους εστιάζεται στα εξής βασικά σημεία:

- Το συγκεκριμένο σύμπτωμα παρουσιάζεται μετά από μερική ή γενική επισκευή; Παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια της πτήσης και υπάρχει σχετική παρατήρηση από τους χειριστές του αεροσκάφους;
- Τα εξαρτήματα ή συστήματα του κινητήρα που δεν λειτουργούν ομαλά.
- Το εύρος των στροφών στις οποίες παρατηρείται το σύμπτωμα. Οι στροφές του κινητήρα είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους η οποία μπορεί να καθορίσει την πηγή μιας βλάβης.
- Τα όρια των παραμέτρων που καθορίζουν την ομαλή λειτουργία του κινητήρα όπως η θερμοκρασία και η πίεση. Αν αυτές οι παράμετροι είναι εκτός ορίων τότε έχουμε σαφή επιβεβαίωση στην οποία μπορούμε να βασιστούμε για να προχωρήσουμε τη διερεύνηση.
- Τα συμπτώματα συμβαίνουν σε συνεχή βάση ή παρουσιάζονται περιστασιακά ή περιοδικά;

**Πίνακας 2.5 Ενδεικτικός πίνακας ανίχνευσης βλαβών
εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα**

Ένδειξη - Σύμπτωμα	Πιθανή Αιτία	Διορθωτική Ενέργεια
Αδυναμία εκκίνησης κινητήρα	Λανθασμένος χρονισμός ανάφλεξης	Ρυθμίστε ανάλογα
	Ελαττωματικό primer, υπερέγχυση καυσίμου ή απουσία καυσίμου	Επισκευάστε ή αλλάξτε ανάλογα
	Έλλειψη καυσίμου	Ελέγξτε την παροχή καυσίμου προς τον αναμεικτήρα
	Βρώμικες ή καμμένες επαφές του διανομέα	Καθαρίστε ή αλλάξτε πλατίνες
	Ελαττωματικός ή μη φορτισμένος συσσωρευτής	Ελέγξτε και αντικαταστήστε ή φορτίσατε
Ανάφλεξη μείγματος στο σύστημα εισαγωγής (engine backfire)	Λανθασμένη σχετική ρύθμιση μανιατό με χρονισμό κινητήρα	Ρυθμίστε ανάλογα
	Διαρροή αέρα προς το σύστημα εισαγωγής	Επισκευάστε ή αλλάξτε τα ελαττωματικά εξαρτήματα
	Μη ικανοποιητική πίεση καυσίμου	Ρυθμίστε την πίεση καυσίμου
	Η πεταλούδα του αναμεικτήρα 'κολλάει'	Αλλάξτε τον αναμεικτήρα
	Ελαττωματικοί σπινθηριστές	Ελέγξτε τους σπινθηριστές και αντικαταστήστε τους ελαττωματικούς σπινθηριστές
	Ελαττωματική καλωδίωση συστήματος ανάφλεξης	Ελέγξτε τη μόνωση της καλωδίωσης

2.4.1.4 Καταγραφή των πιθανών αιτιών που μπορούν να προκάλεσαν τη δυσλειτουργία

Μετά την αναγνώριση και ανάλυση των συμπτωμάτων μιας βλάβης, θα πρέπει να εντοπιστούν και να εξεταστούν όλες οι πιθανές αιτίες που μπορούν να το προκάλεσαν και στη συνέχεια, αποκλείοντας μια προς μια όλες τις αιτίες που δεν μπορούν να σχετιστούν με τη βλάβη, φθάνουμε στην πιο πιθανή.

Οι κατασκευαστές κινητήρων έχουν συστηματοποιήσει αυτή τη μεθοδολογία εντοπισμού βλάβης και την έχουν συμπεριλάβει στα τεχνικά εγχειρίδια συντήρησης. Η παρουσίαση γίνεται με συνοπτικό τρόπο σε πίνακα ανίχνευσης βλαβών (troubleshooting charts) με τρεις στήλες οι οποίες αναγράφουν το **σύμπτωμα**, την **πιθανή αιτία** και τις προτεινόμενες **διορθωτικές ενέργειες** (Πίνακας 2.5). Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να προχωρήσουμε στη διερεύνηση, χωρίς χρονοβόρες διαδικασίες ανάγνωσης της περιγραφής του τρόπου λειτουργίας του συγκεκριμένου κινητήρα και των συστημάτων του. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο γιατί μειώνει το χρόνο και το κόστος ανίχνευσης της βλάβης, ειδικά σε περίπτωση που πρέπει να είναι σε λειτουργία ο κινητήρας κατά τη διάρκεια του εντοπισμού αλλά και σε περιπτώσεις επιθεώρησης γραμμής πτήσεων.

2.4.1.5 Εντοπισμός της δυσλειτουργίας

Έχοντας εντοπίσει τα συμπτώματα και τις πιθανές αιτίες της βλάβης, έχουμε όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για να εντοπίσουμε την ευρύτερη περιοχή ή λειτουργικό σύστημα του κινητήρα όπως για παράδειγμα το σύστημα ανάφλεξης, το σύστημα υπερσυμπίεσης ή το σύστημα εισαγωγής που βρίσκεται η βλάβη. Και σε αυτή την περίπτωση, οι πίνακες ανίχνευσης βλαβών του κατασκευαστή είναι απαραίτητο βοήθημα για τον εντοπισμό της βλάβης.

2.4.1.6 Απομόνωση της δυσλειτουργίας σε συγκεκριμένο εξάρτημα ή παρελκόμενο του κινητήρα

Από τη στιγμή που εντοπιστεί το συγκεκριμένο σύστημα που προκαλεί το σύμπτωμα ή τη δυσλειτουργία, είναι απαραίτητες επιπλέον δοκιμές, για να απομονωθεί η βλάβη και να εντοπιστεί σε συγκεκριμένο εξάρτημα ή παρελκόμενο του κινητήρα. Σε αυτή τη φάση είναι σχεδόν απαραίτητη η χρήση εξειδικευμένων εργαλείων για τη μέτρηση ή ένδειξη της σωστής λειτουργίας του ύποπτου για τη βλάβη εξαρτήματος.

2.4.1.7 Ανάλυση της αιτίας που προκάλεσε τη βλάβη

Όταν τελικά εντοπιστεί η βλάβη σε συγκεκριμένο εξάρτημα ή παρελκόμενο, η επισκευή, ή η αντικατάστασή του δεν αποτελεί τη λύση και το τέλος της διαδικασίας διερεύνησης. Από τη στιγμή που υπάρχει αιτία που προκάλεσε τη βλάβη είναι πολύ πιθανό, αν όχι σίγουρο, ότι η βλάβη θα επαναληφθεί. Αν δεν εντοπιστεί και διορθωθεί η αιτία, θα προκληθεί και πάλι ζημιά στο επισκευασμένο ή καινούργιο ανταλλακτικό.

2.4.2 Διαδικασίες διερεύνησης βλαβών στα κύρια εξαρτήματα εμβολοφόρων κινητήρων

2.4.2.1 Γενικά

Οι βλάβες που παρουσιάζουν οι εμβολοφόροι κινητήρες μπορούν να χωριστούν σε δύο γενικές κατηγορίες:

1. Σε αυτές που οφείλονται σε αστοχίες υλικών και
2. Στις λειτουργικές αστοχίες.

Οι **αστοχίες υλικών** οφείλονται γενικά σε κόπωση των μεταλλικών εξαρτημάτων, τα οποία υφίστανται κραδασμούς πέρα κάποιων προδιαγεγραμμένων ορίων, ή σε χρήση του κινητήρα πέρα από αυτή για την οποία σχεδιάστηκε, όπως για παράδειγμα συχνή υπέρβαση του ορίου στροφών, ή συχνή λειτουργία του με μικρή ποσότητα ή λάθος τύπο λιπαντικού.

Οι **λειτουργικές αστοχίες** οφείλονται σε μη ικανοποιητική λειτουργία ή ρύθμιση εξαρτημάτων, ή συστημάτων του κινητήρα, όπως τα συστήματα καυσίμου, ανάφλεξης, λίπανσης και ψύξης. Η μερική αστοχία ενός από τα παραπάνω συστήματα μπορεί να μην προκαλέσει την άμεση και ολοκληρωτική αστοχία του κινητήρα, δημιουργεί όμως ανωμαλία στη λειτουργία του κινητήρα, ενδείξεις εκτός ορίων στα όργανά του, κραδασμούς, εξαιρετικά πλούσιο ή φτωχό μείγμα και αυταναφλέξεις.

Παρακάτω παρατίθενται οι διαδικασίες διερεύνησης βλαβών στα βασικά συστήματα ενός εμβολοφόρου κινητήρα:

2.4.2.2 Δυσκολία εκκίνησης του κινητήρα

Στην περίπτωση που δεν εκκινεί ένας εμβολοφόρος κινητήρας, οι πρώτοι έλεγχοι που πρέπει να γίνουν είναι οι εξής:

Αρχικά πρέπει να ελεγχθεί το σύστημα ανάφλεξης αρχίζοντας από τον έλεγχο του διακόπτη του συστήματος. Όλα τα αεροσκάφη έχουν διπλό σύστημα ανάφλεξης

με διακόπτη επιλογής συστήματος. Αν εξαιρέσουμε τη σπάνια περίπτωση που και τα δύο συστήματα έχουν βλάβη, μόνο ένας ελαττωματικός διακόπτης μπορεί να γειώνει και τα δύο συστήματα μέσω βραχυκυκλώματος στο διακόπτη οπότε δεν διέρχεται ρεύμα και στα δύο συστήματα.

Εάν ο κινητήρας εκκινεί με ένα από τα δύο μανιατό, τότε σε περίπτωση δυσκολίας εκκίνησης με το πρώτο μανιατό, επιλέγεται το δεύτερο. Αν έχουμε επιτυχή εκκίνηση με το δεύτερο, τότε συμπεραίνουμε ότι έχει αστοχήσει το ένα μανιατό.

2.4.2.3 Ελαττωματικοί σπινθηριστές (spark plugs)

Ο τρόπος που μπορούμε να ανιχνεύσουμε έναν ή περισσότερους ελαττωματικούς σπινθηριστές (μπουζί) είναι μέσω επιλογής συστήματος ανάφλεξης (επιλογής μανιατό). Στους εμβολοφόρους αεροπορικούς κινητήρες κάθε κύλινδρος έχει δύο σπινθηριστές οι οποίοι τροφοδοτούνται από διαφορετικό μανιατό. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε τη συνέχεια της λειτουργίας του κινητήρα σε περίπτωση αστοχίας του ενός εκ των δύο συστημάτων ανάφλεξης.

Στην περίπτωση που έχουμε έναν ή περισσότερους ελαττωματικούς σπινθηριστές εφαρμόζεται η ακόλουθη διαδικασία για τον εντοπισμό τους. Εάν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα και με τα δύο συστήματα στη θέση ON, επιλέξουμε το σύστημα το οποίο τροφοδοτεί τον ή τους ελαττωματικούς σπινθηριστές, θα παρατηρήσουμε απότομη πτώση των στροφών του κινητήρα. Με αυτό τον τρόπο ξέρουμε σε ποια από τις δύο σειρές σπινθηριστών βρίσκονται οι ελαττωματικοί.

Για να εντοπίσουμε τον κύλινδρο στον οποίο ανήκουν, (αφού έχουμε εντοπίσει τη σειρά με τον παραπάνω τρόπο) αφήνουμε τον κινητήρα να κρυώσει και τον επανεκκινούμε με το σύστημα που παρουσίασε την πτώση στροφών. Αφήνοντας τον κινητήρα να λειτουργήσει στο ρελαντί για ένα λεπτό, τον σβήνουμε και μετράμε τη θερμοκρασία των κυλίνδρων. Οι ψυχροί κύλινδροι είναι αυτοί με τους ελαττωματικούς σπινθηριστές.

2.4.2.4 Δυσλειτουργία συστήματος λίπανσης

Οι δυσλειτουργίες που μπορεί να παρουσιάσει το σύστημα λίπανσης ενός εμβολοφόρου κινητήρα εστιάζονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους σε διαρροές και μεγάλη κατανάλωση λιπαντικού, καθώς και σε μεταβολές της πίεσής του.

Οι **διαρροές λιπαντικού** οφείλονται συνήθως σε φθαρμένα ή καμένα παρεμβύσματα (π.χ. παρέμβυσμα έλικα ή κεφαλής κυλίνδρου). Η αποκατάσταση μιας διαρροής είναι σχετικά εύκολη διαδικασία, από τη στιγμή που ανιχνευτεί η αιτία

της και βρεθεί το σημείο διαρροής στον κινητήρα. Στην περίπτωση εκτεταμένης διαρροής, μπορεί να χρειαστεί εξωτερικός καθαρισμός του κινητήρα και επαναλειτουργία για μικρό χρονικό διάστημα, για την ανεύρεση του σημείου διαρροής.

Η μεγάλη **κατανάλωση λιπαντικού** οφείλεται σε διαρροές και σε φθορές στα ελατήρια του πιστονιού και στον κύλινδρο. Οι φθορές αυτές επιτρέπουν τη διόδο του λιπαντικού στο θάλαμο καύσης όπου και καίγεται, παράγοντας καπνό με μπλε απόχρωση στα καυσαέρια. Οι φθορές των ελατηρίων και του κυλίνδρου προκαλούν επίσης την αύξηση της πίεσης στο στροφαλοθάλαμο. Με την εκτόνωση αυτής της πίεσης στο περιβάλλον από τον αγωγό ατμοσφαιρικής αποκατάστασης (breather tube) έχουμε απώλεια λιπαντικού.

Οι **μεταβολές πίεσης** λιπαντικού που μπορούν να παρατηρηθούν είναι η απώλεια πίεσης, η διακύμανσή της και η χαμηλή ή υψηλή πίεση.

Η *απώλεια πίεσης* οφείλεται σε απώλεια ελαίου από τη δεξαμενή (συνήθως λόγω μη πλήρωσής της μετά από τις προβλεπόμενες ώρες πτήσης), εγκλωβισμό αέρα στην αντλία ελαίου, ελαττωματική αντλία ελαίου, φραγμένη σωλήνα παροχής, ανοιχτή ανακουφιστική βαλβίδα συστήματος λίπανσης και σπασμένο αγωγό.

Η *χαμηλή πίεση* ελαίου μπορεί να οφείλεται σε κακή ρύθμιση ή βλάβη της ανακουφιστικής βαλβίδας του συστήματος λίπανσης, φθορά σε παρέμβυσμα στο εσωτερικό του κινητήρα όπου έχουμε εσωτερική διαρροή, μερικώς φραγμένο φίλτρο ελαίου, φθαρμένη αντλία ελαίου και τέλος σε χρήση ελαίου με μικρότερο ιξώδες από το συνιστώμενο από τον κατασκευαστή.

Η *υψηλή πίεση ελαίου* οφείλεται σε κακώς ρυθμισμένη ή «κολλημένη» ανακουφιστική βαλβίδα, χρήση ελαίου με μεγαλύτερο ιξώδες, και σε αποφραγμένο αγωγό ελαίου.

Σε κάθε περίπτωση ανίχνευσης βλάβης στο σύστημα λίπανσης, για την ανεύρεσή της θα πρέπει να ερευνούμε αν η ένδειξη που έχουμε εμφανίστηκε ξαφνικά ή σταδιακά, και πόσες ώρες έχουν περάσει από την τελευταία γενική επισκευή του κινητήρα.

2.4.2.5 Δυσλειτουργία συστήματος εισαγωγής

Ένα αντιπροσωπευτικό σύστημα εισαγωγής μπορεί να παρουσιάσει τα ακόλουθα προβλήματα:

Εισροή αέρα από ρωγμή ή κακή τοποθέτηση στην πολλαπλή εισαγωγής (intake

manifold). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία φτωχού μείγματος (lean mixture), την πτώση της απόδοσης του κινητήρα και την αύξηση της θερμοκρασίας του.

Διαρροή μείγματος αέρα καυσίμου μετά τον υπερσυμπιεστή από ρωγμή ή κακή αρμογή το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την πτώση της πίεσης εισαγωγής και συνεπώς την πτώση ισχύος του κινητήρα.

Αποφραγμένο ή φθαρμένο φίλτρο εισαγωγής αέρα έχει σαν αποτέλεσμα την πτώση της απόδοσης του κινητήρα και μακροχρόνια τη φθορά των κινούμενων μερών του κινητήρα από εισαγωγή σκόνης (ιδιαίτερα σε διαβρωτικό περιβάλλον πτήσεων) και την απόφραξη του φίλτρου ελαίου.

2.4.3 Οργάνωση αποκατάστασης βλαβών και καταγραφής των στοιχείων και αποτελεσμάτων στα μητρώα του κινητήρα

2.4.3.1 Γενικά

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας εντοπισμού μιας βλάβης και του συστήματος ή του εξαρτήματος που την προκάλεσε, ακολουθεί η διαδικασία αποκατάστασής της.

Η αποκατάσταση μιας βλάβης ανάλογα με το σύστημα, ή το παρελκόμενο, όπου αυτή παρατηρήθηκε και ανάλογα με τη βαρύτητά της, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον κινητήρα πάνω στο σκάφος, ή να χρειαστεί αφαίρεση του κινητήρα για μερική ή και γενική επισκευή.

Όταν πρόκειται για προγραμματισμένη συντήρηση ή γενική επισκευή, η απαίτηση για τις απαραίτητες εργασίες εκδίδεται από την υπηρεσία προγραμματισμού πτήσεων της εταιρείας, ή της μονάδας στην οποία υπάγεται το αεροσκάφος. Στη συνέχεια εκδίδεται εντολή εργασίας (Work Order) και πλάνα εργασίας (Travelers) βασισμένα στις τεχνικές οδηγίες του κατασκευαστή, τα οποία περιγράφουν τη διαδικασία αφαίρεσης.

Αρχικά εκδίδονται από το τμήμα προγραμματισμού εργασιών τα σχετικά πλάνα εργασιών στα οποία περιγράφονται αναλυτικά όλες οι εργασίες που θα πραγματοποιηθούν στον κινητήρα. Τα πλάνα εργασιών είναι βασισμένα στην τεχνική βιβλιογραφία του κατασκευαστή και οι εργασίες που αναγράφουν είναι ανάλογες με τις βλάβες που παρουσιάζει ο κινητήρας, αν πρόκειται για αφαίρεσή του λόγω κάποιας βλάβης, ή με το είδος της επισκευής που θα πραγματοποιηθεί, δηλαδή γενική ή μερική επισκευή.

Τα πλάνα εργασίας αναγράφουν τον τύπο του κινητήρα, τον αριθμό κινητήρα (Engine Part Number), τον αριθμό σειράς του (Engine Serial Number) και τον αριθμό σειράς του σκάφους στον οποίο είναι τοποθετημένος.

Βάσει αυτών των στοιχείων, γίνεται η αναγνώριση του σκάφους και του συγκεκριμένου κινητήρα (για πολυκινητήρια αεροσκάφη) που θα αντικατασταθεί.

2.4.3.2 Καταγραφή των στοιχείων συντήρησης στα μητρώα του κινητήρα

Ανεξάρτητα από τον τύπο και την έκταση της επισκευής, στην οποία θα υποβληθεί ένας κινητήρας, οποιοδήποτε εύρημα παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του και οποιαδήποτε επισκευή υποστεί, καταγράφονται στα μητρώα του. Τα μητρώα του κινητήρα είναι ένα βιβλίο-αρχείο όπου καταγράφονται όλες οι εργασίες συντήρησης και επισκευής, εκτός των εργασιών προληπτικής συντήρησης, όπως επισκευές στον κινητήρα ή τον έλικα και αλλαγές παρελκομένων τους. Τα μητρώα του κινητήρα θα πρέπει κατ' ελάχιστον να συμπεριλαμβάνουν τις παρακάτω πληροφορίες:

1. Μια συνοπτική, αλλά πλήρη περιγραφή των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν.
2. Την ημερομηνία περάτωσης των παραπάνω εργασιών.
3. Στοιχεία, όπως τα ονόματα των υπεύθυνων συντήρησης ή την επωνυμία του επισκευαστικού κέντρου, ή του κατασκευαστή που πραγματοποίησε τις εργασίες επισκευής.
4. Την υπογραφή και τον αριθμό του πιστοποιητικού του μηχανικού, ο οποίος πραγματοποίησε τις εργασίες επισκευής και έκρινε τον κινητήρα κατάλληλο για να αποδεσμευτεί και να επαναχρησιμοποιηθεί.

Εκτός από τα επίσημα αρχεία που απαιτούνται από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, κάθε επισκευαστικό κέντρο θα πρέπει να διατηρεί ένα πλήρες αρχείο όλων των επισκευών και αλλαγών που έχει υποστεί ένας κινητήρας. Αυτό το αρχείο θα πρέπει να περιλαμβάνει στοιχεία, όπως οι επιθεωρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στον κινητήρα (διαστατικές και δομικές) και ο αριθμός των **επισκευαστικών τροποποιήσεων (service bulletins)** που εκδίδει ο κατασκευαστής περιοδικά και οι οποίες έχουν ενσωματωθεί στον κινητήρα.

Η προετοιμασία και η αρχειοθέτηση σωστών μητρώων επισκευής του κινητήρα έχει ιδιαίτερη σημασία για την προστασία του επισκευαστικού κέντρου σε περίπτωση βλάβης ή αστοχίας του κινητήρα. Με την ύπαρξη πλήρων και σωστά συμπληρωμένων μητρώων, το επισκευαστικό κέντρο μπορεί να πιστοποιήσει ότι οι διαδικασίες επισκευής πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες του κατασκευαστή και ότι πραγματοποιήθηκαν όλες οι απαιτούμενες εργασίες συντήρησης και επισκευής.

2.5 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ, ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

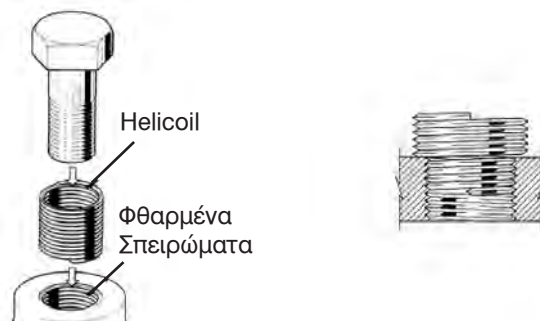
2.5.1 Στροφαλοθάλαμος

Ο στροφαλοθάλαμος επιθεωρείται για την ύπαρξη ρωγμών, κατεστραμμένων τυφλών κοχλιών (μπουζόνια - studs), κλπ. Οι ρωγμές σε ορισμένες περιπτώσεις, εφόσον φυσικά δεν έχουν υπερβεί τα όρια «**επισκευασιμότητας**» (**repairable limits**), είναι δυνατόν να αποκατασταθούν με συγκόλληση, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η διαδικασία της συγκόλλησης γίνεται σε περιβάλλον αδρανούς αερίου (**Inert Gas Welding**). Για την απαλοιφή των τάσεων που προκαλούνται από τη θέρμανση του μετάλλου κατά τη συγκόλληση, εφαρμόζεται συνήθως διαδικασία σφυρηλάτησης με **σφαιρίδια (peening)** ή **θερμική κατεργασία (thermal stress relieve)**. Η τελική φάση της επισκευής περιλαμβάνει μηχανουργική κατεργασία για την αποκατάσταση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της επισκευασμένης περιοχής.

Τα κατεστραμμένα μπουζόνια αφαιρούνται και αντικαθίστανται. Ο κατασκευαστής παρέχει κατάλογο με μπουζόνια μεγαλύτερων μεγεθών, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν εφόσον τα «κανονικά» μπουζόνια δεν μπορούν να τοποθετηθούν.

Φθαρμένα εσωτερικά σπειρώματα τα οποία δεν μπορούν να αποκατασταθούν με τη χρήση κολαούζου, επισκευάζονται με την τοποθέτηση **ανταλλακτικού σπειρώματος (helicoil, Σχήμα 2.22)** ή με την **εισαγωγή δακτυλίων με εσωτερικό και εξωτερικό σπείρωμα (threated bushings)**. Η χρήση helicoil έχει το πλεονέκτημα, ότι δε μειώνει την τοπική αντοχή του κομματιού.

Σε περίπτωση που ένα από τα δύο τμήματα του στροφαλοθαλάμου απορριφθεί εξαιτίας εκτεταμένων φθορών, οι οποίες δεν είναι επισκευάσιμες, απορρίπτεται και το άλλο κομμάτι.



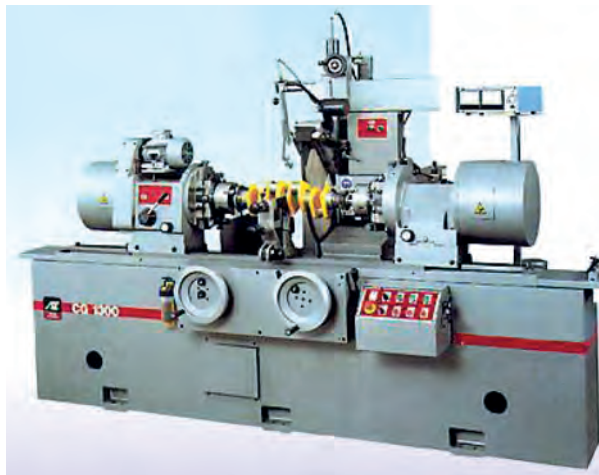
Σχήμα 2.22 Χρήση helicoil για την επισκευή φθαρμένου θηλυκού σπειρώματος

2.5.2 Στροφαλοφόρος άξονας

Ο στροφαλοφόρος άξονας αποτελεί ένα από τα κρίσιμότερα μέρη του κινητήρα. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και επιμέλεια κατά την εκτέλεση των επισκευών.

Οβάλ κομβία είναι δυνατόν να επισκευασθούν μηχανουργικά, με μείωση της διαμέτρου, εφόσον αυτό επιτρέπεται από τον κατασκευαστή (Σχήμα 2.23). Το τελικό φινίρισμα θα πρέπει να ικανοποιεί τις ιδιαίτερα αυξημένες απαιτήσεις τραχύτητας (εξαιρετικά λεία επιφάνεια) του τεχνικού εγχειριδίου. Απαιτείται επίσης συνήθως η εναζώτωση της κατεργασμένης περιοχής, έτσι ώστε να ανακτηθεί η απαιτούμενη από τον κατασκευαστή σκληρότητα.

Γενικότερα, η κατεργασία του άξονα πρέπει να μη δημιουργεί αιχμηρές ακμές ή άλλες ατέλειες, μη αποδεκτές από τον κατασκευαστή, οι οποίες θα ήταν δυνατόν να οδηγήσουν σε αστοχία (θραύση) αυτού κατά τη λειτουργία.



Σχήμα 2.23 Μηχανουργική κατεργασία λείανσης των σημείων στήριξης στροφαλοφόρου άξονα

2.5.3 Διωστήρες

Οι επισκευές στους διωστήρες συνίστανται συνήθως σε αντικατάσταση των μεταλλικών **δακτυλίων συναρμογής (bushings)**. Η αντικατάσταση απαιτεί συνήθως τη χρήση υδραυλικής πρέσας και ειδικών ιδιοσυσκευών.

2.5.4 Κύλινδροι - Βαλβίδες

Η καλή κατάσταση του κυλίνδρου, σε συνδυασμό φυσικά με τα έμβολα και τους δακτυλίους των εμβόλων, έχει μεγάλη σημασία για τη λειτουργία του κινητήρα. Η φυσική συναρμογή μεταξύ εμβόλων και κυλίνδρων ελέγχεται διαστατικά. Τυχόν αποκλίσεις (διάκενο μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου) μπορεί να επιτρέψουν την επικοινωνία μεταξύ θαλάμου καύσης και στροφαλοθαλάμου, με πιθανά αποτελέσματα τη μείωση της ισχύος του κινητήρα, εξαιτίας της διαφυγής καυσαερίων και την πτώση του λόγου συμπίεσης, καθώς επίσης και ταχεία φθορά των μπουζί από τα καρβίδια που δημιουργούνται με την καύση του λιπαντικού, το οποίο εισέρχεται στον θάλαμο καύσης.

Ένα από τα συνηθέστερα προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά τη συντήρηση του κυρίου σώματος των κυλίνδρων, είναι η αποκατάσταση της τραχύτητας της εσωτερικής επιφάνειάς των, η οποία γίνεται λεία μετά από κάποιες ώρες λειτουργίας. Η τραχύτητα της εσωτερικής επιφάνειας είναι επιθυμητή, έτσι ώστε να προκληθεί η απαραίτητη φθορά στους δακτυλίους των εμβόλων και να αποκατασταθεί με αυτό τον τρόπο η καλή «συνεργασία» εμβόλου-κυλίνδρου. Η διαδικασία αυτή καλείται «εκτράχυνση» (deglaizing) και γίνεται με τη χρήση δράπανου και ειδικού εργαλείου (hone, Σχήμα 2.24).



Σχήμα 2.24 Εκτράχυνση εσωτερικής επιφάνειας κυλίνδρου

Υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες η αποκατάσταση των φθορών που πιστοποιούνται στον κύλινδρο (π.χ. ύπαρξη κρατήρων, βαθιές αμυχές, κλπ.) είναι δυ-

νατόν να αποκατασταθούν με την παραπάνω διαδικασία. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η μηχανουργική αφαίρεση υλικού. Αυτό είναι δυνατόν εφόσον διαστατικά η νέα διάμετρος είναι αποδεκτή από τον κατασκευαστή. Συνήθως η αφαίρεση υλικού δεν μπορεί να υπερβαίνει τις 0.010in., αναφορικά με την κατασκευαστική ακτίνα του κυλίνδρου. Εάν η επιφάνεια του κυλίνδρου έχει υποστεί εναζώτωση για τη σκλήρυνσή της, η μηχανουργική κατεργασία δεν είναι συνήθως εφικτή. Ενδιαφέρουσα και συνήθης επισκευή είναι η ανάκτηση της απαιτούμενης διαμέτρου με την εναπόθεση χρωμίου (chrome plating). Η προκύπτουσα επιφάνεια είναι σκληρή και ανθεκτική σε περαιτέρω φθορά. Η επισκευή απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και πραγματοποιείται σε εξειδικευμένα κέντρα επισκευών.

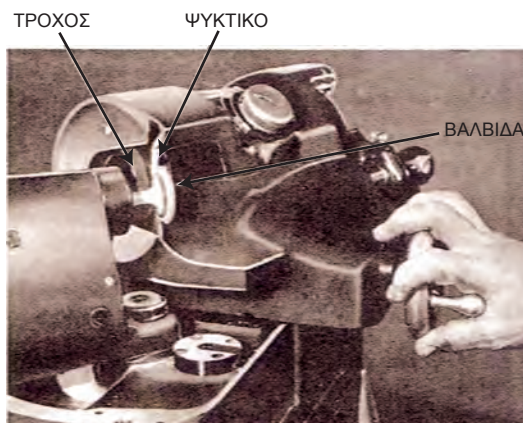
Τα πτερύγια ψύξης των κυλίνδρων παρουσιάζουν πολλές φορές ρωγμές, οι οποίες θα πρέπει να επισκευάζονται. Οι ρωγμές αρχικά εξαλείφονται με αφαίρεση υλικού. Εφόσον η νέα «γεωμετρία» του πτερυγίου δεν επηρεάζει σημαντικά την ψύξη του κυλίνδρου, η επισκευή ολοκληρώνεται με την επεξεργασία της κατεργασμένης επιφάνειας, έτσι ώστε όλες οι οξείες ακμές που δημιουργούνται να μετατραπούν σε «καμπύλες» (αυτό γίνεται για την αποφυγή έναρξης νέων ρωγμών). Σε αντίθετη περίπτωση, είναι απαραίτητη η αποκατάσταση της γεωμετρίας του πτερυγίου με συγκόλληση. Η αρχική μορφή της συγκολλημένης περιοχής αποκαθίσταται μηχανουργικά. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η επισκευή συγκόλλησης πραγματοποιείται σε εξουσιοδοτημένα από τον κατασκευαστή κέντρα επισκευών. Σημειώνεται τέλος, ότι σε περίπτωση εκτεταμένων ρωγμών στα πτερύγια ψύξης, ο κύλινδρος απορρίπτεται ως μη επισκευάσιμος.

Άλλες επισκευές συντήρησης των κυλίνδρων περιλαμβάνουν αντικατάσταση των δακτυλίων (bushings) των αξόνων των ζυγών (κοκκοράκια) και / ή των οδηγών των βαλβίδων. Πρόκειται για περιπτώσεις σφιχτών ανοχών (tight fit), όπου απαιτείται η χρήση ειδικών εργαλείων και η ψύξη - θέρμανση των δύο κομματιών. Έτσι κατά την αλλαγή ενός οδηγού βαλβίδας, θερμαίνεται αρχικά ο κύλινδρος, ο οποίος διαστέλλεται, ενώ το ειδικό εργαλείο, το οποίο έχει ψυχθεί προηγουμένως, ψύχει με τη σειρά του τον οδηγό, ο οποίος συστέλλεται, επιτρέποντας έτσι την αφαίρεσή του.

Οι βαλβίδες και οι έδρες των βαλβίδων αποκαθίστανται με μηχανουργική κατεργασία: συνήθως με τη χρήση τροχού (Σχήμα 2.25) για ατσάλινες έδρες και βαλβίδες, ή με τη χρήση κοπτικού για μπρούτζινες έδρες. Στόχος της κατεργασίας είναι η εξασφάλιση της καλής επαφής μεταξύ της έδρας και της αντίστοιχης βαλβίδας. Η τελική επιθεώρηση περιλαμβάνει μέτρηση της κυκλικότητας (circular runout - συνήθως θα πρέπει να είναι μικρότερη των 0.003in.) και της επιφάνειας επαφής μεταξύ της έδρας και της βαλβίδας. Η πρώτη μέτρηση γίνεται με ειδικό ενδείκτη

(dial indicator), ενώ η δεύτερη επιθεώρηση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ειδικό έγχρωμο υγρό.

Αφαίρεση μπουζονιών και αποκατάσταση σπειρωμάτων με τη χρήση helicoil χρησιμοποιούνται επίσης εκτεταμένα κατά τη συντήρηση των κυλίνδρων.



Σχήμα 2.25 Λείανση εδρών βαλβίδας

2.5.5 Έμβολα

Τα έμβολα συνήθως αντικαθίστανται κατά τη διάρκεια της γενικής επισκευής. Είναι όμως πιθανόν, ένα έμβολο να επαναχρησιμοποιηθεί, εφόσον έχει λίγες ώρες λειτουργίας και είναι εντός των διαστατικών ορίων του κατασκευαστή.

Κατά την αντικατάσταση των εμβόλων, είναι σημαντικό να επιβεβαιώνεται, ότι η προκύπτουσα διαφορά βάρους είναι εντός των ορίων του κατασκευαστή.

2.5.6 Σύστημα ανάφλεξης

Η συντριπτική πλειοψηφία των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων χρησιμοποιεί σύστημα ανάφλεξης με μανιατό (σπινθηροπαραγωγό). Οι βασικές αρχές λειτουργίας του συστήματος ανάφλεξης έχουν παρουσιαστεί στους «**Κινητήρες Αεροσκαφών I**».

Τα μανιατό απαιτούν συνήθως επιθεώρηση, η οποία συμπίπτει με τη γενική επισκευή του κινητήρα. Η διαδικασία της επιθεώρησης και επισκευής είναι πολύπλοκη, απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και εξειδικευμένο προσωπικό.

Κατά τη γενική επισκευή ενός μανιατό, απαιτείται συνήθως η αντικατάσταση εξαρτημάτων, όπως οι πλατίνες (breaker points), ο πυκνωτής (capacitor), τα έδρανα και

ο διανομέας (distributor block and rotor) (όπως φυσικά και τα εξαρτήματα «100%» - τσιμούχες, ασφάλειες, στεγανοποιητικά, κλπ.)

Ελέγχεται το περίβλημα του μανιατό (magneto case) για πιθανές ρωγμές (κυρίως οι επιφάνειες ανάρτησης, οι στηρίξεις των εδράνων, περιοχές γύρω από σπειρώματα, κλπ.). Περίβλημα με ρωγμές δεν μπορεί να γίνει αποδεκτό για περαιτέρω χρήση και συνήθως αντικαθίσταται. Μια ελαφρά διάβρωσή του μπορεί συνήθως να καθαρισθεί με κάποια κατάλληλη μέθοδο. Εντονότερη διάβρωση είναι αιτία απόρριψης του περιβλήματος.

Ελέγχεται επίσης η ισχύς του μαγνήτη και μπορεί να πραγματοποιηθεί επαναμαγνητισμός, αν αυτό κριθεί απαραίτητο.

Τα γρανάζια του διανομέα (distributor drive gear assemblies) ελέγχονται για φθορές, ρωγμές και σπασμένα δόντια. Τα έδρανα και οι άξονες συνήθως αντικαθίστανται.

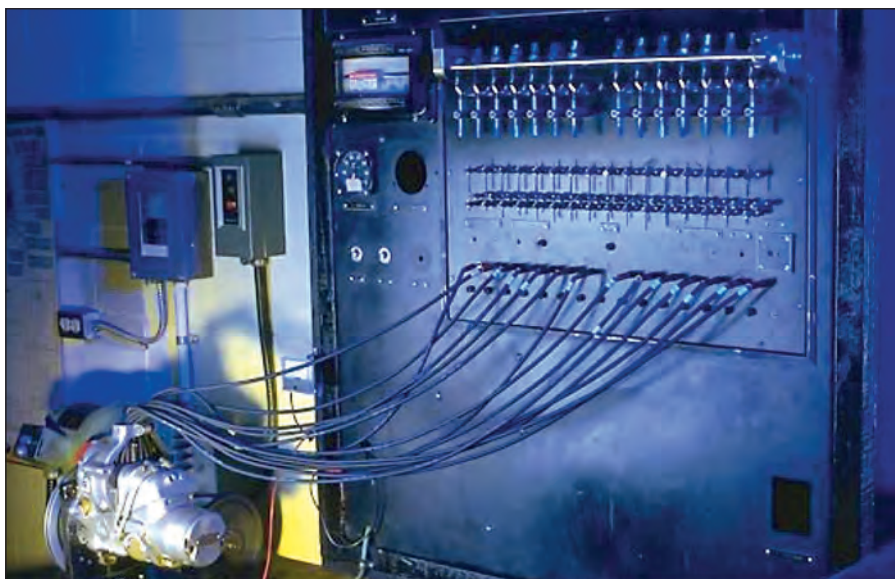
Απαιτείται έλεγχος συνέχειας στο πηνίο του μανιατό, ενώ οι πλατίνες αντικαθίστανται.

Βασική διαδικασία ρύθμισης, μετά τη συναρμολόγηση του μανιατό, είναι ο εσωτερικός χρονισμός: το κύριο γρανάζι του μανιατό θα πρέπει να χρονισθεί με το στροφέα του διανομέα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η παροχή τάσης στη σωστή επαφή του διανομέα, στη χρονική στιγμή που απαιτείται. Η διαδικασία του εσωτερικού χρονισμού εξαρτάται από τον τύπο του μανιατό. Είναι λοιπόν απαραίτητο να πραγματοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Η δοκιμή του μανιατό πραγματοποιείται μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας εσωτερικού χρονισμού και απαιτεί ειδικό δοκιμαστήριο (Σχήμα 2.26). Το δοκιμαστήριο θα πρέπει να περιλαμβάνει γεννήτρια μεταβλητών στροφών, ταχύμετρο και «περιοχή παραγωγής σπινθήρων».

Η τοποθέτηση των μανιατό στον κινητήρα απαιτεί τον χρονισμό των μανιατό με τον κινητήρα. Η διαδικασία γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, ο συγχρονισμός της ανάφλεξης, μπορεί να είναι συγχρονισμένος (synchronized ignition timing) ή μετατοπισμένος (staggered ignition timing). Στην πρώτη περίπτωση, τα μανιατό παράγουν σπινθήρες και στα δύο μπουζί του κυλίνδρου ταυτόχρονα. Στη δεύτερη περίπτωση, το μπουζί που βρίσκεται πιο κοντά στην εξαγωγή παράγει πρώτο σπινθήρα, ακολουθούμενο από το δεύτερο.



Σχήμα 2.26 Δοκιμαστήριο μανιατό

2.5.7 Σύστημα καυσίμου

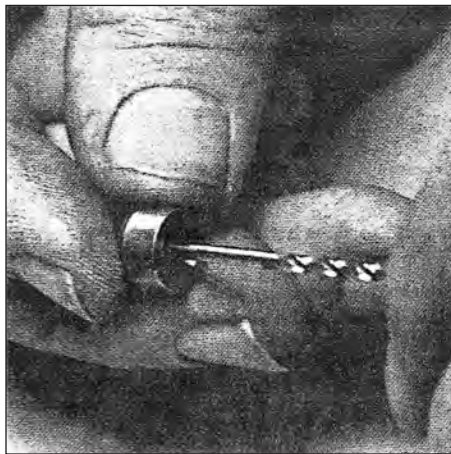
Το κυριότερο τμήμα του συστήματος καυσίμου σε έναν εμβολοφόρο αεροπορικό κινητήρα είναι το καρμπυρατέρ, το οποίο μετράει και προωθεί το καύσιμο που απαιτείται σε κάθε κύλινδρο. Είναι επίσης πιθανό το σύστημα καυσίμου να περιλαμβάνει αντλίες καυσίμου και / ή βαλβίδες ελέγχου ή παράκαμψης.

Αν και συνήθως δεν υπάρχουν σαφή χρονικά όρια για τη γενική επισκευή των καρμπυρατέρ, αποτελεί συνήθη πρακτική, να πραγματοποιείται παράλληλα με τη γενική επισκευή του κινητήρα. Μετά την πλήρη αποσυναρμολόγηση του καρμπυρατέρ, τα εξαρτήματα καθαρίζονται και ελέγχονται.

Διαπιστώνεται η γενική κατάσταση κάθε εξαρτήματος (ρωγμές, λυγισμός, χαλασμένα σπειρώματα, κλπ.). Σε ορισμένα κύρια υποσυγκροτήματα γίνεται εκτεταμένος διαστατικός έλεγχος (ανοχές, διάκενα). Επιθεωρούνται επίσης τα μεγέθη των ακροφυσίων μέτρησης (metering jets). Ένας συνηθισμένος τρόπος επαλήθευσης του μεγέθους του ακροφυσίου είναι με τη χρήση τρυπανιού του αντίστοιχου μεγέθους: εάν η βάση του τρυπανιού μπαίνει εύκολα στο ακροφύσιο, χωρίς μεγάλο παίξιμο, τότε τα μεγέθη τρυπανιού και ακροφυσίου βρίσκονται σε αντιστοιχία¹ (Σχήμα 2.27). Τα ακροφύσια πρέπει να είναι σε πολύ καλή κατάσταση: αμυχές, αποφλοιώσεις, ή άλλα εμπόδια στη διαδρομή του καυσίμου είναι αιτίες που οδηγούν στην απόρριψη του ακροφυσίου.

¹Το μέγεθος του ακροφυσίου είναι συνήθως χαραγμένο στο σώμα του και / ή δίνεται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής του καρμπυρατέρ.

Οι επισκευές που μπορούν να πραγματοποιηθούν στο καρμπυρατέρ, εξαρτώνται από τον κατασκευαστή. Μία τυπική επισκευή αφορά την αποκατάσταση διαρροής στον πλωτήρα. Ο πλωτήρας κατασκευάζεται συνήθως από φύλλα λαμαρίνας (από ορείχαλκο). Απαιτείται καλή αποστράγγιση του καυσίμου από το εξάρτημα, πριν την προσπάθεια αποκατάστασης της βλάβης. Για το λόγο αυτό ανοίγεται μια μικρή τρύπα στον πλωτήρα και απομακρύνεται όλη η ποσότητα καυσίμου, που έχει πιθανόν εγκλωβισθεί. Η αποκατάσταση των διαρροών γίνεται με κασσιτεροκόλληση (soldering), χωρίς να εκτίθεται ο πλωτήρας απευθείας σε φλόγα. Μετά το τέλος της επισκευής ελέγχεται το βάρος του πλωτήρα, μια και αποτελεί σημαντική παράμετρο σωστής λειτουργίας του καρμπυρατέρ.



Σχήμα 2.27 Έλεγχος διαμέτρου ακροφυσίου

Η (συνήθως μπρούτζινη) έδρα της βελονοειδούς βαλβίδας του πλωτήρα (float needle valve seat) χρειάζεται σε αρκετές περιπτώσεις αντικατάσταση, μια και φθείρεται από την ατσάλινη βαλβίδα. Κακή λειτουργία της βαλβίδας γίνεται συνήθως αντιληπτή από υπερχειλίση της δεξαμενής του πλωτήρα.

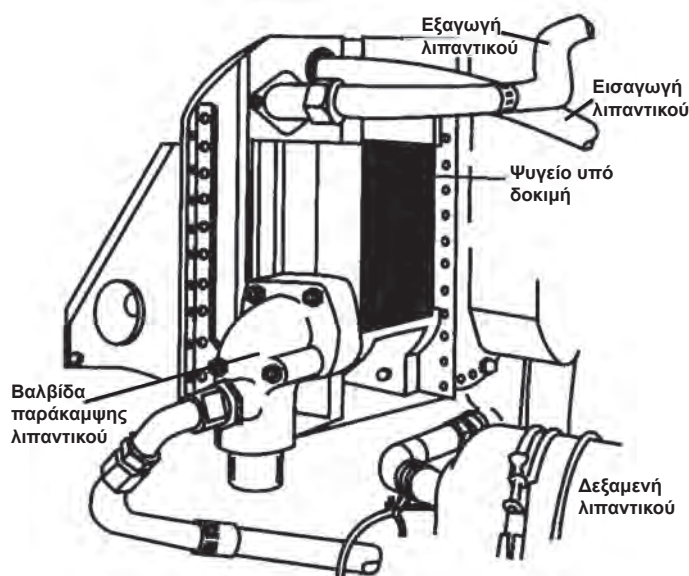
Ο έλεγχος του επιπέδου του καυσίμου στη δεξαμενή του πλωτήρα γίνεται με την παροχή καυσίμου, μέχρι το σημείο πλήρωσης της λεκάνης (κλείσιμο της βελονοειδούς βαλβίδας), όπου ελέγχεται η απόσταση της επιφάνειας του καυσίμου από την επιφάνεια αναφοράς του καρμπυρατέρ. Σημειώνεται ότι ο ακριβής τρόπος ελέγχου εξαρτάται από τον τύπο του καρμπυρατέρ.

Ένα τυπικό σύστημα καυσίμου εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα περιλαμβάνει ακόμη τις δεξαμενές καυσίμου, αντλίες καυσίμου (αν πρόκειται για σύστημα υπό πίεση), φίλτρα, βαλβίδες και σωληνώσεις. Η συντήρηση των βαλβίδων και αντλιών καθορίζεται πάντα από τους κατασκευαστές. Σχετικά με τα φίλτρα και τις σωληνώσεις, έχει ήδη γίνει αναφορά στις μεθόδους επιθεώρησης στην §2.2.

2.5.8 Σύστημα λίπανσης

Βασική διαδικασία συντήρησης, αναφορικά με το σύστημα λίπανσης είναι φυσικά η τακτική αλλαγή του λιπαντικού και του φίλτρου (αναφερθήκαμε ήδη στην §2.2.3). Το παλιό λιπαντικό είναι πιθανόν να προσφέρει πολλές και σημαντικές πληροφορίες, όσον αφορά την κατάσταση του κινητήρα. Οι φθορές των διαφόρων εξαρτημάτων, έχουν αρκετές φορές ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ρινισμάτων, τα οποία καταλήγουν στο σύστημα λίπανσης και συνήθως παγιδεύονται στο φίλτρο λαδιού, ή στο διάφραγμα λαδιού (oil screen), εάν υπάρχει. Έτσι, η ανίχνευση, π.χ, ρινισμάτων από μαγνητιζόμενο υλικό αποτελεί ένδειξη φθοράς των δακτυλίων των εμβόλων, ενώ ρινίσματα από μη μαγνητιζόμενο υλικό υποδηλώνει κάποια φθορά στα κύρια έδρανα. Συστηματική παρακολούθηση της κατάστασης του κινητήρα γίνεται συνήθως μέσα από το **Πρόγραμμα Φασματοσκοπικής Ανάλυσης Λιπαντικού (Spectrometric Oil Analysis Program - S.O.A.P.)**: Ανά τακτά διαστήματα, δείγμα λιπαντικού από τον κινητήρα αποστέλλεται στο εργαστήριο για ανάλυση. Η ανάλυση περιέχει το υλικό των σωματιδίων που ανιχνεύτηκαν και πιθανή προέλευσή τους. Απότομη αύξηση κάποιων από τα σωματίδια (σε σχέση με παλαιότερες μετρήσεις) αποτελεί συνήθως ασφαλή ένδειξη κάποιας επικείμενης αστοχίας και λειτουργεί προληπτικά με ιδιαιτέρως θετικά αποτελέσματα.

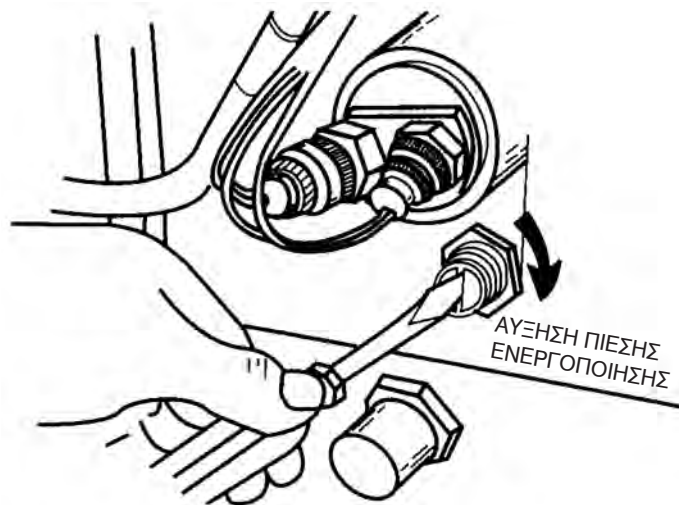
Η δεξαμενή λαδιού αφαιρείται, όταν είναι απαραίτητο, για καθαρισμό και πιθανές επισκευές.



Σχήμα 2.28 Σύνδεση ψυγείου λιπαντικού σε δοκιμαστήριο για τον εντοπισμό τυχόν διαρροών

Το ψυγείο του λαδιού αφαιρείται συνήθως κατά τη διάρκεια της γενικής επισκευής. Η επιθεώρηση μπορεί να ανιχνεύσει ρωγμές ή / και διαρροές. Η συνήθης επισκευή που εφαρμόζεται είναι συγκόλληση ή κασσιτεροκόλληση. Πριν από την επανεγκατάσταση του ψυγείου, ελέγχεται η επιτυχία των επισκευών με δοκιμή, όπου επιδιώκεται ο εντοπισμός τυχόν διαρροών, όταν το εξάρτημα λειτουργεί υπό πίεση (Σχήμα 2.28).

Η ρύθμιση της ανακουφιστικής βαλβίδας του συστήματος λίπανσης είναι από τις ενέργειες που πραγματοποιούνται κατά τη συντήρηση του κινητήρα (Σχήμα 2.29).



Σχήμα 2.29 Ρύθμιση ανακουφιστικής βαλβίδας συστήματος λίπανσης

2.5.9 Σύστημα ψύξης

Η επιθεώρηση των αεροδυναμικών καλυμμάτων (cowlings) εντοπίζει ρωγμές, αμυχές, ενδείξεις διάβρωσης και ελέγχει τη στιβαρότητα της στήριξής τους. Ανεξάρτητα από το είδος της επισκευής που προτείνεται από τον κατασκευαστή, το κύριο ζητούμενο είναι η αποκατάσταση της αεροδυναμικής μορφής των καλυμμάτων και φυσικά η ασφαλής τοποθέτησή τους στον κινητήρα.

Οι κινητές θυρίδες ψύξης (cowl flaps) επιθεωρούνται για τυχόν ρωγμές και ελευθερία κίνησής τους μεταξύ των θέσεων «ανοικτό» και «κλειστό».

Στην §2.5.4 αναφερθήκαμε στην επιθεώρηση των πτερυγίων ψύξης στους κυλίνδρους και μεθόδους επισκευής τους.

Συνηθισμένη μέθοδος για την επισκευή διαχωριστικών ελασμάτων και εκτροπέων είναι η διάνοιξη μικρών οπών για την ανακοπή της περαιτέρω επέκτασης μικρών ρωγμών.

2.5.10 Σύστημα υπερπλήρωσης

Η επιθεώρηση του συστήματος υπερσυμπίεσης έχει στόχο να εντοπίσει διαρροές, ρωγμές, χαλαρές συνδέσεις και γενικώς οτιδήποτε ξεφεύγει από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Ιδιαίτερα οι περιοχές υψηλών θερμοκρασιών (τουρμπίνες, θυρίδες και αγωγοί εξαγωγής, κλπ.) είναι εξαιρετικά ευαίσθητες σε ρωγματώσεις, εξαιτίας των συστολών-διαστολών στις οποίες υπόκεινται τα υλικά κατασκευής τους.

Η γενική επισκευή και δοκιμή αποδοχής των υπερσυμπιεστών πραγματοποιείται σε εξειδικευμένα κέντρα. Αξίζει να υπογραμμισθούν οι μεγάλες απαιτήσεις ακρίβειας για τη ζυγοστάθμιση των στροφίων, τα οποία περιστρέφονται με υψηλές ταχύτητες (τυπικά γύρω στις 40000RPM - στροφές ανά λεπτό) και ως εκ τούτου έστω και μικρή αζυγοσταθμία μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα κραδασμών.

2.5.11 Σύστημα εκκίνησης

Βασικό στοιχείο του συστήματος εκκίνησης, αποτελεί συνήθως ο ηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος. Οι εργασίες συντήρησης αφορούν τόσο το ηλεκτρικό όσο και το μηχανικό μέρος του εκκινητήρα. Περιλαμβάνουν επιθεώρηση και αλλαγή (εφόσον είναι απαραίτητο) καλωδιώσεων, επιθεώρηση του μετατροπέα εναλλασσόμενου ρεύματος (κομιτατέρ), επιθεώρηση και λίπανση γραναζιών, κλπ.

2.5.12 Λειτουργικός έλεγχος (δοκιμή) κινητήρα

Η τελική αποδοχή κινητήρα μετά από διαδικασία γενικής επισκευής (αλλά και σε περιπτώσεις εκτεταμένων αλλαγών) πραγματοποιείται με τη δοκιμή του κινητήρα σε δοκιμαστήριο (Σχήμα 2.30). Η δοκιμή επιτρέπει την αξιολόγηση των επιδόσεων του επισκευασμένου κινητήρα, αλλά και την πραγματοποίηση απαραίτητων διαδικασιών, όπως η καλή προσαρμογή των δακτυλίων των εμβόλων (piston ring seating) και το «γυάλισμα» των εδράνων (bearing burnishing).

Το δοκιμαστήριο είναι απαραίτητα εξοπλισμένο με όργανα για τη μέτρηση θερμοκρασιών, πιέσεων, στροφών κλπ., αλλά και με όργανα ελέγχου της λειτουργίας του κινητήρα, όπως μανέτες, βαλβίδες, διακόπτες, κλπ. Η δοκιμή γίνεται πάντα σύμφωνα με τις οδηγίες και τα όρια αποδοχής του κατασκευαστή, οι οποίες περιλαμβάνονται σε ειδικά εγχειρίδια δοκιμής του κινητήρα.



Σχήμα 2.30 Δοκιμαστήριο εμβολοφόρων κινητήρων και αίθουσα ελέγχου

Σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται δοκιμή του κινητήρα επί του σκάφους (runup), η οποία πραγματοποιείται από πιστοποιημένο τεχνικό συντήρησης.

2.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Η αφαίρεση του κινητήρα από το αεροσκάφος είναι μια χρονοβόρα και πολύπλοκη διαδικασία που εκτελείται για διάφορους τεχνικούς λόγους αλλά πρωτίστως όταν η βλάβη που παρουσιάζεται δεν μπορεί να επισκευαστεί με τον κινητήρα πάνω στο σκάφος.

Τις περισσότερες φορές ο κινητήρας που αφαιρείται αντικαθίσταται από άλλον αν πρόκειται για βλάβη ή ακόμα κι αν πρόκειται για προγραμματισμένη συντήρηση του κινητήρα, γιατί συνήθως η περίοδος προγραμματισμένης συντήρησης ενός σκάφους δεν συμπίπτει πάντοτε με αυτή του κινητήρα.

2.6.1 Αίτια αντικατάστασης εμβολοφόρου κινητήρα

Οι λόγοι που αντικαθιστούμε έναν κινητήρα από το αεροσκάφος είναι οι ακόλουθοι:

- Η συμπλήρωση των ωρών λειτουργίας που προβλέπει ο κατασκευαστής πέρα των οποίων απαιτείται γενική επιθεώρηση και επισκευή ή αλλαγή των ελαττωματικών εξαρτημάτων του. Πρόκειται για τη συνηθέστερη αιτία αφαίρεσης κινητήρα.

- Η δραστική μείωση της απόδοσης του κινητήρα πέρα κάποιων προδιαγεγραμμένων ορίων από τον κατασκευαστή.
- Μεγάλη περιεκτικότητα σε μεταλλικά ρινίσματα στον ανιχνευτή ρινισμάτων (chip detector) που βρίσκεται συνήθως στη γραμμή επιστροφής του συστήματος λίπανσης. Ένα τέτοιο εύρημα είναι εμφανής ένδειξη φθοράς πέρα των επιτρεπόμενων ορίων ή ακόμη και αστοχίας, όπως για παράδειγμα αστοχία τριβέα ή αστοχία γραναζιού.
- Βίαιο σταμάτημα του κινητήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι στροφές του κινητήρα πέφτουν αμέσως στο μηδέν σε λιγότερη από μια περιστροφή του άξονά του. Οι πιο συνηθισμένες αιτίες είναι αστοχία διωστήρα, ή πρόσκρουση του έλικα σε κάποιο αντικείμενο, όπως κάποιο από τα φώτα του αεροδιαδρόμου, ένας εργαλιοφορέας ή άλλο αεροσκάφος. Σε μια τέτοια περίπτωση η αδράνεια των κινούμενων μερών του κινητήρα είναι μεγάλη, λόγω της ταχύτητας περιστροφής και της μάζας τους και έχει σαν συνέπεια τη δημιουργία κρουστικών φορτίων πάνω τους. Τα φορτία αυτά προκαλούν θραύση στα δόντια των γραναζιών χρονισμού του εκκεντροφόρου, λυγισμό ή ακόμη και θραύση του στροφαλοφόρου άξονα και ζημιά στους τριβείς του. Στην παραπάνω περίπτωση η διαδικασία συντήρησης του κατασκευαστή προβλέπει αποσυναρμολόγηση του κινητήρα και επιθεώρησή του.

Για οποιαδήποτε από τις παραπάνω περιπτώσεις, πριν προχωρήσει κάποιος σε αφαίρεση κινητήρα από το σκάφος, θα πρέπει να συμβουλευτεί τα τεχνικά εγχειρίδια του κατασκευαστή.

2.6.2 Οργάνωση αφαίρεσης -τοποθέτησης εμβολοφόρου κινητήρα

Οι διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν για την αφαίρεση και τοποθέτηση ενός κινητήρα εξαρτώνται από τον τύπο του κινητήρα και φυσικά από τον τύπο του αεροσκάφους στο οποίο είναι τοποθετημένος. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες των τεχνικών εγχειριδίων του κατασκευαστή για τον τύπο του κινητήρα πριν προβεί κάποιος σε εργασίες αφαίρεσής του. Θα πρέπει επίσης τα άτομα που θα εμπλακούν, να έχουν το κατάλληλο πιστοποιητικό σε ισχύ για τον τύπο του κινητήρα.

Στη συνέχεια, θα αναφερθούμε σε γενικές διαδικασίες αφαίρεσης, οι οποίες ακολουθούνται σε κάθε τύπο κινητήρα. Για διαδικασίες που αφορούν συγκεκριμένο τύπο αεροσκάφους θα πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες που αναφέρονται στα τεχνικά εγχειρίδια του κατασκευαστή.

2.6.2.1 Προετοιμασία αφαίρεσης κινητήρα

Για την αφαίρεση ενός κινητήρα ακολουθούνται οι διαδικασίες που αναγράφονται στο πλάνο συντήρησης που έχει εκδοθεί από την υπηρεσία τεχνικού προγραμματισμού όπως αναφέρθηκε παραπάνω (§2.4.3). Το πλάνο αυτό περιλαμβάνει τα βήματα που ακολουθούνται κατά σειρά για τη διεξαγωγή των εργασιών αυτών. Ειδικότερες πληροφορίες για τις διαδικασίες αυτές αναγράφονται στη σχετική τεχνική βιβλιογραφία, όπου και αναφέρονται οι τεχνικοί κατά τη διάρκεια εκτέλεσής τους. Στη συνέχεια περιγράφονται οι γενικές εργασίες προετοιμασίας αφαίρεσης των εμβολοφόρων κινητήρων.

Αρχικά τοποθετείται το αεροσκάφος στο υπόστεγο σε σημείο που δεν θα χρειαστεί να μετακινηθεί για το χρονικό διάστημα της αφαίρεσης και επανατοποθέτησης του κινητήρα και τοποθετούνται τάκοι στους τροχούς των κύριων σκελών. **Η πρώτη εργασία που πρέπει να γίνεται μετά τη στάθμευση του σκάφους στο υπόστεγο ή στην πίστα, είναι η γείωση του με τα κατάλληλα σημεία γείωσης που βρίσκονται στο δάπεδο του υποστέγου (Σχήμα 2.31) .** Με αυτό τον τρόπο τα φορτία που αναπτύσσονται πάνω στο σκάφος, από την τριβή του με τον αέρα κατά την πτήση, περνούν στο έδαφος και αποφεύγεται ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας και ανάφλεξης από σπινθηρισμούς.



Σχήμα 2.31 Σύμβολο γείωσης που χρησιμοποιείται για τη σήμανση των σημείων γείωσης σε δάπεδο υποστέγου και πίστα

Οι εργασίες αφαίρεσης και γενικότερα η πρόσβαση στον κινητήρα, σε όλα σχεδόν τα αεροσκάφη, ιδιαίτερα δε στα υψηλοπτέρυγα, όπως για παράδειγμα το CANADAIR CL-215 και το ATR-72, απαιτούν την τοποθέτηση κατάλληλων κλιμάκων και υποστηλωμάτων.

Κατάλληλη υποστήριξη του ουραίου τμήματος του αεροσκάφους είναι απαραίτητη στα ελαφρά μονοκινητήρια αεροσκάφη με ριναίο σκέλος, αφού χωρίς τον

κινητήρα, το βάρος του ουραίου τμήματος τείνει να το παρασύρει στο έδαφος. Επιπλέον οι αποσβεστήρες του ριναίου σκέλους χρειάζονται εκτόνωση, δηλαδή αφαίρεση του αερίου που περιέχουν (συνήθως άζωτο) για να αποφευχθούν ζημιές στον κινητήρα και στο σκάφος καθώς η πίεση του αερίου που περιέχουν τείνει να τους εκτείνει κατά την αφαίρεση του κινητήρα.

Κατά την προετοιμασία αφαίρεσης του κινητήρα θα πρέπει επίσης να είναι διαθέσιμος ο κατάλληλος τύπος γερανού (φορητός ή μόνιμα εγκατεστημένος στο υπόστεγο συντήρησης ανάλογα με το μέγεθος του σκάφους, Σχήμα 2.32) καθώς και ο βραχίονας ανάρτησης του κινητήρα.



Σχήμα 2.32 Γερανός ανύψωσης

2.6.2.2 Διαδικασία αφαίρεσης

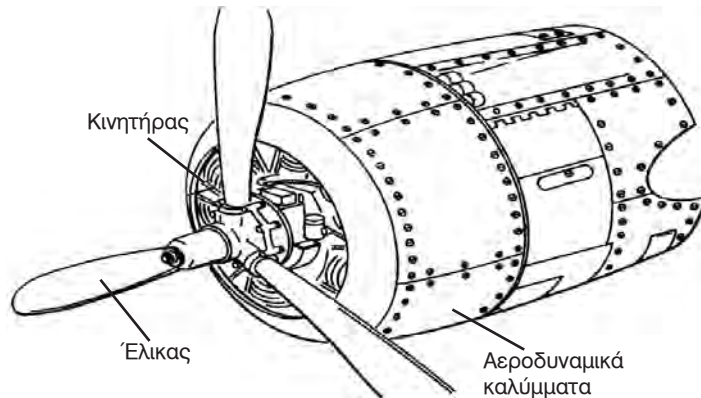
Η διαδικασία αφαίρεσης ενός εμβολοφόρου κινητήρα περιλαμβάνει τις παρακάτω εργασίες:

1). Διακοπή παροχής ρεύματος και καυσίμου.

Πριν την έναρξη της εργασίας στον κινητήρα θα πρέπει το σύστημα ανάφλεξης να είναι κλειστό (θέση OFF). Επίσης, ιδιαίτερα σε μικρούς κινητήρες, η αφαίρεση ενός σπινθηριστή από κάθε κύλινδρο μπορεί να βοηθήσει τη διαδικασία αφαίρεσης του έλικα. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η ανάκρουση του έλικα κατά την περιστροφή της, καθώς και ο κίνδυνος εκκίνησης του κινητήρα γυρίζοντάς την. Η βαλβίδα επιλογής καυσίμου (selector valve) πρέπει επίσης να είναι κλειστή για τη διακοπή παροχής καυσίμου από τις δεξαμενές του σκάφους. Οι βαλβίδες αυτές είναι χειροκίνητες ή ηλεκτροκίνητες. Οι ηλεκτροκίνητες βαλβίδες χρειάζονται παροχή ρεύματος από τις μπαταρίες του σκάφους για να λειτουργήσουν, και συνεπώς η παροχή του ρεύματος θα πρέπει να διακοπεί αφού εξασφαλίσουμε το κλείσιμο όλων των βαλβίδων καυσίμου. Στη συνέχεια η μπαταρία (ή μπαταρίες) του

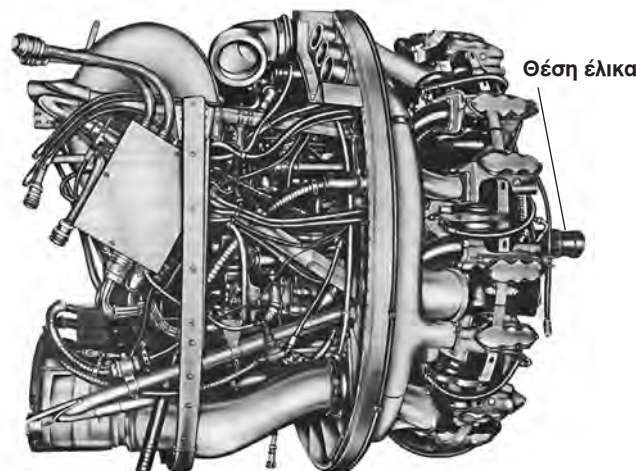
σκάφους θα πρέπει να αποσυνδέονται από το ηλεκτρικό κύκλωμα για την αποφυγή σπινθηρισμών. Αν το αεροσκάφος παραμείνει για αρκετές ημέρες καθηλωμένο για εργασίες συντήρησης του κινητήρα, τότε μπορεί να χρειαστεί συντήρηση και επαναφόρτιση η μπαταρία.

2) Αφαίρεση των αεροδυναμικών καλυμμάτων



Σχήμα 2.33 Αστεροειδής εμβολοφόρος κινητήρας με τα αεροδυναμικά καλύμματα

Η αφαίρεση των αεροδυναμικών καλυμμάτων (cowlings) είναι απαραίτητη για την αφαίρεσή του κινητήρα, για λόγους πρόσβασης στα σημεία ανάρτησής του στο σκάφος και για να πραγματοποιήσουμε τις κατάλληλες αποσυνδέσεις των συστημάτων του κινητήρα από το σκάφος. Σε αντίθεση με την επιθεώρηση, για την αφαίρεση ενός κινητήρα είναι αναγκαία η αφαίρεση όλων των αεροδυναμικών καλυμμάτων του. Στο Σχήμα 2.33 φαίνεται ένας αστεροειδής εμβολοφόρος κινη-



Σχήμα 2.34 Αστεροειδής εμβολοφόρος κινητήρας χωρίς αεροδυναμικά καλύμματα

τήρας με τα αεροδυναμικά καλύμματα πάνω στον κινητήρα, ενώ στο Σχήμα 2.34 μπορούμε να διακρίνουμε κινητήρα χωρίς αεροδυναμικά καλύμματα και έλικα. Αφού αφαιρεθούν τα καλύμματα του κινητήρα καθαρίζονται, επιθεωρούνται για ύπαρξη ρωγμών και επισκευάζονται ανάλογα με τα ευρήματα.

3) Αποστράγγιση συστήματος καυσίμου και λίπανσης.

Η αποστράγγιση του καυσίμου και του λιπαντικού από τον κινητήρα γίνεται για λόγους ασφαλείας (πρόληψη πυρκαγιάς και τοξικών αναθυμιάσεων) κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησής του, αλλά και προς αποφυγή διαρροών κατά την αποσυναρμολόγηση, ειδικά του λιπαντικού το οποίο υπάρχει και σε μεγαλύτερη ποσότητα στον κινητήρα.

Προτού προχωρήσει κάποιος σε οποιαδήποτε εργασία σχετική με το σύστημα καυσίμου, θα πρέπει να λάβει όλα τα σχετικά μέτρα ασφαλείας για εργασία με εύφλεκτα υλικά. Οι εργασίες θα πρέπει να γίνουν σε καλά αεριζόμενο χώρο και έχοντας διαθέσιμο τον κατάλληλο τύπο πυροσβεστήρα (τύπος πυροσβεστήρα για καύσιμα). Το καύσιμο αφαιρείται από την αντίστοιχη βαλβίδα αποστράγγισης που βρίσκεται στο φίλτρο καυσίμου στον αναμεικτήρα και από τις σωληνώσεις καυσίμου του αναμεικτήρα.

Η αποστράγγιση του συστήματος λίπανσης γίνεται από τις βαλβίδες αποστράγγισης (drain plugs) που βρίσκονται στην κυστίδα ελαίου του κινητήρα. Βαλβίδες αποστράγγισης μπορεί επίσης να υπάρχουν, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, στο ψυγείο ελαίου, στη γραμμή επιστροφής και στο φίλτρο ελαίου.

4) Αφαίρεση του έλικα

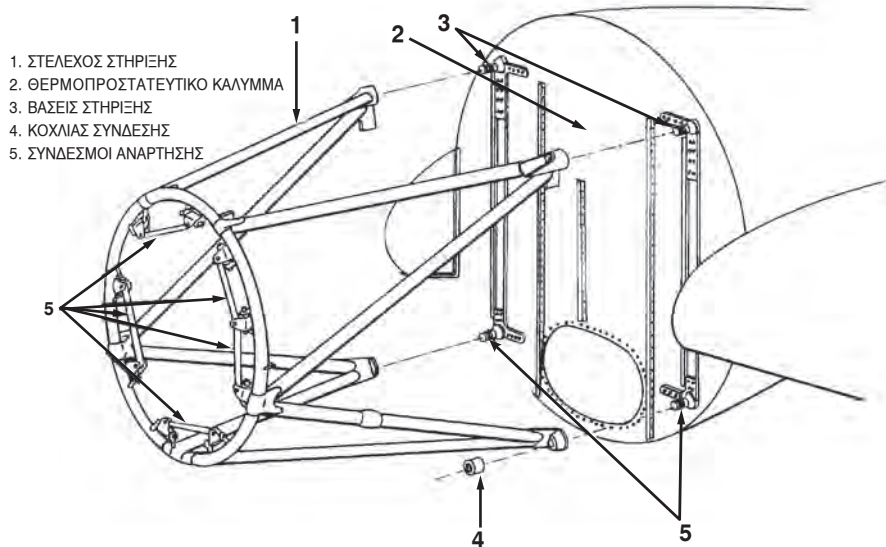
Η αφαίρεση του έλικα είναι μια σχετικά απλή διαδικασία, όταν πρόκειται να αφαιρέσουμε κινητήρα από ελαφρύ μονοκινητήριο, ή δικινητήριο αεροσκάφος που διαθέτει έλικα σταθερού βήματος. Αν πρόκειται για μεγάλο έλικα μεταβλητού βήματος, τότε είναι απαραίτητη η χρήση κατάλληλου βραχίονα ανάρτησης, του κατασκευαστή, γερανού για την ανύψωσή του και κλίνης για την τοποθέτηση του έλικα μετά την αφαίρεσή του.

5) Αποσύνδεση σωληνώσεων των συστημάτων λίπανσης καυσίμου και υδραυλικού

Το επόμενο στάδιο μετά την αποστράγγιση του συστήματος καυσίμου και ελαίου και την αφαίρεση του έλικα είναι η αποσύνδεση των σωληνώσεων του κινητήρα από τα σημεία προσαρμογής τους με το σκάφος. Συνήθως το σημείο αυτό είναι

το διαχωριστικό θερμοπροστατευτικό τοίχωμα που διαχωρίζει τον κινητήρα από το σκάφος (Σχήμα 2.35). Σε αυτό το τοίχωμα βρίσκονται και τα σημεία ανάρτησης της βάσης του κινητήρα (Σχήμα 2.35) στη δομή του αεροσκάφους.

Πολλές από τις συνδέσεις αυτές γίνονται με χρήση συνδέσμων ταχείας σύνδεσης (quick-disconnect fittings) οι οποίοι έχουν ενσωματωμένη βαλβίδα για την αποφυγή διαρροής κατά την αποσύνδεσή τους.



Σχήμα 2.35 Βάση στήριξης του κινητήρα στην πτέρυγα

6) Λοιπές αποσυνδέσεις

Οι υπόλοιπες αποσυνδέσεις που χρειάζεται να πραγματοποιηθούν κατά την αφαίρεση του κινητήρα, κοινές για τους περισσότερους εμβολοφόρους κινητήρες, είναι οι ακόλουθες:

1. Η σωλήνα αναθυμιάσεων καυσίμου
2. Τα σημεία ανάρτησης του κινητήρα
3. Η σωλήνωση του συστήματος πυρόσβεσης
4. Η γραμμή ένδειξη πίεσης εισαγωγής καυσίμου (manifold pressure)
5. Η γραμμή ένδειξης πίεσης ελαίου
6. Η γραμμή παροχής καυσίμου στο θερμαντήρα καυσίμου
7. Η γραμμή ένδειξης πίεσης καυσίμου
8. Η γραμμή ένδειξης θερμοκρασίας κεφαλής κυλίνδρου

9. Η σωλήνα παροχής καυσίμου
10. Ο σύνδεσμος συστήματος ανάφλεξης
11. Η γραμμή συστήματος αποπαγοποίησης (de-icing)
12. Γραμμή αναθυμιάσεων στροφαλοθαλάμου
13. Η σύνδεση ράβδου ελέγχου υπερσυμπιεστή
14. Η σύνδεση ράβδων μανέτας (throttle) και ελέγχου μείγματος
15. Η αποσύνδεση των αγωγών του συστήματος εισαγωγής και εξαγωγής του κινητήρα

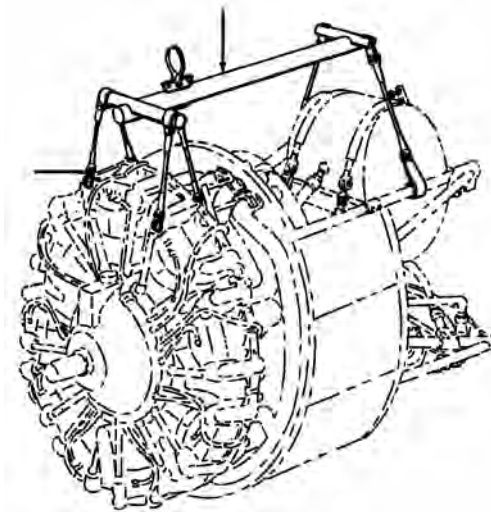
7) Προσαρμογή του εξοπλισμού ανάρτησης (engine sling) στα σημεία ανάρτησης του κινητήρα

Αφού τελειώσουν όλες οι αποσυνδέσεις, ο κινητήρας είναι έτοιμος προς τοποθέτηση στο βραχίονα ανάρτησης. Η χρήση του βραχίονα ανάρτησης για την αφαίρεση ενός κινητήρα είναι απαραίτητη για την προσαρμογή του κινητήρα στο γερανό ανύψωσης (αφού ο κινητήρας έχει περισσότερα από ένα σημεία στήριξης) και για την εξισορρόπηση του για λόγους ευκολίας αποσύνδεσης, από τα σημεία ανάρτησής του στο σκάφος. Επίσης χρησιμεύει και για την αποφυγή ζημιάς στο σκάφος και στον ίδιο τον κινητήρα κατά τη διαδικασία της αφαίρεσης, από ανεξέλεγκτες μετακινήσεις του κινητήρα. Για λόγους ασφαλείας, τόσο ο βραχίονας ανάρτησης όσο και ο γερανός θα πρέπει να επιθεωρούνται περιοδικά, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και να μην χρησιμοποιούνται αν έχει παρέλθει η αναγραφόμενη ημερομηνία επιθεώρησής τους (Σχήμα 2.36).

Πριν την αφαίρεση του κινητήρα, θα πρέπει να είναι γνωστό, αν χρειάζεται να γίνει η αφαίρεσή του, με ή χωρίς τη βάση του. Η αφαίρεση μαζί με τη βάση γίνεται όταν απαιτείται η αντικατάσταση με άλλον κινητήρα να γίνει άμεσα για να αποδεσμευτεί το αεροσκάφος, εξοικονομώντας με αυτό τον τρόπο χρόνο. Στην περίπτωση που θα πραγματοποιηθεί γενική επισκευή και στο αεροσκάφος, ο κινητήρας αφαιρείται χωρίς τη βάση του.

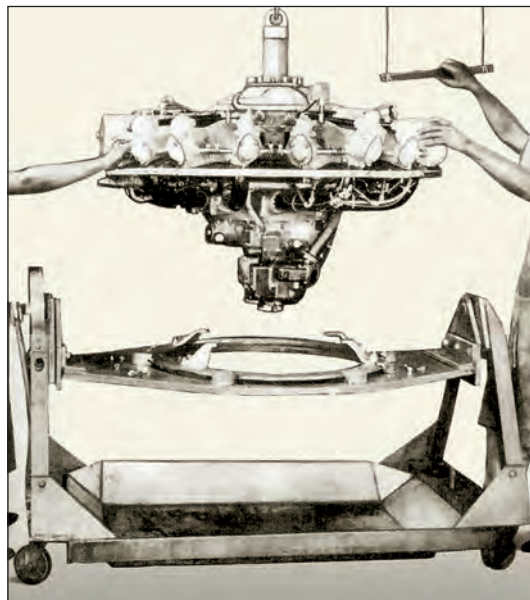
8) Ανάρτηση του κινητήρα στο γερανό από το βραχίονα ανάρτησης και τοποθέτηση του στην κλίνη

Αφού προσαρμοστεί ο βραχίονας ανάρτησης στον κινητήρα ανυψώνεται από το γερανό ο οποίος μπορεί να είναι φορητός ή σταθερός γερανός υποστέγου, ανάλογα με τον τύπο του σκάφους και το βάρος του κινητήρα. Ο κινητήρας αρχικά



Σχήμα 2.36 Προσαρμογή του βραχίονα ανάρτησης στον κινητήρα και τη βάση του

ανυψώνεται ελάχιστα, μέχρι να αναλάβει το βάρος του ο γερανός, όπου και είναι πλέον ασφαλές να αφαιρεθούν οι κοχλίες που συγκρατούν τη βάση του κινητήρα στο σκάφος (Σχήμα 2.35, λεπτομέρεια 3 και 4). Μετά από έναν τελευταίο έλεγχο, για το αν έχουν γίνει όλες οι αποσυνδέσεις, ο κινητήρας ανυψώνεται και τοποθετείται στην κατάλληλη κλίνη, όπου και θα αρχίσει η αποσυναρμολόγηση του (Σχήμα 2.37).



Σχήμα 2.37 Κλίνη τοποθέτησης κινητήρα για την αποσυναρμολόγησης του

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

2.6.3 Τεχνικά έντυπα αντικατάστασης εμβολοφόρου κινητήρα

Όλες οι εκτεταμένες επεμβάσεις και επισκευές στον κινητήρα πρέπει να καταγράφονται, στο έντυπο εκτεταμένων επισκευών και τροποποιήσεων (Σχήμα 2.38).

DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION MAJOR REPAIR AND ALTERATION (Airframe, Powerplant, Propeller, or Appliance)				Form Approved Budget Bureau No. 04-R060.1 FOR FAA USE ONLY OFFICE IDENTIFICATION 2-2-11	
INSTRUCTIONS: Print or type all entries. See FAR 43.9, FAR 43 Appendix B, and AC 43.9-1 (or subsequent revision thereof) for instructions and disposition of this form.					
1. AIRCRAFT	MAKE			MODEL	
	SERIAL NO.			NATIONALITY AND REGISTRATION MARK	
2. OWNER	NAME (As shown on registration certificate)			ADDRESS (As shown on registration certificate)	
	3. FOR FAA USE ONLY				
4. UNIT IDENTIFICATION					
UNIT	MAKE	MODEL	SERIAL NO.	5. TYPE	
AIRFRAME	***** (As described in item 1 above) *****			REPAIR	ALTERATION
POWERPLANT					
PROPELLER					
APPLIANCE	TYPE				
	MANUFACTURER				
6. CONFORMITY STATEMENT					
A. AGENCY'S NAME AND ADDRESS		B. KIND OF AGENCY		C. CERTIFICATE NO.	
		U.S. CERTIFICATED MECHANIC FOREIGN CERTIFICATED MECHANIC CERTIFICATED REPAIR STATION MANUFACTURER			
D. I certify that the repair and/or alteration made to the unit(s) identified in item 4 above and described on the reverse or attachments hereto have been made in accordance with the requirements of Part 43 of the U.S. Federal Aviation Regulations and that the information furnished herein is true and correct to the best of my knowledge.					
DATE			SIGNATURE OF AUTHORIZED INDIVIDUAL		
7. APPROVAL FOR RETURN TO SERVICE					
Pursuant to the authority given persons specified below, the unit identified in item 4 was inspected in the manner prescribed by the Administrator of the Federal Aviation Administration and is ☐ APPROVED ☐ REJECTED					
BY	FAA FLT. STANDARDS INSPECTOR	MANUFACTURER	INSPECTION AUTHORIZATION	OTHER (Specify)	
	FAA DESIGNEE	REPAIR STATION	CANADIAN DEPARTMENT OF TRANSPORT INSPECTOR OF AIRCRAFT		
DATE OF APPROVAL OR REJECTION		CERTIFICATE OR DESIGNATION NO.	SIGNATURE OF AUTHORIZED INDIVIDUAL		

(8320)

Σχήμα 2.38 Έντυπο εκτεταμένων επισκευών και τροποποιήσεων

Το έντυπο αυτό εκδίδεται σε δύο αντίτυπα και αφού συμπληρωθεί κατάλληλα από τον υπεύθυνο συντήρησης· το πρωτότυπο πηγαίνει στον ιδιοκτήτη του σκάφους, ο οποίος θα πρέπει να το διατηρήσει για έναν τουλάχιστον χρόνο, ενώ το αντίγραφο πρέπει εντός 48 ωρών από τη στιγμή που το σκάφος επιστρέφει σε υπηρεσία να αποσταλεί στην Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας.

Το έντυπο αυτό περιλαμβάνει πληροφορίες όπως:

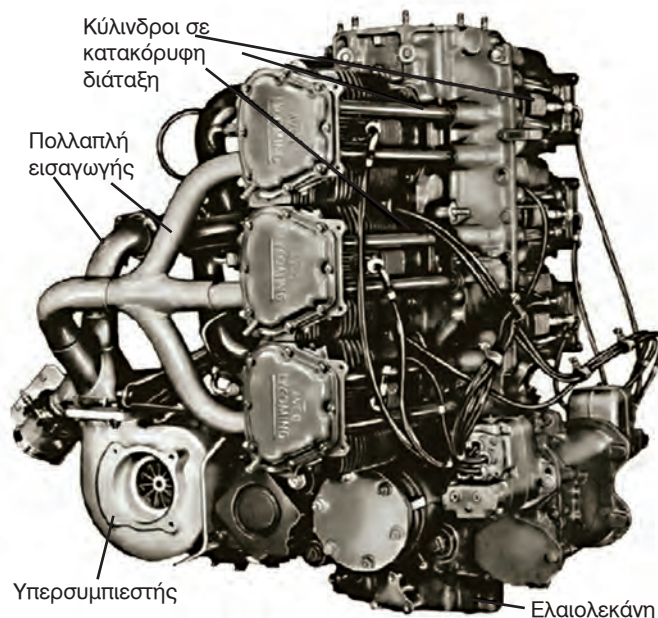
1. Τα στοιχεία του αεροσκάφους όπως τον κατασκευαστή, το μοντέλο, τον αριθμό σειράς του (Serial Number) και τη χώρα νηολόγησής του.
2. Τα στοιχεία του ιδιοκτήτη όπως επωνυμία και διεύθυνση.
3. Τα στοιχεία του κινητήρα όπως τον κατασκευαστή, το μοντέλο και τον αριθμό σειράς του.
4. Τα στοιχεία των ανθρώπων όπως τεχνικών και επιθεωρητών που πραγματοποίησαν τις επισκευές και έκριναν κατάλληλο τον κινητήρα να επιστρέφει σε υπηρεσία. Σε αυτό το σημείο του εντύπου επίσης περιλαμβάνονται η ημερομηνία έγκρισης, ο αριθμός του πιστοποιητικού και η υπογραφή του υπεύθυνου που ενέκρινε τον κινητήρα για επιστροφή σε υπηρεσία.
5. Τέλος στην πίσω όψη του εντύπου εκτεταμένων επισκευών και τροποποιήσεων υπάρχει ο απαραίτητος χώρος για την περιγραφή των εργασιών που επιτελέστηκαν.

2.7 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΩΝ

Οι εμβολοφόροι κινητήρες που χρησιμοποιούνται για την πρόωση **ελικοπτέρων** (ή αεροσκαφών περιστρεφόμενης πτέρυγας) δε διαφέρουν σημαντικά από αυτούς των **αεροπλάνων** (ή αεροσκαφών σταθερής πτέρυγας), όσον αφορά τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά και την τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην κατασκευή τους. Το μεγαλύτερο ποσοστό των εμβολοφόρων κινητήρων που χρησιμοποιούνται σε ελικόπτερα βασίζονται σε αντίστοιχο κινητήρα αεροσκάφους, όπως για παράδειγμα ο Avco Lycoming TVO 435, ένας κινητήρας ευρείας χρήσης σε αεροπλάνα και ελικόπτερα. Ο τύπος κινητήρα που χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των ελικοπτέρων που χρησιμοποιούν εμβολοφόρο κινητήρα είναι αυτός των αντίθετων εμβόλων (Σχήμα 2.39).

Τα στοιχεία εκείνα που διαφοροποιούν έναν εμβολοφόρο κινητήρα ελικοπτέρου από τον αντίστοιχο κινητήρα αεροσκάφους έχουν να κάνουν με τη θέση και τη διάταξη του κινητήρα στο σκάφος, καθώς επίσης και με τα επιμέρους συστήματα

του ελικοπτέρου που απαιτούν την υποστήριξη του κινητήρα, όπως το κιβώτιο μετάδοσης ισχύος του κύριου και του ουραίου στροφείου και το σύστημα ψύξης που απαιτεί ένας κινητήρας ελικοπτέρου. Ας δούμε πιο αναλυτικά τα παραπάνω χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τις δύο κατηγορίες κινητήρων.



Σχήμα 2.39 Εμβολοφόρος κινητήρας ελικοπτέρου

2.7.1 Μετάδοση κίνησης και τοποθέτηση των εμβολοφόρων κινητήρων ελικοπτέρων

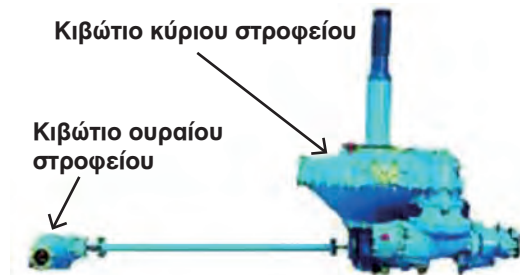
Η θέση του κινητήρα πάνω σε ένα αεροσκάφος και συνεπώς η μετάδοση κίνησης στο σύστημα πρόωσης έχει άμεση σχέση με τις δυνάμεις που ωθούν και διατηρούν ένα αεροσκάφος σε πτήση.

Οι εμβολοφόροι κινητήρες των αεροπλάνων ανεξάρτητα με το αν τοποθετούνται στην άτρακτο του αεροπλάνου (όπως στην περίπτωση της πλειονότητας των ελαφρών μονοκινητήριων αεροσκαφών), ή στις πτέρυγες είναι πάντοτε σε παράλληλη διεύθυνση με αυτή του διαμήκη άξονα του αεροπλάνου. Ο έλικας τοποθετείται στην προέκταση του άξονα του κινητήρα (ή σε μερικές περιπτώσεις πάνω στον άξονα) παράγοντας ώση στη διεύθυνση του διαμήκη άξονα του αεροπλάνου.

Οι εμβολοφόροι κινητήρες των ελικοπτέρων, σε αντίθεση με αυτούς ενός αεροπλάνου, δεν συνδέονται απ' ευθείας με τον έλικα και επιπλέον τοποθετούνται κάτω από το κύριο στροφείο τους. Οι λόγοι για τους οποίους αυτό συμβαίνει περιγράφονται παρακάτω.

2.7.1.1 Ταχύτητα περιστροφής έλικα

Η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής του έλικα των περισσότερων ελικοπτέρων με εμβολοφόρο κινητήρα, δεν μπορεί να ξεπεράσει τις 300 με 400 στροφές ανά λεπτό για λόγους δομικής αντοχής (και άρα βάρους κατασκευής), αλλά και για λόγους αεροδυναμικής απόδοσης του έλικα. Στην περίπτωση που ο έλικας περιστραφεί με μεγαλύτερη ταχύτητα, τα ακροπτερύγιά του φθάνουν σε υπερηχητική ταχύτητα, με συνέπεια την κατακόρυφη μείωση της απόδοσής του, καθώς αυξάνεται δραστικά η οπισθέλκουσα της πτέρυγας. Από την άλλη μεριά ένας εμβολοφόρος κινητήρας αποδίδει τη μέγιστη ισχύ του σε υψηλότερες στροφές (ενδεικτικά 2400-2600rpm). Για τους παραπάνω λόγους χρησιμοποιείται κιβώτιο υποπολλαπλασιασμού στροφών (ή κιβώτιο μετάδοσης ισχύος) μεταξύ του κινητήρα και του συγκροτήματος του κύριου στροφείου (Σχήμα 2.40).



Σχήμα 2.40 Κιβώτιο υποπολλαπλασιασμού στροφών κύριου και ουραίου στροφείου

2.7.1.2 Μετάδοση κίνησης στο ουραίο στροφείο

Για λόγους ευστάθειας του ελικοπτέρου κατά τον κατακόρυφο άξονά του, είναι αναγκαία η χρήση του ουραίου στροφείου, το οποίο αντισταθμίζει την τάση που έχει το ελικόπτερο να περιστραφεί αντίθετα από τη φορά περιστροφής του κύριου στροφείου του. Το ουραίο στροφείο παίρνει επίσης κίνηση από το κιβώτιο υποπολλαπλασιασμού στροφών του στροφείου.

2.7.1.3 Παρεμβολή συστήματος αλλαγής βήματος του έλικα

Ένας επιπλέον λόγος, για τον οποίο δεν έχουμε άμεση σύνδεση του έλικα με τον κινητήρα, είναι η ύπαρξη του μηχανισμού αλλαγής βήματος του έλικα. Ο μηχανισμός αυτός τοποθετείται μεταξύ του κιβωτίου μετάδοσης ισχύος και του κύριου στροφείου και έχει σαν σκοπό την αλλαγή της γωνίας προσβολής του έλικα του κύριου στροφείου, ανάλογα με την απαίτηση για παραγωγή άντωσης από τον χειριστή.

2.7.1.4 Ανάγκη ύπαρξης συστήματος σύμπλεξης /αποσύμπλεξης

Το σύστημα σύμπλεξης / αποσύμπλεξης (clutch - Σχήμα 2.41) του κινητήρα από τα στροφεία του ελικοπτέρου είναι απαραίτητο για την εκκίνηση του κινητήρα. Το μικρότερο δυνατό φορτίο κατά την εκκίνηση του κινητήρα είναι απαραίτητο για να πετύχουμε ικανοποιητικό αριθμό στροφών και συνεπώς επιτυχή εκκίνηση. Σε κάθε άλλη περίπτωση θα χρειαζόνταν πολύ μεγαλύτερος εκκινήτης, άρα και συσσωρευτής και συνεπώς το βάρος του σκάφους θα αυξανόταν. Επιπρόσθετα, με τη χρήση του συστήματος αυτού αποφεύγεται η απότομη μετάδοση φορτίων στο στροφείο και η καταπόνηση και φθορά των εξαρτημάτων του. Το σύστημα αυτό είναι μέρος του συστήματος μετάδοσης ισχύος.

Το σύστημα σύμπλεξης / αποσύμπλεξης είναι επίσης απαραίτητο σε ένα ελικόπτερο για λόγους ασφαλείας. Σε περίπτωση αστοχίας του κινητήρα, ο χειριστής αποσυμπλέκει τον κινητήρα από το υπόλοιπο σύστημα μετάδοσης, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την ελεύθερη περιστροφή (αυτοπεριστροφή ή autorotation) του έλικα, καθώς το ελικόπτερο χάνει ύψος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειωθεί η ταχύτητα πτώσης του ελικοπτέρου και αυτό να προσεδαφιστεί με ασφάλεια.

2.7.1.5 Θέση και διάταξη εμβολοφόρου κινητήρα στο ελικόπτερο

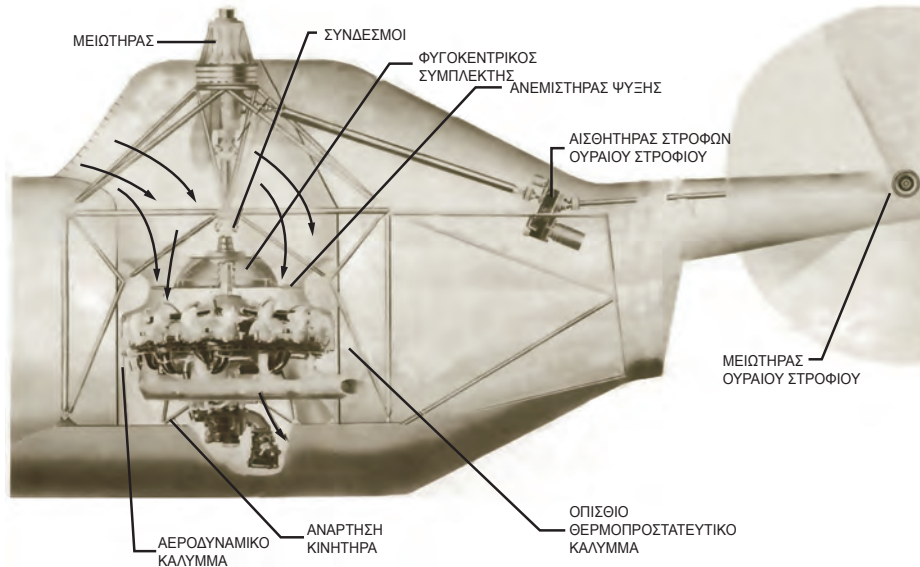
Η θέση του κινητήρα όσον αφορά την πλειοψηφία των ελικοπτέρων που χρησιμοποιούν εμβολοφόρους κινητήρες για την πρόωσή τους, είναι πίσω από το θάλαμο διακυβέρνησης (cockpit) του ελικοπτέρου (Σχήμα 2.41). Οι βασικότεροι λόγοι που τοποθετείται σε αυτό το σημείο είναι οι εξής:

- Για λόγους απλούστευσης της κατασκευής και μείωσης βάρους. Η μείωση της διαδρομής του άξονα μετάδοσης κίνησης συνεπάγεται και μικρότερο βάρος, αλλά και λιγότερους κραδασμούς και καταπόνηση της δομής του ελικοπτέρου.
- Για λόγους ευστάθειας και ευελιξίας του ελικοπτέρου, το κέντρο βάρους του πρέπει να είναι κοντά στο σημείο που εφαρμόζεται η άντωση από το στροφείο του.

Η διάταξη του κινητήρα στην πλειοψηφία των σύγχρονων ελικοπτέρων που χρησιμοποιούν εμβολοφόρους κινητήρες είναι κάθετη. Αυτό σημαίνει ότι ο κινητήρας τοποθετείται παράλληλα με τον άξονα του στροφείου για λόγους μείωσης της διαδρομής του άξονα μετάδοσης κίνησης, αλλά και μείωσης του βάρους του ελικοπτέρου.

Η διαφορά που έχουν οι κινητήρες κάθετης διάταξης από αυτούς με οριζόντια, εστιάζεται στο σύστημα λίπανσης και στη διαμόρφωση της κυστίδας ελαίου (ή

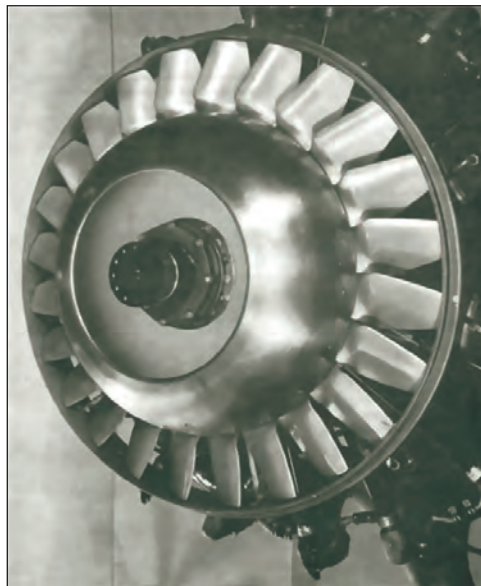
κάρτερ - oil sumpr), η οποία πρέπει πάντοτε να βρίσκεται στο κατώτατο σημείο του κινητήρα.



Σχήμα 2.41 Εγκατάσταση ακτινικού εμβολοφόρου κινητήρα σε ελικόπτερο

2.7.1.6 Σύστημα ψύξης

Η θέση του κινητήρα στο ελικόπτερο, πίσω από το θάλαμο διακυβέρνησης, δεν δημιουργεί τις καλύτερες προϋποθέσεις για την ψύξη του, μιας και ο κινητήρας δεν βρίσκεται στο ελεύθερο ρεύμα αέρος κατά την πτήση του όπως σε ένα αε-



Σχήμα 2.42 Ανεμιστήρας ψύξης ακτινικού εμβολοφόρου κινητήρα ελικοπτερίου

ροπλάνο. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η χρήση συστήματος ψύξης. Η ψύξη πραγματοποιείται με τη βοήθεια ανεμιστήρα που οδηγείται από τον άξονα του κινητήρα (Σχήμα 2.42). Ο αέρας ψύξης κατευθύνεται προς τον κινητήρα και γύρω από τους κυλίνδρους, με τη βοήθεια αεροδυναμικών καλυμμάτων (Σχήμα 2.43) που περιβάλλουν εξωτερικά τους κυλίνδρους. Σημειώνεται ότι, σε αντίθεση με τους κινητήρες αεροσκαφών όπου τα αεροδυναμικά καλύμματα χρησιμοποιούνται και για λόγους αεροδυναμικής εκτός αυτού της ψύξης, στα ελικόπτερα τα αεροδυναμικά καλύμματα στον κινητήρα χρησιμοποιούνται μόνο για λόγους ψύξης.



Σχήμα 2.43 Σύστημα ψύξης ακτινικού εμβολοφόρου κινητήρα ελικοπτέρου

2.8 ΙΣΧΥΣ - ΑΠΟΔΟΣΗ - ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

2.8.1 Γενικά

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε πως μπορούμε να απεικονίσουμε και να υπολογίσουμε το έργο που παράγεται από μια θερμική μηχανή και κατ' επέκταση από έναν εμβολοφόρο κινητήρα, χρησιμοποιώντας τον θερμοδυναμικό κύκλο που εκτελεί. Γνωρίζοντας επίσης τον θερμοδυναμικό κύκλο μπορούμε να υπολογίσουμε τη θερμική απόδοση ενός κινητήρα.

Οι παράμετροι του έργου και της απόδοσης δεν είναι όμως αρκετοί για να μπορέσουμε να χαρακτηρίσουμε πλήρως την ικανότητα ενός κινητήρα να παράγει έργο και αυτό γιατί δε μας δίνουν ένα μέτρο του χρόνου στον οποίο μπορεί να παραχθεί αυτό το έργο. Ο χρόνος κατά τον οποίο ένας κινητήρας παράγει μια δεδομένη ποσότητα έργου είναι μια σημαντική παράμετρος όσον αφορά τον χαρακτηρισμό ενός κινητήρα για τις δυνατότητες του και την επιλογή του για μια

συγκεκριμένη εφαρμογή. Αυτή η παράμετρος ονομάζεται **ισχύς του κινητήρα** και ορίζεται ως ακολούθως:

*Η ποσότητα του έργου που παράγεται σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα από έναν κινητήρα ορίζεται ως η **ισχύς** του.*

Η **ισχύς P** δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$P = \frac{W}{t} \quad (2-1)$$

όπου **W**: η ποσότητα του έργου που παράγεται σε **Joule**

t: ο χρόνος στον οποίο παράγει το έργο σε δευτερόλεπτα, **s**

Η μονάδα ισχύος στο σύστημα **S.I.**, ονομάζεται **Watt** (Joule/s), ενώ μια μονάδα που χρησιμοποιείται επίσης ευρέως είναι η **ιπποδύναμη**, (horsepower, hp).

Ο ορισμός του ίππου οφείλεται στον **James Watt**, εφευρέτη της ατμομηχανής, ο οποίος βρήκε πειραματικά ότι ένα άλογο μπορούσε να παράγει έργο ίσο με **33000ft lb** ανά λεπτό για εύλογο χρονικό διάστημα (όπου **ft** το πόδι και **lb** η λίμπρα, είναι οι μονάδες μέτρησης μήκους και δύναμης αντίστοιχα στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων).

Στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων ο ίππος ορίζεται ως εξής:

$$1 \text{ hp} = 33000 \text{ lb/min} = 550 \text{ ft lb/s} \quad (2-2)$$

Η αντιστοιχία hp και Watt είναι η ακόλουθη:

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W} = 0.746 \text{ kW} \quad (2-3)$$

2.8.2 Είδη ισχύος και διαδικασίες μέτρησης αυτών

Η ενέργεια που παρέχουμε σε έναν εμβολοφόρο κινητήρα μέσω του καυσίμου δεν μετατρέπεται εξολοκλήρου σε προωθητικό έργο από τον έλικά του, λόγω απωλειών κατά τη διαδικασία μετατροπής της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε έργο. Κάθε ποσό ενέργειας που δεν μετατρέπεται σε χρήσιμο έργο στη διάρκεια αυτής της διαδικασίας αντιπροσωπεύει και ένα μέρος της συνολικής ισχύος που αναπτύσσει ο κινητήρας. Ανάλογα με τον τρόπο που μετράμε την ισχύ ενός κινητήρα και τις απώλειες ισχύος που αυτός έχει, διακρίνουμε τα ακόλουθα είδη ισχύος:

1. Ενδεικνυόμενη ισχύς
2. Ισχύς απωλειών
3. Ισχύς πέδης

Τα είδη ισχύος και οι διαδικασίες μέτρησης τους παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

2.8.2.1 Ενδεικνυόμενη ισχύς

Ενδεικνυόμενη ισχύ (indicated horsepower, IHP) ορίζουμε τη συνολική ισχύ που αναπτύσσει ένας εμβολοφόρος κινητήρας. Η ισχύς αυτή αντιπροσωπεύει το ποσοστό της θερμικής ενέργειας που περιέχει το καύσιμο το οποίο μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Η μηχανική αυτή ενέργεια αναφέρεται και ως συνολική:

- Ένα μικρό ποσοστό της καταναλώνεται μέσα στον ίδιο τον κινητήρα κατά τη λειτουργία του, δίνοντας κίνηση στα παρελκόμενά του και στα εσωτερικά κινούμενα μέρη του.
- Το υπόλοιπο ποσοστό μεταφέρεται στον άξονα του έλικα.

Η ενδεικνυόμενη ισχύς ενός κινητήρα μπορεί να υπολογιστεί αν γνωρίζουμε κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του, όπως τη διάμετρο και τον αριθμό των εμβόλων του, τον εμβολισμό του και τη μέση πίεση που αναπτύσσεται μέσα στον κύλινδρο κατά τη λειτουργία του κινητήρα.

Η ενδεικνυόμενη ισχύς σε ίππους (hp) υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$IHP = \frac{P \cdot L \cdot A \cdot N \cdot K}{33000} \quad (2-4)$$

όπου P: η **μέση ενδεικνυόμενη πίεση**¹ του κυλίνδρου (indicating mean effective pressure, IMEP) σε psi

L: το μήκος της διαδρομής του εμβόλου σε ft

A: η επιφάνεια της κεφαλής του εμβόλου σε in²

N: ο αριθμός των κύκλων λειτουργίας ανά λεπτό, ο οποίος ισούται με τον αριθμό στροφών ανά λεπτό (rpm) για δίχρονους κινητήρες, ή με το μισό των αριθμών στροφών για τετράχρονους

K: ο αριθμός των κυλίνδρων του κινητήρα²

¹Εάν η μέση ενδεικνυόμενη πίεση εξασκηθεί σταθερά κατά τον χρόνο της εκτόνωσης, θα αποδώσει το ίδιο έργο που αποδίδει η πραγματική πίεση στον ίδιο χρόνο.

²Εάν για τα μεγέθη P, L, A & N χρησιμοποιηθούν μονάδες S.I. το γινόμενο PLANK παρέχει την ενδεικνυόμενη ισχύ σε Watt.

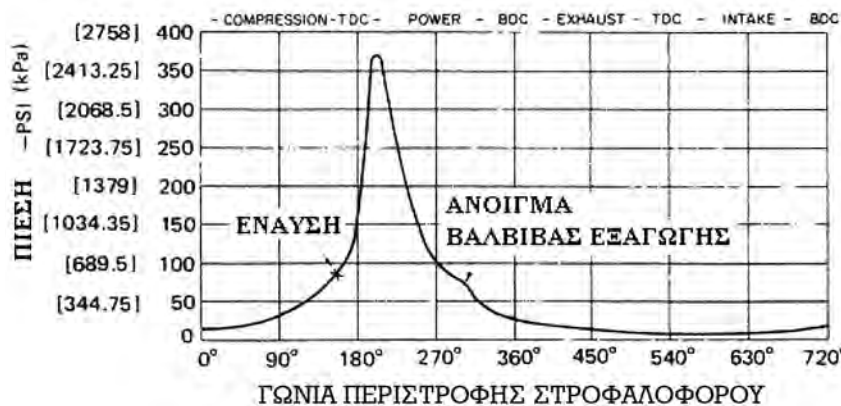
Αριθμητική εφαρμογή:

Υπολογισμός ενδεικνυόμενης ισχύος.

Ένας εξακύλινδρος αεροπορικός κινητήρας με επιφάνεια κεφαλής και μήκος διαδρομής εμβόλου 20in² και 5in, αντίστοιχα, περιστρέφεται με 2750rpm, ενώ η μετρούμενη IMEP είναι ίση με 125psi. Η ενδεικνυόμενη ισχύς του κινητήρα είναι:

$$IHP = \frac{125 \cdot 5 / 12 \cdot 20 \cdot 2750 / 2 \cdot 6}{33000} = 260,42hp = 194,27kW$$

Η μέση ενδεικνυόμενη πίεση κυλίνδρου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ισχύος, η οποία έχει άμεση σχέση με τη δύναμη που ασκούν τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση του μείγματος πάνω στο έμβολο. Η δύναμη αυτή δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται, καθώς η πίεση μέσα στον κύλινδρο είναι μέγιστη για ένα χρονικό διάστημα λίγο μετά την ανάφλεξη του μείγματος, μειώνεται κατά τη φάση της εκτόνωσής του και σχεδόν μηδενίζεται κατά τη φάση της εξαγωγής (Σχήμα 2.44)



Σχήμα 2.44 Διάγραμμα της πίεσης που αναπτύσσεται στον κύλινδρο στη διάρκεια ενός κύκλου

Η πίεση αυτή μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια ενός οργάνου μέτρησης πίεσης, παρόμοιου με αυτού που μετράμε τη συμπίεση των κυλίνδρων, ή με πιο τεχνολογικά εξελιγμένους τρόπους, όπως με πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες πίεσης, οι οποίοι δίνουν ενδείξεις μεγαλύτερης ακρίβειας.

2.8.2.2 Ισχύς απωλειών

Ένα ποσό του έργου που παράγεται σε έναν εμβολοφόρο κινητήρα καταναλώνεται για να υπερνικηθούν οι τριβές και οι δυνάμεις στις οποίες υπόκεινται τα λειτουργικά μέρη του κινητήρα καθώς και τα παρελκόμενά του. Οι μεγαλύτερες απώλειες σε ισχύ οφείλονται:

- Στις τριβές των ελατηρίων των εμβόλων με τα τοιχώματα των κυλίνδρων.
- Στις τριβές των κνωδάκων των εκκεντροφόρων αξόνων με τους ζυγούς (κοκοράκια) των βαλβίδων που δημιουργούνται από τις δυνάμεις που ασκούν τα ελατήρια των βαλβίδων στα κοκοράκια.
- Στα παρελκόμενα, όπως αντλίες καυσίμου και ελαίου, η γεννήτρια και ο υπερπληρωτής

Το σύνολο των παραπάνω απωλειών ορίζεται ως **ισχύς απωλειών** ή **ισχύς τριβών (friction horsepower, FHP)**.

Η απωλεσθείσα ισχύς ενός κινητήρα μπορεί να μετρηθεί με κατάλληλη συσκευή η οποία χρησιμοποιεί έναν βαθμονομημένο ηλεκτροκινητήρα, δηλαδή έναν κινητήρα για τον οποίο έχει μετρηθεί η ισχύς που παράγει, για την αντίστοιχη ποσότητα ρεύματος που καταναλώνει. Ο κινητήρας προσαρμόζεται στη συσκευή και ο άξονάς του περιστρέφεται από τον ηλεκτροκινητήρα στο εύρος στροφών λειτουργίας του πρώτου. Με αυτό τον τρόπο η αντίσταση που προβάλλει στην περιστροφή του ο κινητήρας μεταφράζεται σε έργο που πρέπει να παράγει ο ηλεκτροκινητήρας για να τον περιστρέψει και συνεπώς σε ένταση ρεύματος που καταναλώνει. Από τη στιγμή που γνωρίζουμε την ισχύ που παράγει ο ηλεκτροκινητήρας, για αντίστοιχη ένταση που καταναλώνει μπορούμε να προσδιορίσουμε την απωλεσθείσα ισχύ του κινητήρα.

2.8.2.3 Ισχύς πέδης

Ισχύς πέδης (brake horsepower, BHP) ονομάζεται η πραγματική ισχύς που αναπτύσσει ένας εμβολοφόρος κινητήρας στον άξονά του και είναι η καθαρή ισχύς που φτάνει στον έλικα και παράγει ωφέλιμο έργο. Η ισχύς πέδης είναι ίση με τη διαφορά της ενδεικνυόμενης ισχύος και της απωλεσθείσας ισχύος.

Η σχέση που συσχετίζει τα παραπάνω είδη ισχύος είναι η ακόλουθη:

$$\text{BHP} = \text{IHP} - \text{FHP}$$

Η ονομασία της προέρχεται από τον τρόπο που μετριοίταν παλαιότερα η ισχύς που ανέπτυσσαν οι εμβολοφόροι κινητήρες στους άξονές τους. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιείται εφαρμόζοντας ένα φρένο (ή πέδη) πάνω στον άξονα του κινητήρα, το οποίο είναι προσαρμοσμένο σε ένα βραχίονα με γνωστό μήκος. Η ροπή που αναπτύσσεται στον άξονα του κινητήρα μετατρέπεται, μέσω του φρένου, σε δύναμη που ασκείται στο βραχίονα. Το άλλο άκρο του βραχίονα εφάπτεται σε έναν τύπο ζυγαριάς η οποία μετράει τη δύναμη που αναπτύσσει ο κινητήρας, καθώς περιστρέφεται σε διάφορες στροφές.

Για τη μέτρηση της ισχύος πέδης κινητήρων στις μέρες μας χρησιμοποιούμε ηλεκτρική γεννήτρια, ή αντλία νερού στη θέση της πέδης του παλαιότερου συστήματος. Η μέτρηση της ισχύος, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται γεννήτρια, γίνεται μετρώντας το έργο που παράγει η γεννήτρια σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί αντλία νερού, η ισχύς μετριέται με τη βοήθεια ενός αισθητήρα πίεσης ο οποίος στο ένα του άκρο είναι αναρτημένος από την αντλία και στο άλλο σε ένα σταθερό σημείο. Ο αισθητήρας μετράει τη δύναμη που ασκεί η αντλία στο σταθερό σημείο καθώς τείνει να την παρασύρει ο άξονας σε περιστροφή, λόγω της τριβής του με το νερό. Η δύναμη αυτή αυξάνεται ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα.

2.8.3 Είδη απόδοσης και κατανομή ισχύος

2.8.3.1 Μηχανική απόδοση

Η μηχανική απόδοση ενός κινητήρα ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος πέδης προς τη συνολική ισχύ που αναπτύσσει, δηλαδή την ενδεικνυόμενη ισχύ του. Η μηχανική απόδοση μας δίνει ένα μέτρο των απωλειών που έχει ο κινητήρας σε σχέση με τη συνολικά παραγόμενη ισχύ του, όσο δηλαδή μεγαλύτερη είναι η μηχανική απόδοση, τόσο μικρότερες είναι οι απώλειες της συνολικής ισχύος σε τριβές. Η μηχανική απόδοση ενός σύγχρονου εμβολοφόρου κινητήρα είναι της τάξης του 90%.

2.8.3.2 Θερμική Απόδοση

Η θερμική απόδοση προσδιορίζει το μέτρο των θερμικών απωλειών ενός κινητήρα, κατά τη διαδικασία της μετατροπής της θερμικής ενέργειας που περιέχεται στο καύσιμο, σε μηχανική. Οι απώλειες ενός εμβολοφόρου κινητήρα σε θερμότητα είναι σημαντικές, ακόμη και για τους πιο εξελιγμένους κινητήρες και ξεπερνούν το 50%. Οι απώλειες αυτές οφείλονται στα ακόλουθα αίτια:

1. Το σύστημα εξαγωγής καυσαερίων τα οποία περιέχουν μια σημαντική ποσότητα θερμικής ενέργειας που χάνεται αναπόφευκτα καθώς τα καυσαέρια αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα.
2. σύστημα ψύξης του κινητήρα (υγρόψυκτου ή αερόψυκτου). Οι απώλειες αυτές είναι αναπόφευκτες, ακόμη κι αν μειώνουν την απόδοση, για λόγους αντοχής των υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένος ο κινητήρας. Χωρίς κατάλληλη ψύξη, οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μέσα στον κινητήρα από την καύση του μείγματος και τις τριβές των κινούμενων μερών θα έφταναν το σημείο τήξης των μετάλλων του κινητήρα. Πρωτίστως όμως,

κανένα λιπαντικό δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει σε αυτές τις θερμοκρασίες.

Η θερμική απόδοση ενός κινητήρα ορίζεται ως ο λόγος της θερμικής ενέργειας του καυσίμου που μετατρέπεται σε έργο προς τη συνολική θερμική ενέργεια του καυσίμου (βλέπε και § 1.5.3).

Όσο περισσότερη από τη θερμική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε έργο, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμική απόδοση ενός κινητήρα. Οι τιμές της απόδοσης των σύγχρονων αεροπορικών κινητήρων κυμαίνονται στο 34% για κινητήρες που χρησιμοποιούν μεγάλο λόγο συμπίεσης και καύσιμο υψηλής περιεκτικότητας σε οκτάνια.

2.8.3.3 Πρωθητική απόδοση

Αν και δεν έχει άμεση σχέση με τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε έργο εσωτερικά στον κινητήρα, η πρωθητική απόδοση μας δίνει το ποσοστό της απώλειας της ισχύος πέδης οι οποίες οφείλονται στον έλικα. Η ισχύς πέδης που αναπτύσσει ένας κινητήρας δεν μετατρέπεται εξολοκλήρου σε ώση στον έλικα. Η διαδικασία μετατροπής της ροπής που εφαρμόζεται στον άξονα του έλικα σε ώση έχει ένα ποσοστό απωλειών. Οι απώλειες αυτές οφείλονται στα ακόλουθα αίτια:

1. Τη γεωμετρία στη ρίζα του έλικα, ο οποίος, για λόγους δομικής αντοχής, έχει τέτοιο σχήμα, το οποίο παράγει ελάχιστη έως και καθόλου ώση (Σχήμα 2.45)



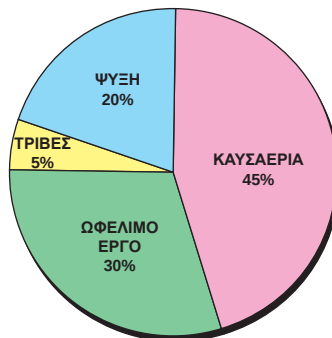
Σχήμα 2.45 Διαμόρφωση της γεωμετρίας στη ρίζα πτέρυγας εμβολοφόρου κινητήρα

2. Τον περιορισμό της μέγιστης ταχύτητας περιστροφής του έλικα, για την αποφυγή αεροδυναμικών απωλειών στο άκρο του, από υπερηχητικά φαινόμενα.

Ένας έλικας μετατρέπει σε ώση την ισχύ που αναπτύσσεται στον άξονα του κινητήρα κατά 90% περίπου.

2.8.3.4 Κατανομή ισχύος

Όπως είδαμε παραπάνω, η θερμική ενέργεια που περιέχει το καύσιμο δεν μετατρέπεται κατά 100% σε χρήσιμο έργο, σε παραγόμενη δηλαδή ώση από τον έλικα. Σ' έναν σύγχρονο εμβολοφόρο κινητήρα το 40% περίπου της ενέργειας του καυσίμου χάνεται στα καυσαέρια, το 25% καταναλώνεται για την ψύξη του κινητήρα, ένα 5% καταναλώνεται σε εσωτερικές τριβές και μόνο το υπόλοιπο 30% φτάνει στον έλικα για την παραγωγή ώσης (Σχήμα 2.46). Οι αναφερόμενες τιμές είναι ενδεικτικές.



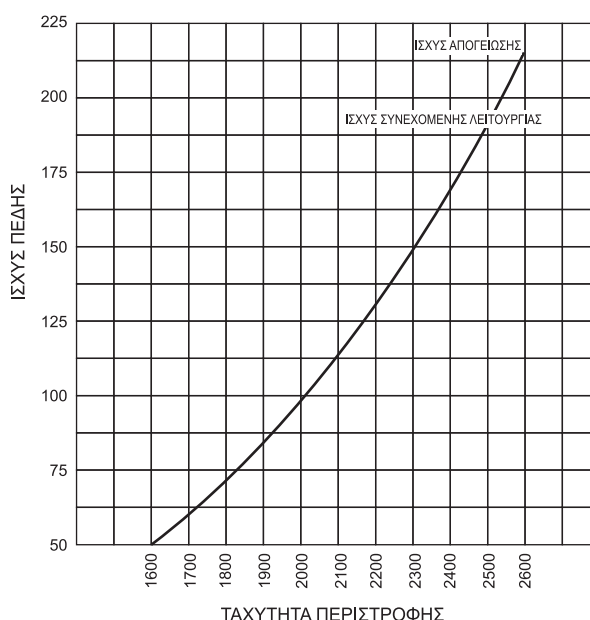
Σχήμα 2.46 Κατανομή ισχύος εμβολοφόρου κινητήρα

2.8.4 Καμπύλες απόδοσης εμβολοφόρου κινητήρα

Κάθε εμβολοφόρος κινητήρας ο οποίος έχει συγκεκριμένα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά όπως ο κυβισμός, ο αριθμός και η διάταξη εμβόλων, η διαδρομή εμβόλου, η τροφοδοσία του (αν είναι δηλαδή ατμοσφαιρικός ή υπερτροφοδοτούμενος), έχει συγκεκριμένη ισχύ αλλά και κατανάλωση καυσίμου για το εύρος στροφών λειτουργίας του. Όλοι οι κατασκευαστές αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων παρέχουν, για κάθε τύπο κινητήρα που κατασκευάζουν και τα αντίστοιχα **διαγράμματα, ή καμπύλες ισχύος και ειδικής κατανάλωσης καυσίμου** σε συνάρτηση με τις στροφές λειτουργίας του.

Οι καμπύλες αυτές απεικονίζουν την ισχύ πέδης που παράγει ο κινητήρας σε δεδομένο αριθμό στροφών και την κατανάλωση καυσίμου που έχει σε αυτές τις

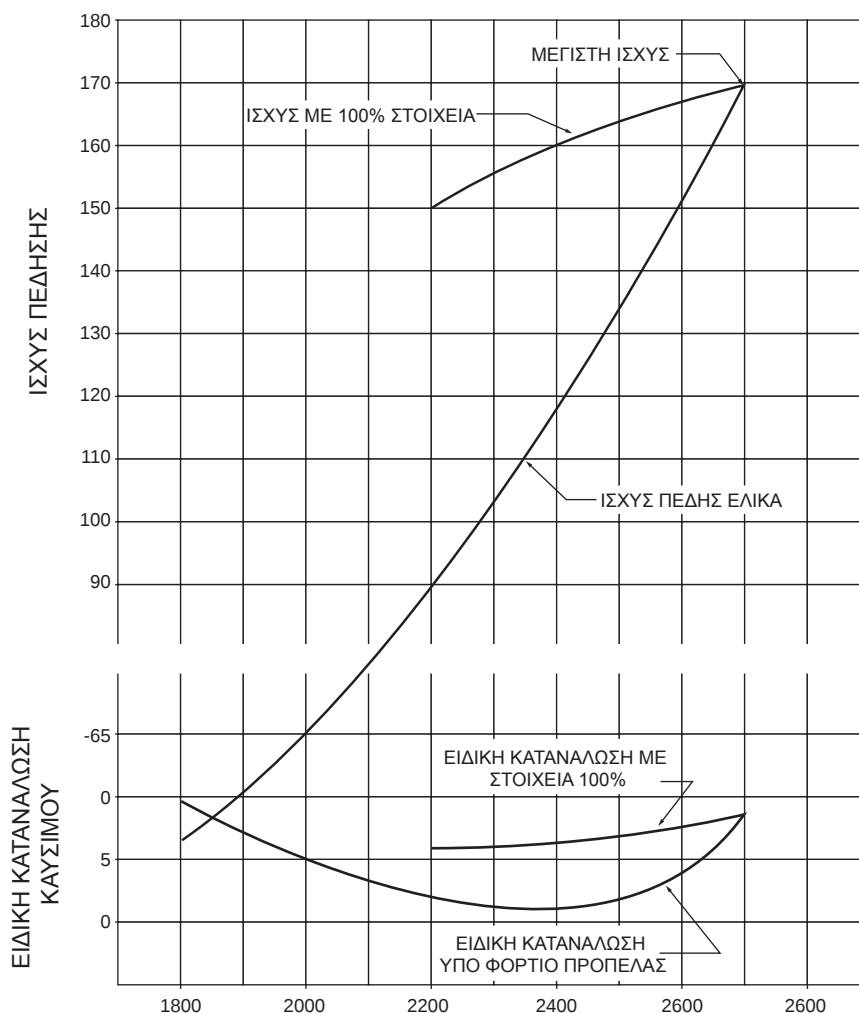
στροφές. Οι καμπύλες αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες, γιατί παρουσιάζουν συνοπτικά όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται κάποιος για να επιλέξει αρχικά τον κατάλληλο κινητήρα για ένα συγκεκριμένο σκάφος, αλλά και να λειτουργήσει στη συνέχεια τον κινητήρα στα όρια που έχει αυτός σχεδιαστεί. Στο Σχήμα 2.47 βλέπουμε ένα διάγραμμα ισχύος εμβολοφόρου κινητήρα, το οποίο παρουσιάζει την αναπτυσσόμενη ισχύ πέδης του κινητήρα για το εύρος στροφών λειτουργίας του. Σε αυτό το διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει ο κινητήρας κατά την απογείωση και για συνεχόμενη λειτουργία. Παρατηρούμε ότι η ισχύς που παράγει ο κινητήρας αυξάνεται γραμμικά με τις στροφές του.



Σχήμα 2.47 Διάγραμμα ισχύος πέδης έναντι στροφών εμβολοφόρου κινητήρα

Ένα χαρακτηριστικό διάγραμμα ισχύος εμβολοφόρου κινητήρα φαίνεται στο Σχήμα 2.48, στο οποίο εκτός από την αναπτυσσόμενη ισχύ πέδης για το εύρος στροφών του, βλέπουμε και την ειδική κατανάλωση καυσίμου. Σε αυτό το διάγραμμα, παρατηρούμε ότι υπάρχουν δύο καμπύλες ισχύος πέδης και δύο καμπύλες κατανάλωσης καυσίμου. Η μία καμπύλη δείχνει την ισχύ πέδης που αναπτύσσει ο κινητήρας σε δυναμόμετρο με πλήρη στοιχεία (θέση μανέτας στο μέγιστο) ενώ η άλλη καμπύλη δείχνει την ισχύ πέδης που αναπτύσσει ο κινητήρας με τον συνιστώμενο από τον κατασκευαστή έλικα.

Ένας ιδιαίτερα χρήσιμος τύπος καμπύλης εμβολοφόρου κινητήρα απεικονίζεται στο Σχήμα 2.1. Σε αυτό τον τύπο διαγράμματος απεικονίζεται η σχέση μεταξύ του μείγματος καυσίμου και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, του ποσοστού αναπτυσσόμενης ισχύος από τον κινητήρα, της θερμοκρασίας καυσαερίων και της θερμοκρασίας κεφαλής κυλίνδρου. Έχοντας τις πληροφορίες αυτές για ένα κινητήρα από τον κατασκευαστή, είμαστε σε θέση να ρυθμίζουμε το μείγμα του κινητήρα για πτήση με μέγιστη οικονομία ή για μέγιστη ισχύ ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχουμε για τον τρόπο πτήσης που θέλουμε να ακολουθήσουμε.



Σχήμα 2.48 Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος εμβολοφόρου κινητήρα

Ανακεφαλαίωση

- Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργική διάρκεια ενός εμβολοφόρου κινητήρα είναι οι εξής:
 1. Οι συνθήκες λειτουργίας
 2. Ο τρόπος πτήσης
 3. Η περιοδική συντήρηση
 4. Η συχνότητα πτήσεων
- Κάθε είδους εργασία, η οποία εκτελείται σε αεροπορικό κινητήρα εκτελείται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή οι οποίες περιλαμβάνονται στα τεχνικά εγχειρίδια. Οι απαιτήσεις για τεκμηρίωση των εργασιών συντήρησης επιβάλλουν τη χρήση εντύπων εργασιών όπως τα πλάνα εργασίας όπου πιστοποιείται εγγράφως κάθε φάση των εργασιών.
- Οι επιθεωρήσεις που πραγματοποιούνται σε έναν εμβολοφόρο αεροπορικό κινητήρα διακρίνονται στους ακόλουθους τύπους:
 1. Επιθεώρηση πριν από την πτήση
 2. Επιθεώρηση μετά από 50 ώρες λειτουργίας
 3. Επιθεώρηση μετά από 100 ώρες λειτουργίας
 4. Την ετήσια επιθεώρηση
- Η γενική επισκευή ενός κινητήρα περιλαμβάνει την πλήρη αποσυναρμολόγηση του κινητήρα και την επιθεώρηση κάθε εξαρτήματός του ξεχωριστά τη συναρμολόγησή του, τις ρυθμίσεις και τη δοκιμή.
- Τα είδη της επιθεώρησης των εξαρτημάτων του κινητήρα είναι τα ακόλουθα:
 1. Οπτική επιθεώρηση.
 2. Η επιθεώρηση με μη καταστροφικούς ελέγχους όπως η μαγνητική επιθεώρηση (MPI), η επιθεώρηση με διεισδυτικά υγρά (FPI), η επι-

θεώρηση με δινορεύματα (Eddy Current Inspection), ακτινογράφιση (X-ray), και η επιθεώρηση με υπέρηχους (Ultrasonic inspection).

3. Η διαστατική επιθεώρηση.

- Η διερεύνηση μιας βλάβης σε έναν αεροπορικό κινητήρα ορίζεται ως ο εντοπισμός των ενδείξεων της βλάβης και η απομόνωση της βλάβης ή των βλαβών που προκαλούν τις ενδείξεις αυτές. Η διερεύνηση μιας βλάβης επιτελείται με τα ακόλουθα στάδια:

1. Αναγνώριση των συμπτωμάτων
2. Ερμηνεία και ανάλυση των συμπτωμάτων
3. Καταγραφή των πιθανών αιτιών που μπορούν να προκαλέσουν τη δυσλειτουργία
4. Εντοπισμός της δυσλειτουργίας
5. Απομόνωση της δυσλειτουργίας σε συγκεκριμένο σημείο ή σύστημα του κινητήρα
6. Ανάλυση της αιτίας που προκάλεσε τη βλάβη
7. Καταγραφή επισκευών στα μητρώα του κινητήρα (JAA Form One)

- Η διαδικασία αφαίρεσης ενός εμβολοφόρου κινητήρα περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά στάδια:

1. Διακοπή παροχής ρεύματος και καυσίμου
2. Αφαίρεση των αεροδυναμικών καλυμμάτων
3. Αποστράγγιση συστήματος καυσίμου και λίπανσης.
4. Αφαίρεση του έλικα
5. Αποσύνδεση σωληνώσεων των συστημάτων λίπανσης καυσίμου και υδραυλικού.

- Η διαφορά των εμβολοφόρων κινητήρων ελικοπτέρων με αυτών των αεροσκαφών έγκειται στα ακόλουθα σημεία:

1. Στη θέση του κινητήρα στο σκάφος
2. Στη μετάδοση κίνησης στον έλικα από τον κινητήρα
3. Στην ύπαρξη συστήματος εξαναγκασμένης ψύξης στους κινητήρες ελικοπτέρων

- Η ισχύς ενός εμβολοφόρου κινητήρα ορίζεται ως η ποσότητα του έργου που παράγεται από τον κινητήρα αυτό σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, και οι μονάδες μέτρησής της είναι ο ίππος (hp) και το Watt.
- Η ισχύς διακρίνεται στα ακόλουθα είδη: Ενδεικνυόμενη ισχύς, Ισχύς πέδης και Ισχύς απωλειών.
- Απόδοση εμβολοφόρου κινητήρα ονομάζουμε το λόγο του αποδιδόμενου έργου από τον κινητήρα προς την παρεχόμενη σε αυτόν θερμότητα. Η απόδοση ενός εμβολοφόρου κινητήρα διακρίνεται στη μηχανική απόδοση και τη θερμική απόδοση.
- Η προσδιδόμενη ενέργεια σε έναν εμβολοφόρο κινητήρα από το καύσιμο καταναλώνεται κατά 20% για την ψύξη του, κατά 45% χάνεται στα καυσαέρια του, ένα 5% καταναλώνεται σε τριβές ενώ ένα υπολειπόμενο ποσοστό 30% αποτελεί το ωφέλιμο έργο. Τα ποσοστά αποτελούν μια τυπική κατανομή της προσδιδόμενης ενέργειας.
- Οι καμπύλες ισχύος ενός εμβολοφόρου κινητήρα είναι διαγράμματα που απεικονίζουν την ισχύ πέδης που αναπτύσσει ο κινητήρας και την κατανάλωση που έχει για αυτή την ισχύ σε συνάρτηση με τις στροφές λειτουργίας του. Οι καμπύλες αυτές είναι πολύ χρήσιμες γιατί περιγράφουν συνοπτικά τις δυνατότητες που έχει ένας κινητήρας και επιτρέπουν να επιλέξουμε την περιοχή λειτουργίας του κινητήρα σε πτήση για τον σωστό προγραμματισμό της πτήσης.

Ερωτήσεις

(2.1 Όρια λειτουργικής διάρκειας κινητήρων)

1. Σε ποιους λόγους οφείλεται η αύξηση του χρόνου μεταξύ γενικής επισκευής των σύγχρονων εμβολοφόρων κινητήρων;
2. Ποιοι από τους παρακάτω παράγοντες επηρεάζουν τη ζωή ενός εμβολοφόρου κινητήρα;
Α) Το περιβάλλον λειτουργίας
Β) Ο τρόπος πτήσης
Γ) Η συχνή αλλαγή του λιπαντικού του κινητήρα
Δ) Ο αριθμός των κυλίνδρων του κινητήρα
3. Η επιλογή του λόγου αέρα καυσίμου του μείγματος έχει άμεση σχέση με την οικονομία καυσίμου.
ΣΩΣΤΟ ☐ ΛΑΘΟΣ ☐
4. Ποια είναι η επίδραση που μπορεί να έχει η συχνότητα πτήσεων σε ένα εμβολοφόρο αεροπορικό κινητήρα και γιατί;
5. Για ποιο λόγο ένας αεροπορικός κινητήρας υπόκειται σε συνεχείς αλλαγές από τη στιγμή που θα κατασκευαστεί το πρώτο μοντέλο του;

(2.2 Επιθεωρήσεις κινητήρων)

1. Αναφέρατε τα είδη των επιθεωρήσεων που πραγματοποιούνται σε ένα κινητήρα πριν την πτήση του αεροσκάφους.
2. Ποια από τα παρακάτω συστήματα περιλαμβάνονται σε μια επιθεώρηση 50 ωρών;
Α) Σύστημα καυσίμου και εισαγωγής

Β) Σύστημα λίπανσης

Γ) Υπερπληρωτής

Δ) Όλα τα παραπάνω

3. Η συμπλήρωση των εγγράφων συντήρησης είναι απαραίτητη κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος των διαδικασιών συντήρησης για λόγους ασφαλείας πτήσεων.

ΣΩΣΤΟ ☐ ΛΑΘΟΣ ☐

4. Για ποιον από τους παρακάτω λόγους, ο καθαρισμός του κινητήρα, για την απομάκρυνση λαδιών, γράσων και κάθε είδους βρωμιάς, είναι απαραίτητη εργασία πριν την επιθεώρησή του;

Α) Για την αποφυγή υπερθέρμανσης του κινητήρα κατά τη λειτουργία του.

Β) Για λόγους ευκολίας τοποθέτησης του κινητήρα στο αεροσκάφος.

Γ) Για την αποκάλυψη τυχόν ρωγμών, φθορών και άλλων ζημιών κατά την επιθεώρηση και την αποκατάσταση αυτών.

Δ) Κανένα από τα παραπάνω.

5. Είναι δυνατόν να βγάλουμε συμπεράσματα για τη μακροχρόνια λειτουργία του κινητήρα εξετάζοντας το μέρος των σπινθηριστών που έρχεται σε επαφή με τα καυσαέρια και αν ναι ποιες είναι αυτές οι ενδείξεις που αξιολογούνται;

(2.3 Γενική επισκευή εμβολοφόρων κινητήρων)

1. Ποια στάδια περιλαμβάνει η γενική επισκευή ενός τυπικού εμβολοφόρου κινητήρα;
2. Περιγράψτε τις βασικές διαδικασίες που απαιτούνται για την αφαίρεση ενός εμβολοφόρου κινητήρα.
3. Η επιθεώρηση ενός κινητήρα είναι βασικός παράγοντας για την επιτυχία του επισκευή.

ΣΩΣΤΟ ☐ ΛΑΘΟΣ ☐

4. Ποιο από τα παρακάτω είδη επιθεώρησης είναι ευκολότερο και οικονομικότερο να πραγματοποιηθεί;
- A) Οπτική επιθεώρηση
 - B) Επιθεώρηση με δινορεύματα
 - Γ) Επιθεώρηση με διεισδυτικά υγρά
 - Δ) Επιθεώρηση με υπερήχους
5. Με τη μέθοδο της μαγνητικής επιθεώρησης μπορούμε να ανιχνεύσουμε ρωγμές οι οποίες:
- A) Βρίσκονται πάνω ή πολύ κοντά στην επιφάνεια του εξαρτήματος που επιθεωρούμε.
 - B) Βρίσκονται σε μη σιδηρούχα εξαρτήματα.
 - Γ) Βρίσκονται σε αρκετό βάθος από την επιφάνεια του εξαρτήματος και δεν μπορούν να ανιχνευτούν με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο.
 - Δ) Είναι πολύ μικρές για να ανιχνευτούν με άλλες μεθόδους επιθεώρησης.
6. Ποια από τις μεθόδους επιθεώρησης που γνωρίζετε θα χρησιμοποιούσατε για να διαπιστώσετε ότι ένα εξάρτημα δεν έχει ρωγμές στο εσωτερικό του;
7. Σε ποια, ή ποιες, φάσεις της επισκευής ενός κινητήρα πραγματοποιούνται οι διαστατικοί έλεγχοι; Αναφέρατε μερικούς από αυτούς.
8. Η γενική επισκευή του κινητήρα ολοκληρώνεται με τη δοκιμή του σε επίγειο δοκιμαστήριο και εν συνεχεία με την τοποθέτησή του στο αεροσκάφος.

ΣΩΣΤΟ ☐ ΛΑΘΟΣ ☐

(2.4 Διερεύνηση βλαβών αεροπορικού κινητήρα και παρελκομένων)

1. Ποια είναι η σωστή μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθείται για την ανεύρεση μιας βλάβης σε έναν κινητήρα;
2. Αναφέρατε τα βασικά στάδια της μεθοδολογίας διερεύνησης μιας βλάβης.

3. Σε ποιες κατηγορίες διακρίνονται οι βλάβες που παρουσιάζουν οι εμβολοφόροι κινητήρες;
4. Αναφέρατε επιγραμματικά τα στάδια της οργάνωσης αφαίρεσης ενός εμβολοφόρου κινητήρα.
5. Ποιες είναι οι πληροφορίες που πρέπει να αναφέρουν απαραίτητως τα μητρώα ενός κινητήρα;
6. Ποιες είναι οι δυσλειτουργίες που μπορεί να παρουσιάσει το σύστημα λίπανσης ενός εμβολοφόρου κινητήρα;
7. Ο τρόπος που ανιχνεύουμε έναν ή περισσότερους ελαττωματικούς σπινθηριστές σε έναν εμβολοφόρο κινητήρα είναι ο ακόλουθος:
 - A) Αφαιρούμε όλους τους σπινθηριστές από τον κινητήρα και τους δοκιμάζουμε με κατάλληλη συσκευή.
 - B) Χρησιμοποιούμε τον διακόπτη επιλογής μανιατό και μετράμε τη θερμοκρασία των κυλίνδρων μετά από σύντομη λειτουργία του κινητήρα.
 - Γ) Ζητάμε τη βοήθεια του κατασκευαστή των σπινθηριστών.
 - Δ) Ελέγχουμε διεξοδικά τις καλωδιώσεις του συστήματος ανάφλεξης.

(2.5 Συντήρηση, ρυθμίσεις και επισκευή εξαρτημάτων και συστημάτων εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα)

1. Αναφέρατε τα σημεία και τα εξαρτήματα που επιθεωρείται ένας τυπικός στροφαλοθάλαμος ενός εμβολοφόρου κινητήρα.
2. Ένα από τα πιο γνωστά προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά τη συντήρηση του κυρίου σώματος των κυλίνδρων, είναι η αποκατάσταση της τραχύτητας της εσωτερικής επιφάνειάς τους.

ΣΩΣΤΟ ☐ ΛΑΘΟΣ ☐

3. Ποιες είναι οι εργασίες που πραγματοποιούνται για την επισκευή των πτερυγίων ψύξης αερόψυκτων εμβολοφόρων κινητήρων;

4. Ποια είναι η βασική προϋπόθεση που πρέπει να πληροί ένα έμβολο μετά από μια γενική επισκευή για να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στον κινητήρα;
5. Βασική διαδικασία ρύθμισης, μετά τη συναρμολόγηση ενός μανιατό είναι:
- A) Το κύριο γρανάζι του μανιατό θα πρέπει να χρονισθεί με το στροφέα του διανομέα.
 - B) Η μέτρηση και η ρύθμιση της αντίστασης του πηνίου του μανιατό.
 - Γ) Το κύριο γρανάζι του μανιατό θα πρέπει να χρονισθεί με τον εκκεντροφόρο άξονα του κινητήρα.
 - Δ) Η δοκιμή του μανιατό σε ειδικό δοκιμαστήριο.
6. Το κυριότερο εξάρτημα του συστήματος καυσίμου ενός εμβολοφόρου κινητήρα είναι η αντλία καυσίμου.
- ΣΩΣΤΟ ☐ ΛΑΘΟΣ ☐
7. Η ανάλυση του λιπαντικού ενός εμβολοφόρου κινητήρα μας παρέχει πληροφορίες όσον αφορά:
- A) Τις ώρες πτήσης του αεροσκάφους.
 - B) Το μέγεθος της φθοράς που έχουν υποστεί τα εξαρτήματα του κινητήρα από τα οποία διέρχεται το λιπαντικό και την πιθανότητα αστοχίας κάποιου από αυτά.
 - Γ) Την αλλοίωση της σύστασης του λιπαντικού και τη λιπαντική του ικανότητα.
 - Δ) Την ποσότητα του λιπαντικού που έχει καταναλώσει ο κινητήρας ανά μίλι πτήσης.

(2.6 Διαδικασίες αντικατάστασης εμβολοφόρων κινητήρων)

1. Ποια είναι η συνηθέστερη αιτία αντικατάστασης εμβολοφόρου κινητήρα;
2. Η ανίχνευση μεγάλης ποσότητας μεταλλικών ρινισμάτων στον ανιχνευτή ρινισμάτων του συστήματος λίπανσης είναι αιτία αφαίρεσης του κινητήρα από το αεροσκάφος;

3. Ποια είναι η πρώτη και βασικότερη εργασία που πρέπει να γίνεται αμέσως μετά τη στάθμευση ενός αεροσκάφους στο υπόστεγο για την αφαίρεση του κινητήρα του;
4. Αναφέρετε τα βασικά στάδια της διαδικασίας αφαίρεσης ενός εμβολοφόρου κινητήρα από το αεροσκάφος.
5. Τι είναι το έντυπο εκτεταμένων επισκευών και τροποποιήσεων, σε ποια περίπτωση χρησιμοποιείται και ποια είναι τα βασικά στοιχεία που καταγράφονται σε αυτό;
6. Τι πρέπει να προσέχουμε απαραίτητως κατά την αποστράγγιση του καυσίμου από έναν εμβολοφόρο κινητήρα;
 - A) Να μην προκαλέσουμε φθορά στη βαλβίδα αποστράγγισης καυσίμου.
 - B) Να πραγματοποιείται η εργασία σε καλά αεριζόμενο χώρο και να μην υπάρχουν κοντά εστίες θερμότητας ή σπινθήρες.
 - Γ) Να μη χυθεί καύσιμο στο δάπεδο και υπάρξει κίνδυνος ολισθηρότητας.
 - Δ) Όλα τα παραπάνω.
7. Γιατί χρησιμοποιείται ο βραχίονας ανάρτησης κατά τη διαδικασία αφαίρεσης του κινητήρα από το σκάφος;

(2.7 Εμβολοφόροι κινητήρες ελικοπτέρων)

1. Ποιες είναι οι διαφορές μεταξύ των ελικοπτέρων και των αεροπλάνων ως προς τη θέση τοποθέτησης του κινητήρα τους και γιατί;
2. Αναφέρατε τους λόγους για τους οποίους οι εμβολοφόροι κινητήρες ελικοπτέρων δεν συνδέονται απ' ευθείας με τον έλικα του ελικοπτέρου
3. Ποιοι είναι οι παράγοντες που καθορίζουν το μέγιστο όριο της ταχύτητας περιστροφής του έλικα των ελικοπτέρων;
4. Ο λόγος που χρησιμοποιείται σύστημα σύμπλεξης/αποσύμπλεξης στους εμβολοφόρους κινητήρες των ελικοπτέρων είναι:

- A) Για να γίνεται δυνατή η εκκίνηση του κινητήρα.
 - B) Για λόγους ασφαλείας σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας του κινητήρα.
 - Γ) Και για τους δύο παραπάνω λόγους.
5. Για ποιο λόγο χρησιμοποιούμε σύστημα ψύξης στους εμβολοφόρους κινητήρες των ελικοπτέρων;

(2.8 Ισχύς - απόδοση - επιδόσεις εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα)

1. Αναφέρατε τον ορισμό της ισχύος ενός κινητήρα, και τις μονάδες μέτρησής της στο αγγλοσαξονικό σύστημα μέτρησης.
2. Πώς ορίζεται η ενδεικνυόμενη ισχύς ενός εμβολοφόρου κινητήρα;
3. Μηχανική απόδοση εμβολοφόρου κινητήρα ονομάζουμε:
 - A) Το λόγο του καυσίμου που δίνουμε στον κινητήρα προς το προσδιδόμενο έργο.
 - B) Το λόγο της θερμικής απόδοσης προς το καταναλισκόμενο έργο.
 - Γ) Τη συνολική απόδοση του κινητήρα.
 - Δ) Το λόγο της ισχύος πέδης προς τη συνολική ισχύ που αναπτύσσει ο κινητήρας.
4. Όσο περισσότερη από τη θερμική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε έργο τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμική απόδοση ενός κινητήρα.

ΣΩΣΤΟ ☐ ΛΑΘΟΣ ☐
5. Η διαδικασία μετατροπής της ροπής, που εφαρμόζεται στον άξονα του έλικα, σε ώση έχει ένα ποσοστό απωλειών. Πού οφείλονται αυτές οι απώλειες;
6. Ποια είναι η κατανομή ισχύος σε έναν τυπικό εμβολοφόρο κινητήρα;

Εργασίες - Δραστηριότητες

1. Συγκεντρώστε πληροφορίες από βιβλιοθήκες, διαδίκτυο, μονάδες Πολεμικής Αεροπορίας κλπ αναφορικά με τις συστάσεις των κύριων κατασκευαστών αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων για τις επιθεωρήσεις των κινητήρων.
2. Τύποι φθορών (Πίνακας 2.4): Επεξηγήσατε και αναλύσατε τους διάφορους τύπους φθορών, οι οποίοι περιγράφονται στον πίνακα. Προσπαθήστε (με τη βοήθεια του διδάσκοντα) να εντοπίσετε πραγματικές περιπτώσεις φθορών στα εξαρτήματα του ή των κινητήρων του εργαστηρίου σας, οι οποίες ανταποκρίνονται στους ορισμούς του πίνακα.
3. Συντάξτε εκθέσεις, αφού συγκεντρώσετε πληροφοριακό υλικό, σχετικά με τις μεθόδους μη καταστροφικών ελέγχων:
 - τις αρχές στις οποίες στηρίζονται
 - τις δυνατότητές τους
 - την εξέλιξή τους
 - Επισκεφθείτε δοκιμαστήριο αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων (μονάδες Πολεμικής Αεροπορίας, ΕΑΒ). Παρακολουθήστε δοκιμή κινητήρα. Ενημερωθείτε:
 - για το βασικό εξοπλισμό, ο οποίος είναι απαραίτητος για τη λήψη μετρήσεων.
 - για τη διαδικασία δοκιμής ενός κινητήρα.
 - για τις κρίσιμες παραμέτρους, βάσει των οποίων γίνεται η αποδοχή του κινητήρα και τη σχέση αυτών με τις ενδείξεις που έχει στη διάθεσή του ο χειριστής.

5. Συγκεντρώστε πληροφοριακό υλικό και ετοιμάστε μια μικρή παρουσίαση για τις διαφορές δύο τουλάχιστον εκδόσεων του ίδιου κινητήρα, εκ των οποίων η μία χρησιμοποιείται σε ελικόπτερο και η άλλη σε αεροσκάφος (π.χ Lycoming O-435 και TVO-435).

Εργαστήρια

Εργαστηριακή άσκηση 2.1:

Εξοικείωση με το χώρο εργασίας του εργαστηρίου, τα μέσα ασφάλειας που διαθέτει και τα μέτρα ασφάλειας που πρέπει να λαμβάνονται κατά τη διάρκεια των εργασιών σε αυτό.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Οι στόχοι αυτής της εργαστηριακής άσκησης είναι η παρουσίαση των χώρων εργασίας, όπως ένα υπόστεγο ή ένα συνεργείο συντήρησης, των μέτρων ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησης και επισκευής κινητήρων και των μέσων ασφαλείας που πρέπει να υπάρχουν στο χώρο εργασίας. Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- Να αναφέρετε τις περιβαλλοντικές συνθήκες που πρέπει να επικρατούν για την εκτέλεση των εργασιών συντήρησης.
- Να περιγράφετε τον απαραίτητο εξοπλισμό ασφαλείας και τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται για την ασφαλή εκτέλεση των εργασιών συντήρησης και επισκευής αεροπορικών κινητήρων.
- Να αναφέρετε τα δικαιώματα και τις υποχρεώσεις που έχουν οι εργαζόμενοι έναντι του εργοδότη όσον αφορά την τήρηση των σωστών μέτρων ασφαλείας, του εξοπλισμού ασφαλείας που πρέπει να διατίθεται και της εκπαίδευσης που πρέπει να παρέχεται για την ασφαλή εκτέλεση των εργασιών στο χώρο εργασίας.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Ένα επισκευαστικό κέντρο για να εκτελεί εργασίες συντήρησης και επισκευής αεροπορικού υλικού θα πρέπει να είναι πιστοποιημένο από την αρμόδια υπηρεσία πολιτικής αεροπορίας της χώρας στην οποία επιχειρεί, στην προκειμένη περίπτωση την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (Υ.Π.Α.) για την Ελλάδα. Η πιστοποίηση αυτή δίνεται για την κατηγορία των εργασιών που εκτελούνται και τους τύπους

των αεροσκαφών ή κινητήρων που συντηρεί. Για να είναι δυνατή η εκτέλεση των εργασιών συντήρησης ο χώρος συντήρησης θα πρέπει να είναι κατάλληλα εξοπλισμένος όσον αφορά τους παρακάτω τομείς:

Κτιριακές εγκαταστάσεις και συνθήκες εργασίας

Με τις απαραίτητες κτιριακές εγκαταστάσεις οι οποίες να εξασφαλίζουν τον αναγκαίο χώρο και την κατάταμσή του βάσει του μεγέθους των κινητήρων και των εξαρτημάτων πάνω στα οποία εκτελούνται οι εργασίες. Επίσης, οι εγκαταστάσεις θα πρέπει να εξασφαλίζουν κατάλληλες συνθήκες εργασίας για τους εργαζόμενους σε αυτές και τα αεροπορικά υλικά, όσον αφορά διαβρωτικούς παράγοντες και παράγοντες μόλυνσης. Οι εργασίες θα πρέπει να εκτελούνται σε περιβάλλον με :

- **Επαρκή φωτισμό** για την επιθεώρηση και τη συντήρηση των κινητήρων και των εξαρτημάτων τους.
- **Θερμοκρασία** η οποία να κυμαίνεται σε επιτρεπτά επίπεδα για την εκτέλεση των εργασιών συντήρησης και επιθεωρήσεων.
- **Θόρυβο** σε επιτρεπτά επίπεδα για τη διεξαγωγή των εργασιών επιθεώρησης. Σε κάθε άλλη περίπτωση το προσωπικό θα πρέπει να εξοπλίζεται με τα κατάλληλα μέσα που θα του επιτρέπουν να εκτελεί τις εργασίες του χωρίς να αποσπάται η προσοχή του.
- **Επίπεδα σκόνης** σε βαθμό που να μην είναι ορατό σε επιφάνειες του συνεργείου και τα οποία μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση σε ευαίσθητα εξαρτήματα κινητήρων (όπως για παράδειγμα οι τριβείς) κατά τη φάση της συναρμολόγησης.

Μέσα ασφάλειας

Για την ασφαλή εκτέλεση των εργασιών συντήρησης και επισκευής είναι υποχρέωση του εργοδότη να έχει εξοπλίσει τους χώρους με τα απαραίτητα μέσα ασφαλείας σε επαρκή ποσότητα και να παράσχει την εκπαίδευση για τη σωστή χρήση τους στους εργαζόμενους. Η πραγματοποίηση οποιασδήποτε εργασίας με ασφαλή τρόπο δεν είναι όμως μόνο υπόθεση ύπαρξης επαρκών μέσων ασφαλείας αλλά και λήψης των μέτρων αυτών από τους εμπλεκόμενους και ικανότητας σωστής χρήσης των μέσων ασφαλείας.

Τα **μέσα ασφάλειας** που πρέπει να υπάρχουν στο χώρο εργασίας μπορεί να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Μέσα ασφάλειας κτιρίου (υποστέγου ή συνεργείου).

Σε αυτά περιλαμβάνονται η πυρασφάλεια του κτιρίου όπως το σύστημα ανίχνευσης και κατάσβεσης πυρός, σήμανση και φωτισμός εξόδων κινδύνου και συστήματα απαγωγής επικίνδυνων αερίων και ατμών.

2. Ατομικά μέσα ασφάλειας.

Τα μέσα αυτά σχετίζονται με τον εξοπλισμό που πρέπει να διαθέτει το προσωπικό ανάλογα με την εργασία που εκτελεί για την ατομική προστασία του. Τα μέσα αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Υποδήματα με αντιολισθητική σόλα και με προστασία για πτώση βαριών αντικειμένων.
- Γυαλιά προστασίας κατάλληλου τύπου ανάλογα με το είδος της εργασίας. Για την εκτέλεση εργασιών λείανσης, κοπής και κατεργασίας μετάλλων θα πρέπει να χρησιμοποιούνται γυαλιά από διαφανή άθραυστο πλαστικό (Σχήμα 2.49α). Για την εκτέλεση εργασιών συγκόλλησης μετάλλων θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά γυαλιά ή μάσκες συγκόλλησης (Σχήμα 2.49 (β) και (γ)).



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 2.49 Γυαλιά ασφαλείας για α) κατεργασίες μετάλλων, β) συγκολλήσεις μετάλλων και γ) μάσκα συγκόλλησης μετάλλων

- Προστατευτικές μάσκες ανάλογου τύπου για εργασίες αποχρωματισμού, βαφής εξαρτημάτων και χημικού καθαρισμού εξαρτημάτων.
- Ωτοασπίδες ή ειδικά ηχοπροστατευτικά ακουστικά κατά τη διάρκεια εργασιών τροχισμού, λειτουργίας μηχανών, δοκιμής-ρύθμισης κινητήρων στο δοκιμαστήριο κινητήρων και εργασιών στην πίστα αεροδρομίου.
- Προστατευτικά γάντια για προστασία από τα τοξικά λιπαντικά (ειδικά των αεριοστροβίλων κινητήρων) και υδραυλικά κατά τη διάρκεια της συντήρησης αλλά και για προστασία από θερμά εξαρτήματα για επισκευές όπως συγκολλήσεις, θερμικές κατεργασίες και συναρμογές τμημάτων κινητήρων όπου απαιτείται θέρμανσή τους ή και κατάψυξή τους.

Μέτρα ασφάλειας

Τα **μέτρα ασφάλειας** που πρέπει να λαμβάνονται κατά τη διάρκεια εργασιών συντήρησης και επισκευής κινητήρων είναι τα ακόλουθα:

- Οι εργασίες σε εξαρτήματα συστημάτων καυσίμου θα πρέπει να γίνονται σε καλά αεριζόμενους χώρους και να υπάρχει διαθέσιμος ο κατάλληλος τύπος πυροσβεστήρα σε εμφανές σημείο.
- Κατεργασίες μετάλλων όπως κοπή και τροχισμός δεν θα πρέπει να γίνονται σε χώρους όπου υπάρχουν εύφλεκτα υλικά ή αναθυμιάσεις τους.
- Η πραγματοποίηση εργασιών κατεργασίας ειδικών κραμάτων μετάλλων όπως κράματα μαγνησίου που περιέχουν θόριο θα πρέπει να γίνεται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους οι οποίοι είναι κλειστοί και δεν επικοινωνούν με τους υπόλοιπους χώρους εργασίας κατά τη διάρκεια των εργασιών.

Το **θόριο** είναι ένα φυσικό **ραδιενεργό** στοιχείο που βρίσκεται σε συγκεντρώσεις της τάξης του 4% σε κάποια κράματα μαγνησίου σε εξαρτήματα αεροπορικών κινητήρων. Προστίθεται σε αυτά τα κράματα για λόγους βελτίωσης της αντοχής τους σε μηχανικές καταπονήσεις. Ο κίνδυνος που εμπεριέχεται στο χειρισμό υλικών που περιέχουν θόριο δεν υφίσταται από την επαφή με τα υλικά αυτά. Η πολύ μικρής έντασης ακτινοβολία είναι τέτοιου μεγέθους που δεν διαπερνά την επιδερμίδα. Επιπλέον, η ακτινοβολία σε απόσταση μεγαλύτερη των 5 εκατοστών από το υλικό, εξασθενεί πλήρως. Ο πραγματικός κίνδυνος υπάρχει κατά την κατεργασία εξαρτημάτων, όπως λείανση, τρόχισμα και μηχανουργική κατεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας δημιουργούνται αιωρούμενα σωματίδια που μπορούν να εισπνευσθούν ή να καταποθούν. Η παραμονή των ακτινοβολούντων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό αποτελεί και τον μεγαλύτερο κίνδυνο, γιατί ο οργανισμός είναι σε συνεχή επαφή με την πηγή ακτινοβολίας.

- Να μην βρίσκονται μέσα ή κοντά σε χώρους που πραγματοποιείται ραδιογραφική επιθεώρηση (X-Ray Inspection) εξαρτημάτων λόγω του κινδύνου ακτινοβολίας. Οι εργαζόμενοι που εργάζονται στο συνεργείο ραδιογραφικής επιθεώρησης θα πρέπει να φέρουν ειδικά σήματα (δοσομετρητές ακτινοβολίας, Σχήμα 2.50). Οι χώροι στους οποίους εκτελούνται ακτινογραφήσεις σηματοδοτούνται με το σήμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.51.



Σχήμα 2.50 Δοσομετρητής ακτινοβολίας



Σχήμα 2.51 Σηματοδότηση χώρων με κίνδυνο ακτινοβολίας

- Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στις εργασίες με υδραυλικά υγρά, τα οποία είναι ιδιαίτερος τοξικά. Είναι απαραίτητη η χρήση προστατευτικών γαντιών και γυαλιών ασφαλείας.
- Επίσης κατά τη διάρκεια εργασιών επιθεώρησης με διεισδυτικά υγρά επιβάλλεται η χρήση αδιάβροχων γαντιών και προστατευτικών γυαλιών λόγω της τοξικότητας και διεισδυτικότητας των υγρών αυτών στο δέρμα.

Μέτρα ασφάλειας εξωτερικών χώρων, κυκλοφορίας σε πίστα.

- Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά την κυκλοφορία οχημάτων και πεζών στην πίστα αεροδρομίου για την αποφυγή ανατροπής τους από το ρεύμα αέρα ή καυσαερίων των κινητήρων.
- Προσοχή κατά την οδήγηση οχημάτων μέσα σε πίστα για αποφυγή σύγκρουσης με αεροσκάφη

Πρόληψη και καταστολή πυρκαγιάς

Ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι πάντοτε παρών σε ένα εργαστήριο (ή υπόστεγο) συντήρησης κινητήρων εξαιτίας των εύφλεκτων υλικών που υπάρχουν στο περιβάλλον όπως καύσιμο, λιπαντικά και υδραυλικά υγρά, των εργασιών επισκευής που πραγματοποιούνται όπως συγκολλήσεις, τροχισμός και των τάσεων που μπορεί να υπάρχουν, οι οποίες δημιουργούν κίνδυνο πυρκαγιάς από σπινθηρισμούς.

Για να εκδηλωθεί μια πυρκαγιά πρέπει να συνυπάρχουν ταυτόχρονα τρεις (3) προϋποθέσεις. Η ύπαρξη **καύσιμης ύλης, θερμότητας και οξυγόνου**. Οι πυρκαγιές συνήθως αρχίζουν από μια εστία μικρού μεγέθους και εξαπλώνονται στη συνέχεια με την ύπαρξη των τριών αυτών στοιχείων τα οποία αποτελούν και το λεγόμενο **‘τρίγωνο της πυρκαγιάς’**. Αν περιορίσουμε ένα ή περισσότερα από αυτά τα στοιχεία τότε μπορούμε να περιορίσουμε και να κατασβέσουμε μια πυρκαγιά.

Κατηγορίες Πυρκαγιών

Οι πυρκαγιές κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τύπο της καύσιμης ύλης που καίγεται σε 4 κατηγορίες οι οποίες χαρακτηρίζονται με τα γράμματα του Αγγλικού αλφαβήτου **A, B, C, D**.

Κατηγορία A

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι πυρκαγιές των οποίων η καύσιμη ύλη είναι οργανικές ενώσεις (δηλαδή ενώσεις του άνθρακα) σε στερεή κατάσταση όπως το ξύλο, το χαρτί και τα υφάσματα. Οι πυρκαγιές αυτές ονομάζονται ξηρές ή κοινές, συμβολίζονται με το σήμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.52 και το υλικό κατάσβεσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατηγορία αυτή είναι το νερό.



Σχήμα 2.52 Σήμα πυρκαγιάς κατηγορίας A και πυροσβεστήρας

Κατηγορία B

Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι πυρκαγιές των οποίων η καύσιμη ύλη είναι υγρά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, η βενζίνη, και τα λιπαντικά, ή εύφλεκτα αέρια όπως το υδρογόνο, το υγραέριο και η ασετιλίνη (Σχήμα 2.53). Η καταστολή αυτής της κατηγορίας των πυρκαγιών πραγματοποιείται με χρήση πυροσβεστικών υλικών όπως ο πυροσβεστικός αφρός, διοξείδιο του άνθρακα (002), χλωροβρωμομεθάνιο και HALON.

Κατηγορία C

Οι πυρκαγιές της κατηγορίας C, ονομάζονται και ηλεκτρικές και είναι οι πυρκαγιές που προκαλούνται από την ύπαρξη ηλεκτρικής τάσης από υπερθέρμανση καλωδίων, ή βραχυκύκλωμα ηλεκτρικών ή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, ή τέλος ηλεκτρικών μηχανημάτων (Σχήμα 2.54). Από τη στιγμή που σταματήσει η παροχή ρεύματος στο κύκλωμα ή στη συσκευή που φλέγεται, τότε η πυρκαγιά χαρακτηρίζεται σαν μια από τις κατηγορίες **A** ή **B** και αντιμετωπίζεται ανάλογα με το φλεγόμενο υλικό. Η αντιμετώπιση μιας πυρκαγιάς της κατηγορίας αυτής πραγματοποιείται με μονωτικά υλικά όπως διάφορες χημικές σκόνες, CO₂, και HALON.



Σχήμα 2.53 Σήμα πυρκαγιάς κατηγορίας B και πυροσβεστήρας



Σχήμα 2.54 Σήμα πυρκαγιάς κατηγορίας C και πυροσβεστήρας

Κατηγορία D

Οι πυρκαγιές της κατηγορίας D αναφέρονται σε περιπτώσεις όπου έχουμε καύση εύφλεκτων μετάλλων όπως το νάτριο, κάλιο, μαγνήσιο και τιτάνιο. Ειδικά στα δύο τελευταία πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση γιατί χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αεροπορικών εξαρτημάτων. Για την καταστολή αυτού του είδους των πυρκαγιών χρησιμοποιείται ειδική ξηρά σκόνη, ενώ δεν υπάρχει ειδική σήμανση γι' αυτό τον τύπο πυροσβεστήρα.

Πυροσβεστήρες πολλαπλών κατηγοριών

Εκτός των προαναφερθέντων κατηγοριών πυροσβεστήρων υπάρχουν και τύποι πυροσβεστήρων που είναι κατάλληλοι για περισσότερους από ένα τύπο πυρκαγιάς. Αυτοί φέρουν περισσότερα από ένα από τα προαναφερθέντα σύμβολα, ανάλογα με τους τύπους πυρκαγιάς για τις οποίες είναι κατάλληλοι, όπως ο πυροσβεστήρας στο Σχήμα 2.55, ο οποίος είναι κατάλληλος για πυρκαγιές τύπου Α, Β και C και ο πυροσβεστήρας στο Σχήμα 2.56 ο οποίος είναι κατάλληλος για πυρκαγιές τύπου Α και Β.



Σχήμα 2.55 Σήμανση πυροσβεστήρα κατάλληλου για πυρκαγιές τύπου Α,Β,С



Σχήμα 2.56 Σήμανση πυροσβεστήρα κατάλληλου για πυρκαγιές τύπου Α και Β

Απαιτούμενα μέσα

Τα μέσα που απαιτούνται για την εργαστηριακή άσκηση είναι τα ακόλουθα:

- Το εργαστήριο των αεροκινητήρων
- Οι πυροσβεστήρες που υπάρχουν στο εργαστήριο

Πορεία εργασίας

1. Εντοπίστε την έξοδο ασφαλείας του εργαστηρίου και βεβαιωθείτε ότι δεν είναι φραγμένη με εμπόδια όπως εξαρτήματα, εργαλεία και θρανία.
2. Ανοίξτε την πόρτα της εξόδου και βεβαιωθείτε ότι επίσης ο χώρος πίσω από την έξοδο είναι ανοικτός και ότι η οδός διαφυγής είναι ελεύθερη.
3. Φροντίστε να υπάρχει μια πορεία διαφυγής προς την κύρια έξοδο και την έξοδο ασφαλείας η οποία να μην παρεμποδίζεται από τον εξοπλισμό του εργαστηρίου καθώς και από άλλα εμπόδια που μπορούν να προκαλέσουν ατύχημα κατά την έξοδο από το εργαστήριο.
4. Εντοπίστε τους πυροσβεστήρες που διαθέτει το εργαστήριο, και τη θέση τους ώστε να γνωρίζετε που βρίσκονται σε περίπτωση που χρειαστεί. Αναγνωρίστε τον τύπο τους, την ταμπέλα επιθεώρησης του πυροσβεστήρα και ελέγξτε την ημερομηνία της επόμενης επιθεώρησης. Βεβαιωθείτε ότι η πίεση του προωθητικού αερίου είναι στα κανονικά επίπεδα από το όργανο της πίεσης που φέρει ο πυροσβεστήρας και ότι οι πυροσβεστήρες είναι προσιτοί και δεν καλύπτονται από εμπόδια που εμποδίζουν την πρόσβαση σε αυτούς. Η θέση του πυροσβεστήρα πρέπει να υποδηλώνεται από κίτρινη διαγράμμιση στο δάπεδο κάτω από τον πυροσβεστήρα και πρέπει σε κάθε περίπτωση ο χώρος που βρίσκεται να είναι ελεύθερος γύρω του.
5. Εντοπίστε τους διακόπτες έκτακτης ανάγκης του συστήματος πυρασφάλειας του εργαστηρίου και φροντίστε ώστε να είναι ορατοί και ελεύθεροι από εμπόδια.
6. Φροντίστε για την τάξη μέσα στο εργαστήριο και την καθαριότητα ειδικά του δαπέδου από λάδια, καύσιμο και γράσα που μπορούν να προκαλέσουν ατύχημα λόγω ολισθηρότητας.
7. Εντοπίστε τον πίνακα παροχής ρεύματος του εργαστηρίου.
8. Βεβαιωθείτε ότι υπάρχει κουτί πρώτων βοηθειών διαθέσιμο με όλα τα απαραίτητα περιεχόμενα.
9. Κατασκευάστε κάτοψη του εργαστηρίου όπου να καταγράφονται τα σημεία των κρισίμων, από πλευράς ασφάλειας, θέσεων.

Εργαστηριακή άσκηση 2.2:

Κατεργασία εξαρτημάτων αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα σε τόρνο και δράπανο

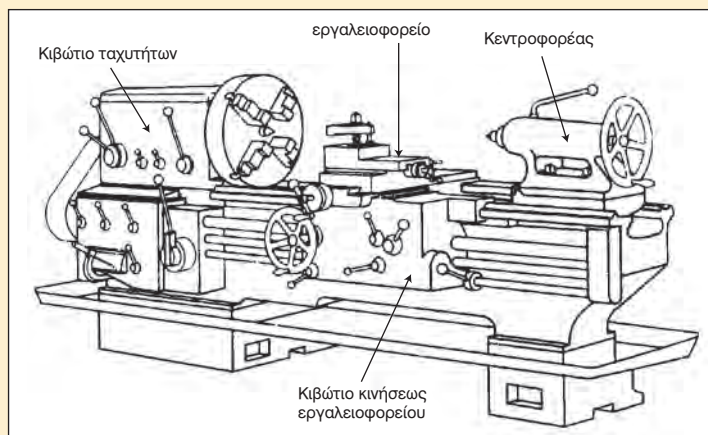
Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αναγνωρίζετε τα είδη των τόρνων και των δραπάνων και να αναφέρετε τις αρχές λειτουργίας τους.
- β) Να αναφέρετε τις πρακτικές που πρέπει να ακολουθείτε ώστε να πραγματοποιείτε τις βασικές εργασίες σε εξαρτήματα αεροπορικών κινητήρων.
- γ) Να χειρίζεστε τον τόρνο και το δράπανο, και να εκτελείτε όλες τις απαραίτητες μετρήσεις και ελέγχους.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Ο τόρνος. Είναι μία από τις παλαιότερες μηχανές που εφευρέθηκαν από τον άνθρωπο. Στον τόρνο γενικής χρήσης (Σχήμα 2.57) πραγματοποιούνται κατεργασίες σε εξωτερικές και εσωτερικές κυλινδρικές επιφάνειες, κωνικές επιφάνειες, επίπεδες επιφάνειες (εγκάρσια τόρνευση), εξωτερικές και εσωτερικές σφαιρικές επιφάνειες, τρυπήματα και διάνοιξη οπών, έκκεντρη τόρνευση (στροφαλοφόροι και εκκεντροφόροι άξονες), κοπή εξωτερικών και εσωτερικών σπειρωμάτων, περιέλιξη ελατηρίων και άλλες.

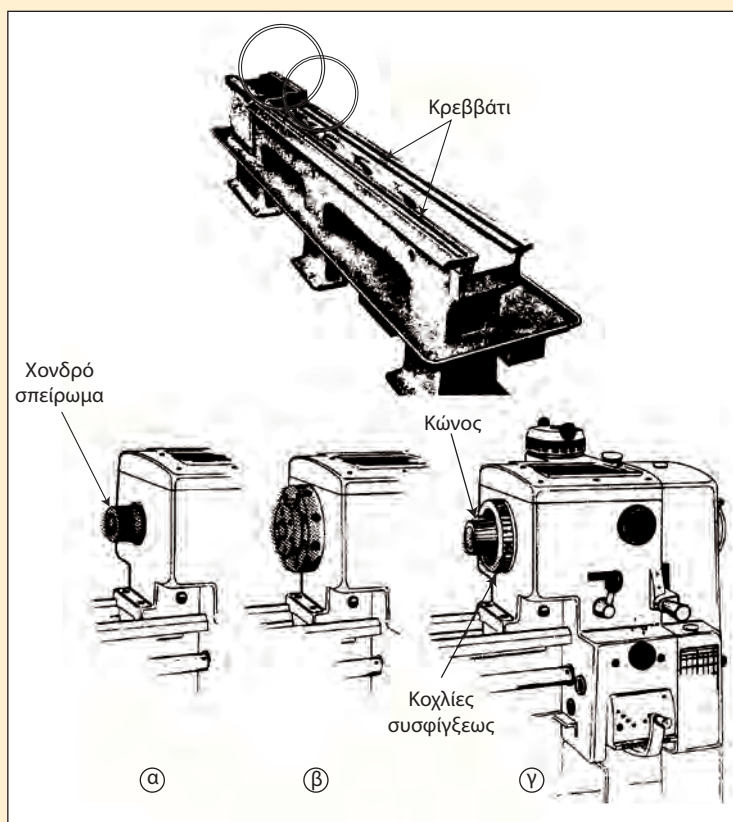


Σχήμα 2.57 Τόρνος γενικής χρήσης και τα βασικά εξαρτήματά του

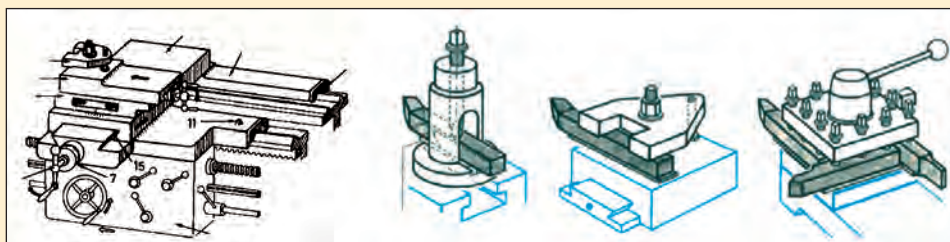
Ο τόρνος αποτελείται, βασικά, από πέντε μέρη:

- Το σώμα, το πάνω μέρος του οποίου ονομάζεται και κρεβάτι,
- Το κιβώτιο ταχυτήτων,
- Το κιβώτιο προώσεων,
- Το εργαλειοφορείο, και
- Τον κεντροφορέα.

Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνονται κάποια από τα βασικά εξαρτήματα του τόρνου.



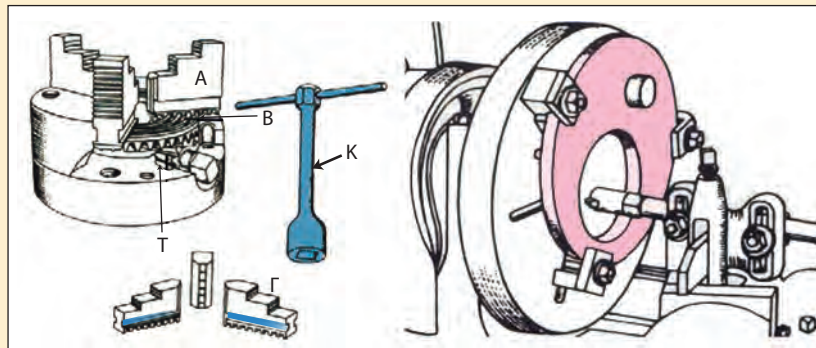
Σχήμα 2.58 Κρεβάτι και κύρια άτρακτος κιβωτίου ταχυτήτων



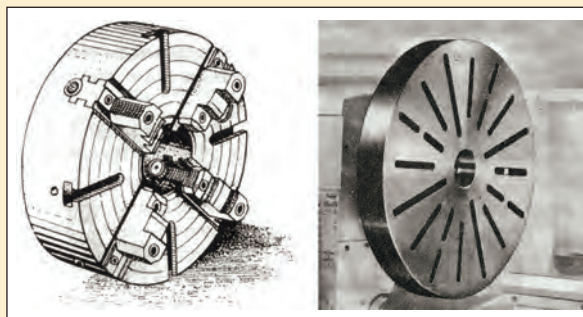
Σχήμα 2.59 Εργαλειοφορείο και μορφές εργαλειοδέτη

Ως βασικό εξάρτημα του τóρνου θεωρείται ο κεντροφορέας. Βρίσκεται στο άνω μέρος του σώματος, δεξιά από το εργαλειοφορείο. Χρησιμεύει ως στήριγμα του ελεύθερου δεξιού άκρου του εξαρτήματος που υφίσταται την κατεργασία στην περίπτωση που γίνεται τóρνευση με συγκράτηση μεταξύ τσοκ και κεντροφορέα ή μεταξύ κέντρων. Επίσης, χρησιμεύει για να υποδέχεται και να συγκρατεί το τρυπάνι στις περιπτώσεις που πραγματοποιείται τρύπημα κομματιών δεμένων στο τσοκ. Ο κεντροφορέας στο σύνολό του μετακινείται κατά μήκος του σώματος. Το άνω τμήμα του έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί μία μικρή, εγκάρσια κίνηση η οποία χρησιμεύει στην περίπτωση κωνικής τóρνευσης με μικρή, σχετικά, κωνικότητα. Γενικά, ο κεντροφορέας είναι το εξάρτημα του τóρνου που έχει ακρίβεια στην κατασκευή και τις κινήσεις του.

Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση των εξαρτημάτων προς κατεργασίας στον τóρνο είναι: α) τα τσοκ, που χρησιμοποιούνται όταν τα εξαρτήματα προς επεξεργασία είναι μικρά και έχουν κυλινδρικό ή άλλο κανονικό πολυγωνικό σχήμα (Σχήμα 2.60), και β) τα πλατώ, που χρησιμοποιούνται για μεγάλα εξαρτήματα με οποιαδήποτε μορφή (Σχήμα 2.61).



Σχήμα 2.60 Τσοκ συγκράτησης εξαρτημάτων

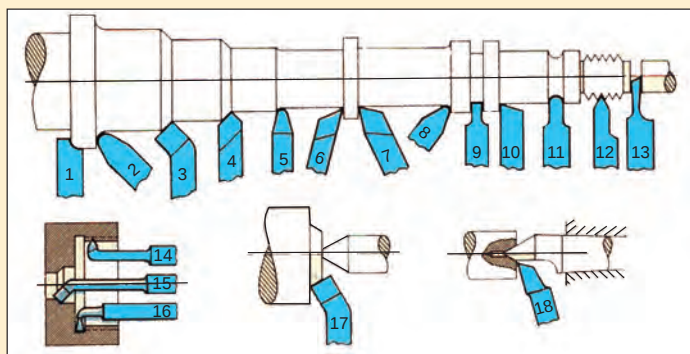


Σχήμα 2.61 Πλατώ συγκράτησης εξαρτημάτων

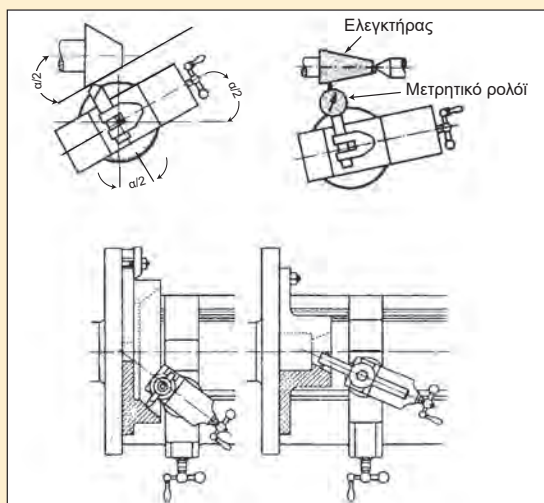
Ως υλικά κατασκευής των κοπτικών εργαλείων στους τóρνους χρησιμοποιούνται οι ταχυχάλυβες, τα σκληρομέταλλα και, σε κάποιες περιπτώσεις, τα κεραμικά υλι-

κά. Στο Σχήμα 2.62 παρουσιάζονται οι βασικές μορφές εργαλείων κοπής από ταχυχάλυβα και οι αντίστοιχες περιπτώσεις τόννευσης.

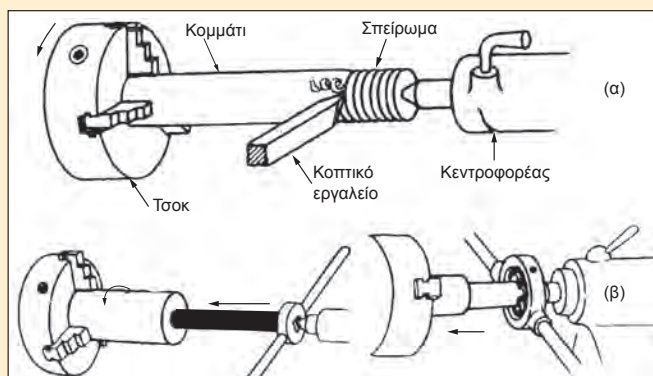
Στο Σχήμα 2.63 παρουσιάζεται η πρακτική της κωνικής τόννευσης με στροφή του φορείου του εργαλειοδείκτη.



Σχήμα 2.62 Μορφές εργαλείων κοπής



Σχήμα 2.63 Κωνική τόννευση



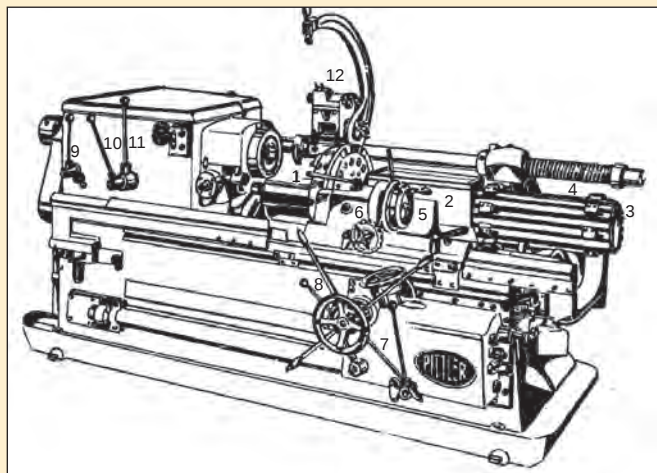
Σχήμα 2.64 Κοπή (α) εξωτερικού και (β) εσωτερικού σπειρώματος

Στο Σχήμα 2.64 φαίνονται οι κοπές εξωτερικού και εσωτερικού σπειρώματος στον τόρνο.

Ένας ιδιαίτερος τύπος τόρνου είναι ο ημι-αυτόματος τόρνος ρεβόλβερ, που φαίνεται στο Σχήμα 2.65. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μεγάλης παραγωγής σε σειρά. Επεξεργάζεται εξαρτήματα μικρού μήκους χωρίς, ωστόσο, περιορισμούς στη διάμετρο και το βάρος.

Το κύριο πλεονέκτημα του τόρνου ρεβόλβερ είναι ότι συγκεντρώνει όσα εργαλεία χρειάζονται για την παραγωγή οποιουδήποτε εξαρτήματος. Αυτά είναι μόνιμα συγκρατημένα, και μάλιστα με τη σειρά που απαιτείται, πάνω σε μία περιστροφική εργαλειοφόρο κεφαλή. Αυτή αποτελεί και το χαρακτηριστικό γνώρισμα του τόρνου ρεβόλβερ και ονομάζεται πύργος ή μύλος.

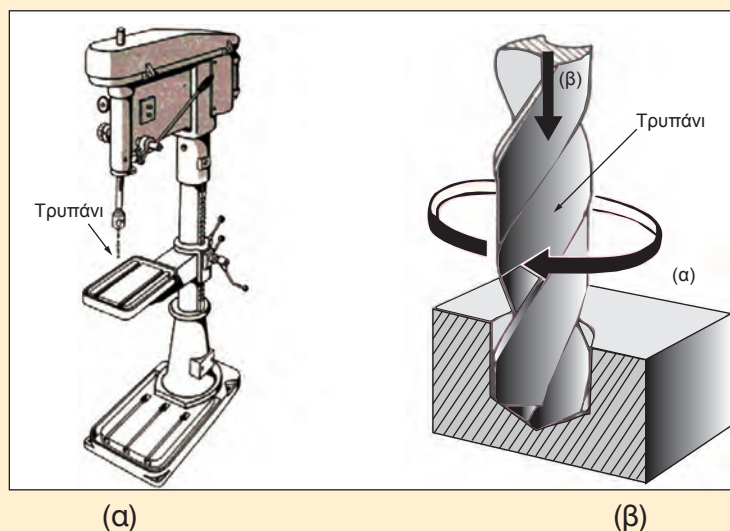
Σε ένα σωστά εξοπλισμένο και ρυθμισμένο τόρνο ρεβόλβερ δε γίνονται μετρήσεις κατά την παραγωγή. Πραγματοποιούνται προσεκτικοί έλεγχοι των διαστάσεων των παραγόμενων εξαρτημάτων κατά αραιά διαστήματα.



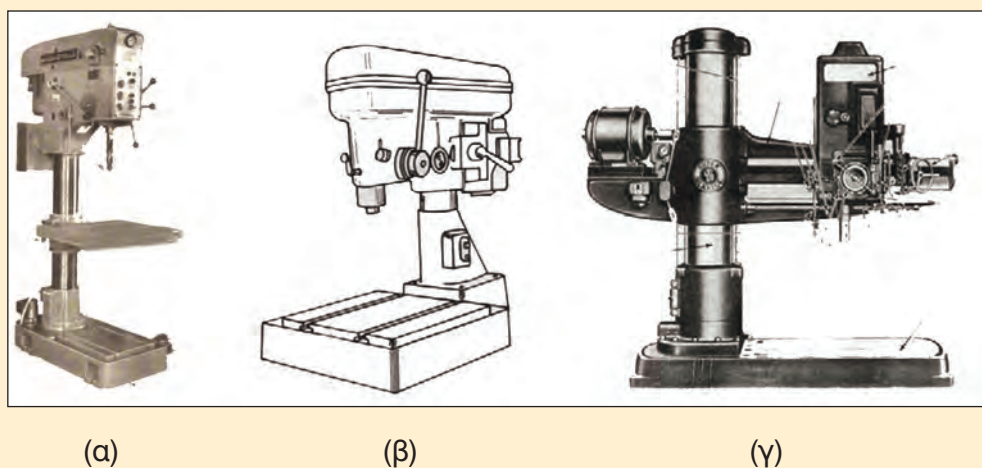
Σχήμα 2.65 Τόρνος τύπου ρεβόλβερ

Το δράπανο. Χρησιμοποιείται για το άνοιγμα τυφλών ή διαμπερών οπών καθώς επίσης και για κοχλιοτομήσεις, φρεζαρίσματα και εμβαθύνσεις. Το εργαλείο που χρησιμοποιείται ονομάζεται **τρυπάνι** (Σχήμα 2.66(α)). Αυτό εκτελεί ταυτόχρονα δύο κινήσεις για το άνοιγμα της τρύπας: μία περιστροφική και μία ευθύγραμμη (Σχήμα 2.66(β)). Η πρώτη δίνει την ταχύτητα κοπής (β) και η δεύτερη την πρόωση (α).

Τα δράπανα χαρακτηρίζονται από τη διατρητική ικανότητά τους, η οποία είναι η μεγαλύτερη διάμετρος τρυπανιού που μπορεί να δεχτεί η κύρια άτρακτος προκειμένου να τρυπήσει συμπαγή χάλυβα σε κανονικές συνθήκες. Στο Σχήμα 2.67 παρουσιάζονται οι κυριότεροι τύποι δραπεάνων.

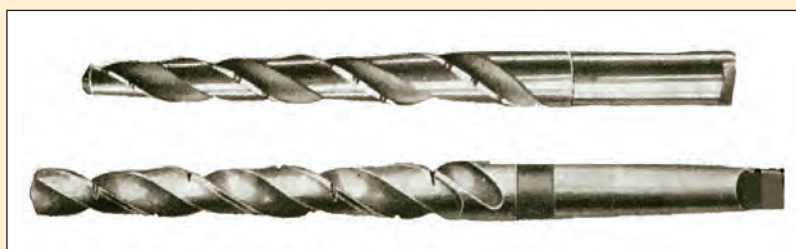


Σχήμα 2.66 Το τρυπάνι πάνω στο δράπανο και οι κινήσεις του



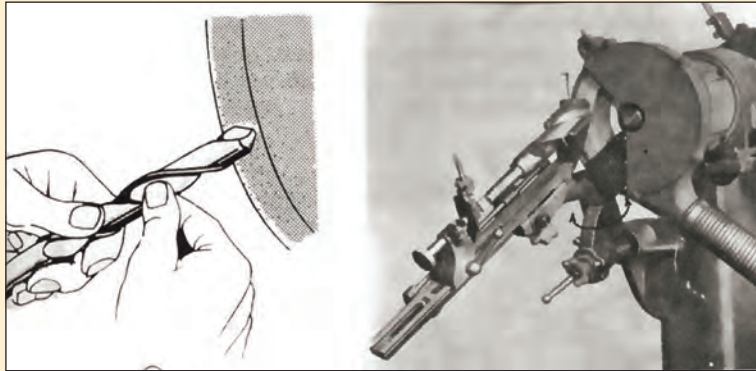
Σχήμα 2.67 Οι κυριότεροι τύποι δρανών

Τα στελέχη ελικοειδών και κωνικών τρυπανιών παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.68, ενώ παρουσιάζονται και δύο τρόποι τροχίσματός τους: με το χέρι και με ειδική μηχανή (Σχήμα 2.69).

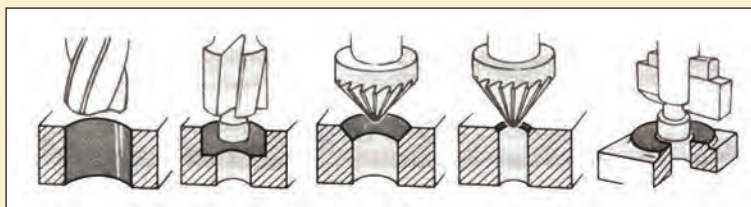


Σχήμα 2.68 Στελέχη τρυπανιών

Στο Σχήμα 2.70 φαίνονται τα φρεζοδράπανα, μία κατηγορία κοπτικών εργαλείων που κόβουν, με διάφορους τρόπους, προϋπάρχουσες τρύπες.

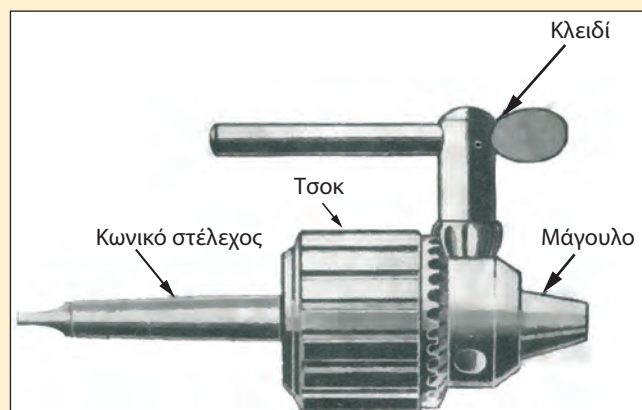


Σχήμα 2.69 Ακόνισμα τρυπανιών



Σχήμα 2.70 Φρεζοδρέπανα σε διάφορες μορφές

Τα τρυπάνια συγκρατούνται στην άτρακτο του δραπάνου είτε με σφιγκτήρα (Σχήμα 2.71), είτε με απευθείας προσαρμογή τους στην κωνική τρύπα του δράπανου.



Σχήμα 2.71 Σφιγκτήρας τρυπανιού

Μέτρα ασφάλειας

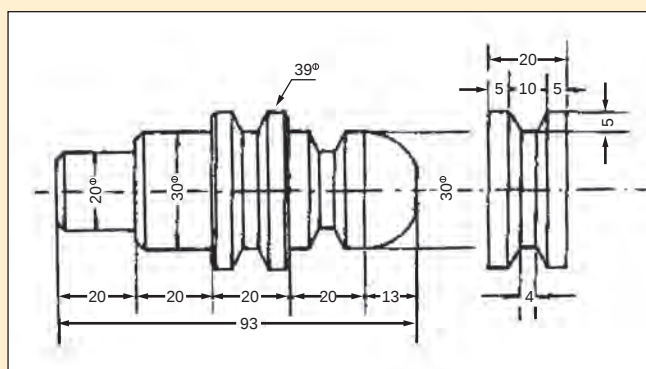
Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας του Παραρτήματος Β.

Απαιτούμενα μέσα

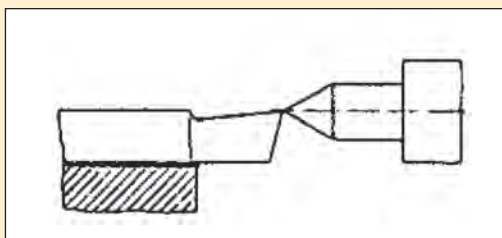
Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε την πορεία εργασίας για την κατασκευή κάποιων απλών εξαρτημάτων με τη χρήση τόνου και δραπάνου.

1. Κατασκευή τροχαλίας με τραπεζοειδή αυλάκια.

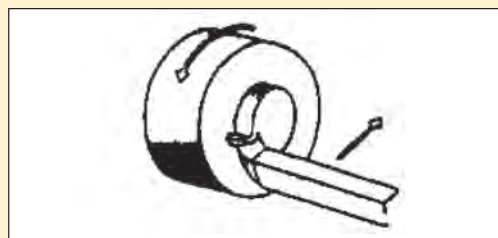
Οι διαστάσεις δίνονται στο Σχήμα 2.72. Το υλικό του δοκιμίου που θα χρησιμοποιήσετε είναι μαλακός χάλυβας St37 διαστάσεων $\Phi 40 \times 93$ mm. Η επιτρεπόμενη ανοχή είναι 0,01 mm.



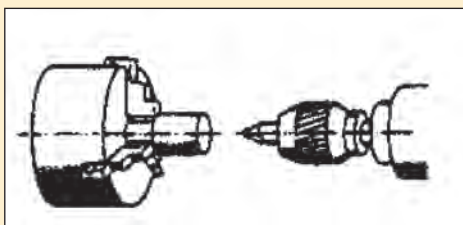
Σχήμα 2.72 Διαστάσεις και σχήμα τροχαλίας.

Πορεία εργασίας

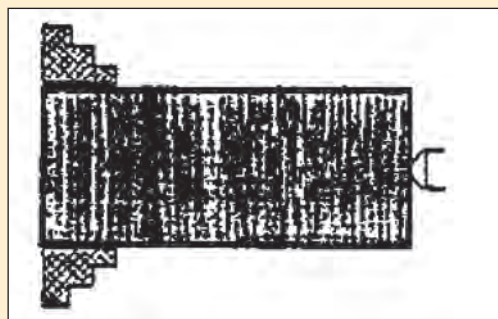
Συγκρατήστε και κεντράρετε το κοπτικό εργαλείο.



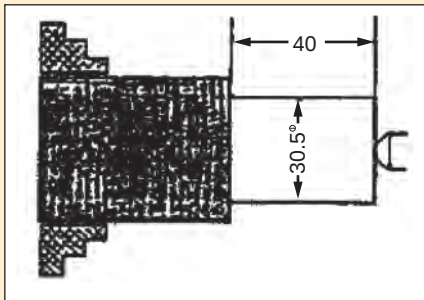
Τορνεύστε και τα δύο πρόσωπα ώστε το ολικό μήκος να είναι 93 mm.



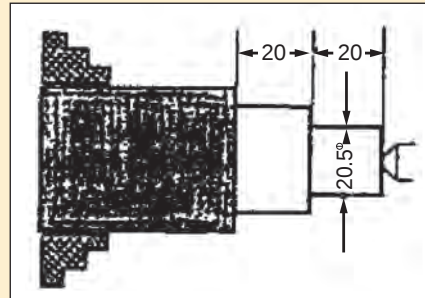
Ανοίξτε κεντρότρυπα και στα δύο πρόσωπα



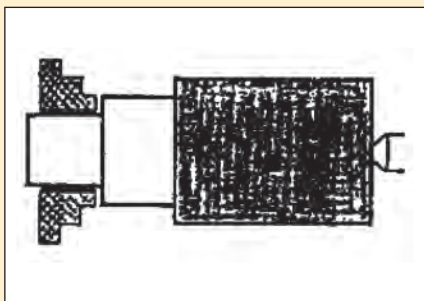
Συγκρατήστε το κομμάτι στον τόννο όπως φαίνεται παραπάνω.



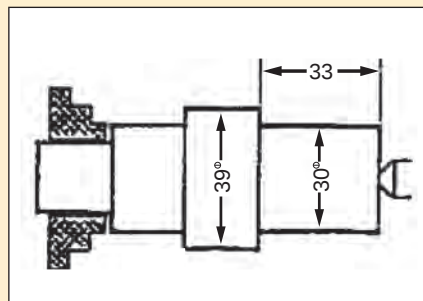
Τορνεύστε πατούρα μήκους 40 mm και διαμέτρου 30,5 mm.



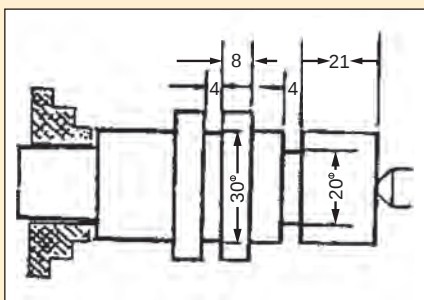
Δημιουργήστε δεύτερη πατούρα, όπως φαίνεται παραπάνω.



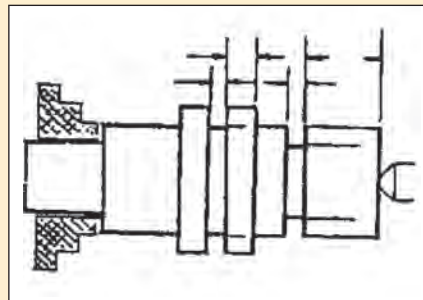
Ανατρέψτε το δοκίμιο. Συγκρατήστε το όπως φαίνεται στο σχήμα.



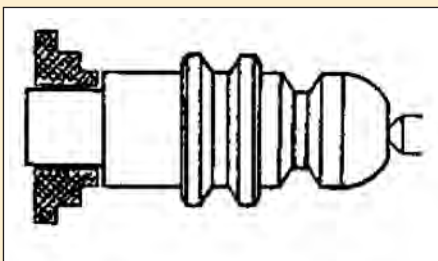
Τορνεύστε πατούρα μήκους 33 mm και διαμέτρου 30 mm.



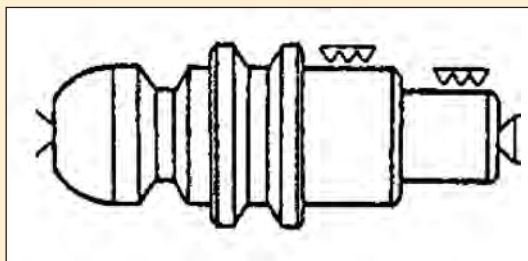
Τορνεύστε δύο αυλάκια, όπως φαίνεται παραπάνω.



Τορνεύστε χρησιμοποιώντας εργαλεία μορφής. Διαμορφώστε τραπεζοειδή αυλάκια.



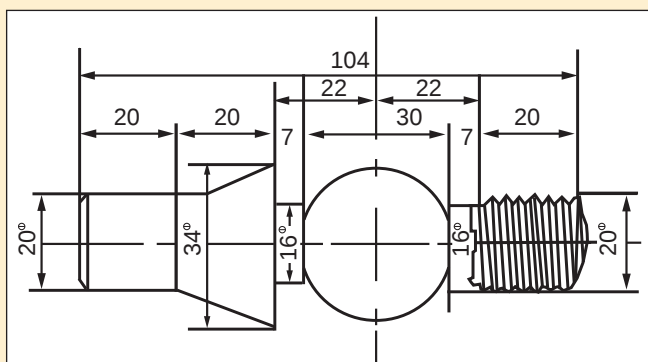
Δημιουργήστε ημισφαίριο. Ελέγξτε με τη βοήθεια ελεγκτήρα.



Αποπερατώστε τις διαμέτρους μετρώ- ντας με μικρόμετρο.

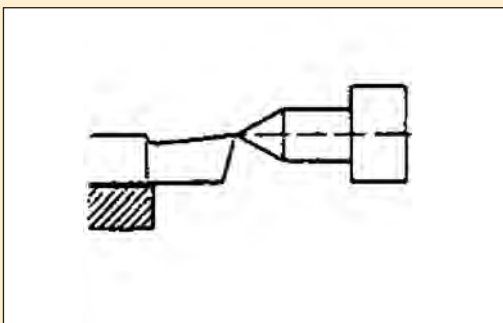
2. Κατασκευή άξονα πολλαπλής μορφής.

Οι διαστάσεις δίνονται στο Σχήμα 2.73. Το υλικό του δοκιμίου που θα χρησιμοποιήσετε είναι μαλακός χάλυβας St37 διαστάσεων $\Phi 35 \times 98$ mm. Η επιτρεπόμενη ανοχή είναι $\pm 0,01$ mm και για τα μήκη $\pm 0,2$ mm.

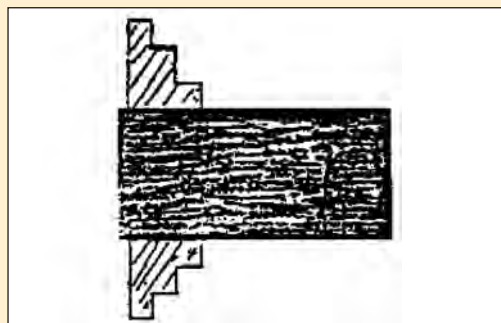


Σχήμα 2.73 Διαστάσεις και σχήμα άξονα.

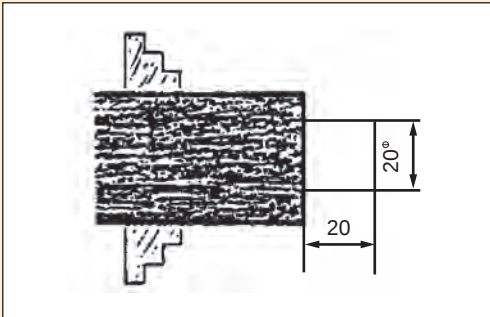
Πορεία εργασίας.



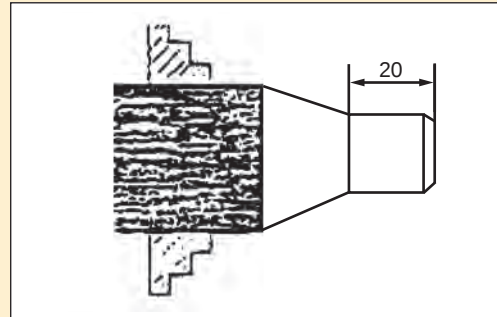
Συγκρατήστε και κεντράρετε τα οπτικά εργαλεία παράλληλης τórνευσης και σχισίματος.



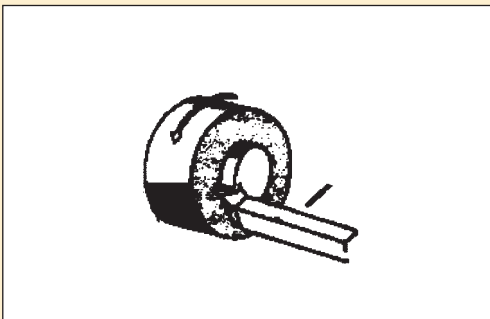
Συγκρατήστε το δοκίμιο στο τσοκ του τórνου, ώστε να προεξέχει από τους σφιγκτήρες κατά 50 mm. Τρορνεύστε το πρόσωπο.



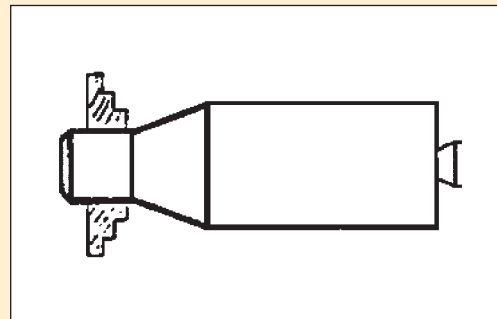
Τορνεύστε πατούρα μήκους 20mm. Υπολογίστε τις μοίρες του κώνου. Στρέψτε το φορείο του εργαλειοδέτη.



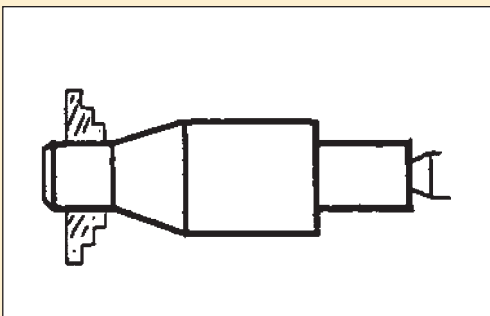
Τορνεύστε τον κώνο με διαδοχικά πάσα. Σπάστε τη γωνία με το εργαλείο στις 45°. Ανοίξτε κεντρότρυπα.



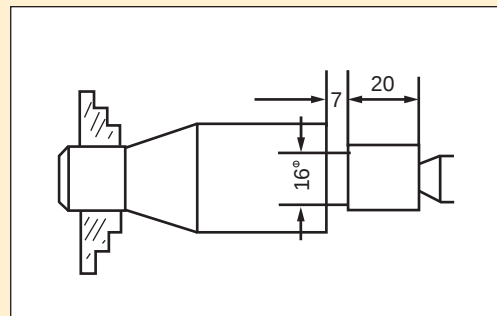
Αντιστρέψτε και τορνεύστε το πρόσωπο. Το τελικό μήκος θα είναι 104 mm. Ανοίξτε κεντρότρυπα.



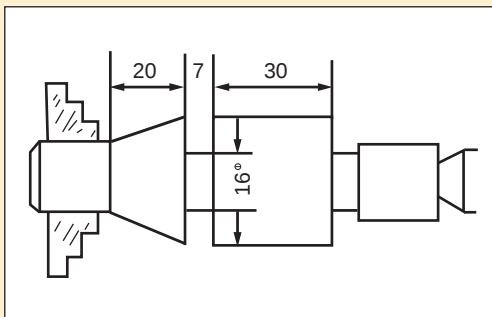
Συγκρατήστε το δοκίμιο με πόντα από τη διάμετρο των 20 mm. Τορνεύστε τη διάμετρο στα 34 mm.



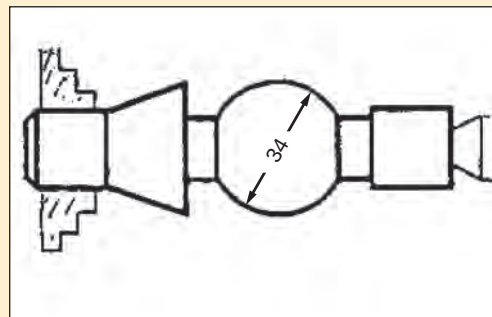
Τορνεύστε πατούρα 27mm x Φ20.



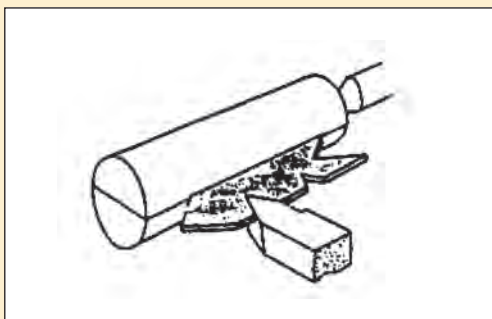
Γυρίστε το μύλο του εργαλειοδέτη στο κοπτικό του σχισίματος. Τορνεύστε εγκάρσια. Δημιουργήστε σχισμή πλάτους 7mm και διαμέτρου 16mm.



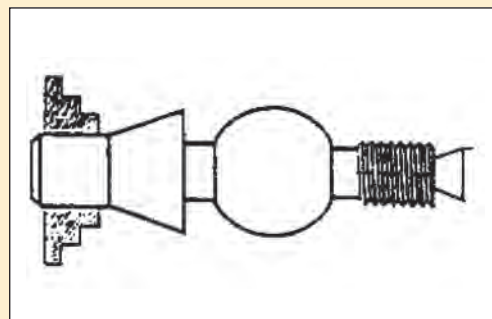
Μετατοπίστε το εργαλείο αριστερά και κάνετε δεύτερη σχισμή πλάτους 7mm και διαμέτρου 16 mm.



Με το εργαλείο σχισίματος και παράλληλη λειτουργία κάθετου και παράλληλου εργαλειοφορείου, торνεύστε μορφή σφαίρας.



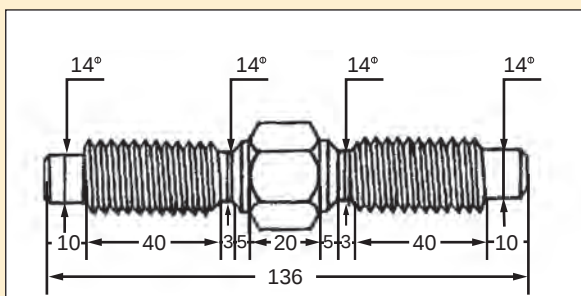
Κεντράρετε με καλίμπρα – ελεγκτήρα το κοπτικό εργαλείο του κωνικού σπειρώματος.



Ρυθμίστε το κιβώτιο NORTON. Κόψτε δεξιό κωνικό σπείρωμα.

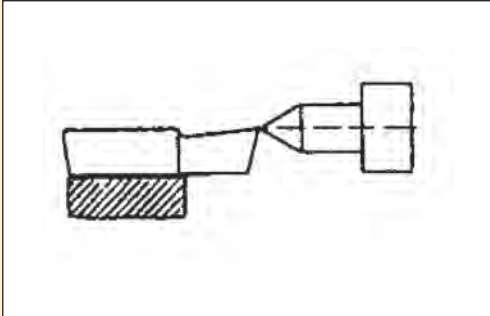
3. Κατασκευή κοχλία με δεξιό και αριστερό τριγωνικό σπείρωμα.

Οι διαστάσεις δίνονται στο Σχήμα 2.74. Το υλικό του δοκιμίου που θα χρησιμοποιήσετε είναι μαλακός χάλυβας St37, εξαγωνικής μορφής διαστάσεων 22 x 138 mm.

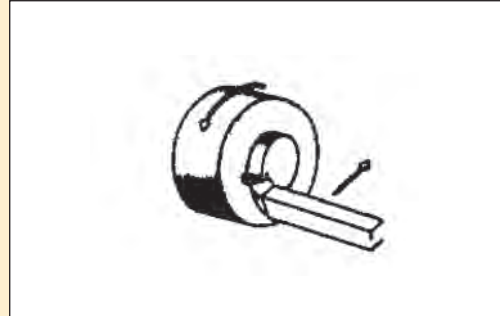


Σχήμα 2.74 Διαστάσεις και σχήμα δοκιμίου.

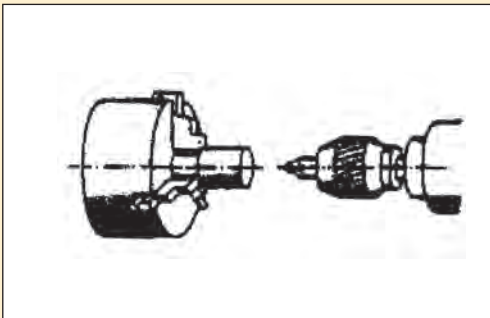
Πορεία εργασίας



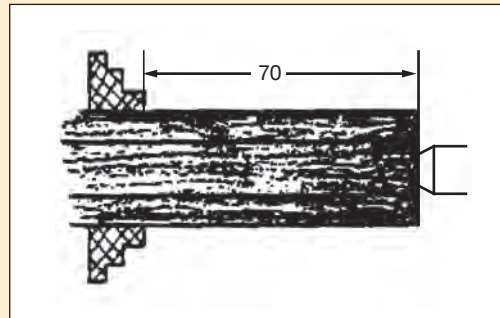
Συγκρατήστε και κεντράρετε τριγωνικό κοπτικό εργαλείο.



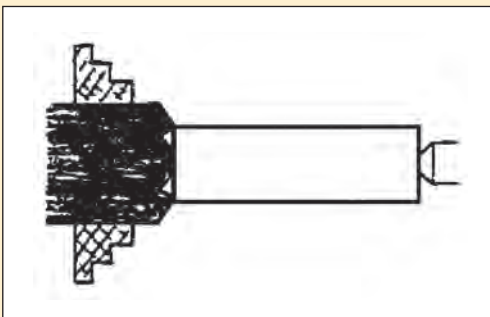
Τορνεύστε τα πρόσωπα. Το συνολικό μήκος θα είναι 136mm.



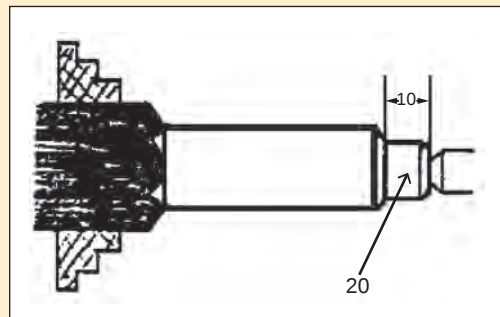
Ανοίξτε κεντρώτρυπες και από τις δύο πλευρές.



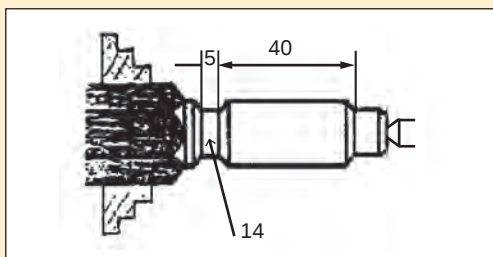
Συγκρατήστε το δοκίμιο με αντιστήριξη πόντας, όπως φαίνεται στο σχήμα.



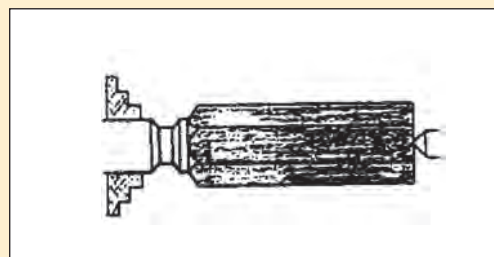
Τορνεύστε μήκος 58mm σε διάμετρο 20mm.



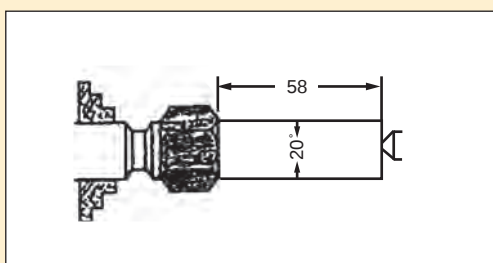
Τορνεύστε τις διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα.



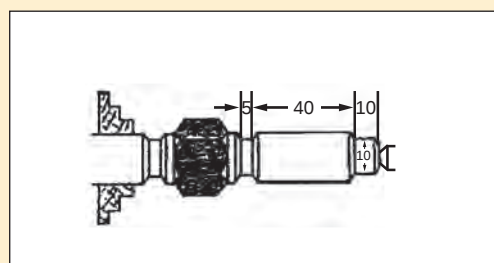
Τορνεύστε τις διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα.



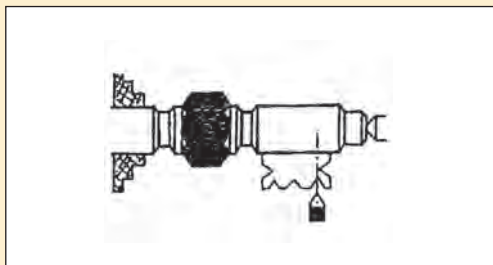
Αναστρέψτε το δοκίμιο. Συγκρατήστε το όπως φαίνεται στο σχήμα.



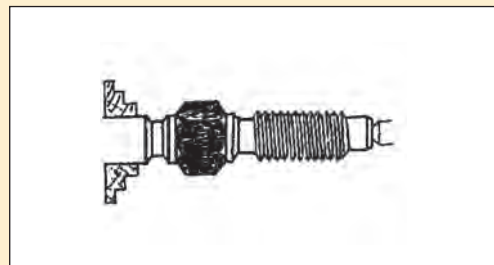
Τορνεύστε πατούρα.



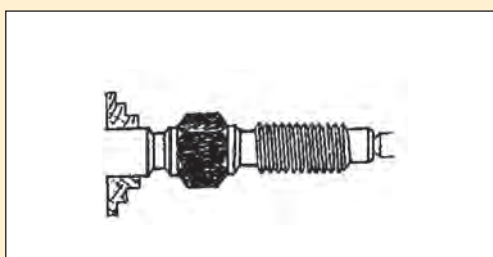
Τορνεύστε τις διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα.



Κεντράρετε κοπτικό εργαλείο σπειρώματος με καλίμπρα.



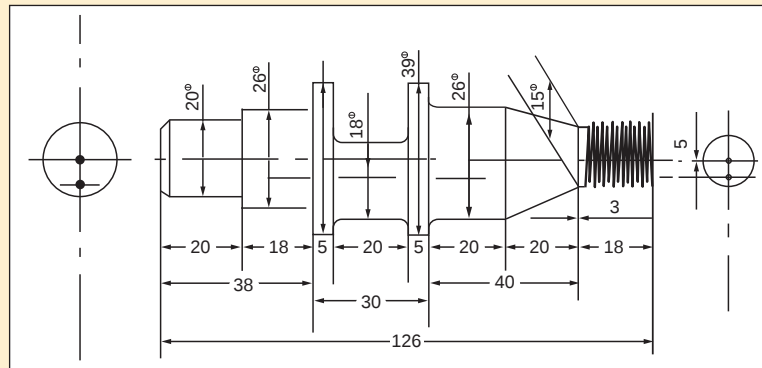
Ρυθμίστε το κιβώτιο NORTON. Κόψτε δεξιό τριγωνικό σπείρωμα.



Αναστρέψτε το δοκίμιο. Χρησιμοποιήστε μαλακό μέταλλο στους σφιγκτήρες του τσοκ. Κόψτε αριστερό τριγωνικό σπείρωμα. Επιμεληθείτε των σπειρωμάτων.

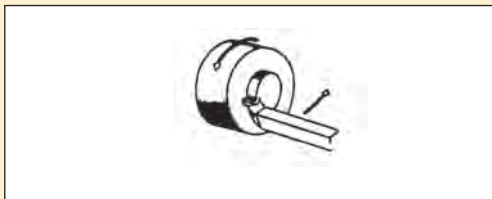
4. Κατασκευή μονού στροφαλοφόρου άξονα.

Οι διαστάσεις δίνονται στο Σχήμα 2.75. Το υλικό του δοκίμιου που θα χρησιμοποιήσετε είναι χάλυβας St37, διαστάσεων $\Phi 40 \times 127\text{mm}$. Η επιτρεπόμενη ανοχή για τα μήκη είναι $0,01\text{mm}$.



Σχήμα 2.75 Διαστάσεις και σχήμα δοκιμίου.

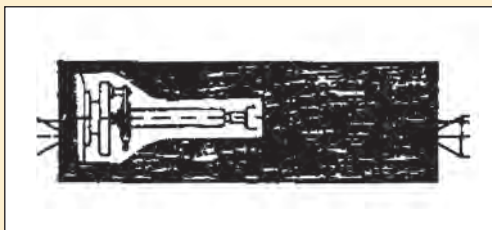
Πορεία εργασίας.



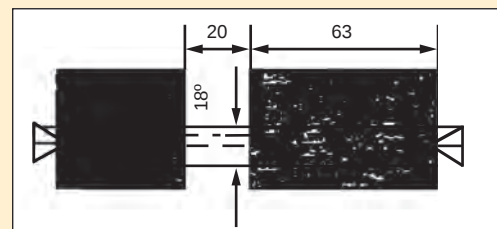
Τορνεύστε τα πρόσωπα. Το συνολικό μήκος θα είναι 126mm.



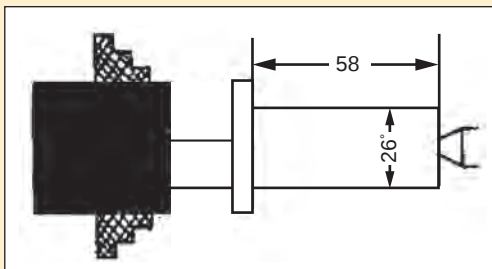
Ανοίξτε κεντρότρυπες όπως φαίνεται στο σχήμα.



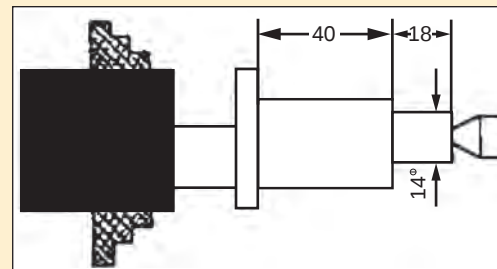
Συγκρατήστε το δοκίμιο στα κέντρα του τόρνου με την καρδιά.



Τορνεύστε εγκάρσια όπως φαίνεται στο σχήμα.

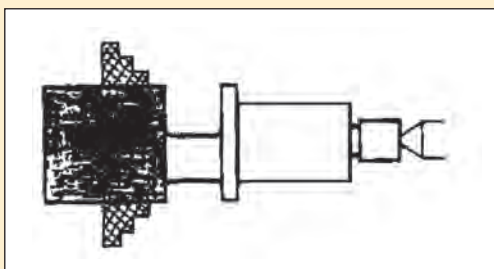


Συγκρατήστε το δοκίμιο στο τσοκ με αντιστήριξη. Τορνεύστε πατούρα μήκους 8mm και διαμέτρου 26mm.

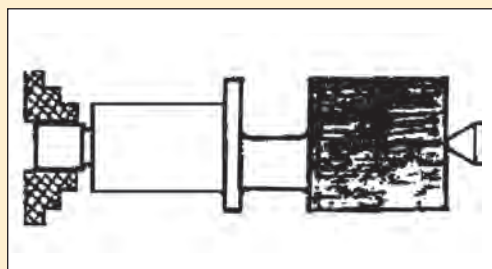


Τορνεύστε δεύτερη πατούρα όπως φαίνεται στο σχήμα.

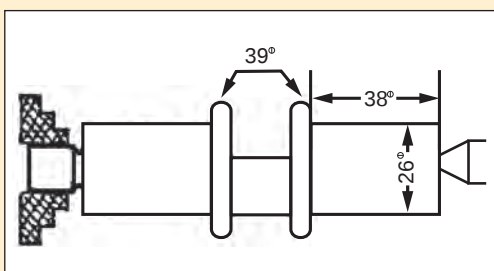
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II



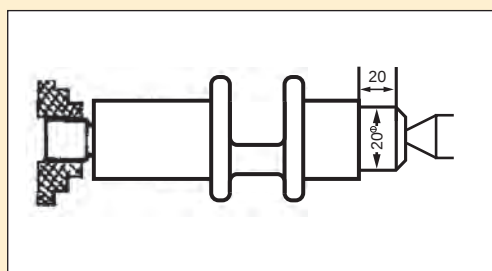
Δημιουργήστε «ξεθύμασμα» για το σπείρωμα.



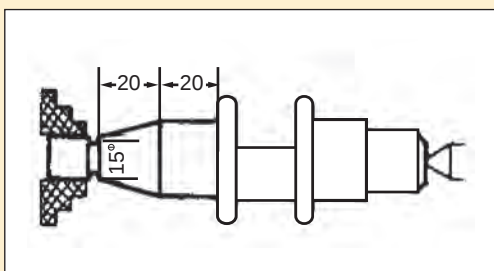
Αναστρέψτε το δοκίμιο. Συγκρατήστε το όπως φαίνεται στο σχήμα.



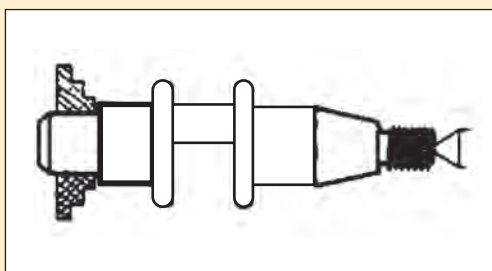
Τορνεύστε τις διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα.



Τορνεύστε τις διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα.



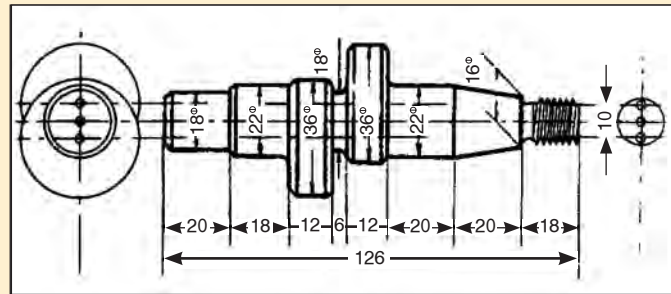
Κάντε κωνική τόρνευση.



Κόψτε αριστερό τριγωνικό σπείρωμα M 14 x 2mm.

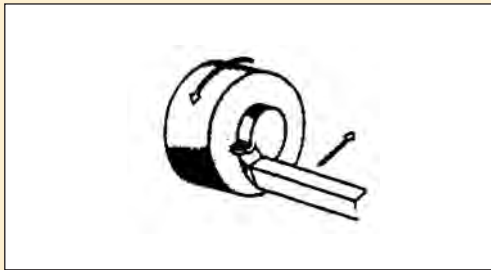
5. Κατασκευή άξονα με δύο έγκεντρα.

Οι διαστάσεις δίνονται στο. Το υλικό του δοκιμίου που θα χρησιμοποιήσετε είναι χάλυβας St37, διαστάσεων $\Phi 46 \times 126\text{mm}$. Η επιτρεπόμενη ανοχή για τα μήκη είναι 0,01mm.

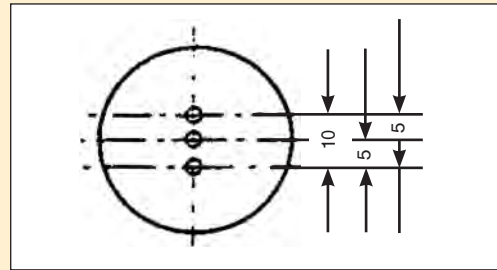


Σχήμα 2.76 Διαστάσεις και σχήμα δοκιμίου.

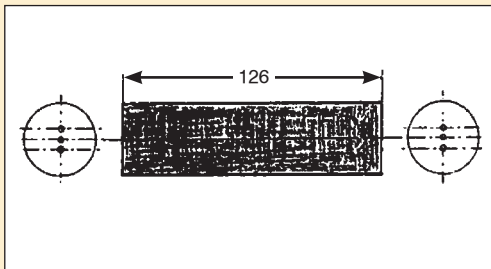
Πορεία εργασίας



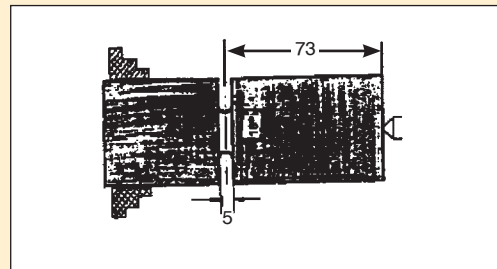
Τορνεύστε και τα δύο πρόσωπα. Το συνολικό μήκος θα είναι 126mm.



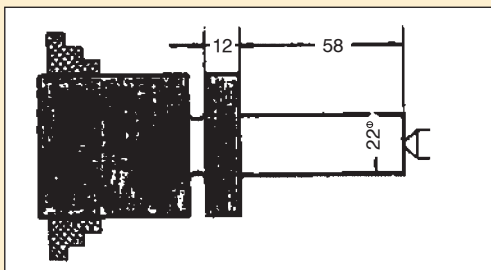
Χαράξτε και τρυπήστε στο δράπανο κεντρότρυπες όπως φαίνεται στο σχήμα.



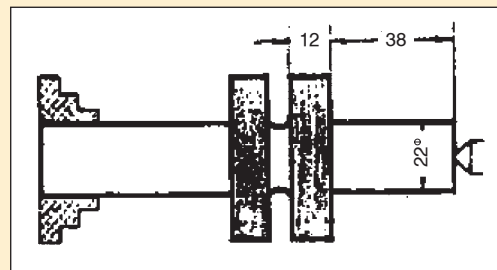
Χαράξτε και τρυπήστε στο δράπανο κεντρότρυπες όπως φαίνεται στο σχήμα.



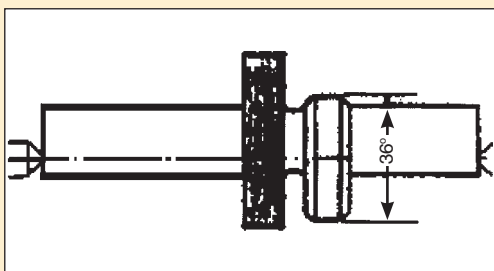
Τορνεύστε αυλάκι όπως φαίνεται στο σχήμα.



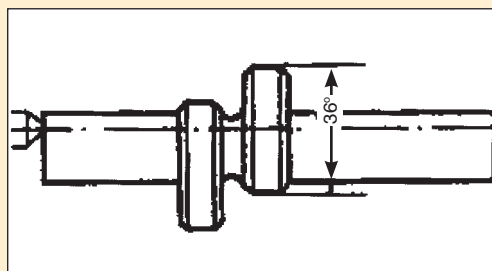
Τορνεύστε όπως φαίνεται στο σχήμα.



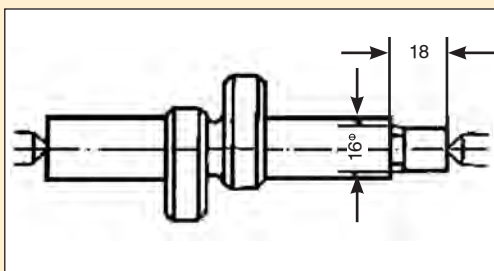
Αναστρέψτε το δοκίμιο και συνεχίστε την τόννευση.



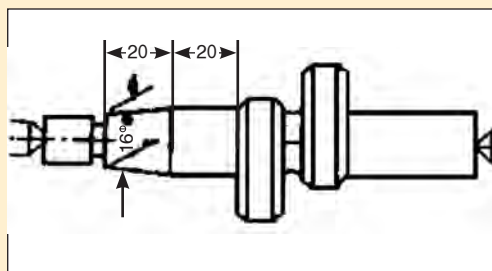
Συγκρατήστε τις δύο πλευρές στα κέντρα με καρδιά. Τορνεύστε το ένα έκκεντρο.



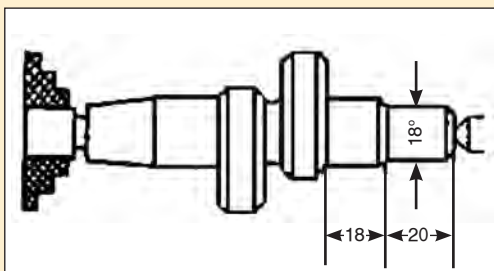
Αλλάξτε τα κέντρα. Τορνεύστε το άλλο έκκεντρο.



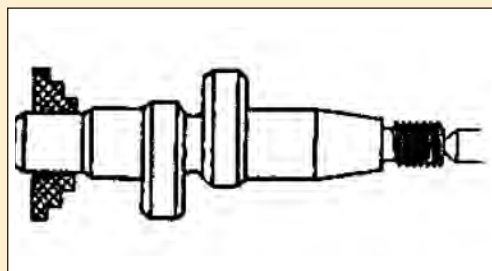
Αλλάξτε τα κέντρα. Τορνεύστε την πατούρα όπως φαίνεται στο σχήμα.



Αναστρέψτε το δοκίμιο. Τορνεύστε κώνο.



Τορνεύστε πατούρα όπως φαίνεται στο σχήμα.



Δημιουργήστε τριγωνικό σπείρωμα M 14 x 2mm.

Εργαστηριακή άσκηση 2.3:

Κατεργασία εξαρτημάτων αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα σε φρέζα

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αναγνωρίζετε τα είδη της φρέζας και να αναφέρετε τις αρχές λειτουργίας τους.
- β) Να αναφέρετε τις πρακτικές που πρέπει να ακολουθείτε ώστε να πραγματοποιείτε τις βασικές εργασίες σε δοκίμια.
- γ) Να χειρίζεστε τη φρέζα, και να εκτελείτε όλες τις απαραίτητες μετρήσεις και ελέγχους.

Εισαγωγικές πληροφορίες

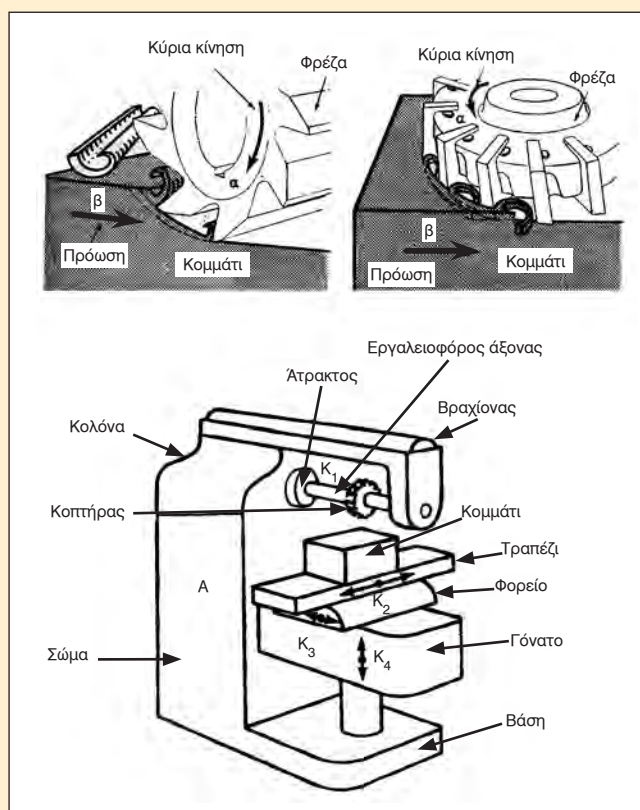
Η φρεζομηχανή είναι εργαλειομηχανή κοπής της οποίας η κύρια κίνηση είναι περιστροφική. Έχει τη δυνατότητα να εκτελεί πολλές από τις εργασίες που γίνονται στο δράπανο, την πλάνη και τον τόρνο και άλλες ακόμη που δε μπορούν, ή δεν είναι συμφέρον να γίνουν, σε αυτές τις εργαλειομηχανές. Τα χαρακτηριστικά της φρεζομηχανής είναι:

- Η κύρια κίνηση μεταφέρεται στο εργαλείο.
- Οι βοηθητικές κινήσεις είναι τρεις, ενώ στον τόρνο και την πλάνη δύο και στο δράπανο μία.
- Το κοπτικό εργαλείο έχει πολλές κύριες κόψεις (όσες και τα δόντια του), ενώ στον τόρνο και την πλάνη υπάρχει μία και στο δράπανο δύο.

Οι πολλές κόψεις ενισχύουν την απόδοση της κοπής. Όσον αφορά την ακρίβεια της κοπής και την ποιότητα της επιφάνειας κατεργασίας, η φρεζομηχανή είναι ανώτερη του δράπανου και της πλάνης και ισάξια του τόρνου. Τα υλικά που μπορούν να επεξεργαστούν στη φρεζομηχανή είναι ο χάλυβας, ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο χυτοσίδηρος, μη σιδηρούχα μεταλλεύματα και άλλα.

Η κύρια κίνηση στη φρεζομηχανή είναι η περιστροφική και μεταφέρεται στο κοπτικό εργαλείο. Η βοηθητική κίνηση είναι η ευθύγραμμη και μεταφέρεται στο εξάρτημα προς επεξεργασία (Σχήμα 2.77).

Με διάφορους συνδυασμούς των κινήσεων και κατάλληλη επιλογή του κοπτικού εργαλείου, η φρεζομηχανή επιτυγχάνει μεγάλη ποικιλία κατεργασιών, όπως: κατεργασίες σε καμπύλες και επίπεδες επιφάνειες, κατασκευή αυλακιών, χελιδονοσυρών και σφηνοδρόμων, κόψιμο δοντιών σε τροχούς, ελικοειδών αυλακώσεων και σπειρωμάτων.



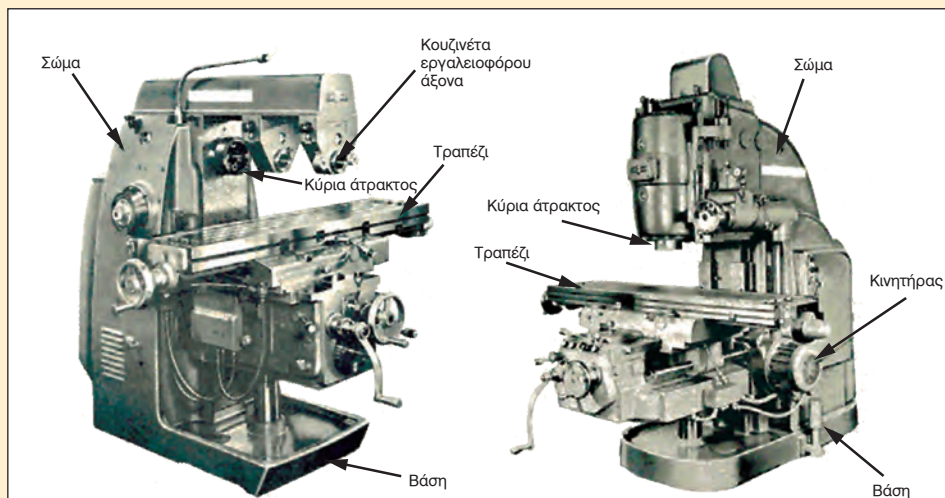
Σχήμα 2.77 Κινήσεις φρεζομηχανής

Οι φρεζομηχανές, ανάλογα με τη θέση της κύριας ατράκτου και τη γενική διαμόρφωσή τους, διακρίνονται σε: οριζόντιες και κατακόρυφες (Σχήμα 2.78), φρεζοπλάνες και ειδικές φρεζομηχανές, όπως το φρεζοδράπανο και ο γρاناζοκόπτης που θα εξετάσουμε παρακάτω.

Τα κοπτικά εργαλεία της φρεζομηχανής ονομάζονται φρέζες και έχουν ποικιλία μορφών και πολλά δόντια. Στο Σχήμα 2.79 φαίνονται τα διάφορα είδη φρεζών, ενώ στο Σχήμα 2.80 παρουσιάζονται διάφορες μορφές αποβλήτων από φρεζάρισμα.

Τέλος, ένα σημαντικό εξάρτημα της φρεζομηχανής είναι ο διαιρέτης. Αυτός παρέχει τη δυνατότητα της κατεργασίας ενός εξαρτήματος υπό ίσες ακριβώς γωνίες.

Ο γριναζοκόπτης. Χρησιμοποιείται στη μαζική παραγωγή επεξεργασίας κοπής δοντιών σε εξαρτήματα, όπου και απαιτείται ακρίβεια στην παραγωγή των δοντιών. Στα ακόλουθα σχήματα φαίνονται τα σημαντικότερα είδη γριναζοκόπτη.



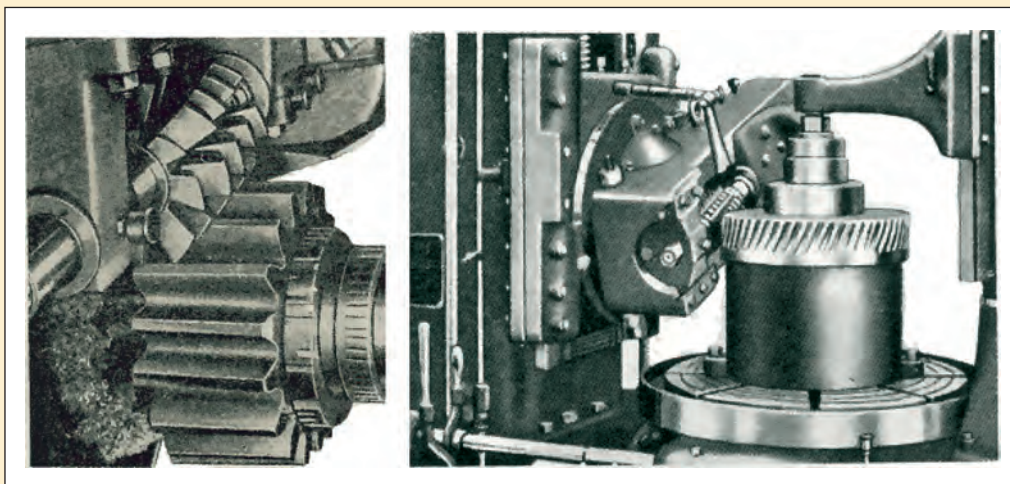
Σχήμα 2.78 Οριζόντια και κατακόρυφη φρεζομηχανή



Σχήμα 2.79 Είδη φρεζών



Σχήμα 2.80 Απόβλητα φρεζαρίσματος



Σχήμα 2.81 Κοπές δοντιών με γριναζοκόπτη

Μέτρα ασφάλειας

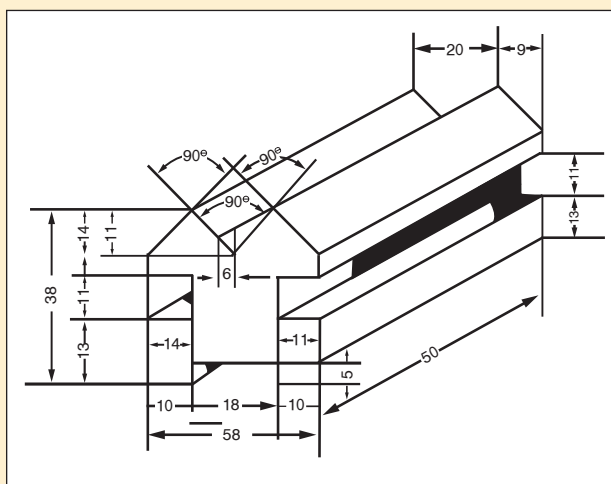
Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας του Παραρτήματος Β.

Απαιτούμενα μέσα

Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε την πορεία εργασίας για την κατασκευή κάποιων απλών εξαρτημάτων με τη χρήση φρέζας.

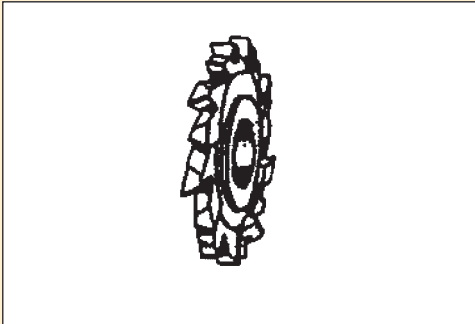
1. Κατασκευή σύνθετου εξαρτήματος στη φρεζομηχανή.

Οι διαστάσεις δίνονται στο Σχήμα 2.82. Το υλικό του δοκιμίου που θα χρησιμοποιήσετε είναι χάλυβας St37, διαστάσεων 40 x 40 x 60mm.

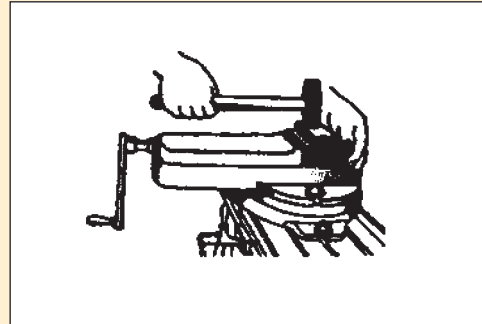


Σχήμα 2.82 Διαστάσεις και σχήμα δοκιμίου.

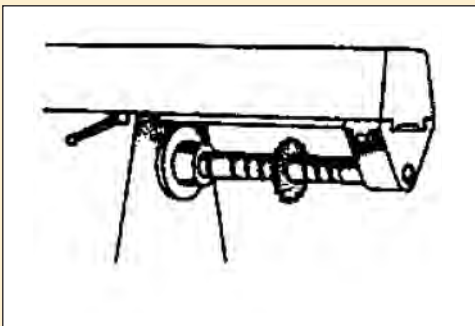
Πορεία εργασίας



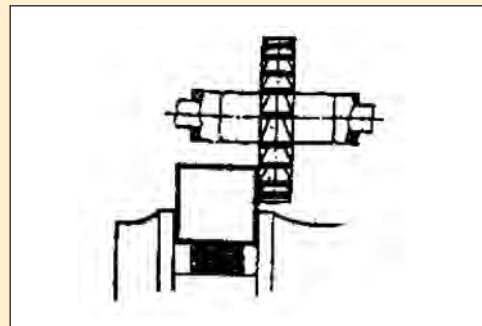
Τοποθετήστε στη φρέζα τρίκοπο κοπτήρα πάχους 10mm.



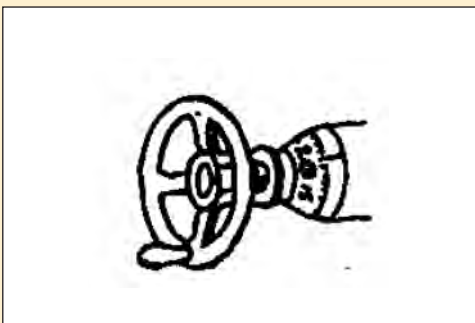
Συγκρατήστε το δοκίμιο στη μέγγενη.



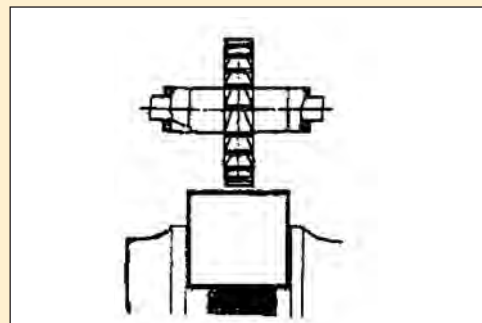
Επιλέξτε τον κατάλληλο αριθμό στροφών. Θέστε σε κίνηση τον κοπτήρα.



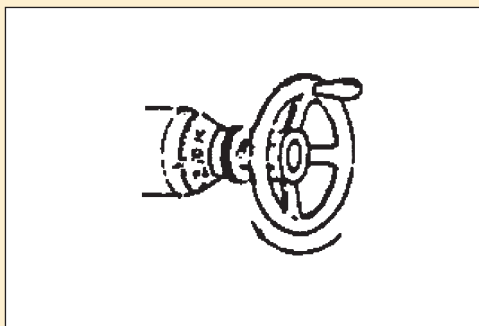
Μετακινήστε το τραπέζι ώστε η πλευρά του κοπτήρα να ακουμπήσει ελαφρά στο δοκίμιο.



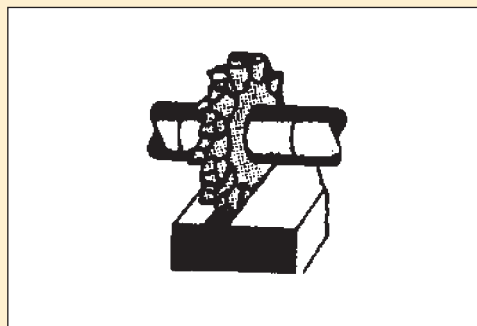
Τοποθετήστε το βαθμονομημένο δακτύλιο του εγκάρσιου βολάν στην ένδειξη 0.



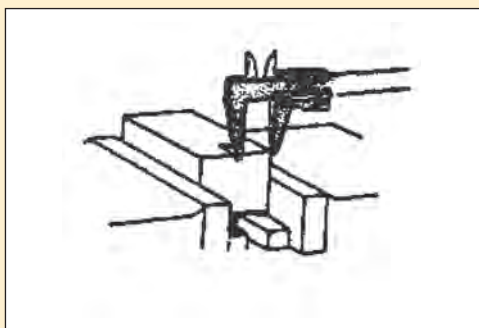
Μετακινήστε το δοκίμιο όπως φαίνεται στο σχήμα. Ανυψώστε το τραπέζι ώστε ο κοπτήρας να ακουμπήσει ελαφρά στην επιφάνεια του δοκιμίου.



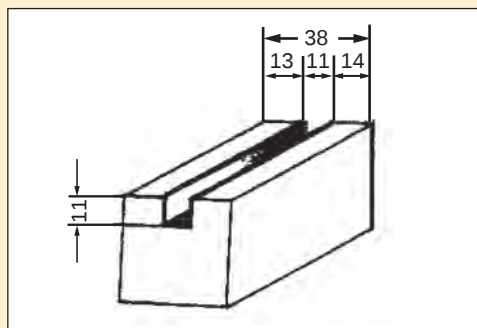
Μηδενίστε το δακτύλιο.



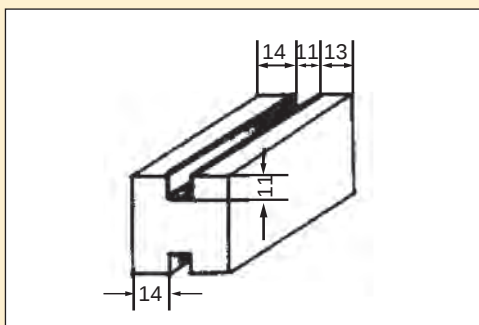
Φρεζάρετε αυλάκι βάθους 11mm.
Χρησιμοποιήστε ψυκτικό υγρό.



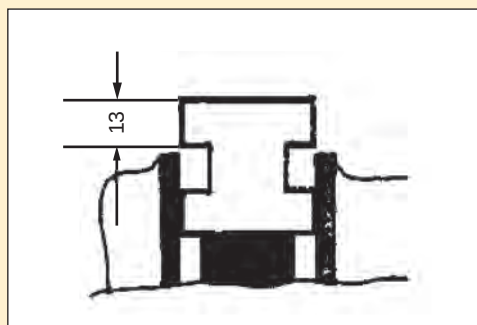
Περιοδικά, σταματήστε την περιστροφή του κοπτήρα για διαστασιολογικό έλεγχο.



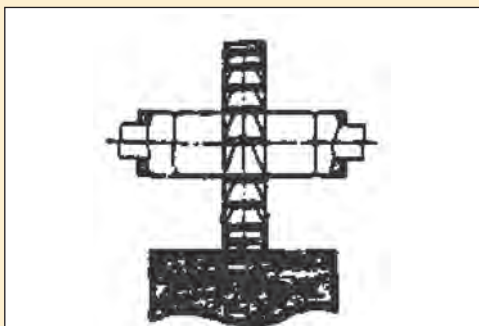
Μετακινώντας το τραπέζι φρεζάρετε τις διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα. Καθαρίστε τα γρέζια και αναστρέψτε το δοκίμιο.



Κατά τον ίδιο τρόπο φρεζάρετε αυλάκι 11 x 11mm. Χρησιμοποιήστε ψυκτικό υγρό.



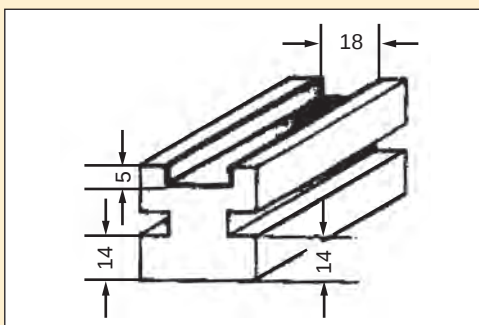
Συγκρατήστε το δοκίμιο με το πάχος 13mm προς τα πάνω.



Τοποθετήστε τον κοπτήρα έτσι ώστε να ακουμπήσει περίπου στο μέσο του δοκιμίου.



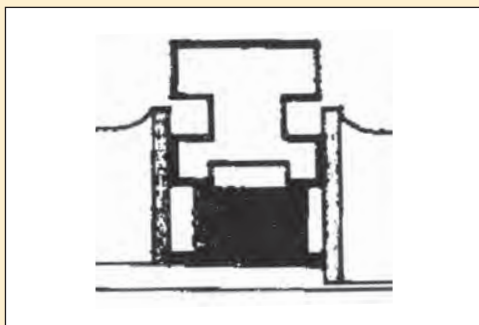
Φρεζάρετε αυλάκι βάθους 5mm.



Μετακινήστε το τραπέζι και φρεζάρετε στις διαστάσεις του σχήματος.



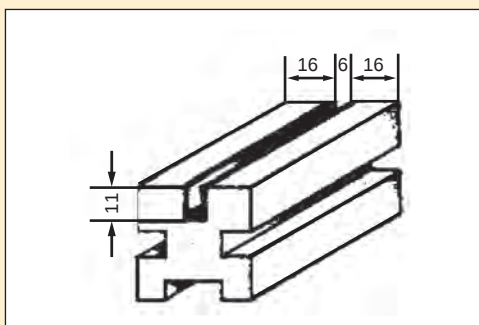
Τοποθετήστε δισκοειδή μονόκοπο κοπτήρα, πάχους 6mm.



Συγκρατήστε το δοκίμιο όπως φαίνεται στο σχήμα.



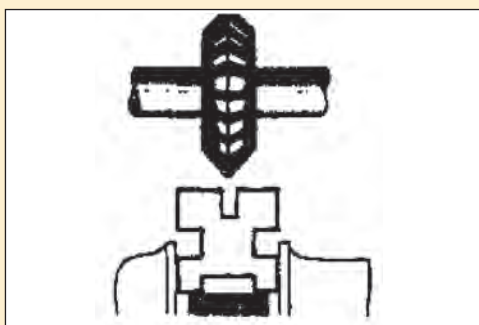
Φρεζάρετε αυλάκι.
Χρησιμοποιήστε ψυκτικό υγρό.



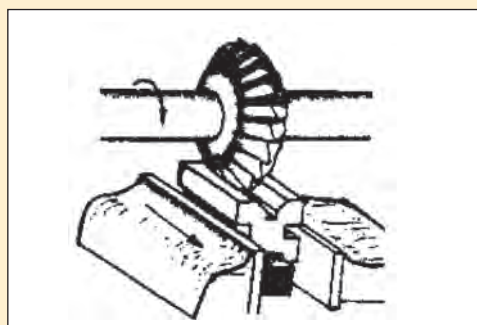
Ελέγξτε τις διαστάσεις με παχύμετρο. Μετά το πέρας της εργασίας μη λύσετε το δοκίμιο.



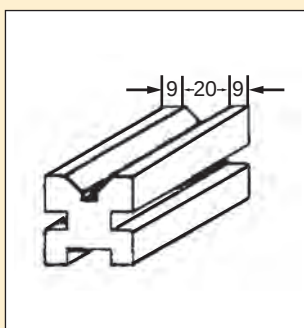
Τοποθετήστε κοπτήρα μορφής 90Α.



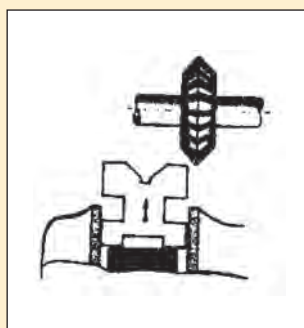
Κεντράρετε τον κοπτήρα στο δοκίμιο όπως φαίνεται στο σχήμα.



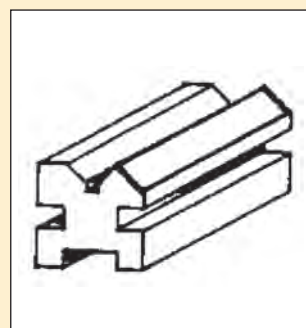
Χρησιμοποιήστε ψυκτικό υγρό. Φρεζάρετε μορφή.



Φρεζάρετε στις διαστάσεις του σχήματος.



Μετακινήστε το τραπέζι. Κεντράρετε όπως φαίνεται στο σχήμα.



Φρεζάρετε την πλευρά.

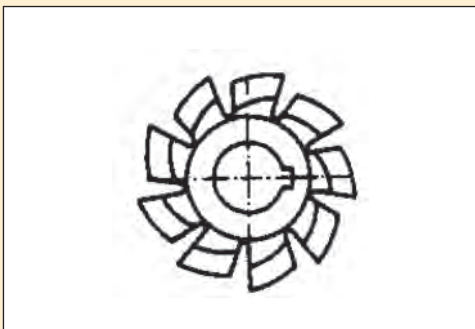
2. Κατασκευή οδόντωσης οδοντωτού τροχού με ευθεία, παράλληλα δόντια.

Ο οδοντωτός τροχός φαίνεται στο Σχήμα 2.83. Το υλικό του δοκιμίου που θα χρησιμοποιήσετε είναι χάλυβας St73.

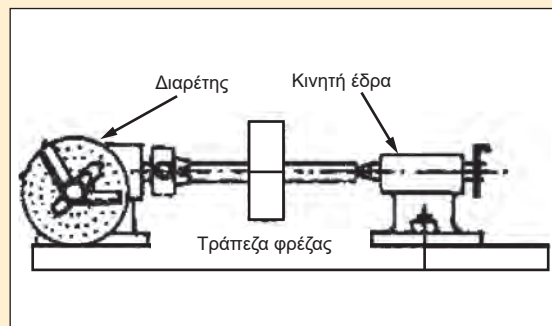


Σχήμα 2.83 Σχήμα δοκιμίου.

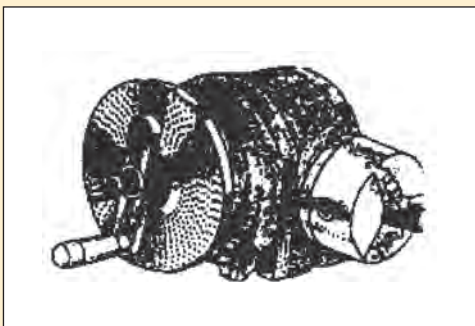
Πορεία εργασίας.



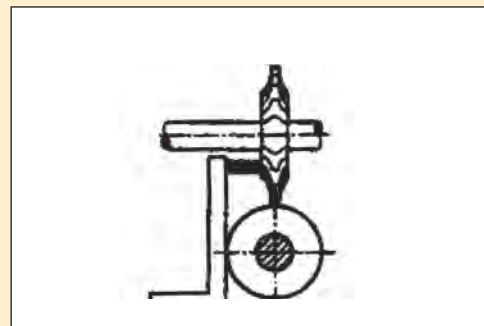
Τοποθετήστε στη φρέζα κοπτήρα μοντούλ.



Συγκρατήστε το βοηθητικό άξονα με τον υπό κατασκευή μοχλό στη φρέζα.



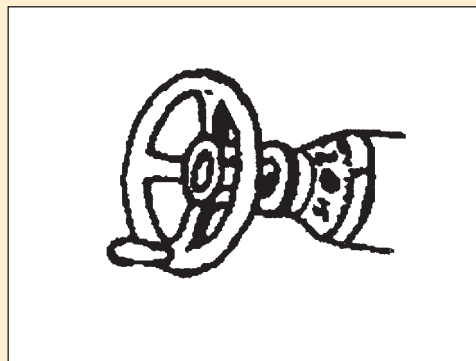
Υπολογίστε και ρυθμίστε το διαιρέτη.



Κεντράρετε τον κοπτήρα.



Βάλτε σε κίνηση τον κοπτήρα.
Ακουμπήστε τον στην περιφέρεια
του δοκιμίου.



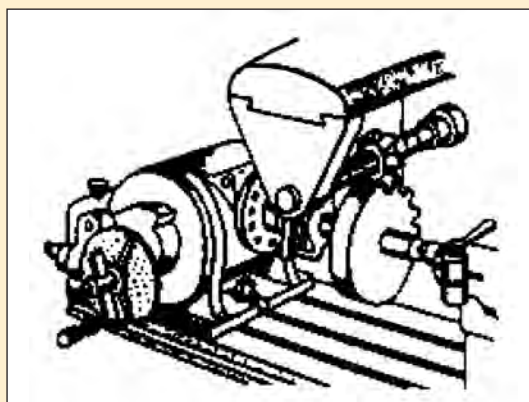
Μηδενίστε το βαθμονομημένο
δακτύλιο. Το βάθος θα κοπεί με
δύο πάσα.



Ρυθμίστε το βάθος κοπής. Κόψτε
το πρώτο δόντι. Χρησιμοποιήστε
ψυκτικό υγρό.



Περιστρέψτε το χειροστρόφαλο
του διαιρέτη. Κόψτε το δεύτερο
δόντι.



Επαναλάβετε την ίδια πορεία μέχρι να κόψετε όλα τα δόντια. Ρυθμίστε το υπόλοιπο βάθος του δοντιού. Φρεζάρετε όλα τα δόντια, ώστε να έρθουν στο τελικό τους βάθος.

Εργαστηριακή άσκηση 2.4:

Μετρήσεις φθορών σε εξαρτήματα εμβολοφόρων κινητήρων.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

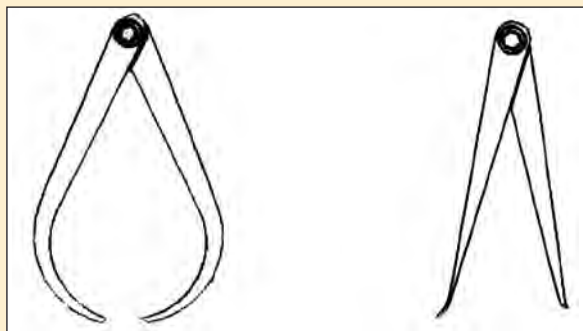
Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να χειρίζεστε τα μετρητικά όργανα που περιγράφονται στην άσκηση.
- β) Να καθορίζετε τα απαραίτητα μετρητικά όργανα για τις διάφορες μετρήσεις.
- δ) Να εκτελείτε μετρήσεις σε εξαρτήματα κινητήρων.

Εισαγωγικές πληροφορίες

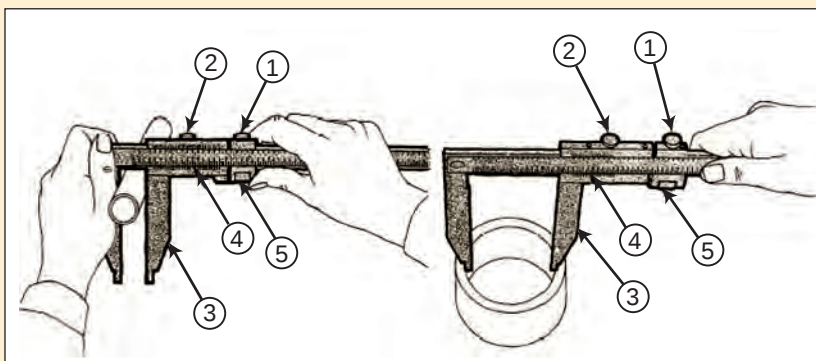
Η διαστατική επιθεώρηση των εξαρτημάτων ενός κινητήρα απαιτεί τη χρήση μετρητικών οργάνων υψηλής ακρίβειας. Τα όργανα αυτά θα πρέπει να διατηρούνται σε πολύ καλή κατάσταση, ενώ είναι απαραίτητος ο έλεγχός τους (διακρίβωση) σε τακτά χρονικά διαστήματα. Τα πιο συνηθισμένα μετρητικά όργανα, τα οποία χρησιμοποιεί σε καθημερινή σχεδόν βάση, ένας τεχνικός συντήρησης αεροπορικών κινητήρων είναι διαβήτες, παχύμετρα, μικρόμετρα, βαθύμετρα, φίλερ (λεπίδες μέτρησης – feeler gages), και γωνιές. Στη συνέχεια παρατίθενται πληροφορίες σχετικές με τον χειρισμό, την ανάγνωση και τη χρήση αυτών των μετρητικών οργάνων.

Διαβήτες:



Σχήμα 2.84 Διαβήτες μέτρησης εξωτερικής και εσωτερικής διαμέτρου

Οι διαβήτες (calipers / dividers) χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση διαμέτρων, τόσο εξωτερικών όσο και εσωτερικών (Σχήμα 2.84). Οι απλοί διαβήτες χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με χάρακα για τον καθορισμό της μέτρησης.



Σχήμα 2.85 Μέτρηση εξωτερικής και εσωτερικής διαμέτρου με παχύμετρο

Παχύμετρα:

Για τη μέτρηση διαμέτρων (αλλά και άλλων διαστάσεων) χρησιμοποιούνται συνήθως παχύμετρα (vernier calipers). Τα παχύμετρα παρέχουν ιδιαίτερα ακριβείς μετρήσεις (τόσο εξωτερικές όσο και εσωτερικές). Με την απασφάλιση των κοχλιών συγκράτησης (1) και (2) (Σχήμα 2.85) είναι δυνατή η μετακίνηση της κινούμενης σιαγόνας (3), μέχρι το επιθυμητό σημείο. Η σύσφιξη του κοχλία (1) ασφαλίζει τη σιαγόνα (3) στη θέση της. Οι τελικές ρυθμίσεις στην κλίμακα (4) γίνονται με το ροδάκι (5). Μετά την ασφάλιση και του κοχλία (2) γίνεται η ανάγνωση της μέτρησης.

Το παχύμετρο αποτελείται από μία «ακίνητη» κλίμακα (1) (Σχήμα 2.86) και μία «κινητή» (3) (τον «βερνιέρο»). Η ακίνητη κλίμακα είναι χωρισμένη με διαβαθμίσεις των 0,025in. (25 χιλιοστών της ίντσας). Τα δέκατα της ίντσας είναι αριθμημένα (2)¹. Η «κινητή» κλίμακα (3) είναι διαιρεμένη σε 25 τμήματα. Το συνολικό μήκος των 25 τμημάτων της «κινητής» είναι ίσο με 24 τμήματα της «ακίνητης» κλίμακας (1). Η διαφορά λοιπόν μεταξύ μίας υποδιαίρεσης της «ακίνητης» και μίας υποδιαίρεσης της «κινητής» κλίμακας είναι ίση με 0,001in. (ένα χιλιοστό της ίντσας). Έτσι για την ακριβή μέτρηση εντοπίζονται:

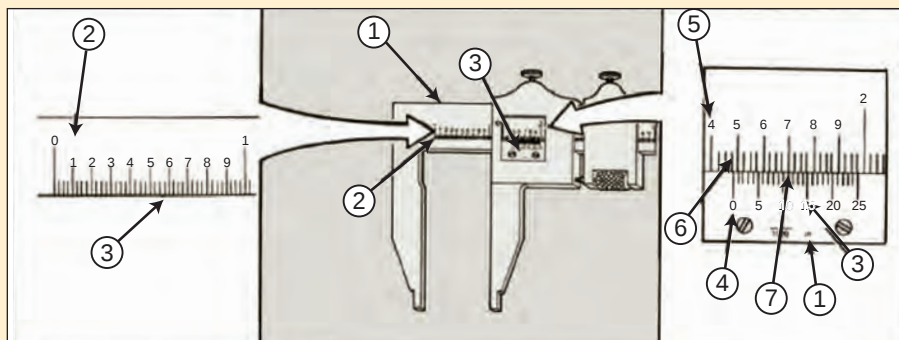
- αρχικά στην «ακίνητη» κλίμακα η δεξιότερη υποδιαίρεση που δεν υπερβαίνει το «0» (4) της «κινητής» κλίμακας και,
- στη συνέχεια η υποδιαίρεση της «κινητής» κλίμακας που συμπίπτει με υποδιαίρεση της «ακίνητης».

Το δεύτερο βήμα παρέχει τα χιλιοστά της ίντσας, τα οποία πρέπει να προστεθούν για την τελική ακριβή μέτρηση.

¹Αντίστοιχες διαβαθμίσεις ισχύουν στην περίπτωση μετρικών παχυμέτρων.

Για παράδειγμα η ανάγνωση της μέτρησης στο Σχήμα 2.86 γίνεται ως εξής:

- Η δεξιότερη υποδιαίρεση της «ακίνητης» κλίμακας που δεν υπερβαίνει το «0» εντοπίζεται στο (6) και είναι $1\text{in.} + 4 \times 0,100\text{in.} + 3 \times 0,025\text{in.} = 1,475\text{in.}$
- Η υποδιαίρεση της «κινητής» κλίμακας που συμπίπτει με υποδιαίρεση της «ακίνητης» εντοπίζεται στο (7) και αντιστοιχεί σε $0,011\text{in.}$
- Η τελική μέτρηση είναι: $1,475\text{in.} + 0,011\text{in.} = 1,486\text{in.}$



Σχήμα 2.86 Ανάγνωση μέτρησης σε παχύμετρο

Συνήθως τα παχύμετρα φέρουν δύο κλίμακες για την ανάγνωση εξωτερικών ή εσωτερικών διαστάσεων. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει η δεύτερη κλίμακα, είναι απαραίτητο να προστεθεί στη μέτρηση ένα σταθερό μήκος, το οποίο εξαρτάται από το μέγεθος του παχυμέτρου.

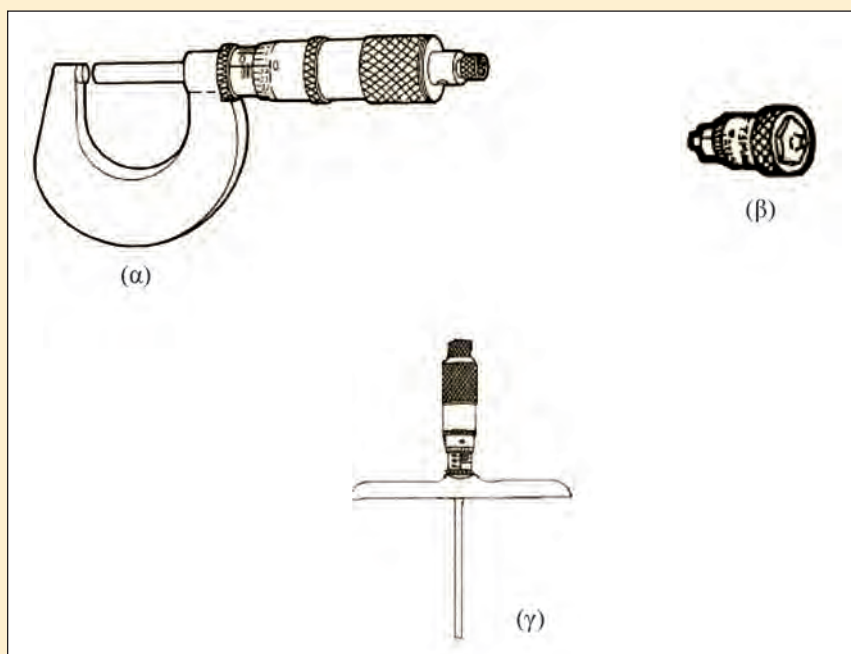
Αντίστοιχη μεθοδολογία ανάγνωσης της μέτρησης εφαρμόζεται και σε «μετρικό» παχύμετρο (Σχήμα 2.94).

Τα παχύμετρα, όπως και όλα τα μετρητικά όργανα ακριβείας, θα πρέπει να αποθηκεύονται ξεχωριστά, ενώ δεν θα πρέπει να προκαλούνται φθορές στις κλίμακες και να παραμένουν αυτές καθαρές και ευανάγνωστες. Πτώση του παχυμέτρου μπορεί να προκαλέσει αμυχές και εν γένει φθορές με αρνητικές συνέπειες, όσον αφορά την ακρίβεια του οργάνου.

Μικρόμετρα

Τα μικρόμετρα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση διαστάσεων, με ακρίβεια $0,001\text{in.}$ (ένα χιλιοστό της ίντσας). Οι πιο κοινοί τύποι μικρομέτρων είναι:

- Μικρόμετρα εξωτερικών διαστάσεων (Σχήμα 2.87α)
- Μικρόμετρα εσωτερικών διαστάσεων (Σχήμα 2.87β)
- Μικρόμετρα βάθους (Σχήμα 2.87γ)



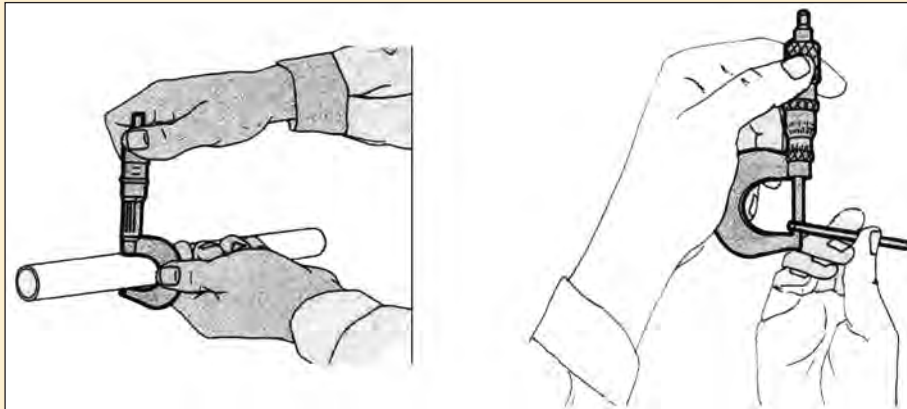
Σχήμα 2.87 Μικρόμετρα (α) εξωτερικών μετρήσεων, (β) εσωτερικών μετρήσεων και (γ) μικρόμετρο βάθους

Τα μικρόμετρα που χρησιμοποιούνται συνήθως, είναι έτσι κατασκευασμένα ώστε να επιτρέπουν μέγιστη κίνηση του στελέχους κατά 1 ίντσα. Υπάρχει όμως μεγάλη ποικιλία μικρομέτρων, με τα οποία μπορούν να μετρηθούν διαστάσεις από 0 έως 24 ίντσες. Το κάθε μικρόμετρο χαρακτηρίζεται ανάλογα με την περιοχή που καλύπτει. Έτσι ένα μικρόμετρο 1 ίντσας μπορεί να μετρήσει διαστάσεις από 0 έως 1 ίντσα, ένα μικρόμετρο 5 ιντσών μπορεί να μετρήσει διαστάσεις από 4 έως 5 ίντσες κ.ο.κ. Πρέπει λοιπόν, πριν από την επιθεώρηση να γίνεται μία εκτίμηση της διάστασης που πρόκειται να μετρηθεί, έτσι ώστε να επιλεγθεί το σωστό μικρόμετρο (Σχήμα 2.88). Εάν, π.χ., η διάσταση είναι περίπου 2.5in. θα πρέπει να επιλεγεί ένα μικρόμετρο 3 ιντσών.

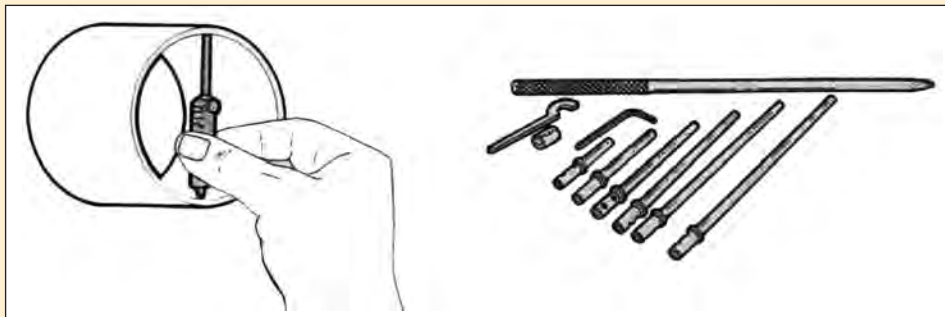
Στα εσωτερικά και στα μικρόμετρα βάθους προσαρμόζονται ράβδοι, οι οποίοι έχουν το απαραίτητο για τη μέτρηση μήκος (Σχήμα 2.89).

Η ανάγνωση της μέτρησης του μικρόμετρου αποδίδεται σχηματικά στο Σχήμα 2.90. Μία πλήρης περιστροφή του κοχλία του μικρόμετρου (1) προκαλεί μετακίνη-

ση του στελέχους (2) προς το ακίνητο άκρο (3) κατά 1/40 ή 25 χιλιοστά της ίντσας (0,025in.). Η διαγράμμιση της λαβής (4) είναι ανά 0,025in., ενώ το περιστρεφόμενο μέρος (5) φέρει 25 διαγραμμίσεις. Η μέτρηση λαμβάνεται προσθέτοντας στην ένδειξη της λαβής τον αριθμό των διαγραμμίσεων του κοχλία (ως χιλιοστά της ίντσας), που έχουν "ξεπεράσει" τη γραμμή αναφοράς της λαβής.



Σχήμα 2.88 Επιλογή και χρήση εξωτερικού μικρομέτρου



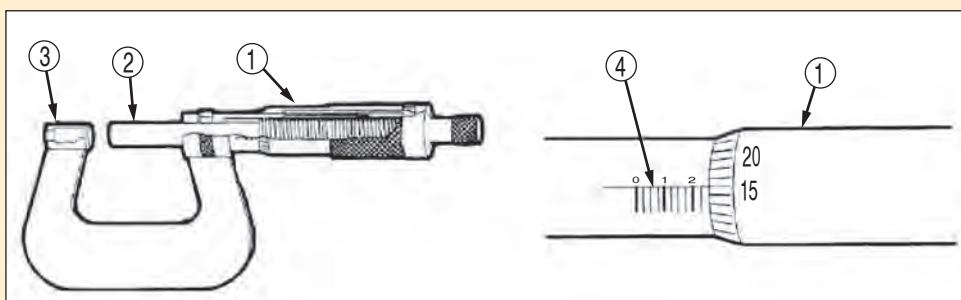
Σχήμα 2.89 Χρήση εσωτερικού μικρομέτρου και ράβδοι επέκτασης

Έτσι για το Σχήμα 2.90 έχουμε:

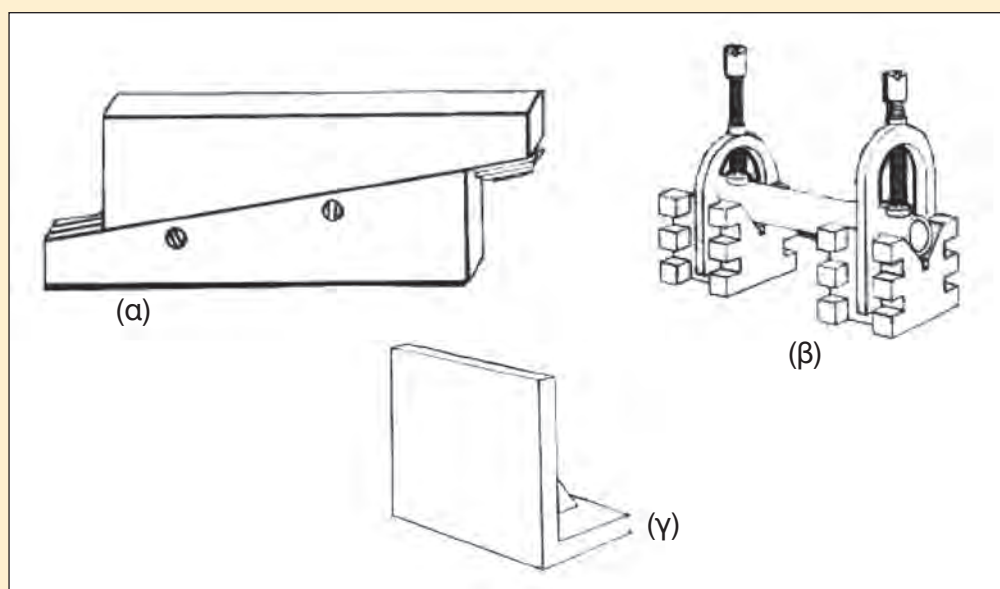
- Ένδειξη κλίμακας λαβής (4): 0,225in.
- Ένδειξη κοχλία (1): 16 γραμμές ή 0,016in.
- Μέτρηση: $0,225 + 0,016 = 0,241\text{in.}$

Ορισμένα μικρόμετρα φέρουν επιπλέον κλίμακα "βερνιέρου", η οποία επιτρέπει τη λήψη μετρήσεων με ακρίβεια 0,0001in. (ένα δέκατο του χιλιοστού της ίντσας). Για την ανάγνωση της μέτρησης είναι απαραίτητο ένα επιπλέον βήμα, το οποίο είναι ανάλογο με αυτό που περιγράφηκε για τα παχύμετρα.

Για τα μετρικά μικρόμετρα χρησιμοποιείται η ίδια διαδικασία ανάγνωσης της μέτρησης. Η διαφορά αφορά βεβαίως τις κλίμακες του κοχλία και της λαβής (Σχήμα 2.94).



Σχήμα 2.90 Ανάγνωση μικρομέτρου



Σχήμα 2.91 (α) Κεκλιμένα παράλληλα, (β) V-blocks, (γ) γωνιές

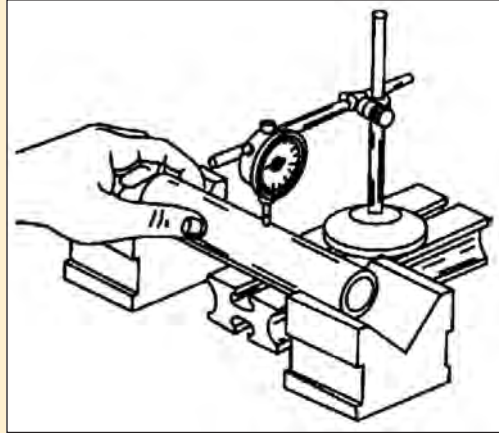
Κεκλιμένα παράλληλα, Στηρίγματα V, Γωνιές

Η διάταξη στο Σχήμα 2.91α αποτελείται από δύο κεκλιμένα κομμάτια, των οποίων οι εξωτερικές επιφάνειες είναι παράλληλες. Η απόσταση μεταξύ των δύο επιφανειών εξαρτάται από τη σχετική θέση των κομματιών και μπορεί να μετρηθεί με μικρόμετρο. Αυτές οι διατάξεις χρησιμοποιούνται για αρχικές ρυθμίσεις και έλεγχο επιπεδότητας. Διατίθενται σε διάφορα μεγέθη.

Τα στηρίγματα V (V-blocks, Σχήμα 2.91β) χρησιμοποιούνται ευρέως σε μηχανουργικές κατεργασίες για τη στήριξη αξόνων και για μετρήσεις.

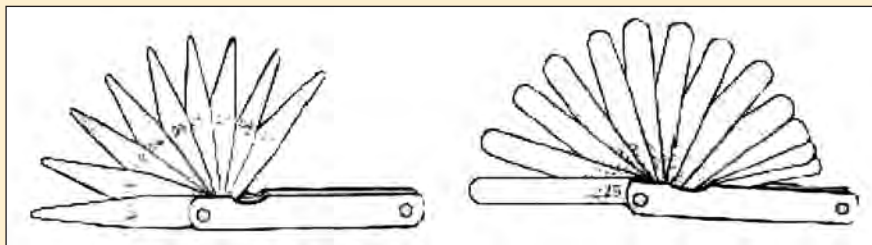
Το Σχήμα 2.92 δείχνει τη διάταξη μέτρησης κυκλικότητας άξονα. Ο άξονας (π.χ. πείρος εμβόλου) τοποθετείται σε V-blocks. Η περιστροφή του άξονα απεικονίζει

σε **μετρητικό ενδείκτη (dial indicator)** την απόκλιση από τον "ιδεατό" κύκλο της διαμέτρου του άξονα στο επίπεδο της μέτρησης (**runout**).



Σχήμα 2.92 Μέτρηση κυκλικότητας άξονα

Οι γωνιές (Σχήμα 2.91γ) αποτελούνται από δύο εξωτερικές επίπεδες επιφάνειες σε ορθή γωνία. Χρησιμοποιούνται για ρυθμίσεις και έλεγχο καθετότητας.



Σχήμα 2.93 Μετρητικές λεπίδες (φίλερς)

Μετρητικές λεπίδες (φίλερ)

Οι μετρητικές λεπίδες (φίλερ, feeler gages, Σχήμα 2.93) κατασκευάζονται σε διάφορα σχήματα και μεγέθη. Συνήθως 2 έως 26 λεπίδες διαφόρων παχών (χιλιοστά της ίντσας) συναρμολογούνται σε ένα εργαλείο. Χρησιμοποιούνται ευρέως για έλεγχο διακένων, επιπεδότητας ανοιγμάτων κλπ.

Απαιτούμενα μέσα

Η παρούσα άσκηση παρέχει γενικές οδηγίες για τη μέτρηση εξαρτημάτων εμβολοφόρου κινητήρα. Απαιτούνται τα ακόλουθα έγγραφα, μέσα και εργαλεία:

- βιβλίο οδηγιών γενικής επισκευής του κινητήρα του εργαστηρίου σας,
- γενικά μετρητικά όργανα (παχύμετρα, μικρόμετρα, V-blocks, dial indicators),

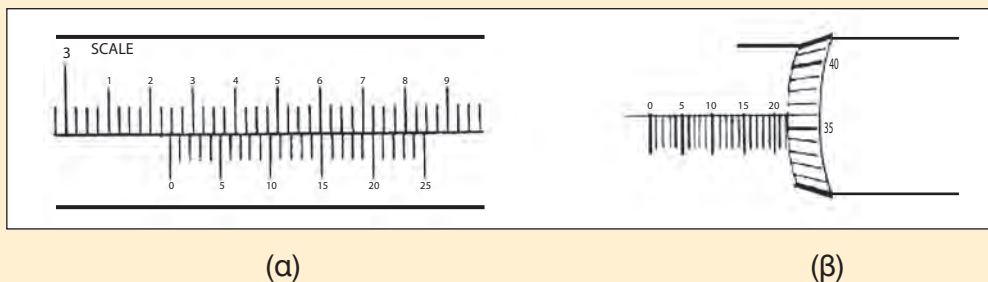
- ειδικά μετρητικά όργανα, όπως προδιαγράφονται στο βιβλίο γενικής επισκευής (π.χ. bore gage για τη μέτρηση της οβαλότητας των κυλίνδρων),
- επαρκείς πάγκοι εργασίας,

Μέτρα ασφαλείας

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που προτείνονται στις επόμενες παραγράφους θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις μετακινήσεις των διαφόρων κομματιών και των μετρητικών οργάνων, έτσι ώστε να εξαιρεθεί η πιθανότητα ζημιάς από απροσεξία. Ακολουθήστε επίσης τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Β.

Πορεία εργασίας

ΕΠΙΛΟΓΗ Α': Καθορίστε τη μέτρηση του «μετρικού» παχύμετρου και του μετρικού μικρόμετρου, όπως εμφανίζονται στο Σχήμα 2.94.

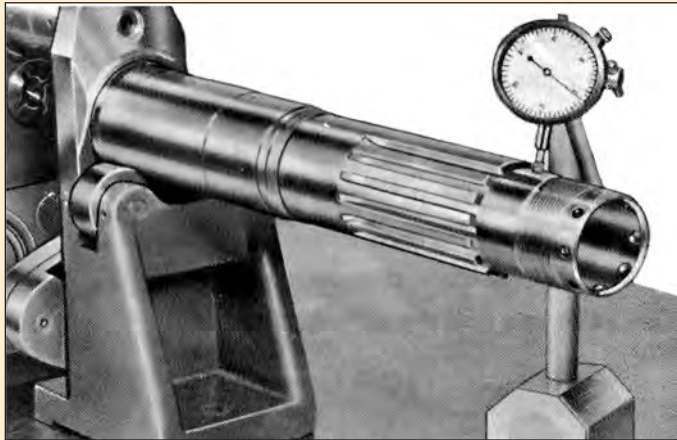


Σχήμα 2.94 "Μετρικό" (α) παχύμετρο και (β) μικρόμετρο

ΕΠΙΛΟΓΗ Β': Στις επόμενες παραγράφους προτείνεται η πραγματοποίηση μετρήσεων σε εξαρτήματα του εμβολοφόρου κινητήρα R1340-S1H1 της εταιρείας Pratt & Whitney Canada. Οι επιθεωρήσεις βασίζονται στο βιβλίο γενικής επισκευής του κινητήρα. Οι μετρήσεις συναντώνται σε όλους σχεδόν τους εμβολοφόρους αεροπορικούς κινητήρες και ως εκ τούτου, θεωρείται εύκολη η προσαρμογή της άσκησης σε άλλο τύπο αεροπορικό κινητήρα, τον οποίο πιθανώς διαθέτει το εργαστήριο πραγματοποίησης της άσκησης.

(α) Επιθεώρηση στροφαλοφόρου άξονα (Σχήμα 2.95):

- Συζητήστε τον τρόπο στήριξης του άξονα, λαμβανομένης υπόψη τη διαφορά διαμέτρου στα σημεία έδρασης.



Σχήμα 2.95 Μέτρηση κυκλικότητας στροφαλοφόρου άξονα



Σχήμα 2.96 Μέτρηση κομβίου στροφάλου (crankpin)

- Εκτελέστε και καταγράψτε τις μετρήσεις runout που απαιτεί ο κατασκευαστής.
- Μετρήστε και καταγράψτε τις διαμέτρους που απαιτεί ο κατασκευαστής (π.χ. διάμετρο κομβίου στροφάλου, Σχήμα 2.96)
- Μεταφέρετε τη μετρητική διάταξη σε άλλο πάγκο εργασίας.
- Επαναλάβετε τις μετρήσεις. Σχολιάστε τυχόν διαφορές

(β) Επιθεώρηση διωστήρων (Masterod και Linkrods) (Σχήμα 2.97):

- Εκτελέστε και καταγράψτε τις διαστατικές επιθεωρήσεις των διωστήρων, σύμφωνα με τις οδηγίες και χρησιμοποιώντας τα ειδικά εργαλεία του κατασκευαστή.
- Φροντίστε να γίνουν οι ίδιες μετρήσεις από διαφορετικά άτομα. Συζητήστε τυχόν διαφορές.



Σχήμα 2.97 Διαστατική επιθεώρηση διωστήρων

(γ) Μέτρηση οβάλ και έλεγχος φθοράς κυλίνδρων (Σχήμα 2.98):

Για τη μέτρηση του οβάλ των κυλίνδρων απαιτείται συνήθως ειδικό εργαλείο (bore gage).

- Μετρήστε το οβάλ και ελέγξτε τη φθορά των κυλίνδρων σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Προσέξτε την κίνηση του μετρητικού ενδείκτη και συζητήστε τις μετακινήσεις του (θετικές και αρνητικές).



Σχήμα 2.98 Μέτρηση οβάλ κυλίνδρου

(δ) Διαστατική επιθεώρηση βαλβίδων:

- Εκτελέστε τις διαστατικές επιθεωρήσεις των βαλβίδων που απαιτεί ο κατασκευαστής. Προσέξτε ιδιαίτερα τον έλεγχο για πιθανή καταπόνηση (stretching) των βαλβίδων και τις μετρήσεις μήκους και διαμέτρων (Σχήμα 2.99)



Σχήμα 2.99 Μέτρηση διαμέτρου σε στέλεχος βαλβίδας

Εργαστηριακή άσκηση 2.5:

Εκπόνηση πλάνων εργασίας

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να διακρίνετε τα διάφορα είδη τεχνικών εγχειριδίων, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τη συντήρηση των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων.
- β) Να χρησιμοποιείτε επιτυχώς και να αντλείτε πληροφορίες από τα εγχειρίδια συντήρησης των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων.
- γ) Να διαβάζετε και να συμπληρώνετε μητρώα εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων.
- δ) Να εκδίδετε πλάνα εργασίας για απαιτούμενες εργασίες επί εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Βασικό συνοδευτικό στοιχείο ενός εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα είναι τα μητρώα του. Πρόκειται για έναν φάκελο, ο οποίος περιέχει όλα τα σημαντικά στοιχεία, των οποίων η καταγραφή απαιτείται από τον κατασκευαστή, τόσο για τις ανάγκες της συντήρησης, όσο και για γενικότερους λόγους παρακολούθησης του κινητήρα. Τα μητρώα του κινητήρα περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως τις ημερομηνίες αλλαγής βασικών παρελκομένων (καρμπυρατέρ, μανιατό, διανομέας, κλπ.), τον χρόνο της τελευταίας γενικής επισκευής, τις ημερομηνίες των διαφόρων περιοδικών επιθεωρήσεων και τυχόν ευρήματα και / ή τροποποιήσεις που εφαρμόστηκαν στον κινητήρα, κλπ. Κάθε εγγραφή περιέχει και την καταγραφή των ωρών λειτουργίας του κινητήρα (**TSN**: Time Since New - Ώρες λειτουργίας από κατασκευής, **TSO**: Time Since Overhaul - Ώρες λειτουργίας από την τελευταία γενική επισκευή).

Κατά την παραλαβή ενός κινητήρα σε εργοστάσιο γενικής επισκευής ελέγχονται αρχικά τα μητρώα του για ενημέρωση επί της γενικότερης κατάστασής του. Φυσικά, ο χρήστης του κινητήρα αναφέρει πάντα, σε επίσημο έγγραφο, τους λόγους αποστολής (π.χ. γενική επισκευή, απαίτηση τροποποίησης, διερεύνηση, κλπ.) και τις εργασίες, οι οποίες απαιτείται να πραγματοποιηθούν στον κινητήρα, εφόσον αυτές δεν είναι προφανείς από το λόγο αποστολής του κινητήρα. Συνήθως η παραλαβή και επεξεργασία των συνοδευτικών εγγράφων γίνεται από τη διεύθυνση ποιότητας της εταιρείας (π.χ. το τμήμα ποιοτικής διασφάλισης – Quality Assurance Department).

Στα καθήκοντα του τμήματος ποιοτικής διασφάλισης περιλαμβάνεται η ενημέρωση του τμήματος προγραμματισμού (Planning Department) αναφορικά με τις απαιτήσεις εργασιών στον υπό ένταξη κινητήρα. Αυτό γίνεται συνήθως με ειδικό εταιρικό έντυπο, το οποίο ονομάζεται WEI (Workscope Evaluation Instructions). Το Σχήμα 2.100 παρουσιάζει ένα συμπληρωμένο WEI της Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας, από το οποίο έχουν αφαιρεθεί, για ευνόητους λόγους, τα στοιχεία αναγνώρισης του συγκεκριμένου κινητήρα.

Το τμήμα τεχνικού προγραμματισμού εκδίδει, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του WEI τις απαραίτητες οδηγίες για την εκτέλεση των εργασιών. Για το σκοπό αυτό, είναι απαραίτητο, για το τμήμα τεχνικού προγραμματισμού να έχει πλήρη πρόσβαση στα τεχνικά εγχειρίδια συντήρησης. Αυτά άλλωστε αποτελούν τη βάση για τη σύνταξη των διαφόρων πλάνων εργασιών.

Τα πλάνα εργασίας αναπτύσσονται σε συγκεκριμένα έντυπα του οργανισμού, ο οποίος εκτελεί τη γενική επισκευή. Τα διάφορα έντυπα που χρησιμοποιεί το τμήμα

τεχνικού προγραμματισμού, διαμορφώνονται έτσι ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες παρακολούθησης των κομματιών και καταγραφής των εκτελουμένων κάθε φορά εργασιών, αλλά και να παρέχουν ευελιξία αναφορικά με τις πιθανές «επεμβάσεις», τις οποίες θα χρειαστεί ένα κομμάτι ή ένα υποσυγκρότημα. Θα πρέπει επίσης ο τελικός προγραμματισμός να είναι τέτοιος, ώστε να διευκολύνεται η απρόσκοπτη μετακίνηση των κομματιών μεταξύ των συνεργείων, αλλά και η ομαλή επανασυγκέντρωσή τους για τη φάση της συναρμολόγησης.

Το βασικό έντυπο του προγραμματισμού εργασιών αναφέρεται στις οδηγίες αποσυναρμολόγησης, επιθεώρησης, συναρμολόγησης δοκιμής και τελικής αποδοχής του κινητήρα και / ή των κύριων υποσυγκροτημάτων του. Το έντυπο δρομολόγησης ή traveler (Σχήμα 2.101) συνοδεύει κάθε υποσυγκρότημα (ή παρελκόμενο) σε όλες τις φάσεις και κέντρα εργασίας, από τα οποία διέρχεται αυτό κατά την παραμονή του στο εργοστάσιο. Ο προγραμματιστής εργασιών συμπληρώνει τα πεδία του εντύπου που αφορούν γενικότερα στοιχεία του υποσυγκροτήματος (Ονομασία, P/N, TSO, κλπ.), τις απαραίτητες εργασίες (operations) που πρέπει να εκτελεσθούν, καθώς επίσης και τα συνεργεία, όπου αυτές θα πραγματοποιηθούν.

Σε περίπτωση κατά την οποία διαπιστώνεται μη συμμόρφωση (nonconformance) του υλικού με τα προβλεπόμενα από τον κατασκευαστή, συμπληρώνεται το σχετικό τμήμα του εντύπου (Σχήμα 2.101) και ενημερώνεται ο τεχνικός προγραμματισμού για την έκδοση νέων οδηγιών. Το έντυπο περιέχει ακόμη πεδία, όπου ο τεχνικός και / ή ο επιθεωρητής πιστοποιούν την πραγματοποίηση της εργασίας, συμπληρώνουν την ημερομηνία, όπως επίσης και τη χρονική διάρκεια της εργασίας. Το έγγραφο εντάσσεται, μετά την αποδέσμευση του κινητήρα, στο μητρώο της γενικής επισκευής, το οποίο υποχρεούται να διατηρεί ο οργανισμός για τουλάχιστον δέκα χρόνια.

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

	ENGINE QUALITY ASSURANCE WORK SCOPE EVALUATION INSTRUCTIONS		BASIC ☒	AMENDMENT ☐
	CUSTOMER:		CONTRACT No:	
ENGINE TYPE: IO 360 D		NOMENCLATURE: PISTON ENGINE		
W/O:	REJECT W/O:		Q&A W/O:	
P/N: N/A	S/N:		TAG No:	
TSN:	TSO:	CYCLES: N/A	QTY: 1	
REASON FOR REMOVAL: OVERHAUL				
REF. DOC. 1. O/H MANUAL X- 2. PARTS CATALOGUE-X-X		dated JUNE/1992 dated MAY/1992		
1. PERFORM RECEIVING INSPECTION PER Q.I 2. PERFORM O/H ON ENGINE IAW REF. DOC (1) AND (2) COMPLY WITH THE FOLLOWING Q.A.O.S p.322R1,566,570 3. PREPARE ENGINE FOR TEST AND TST ENGINE PER REF. DOC (I) 4. PRESERVE ENGINE AFTER TET PER T.O. 2R-1-11 AND/OR REF. DOC(1) 5. FINAL INSPECTION-PREPARE ENGINE FOR SHIPMENT PER T.O. 2R-1-11 CAUTION REPLACE CRANK SHAFT & CAM SHAFT GEARS WITH NEW ONES 1. Εκτελέστε επιθεώρηση παραλαβής 2. Εκτελέστε Γενική Επισκευή του Α/Κ 3. Προετοιμάστε και δοκιμάστε τον Α/Κ 4. Εκτελέστε “προετοιμασία αποθήκευσης” του Α/Κ 5. Εκτελέστε τελική επιθεώρηση – Προετοιμάστε τον Α/Κ για αποστολή. ΠΡΟΣΟΧΗ: Αντικαταστήστε τον στροφαλοφόρο και τον εκκεντροφόρο άξονα με καινούργιους.				
QUALITY ASSURANCE: DATE:		CUSTOMER: DATE:		

Σχήμα 2.100 Έντυπο γενικών εργασιών σε εμβολοφόρο Α/Κ

[illegible]

**Σχήμα 2.101 Έντυπο δρομολόγησης κινητήρα,
ή κύριων υποσυγκροτημάτων**

Οι εργασίες οι οποίες θα πρέπει να εκτελεσθούν σε κάθε μεμονωμένο εξάρτημα, εξαρτώνται από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται αυτό (όπως πιστοποιείται από την επιθεώρησή του) και φυσικά από τις οδηγίες του κατασκευαστή. Είναι λοιπόν απαραίτητο να δίνεται η δυνατότητα στον επιθεωρητή να καταγράφει τις απαραίτητες εργασίες σε ειδικό έντυπο διακίνησης. Ένα τέτοιο έντυπο παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.102. Η καταγραφή των εργασιών γίνεται σειριακά και υπάρχει απαραίτητα αναφορά στο σχετικό κάθε φορά εγχειρίδιο του κατασκευαστή. Περιέχονται, σε γενικές γραμμές, πεδία παρόμοια με αυτά του εντύπου δρομολόγησης. Το έγγραφο αυτό εκδίδεται συνήθως από τον επιθεωρητή και εγκρίνεται από εκπρόσωπο του τμήματος ποιοτικής διασφάλισης.

ROUTING CONTROL CARD - ENGINE DIVISION

HELLENIC AEROSPACE INDUSTRY S.A.

ENGINE MODEL: _____ ENGINE SERIAL No: _____ DATE: _____

PART NAME: _____ PART SERIAL No: _____ QTY: _____ T.B.D.: _____

PART NUMBER: _____ ISSUED BY (REP): _____ AREA: _____ T.B.D.: _____

TS No: _____ TAB No: _____

WORK REQUIREMENT/REFERENCE DOCUMENTS:

ALL CHARACTERISTICS INSPECTED AND ACCEPTED WITH THE EXCEPTION OF THE WORK REQUIREMENTS OF THIS R.C.C. (REP.): _____

OPER. No. OPERATION DESCRIPTION WORK STATION OPERATOR TIME TAKEN TIME TAKEN TIME TAKEN

R.C.C. REQUIREMENT COMPLETE - RETURN TO SERVING AREA

ALL CHARACTERISTICS ACCEPTED - RELEASE TO PRODUCTION

Planned by: _____ Date: _____ Prod. Plan. Rep'n App. Date: _____ Q.A. Approval Date: _____

3-100 (Rev. 2) Rev. BACK SIDE

NONCONFORMANCE RECORD

DISPOSITION AND INSTRUCTIONS

NONCONFORMANCE DESCRIPTION

OPER. No.

Σχήμα 2.102 Έντυπο προγραμματισμού εργασιών

Αν και όπως προαναφέρθηκε, οι εργασίες που θα εκτελεσθούν σε ένα κομμάτι, εξαρτώνται από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται, η επιθεώρηση, σε συνδυασμό με τα τεχνικά εγχειρίδια, υποδεικνύει περιορισμένο αριθμό πιθανών εργασιών, οι οποίες θα εκτελεσθούν τελικά στο κομμάτι. Αυτές οι πιθανές εργασίες μπορούν να προβλεφθούν αποκλειστικά από τη μελέτη του τεχνικού εγχειριδίου και να ενταχθούν συνολικά σε ένα, έτοιμο εκ των προτέρων, έντυπο (Σχήμα 2.103). Σε αυτή την περίπτωση, οι εργασίες που περιγράφονται στο έντυπο δεν εκτελούνται απαραίτητα σύμφωνα με τη σειρά αναγραφής τους, αλλά σύμφωνα με τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου κομματιού (Application Index στο Σχήμα 2.104). Το έντυπο αυτό εκδίδεται από τον προγραμματιστή εργασιών, ενώ ο επιθεωρητής επισημαίνει τα βήματα (εργασίες) που θα πρέπει να εκτελεσθούν.

Οι περιγραφές των εργασιών, οι οποίες αναφέρονται στα προαναφερθέντα έντυπα, μπορεί να είναι αναλυτικές για κάθε σταθμό εργασίας, ή να παραπέμπουν σε αλληλουχία εργασιών, οι οποίες πραγματοποιούνται στον ίδιο σταθμό εργασίας. Σε αυτή την περίπτωση, η αναλυτική περιγραφή των εργασιών γίνεται μέσω ειδικών εντύπων (Operation Sheet - Σχήμα 2.104). Αυτά τα έντυπα φέρουν πληροφορίες, οι οποίες αφορούν την οικογένεια (Part Number) και όχι το συγκεκριμένο κάθε φορά κομμάτι.

Σχήμα 2.103 Τυπικό πλάνο εργασίας στο εργοστάσιο κινητήρων της EAB

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΕΡΟΠΟΡΤΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ Α.Ε. HELLENIC AEROSPACE INDUSTRY S.A.		ΕΒΣ ΚΥΛΛΑΔΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ / HAI ENGINE DIVISION ΦΥΛΛΟ ΟΔΗΓΙΩΝ OPERATION SHEET	
ΤΙΤΛΟΣ / TITLE			
ΑΡΙΘ. ΥΛΙΚΟΥ / PART No.		ΤΥΠΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ / ENGINE MODEL	
		ΑΡΙΘ. ΣΤΑΘΜΟΥ / STATION No.	
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ / PART NAME		ΣΧΕΤ. ΤΕΧΝ. ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ & ΗΜΕΡ. REFERENCE DOCUMENT No. & DATE	
Αριθ. Έργου. Oper. No.	A/A Sno. No.		
Προεπ. Παραγιν. Σχεδίασης Prepared By	Εγκριση απόκτητη παραγιν. σχεδ. Approved By	Εγκριση απόκτητη Π.Ε. C/A Approval	Αριθ. Αλλαγής Change No.
Ημερομηνία / Date	Ημερομηνία / Date	Ημερομηνία / Date	Ημερομηνία / Date
H - 434 (Ανελ. 2)			

Σχήμα 2.104 Φύλλο εργασιών σε σταθμό εργασίας

Απαιτούμενα μέσα

Η παρούσα άσκηση παρέχει οδηγίες για την εκπόνηση πλάνων εργασίας. Απαιτούνται (ή συνιστώνται) τα ακόλουθα έγγραφα ή μέσα:

- βιβλίο οδηγιών γενικής επισκευής του κινητήρα,

- γραφεία εργασίας,
- ηλεκτρονικός υπολογιστής,
- επεξεργαστής κειμένου (MS Word) ή λογισμικό λογιστικών φύλλων (MS Excel),

Μέτρα ασφαλείας

Οι εργασίες εκπόνησης πλάνων εργασίας εκτελούνται κατά κανόνα σε περιβάλλον γραφείου. Γι' αυτό θα πρέπει να ακολουθούνται οι γενικότεροι κανόνες συμπεριφοράς και προστασίας από ατυχήματα, οι οποίοι ισχύουν σε αυτούς τους χώρους.

Πορεία εργασίας

ΕΠΙΛΟΓΗ Α': Εκπόνηση πλάνου επιθεώρησης των σημείων πρόσδεσης των κυλίνδρων στο στροφαλοθάλαμο, για τον κινητήρα R-2800.

Οι επόμενες σελίδες περιέχουν απόσπασμα από το εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κινητήρα R-2800, το οποίο αναφέρεται στην επιθεώρηση των σημείων πρόσδεσης των κυλίνδρων στο στροφαλοθάλαμο.

1. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες του κατασκευαστή.
2. Αναγνωρίστε τις περιοχές ενός εργοστασίου γενικής επισκευής, οι οποίες εμπλέκονται στις διάφορες φάσεις της επιθεώρησης.
3. Συζητήστε και επιλέξτε το καταλληλότερο από τα έντυπα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες σελίδες, για την έκδοση του πλάνου εργασίας.
4. Δημιουργήστε το έντυπο που επιλέξατε στον υπολογιστή σας, με τη χρήση κειμενογράφου ή λογιστικού φύλλου.
5. Συμπληρώστε το έντυπο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του τεχνικού εγχειριδίου.
6. Συζητήστε πιθανά προβλήματα που προκύπτουν από το πλάνο εργασίας, που μόλις εκπονήσατε και προτείνετε βελτιώσεις.

**Περίληψη του αποσπάσματος των σελίδων 220-223 στην ελληνική γλώσσα.
Το απόσπασμα προέρχεται από το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής του κινητήρα R-2800.**

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ

Στροφαλοθάλαμος

Cylinder Mount Pads – η επιθεώρηση που θα πραγματοποιηθεί εστιάζεται στην ύπαρξη ρωγμών στο εξάρτημα αυτό. Τα βήματα είναι τα ακόλουθα:

α. Έγκαυση. Προετοιμάστε διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου με περιεκτικότητα 30% με την ανάμειξη νερού και καυστικής σόδας. Προσέξτε την έκλυση της θερμότητας που συνοδεύει την παραπάνω διαδικασία. Να φοράτε πάντα προστατευτικά γάντια και γυαλιά. Προσθέστε νερό για να αναπληρώσετε τυχόν απώλειες από εξάτμιση.

β. Διάλυμα νιτρικού οξέος. Προετοιμάστε διάλυμα νιτρικού οξέος περιεκτικότητας 25%, αναμειγνύοντας ένα μέρος νιτρικού οξέος σε τρία μέρη πόσιμου νερού. Προσέξτε τους τοξικούς ατμούς που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της παραπάνω διαδικασίας. Να φοράτε πάντα προστατευτικά γάντια και γυαλιά.

γ. Επιθεώρηση. Αρχικά, καθαρίστε τα cylinder pads. Θερμάνετε το τμήμα του στροφαλοθαλάμου. Ταπώστε τις οπές που υπάρχουν και πραγματοποιήστε έγκαυση στην επιφάνειες προς επιθεώρηση. Στην περίπτωση που δεν επιτευχθεί η κατάλληλη ποιότητα της επιφάνειας του εξαρτήματος προς επιθεώρηση, εφαρμόστε το διάλυμα του νιτρικού οξέος. Στεγνώστε το εξάρτημα. Στη συνέχεια, επιθεωρήστε το με τη χρήση ενός ισχυρού μεγεθυντικού φακού.

δ. Είδη ρωγμών. Στο Σχέδιο [4A] φαίνονται οι ρωγμές τύπου I, που είναι ασυνεχείς (A), συνεχείς (B) – με μήκος μικρότερο από 1½ in - ή συγκλίνουν μεταξύ τους (C). Οι ρωγμές του τύπου αυτού δεν παρουσιάζουν την τάση να αυξάνονται σε μήκος. Δώστε προσοχή στις ρωγμές που βρίσκονται περιφερειακά των μπουλονιών, όπως φαίνεται στο Σχέδιο [4B]. Το μήκος τους δεν πρέπει να ξεπερνά τις 1½ in και δεν πρέπει να εκτείνονται στο εσωτερικό της υποδοχής του μπουλονιού.

Οι ρωγμές τύπου II, όπως φαίνονται στο Σχήμα [4C] δεν επιτρέπονται. Στην περίπτωση που οι ρωγμές βρίσκονται εντός ορίων, συνήθως προτείνεται το μαρκάρισμά τους ώστε να τύχουν επιθεώρησης σε επόμενη γενική επισκευή για την περίπτωση της διάδοσης της ρωγμής.

Παραμορφώσεις και φθορές στην περιοχή των cylinder parts, με διαστάσεις μεγαλύτερες των **0,004 in** δεν επιτρέπονται.

INSPECTION

CRANKCASE

Cylinder Mount Pads — Prepare for inspection of pads and inspect to determine crack indications in accordance with the following procedures:

a. Etching Solution. Prepare a 30 percent sodium hydroxide solution as follows:

(1) Place a measured quantity of water in a steel tank which has a capacity two or three times greater than the quantity of solution desired.

(2) Slowly add 30 to 50 ounces of commercial grade caustic soda for each gallon of water.

Add the caustic soda very cautiously because of the large amount of heat which may be generated. The operator shall wear goggles and rubber gloves and shall avoid spilling on his person or on the engine parts.

(3) Replace any water lost by evaporation during the mixing process. A liquid level mark should be made on the inside of the tank. Add water daily to bring the solution up to the level mark. A sample of the solution shall be taken from the tank, once a week, for analysis.

b. Nitric Acid Rinse. Prepare a 25 percent nitric acid solution by adding one part of nitric acid (42° Baumé) to three parts of tap water. Analyze a sample of the solution once a week.

Add the nitric acid to the water very cautiously since a large amount of toxic fumes will be liberated. The operator shall wear goggles and rubber gloves and shall avoid spilling or spattering the solution on his person or on the engine parts.

c. Inspection Procedure.

(1) Thoroughly clean the cylinder pads and remove any paint or carbon deposits.

(2) Heat the crankcase section in a vapor degreasing tank for two minutes.

If a vapor degreasing tank is not available, the case may be baked or dipped in water at 185° to 200°F (85° to 93°C) for five minutes.

(3) After closing any threaded openings with screws or rubber plugs, brush or swab the etching solution evenly over the surfaces to be examined, allowing not more than five minutes to set.

(4) Thoroughly flush the section with a spray of hot water at moderate pressure, taking particular care to flush out all recesses and oil passages.

(5) If the etching does not provide a reasonably bright metallic surface for inspections, swab or brush the acid rinse over the area to be inspected.

(6) Since the acid rinse will normally clean and brighten the surface almost immediately, quickly rinse the acid solution from the surface of the section using clean hot water, ensuring that the recesses and oil passages are thoroughly flushed.

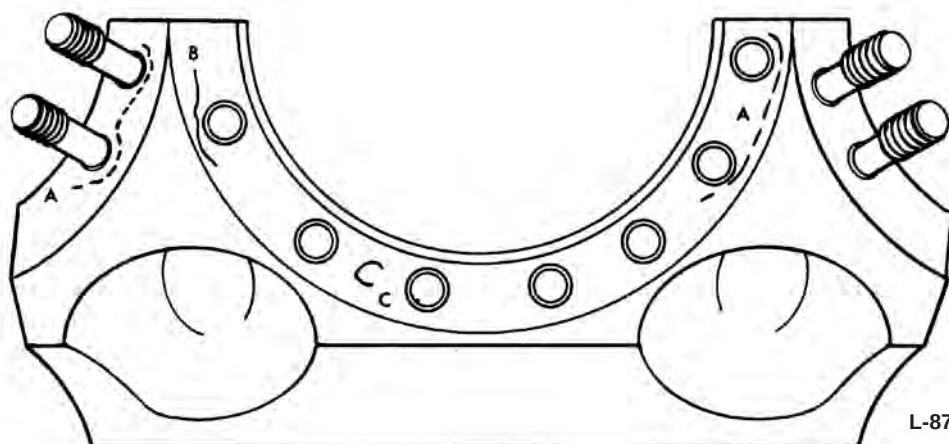
(7) Dry the section with an air blast followed by immersion in a vapor degreasing bath for two minutes or by baking at 185° to 200°F (85° to 93°C) for five minutes.

(8) Oil the main bearing liners.

(9) With a five to seven power magnifying glass, inspect all aluminum surfaces for cracks which will be indicated by fine dark lines. Particular attention shall be given to the cylinder pad surfaces and to the surfaces between these pads and the through bolt bosses.

INSPECTION

94A



L-8729

- A. Non-continuous**
B. Continuous. Not exceeding 1½ inch length.
C. Concentric

[4A]

d. Types of Cracks.

(1) Type I — Acceptable **[Figure 4A]**. These cracks are usually circumferential in pattern and confined to the leg area. Indications of this type are generally shallow and do not tend to progress with time. Continuous cracks up to 1½ inches long may be accepted. No limitations have been set for the non-continuous cracks of the circumferential variety. Concentric cracks being non-continuous also fall into this category.

(a) Circumferential cracks which start in the vicinity of the leg stud farthest from the crankcase section leg mating or parting surface, and then deviate by crossing over at the pad intersection to the adjacent pad **[Figure 4B]** may be accepted, provided they conform with the following conditions:

1. Do not exceed 1½ inches in total length.

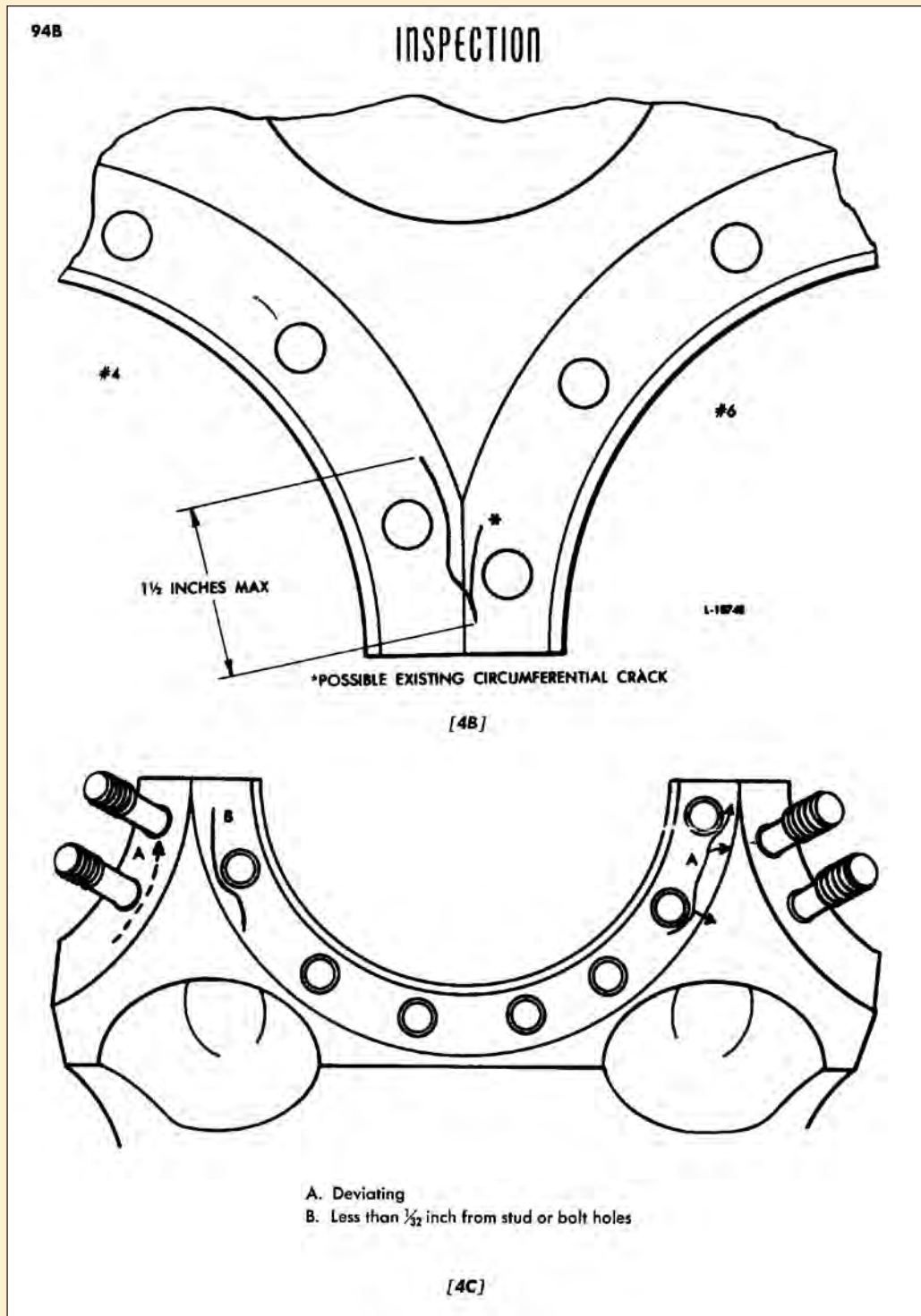
2. Do not run parallel to stud holes closer than 1/32 inch.

3. Do not run into, or show a tendency to run into, a stud hole.

(b) Circumferential cracks which extend to the crankcase section mating surfaces, and which do not extend more than 0.050 inch over the edge, may be accepted. A crossover crack intersecting a circumferential crack on the adjacent pad **[Figure 4B]** is permissible.

(2) Type II — Not Acceptable **[Figure 4C]**.

(a) Deviating cracks generally start on the pad surface at the outer rim of the cylinder flange and in the vicinity of a stud or bolt hole. It almost immediately tends to depart from the characteristic



INSPECTION

94C

circumferential pattern and progress to adjoining pad. This type may enter one or both stud and/or bolt holes and is usually of considerable depth, and is progressive.

(b) Circumferential cracks which run parallel to a stud or bolt hole closer than 1/32 inch or which deviate into a stud or bolt hole are unacceptable.

(c) No cracks may be accepted in through bolt holes.

(d) Center sections which exhibit evidence of pulled studs shall be rejected.

(e) Cylinder flange seating patterns must show more than 75 percent contact in the cracked area.

(f) It is suggested that when crankcase sections have been accepted with cracks as outlined in the preceding steps, the cracks be suitably marked so that they may be inspected at subsequent overhaul for possible progression beyond acceptable limits.

(g) Galled cylinder pads may be reworked to 0.022 inch under blueprint minimum (10.684 inches) or to a minimum measurement of 10.662 inches from the centerline of the crankshaft bearing bore to the surface of the cylinder pad. Angle and diameter of chamfer are 45° x 6.265 +0.010 -0.000. Crankcases requiring removal of material beyond these limits shall have the individual sections replaced by rematching.

Depressions, unevenness, or wear areas on cylinder pads should not exceed 0.004 inch maximum.

Cylinder Attaching Studs, Bolts, and Nuts – Refer to DISASSEMBLY under “Cylinders and Pistons.”

a. Check all studs and bolts for looseness. Replace any loose stud or bolt with one of the appropriate oversize. PWA-5779 Taps are available for oversizes. (Refer to REPAIR under “Cylinder Flange Bolts and Studs Replacement.”)

b. Inspect stud threads for tears and nicks.

It is permissible to chase the threads but no attempt should be made to force the chaser on or off the threads since this might change the thread form. Thread dies must not be used because the threads have been rolled and use of a die will undercut the thread root.

c. Check studs for the minimum holding torque of 150 pound-inches. Replace any studs below this limit with the appropriate oversize.

d. Measure the diameter of the necked down portion of each stud and replace any stud having a diameter of less than 0.348 inch.

e. Check for correct projection height of 0.960 to 0.980 inch.

Replace any questionable studs.

f. Inspect the cylinder attaching nuts as follows:

(1) Inspect the threads of each nut for damage and wear. Reject any nut which will accept a «No-Go» thread gage having a 0.4375-20NF-1 fit (0.4101 PD).

(2) Visually inspect the seating surface which must be free of plating, in good condition, and free from tears.

(3) Check the squareness of the nut seating surface. This may be accomplished by the use of a PWA-5802 Squareness Gage. Squareness must be within 0.003 inch FIR as shown in **Figure 4D**.

(4) Strip the cadmium plate, and replate the nuts at each overhaul in accordance with the procedure described in the Overhaul Plating Manual. No cadmium plating is permitted on the seating surface of the nut.

(5) Any nuts which do not incorporate the identification notch, nor otherwise conform to the specifications shown in **Figure 4E**, are not permissible.

g. Check stud stretch by placing a dummy flange on a cylinder pad, using a nut on each of the stud; in the through holes. Using a ball contact micrometer or a micrometer over balls, measure the lengths of the through studs before and after tightening the nuts in

Εργαστηριακή άσκηση 2.6:

Ζυγοστάθμιση στροφαλοφόρου άξονα εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της παρούσας εργαστηριακής άσκησης θα είστε σε θέση:

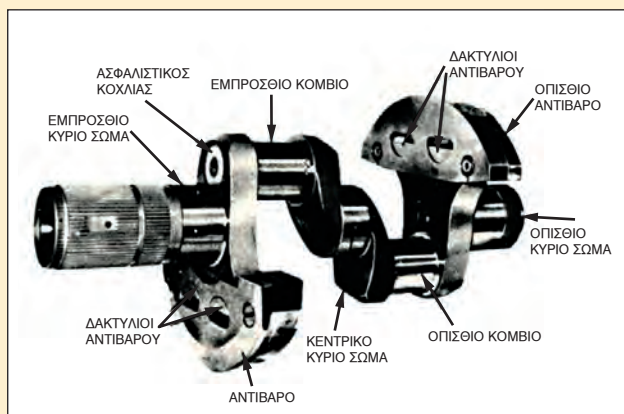
- α) Να αναφέρετε τις βασικές αρχές της θεωρίας που διέπει τη ζυγοστάθμιση στερεών σωμάτων.
- β) Να εκτελείτε τα στάδια εργασίας που αφορούν τη ζυγοστάθμιση στροφαλοφόρου άξονα εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα.
- γ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

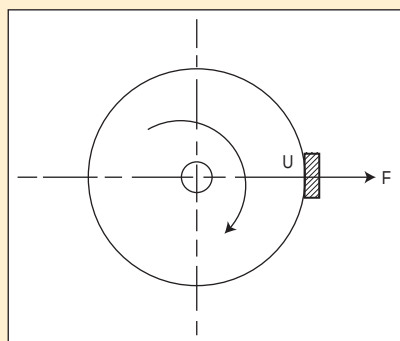
Ο στροφαλοφόρος άξονας (Σχήμα 2.105) λειτουργεί υπό εξαιρετικά σκληρές συνθήκες, λόγω της έντασης και της ασυνέχειας των καταπονήσεων που δέχεται, καθώς και λόγω του υψηλού ρυθμού περιστροφής του. Σε αυτόν εφαρμόζονται, με προσθετικό τρόπο, οι δυνάμεις που δημιουργούνται από τη συμπίεση και την επακόλουθη εκτόνωση των καυσαερίων. Αυτές οφείλονται στην αδράνεια των στοιχείων που εκτελούν παλινδρομική κίνηση (έμβολο, ελατήρια εμβόλου, πείρος και μέρος του διωστήρα). Επίσης, στο στροφαλοφόρο άξονα ασκείται και η φυγόκεντρος δύναμη που δημιουργείται από την περιστροφική κίνηση των μαζών των εξαρτημάτων του που είναι ασύμμετρα κατανεμημένα ως προς τον άξονα περιστροφής.

Γενικά, η φυγόκεντρος δύναμη ενεργεί πάνω στη μάζα ενός περιστρεφόμενου σώματος, εξαναγκάζοντας κάθε σημείο του (στοιχειώδη μάζα) να τείνει να απομακρυνθεί από τον άξονα της περιστροφής, σε μία ακτινική διεύθυνση. Αν οι στοιχειώδεις μάζες, που συνθέτουν τη μάζα του περιστρεφόμενου σώματος, είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες όσον αφορά τον άξονα της περιστροφής, τότε η συνισταμένη των φυγόκεντρων δυνάμεων των στοιχειωδών μαζών είναι μηδενική. Αντίθετα, στην περίπτωση ανομοιόμορφης κατανομής των μαζών, τότε η φυγόκεντρος δύναμη που εξασκείται στην πλευρά με το μεγαλύτερο βάρος είναι μεγαλύτερη από τη φυγόκεντρη που εξασκείται στην πλευρά με το μικρότερο βάρος. Το περιστρεφόμενο σώμα τείνει προς τη διεύθυνση του μεγαλύτερου βάρους. Στο Σχήμα 2.106 φαίνεται ένα περιστρεφόμενο σώμα με μία επιπλέον μάζα U στη μία πλευρά του. Εξαιτίας της φυγόκεντρης δύναμης που αναπτύσσεται από τη μάζα

αυτήν, το περιστρεφόμενο σώμα ωθείται προς την κατεύθυνση της δύναμης F .



Σχήμα 2.105 Τα μέρη του στροφαλοφόρου άξονα



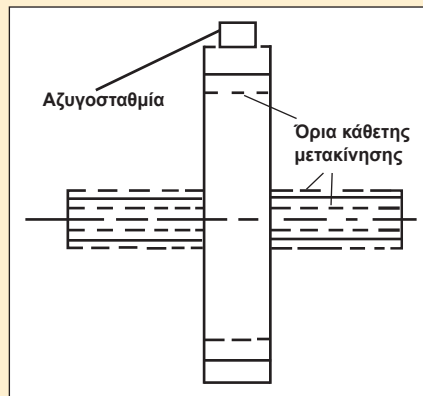
Σχήμα 2.106 Η μάζα U που επιφέρει αζυγοσταθμία

Η επιπλέον μάζα που φαίνεται στο Σχήμα 2.106 ονομάζεται αζυγοσταθμία (**unbalance**). Η εργασία που κάνουμε για το μηδενισμό της συνισταμένης φυγόκεντρης δύναμης ονομάζεται ζυγοστάθμιση.

Πολλοί παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν την αζυγοσταθμία, όπως:

- Ανοχές κατά την κατασκευή του εξαρτήματος (χύτευση, μηχανουργική κατεργασία σε εργαλειομηχανές) ή / και κατά τη διαδικασία της συναρμολόγησής του.
- Ελαττώματα του υλικού κατασκευής του εξαρτήματος, όπως πόροι, κενά στη μάζα και ατελές φινίρισμα.
- Σχεδιαστική ατέλεια όπως ασυμμετρία.
- Μεταβολές της συμπεριφοράς, των ιδιοτήτων ή των χαρακτηριστικών του εξαρτήματος λόγω λειτουργικής καταπόνησης, όπως μεταβολές διαστάσεων λόγω τάσεων ή θερμοκρασιακής καταπόνησης.

Κατά την περιστροφή του σώματος, η παρατηρούμενη αζυγοσταθμία εξαναγκάζει το σώμα σε λειτουργία με κραδασμούς, λόγω της φυγόκεντρης δύναμης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.107. Στην περίπτωση του στροφαλοφόρου άξονα, εκτός από τους κραδασμούς, ασκούνται καταπονήσεις στα έδρανα στήριξής του.



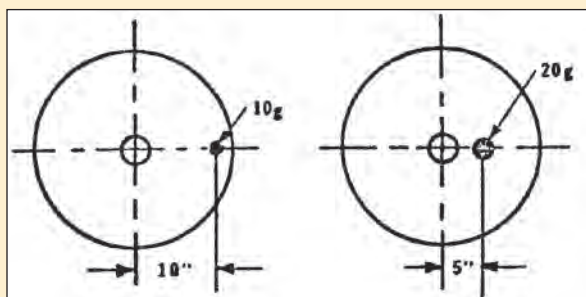
Σχήμα 2.107 Εμφάνιση κραδασμών λόγω αζυγοσταθμίας

Όταν το σώμα βρίσκεται σε ηρεμία, η επιπλέον μάζα δεν εξασκεί φυγόκεντρο δύναμη και συνεπώς δεν παρατηρούνται κραδασμοί. Βέβαια, η αζυγοσταθμία υπάρχει. Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι η αζυγοσταθμία δεν εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του σώματος και παραμένει αμετάβλητη είτε το σώμα περιστρέφεται είτε όχι. Αντίθετα, η φυγόκεντρος δύναμη μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής. Κατά την έναρξη της περιστροφής, η αζυγοσταθμία εξασκεί φυγόκεντρο δύναμη η οποία θα επιφέρει λειτουργία με κραδασμούς. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα περιστροφής τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η φυγόκεντρος δύναμη, και συνεπώς και οι κραδασμοί. Γενικά, η φυγόκεντρος δύναμη αυξάνεται ανάλογα με το τετράγωνο της τιμής της ταχύτητας.

Η αζυγοσταθμία μετριέται σε μονάδες βάρους επί μονάδες απόστασης. Στο Σχήμα 2.108 φαίνεται μία αζυγοσταθμία 100 gr-in που παράγεται από μία μάζα 10 (ή 20) gr που βρίσκεται σε απόσταση 10 (ή 5) in από το κέντρο του άξονα περιστροφής του σώματος. Άρα, για την εύρεση της αζυγοσταθμίας αρκεί ο πολλαπλασιασμός της μάζας επί την απόσταση από τον άξονα περιστροφής.

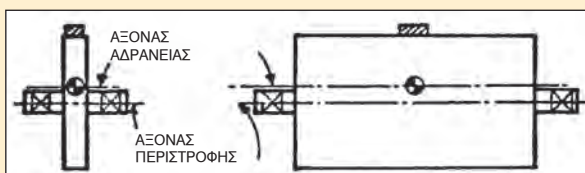
Με δεδομένη την παρατήρηση ότι η αζυγοσταθμία δεν εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι αυτή μπορεί να διορθωθεί σε οποιαδήποτε ταχύτητα του σώματος. Οπότε δεν είναι απαραίτητη η περιστροφή στον αριθμό στροφών που λειτουργεί το σώμα. Αυτό, όμως, δεν είναι γενικός κανόνας διότι αρκετά σώματα - εξαρτήματα, που αποτελούνται από διάφορα μέρη, παρουσιάζουν ιδιαίτερη συμπεριφορά στις υψηλές ταχύτητες. Η εργασία της ζυ-

γοστάθμισης σε αυτά πρέπει να πραγματοποιείται στις ταχύτητες της λειτουργίας τους. Ένα από αυτά τα εξαρτήματα είναι και ο στροφαλοφόρος άξονας, που θα εξετάσουμε στην άσκηση αυτήν. Στη συνέχεια, περιγράφονται τα δύο διαφορετικά είδη αζυγοσταθμίας που παρουσιάζονται σε ένα στροφαλοφόρο άξονα ενός εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα.

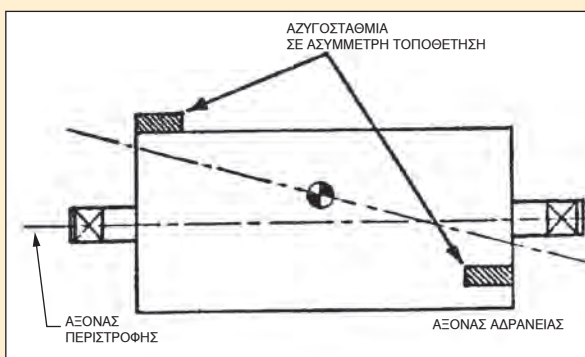


Σχήμα 2.108 Μεγέθη που χαρακτηρίζουν την αζυγοσταθμία

- Στατική αζυγοσταθμία (static unbalance). Παριστάνεται σχηματικά στο Σχήμα 2.109. Η στατική αζυγοσταθμία εμφανίζεται όταν ο άξονας της επιπλέον μάζας – αζυγοσταθμίας (άξονας αδράνειας) βρίσκεται σε επίπεδο παράλληλο με αυτό του άξονα περιστροφής του σώματος.
- Δυναμική αζυγοσταθμία (dynamic unbalance). Είναι η πιο συνηθισμένη περίπτωση αζυγοσταθμίας. Παριστάνεται σχηματικά στο Σχήμα 2.110.



Σχήμα 2.109 Στατική αζυγοσταθμία



Σχήμα 2.110 Δυναμική αζυγοσταθμία

Είναι η κατάσταση όπου ο άξονας της αζυγοσταθμίας δεν βρίσκεται σε παράλληλο επίπεδο με αυτό του άξονα της περιστροφής. Η διόρθωσή της επιτυγχάνεται με την προσθήκη τουλάχιστον δύο ίσων μαζών, τοποθετημένων σε συμμετρικά, ως προς τις αζυγοσταθμίες, σημεία του άξονα περιστροφής. Οι μάζες αυτές τοποθετούνται σε τουλάχιστον δύο επίπεδα κάθετα σε αυτό του άξονα περιστροφής.

Στους στροφαλοφόρους άξονες των αεροπορικών κινητήρων τοποθετούνται αντίβαρα για τη ζυγοστάθμισή τους (ένας άλλος λόγος για την τοποθέτησή τους είναι ο περιορισμός των στρεπτικών καταπονήσεων).

Απαιτούμενα μέσα

Η παρούσα άσκηση παρέχει γενικές οδηγίες για την εκτέλεση της διαδικασίας ζυγοστάθμισης στο στροφαλοφόρο άξονα ενός εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα. Απαιτούνται τα ακόλουθα έγγραφα, μέσα και εργαλεία:

- εγχειρίδιο οδηγιών συντήρησης του κινητήρα (τα τμήματα τα οποία αναφέρονται στο στροφαλοφόρο άξονα),
- γενικά και ειδικά εργαλεία, τα οποία προδιαγράφονται στο παραπάνω εγχειρίδιο,
- μηχανή ζυγοστάθμισης, η οποία προδιαγράφεται από το παραπάνω εγχειρίδιο, και εγχειρίδιο λειτουργίας της,
- επαρκείς πάγκοι εργασίας,
- γάντια χειρός,
- γυαλιά προστασίας

Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας του Παραρτήματος Β.

Πορεία εργασίας

Η διαδικασία ζυγοστάθμισης θα πραγματοποιηθεί μόνο μετά το τέλος της συναρμολόγησης του στροφαλοφόρου άξονα που ακολουθεί την επιθεώρηση και πιθανή επισκευή μερών του. Η πορεία της εργασίας που θα ακολουθήσει είναι βασισμένη στη διαδικασία που ακολουθείται για τη ζυγοστάθμιση του στροφαλοφόρου άξονα του εμβολοφόρου κινητήρα PW R2800. Κατάλληλη μηχανή ζυγοστάθμισης φαίνεται στο Σχήμα 2.111

1. Διαβάστε το εγχειρίδιο λειτουργίας της μηχανής ζυγοστάθμισης που θα χρησιμοποιήσετε. Βεβαιωθείτε ότι κατανοείτε τον τρόπο λειτουργίας της.
2. Διαβάστε τη διαδικασία που θα ακολουθήσετε για τη ζυγοστάθμιση του στροφαλοφόρου άξονα. Βεβαιωθείτε ότι την κατανοείτε πλήρως και ότι ο απαιτούμενος εξοπλισμός είναι διαθέσιμος.



Σχήμα 2.111 Μηχανή ζυγοστάθμισης στροφαλοφόρου άξονα αεροπορικού κινητήρα με τον κατάλληλο εξοπλισμό επεξεργασίας των μετρήσεων

3. Μη χρησιμοποιήσετε στροφαλοφόρο άξονα του οποίου τα κομβία των διωστήρων έχουν υποστεί λείανση (grinding) περισσότερο από 0.010in στη διάμετρό τους.
4. Μη χρησιμοποιήσετε στροφαλοφόρο άξονα του οποίου οι στροφεείς (main journals) έχουν υποστεί λείανση (grinding) περισσότερο από 0.006in στη διάμετρό τους.
5. Ελέγξτε την εξωτερική διάμετρο των κομβίων των διωστήρων. Αυτή πρέπει να είναι ομοιόμορφη σε ολόκληρο το μήκος του κάθε κομβίου. Σε διαφορετική περίπτωση, συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για τη διορθωτική ενέργεια που πρέπει να πραγματοποιηθεί.
6. Ελέγξτε το βάρος του κάθε αντίβαρου, όπως αυτό καταγράφηκε κατά τη Γενική Επισκευή. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για τις ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές. Απορρίψτε οποιοδήποτε αντίβαρο έχει βάρος μικρότερο από τις παραπάνω τιμές.
7. Ελέγξτε τους δακτυλίους των αντιβάρων ως προς τη σωστή τοποθέτησή τους, την ενδεχόμενη φθορά και κίνησή τους.

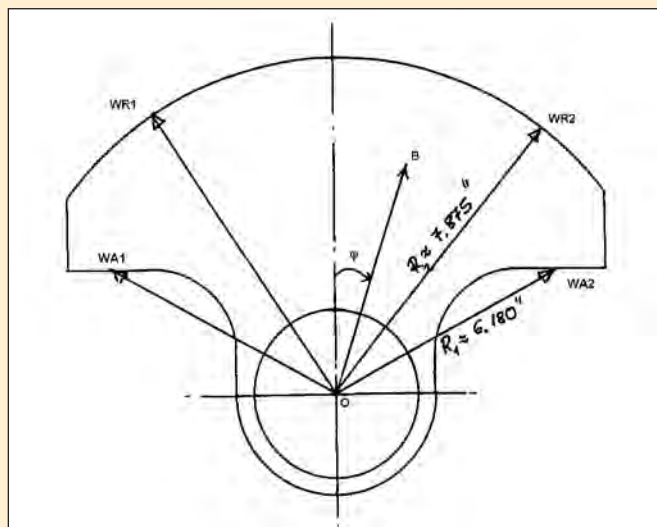
8. Ελέγξτε τη θέση των αξόνων των στροφών. Αυτοί πρέπει να είναι ομόκεντροι. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για τον τρόπο και τα σημεία της μέτρησης, καθώς και την επιτρεπόμενη ανοχή.
9. Τοποθετήστε το στροφαλοφόρο άξονα στη μηχανή ζυγοστάθμισης σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή της μηχανής.
10. Τοποθετήστε ένα πρότυπο βάρος ζυγοστάθμισης σε κάθε ένα από τα κομβία. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για τον τρόπο και τα ακριβή σημεία στα οποία αυτά τοποθετούνται.
11. Τοποθετήστε τον οδηγό ιμάντα στον κεντρικό στροφέα του στροφαλοφόρου άξονα. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο του κατασκευαστή της μηχανής ζυγοστάθμισης για τον τρόπο τοποθέτησης των υπόλοιπων υποδοχέων που πρέπει να χρησιμοποιήσετε για την αποτελεσματική έδραση του άξονα.
12. Σιγουρευτείτε ότι τα καλύμματα προστασίας της μηχανής είναι καλά τοποθετημένα.
13. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για τον αριθμό των στροφών στον οποίο πρέπει να λειτουργήσετε τη μηχανή ζυγοστάθμισης. Ξεκινήστε τη μηχανή.
14. Καταγράψτε, από το καταγραφικό της μηχανής, την αζυγοσταθμία και τη γωνία που αυτή παρουσιάζεται στα δύο αντίβαρα του στροφαλοφόρου άξονα.
15. Σταματήστε τη μηχανή. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο του κατασκευαστή της μηχανής για να ελέγξετε τις τιμές που μετρήσατε.
16. Σε περίπτωση αζυγοσταθμίας ελέγξτε, με βάση το εγχειρίδιο, τις διορθωτικές ενέργειες που πρέπει να κάνετε για τη διόρθωσή της. Γενικά, για τη διόρθωση της αζυγοσταθμίας μπορείτε να προσθέσετε βάρος (όπως προδιαγράφεται από το εγχειρίδιο) στα σημεία WA (Σχήμα 2.112), ή να αφαιρέσετε βάρος (με τη διάνοιξη οπών, όπως προδιαγράφεται από το εγχειρίδιο) στα σημεία WR, σε κάθε αντίβαρο. Στην περίπτωση που η αζυγοσταθμία ξεπερνά την τιμή που αναγράφεται στο εγχειρίδιο, πρέπει να αντικαταστήσετε τα αντίβαρα.

Στο Σχήμα 2.113 φαίνονται τα σημεία όπου ανοίγονται οπές ως διορθωτική κίνηση σε περίπτωση αζυγοσταθμίας. A, B, C, D είναι οι θέσεις των κέντρων των οπών,

ενώ οι αριθμοί δηλώνουν τα επίπεδα τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τη λειτουργία της μηχανής για τον προσδιορισμό της αζυγοσταθμίας.

17. Ξεκινήστε τη μηχανή. Καταγράψτε τις διορθωμένες τιμές. Στην περίπτωση που αυτές είναι εκτός των ορίων επαναλάβετε το βήμα 16. Συνεχίστε τη διαδικασία μέχρι η αζυγοσταθμία να λάβει μηδενική τιμή.
18. Σταματήστε τη μηχανή. Αφαιρέστε τον οδηγό ιμάντα και τους υπόλοιπους υποδοχείς. Μετακινήστε το στροφαλοφόρο άξονα από τη μηχανή ζυγοστάθμισης και τοποθετήστε στη θέση που προβλέπεται. Ασφαλίστε τη μηχανή και κλείστε τις ηλεκτρικές ασφάλειές της.

Όπου:



Σχήμα 2.112 Σημεία προσθήκης (WA1 & WA2) και αφαίρεσης (WR1 & WR2) βαρών

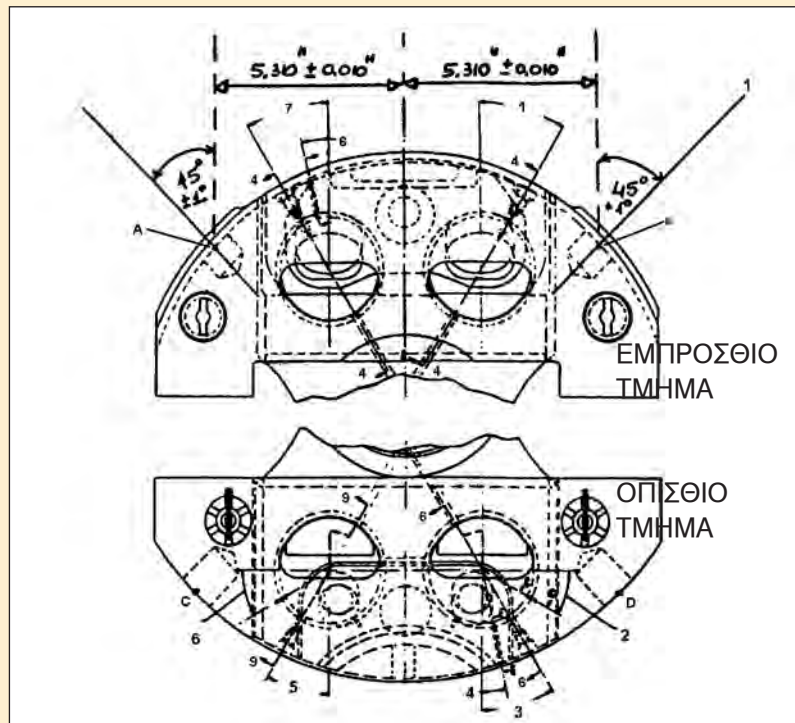
O : η θέση του άξονα περιστροφής.

R_1 : η θέση της περιοχής όπου τοποθετείται επιπρόσθετο βάρος.

R_2 : η θέση της περιοχής όπου ανοίγεται οπή.

B : αζυγοσταθμία σε kg (το βάρος που πρέπει να προστεθεί ή να αφαιρεθεί).

Φ : η γωνία θέσης της αζυγοσταθμίας ως προς τον κατακόρυφο άξονα.



Σχήμα 2.113 Σημεία διάνοιξης οπών

Εργαστηριακή άσκηση 2.7:

Ειδικός εξοπλισμός συντήρησης εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων - Μη καταστροφικοί έλεγχοι : FPI

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αναφέρετε τις βασικές απαιτήσεις εξοπλισμού για την πραγματοποίηση μη καταστροφικών ελέγχων με διεισδυτικά υγρά.
- β) Να αναγνωρίζετε τα βασικά στάδια των μη καταστροφικών επιθεωρήσεων που ακολουθούνται στην άσκηση.
- γ) Να περιγράφετε τα διάφορα είδη των επιθεωρήσεων με διεισδυτικά υγρά.
- δ) Να αναφέρετε τις επισκευές, μετά από τις οποίες είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση ελέγχου για την πιστοποίηση της επιτυχίας τους.

Εισαγωγικές πληροφορίες

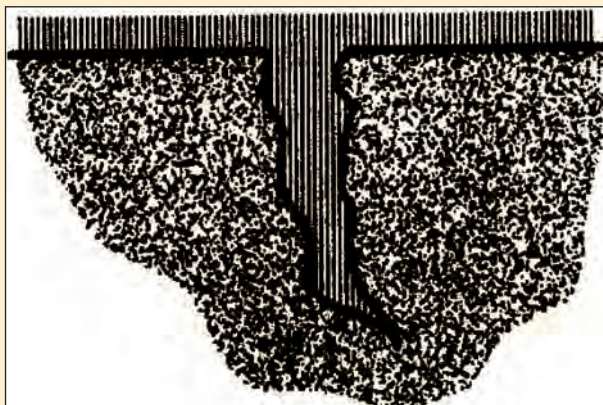
Η επιθεώρηση με διεισδυτικά υγρά είναι μία μη καταστροφική μέθοδος, με την οποία εντοπίζονται επιφανειακές ασυνέχειες και ατέλειες. Πρόκειται για μια απλή μέθοδο, αρκετά γρήγορη με χαμηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας του εξοπλισμού.

Οι ουσίες είναι συνήθως χρωστικά διαλύματα που έχουν την ιδιότητα να φωσφορίζουν έντονα κάτω από υπεριώδη ακτινοβολία ή έχουν κάποιο χρώμα που γίνεται εύκολα διακριτό σε λευκό φως.

Η τεχνική περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις:

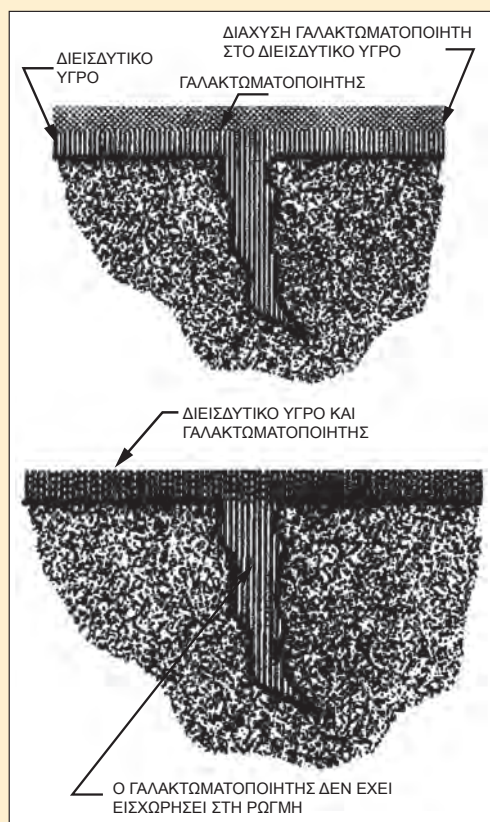
- Καθαρισμός της επιφάνειας. Το στάδιο του καθαρισμού περιλαμβάνει την απομάκρυνση ξένων στοιχείων από την επιφάνεια του αντικειμένου, όπως είναι ρινίσματα άλλων μετάλλων, λάδια, γράσα, οξείδωση ή μπογιά. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση διαφόρων χημικών ουσιών που καθαρίζουν τόσο την επιφάνεια όσο και τις πιθανές ρωγμές σε αυτή. Μία από αυτές τις χημικές μεθόδους είναι και η έγκαιση (etching) σε μικρό βαθμό του αντικειμένου, με σκοπό να κάνει πιο διακριτές τις ρωγμές με τη χρήση του διεισδυτικού υγρού που ακολουθεί. Για την απαλοιφή της υγρασίας από την επιφάνεια του κομματιού, γίνεται συνήθως θέρμανσή του σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 100°C για κάποιο χρονικό διάστημα.

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι επιθεωρητές του FPI απορρίπτουν τα κομμάτια γιατί αυτά δεν είναι επαρκώς καθαρισμένα. Αν και σε ορισμένες περιπτώσεις αυτό μπορεί να οφείλεται σε υπερβολικές απαιτήσεις των επιθεωρητών, συνήθως δεν έχει χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη διαδικασία καθαρισμού, ή οι χημικές ουσίες του καθαριστικού διαλύματος έχουν υπερβεί το όριο ζωής τους, ή απλώς δεν έχει γίνει καλό «στέγνωμα» του κομματιού μετά τον καθαρισμό. Είναι λοιπόν πολύ σημαντικό, όσον αφορά την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία της μεθόδου, να προηγείται καλός καθαρισμός.



Σχήμα 2.114 Εφαρμογή του δεισδυτικού υγρού στην επιφάνεια και σε ρωγμή του υλικού

- Εφαρμογή δεισδυτικού υγρού (penetrant) σε καθαρή επιφάνεια (Σχήμα 2.114). Το υγρό απορροφάται (τριχοειδές φαινόμενο) στις ρωγμές. Για την εφαρμογή του δεισδυτικού υγρού, το αντικείμενο βυθίζεται σε δεξαμενή, ή επαλείφεται με τη χρήση πινέλου. Τα δεισδυτικά υγρά διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες (levels), ανάλογα με το ιξώδες τους (λεπτόρευστα, παχύρευστα), το οποίο επηρεάζει και τη δεισδυτική τους ικανότητα. Όσο μεγαλύτερο το “level” (υψηλό ιξώδες), τόσο μεγαλύτερη και η δεισδυτική τους ικανότητα. Επομένως οι μικρότερες κατηγορίες χρησιμοποιούνται σε χοντρόκοκκα υλικά, ενώ οι μεγαλύτερες σε λεπτόκοκκα υλικά.
- Καθαρισμός, μετά από επαρκή χρόνο παραμονής, του πλεονάζοντος δεισδυτικού υγρού. Ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα της επιφάνειας που πρόκειται να ελεγχθεί, την επιφανειακή τραχύτητα και την ευαισθησία που απαιτείται από τον χρήστη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες τεχνικές:
 - Αφαίρεση του δεισδυτικού υγρού με χρήση νερού ορισμένης πίεσης και θερμοκρασίας (Σχήμα 2.116).
 - Αφαίρεση με χρήση ειδικού διαλύτη.
 - Αφαίρεση με χρήση γαλακτωματοποιητή (emulsifier) και στη συνέχεια νερού ορισμένης πίεσης και θερμοκρασίας (Σχήμα 2.115 και Σχήμα 2.116).

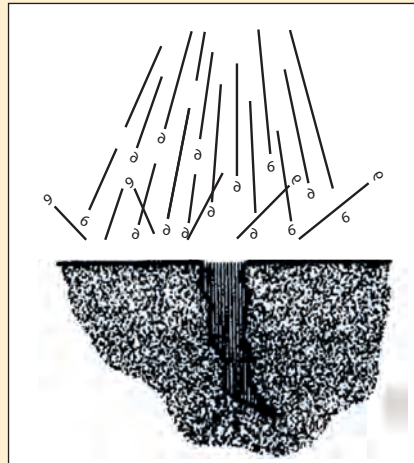


Σχήμα 2.115 Εφαρμογή γαλακτωματοποιητή (emulsifier) στο διεισδυτικό υγρό και τρόπος δράσης

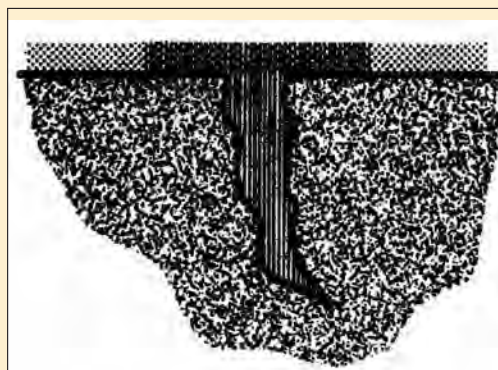
Η μέθοδος του διεισδυτικού υγρού, το οποίο χρησιμοποιεί γαλακτωματοποιητή για την αφαίρεση του πλεονάζοντος υγρού, έχει μεγαλύτερη ευαισθησία από τα υδατοδιαλυτά διεισδυτικά υγρά¹.

- Εφαρμογή εμφανιστή (developer) (Σχήμα 2.117). Ο εμφανιστής είναι είτε σε μορφή σκόνης (προτιμάται σε συνδυασμό με φωσφορίζοντα διεισδυτικά υγρά), είτε υγρό που ψεκάζεται στην επιφάνεια.
- Επιθεώρηση της επιφάνειας (Σχήμα 2.118). Με τον εμφανιστή, μέρος του διεισδυτικού υγρού που έχει παραμείνει στις ρωγμές, εξωθείται προς την επιφάνεια του υλικού και διαχέεται, προκαλώντας ενδείξεις, μεγαλύτερες από το άνοιγμα της ρωγμής, διευκολύνοντας έτσι το στάδιο της επιθεώρησης. Όταν το διεισδυτικό υγρό είναι έγχρωμο, η επιθεώρηση γίνεται με λευκό φως, ενώ στην περίπτωση της επιθεώρησης με φωσφορίζον υγρό (Fluorescent Penetrant Inspection – FPI) η επιθεώρηση γίνεται σε σκοτεινούς χώρους, με τη χρήση υπεριώδους «μαύρου φωτός» (“black light”).

¹Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί και σε τιτάνιο.



Σχήμα 2.116 Καθαρισμός του διεισδυτικού υγρού από την επιφάνεια με χρήση νερού υπό πίεση



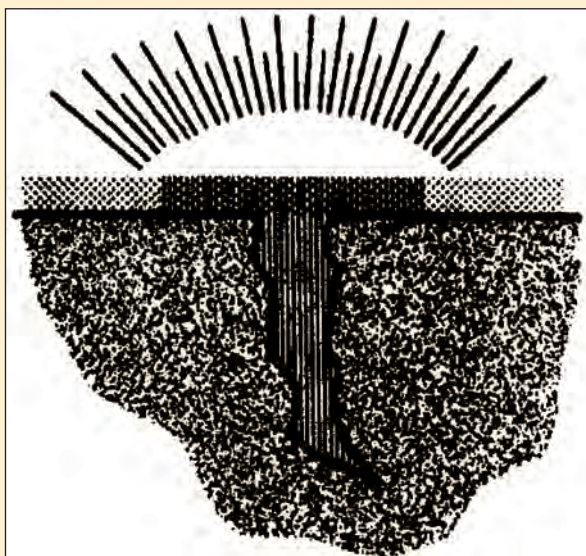
**Σχήμα 2.117 Επίδραση του εμφανιστή στο διεισδυτικό υγρό.
Ο εμφανιστής έλκει το διεισδυτικό υγρό στην επιφάνεια του υλικού,
διευκολύνοντας τις ενδείξεις.**

- Καθαρισμός του αντικειμένου. Μετά το τέλος της επιθεώρησης το αντικείμενο ξεπλένεται και καθαρίζεται.

Οι επιθεωρητές που διενεργούν τους ελέγχους FPI θα πρέπει να είναι εκπαιδευμένοι και πιστοποιημένοι (NDI specialists)¹. Υπάρχουν ειδικοί κανονισμοί (πρότυπα), τα οποία καθορίζουν και περιγράφουν τις απαιτήσεις πιστοποίησης (MIL-STD-410, Non Destructive Test Qualification, κ.ά.). Η δυνατότητα διενέργειας ελέγχων NDI πιστοποιείται από εξουσιοδοτημένη υπηρεσία με σχετικό έντυπο (Σχήμα 2.119)².

¹Αυτό ισχύει για όλες τις μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου.

²Το έντυπο αυτό διατηρείται τόσο από τη διεύθυνση ποιότητας του οργανισμού στον οποίο εργάζεται ο επιθεωρητής, όσο και από τον ίδιο τον επιθεωρητή.



Σχήμα 2.118 Χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας για βελτίωση των ενδείξεων

Εκτός από τον αρχικό έλεγχο για την πιστοποίηση της κατάστασης ενός κομματιού, η μέθοδος FPI χρησιμοποιείται υποχρεωτικά και μετά ή κατά τη διάρκεια επισκευών, για να διαγνωσθούν τυχόν αστοχίες που προκλήθηκαν από αυτές. Τέτοιες επισκευές (ή διαδικασίες που χρησιμοποιούνται κατά την επισκευή) είναι οι εξής:

- (α) Λείανση ή κοπή (Boring ή broaching)
- (β) Μηχανουργική κατεργασία (machining ή blending) για την εξάλειψη ρωγμών ή σχισμάτων (tears)
- (γ) Διανοίξεις οπών για την ανακοπή της επέκτασης ρωγμών (stop-drilling)
- (δ) Διαδικασίες εκχύλωσης, ευθυγράμμισης
- (ε) Συγκολλήσεις (welding ή brazing)
- (στ) Μηχανουργική κατεργασία συγκολλημένων περιοχών
- (ζ) Θερμικές κατεργασίες
- (η) Τρόχισμα (grinding)

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

NDI CERTIFICATION RECORD							
1. NAME	2. RATE/RANK						
CERTIFYING ACTIVITY							
EFFECTIVE DATE	5. RECERTIFICATION DUE DATE						
THIS INDIVIDUAL IS CERTIFIED TO CONDUCT NDI BY USE OF THE FOLLOWING METHODS <table><tbody><tr><td>☐ RADIOGRAPHY</td><td>☐ EDDY CURRENT</td></tr><tr><td>☐ LIQUID PENETRANT</td><td>☐ ULTRASONIC</td></tr><tr><td>☐ MAGNETIC PARTICLE</td><td>☐ OTHER (Specify in remarks)</td></tr></tbody></table>		☐ RADIOGRAPHY	☐ EDDY CURRENT	☐ LIQUID PENETRANT	☐ ULTRASONIC	☐ MAGNETIC PARTICLE	☐ OTHER (Specify in remarks)
☐ RADIOGRAPHY	☐ EDDY CURRENT						
☐ LIQUID PENETRANT	☐ ULTRASONIC						
☐ MAGNETIC PARTICLE	☐ OTHER (Specify in remarks)						
7. REMARKS							
SAMPLE							
8. SIGNATURE (Certifying Official)	9. DATE						
Original to: Division Officer Copy To: QA Individual							

Σχήμα 2.119 Έντυπο πιστοποίησης επιθεωρητή NDI

Απαιτούμενα μέσα

Η παρούσα άσκηση παρέχει οδηγίες για τον έλεγχο FPI εξαρτημάτων εμβολοφόρου κινητήρα. Απαιτούνται τα ακόλουθα έγγραφα και ειδικός εξοπλισμός¹:

- βιβλίο οδηγιών γενικής επισκευής του κινητήρα του εργαστηρίου σας,
- πάγιος εξοπλισμός συνεργείου FPI: δεξαμενές, λάμπες υπεριώδους φωτός, πινέλα, κλπ.

¹Δεν περιλαμβάνεται ο εξοπλισμός του "συνεργείου" καθαρισμού.

- αναλώσιμα συνεργείου FPI: διεισδυτικά υγρά, εμφανιστικά υγρά,
- επαρκείς πάγκοι εργασίας,
- γάντια χειρός,
- καλός φωτισμός.

Μέτρα ασφάλειας

Κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης εξαρτημάτων του κινητήρα του εργαστηρίου σας θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση των υγρών (penetrant και developer) μια και αυτά είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο. Ακολουθήστε επίσης τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Β.

Πορεία εργασίας

Στη συνέχεια αναφέρουμε γενικές οδηγίες, οι οποίες θα πρέπει να ακολουθούνται κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης FPI. Θα πρέπει βεβαίως, όπως και σε κάθε άλλη περίπτωση, να συμβουλευθείτε το εγχειρίδιο του κατασκευαστή αναφορικά με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του προς επιθεώρηση εξαρτήματος.

1. Βεβαιωθείτε ότι το κομμάτι έχει καθαρισθεί με τον τρόπο που έχει υποδείξει ο κατασκευαστής. Η αποτελεσματικότητα του FPI εξαρτάται από την καθαριότητα της περιοχής γύρω και μέσα στην ασυνέχεια. Θα πρέπει η ασυνέχεια (ή ανωμαλία) να είναι πλήρως «ανοικτή» προς την επιφάνεια, για να μπορέσει να διεισδύσει το υγρό.
2. Βεβαιωθείτε ότι το κομμάτι είναι απόλυτα στεγνό πριν από την εφαρμογή του διεισδυτικού υγρού. Η υγρασία μπορεί να εμποδίσει τη διείσδυση (τριχοειδές φαινόμενο) του υγρού στην ασυνέχεια.
3. Τοποθετήστε το εξάρτημα στη δεξαμενή με το διεισδυτικό υγρό (εάν πρόκειται για «ολικό FPI») ή εφαρμόστε το διεισδυτικό υγρό με σπρέι, ή με πινέλο (αν πρόκειται για «τοπικό FPI» - spot FPI).
4. Στραγγίξτε το εξάρτημα.
5. Απομακρύνετε το διεισδυτικό υγρό που έχει παραμείνει στην επιφάνεια είτε πλένοντάς το με νερό ορισμένης θερμοκρασίας και πίεσης, είτε αρχικά με τη χρήση γαλακτωματοποιητή (emulsifier) και στη συνέχεια πλένοντάς το με νερό ορισμένης θερμοκρασίας και πίεσης.
6. Στραγγίξτε το νερό από το κομμάτι ή απομακρύνετε το νερό με αέρα.

7. Στεγνώστε το κομμάτι. Συνήθως αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας το κομμάτι σε ζεστό ρεύμα αέρα.
8. Εφαρμόστε το εμφανιστικό υγρό στο κομμάτι. Το εμφανιστικό υγρό θα «τραβήξει» το διεισδυτικό από τις ασυνέχειες.
9. Αφήστε το κομμάτι με το εμφανιστικό υγρό για το χρονικό διάστημα που απαιτεί η προδιαγραφή.
10. Επιθεώρηστε το κομμάτι σε σκοτεινό θάλαμο χρησιμοποιώντας υπερ-ώδες φως («μαύρο» φως - black light).

Συμβουλές για την επιθεώρηση:

1. Συμβουλευθείτε τον σχετικό πίνακα του τεχνικού εγχειριδίου, όπου αναφέρονται οι αναμενόμενες «ανωμαλίες» για το συγκεκριμένο κομμάτι.
2. Η επιθεώρηση πρέπει να πραγματοποιηθεί εντός τεσσάρων (4) το πολύ ωρών από την εφαρμογή του εμφανιστικού υγρού.
3. Η περιοχή που γίνεται η επιθεώρηση πρέπει να είναι σκοτεινή. Χρησιμοποιήστε κάποιο μαύρο σεντόνι αν δε μπορείτε να πετύχετε εύκολα συνθήκες σκοτεινού θαλάμου.
4. Αφήστε να περάσει τουλάχιστον ένα λεπτό από τη στιγμή της εισόδου σας στον θάλαμο επιθεώρησης, έτσι ώστε τα μάτια σας να συνηθίσουν στο σκοτάδι¹.
5. Βεβαιωθείτε ότι η πηγή μαύρου φωτός λειτουργεί για τουλάχιστον 10 λεπτά πριν από την έναρξη της επιθεώρησης (προθέρμανση).
6. Μην κατευθύνετε τη δέσμη του μαύρου φωτός στα μάτια συναδέλφων σας.
7. Χρησιμοποιήστε τα απαραίτητα βοηθήματα (καθρεπτάκια, ενδοσκόπιο, κλπ.) εάν μπορούν να διευκολύνουν την επιθεώρηση.
8. Χρησιμοποιήστε μεγεθυντικό φακό (εάν απαιτείται) για να καθορίσετε τον τύπο της ασυνέχειας.
9. Σημαδέψτε τις ενδείξεις ή τις «ύποπτες» περιοχές, γενικότερα, χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο τρόπο (όχι μόνιμο σημάδι).

¹ Σημειώνεται επίσης ότι ένας τεχνικός δεν πρέπει να επιθεωρεί συνεχώς περισσότερο από δύο ώρες. Δεκαπεντάλεπτα (τουλάχιστον) διαλείμματα είναι απολύτως απαραίτητα.

10. Ενημερωθείτε για τα κατώτερα όρια ασυνεχειών τα οποία μπορείτε να ανιχνεύσετε με τη μέθοδο. Συνήθως είναι της τάξης των 0.010in. (δέκα χιλιοστά της ίντσας).

Εργαστηριακή άσκηση 2.8:

Αποσυναρμολόγηση, επιθεώρηση και συναρμολόγηση καρμπυρατέρ

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

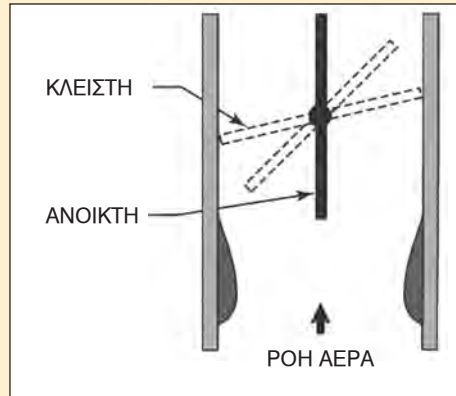
- α) Να αποσυναρμολογείτε καρμπυρατέρ, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο βιβλίο οδηγιών Γενικής Επισκευής του κατασκευαστή.
- β) Να επιθεωρείτε τα επιμέρους τμήματα του καρμπυρατέρ, πριν από τη συναρμολόγηση και δοκιμή του παρελκομένου.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Τα καρμπυρατέρ (αναμεικτήρες καυσίμου-αέρα) κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη διεύθυνση της ροής του αέρα μέσα σε αυτά. Έτσι σε ένα καρμπυρατέρ ανοδικής ροής, ο αέρας ρέει προς τα επάνω μέσα από το κύριο σώμα του αναμεικτή, σε αντίθεση με τα καρμπυρατέρ καθοδικής ροής. Στις περισσότερες περιπτώσεις αεροπορικών κινητήρων, χρησιμοποιούνται καρμπυρατέρ ανοδικής ροής. Σε κάθε περίπτωση, η κύρια αποστολή του εξαρτήματος είναι η ανάμειξη του καυσίμου με τον αέρα, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο βέλτιστος λόγος αέρα - καυσίμου. Επιπλέον, οι αναμεικτήρες παράγουν και κατανέμουν το μείγμα αέρα - καυσίμου στους κυλίνδρους, κατά το δυνατόν ισομερώς. Στην πράξη βεβαίως, εξαιτίας της διαφορετικής απόστασης του κάθε κυλίνδρου από το καρμπυρατέρ, ο όγκος και η αναλογία του μείγματος διαφέρει από κύλινδρο σε κύλινδρο.

Το Σχήμα 2.120 παρουσιάζει τον τρόπο ρύθμισης της ροής αέρα προς το καρμπυρατέρ. Αυτή γίνεται με τη δικλείδα ισχύος (throttle valve), γνωστή και ως πεταλούδα. Ο υπολογισμός της ροής του αέρα, γίνεται μέσω της μέτρησης της πτώσης πίεσης στη «στένωση venturi» της βαλβίδας. Όταν το «κλαπέτο» της βαλβίδας είναι παράλληλο με τη ροή του αέρα, επιτυγχάνεται η μέγιστη παροχή αέρα προς τον κινητήρα. Μετατόπιση του «κλαπέτου» κάθετα προς τη ροή, μειώνει την παροχή του αέρα. Σημειώνεται ότι το μέγεθος και η μορφολογία της «στένωσης

venturi» εξαρτάται από τις απαιτήσεις του κινητήρα, στον οποίο εγκαθίσταται το καρμπυρατέρ.



Σχήμα 2.120 Βαλβίδα ρύθμισης ροής αέρα-καυσίμου

Η θέση της βαλβίδας ελέγχεται (συνήθως μηχανικά) από τη μανέτα του χειριστή-ρίου. Μετατόπιση της μανέτας προς τα εμπρός, ανοίγει τη βαλβίδα και αυξάνει την παραγόμενη ισχύ.

Για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του κινητήρα σε όλο το φάσμα και συνθήκες λειτουργίας του (διαφορετικά φορτία, ταχύτητες, πυκνότητες αέρα, κλπ.), τα καρμπυρατέρ περιλαμβάνουν συνήθως τα ακόλουθα πέντε κύρια υποσυστήματα (κατ'ελάχιστον – βλέπε και σχετικό κεφάλαιο του βιβλίου «**Κινητήρες Αεροσκαφών I**»):

- Μονάδα κύριας μέτρησης (main metering): Παρέχει τη σωστή ποσότητα καυσίμου, σε όλες τις φάσεις λειτουργίας, εκτός από το ρελαντί.
- Μονάδα υποβοήθησης ρελαντί (idling): Εξασφαλίζει την παροχή στον κινητήρα του απαραίτητου καυσίμου κατά το ρελαντί.
- Έλεγχος μείγματος (mixture control): Ρυθμίζει την αναλογία μεταξύ καυσίμου και αέρα, που παροχετεύονται στον κινητήρα.
- Μονάδα επιτάχυνσης (accelerating): Εξασφαλίζει την παροχή επιπλέον καυσίμου, κατά τις επιταχύνσεις, όταν η ροή αέρα αυξάνεται πολύ γρηγορότερα από αυτή του καυσίμου.
- Μονάδα εμπλουτισμού μείγματος (power enrichment): Στα σημεία λειτουργίας υψηλής ισχύος, το μείγμα πρέπει να γίνεται πλουσιότερο (σε καύσιμο), έτσι ώστε να βελτιώνεται η ψύξη των κυλίνδρων.

Αναφέρουμε τέλος, δύο τύπους καρμπυρατέρ, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε αεροπορικούς εμβολοφόρους κινητήρες:

- Καρμπυρατέρ με πλωτήρα (float-type): Καύσιμο διατίθεται μονίμως σε ειδικό θάλαμο του καρμπυρατέρ, η ποσότητα του οποίου ρυθμίζεται με πλωτήρα.
- Καρμπυρατέρ άμεσης έγχυσης (pressure injection): Αντλία παρέχει καύσιμο υπό πίεση στο καρμπυρατέρ και από εκεί στα ακροφύσια έγχυσης.

Απαιτούμενα μέσα

Η παρούσα άσκηση παρέχει γενικές οδηγίες για την αποσυναρμολόγηση, τον καθαρισμό, την επιθεώρηση και τη συναρμολόγηση καρμπυρατέρ με πλωτήρα. Απαιτούνται τα ακόλουθα έγγραφα, μέσα και εργαλεία:

- εγχειρίδιο γενικής επισκευής από την κατασκευάστρια εταιρεία του καρμπυρατέρ,
- τυπικά (κατσαβίδια, τανάλιες, κλειδιά) και ειδικά εργαλεία, τα οποία προδιαγράφονται στο παραπάνω εγχειρίδιο,
- επαρκείς πάγκοι εργασίας,
- τα ενδεικνυόμενα από τον κατασκευαστή μέσα καθαρισμού,
- μεγεθυντικός φακός και καλός φωτισμός για την επιθεώρηση,
- γάντια χειρός,
- γυαλιά προστασίας.

Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Β. Σημειώστε επίσης, ότι το καρμπυρατέρ περιέχει πολλά μικρά εξαρτήματα και ως εκ τούτου η πιθανότητα απώλειας ή καταστροφής κάποιων από αυτά είναι μεγάλη, αν δε δοθεί η απαραίτητη προσοχή στην αφαίρεση και προσωρινή τοποθέτηση αυτών στον πάγκο εργασίας.

Πορεία εργασίας

1. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες αποσυναρμολόγησης, που παρέχονται από τον κατασκευαστή.
2. Αναγνωρίστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία, τα οποία απαιτούνται και βεβαιωθείτε ότι είναι διαθέσιμα.

3. Καθαρίστε προσεκτικά τον πάγκο εργασίας.
4. Καλύψτε τον πάγκο με λευκό απορροφητικό χαρτί.
5. Επιθεωρήστε το καρμπυρατέρ πριν από την αποσυναρμολόγηση: Εντοπίστε πιθανές διαρροές ή σημεία κακής συναρμογής (μοχλούς, άξονες κλπ.)
6. Προχωρήστε στην αποσυναρμολόγηση σύμφωνα με τις οδηγίες και με τη σειρά, που αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο της γενικής επισκευής. Αφαιρούνται αρχικά τα κύρια υποσυστήματα.
7. Αποσυναρμολογήστε κάθε κύριο υποσύστημα. Αναγνωρίστε τα εξαρτήματα κάθε υποσυστήματος. Τα εξαρτήματα κάθε υποσυστήματος πρέπει να τοποθετούνται μαζί για την αποφυγή απωλειών και πιθανών συγχύσεων κατά τη φάση της επανασυναρμολόγησης.

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

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

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

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

10. Επανασυναρμολογήστε το καρμπυρατέρ, όπως περιγράφεται στις τεχνικές οδηγίες. Χρησιμοποιήστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται.

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

Εργαστηριακή άσκηση 2.9:

Αντικατάσταση και συγχρονισμός μανιατό, επιθεώρηση καλωδίωσης ανάφλεξης

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

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

Εισαγωγικές πληροφορίες

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

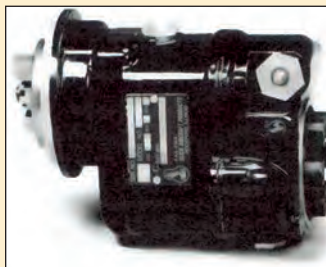
Το σύστημα ανάφλεξης περιλαμβάνει το μανιατό, το διανομέα, τα μπουζί και τις απαραίτητες καλωδιώσεις. Αξίζει να σημειωθεί, ότι εξαιτίας της κρισιμότητας του συστήματος ανάφλεξης για την ασφαλή λειτουργία του κινητήρα, είναι πάγια πρακτική (η οποία μάλιστα είναι απαίτηση και κανονισμών, όπως ο FAR Part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

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

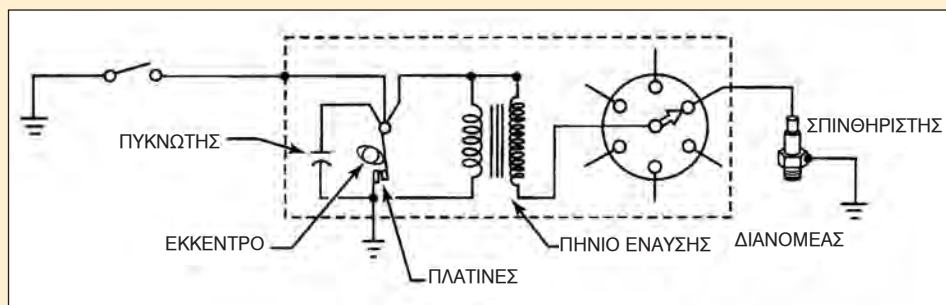
Σε έναν κινητήρα εγκαθίστανται συνήθως δύο μανιατό μονής παροχής (Σχήμα 2.121), ή ένα διπλής παροχής, το οποίο παρέχει δύο διαφορετικές τάσεις εξόδου. Τα κυκλώματα των δύο τάσεων έχουν τον ίδιο περιστρεφόμενο μαγνήτη.

Σε κάθε περίπτωση εγκατάστασης ενός μανιατό σε κινητήρα, ελέγχεται ή ρυθμίζεται υποχρεωτικά ο εσωτερικός χρονισμός του: Το κύριο γρανάζι του μανιατό θα πρέπει να τοποθετηθεί σωστά (να «χρονισθεί») σχετικά με το γρανάζι του διανομέα, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί ότι αυτός παρέχει την τάση στη σωστή επαφή και στο σωστό χρόνο. Αν και το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι κοινό για κάθε είδους μανιατό, η διαδικασία του εσωτερικού χρονισμού διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή του μανιατό (π.χ. Bendix, Slick), ενώ απαιτεί ειδικό εξοπλισμό.

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



Σχήμα 2.121 Μανιατό μονής παροχής



Σχήμα 2.122 Σύστημα ανάφλεξης υψηλής τάσης

Απαιτούμενα μέσα

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

- βιβλίο οδηγιών συντήρησης του κινητήρα (τα τμήματα τα οποία αναφέρονται στο σύστημα ανάφλεξης),
- γενικά (κατσαβίδια, τανάλιες, κλειδιά) και ειδικά εργαλεία, τα οποία προδιαγράφονται στο παραπάνω εγχειρίδιο,
- ενδείκτης χρονισμού (timing light, περιλαμβάνεται συνήθως στα ειδικά εργαλεία),
- επαρκείς πάγκοι εργασίας,
- μεγεθυντικός φακός και καλός φωτισμός για την επιθεώρηση,
- γάντια χειρός,
- γυαλιά προστασίας

Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας του Παραρτήματος Β.

Πορεία εργασίας

ΦΑΣΗ Α': Επιθεώρηση μανιατό και καλωδιώσεων

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

ΦΑΣΗ Β': Αφαίρεση μανιατό

1. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες αποσυναρμολόγησης, που παρέχονται από τον κατασκευαστή.
2. Αναγνωρίστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία, τα οποία απαιτούνται και βεβαιωθείτε ότι είναι διαθέσιμα.

3. Καθαρίστε προσεκτικά τον πάγκο εργασίας.
4. Καλύψτε τον πάγκο με λευκό απορροφητικό χαρτί.
5. Αφαιρέστε τους ακροδέκτες της καλωδίωσης από τα μπουζί (αν απαιτείται).
6. Τοποθετήστε το στροφαλοφόρο άξονα στην υποδεικνυόμενη από τις τεχνικές οδηγίες θέση ως προς το στροφαλοθάλαμο (απαιτείται σε ορισμένους κινητήρες).
7. Αφαιρέστε το κάλυμμα του διανομέα και τις συνδέσεις του διανομέα στο μανιατό (Σχήμα 2.123) και τυλίξτε τους ακροδέκτες με προστατευτικό κάλυμμα, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
8. Αφαιρέστε τους κοχλίες συγκράτησης. Αφαιρέστε το μανιατό και τον ελαστικό αντικραδασμικό σύνδεσμο (αν υπάρχει) και τοποθεήστε τα στον πάγκο εργασίας.



Σχήμα 2.123 Αποσύνδεση διανομέα

ΦΑΣΗ Γ': Έλεγχος εσωτερικού χρονισμού

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



Σχήμα 2.124 «Παράθυρο» χρονισμού

3. Περιστρέψτε τον οδηγό άξονα (drive shaft) του μανιατό μέχρι να ανάψει ο ενδείκτης χρονισμού. Στο σημείο που ανάβει ο ενδείκτης χρονισμού, επιβεβαιώστε τη συνθήκη που απαιτεί ο κατασκευαστής. Αυτή μπορεί να είναι η τοποθέτηση κάποιου πείρου ελέγχου, η ευθυγράμμιση σημαδιών που υπάρχουν στο κέλυφος και στον άξονα ή μέσα από κάποιο «παράθυρο» στο κέλυφος (Σχήμα 2.124).



Σχήμα 2.125 Προσαρμογή του μανιατό στη βάση του



Σχήμα 2.126 Ρύθμιση του αντικραδασμικού συνδέσμου

ΦΑΣΗ Δ': Τοποθέτηση μανιατό

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

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



**Σχήμα 2.127 Οδηγοί
πείροι**



**Σχήμα 2.128 Σύνδεση
ακροδεκτών διανομέα**

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



**Σχήμα 2.129 Κάλυμμα
διανομέα**



**Σχήμα 2.130
Συρματασφάλιση**

ΦΑΣΗ Ε΄: Έλεγχος χρονισμού μανιατό-κινητήρα

1. Συνδέστε ένα φωτεινό ενδείκτη χρονισμού σε κάθε μανιατό.
2. Περιστρέψτε τον κινητήρα έτσι ώστε ο υπ' αριθμόν 1 κύλινδρος να βρεθεί στη θέση ανάφλεξης.
3. Περιστρέψτε τον κινητήρα αντίθετα προς την κανονική φορά περιστροφής, μέχρις ότου σβήσει ο φωτεινός ενδείκτης.
4. Συνεχίστε να περιστρέφετε τον κινητήρα αντίθετα προς την κανονική φορά περιστροφής κατά 5 έως 10° ακόμη.
5. Περιστρέψτε τον κινητήρα κατά την κανονική φορά περιστροφής, μέχρις ότου ανάψει ο φωτεινός ενδείκτης.
6. Ελέγξτε τα σημάδια χρονισμού του κινητήρα για να βεβαιωθείτε ότι τα μανιατό λειτουργούν σωστά ως προς τον κινητήρα.

Κεφάλαιο 3:

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ - ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥΣ

Διδακτικοί Στόχοι

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

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

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

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

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

Τα τεχνικά εγχειρίδια συντήρησης εκδίδονται από τον κατασκευαστή. Στη συντήρηση στρατιωτικών κινητήρων, χρησιμοποιούνται συνήθως εγχειρίδια τα οποία ελέγχονται και εκδίδονται από τις τεχνικές υπηρεσίες των ενόπλων δυνάμεων (Η.Π.Α., Γερμανία, κλπ.).

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



Σχήμα 3.1 “Θεματικό” τεχνικό εγχειρίδιο

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

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

- Η παλαιότερη μορφή χρησιμοποιούσε μία θεματική κατηγοριοποίηση των αντικειμένων του εγχειριδίου για όλο τον κινητήρα: Εισαγωγή, περιγραφή, αρχές λειτουργίας, εντοπισμός σφαλμάτων, αποσυναρμολόγηση-συναρμολόγηση, καθαρισμός, επιθεώρηση, επισκευές, κλπ. (Σχήμα 3.1). Αυτή τη μορφή συναντήσαμε και στην επισκευή των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων.
- Η πολυπλοκότητα των σύγχρονων αεριοστροβίλων επέβαλε την εισαγωγή νέας γενιάς εγχειριδίων: Οι εργασίες παρουσιάζονται υπό μορφή «πακέτων εργασίας» (Work Packages), τα οποία αφορούν συγκεκριμένα υποσυστήματα (ή και εξαρτήματα) του κινητήρα (π.χ. εισαγωγή, ψυχρό τμήμα, θάλαμο καύσης, κλπ.) ή ακόμη και συγκεκριμένες διαδικασίες (π.χ. ξεχωριστά πακέτα εργασίας για την επιθεώρηση, την επισκευή κάθε υποσυστήματος) (Σχήμα 3.2).

Τα τελευταία χρόνια γίνεται σημαντική προσπάθεια στη μεταφορά της παραδοσιακής, έντυπης βιβλιογραφίας σε ηλεκτρονική μορφή (βλ. Παράρτημα Α - Σχήμα Α.5). Η νέα μορφή είναι ιδιαίτερα εύχρηστη και επιτρέπει την ταχεία ενσωμάτωση των διαφόρων αλλαγών και τροποποιήσεων. Απαιτεί όμως την ευρεία, καθημερινή χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, ακόμη και στις περιοχές εκτέλεσης των εργασιών συντήρησης.



Σχήμα 3.2 Τεχνικά εγχειρίδια “Πακέτων εργασιών”

3.2 ΤΥΠΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

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

Η διάκριση του τύπου της συντήρησης, η οποία πραγματοποιείται σε έναν κινητήρα, βασίζεται στο εάν ο κινητήρας βρίσκεται στο αεροσκάφος ή όχι. Έτσι, η συντήρηση γραμμής (line maintenance) πραγματοποιείται χωρίς να απομακρυνθεί ο κινητήρας από αυτό. Αντίθετα, για τις συντηρήσεις επιπέδου συνεργείου (shop maintenance) και τη γενική επισκευή (overhaul), απαιτείται η αφαίρεση του κινητήρα από το σκάφος. Οι συντηρήσεις επιπέδου συνεργείου γίνονται σε κατάλληλα εξοπλισμένο χώρο, κοντά εν γένει, στη γραμμή πτήσης. Αντίθετα, οι εργασίες γενικής επισκευής απαιτούν την αποστολή του κινητήρα σε ειδικά εξουσιοδοτημένο και κατάλληλα εξοπλισμένο επισκευαστικό κέντρο. Σε πολλές περιπτώσεις, μέρος των συντηρήσεων επιπέδου συνεργείου, πραγματοποιείται στα κέντρα γενικής επισκευής. Βασική αιτία γι' αυτό αποτελεί συνήθως η έλλειψη επαρκούς εξοπλισμού και εξειδικευμένου προσωπικού.

Οι παραπάνω τύποι συντήρησης είναι επίσης γνωστοί και ως:

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

3.2.1 Συντήρηση επιπέδου γραμμής

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

Ένας από τους βασικούς σκοπούς της επιθεώρησης γραμμής, είναι η έγκαιρη αναγνώριση δυσλειτουργιών, πριν αυτές προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές στον κινητήρα (fault isolation - troubleshooting). Τα εγχειρίδια συντήρησης γραμμής περιλαμβάνουν πίνακες (ανάλογους με αυτούς των εμβολοφόρων – Πίνακας 2.5), οι οποίοι αναφέρουν πιθανές αιτίες για δυσλειτουργίες, που ενδέχεται να προκύψουν κατά τη χρήση του κινητήρα. Οι ίδιοι πίνακες προτείνουν και διορθωτικές ενέργειες. Δεν

είναι φυσικά δυνατόν να καλυφθούν όλα τα πιθανά προβλήματα σε αυτούς τους πίνακες. Αποτελούν όμως ένα σημαντικό βοήθημα, το οποίο αν συνδυασθεί με καλή γνώση του κινητήρα και των συστημάτων του και την εμπειρία του τεχνικού μπορεί να οδηγήσει γρήγορα στον εντοπισμό και την αποκατάσταση της δυσλειτουργίας.

Οι σύγχρονοι κινητήρες παρέχουν συνήθως αυτόματα, ενδείξεις σφαλμάτων. Αυτό γίνεται με τη χρήση αισθητήρων, μετατροπέων και καταγραφικών. Η επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται από υπολογιστή, ο οποίος παρέχει συνήθως και κάποια διάγνωση.

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

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

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

Η μεταβολή της επίδοσης του κινητήρα με την πάροδο του χρόνου, ή τυχόν αλλαγές στο σύστημα καυσίμου, επιβάλλουν σε πολλές περιπτώσεις την επαναρρύθμιση της μονάδας ελέγχου της ροής του καυσίμου (fuel control unit), έτσι ώστε

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

ο κινητήρας να αποδίδει τη μέγιστη ισχύ. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στα εγχειρίδια συντήρησης και συνήθως απαιτεί τη λήψη μετρήσεων διαφόρων παραμέτρων όπως η πίεση εξόδου του στροβίλου, η ταχύτητα περιστροφής των αξόνων του κινητήρα κ.ά. Απαιτείται επίσης αναγωγή των μετρήσεων στις συνθήκες αναφοράς (standard sea-level conditions). Η ρύθμιση γίνεται μετά από έλεγχο της λειτουργίας του κινητήρα, με τη ρύθμιση κάποιου κοχλία στη μονάδα καυσίμου.



Σχήμα 3.3 Εξοπλισμός καθαρισμού κινητήρα



Σχήμα 3.4 Συσκευή Jetcal Analyzer

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

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

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

3.2.2 Συντήρηση επιπέδου συνεργείου

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

3.2.3 Συντήρηση εργοστασιακού επιπέδου

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

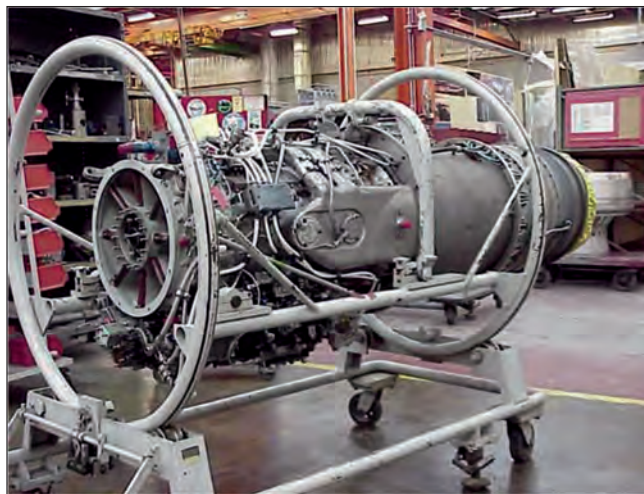
- **Ολοκλήρωση του χρόνου λειτουργίας μεταξύ γενικών επισκευών (Time Between Overhaul - TBO):** Αντίθετα με ότι συμβαίνει στους εμβολοφόρους κινητήρες, σε πολλούς στροβιλοκινητήρες ο κατασκευαστής δεν καθορίζει για όλο τον κινητήρα, αλλά παρέχει διαφορετικούς χρόνους για κάθε **υποσυγκρότημα (module)** του κινητήρα. Έτσι το θερμό τμήμα έχει διαφορετικούς χρόνους γενικής επισκευής από το συγκρότημα των παρελκομένων (Accessory drive GearBox - AGB). Σε αυτή την περίπτωση, ο χρήστης μπορεί να συνεχίσει την εκμετάλλευση του κινητήρα, αντικαθιστώντας μόνο το υποσυγκρότημα που έχει προσεγγίσει τον χρόνο γενικής επισκευής. Ορισμένοι σύγχρονοι κινητήρες, δεν έχουν προδιαγεγραμμένο χρόνο γενικής επισκευής. Αυτή εκτελείται μόνο στην περίπτωση ιδιαιτέρων ευρημάτων κατά τις προδιαγεγραμμένες επιθεωρήσεις. Αυτή η πολιτική συντήρησης είναι γνωστή και ως **On-Condition**.
- **Ζημιά από εξωτερικό αντικείμενο (Foreign Object Damage -FOD):** Οι ζημιές που προκαλούνται από την αναρρόφηση στερεών αντικειμένων στον κινητήρα ποικίλουν σημαντικά. Μόνο η επιθεώρηση του κινητήρα μπορεί να δείξει το μέγεθος και την έκταση της ζημιάς. Σε πολλές περιπτώσεις ή αποκατάσταση της ζημιάς μπορεί να γίνει επί του αεροσκάφους (π.χ. όταν αυτή είναι μικρή και περιορίζεται στις πρώτες βαθμίδες των συμπιεστών). Σε περιπτώσεις εκτεταμένων ζημιών απαιτείται η αφαίρεση και αποστολή του κινητήρα στο εργοστάσιο γενικής επισκευής.
- **Θερμή εκκίνηση:** Κατά τη διάρκεια θερμής εκκίνησης, είναι πιθανόν οι αυξημένες θερμοκρασίες των καυσαερίων να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές στο θερμό τμήμα του κινητήρα, γεγονός το οποίο μπορεί να αποτελέσει αιτία εκτεταμένης αποσυναρμολόγησης του κινητήρα (ή τουλάχιστον του θερμού τμήματος), η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στο κέντρο γενικής επισκευής.

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

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

3.3 ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ-ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ, ΡΥΘΜΙΣΗ, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Η αποσυναρμολόγηση των αεριοστροβίλων μπορεί να γίνει σε οριζόντια ή σε κατακόρυφη κλίνη. Η οριζόντια κλίνη χρησιμοποιείται συνήθως για μικρότερους κινητήρες (Σχήμα 3.5). Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι πιθανόν η κλίνη να φέρει τροχούς, οι οποίοι επιτρέπουν τη μετακίνησή της, ενώ και ο κινητήρας μπορεί να περιστρέφεται (rollover) για ευκολότερη πρόσβαση στα διάφορα εξαρτήματά του. Μεγαλύτεροι κινητήρες τοποθετούνται σε κατακόρυφες σταθερές κλίνες, με το ψυχρό τμήμα προς τα κάτω (Σχήμα 3.6). Η πρόσβαση σε όλα τα σημεία του κινητήρα επιτυγχάνεται με σκαλωσιές. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις, όπου η κατακόρυφη κλίνη είναι τοποθετημένη σε ανελκυστήρα. Ο κινητήρας αποσυναρμολογείται στα κύρια υποσυγκροτήματά του, τα οποία τοποθετούνται σε ειδικές κλίνες, πριν την περαιτέρω αποσυναρμολόγησή τους (εάν απαιτείται). Για την ανύψωση των υποσυγκροτημάτων χρησιμοποιείται κατά κανόνα γερανός.



Σχήμα 3.5 Κινητήρας T56 στην κλίνη αποσυναρμολόγησης

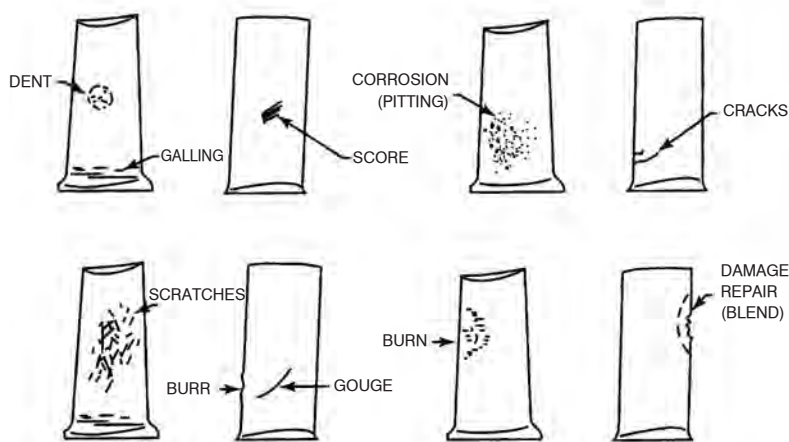
3.3.1 Συντήρηση και επισκευές ψυχρού τμήματος

Οι πρώτες βαθμίδες του συμπιεστή είναι ιδιαίτερα ευπαθείς σε ζημιές, οι οποίες μπορούν να προκληθούν από την αναρρόφηση αντικειμένων (FOD) αλλά και άμμου, ή άλλων μικρών σωματιδίων (erosion). Τα συνήθη ευρήματα είναι ρωγμές και διαφόρων ειδών αμυχές (nicks, dents, κλπ.) (Σχήμα 3.7). Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ζημιές μπορούν να επισκευασθούν με αφαίρεση υλικού και εν συνεχεία κατεργασία της περιοχής, έτσι ώστε να αποκτήσει λεία μορφή. Η διαδικασία της

αφαίρεσης υλικού (**blending**) πρέπει να γίνεται με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή (Σχήμα 3.8). Εκτελείται συνήθως σε εφαρμοστήριο, με τη χρήση ειδικών «πετρών» για την αφαίρεση του υλικού και ψηλού γυαλόχαρτου για την ανάκτηση του φινιρίσματος της επιφάνειας. Δεν πρέπει εν γένει να χρησιμοποιούνται ηλεκτροκίνητα εργαλεία, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν αυξημένη συγκέντρωση τάσεων ή και οδηγήσουν σε φθορές σε γειτονικές περιοχές. Η επισκευή ολοκληρώνεται με την επιθεώρηση της κατεργασμένης περιοχής, με κάποια μέθοδο μη καταστροφικού ελέγχου (συνήθως MPI ή FPI), έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η απουσία ρωγμών.



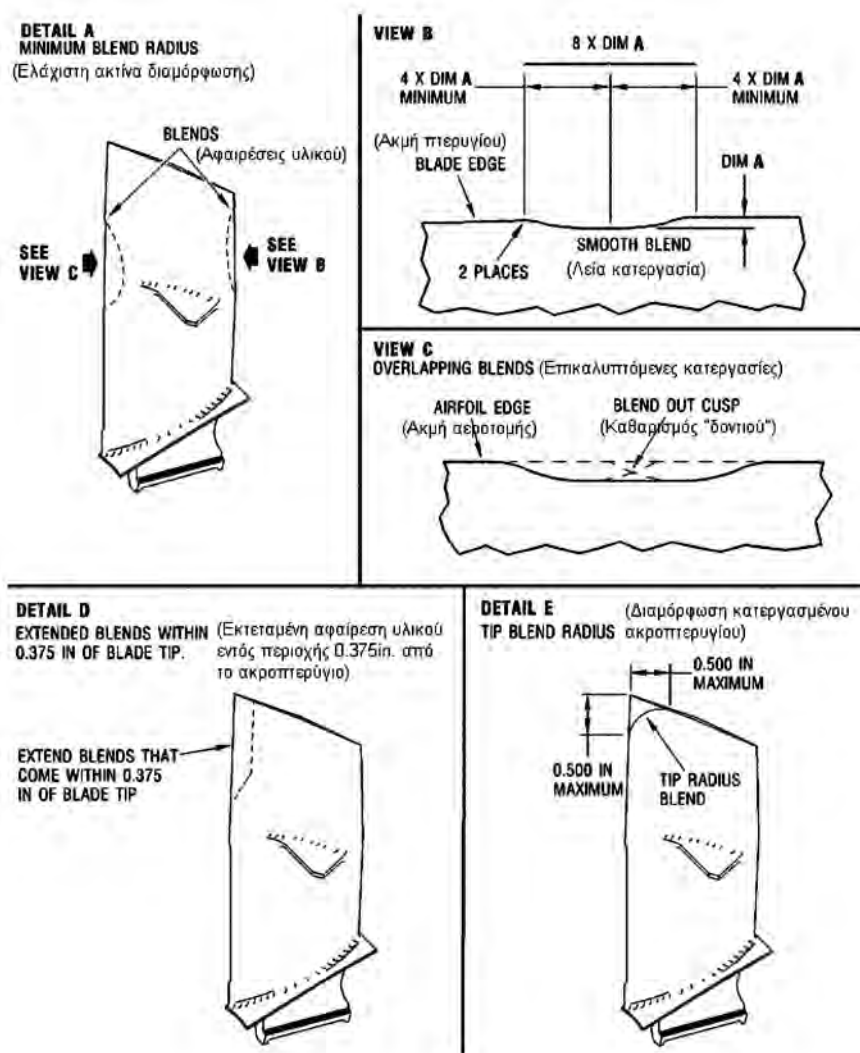
Σχήμα 3.6 Κινητήρας J79 στην κλίνη αποσυναρμολόγησης



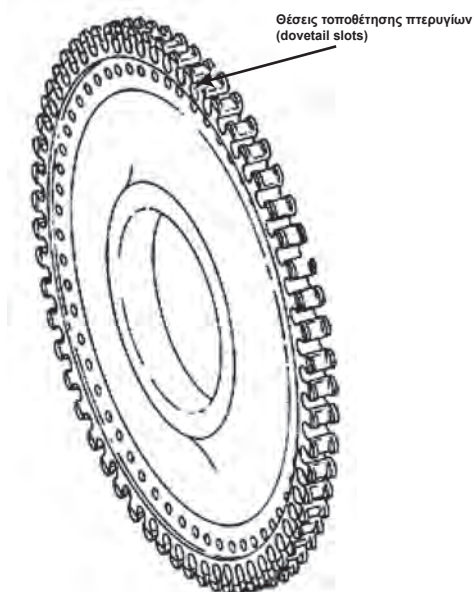
Σχήμα 3.7 Συνήθη ευρήματα σε πτερύγια συμπίεστή
(Ο Πίνακας 2.4 περιέχει τον ορισμό των όρων)

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

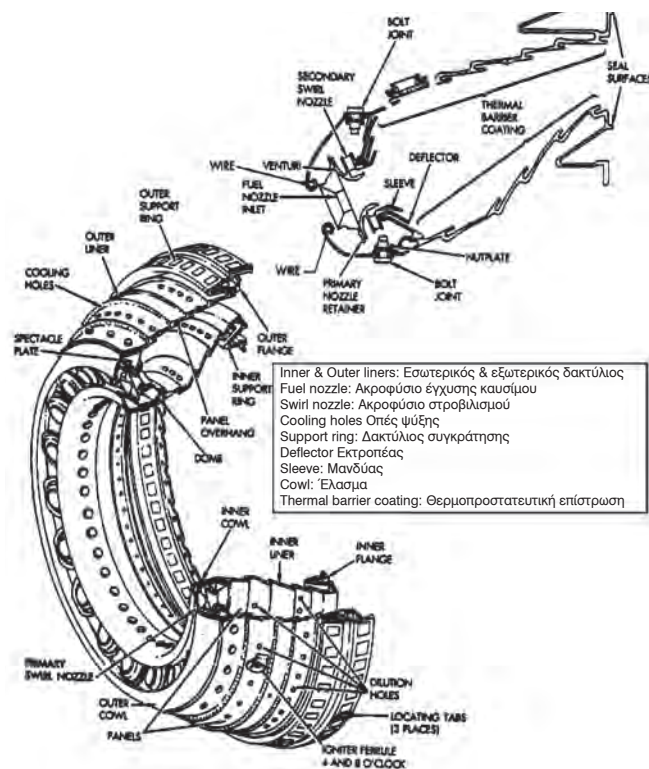
Εκτός από τα πτερύγια, πιθανές φθορές είναι πιθανόν να παρουσιασθούν και στους δίσκους των συμπιεστών. Αν και η επιθεώρηση των δίσκων ελέγχει όλη την επιφάνειά τους, είναι σύνηθες να εμφανίζονται προβλήματα στις περιοχές τοποθέτησης των πτερυγίων (τις ονομαζόμενες «περιστεροουρές» – dovetail slots) (Σχήμα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



Σχήμα 3.8 Οδηγίες αφαίρεσης υλικού σε πτερύγια ανεμιστήρα



Σχήμα 3.9 Δίσκος συμπιεστή από turbofan χαμηλού λόγου παράκαμψης

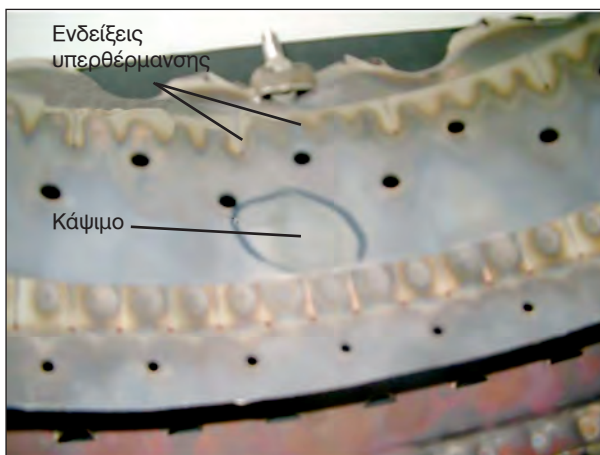


Σχήμα 3.10 Περιοχές επιθεώρησης θαλάμου καύσης

3.3.2 Συντήρηση και επισκευές θερμού τμήματος

3.3.2.1 Θάλαμος καύσης

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



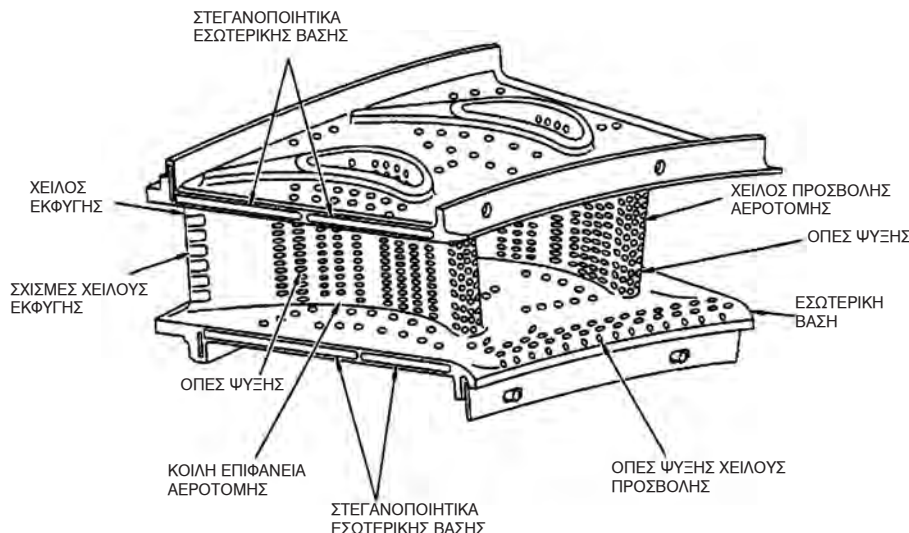
Σχήμα 3.11 Συνήθη ευρήματα στον εσωτερικό δακτύλιο (inner liner) θαλάμου καύσης

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

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

3.3.2.2 Τμήμα στροβίλων

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



Σχήμα 3.12 Περιοχές επιθεώρησης σταθερού πτερυγίου 1ης βαθμίδας στροβίλου

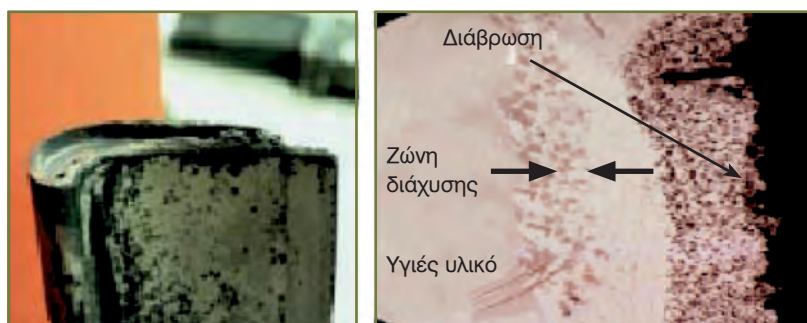
Τα πτερύγια των σταθερών βαθμίδων λειτουργούν κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες ιδιαίτερα βέβαια η πρώτη βαθμίδα, η οποία βρίσκεται αμέσως μετά τον θάλαμο καύσης. Για την προφύλαξη των βαθμίδων, χρησιμοποιούνται θερμοπροστατευτικές επιστρώσεις (Thermal Barrier Coatings).

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

Η επιθεώρηση των δίσκων των στροβίλων είναι ιδιαίτερα απαιτητική, εξαιτίας των μεγάλων τάσεων που αυτοί υφίστανται λόγω της περιστροφής τους¹. Ένδειξη ρωγμής αποτελεί αιτία απόρριψης του δίσκου. Σημειώνεται, ότι ειδικά στην πε-

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

ρίπτωση στρατιωτικών στροβιλοκινητήρων έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια ειδικές αυτοματοποιημένες επιθεωρήσεις με δινореύματα, για την ανίχνευση ρωγμών πολύ μικρού μεγέθους.



Σχήμα 3.13 Διαβρωμένο άκρο πτερυγίου και μικροσκοπική ανάλυση

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

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

3.3.3 Συντήρηση τριβών και διατάξεων στεγανοποίησης

Η συντήρηση των τριβών είναι από τις πλέον απαιτητικές σε ένα κέντρο γενικής επισκευής, όσον αφορά τις συνθήκες καθαρισμού και επιθεώρησης. Αυτό είναι απαραίτητο έτσι ώστε να προλαμβάνεται η εμφάνιση επιφανειακής διάβρωσης μετά την αφαίρεση του τριβέα από τον κινητήρα. Εξαιτίας των υψηλών απαιτήσε-

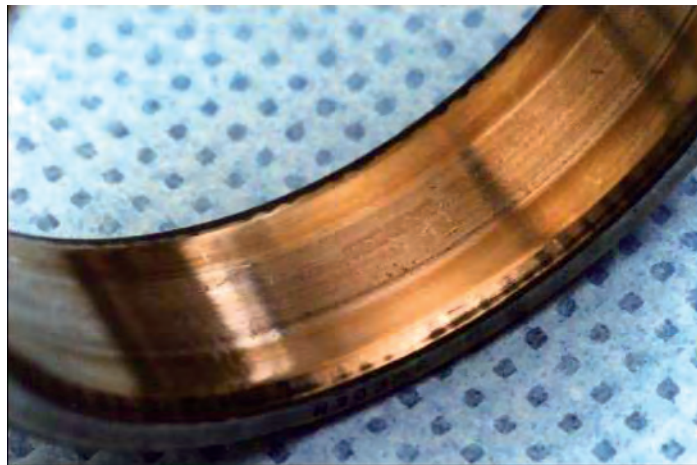
¹ Ο χρόνος μεταξύ γενικών επισκευών καθορίζεται συνήθως από τις απαιτήσεις επιθεώρησης των περιστρεφόμενων μερών του κινητήρα.

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

ων των κατασκευαστών, κατά την επιθεώρηση, ακόμη και στοιχειώδεις ενδείξεις διάβρωσης οδηγούν κατά κανόνα σε απόρριψη του τριβέα. Έτσι ο καθαρισμός, αλλά και η επιθεώρηση γίνεται σε ειδικούς, «στενά» ελεγχόμενους χώρους, όσον αφορά την καθαρότητα του αέρα.

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

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

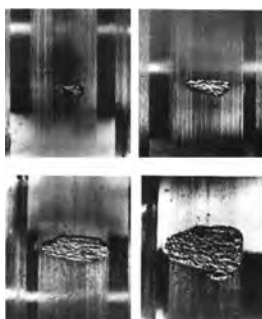


Σχήμα 3.14 Ο εξωτερικός δρομέας ενός σφαιρικού κυλινδροτριβέα με εμφανή ίχνη φθοράς από ξένα σωματίδια

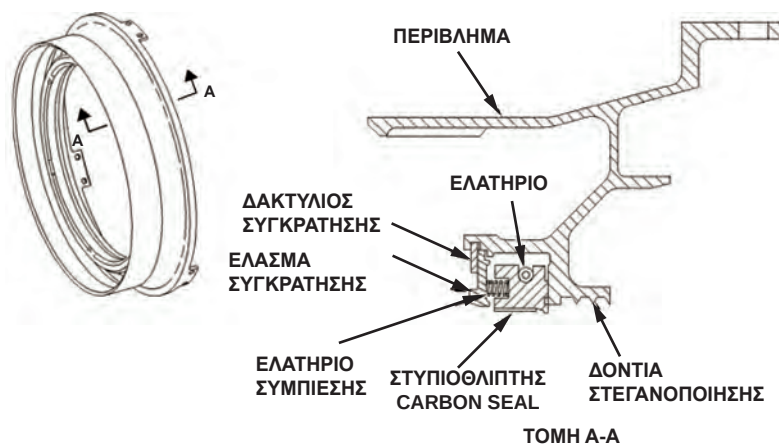
Ίχνη φθοράς (wear) μπορούν να προκληθούν από την τριβή με μικρά σωματίδια, τα οποία έχουν εισέλθει στο σύστημα της λίπανσης, πιθανότατα λόγω κακής λειτουργίας του συστήματος στεγανοποίησης (Σχήμα 3.14). Κραδασμοί του κινητήρα ή ανεπαρκής λίπανση μπορούν επίσης να αποτελούν αιτία πρόκλησης φθοράς.

Ένα ιδιαίτερος επικίνδυνος εύρημα κατά την επιθεώρηση των τριβέων είναι ενδείξεις αποφλοίωσης (flaking ή spalling, Σχήμα 3.15). Υπερβολική φόρτιση των τριβέων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία μικρών ρωγματώσεων. Αυτές, είναι δυνατόν κατά τη λειτουργία του τριβέα να συγκλίνουν, προκαλώντας την αποκόλληση υλικού από το δρομέα. Η αποφλοίωση είναι πολύ επικίνδυνη και μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες. Ενδείξεις αποφλοίωσης έχουν πάντα ως αποτέλεσμα την απόρριψη του τριβέα.

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



Σχήμα 3.15 Διαδοχικά στάδια αποφλοίωσης



Σχήμα 3.16 Διάταξη στεγανοποίησης τριβέα αεριοστροβίλου

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

3.3.4 Διαδικασίες μη καταστροφικού ελέγχου

Οι διαδικασίες μη καταστροφικού ελέγχου που χρησιμοποιούνται στους αεριο-στρόβιλους, περιλαμβάνουν:

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

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

3.3.5 Διαδικασίες ζυγοστάθμισης συμπιεστού και στροβίλου

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

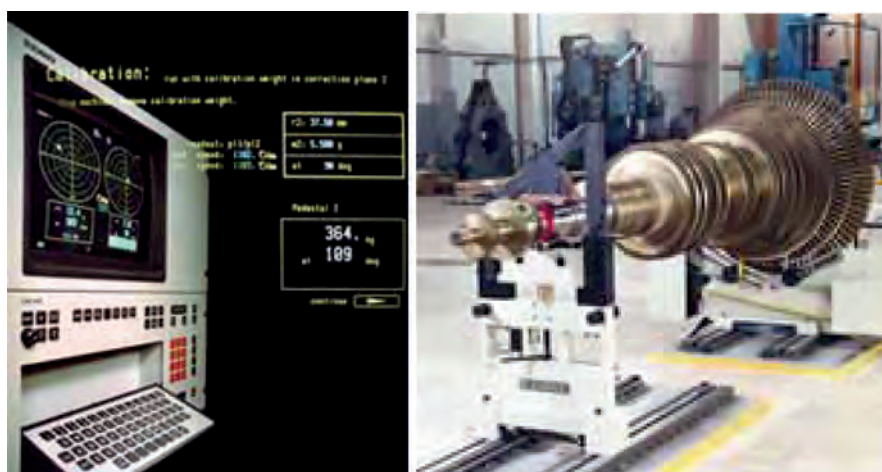
Η ανώτατη επιτρεπτή ταχύτητα περιστροφής ενός κινητήρα είναι συνήθως μικρότερη από την ελάχιστη τιμή του ίδιου μεγέθους, όπου το στροφείο αρχίζει να ταλαντώνεται. Αυτό βεβαίως προϋποθέτει την καλή εκτέλεση των επισκευών και φυσικά της διαδικασίας ζυγοστάθμισης. Αν δε συμβεί αυτό, το στροφείο μπορεί να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

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

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

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

Η τελική φάση της ζυγοστάθμισης περιλαμβάνει την προσθήκη (ή και αφαίρεση) βάρους στα σημεία και επίπεδα διόρθωσης, που υποδεικνύουν οι μηχανές ζυγοστάθμισης. Είναι όμως απαραίτητο να έχει προγενέστερα μειωθεί στο ελάχιστο η αζυγοσταθμία του στροφέιου, μέσω της κατάλληλης τοποθέτησης των πτερυγίων (ανάλογα με το βάρος τους). Έτσι όταν απαιτείται αλλαγή πτερυγίων, ελέγχεται το βάρος κάθε πτερυγίου που αντικαθίσταται και τοποθετείται στη θέση του άλλο, αντίστοιχων ιδιοτήτων.

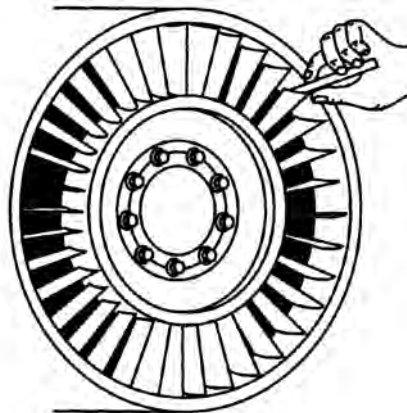


Σχήμα 3.17 Οριζόντια μηχανή δυναμικής ζυγοστάθμισης και οθόνη ελέγχου

3.3.6 Έλεγχοι διακένων και ανοχών

Ο διαστατικός έλεγχος κατά τη συντήρηση στροβιλοκινητήρων παρουσιάζει αυξημένες απαιτήσεις ακρίβειας: οι ανοχές των μετρούμενων διαστάσεων είναι πολύ μικρές (της τάξης σε πολλές περιπτώσεις ορισμένων **μικρών (microns – μm)** του μέτρου¹⁾). Για το λόγο αυτό, τα όργανα μέτρησης θα πρέπει να διακρίβώνονται αρκετά συχνά, από ειδικά διαπιστευμένα εργαστήρια ή επιθεωρητές.

¹1 μm =10⁻⁶m



Σχήμα 3.18 Έλεγχος διακένου μεταξύ πτερυγίου και περιβλήματος

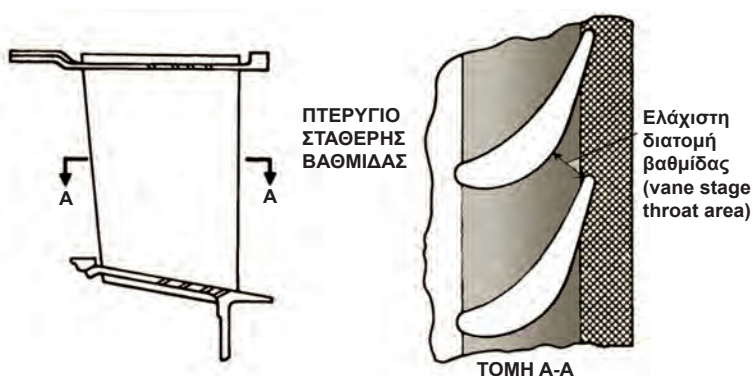
Το διάκενο μεταξύ των πτερυγίων του συμπιεστή, ή του στροβίλου (tip clearance) και του περιβλήματος είναι αποφασιστικός παράγοντας για την καλή λειτουργία (αυξημένης απόδοσης) του κινητήρα. Η ελάχιστη τιμή του διακένου καθορίζεται από την ανάγκη για την αποφυγή επαφής μεταξύ των περιστρεφόμενων πτερυγίων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

Η διαστατική επιθεώρηση περιλαμβάνει ακόμη μετρήσεις όπως:

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

Αξίζει τέλος να αναφερθεί ένας ιδιαίτερος διαστατικός έλεγχος, ο οποίος έχει ιδιαίτερη σημασία για την επίδοση του κινητήρα. Πρόκειται για την μέτρηση της επιφάνειας ροής του αέρα στις σταθερές βαθμίδες (κυρίως την πρώτη) του στροβίλου (1st stg. vane throat area - Σχήμα 3.19). Η ακριβής μέτρηση αυτού του μεγέθους, επιτρέπει την καλή ρύθμισή του, στις τιμές που απαιτεί ο κατασκευαστής, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η βέλτιστη απόδοση του κινητήρα κατά τη λειτουργία του. Η ρύθμιση μπορεί να γίνει είτε με διαμόρφωση της απόστασης μεταξύ των πτερυγίων (εάν πρόκειται για ενιαία βαθμίδα), είτε με την κατάλληλη επιλογή των πτερυγίων (vane segments - εάν πρόκειται για συναρμολογούμενη βαθμίδα). Η μέ-

τρηση γίνεται συνήθως με ειδικά εργαλεία, που προδιαγράφει ο κατασκευαστής. Με τον τρόπο αυτό μετριέται η γεωμετρική επιφάνεια της ροής (Geometric Flow Area - GFA). Η μέτρηση αυτή εμπεριέχει σχετική αβεβαιότητα, εξαιτίας της χρήσης εργαλείων και του ανθρώπινου παράγοντα. Πιο ακριβείς μετρήσεις γίνονται σε ειδικά δοκιμαστήρια, όπου ανεμιστήρας παρέχει ροή αέρα μέσα από τη βαθμίδα (Σχήμα 3.20). Η μέτρηση παρέχει την πραγματική επιφάνεια ροής (Effective Flow Area - EFA).



Σχήμα 3.19 Ελάχιστη διατομή βαθμίδας σταθερών πτερυγίων



Σχήμα 3.20 Δοκιμαστήριο μέτρησης της επιφάνειας «σταθερών» βαθμίδων

3.4 ΛΙΠΑΝΣΗ –ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

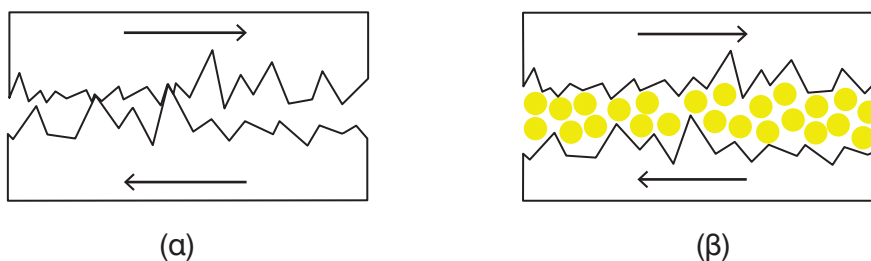
3.4.1 Γενικά

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

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

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

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



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

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

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

3.4.2 Φυσικές ιδιότητες και τεχνικά χαρακτηριστικά των λιπαντικών

Τα λιπαντικά χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες σύμφωνα με τις οποίες διαχωρίζονται και κατηγοριοποιούνται για συγκεκριμένες εφαρμογές και για την απόδοσή τους σε δεδομένες συνθήκες λειτουργίας. Οι φυσικές ιδιότητες των λιπαντικών παρουσιάστηκαν αναλυτικά σε σχετικό κεφάλαιο του βιβλίου «**Κινητήρες Αεροσκαφών Ι**». Τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται σε αεριοστρόβιλους κινητήρες θα πρέπει να επίσης να ικανοποιούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ποιότητας και απόδοσης, τα οποία εξασφαλίζονται με κατάλληλες δοκιμές τους.

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

3.4.3 Προδιαγραφές λιπαντικών αεριοστροβίλων κινητήρων

Τα λιπαντικά θα πρέπει να διατηρούν τις παραπάνω ιδιότητες σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος συνθηκών. Για παράδειγμα, ένα λιπαντικό θα πρέπει να έχει την απαιτούμενη απόδοση σε θερμοκρασίες λειτουργίας από -50°C έως 200°C , έτσι ώστε στις χαμηλές θερμοκρασίες να ρέει ικανοποιητικά στο σύστημα λίπανσης κατά την εκκίνηση του κινητήρα, ενώ στις μεγάλες θερμοκρασίες λειτουργίας, δε θα πρέπει να γίνεται πολύ λεπτόρρευστο μειώνοντας τη λιπαντική του δυνατότητα και να δημιουργεί ενανθρακώματα.

3.4.4 Περιγραφή τυπικού συστήματος λίπανσης αεριοστροβίλου κινητήρα

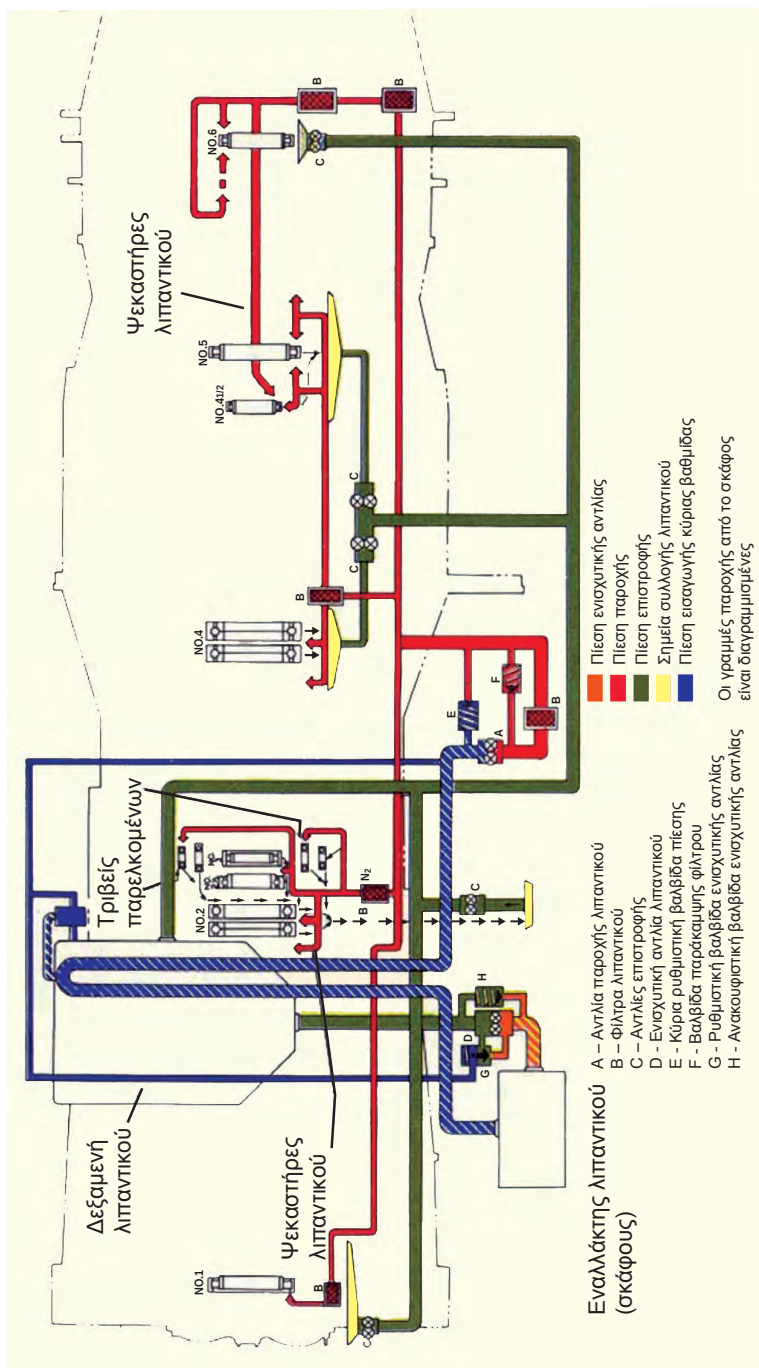
3.4.4.1 Παρελκόμενα συστημάτων λίπανσης

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

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

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

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

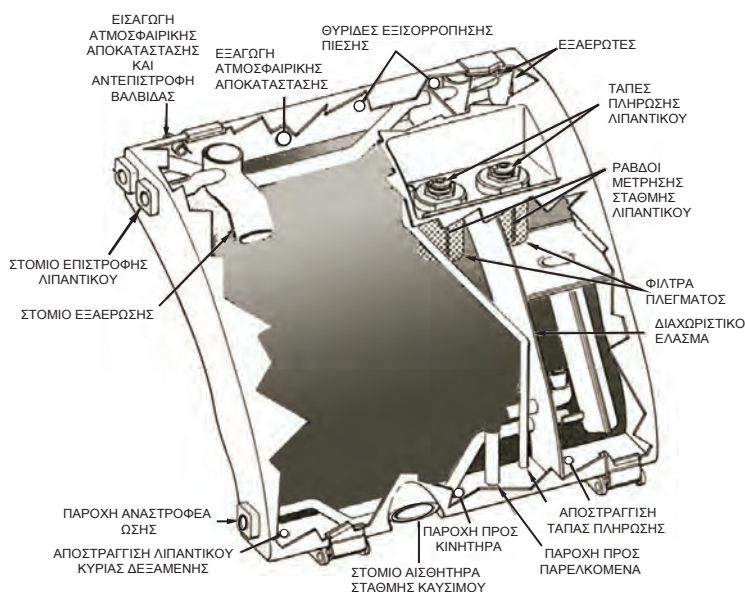


Σχήμα 3.22 Σχηματική παράσταση ενός τυπικού συστήματος λίπανσης αεριοστρόβιλου κινητήρα

3.4.4.2 Δεξαμενή λιπαντικού

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

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



Σχήμα 3.23 Δεξαμενή λιπαντικού αεριοστρόβιλου κινητήρα

Μια τυπική δεξαμενή λιπαντικού που χρησιμοποιείται σε αεριοστρόβιλο κινητήρα, (Σχήμα 3.23) διαθέτει στόμιο **πλήρωσης**, **αποστράγγισης** καθώς και **έξοδο** του λιπαντικού προς το σύστημα λίπανσης. Το στόμιο πλήρωσης βρίσκεται σε σημείο χαμηλότερο από το ανώτατο σημείο της δεξαμενής διαθέτοντας ελεύθερο χώρο για τη διαστολή του λιπαντικού, όταν αυτό θερμαίνεται και για τον παραγόμενο αφρό. Η πίεση στη δεξαμενή ελέγχεται χρησιμοποιώντας **ανακουφιστική βαλβίδα**. Η πίεση αυξάνεται μέχρι το σημείο που ανοίγει η βαλβίδα για να τη διατηρήσει

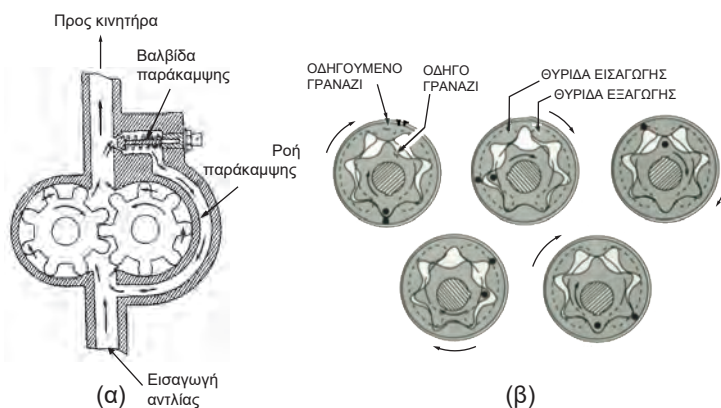
¹Για τα περισσότερα συστήματα λίπανσης.

σταθερή μέσα στη δεξαμενή. Διαθέτει επίσης **διαχωριστικά ελάσματα** τα οποία εμποδίζουν την ταλάντευση του λιπαντικού μέσα στη δεξαμενή κατά τη διάρκεια της πτήσης, αποφεύγοντας έτσι τον σχηματισμό αφρού.

3.4.4.3 Αντλία παροχής

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

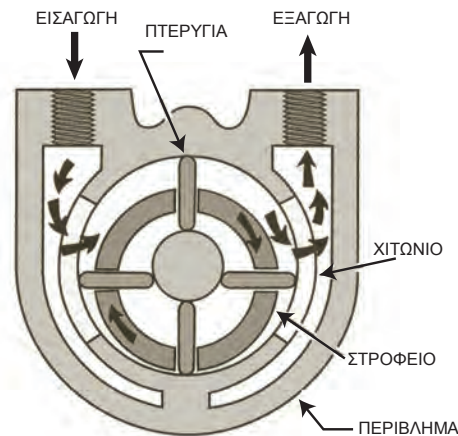
Η **γρاناζωτή αντλία**, Σχήμα 3.24 (α) λειτουργεί με τη βοήθεια δύο γρاناζιών τα οποία είναι σε εμπλοκή μεταξύ τους, ενώ το ένα οδηγεί το άλλο παίρνοντας κίνηση από το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης του κινητήρα. Το λιπαντικό διοχετεύεται από τη **θυρίδα εισαγωγής** της αντλίας προς τη **θύρα εξαγωγής** της,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



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

Η **αντλία τύπου gerotor**, (Σχήμα 3.24 β) χρησιμοποιεί έναν τύπο γρاناζιού το οποίο περιστρέφεται μέσα σε ένα μεταλλικό δακτύλιο με εσωτερική οδόντωση η οποία διαθέτει μια επιπλέον οδοντωτή εσοχή από την αντίστοιχη του γρاناζιού.

Η εσοχή αυτή παρέχει τον απαραίτητο όγκο στον οποίο εγκλωβίζεται το λιπαντικό και «οδηγείται» με αυτό τον τρόπο από το θάλαμο εισαγωγής της αντλίας στο θάλαμο εξαγωγής. Το γρανάτζι παίρνει κίνηση από τον άξονα και οδηγεί το δακτύλιο με την εσωτερική οδόντωση ο οποίος είναι τοποθετημένος έκκεντρα για να είναι σε εμπλοκή με το γρανάτζι αφού αυτό έχει μικρότερη διάμετρο. Η εισαγωγή και η εξαγωγή του λιπαντικού γίνεται από οπές που βρίσκονται στο δακτύλιο της αντλίας.



Σχήμα 3.25 Αντλία λιπαντικού αξονικού στροφείου

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

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

3.4.4.4 Αντλία επιστροφής

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

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

3.4.4.5 Φίλτρο ελαίου

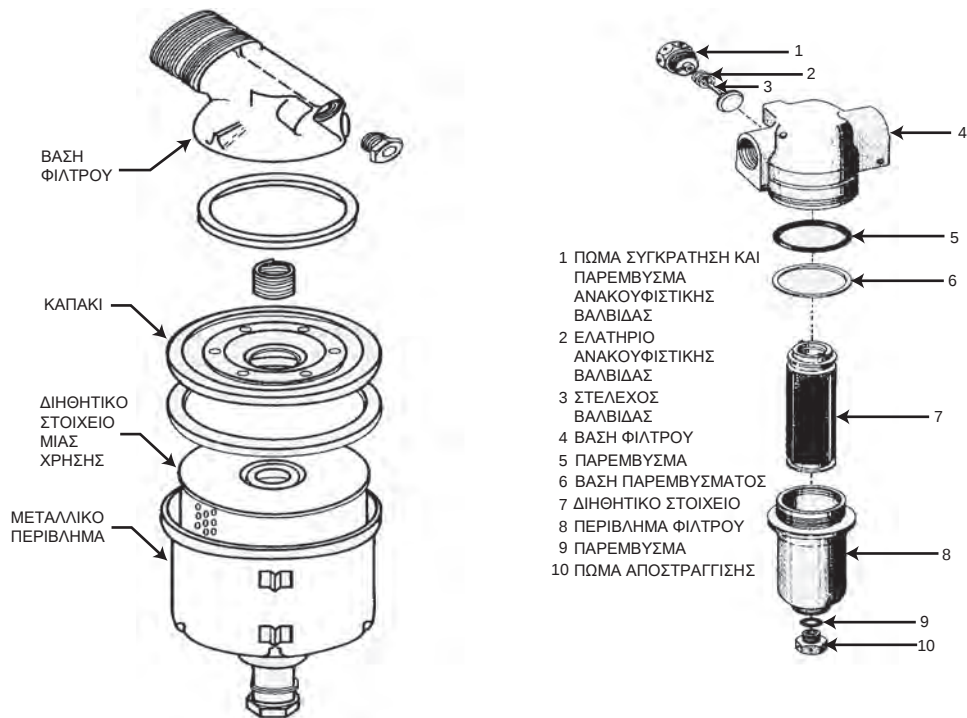
Το φίλτρο ελαίου (**oil filter**) είναι απαραίτητο σε ένα σύστημα λίπανσης για την αφαίρεση από το λάδι ρινισμάτων μετάλλου που προέρχονται από φθορές στα κινούμενα μέρη του κινητήρα, υπολειμμάτων καμένου λιπαντικού με τη μορφή ενανθρακώσεων και ιζήματος που σχηματίζεται από αλλοιωμένο λιπαντικό. Τα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

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

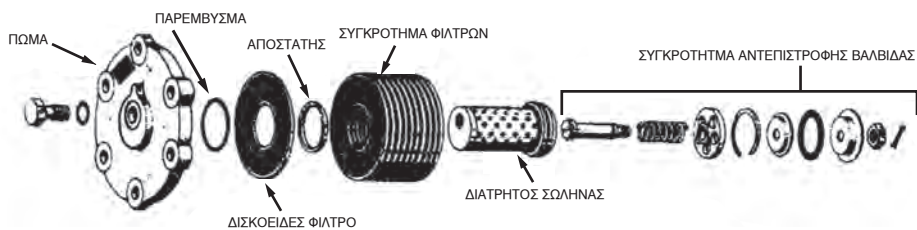
- **Διθητικού στοιχείου** μιας χρήσης (**disposable cartridge filter**, Σχήμα 3.26α)
- **Κυλινδρικού μεταλλικού πλέγματος** (**screen type filter**, Σχήμα 3.26β)
- Με **επίπεδα δισκοειδή πλέγματα** (**disk type filter**, Σχήμα 3.27)

Στο φίλτρο μιας χρήσης πρέπει περιοδικά να αντικαθιστούμε το ανταλλακτικό, ενώ στους άλλους δύο τύπους, τα φίλτρα μπορούν να καθαριστούν κατά τη διάρκεια της προγραμματισμένης επιθεώρησης και να επαναχρησιμοποιηθούν. Όλα τα είδη φίλτρων έχουν ενσωματωμένη μια ανακουφιστική βαλβίδα παράκαμψης

ελαίου. Σε ενδεχόμενη απόφραξη του φίλτρου, επιτρέπεται η είσοδος στο κύκλωμα μη φιλτραρισμένου λιπαντικού, αφού αυτό είναι ασφαλέστερο από την πλήρη έλλειψή του.



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

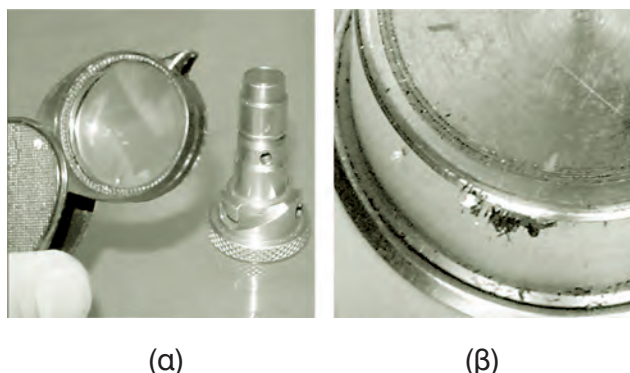


Σχήμα 3.27 Φίλτρο λιπαντικού δισκοειδών πλεγμάτων

3.4.4.6 Μαγνητικός ανιχνευτής ρινισμάτων

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

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



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

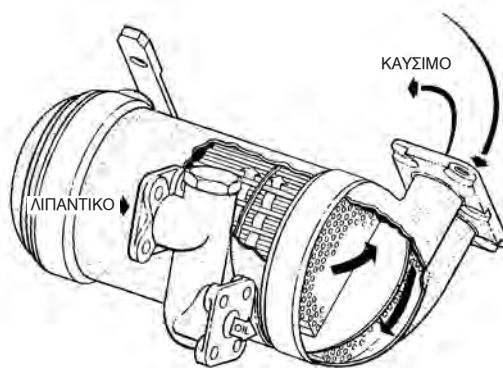
Ο **ηλεκτρικός μαγνητικός ανιχνευτής** λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και ο μηχανικός, διαθέτει δηλαδή μαγνητισμένο άκρο στο οποίο προσκολλούνται τα ρινίσματα, ή μεταλλικά σωματίδια που περνούν από το σημείο που είναι τοποθετημένος. Η διαφορά έγκειται στο ότι παρέχει τη δυνατότητα ειδοποίησης στο πιλοτήριο όταν προσκολληθεί σε αυτόν μεταλλικό σωματίδιο **από κάποιο μέγεθος και πάνω**. Οι ανιχνευτές αυτού του τύπου στηρίζουν τη λειτουργία τους στο γεγονός ότι τα ρινίσματα είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Όταν κάποιο ρίνισμα ή μεταλλικό αντικείμενο, από κάποιο μέγεθος και πάνω προσκολληθεί στο άκρο του ανιχνευτή αυτό βραχυκυκλώνει τις επαφές που διαθέτει, στέλνοντας με αυτό τον τρόπο σήμα στο πιλοτήριο. Οι ανιχνευτές τοποθετούνται στις γραμμές επιστροφής λαδιού, στη δεξαμενή λαδιού, και στα κιβώτια μετάδοσης κίνησης, (ισχύος).

3.4.4.7 Εναλλάκτες λιπαντικού

Οι εναλλάκτες λιπαντικού (**oil coolers**) χρησιμοποιούνται για την **ψύξη του ελαίου λίπανσης** του κινητήρα και έμμεσα, την ψύξη κυρίως των τριβέων του, αλλά και

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

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



Σχήμα 3.29 Εναλλάκτης ελαίου-καυσίμου αεριοστρόβιλου κινητήρα

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

3.4.5 Τύποι συστημάτων λίπανσης αεριοστρόβιλων κινητήρων

Οι τύποι των συστημάτων λίπανσης αεριοστρόβιλων κινητήρων διαφέρουν ανάλογα με τη φιλοσοφία σχεδίασης και την εφαρμογή του κινητήρα. Γενικά τα συστήματα λίπανσης διακρίνονται σε **κλειστού τύπου** συστήματα στα οποία το λιπαντικό επιστρέφει στη δεξαμενή αφού ολοκληρώσει τον κύκλο λίπανσης και επαναχρη-

σιμοποιείται, και **ανοικτού τύπου** όπου το λιπαντικό δεν επιστρέφει στη δεξαμενή αλλά απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα. Τα δύο πρώτα συστήματα που περιγράφονται παρακάτω είναι κλειστού τύπου, ενώ το τρίτο είναι σύστημα ανοικτού τύπου.

3.4.5.1 Σύστημα με ανακουφιστική βαλβίδα πίεσης κυστίδας τριβέα.

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

3.4.5.2 Σύστημα συνεχούς ροής.

Το σύστημα που είδαμε παραπάνω λειτουργεί ικανοποιητικά σε κινητήρες που λειτουργούν με χαμηλή πίεση κυστίδας. Σε κινητήρες που αναπτύσσουν υψηλές πιέσεις κυστίδας δεν μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά για τους λόγους που είδαμε παραπάνω και επιπλέον απαιτεί μεγάλες αντλίες πίεσης οι οποίες δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν με την απαραίτητη πίεση τα ακροφύσια σε χαμηλές στροφές του κινητήρα. Για αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται σύστημα λίπανσης χωρίς βαλβίδα παράκαμψης, **τροφοδοτώντας απευθείας τα ακροφύσια** με λιπαντικό στην πίεση της αντλίας. Σε αυτό το σύστημα η αντλία διαστασιολογείται για ικανοποιητική παροχή στις μέγιστες στροφές λειτουργίας του κινητήρα, ενώ το μέγεθός της είναι μικρότερο από το μέγεθος μιας αντίστοιχης αντλίας στο σύστημα με ανακουφιστική βαλβίδα.

3.4.5.3 Σύστημα λίπανσης ανοιχτού τύπου

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

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

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

3.4.6 Διατάξεις ενδείξεων πίεσης και θερμοκρασίας

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

Η μέτρηση της **θερμοκρασίας** του λιπαντικού πραγματοποιείται με τη χρήση ενός θερμοζεύγους το οποίο είναι τοποθετημένο μέσα σε βολβό στη γραμμή πίεσης (ή εισαγωγής λιπαντικού στο κύκλωμα) μετά τον εναλλάκτη. Τυχόν αύξηση της θερμοκρασίας μεταβάλλει την αντίσταση του θερμοζεύγους μεταβάλλοντας την τάση που περνάει από αυτό. Η μεταβολή της τάσης γίνεται αισθητή από το όργανο που βρίσκεται στο πιλοτήριο και μεταβάλλεται η ένδειξη της θερμοκρασίας.

Η μέτρηση της **πίεσης** του λιπαντικού γίνεται με τη χρήση αισθητήρα πίεσης, ο οποίος τοποθετείται στη γραμμή πίεσης μετά το φίλτρο λαδιού. Ο αισθητήρας

αυτός μεταδίδει ηλεκτρικό σήμα στο πιλοτήριο, η τάση του οποίου είναι ανάλογη με την πίεση λαδιού που επικρατεί στο κύκλωμα.

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

3.4.7 Έλεγχοι και διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης

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

3.4.7.1 Διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης

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

3.4.7.2 Απώλεια πίεσης λαδιού (χωρίς ίχνη διαρροής)

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

3.4.7.3 Χαμηλή πίεση λαδιού

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

3.4.7.4 Υψηλή πίεση λαδιού

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

3.4.7.5 Διακύμανση πίεσης λαδιού

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

3.4.7.6 Υπερβολική κατανάλωση λαδιού

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

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

3.4.7.7 Ένδειξη αυξημένης ποσότητας λιπαντικού

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

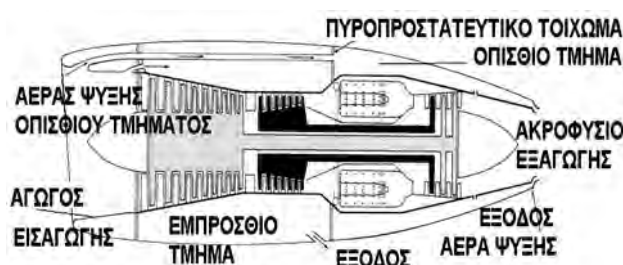
3.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ

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

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

3.5.1 Περιφερειακή ψύξη στο εξωτερικό περίβλημα του κινητήρα.

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



Σχήμα 3.30 Ροή αέρα ψύξης περιβλήματος του κινητήρα

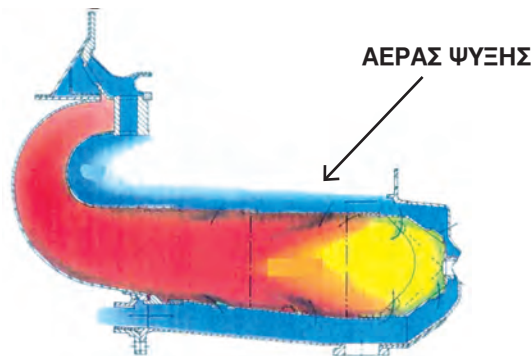
Στους στροβιλοανεμιστήρες χαμηλού λόγου παράκαμψης η ψύξη πραγματοποιείται από το ρεύμα αέρα παράκαμψης το οποίο διέρχεται μεταξύ του εξωτερικού περιβλήματος του κινητήρα και του περιβλήματος του συμπιεστή, του θαλάμου

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

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

3.5.2 Εσωτερική ψύξη του κινητήρα

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



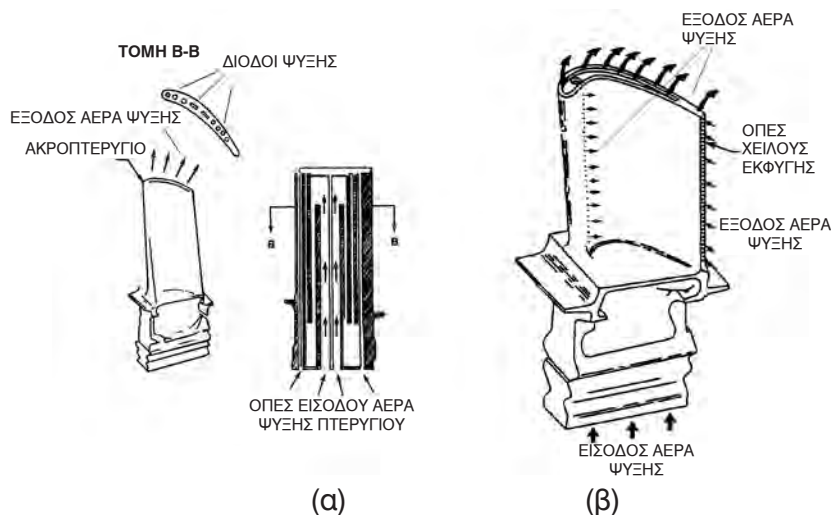
Σχήμα 3.31 Ροή αέρα ψύξης θαλάμου καύσης

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

Σταθερά και κινητά πτερύγια στροβίλου: Τα καυσαέρια εξέρχονται από το θάλαμο καύσης με θερμοκρασία που φτάνει, σε ορισμένους κινητήρες, ακόμα και τους 1550°C . Η θερμοκρασία αυτή είναι αρκετά μικρότερη της μέγιστης που επικρατεί μέσα στο θάλαμο καύσης. Παρ' όλη την πτώση αυτή, η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή και σε κάποιους κινητήρες υψηλότερη από τη θερμοκρασία τήξης των μετάλλων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των σταθερών και κινητών πτε-

ρυγίων της πρώτης βαθμίδας του στροβίλου. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται αέρας από τον συμπιεστή για ψύξη των σταθερών και των κινητών πτερυγίων του στροβίλου. Η ψύξη των πτερυγίων επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, οι οποίοι έχουν να κάνουν με τη **διαθέσιμη τεχνολογία**, το **κόστος κατασκευής** αλλά και τη **μέγιστη θερμοκρασία** στην οποία λειτουργεί ο στροβίλος του συγκεκριμένου κινητήρα.

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



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

Η ψύξη πραγματοποιείται με **μεταφορά θερμότητας**, από τον αέρα που διοχετεύεται από τον συμπιεστή του κινητήρα. Με αυτό τον τρόπο η θερμότητα μεταφέρεται από τα εξωτερικά τοιχώματα του πτερυγίου που είναι σε επαφή με τα καυσαέρια, στα εσωτερικά τοιχώματά του που είναι σε επαφή με τον αέρα ψύξης. Η θερμοκρασία μεταφέρεται από τα θερμά τοιχώματα του πτερυγίου στον αέρα ψύξης και αποβάλλεται στο ρεύμα καυσαερίων. Αυτή η μέθοδος ψύξης χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα στα κινητά και σταθερά πτερύγια κινητήρων ο στροβίλος των οποίων λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες για λόγους αύξησης της διάρκειας ζωής τους.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, με την πρόοδο στην τεχνολογία χύτευσης και μηχανουργικών κατεργασιών, όπως οι τεχνολογίες laser, κατασκευάστηκαν πτερύγια με οπές, οι οποίες επιτρέπουν τη ροή του αέρα που περνάει στο εσωτερικό

του πτερυγίου προς την εξωτερική επιφάνειά του (Σχήμα 3.32 β). Δημιουργείται έτσι ένα **στρώμα αέρα** που περιβάλλει το πτερύγιο στα σημεία που υπάρχουν οι οπές αυτές, το οποίο δεν επιτρέπει την επαφή του ρεύματος των καυσαερίων με την επιφάνεια του πτερυγίου (**film cooling**). Η διάνοιξη των οπών αυτών γίνεται σε σημεία των πτερυγίων όπου παρουσιάζεται η μέγιστη θερμοκρασία, όπως το χείλος προσβολής και εκφυγής, αλλά και σε σημεία της κυρτής και της καμπύλης επιφάνειας του πτερυγίου, τα οποία παρουσιάζουν τοπικές υπερθερμάνσεις λόγω της ροής των καυσαερίων.

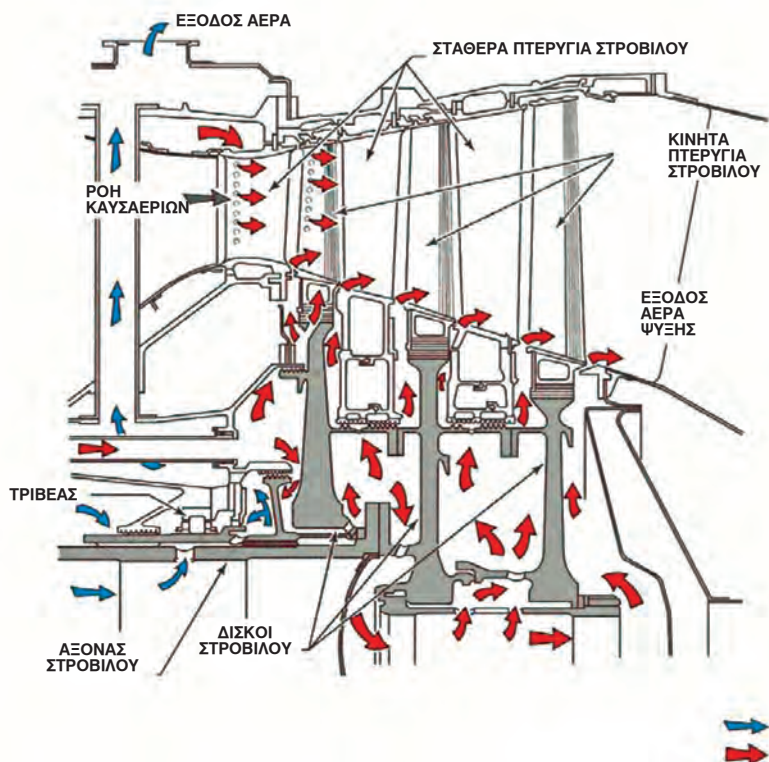
Είναι ευνόητο, ότι για να λειτουργήσει αυτός ο τρόπος ψύξης θα πρέπει η πίεση του αέρα ψύξης να είναι μεγαλύτερη από την πίεση των καυσαερίων, εξασφαλίζοντας ροή από το εσωτερικό του πτερυγίου προς το ρεύμα των καυσαερίων και όχι αντίθετα.

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

Η ψύξη στα πτερύγια (σταθερά και κινητά) εξασφαλίζει, εκτός από μείωση της θερμοκρασίας των πτερυγίων και συνεπώς αύξηση της διάρκειας ζωής τους, αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στο στρόβιλο. Ειδικά τα κινητά πτερύγια εκτός από την καταπόνηση που δέχονται από τις υψηλές θερμοκρασίες δέχονται και φορτία λόγω της περιστροφής τους με μεγάλη γωνιακή ταχύτητα, η οποία σε σύγχρονους κινητήρες μπορεί να φθάσει στις 15.000 έως και 50.000 στροφές ανά λεπτό. Ο συνδυασμός υψηλών θερμοκρασιών και τάσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα δημιουργεί επιμήκυνση των πτερυγίων (**ερπυσμό**¹), φαινόμενο που μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες για τον κινητήρα αφού οδηγεί σε τριβή των πτερυγίων με το περίβλημα του στροβίλου.

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

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



Σχήμα 3.33 Διαδρομή αέρα ψύξης πτερυγίων στροβίλου και δίσκων

3.5.3 Περιγραφή του συστήματος σε ένα τυπικό αεροστρόβιλο κινητήρα.

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, ο αέρας που χρησιμοποιείται για την ψύξη των εξαρτημάτων του θερμού τμήματος του κινητήρα, και συγκεκριμένα των δίσκων και των σταθερών και κινητών πτερυγίων του στροβίλου, παρέχεται από τον συμπιεστή. Η θερμοκρασία του αέρα ψύξης, η οποία κυμαίνεται από 300°C έως 400°C , είναι αρκετά χαμηλή για την ψύξη τμημάτων του στροβίλου που υπόκεινται σε θερμοκρασίες της τάξης των 800°C έως 1000°C .

Η απαραίτητη ποσότητα αέρα για την ψύξη (Σχήμα 3.33) διοχετεύεται από τις τελευταίες βαθμίδες του συμπιεστή ή τον διαχύτη του κινητήρα ο οποίος διαθέτει και τον αέρα με την υψηλότερη πίεση. Ο αέρας αυτός διέρχεται συνήθως από οπές που υπάρχουν στους **αποστάτες (spacers)** των δίσκων, ή στο σταθερό περιβλήμα του συμπιεστή. Στη συνέχεια διέρχεται από τον άξονα που συνδέει τον συμπιεστή με το στρόβιλο, μέσω οπών που διαθέτει περιφερειακά.

Ο αέρας περνάει κατά μήκος του άξονα και εξέρχεται μέσω οπών στο ύψος του στροβίλου, όπου διέρχεται από το εσωτερικό των σταθερών πτερυγίων και στη ρίζα του δίσκου για την ψύξη των κινητών πτερυγίων. Ο αέρας που ψύχει τους δίσκους του στροβίλου εξέρχεται στο ρεύμα καυσαερίων από τα διάκενα που υπάρχουν μεταξύ των κινητών και σταθερών βαθμίδων.

3.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΚΑΙ ΚΑΥΣΙΜΑ

3.6.1 Ιδιότητες και είδη καυσίμων

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

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

Μια από τις πιο βασικές ιδιότητες ενός καυσίμου και πολύ περισσότερο ενός αεροπορικού καυσίμου, είναι η υψηλή **θερμογόνος δύναμή** του, δηλαδή το ποσό της θερμότητας που εκλύει μια δεδομένη ποσότητα καυσίμου. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή, τόσο μικρότερη είναι η ποσότητα καυσίμου που χρειάζεται για

δεδομένη απόσταση πτήσης, άρα και μέγιστο το φορτίο που μπορεί να μεταφερθεί ή τόσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα δράσης του αεροσκάφους για δεδομένη χωρητικότητα των δεξαμενών του.

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

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

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

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

Η παρουσία **νερού** στο καύσιμο είναι κάτι που δεν μπορεί να αποφευχθεί αλλά γίνεται προσπάθεια να περιοριστεί στο ελάχιστο. Ο **κορεσμός** του καυσίμου με νερό ή η μέγιστη (κατά βάρος) ποσότητα νερού που επιτρέπεται να είναι αναμειγμένη στο καύσιμο είναι κατά προσέγγιση ίση σε **μέρη ανά εκατομμύριο (parts per million)** με τη θερμοκρασία που βρίσκεται το καύσιμο σε βαθμούς Φαρενάϊτ. Για παράδειγμα ένα καύσιμο που βρίσκεται σε θερμοκρασία 80°F επιτρέπεται να περιέχει μέχρι 80 μέρη νερού σε ένα εκατομμύριο μέρη καυσίμου. Το νερό βρίσκεται διαλυμένο στο καύσιμο με μορφή μικρών σταγονιδίων τα οποία συμπαρασύ-

ρονται στη ροή του καυσίμου. Όταν η θερμοκρασία του καυσίμου πέσει κάτω από το μηδέν τα σταγονίδια αυτά στερεοποιούνται και σχηματίζουν περιοχές πάγου στο σύστημα καυσίμου. Όταν δε η θερμοκρασία πέσει αρκετά χαμηλότερα από το μηδέν, τότε το μείγμα νερού – καυσίμου αποκτάει την υφή ζελέ, αποφράζοντας τα φίλτρα του συστήματος καυσίμου.

3.6.1.1 Δημιουργία μικροοργανισμών στο καύσιμο

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

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

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

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

3.6.1.2 Τύποι αεροπορικών καυσίμων

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

πτητικά καύσιμα από το πετρέλαιο, δηλαδή εξαερώνονται σε μικρότερη θερμοκρασία αλλά είναι λιγότερο πτητικά από τη βενζίνη.

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

Καύσιμα κατηγορίας JP

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

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

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

JP-4: Ο πιο διαδεδομένος τύπος καυσίμου αεροστροβίλων κινητήρων ο οποίος είναι σε (περιορισμένη) χρήση έως και σήμερα. (Σταδιακά αντικαθίσταται από το JP-8). Είναι ένα καύσιμο ευρείας απόσταξης, περιέχει δηλαδή και ποσοστά των καυσίμων που παράγονται κατά τη διύλιση πριν και μετά από την κηροζίνη όπως η **νάφθα** και η βενζίνη. Είναι λιγότερο πτητικό από το JP-3 και συνεπώς παρουσιάζει λιγότερες απώλειες καυσίμου από εξαέρωση, αλλά έχει χαμηλότερη απόδοση σε λειτουργία και επανεκκίνηση σε μεγάλα ύψη.

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

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

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

Καύσιμα κατηγορίας Jet

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

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

3.6.2 Σκοπός συστήματος καυσίμου και είδη συστημάτων

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

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

Εξαρτήματα σκάφους

- Οι δεξαμενές καυσίμου (fuel tanks)

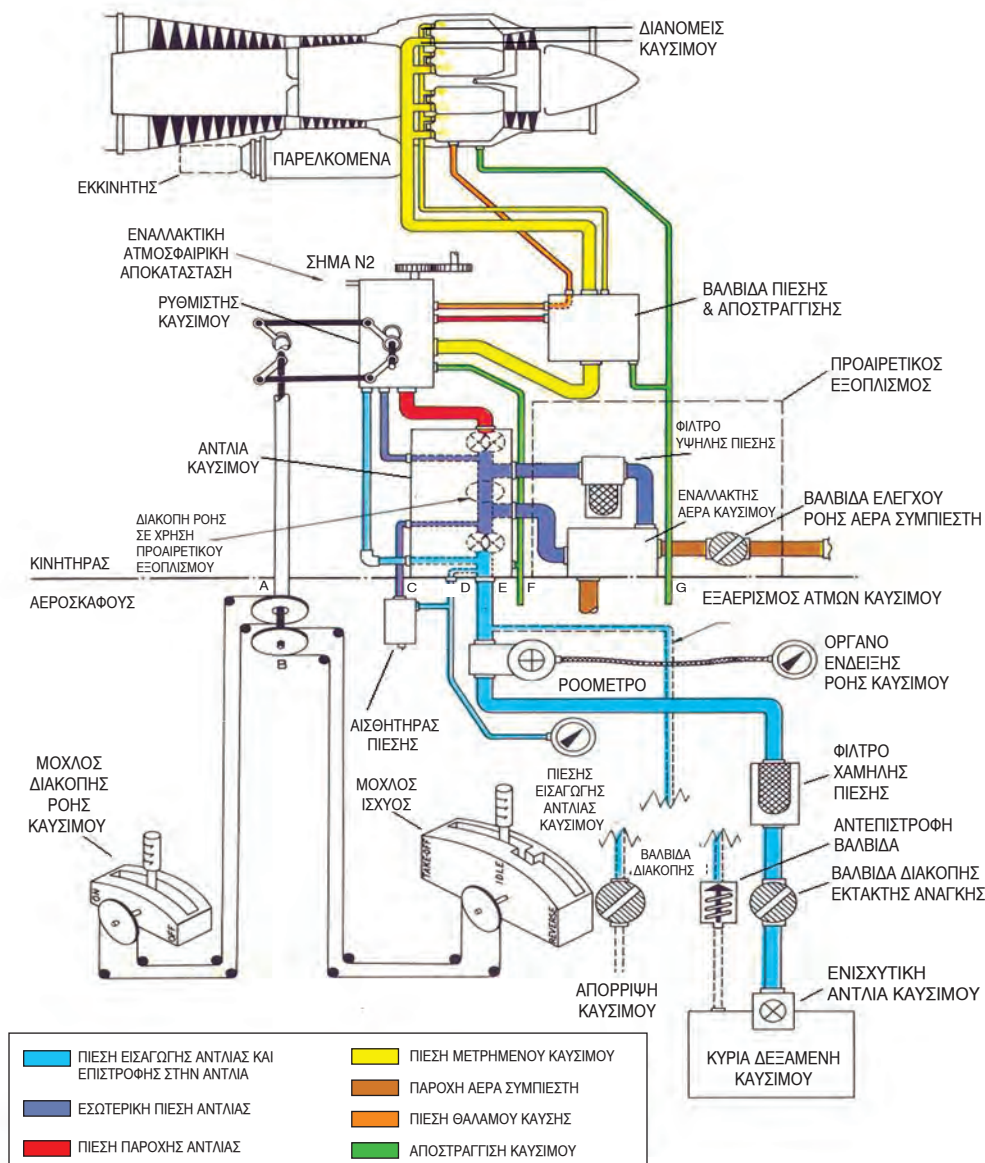
- Ενισχυτικές αντλίες καυσίμου αεροσκάφους (fuel booster pumps)
- Βαλβίδες διακοπής ροής καυσίμου (fuel shut-off valves)
- Φίλτρο καυσίμου χαμηλής πίεσης (low pressure fuel filter)
- Ενδείκτες ποσότητας καυσίμου (fuel quantity indicators)

Εξαρτήματα κινητήρα

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

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

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



Σχήμα 3.34 Τυπικό σύστημα καυσίμου αεριοστροβίλου κινητήρα

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

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

λον. Ταυτόχρονα με το κλείσιμο της βαλβίδας πίεσης ο ρυθμιστής παρακάμπτει το καύσιμο στην εισαγωγή της αντλίας καυσίμου.

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

3.6.2.1 Δεξαμενές καυσίμου

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



Σχήμα 3.35 Θέση δεξαμενών καυσίμου αεροσκάφους

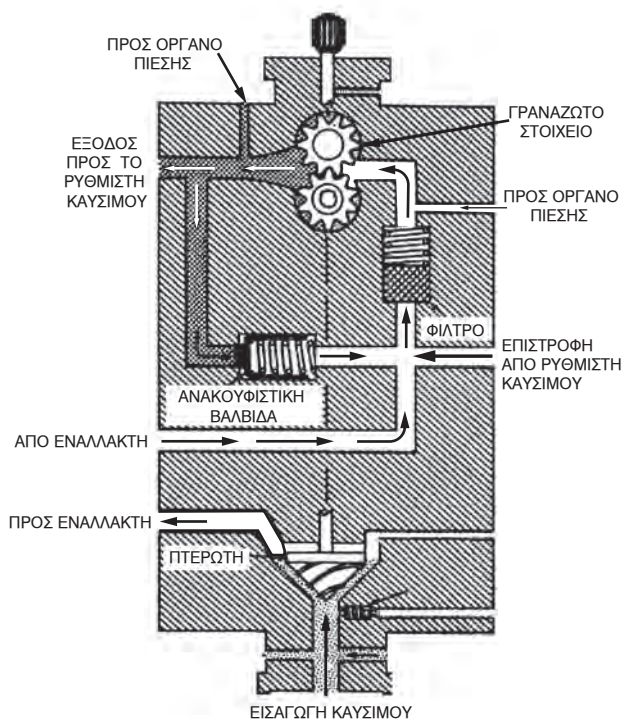
Το καύσιμο τροφοδοτείται από την κεντρική δεξαμενή στον κινητήρα με **ενισχυτικές αντλίες**. Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία σταθερής πίεσης στην είσοδο της κύριας αντλίας του κινητήρα έτσι ώστε η παροχή καυσίμου να μην παρουσιάζει διακοπές. Οι αντλίες αυτές λειτουργούν συνήθως με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

Στη γραμμή μεταφοράς καυσίμου του σκάφους τοποθετείται μια **βαλβίδα διακοπής της ροής** του καυσίμου (**fuel shut off valve**) η οποία ενεργοποιείται ηλεκτρικά, για την αποφυγή διαρροής καυσίμου κατά την αποσύνδεση της γραμμής καυσίμου από τον κινητήρα, αλλά και σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπως στην περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς σε κινητήρα οπότε πρέπει να διακοπεί η παροχή του καυσίμου.

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

3.6.2.2 Αντλία καυσίμου

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



Σχήμα 3.36 Σχηματική αναπαράσταση γρاناζωτής αντλίας

Στο Σχήμα 3.36 φαίνεται μια τυπική γρاناζωτή αντλία μιας βαθμίδας με μια φυγοκεντρική βαθμίδα συνδεδεμένη σε σειρά. Το καύσιμο εισέρχεται στην αντλία στην είσοδο της φυγοκεντρικής βαθμίδας και εξέρχεται από αυτήν προς την είσοδο του εναλλάκτη καυσίμου, όπου και ψύχεται. Στη συνέχεια, οδηγείται στη γρاناζωτή βαθμίδα μέσω του φίλτρου που βρίσκεται στην εισαγωγή της. Το καύσιμο εξέρχεται στη συνέχεια από την αντλία προς το ρυθμιστή καυσίμου. Η ποσότητα

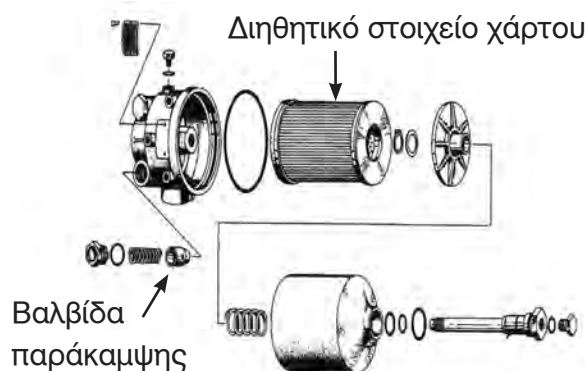
καυσίμου που δεν χρησιμοποιείται από το ρυθμιστή, επιστρέφει στην εισαγωγή της γραναζωτής βαθμίδας.

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

3.6.2.3 Φίλτρα καυσίμου

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

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



Σχήμα 3.37 Φίλτρο καυσίμου διηθητικού στοιχείου χάρτου

Φίλτρα χάρτου

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



(α)



(β)

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

Φίλτρα συρμάτινου πλέγματος

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

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

3.6.2.4 Εγχυτήρες ψεκασμού καυσίμου

Οι εγχυτήρες ψεκασμού καυσίμου (**fuel nozzles**) είναι το τελευταίο εξάρτημα στο κύκλωμα ενός συστήματος καυσίμου. Ο σκοπός τους είναι να παράγουν ένα **νέφος από σταγονίδια καυσίμου** κατάλληλου μεγέθους (όχι πολύ μικρά αλλά όχι και πολύ μεγάλα), καλά αναμεμειγμένα με τον αέρα που διοχετεύεται από το διαχύτη του κινητήρα. Επίσης το σχήμα του νέφους καυσίμου θα πρέπει να είναι κατάλληλα διαμορφωμένο και να καλύπτει έτσι τον όγκο του θαλάμου καύσης χωρίς να προκαλεί υπερθέρμανση στα τοιχώματά του λόγω μεγάλης γωνίας ψεκασμού αλλά και υπερθέρμανση στα πτερύγια του στροβίλου λόγω ασύμμετρου ψεκασμού καυσίμου.

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

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

3.6.2.5 Τρόπος λειτουργίας ενός εγχυτήρα

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

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

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

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

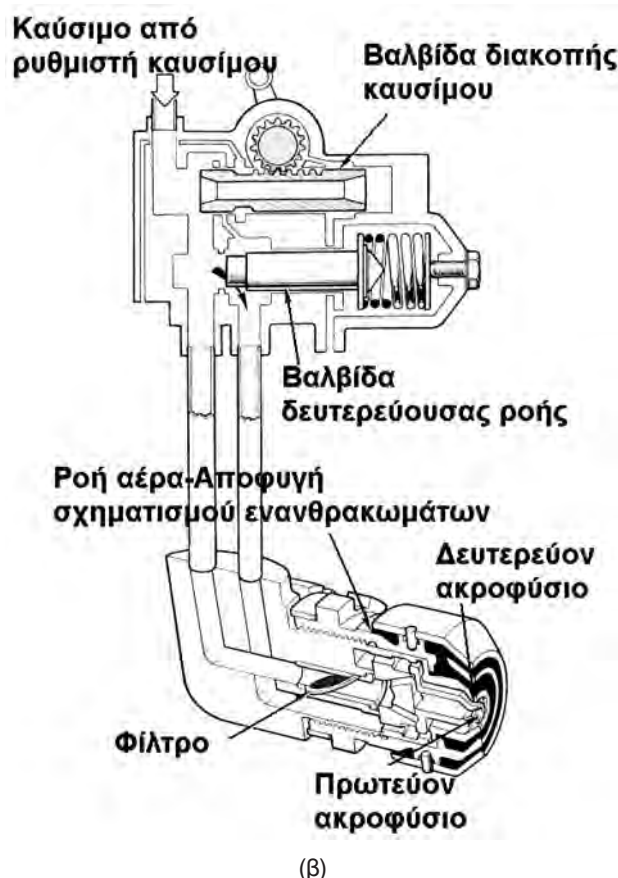
Ακροφύσια μονής ροής (Simplex)

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

Ακροφύσια διπλής ροής (Duplex)

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

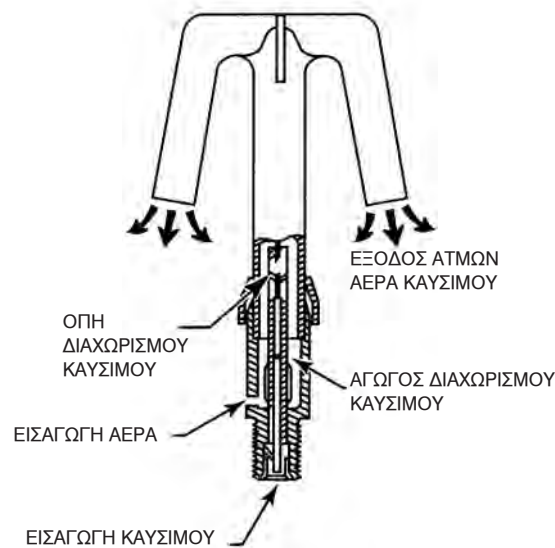




Σχήμα 3.39 Ακροφύσια ψεκασμού τύπου Simplex (α) και Duplex (β)

Ακροφύσια ατμοποίησης καυσίμου

Αυτός ο τύπος ακροφυσίου (Σχήμα 3.40) δεν ψεκάζει απευθείας το καύσιμο στη πρωτογενή ζώνη καύσης, όπως τα δύο παραπάνω είδη ακροφυσίων, αλλά αυτό αναμειγνύεται με μια ποσότητα αέρα υψηλής πίεσης μέσα στον αγωγό του ακροφυσίου. Ο αγωγός αυτός έχει αρκετό μήκος, έτσι ώστε το μείγμα αέρα καυσίμου να εξαερωθεί με τη θερμοκρασία που επικρατεί στον θάλαμο καύσης και να βγει από το ακροφύσιο υπό μορφή ατμών. Οι κινητήρες που χρησιμοποιούν αυτό τον τύπο ακροφυσίου διαθέτουν μια σειρά μικρών ακροφυσίων για την έναυση του κινητήρα, λόγω της αδυναμίας των ακροφυσίων ατμοποίησης να παράγουν ικανοποιητικό σχήμα ψεκασμού κατά την εκκίνηση.



Σχήμα 3.40 Ακροφύσιο ψεκασμού τύπου εξαεριωτή

3.6.2.6 Ρυθμιστές καυσίμου

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

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

Εκτός από τις παραπάνω λειτουργίες, ο ρυθμιστής διαθέτει και μηχανισμούς προστασίας του κινητήρα από υπερστροφή, και υπερθέρμανση του στροβίλου. Στην τελευ-

ταία περίπτωση, η προστασία από υπερθέρμανση επιτυγχάνεται με την κατάλληλη ρύθμιση της μέγιστης επιτρεπτής παροχής καυσίμου, ώστε να αποφεύγεται η υπερβολική άνοδος της θερμοκρασίας κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες λειτουργίας.

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

3.7 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ

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

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

- Ο συμπιεστής του κινητήρα θα πρέπει να περιστραφεί σε ένα ύψος στροφών ίσο περίπου με το 15-20% των μέγιστων στροφών του, για τη δημιουργία πίεσης κατάλληλης για τη διατήρηση φλόγας στο θάλαμο καύσης, αλλά και τη σωστή ψύξη των ψυχόμενων μερών. Η ψύξη των θερμών τμημάτων του κινητήρα είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά τη διαδικασία της εκκίνησης, δεδομένου ότι σε αυτή τη φάση υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο «**θερμής εκκίνησης**» (**hot start**)¹ και καταστροφής του στροβίλου.
- Για τη λειτουργία του συστήματος καυσίμου και του συστήματος ανάφλεξης είναι αναγκαία η περιστροφή του άξονα του κινητήρα σε ένα ύψος στροφών, οι οποίες απαιτούνται από τα παρελκόμενα των αντίστοι-

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

χων συστημάτων για να αυξήσουν την πίεση του καυσίμου και την τάση ρεύματος σε επίπεδα που θα διατηρήσουν τον κινητήρα σε λειτουργία.

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

3.7.1 Μέθοδοι εκκίνησης

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

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

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

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

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

- με πνευματικό εκκινητή
- με ηλεκτρικό εκκινητή
- με ηλεκτρικό εκκινητή – γεννήτρια

- με φυσίγγιο πεπιεσμένου αερίου ή με στερεό καύσιμο
- με αξονοστρόβιλο

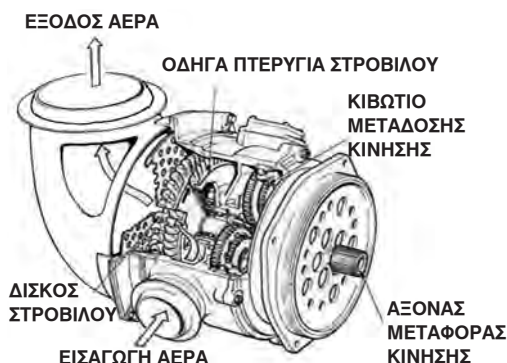
Οι εκκινητές χωρίζονται σε δύο επιπλέον γενικότερες κατηγορίες, τους **εκκινητές που φέρονται πάνω στο σκάφος (Auxiliary Power Unit, ή APU)** και στους **επίγειους εκκινητές (Ground Power Unit ή GPU)**.

3.7.1.1 Πνευματικός εκκινητής

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

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

Το βασικό **πλεονέκτημα** των πνευματικών εκκινητήρων είναι το **μικρό βάρος**, συγκρινόμενοι με τους ηλεκτρικούς και τους αξονοστρόβιλους εκκινητές, ενώ το **μειονέκτημά** τους είναι ότι απαιτούν την παροχή **μεγάλης ποσότητας αέρα** υπό πίεση.



Σχήμα 3.41 Πνευματικοί εκκινητές αεριοστρόβιλου κινητήρα

3.7.1.2 Ηλεκτρικός εκκινητής

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



Σχήμα 3.42 Ηλεκτρικός εκκινητής (α) και εκκινητής γεννήτρια (β)

3.7.1.3 Ηλεκτρικός εκκινητής – γεννήτρια

Ένας τύπος εκκινητήρα παρόμοιος με τον ηλεκτρικό είναι ο εκκινητής – γεννήτρια (Σχήμα 3.42β). Αυτός ο τύπος συνδυάζει τη λειτουργία του εκκινητήρα με αυτόν της γεννήτριας, εξοικονομώντας βάρος και χώρο, αφού αντικαθιστά δύο παρελκόμενα και απλοποιεί την κατασκευή του κιβωτίου υποπολλαπλασιασμού, όπου η μετάδοση κίνησης γίνεται σε ένα, έναντι δύο παρελκόμενων. Η εμπλοκή του με το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης είναι μόνιμη και γι' αυτό το λόγο δεν απαιτείται η χρήση συστήματος εμπλοκής. Για τους προαναφερθέντες λόγους χρησιμοποιείται στους περισσότερους μικρούς κινητήρες.

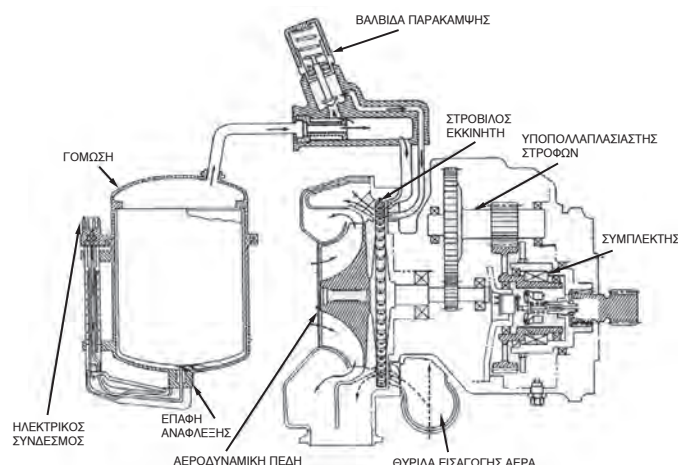
3.7.1.4 Εκκίνηση με φυσίγγιο στερεού καυσίμου ή με αέρα υπό πίεση

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

Ο εκκινητής που φαίνεται στο Σχήμα 3.43 είναι ένας αντιπροσωπευτικός τύπος

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

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

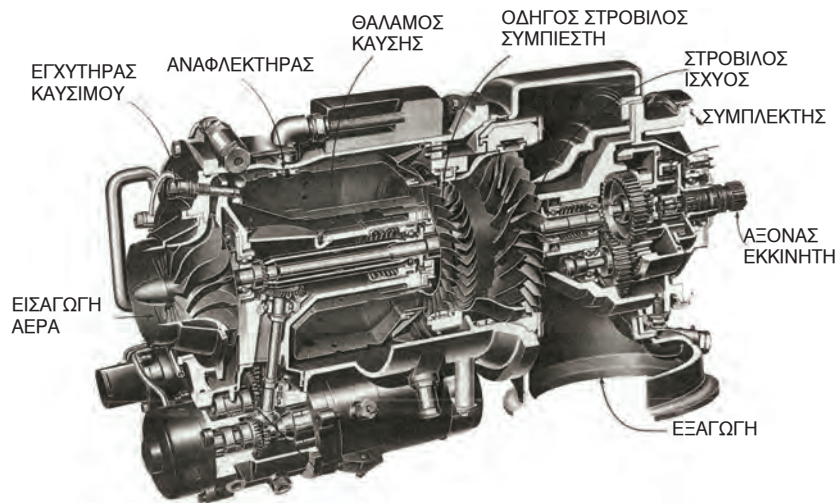


Σχήμα 3.43 Διάγραμμα εκκινητήρα με φυσίγγιο.

3.7.1.5 Εκκίνηση με αξονοστρόβιλο

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

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



Σχήμα 3.44 Αξονοστρόβιλος εκκινητής

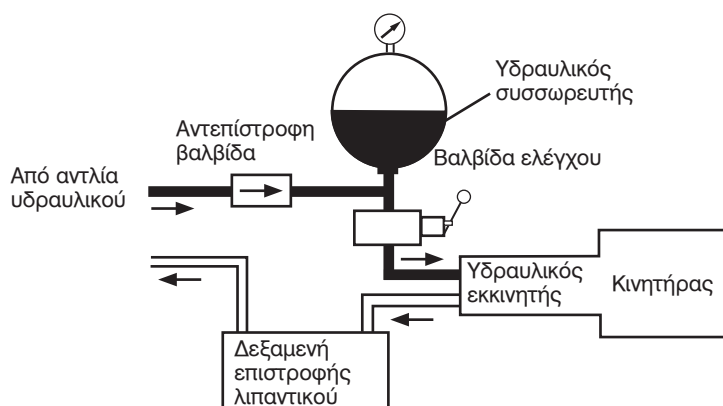
3.7.1.6 Εκκίνηση με υδραυλικό εκκινητή

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

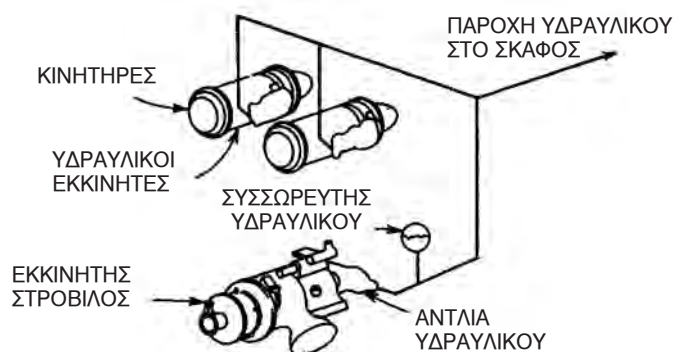
Στην πρώτη περίπτωση (Σχήμα 3.45) το υδραυλικό υγρό αποθηκεύεται σε έναν **υδραυλικό συσσωρευτή (accumulator)**, σε πίεση που μπορεί να φτάσει τα 4000psi. Το υδραυλικό υγρό διοχετεύεται μέσω μιας βαλβίδας, που ανοίγει όταν ενεργοποιείται, σε ένα υδραυλικό μοτέρ, το οποίο περιστρέφεται καθώς περνάει το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

Στη δεύτερη περίπτωση (Σχήμα 3.46), η αντλία που παρέχει πίεση στον υδραυλικό εκκινητή οδηγείται από άξονα του βοηθητικού συστήματος εκκίνησης (APU) που διαθέτει το σκάφος. Αυτός ο τύπος εκκίνησης χρησιμοποιείται σε σκάφη με περισσότερους από έναν κινητήρες. Το βοηθητικό σύστημα εκκίνησης παράγει με την αντλία του υδραυλικό υγρό υπό πίεση, το οποίο διοχετεύει μέσω σωληνώσε-

ων στα υδραυλικά μοτέρ των κινητήρων για την εκκίνησή τους. Χρησιμοποιείται επίσης για την παροχή υδραυλικού υγρού και στο υδραυλικό σύστημα του σκάφους. Η παραγόμενη από το σύστημα πίεση χρησιμοποιείται και για την εκκίνηση του βοηθητικού συστήματος εκκίνησης (με τον τρόπο που είδαμε παραπάνω) μέσω υδραυλικού υγρού το οποίο αποθηκεύεται σε υδραυλικό συσσωρευτή. Με αυτό τον τρόπο εξοικονομείται βάρος, αφού δεν είναι αναγκαία η χρήση άλλου συστήματος εκκίνησης για το βοηθητικό σύστημα, όπως για παράδειγμα με ηλεκτρικό μοτέρ.



Σχήμα 3.45 Υδραυλικό σύστημα εκκίνησης περιορισμένης ενέργειας



Σχήμα 3.46 Υδραυλικό σύστημα εκκίνησης περιορισμένης ισχύος

3.8 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ

3.8.1 Γενικά

Ο σκοπός του **συστήματος ανάφλεξης** είναι η παροχή θερμικής ενέργειας στο μείγμα καυσίμου αέρα, η οποία θα είναι τέτοιας έντασης που θα μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη του σε όλες τις πιθανές συνθήκες πτήσεως, που μπορεί να

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

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

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

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

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

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

3.8.2 Πυκνωτικά συστήματα ανάφλεξης

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

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

Τα πυκνωτικά συστήματα ανάφλεξης διακρίνονται στα παρακάτω συστήματα:

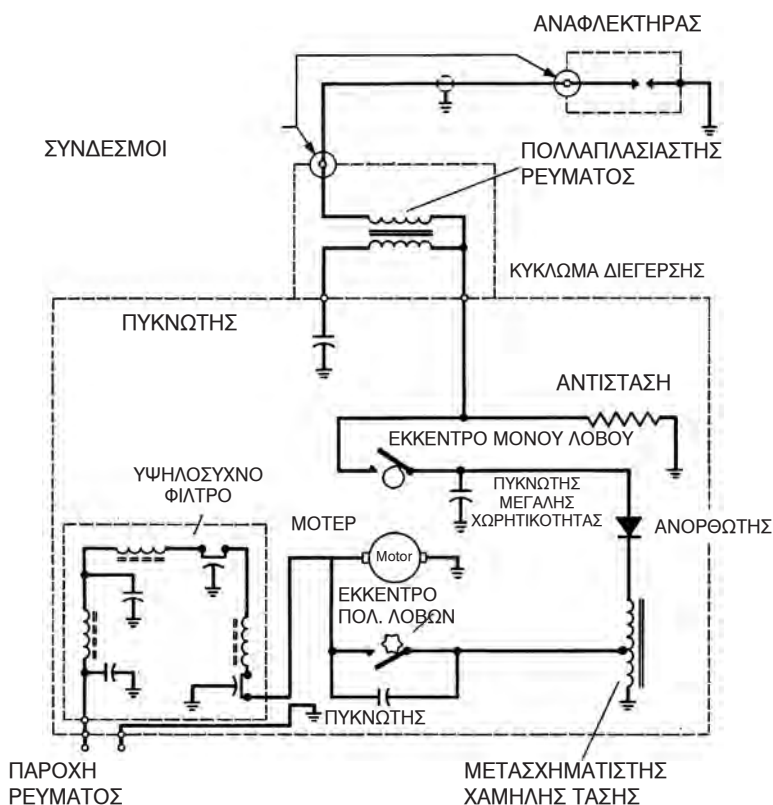
- στα πυκνωτικά συστήματα **υψηλής τάσης** εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος, και
- στα πυκνωτικά συστήματα **χαμηλής τάσης** εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος.

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

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

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

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



Σχήμα 3.47 Τυπικό πυκνωτικό σύστημα ανάφλεξης υψηλής τάσης

Το έκκεντρο μονού λοβού έχει ως σκοπό τη διακοπή του κυκλώματος χαμηλής τάσης για να δώσει αρκετό χρόνο στον πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας να φορτιστεί. Τη στιγμή που θα κλείσουν οι επαφές από το έκκεντρο μονού λοβού, ένας παλμός συνεχούς ρεύματος διοχετεύεται στο πρωτεύον πηνίο του μετασχηματιστή υψηλής τάσης. Ο μετασχηματιστής αυτός μετατρέπει την τάση των 2000V σε

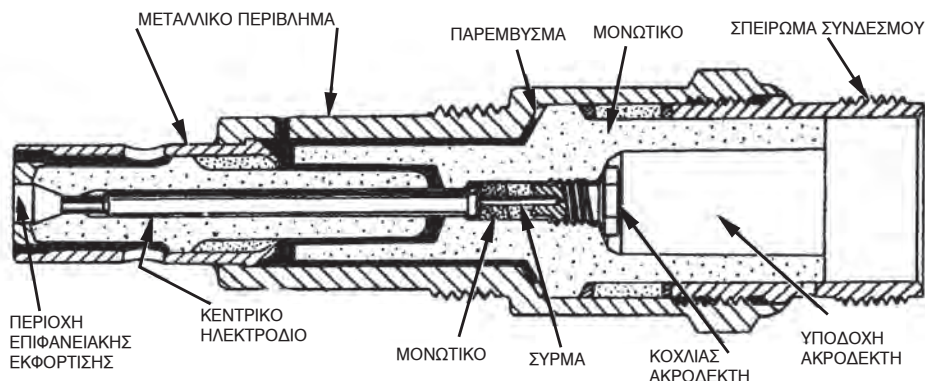
¹Η τάση του ρεύματος μεταβάλλεται περιοδικά από μηδέν σε μέγιστη χωρίς να παίρνει ενδιάμεσες τιμές.

28000V, η οποία είναι μια τάση αρκετά μεγάλη για να έχουμε υπερπήδηση του ρεύματος στο κενό μεταξύ των ηλεκτροδίων του αναφλεκτήρα και δημιουργία του απαραίτητου σπινθήρα για την ανάφλεξη του μείγματος. Αν και η υψηλή τάση από μόνη της είναι ικανή να δημιουργήσει σπινθήρα, είναι απαραίτητη η χρήση του πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας για να έχει μεγάλη ενέργεια ο σπινθήρας.

3.8.3 Αναφλεκτήρες

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

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



Σχήμα 3.48 Χαρακτηριστικός τύπος αναφλεκτήρα επιφανειακής εκφόρτισης

Ένας τυπικός αναφλεκτήρας αποτελείται από τα παρακάτω μέρη :

- Ένα **ηλεκτρόδιο**, στο οποίο μεταφέρεται το ρεύμα από το σύστημα ανάφλεξης. Το ηλεκτρόδιο κατασκευάζεται από κράματα νικελίου για αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται από το σπινθήρα.
- Το **μεταλλικό περίβλημα**, στο οποίο γειώνεται ο σπινθήρας. Το περίβλημα κατασκευάζεται από ανοξείδωτο ατσάλι ή κράματα νικελίου, για αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες του θαλάμου καύσης.
- Το **μονωτικό υλικό** που διαχωρίζει το ηλεκτρόδιο από το περίβλημα και

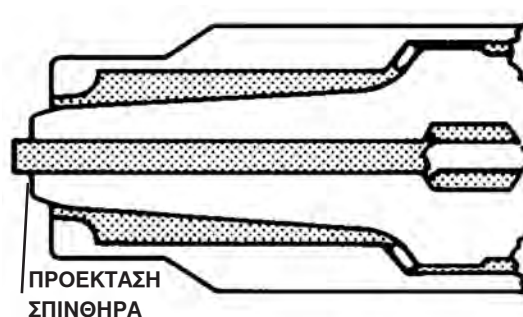
αποτρέπει το σχηματισμό σπινθήρα σε άλλο σημείο του, εκτός από την κεφαλή του. Το μονωτικό υλικό κατασκευάζεται από κεραμικό υλικό, όπως οξειδίο του αλουμινίου, το οποίο παρέχει καλή μόνωση σε υψηλές τάσεις και υψηλή αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις και μεγάλη θερμική αγωγιμότητα.

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

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

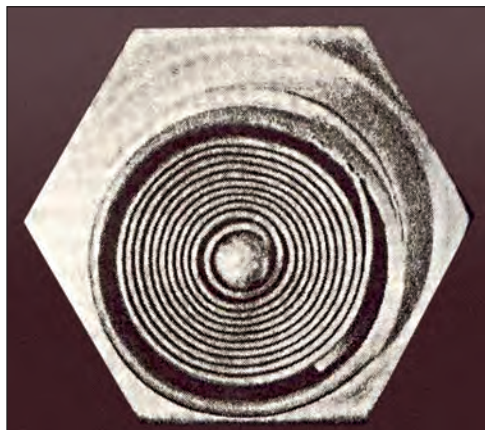
Ένα μειονέκτημα του αναφλεκτήρα επιφανειακής εκφόρτισης είναι, ότι για να έχει καλύτερη αποτελεσματικότητα τοποθετείται σε θέση που προεξέχει από την επιφάνεια του ελάσματος του θαλάμου καύσης, με αποτέλεσμα να λειτουργεί σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες.

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



Σχήμα 3.49 Σπινθηριστής περιορισμένου διακένου

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



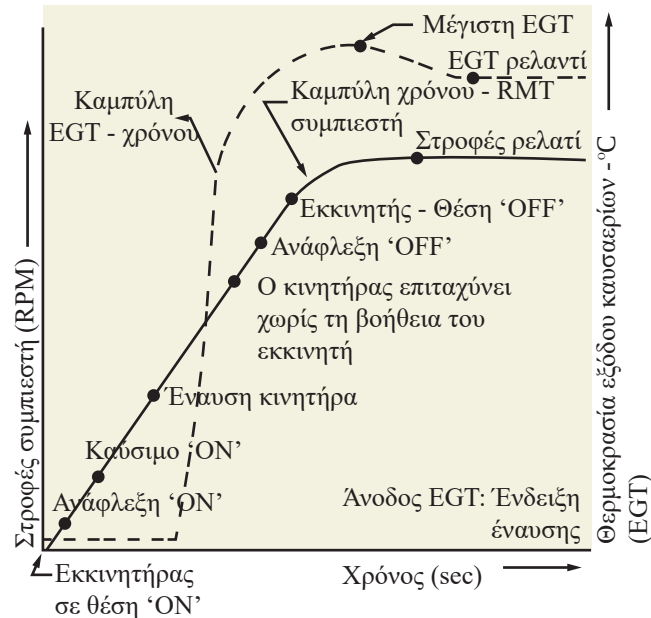
Σχήμα 3.50 Σπινθηριστής ηλεκτρικής αντίστασης

3.8.4 Διαδικασία εκκίνησης αεριοστροβίλων κινητήρων

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

- Περιστροφή του κινητήρα με τον εκκινητήρα σε ένα αριθμό στροφών στις οποίες ο συμπιεστής αυξάνει την πίεση του αέρα σε σημείο που είναι δυνατή η καύση του μείγματος αέρα – καυσίμου στον θάλαμο καύσης.
- Στη συνέχεια ενεργοποιείται το σύστημα ανάφλεξης. Είναι σημαντικό να υπάρχει αρκετή παροχή αέρα μέσα στον κινητήρα κατά τη διάρκεια της εκκίνησης, για τον καθαρισμό του κινητήρα από τυχόν αναθυμιάσεις καυσίμου, από καύσιμο που έχει παραμείνει στον κινητήρα μετά το σβήσιμό του ή από προηγούμενη αποτυχημένη προσπάθεια έναρξης. Ύπαρξη αναθυμιάσεων καυσίμου θα μπορούσαν να προκαλέσουν έκρηξη με τη λειτουργία των αναφλεκτών.
- Όταν οι στροφές του κινητήρα φθάσουν το 15% - 20% παρέχουμε καύσιμο βάζοντας τη μανέτα σε θέση σημείο βραδείας λειτουργίας (ρελαντί - **IDLE**), η οποία είναι και η ελάχιστη παροχή καυσίμου προς τον κινητήρα μετά τη θέση **OFF**. Ταυτόχρονα ο εκκινητής συνεχίζει να είναι ενεργοποιημένος υποβοηθώντας τον κινητήρα στην επιτάχυνσή του, μέχρι την ταχύτητα, από την οποία μπορεί να επιταχύνει μόνος του ο κινητήρας έως το σημείο βραδείας λειτουργίας. Χωρίς επαρκή υποβοήθηση δεν είναι δυνατή η επιτάχυνση του κινητήρα και οι στροφές του παραμένουν σταθερές ή μειώνονται. Σε μία τέτοια περίπτωση έχουμε θερμή εκκίνηση και θα πρέπει να σταματήσει άμεσα η παροχή του καυσίμου και να συ-

νεχιστεί η λειτουργία του εκκινητή για ένα λεπτό, σαν ελάχιστο χρονικό διάστημα (dry motoring), για την ψύξη των θερμών μερών του κινητήρα.



Σχήμα 3.51 Ακολουθία εκκίνησης αεριοστρόβιλου κινητήρα

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

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

3.8.5 Διαδικασία διερεύνησης και αποκατάστασης βλαβών συστήματος ανάφλεξης

Η διαδικασία διερεύνησης βλαβών στο σύστημα ανάφλεξης διαφέρει από κινητήρα σε κινητήρα, λόγω των διαφορετικών συστημάτων ανάφλεξης που υπάρχουν σε χρήση. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να ακολουθείται η διαδικασία διερεύνησης βλαβών του κατασκευαστή για το συγκεκριμένο κινητήρα. Παρακάτω πα-

ρατίθενται γενικές οδηγίες για την ανεύρεση βλαβών σε ένα αντιπροσωπευτικό πυκνωτικό σύστημα ανάφλεξης.

3.8.5.1 Απουσία σπινθήρα με το σύστημα ανάφλεξης ενεργοποιημένο

Στην περίπτωση που δεν έχουμε εκδήλωση σπινθήρα (ενώ το σύστημα ανάφλεξης είναι ενεργοποιημένο και ο κινητήρας έχει ικανές στροφές κατά την εκκίνηση), θα πρέπει αρχικά να γίνει έλεγχος της τροφοδοσίας του κυκλώματος ανάφλεξης από τον **ηλεκτρονόμο (ρελέ)** του κυκλώματος. Η τροφοδοσία του κυκλώματος με ρεύμα γίνεται μέσω ενός ρελέ το οποίο ενεργοποιείται από το πιλοτήριο¹. Στην περίπτωση αυτή ελέγχουμε για παροχή ρεύματος στο πρωτεύον πηνίο του μετασχηματιστή χαμηλής τάσης. Εάν δεν έχουμε παροχή, η πιο πιθανή αιτία είναι ελαττωματικό ρελέ. Εάν το ρελέ δεν είναι ελαττωματικό, ελέγχουμε την έξοδο του μετασχηματιστή χαμηλής τάσης², για τυχόν διακοπή του κυκλώματος μέσα στο μετασχηματιστή, τον οποίο και αλλάζουμε για να αποκατασταθεί η βλάβη.

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

3.8.5.2 Ύπαρξη μεγάλου διαστήματος μεταξύ δύο διαδοχικών σπινθηρισμών ή αδύνατος σπινθήρας

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

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

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

3.9 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΠΑΓΟΠΟΙΗΣΗ

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 πτερύγια 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 ποια 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 αποκόλλησής** 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 των 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 έλικά τους και λειτουργούν με **ηλεκτρικά θερμαντικά στοιχεία** τα οποία τοποθετούνται στο χείλος προσβολής της εισαγωγής του κινητήρα και στη ρίζα του έλικα.

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 **οδηγία 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.

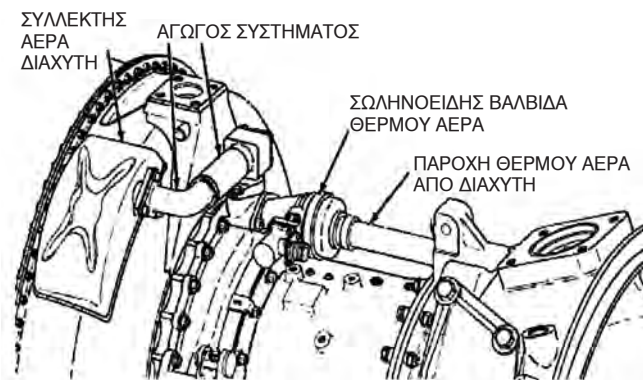
Η παροχή του αέρα γίνεται από διόδους που υπάρχουν στο περίβλημα των τελευταίων βαθμίδων του συμπιεστή ή από το διαχύτη του κινητήρα (Σχήμα 3.52), αφού η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται κατά μήκος του συμπιεστή και έχει τη μέγιστη θερμοκρασία του στο διαχύτη.



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.

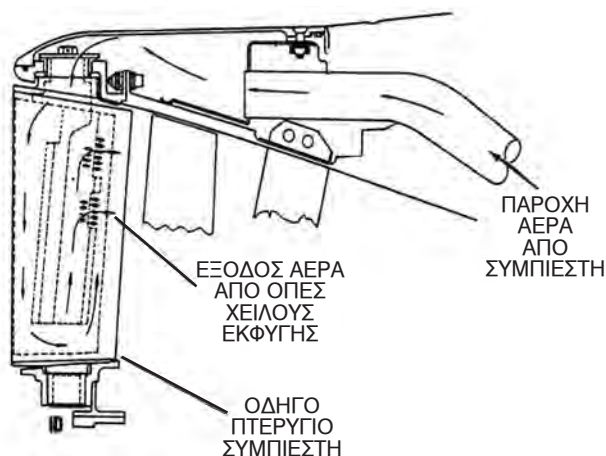


Σχήμα 3.53 Εξαρτήματα αντιπαγωτικού συστήματος αξονοστροβίλου κινητήρα

- 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 οδηγία πτερύγια του συμπιεστή.



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

Τα οδηγία 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 σχη-

ματισμό πάγου. Ένα δεύτερο μέρος του κυκλώματος λειτουργεί διακοπτόμενα, από τη στιγμή που θα ενεργοποιηθεί το σύστημα για τη μείωση της απαιτούμενης ισχύος από τη γεννήτρια του κινητήρα.

3.9.3 Προστασία παγοποίησης καυσίμου

Στα συστήματα καυσίμου των αεριοστροβίλων 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 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ

Η εμφάνιση πυρκαγιάς σε έναν αεριοστροβίλο 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 πτερυγίων 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 περίπτωση 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, τη χρήση υλικών κατάλληλης ποιότητας και τη σωστή χωροθέτησή τους στον κινητήρα. Για παράδειγμα η χρήση κατάλληλης ποιότητας υλικού των καλωδίων υψηλής τάσης των αναφλεκτών, αποτρέπει τη 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 τη 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.

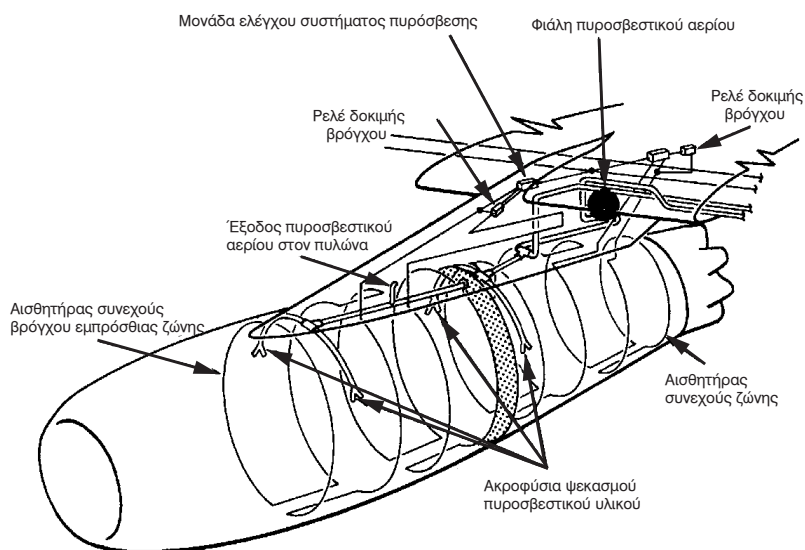
Η ανίχνευση πυρκαγιάς σε έναν κινητήρα γίνεται με τη χρήση ενός κυκλώματος πυρανίχνευσης που αποτελείται από τα ακόλουθα εξαρτήματα:

- 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. Αυτός 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)**.

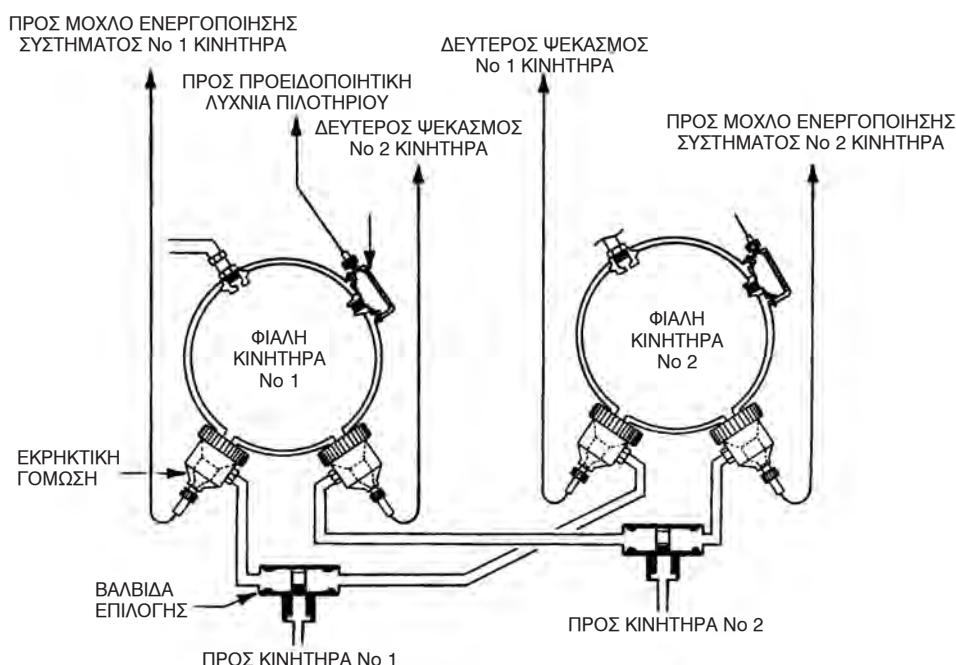
3.10.3 Καταστολή

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 αεριοστρόβιλους 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 αεριοστρόβιλων 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)**.

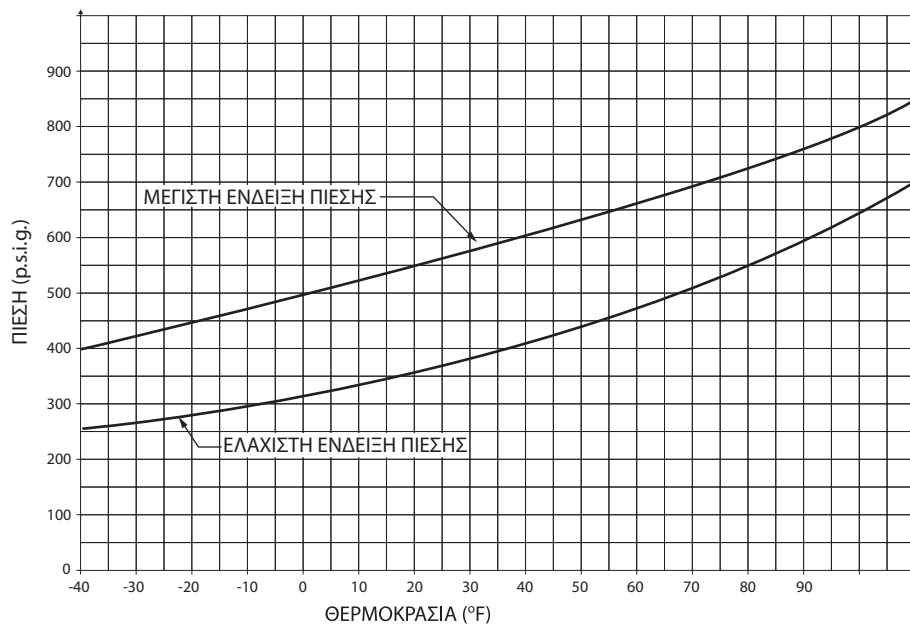
Ένα **τυπικό σύστημα πυρόσβεσης** αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- **Φιάλες** που περιέχουν το πυροσβεστικό αέριο υπό πίεση και οι οποίες τοποθετούνται 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. Εξασφαλίζεται, τέλος η 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 ψεκασμού** τοποθετημένα σε κατάλληλα σημεία, μέσα στο αεροδυναμικό κάλυμμα του κινητήρα, για την ομοιόμορφη κάλυψη του χώρου που καταλαμβάνει ο κινητήρας.
- Τις απαραίτητες **σωληνώσεις** που οδηγούν το πυροσβεστικό υγρό από τα δοχεία στα ακροφύσια ψεκασμού 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 τη λειτουργικότητα 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 τη 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 ταλαντώνονται 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 ΟΡΓΑΝΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Οι λειτουργίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν για τον έλεγχο ενός αεριοστροβίλου 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 τη 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 (αεριοστροβίλους ή ελικοστροβίλους), 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 **αεριοστροβίλους κινητήρες** ο έλεγχος της ώσης επιτυγχάνεται μέσω ενός **συστήματος ελέγχου ασύμμετρης ώσης** το οποίο λειτουργεί με σήμα πίεσης εξόδου καυσαερίων (**exhaust gas discharge pressure**) σαν παράμετρο για το συγχρονισμό τους. Στους **ελικοστροβίλους κινητήρες** η δημιουργία ασύμμετρης ώσης από τους 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 αεριοστροβίλων 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.

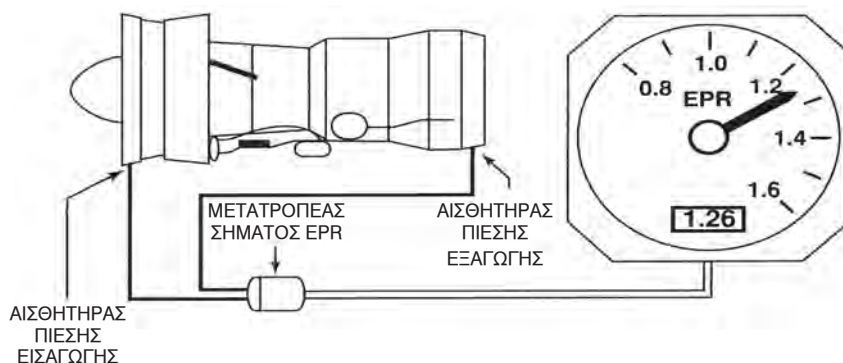
Στη συνέχεια θα δούμε αναλυτικά τον τρόπο λειτουργίας και τη χρησιμότητα των βασικότερων από τα παραπάνω όργανα.

3.11.2.1 Ένδειξη λόγου πίεσης κινητήρα

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

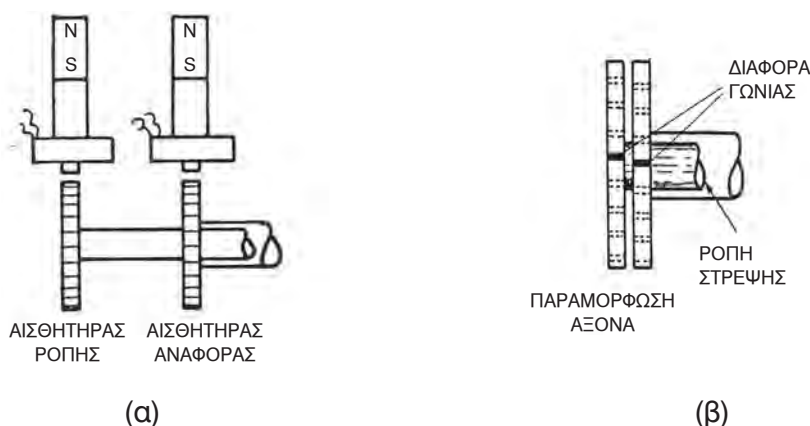
3.11.2.2 Ένδειξη ροπής αξονοστρόβιλου κινητήρα

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 καυσαέρια 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.

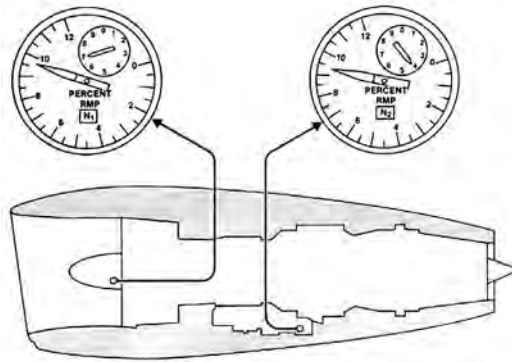


Σχήμα 3.58 Όργανο ένδειξης του λόγου πίεσης κινητήρα και μετρητική διάταξη

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 μετριέται 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).



**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 άξονές του μέσω του κιβωτίου μετάδοσης ισχύος αλλά και απευθείας από τον άξονα μέσω αισθητήρων στροφών (Σχήμα 3.60). Οι στροφές συμβολίζονται με το γράμμα N και οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρησή τους είναι σε στροφές ανά λεπτό (**revolutions per minute ή rpm**). Με N1 συμβολίζονται οι στροφές του άξονα που οδηγείται από το στρόβιλο υψηλής πίεσης, και διαδοχικά οι υπόλοιπες με N2 και N3 (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 3.61 α) είναι από τα πλέον σημαντικά σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα. Η θερμοκρασία αποτελεί ένα από τα λειτουργικά όρια του κινητήρα και χρησιμοποιείται για τον

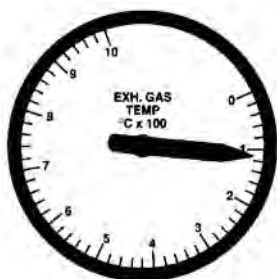
έλεγχο της θερμικής καταπόνησης του στροβίλου του καθώς και για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του. Η θερμοκρασία όμως που πρέπει να γνωρίζουμε και να ελέγχουμε με μεγάλη ακρίβεια είναι αυτή της **εισόδου των καυσαερίων στο στρόβιλο** γιατί σε αυτό το σημείο έχει τα υψηλότερα επίπεδα.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας σε αυτό το σημείο είναι πολύ δύσκολη, ειδικά για κινητήρες που λειτουργούν με μεγάλες θερμοκρασίες εισόδου στροβίλου 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.

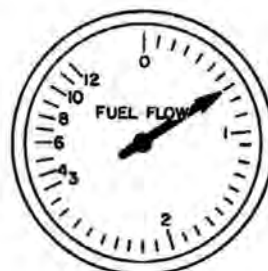
Για να έχουμε αντιπροσωπευτική μέτρηση της θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων χρησιμοποιούμε έναν αριθμό αρκετών θερμοζευγών τα οποία τοποθετούνται περιφερειακά του αγωγού εξαγωγής καυσαερίων και η θερμοκρασία που βλέπουμε στο όργανο ένδειξης είναι ο μέσος όρος των θερμοκρασιών που μετράνε τα θερμοζεύγη.

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 3.61(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)

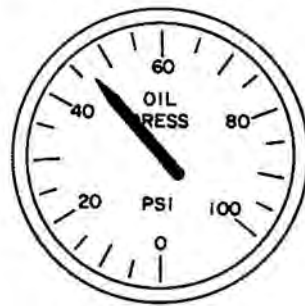


(β)

Σχήμα 3.61 (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 3.62) δείχνει την πίεση (συνήθως σε psi) που αναπτύσσει η αντλία παροχής του συστήματος από αισθητήρα που βρίσκεται πάνω στην αντλία.



Σχήμα 3.62 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 3η ή την 9η και στην 6η ή 12η 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 3.63).



Σχήμα 3.63 Οθόνη πολλαπλών ενδείξεων στοιχείων κινητήρα δικινητήριου αεροσκάφους

3.11.2.10 Καταγραφέας ενδείξεων οργάνων

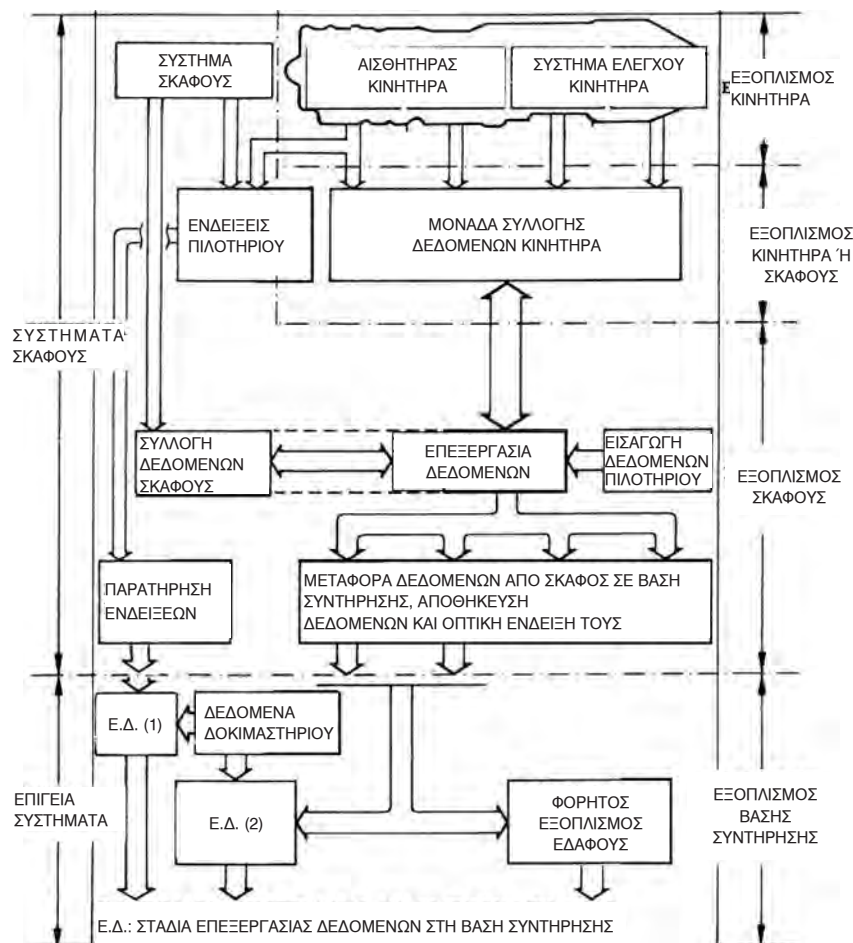
Το σύστημα καταγραφής των ενδείξεων των οργάνων του κινητήρα έχει ως σκοπό την καταγραφή των βασικών παραμέτρων του κινητήρα, όπως οι ώρες λειτουργίας, οι μέγιστες θερμοκρασίες εξαγωγής καυσαερίων, οι μέγιστες στροφές που έχει περιστραφεί κάθε άξονας του κινητήρα κ.ά.

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 πτή-

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

σης (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 τη μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας μπορεί να μειώσει τη διάρκεια ζωής των πτερυγίων κατά το ήμισυ.



Σχήμα 3.64 Σύστημα καταγραφής παραμέτρων κινητήρα.

Για ένα σύγχρονο πολιτικό αεροσκάφος που παρουσιάζει κάποια ένδειξη εκτός ορίων, υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας με τη βάση συντήρησής τους, είτε αυτό βρίσκεται εν πτήση ή σε αεροδρόμιο εκτός βάσης συντήρησης, να εκτιμηθεί η ένδειξη και αν είναι ασφαλές να συνεχιστεί η πτήση ή όχι.

Στο σχήμα Σχήμα 3.64 παρουσιάζεται σχηματικά ο τρόπος που λειτουργεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα καταγραφής παραμέτρων του κινητήρα από το σκάφος έως τη βάση συντήρησής του.

3.12 ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

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.

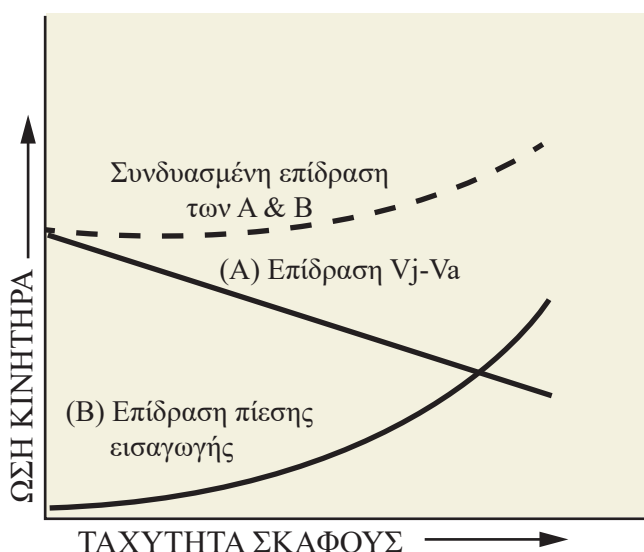
Η σχέση που μας δίνει την ώση ενός στροβιλοαντιδραστήρα, F είναι η ακόλουθη:

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

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 3.65 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.

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

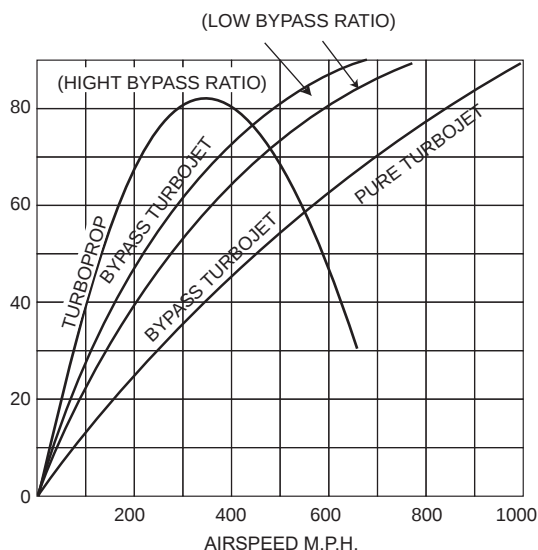
όπου P η ισχύς σε ίππους (hp), T η αναπτυσσόμενη ώση σε λίβρες (lbfs), V η ταχύτητα του αεροσκάφους σε μίλια ανά ώρα (mph).

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 I» 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 3.66 Προωθητική απόδοση κινητήρων αντίδρασης

Η προωθητική απόδοση όπως φαίνεται από το Σχήμα 3.66 αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας για το στροβiloαντιδραστήρα (turbojet) όπως και για τους στροβιλοανεμιστήρες υψηλού λόγου παράκαμψης (high bypass turbofan ή καταχρηστικά στο σχήμα turbojet) 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 αεριοστροβίλων 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 $kg/(s \cdot N)$ στο S.I. (και συννηθέστερα $kg/(h \cdot N)$) ή $lbm/(h \cdot lbf)$ στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων.

Η διατύπωση της κατανάλωσης καυσίμου των αεριοστροβίλων 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 ελικοστροβίλου 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 ελικοστροβίλου είναι μεγάλη σε μεσαίες ταχύτητες, ενώ μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας.

3.13 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

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 συμβουλευέται 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 ιδιοτεροτήτων 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 αναρρόφηση 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 εκκί-

νησης 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 τη 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 βρα-

δεία 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 τη **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.

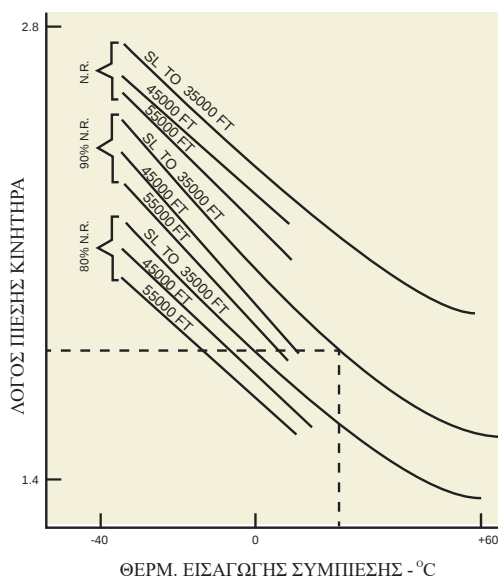
3.13.2.2 Απογείωση

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 άνοδο (**climb**). Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλων διαγραμμάτων του κατασκευαστή (Σχήμα 3.67) 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 3.67 Χαρακτηριστική καμπύλη ρύθμισης ώσης κινητήρα

3.13.2.4 Πλεύση

Οι καμπύλες που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της ώσης κατά τη διάρκεια της ανόδου χρησιμοποιούνται επίσης και για τη φάση της πλεύσης (**cruise**). Στα πολιτικά αεροσκάφη έχει ιδιαίτερη σημασία η ρύθμιση του κινητήρα για τη μέγιστη απόδοσή 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

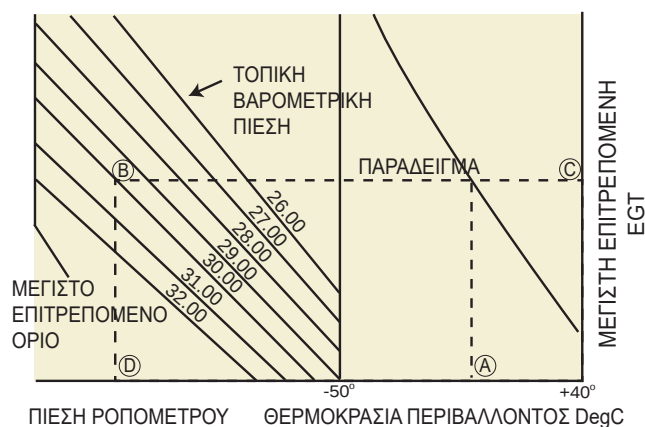
Οι διαδικασίες έκτακτης ανάγκης που μπορεί να αντιμετωπιστούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των κινητήρων αντίδρασης είναι σε **περίπτωση διακοπής της λειτουργίας του κινητήρα σε πτήση, εκδήλωσης πυρκαγιάς και αστοχίας ενός ή περισσότερων συστημάτων**. Στην περίπτωση διακοπής της λειτουργίας χωρίς 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 περισσότεροι 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 3.68 Καμπύλη απογείωσης ελικοστροβίλου – αξονοστροβίλου
κινητήρα

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με τη βοήθεια της καμπύλης που φαίνεται στο σχήμα Σχήμα 3.68. 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 αξονοστροβίλου 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.

Ανακεφαλαίωση

- Η χρήση των τεχνικών εγχειριδίων είναι απαραίτητη κατά τη διαδικασία της συντήρησης ενός αεροστρόβιλου κινητήρα για την ασφαλή εκτέλεση των εργασιών για τους ακόλουθους λόγους:
 1. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας της κατασκευής των αεροστρόβιλων 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.
 3. Η συντήρηση εργοστασιακού επιπέδου (depot ή D – level maintenance), για τη γενική επισκευή, η οποία πραγματοποιείται σε εξουσιοδοτημένο επισκευαστικό κέντρο.
- Η συντήρηση τμημάτων αεροστρόβιλου 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 τη 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 τη 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 γρاناζωτή 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 πρέπει να πληροί έχει ένα **καύσιμο** για να είναι κατάλληλο για χρήση σε έναν αεριοστρόβιλο αεροπορικό κινητήρα είναι οι ακόλουθες:

Χαμηλό ιξώδες / μέγιστη δυνατή θερμιδική 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
- 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 στο 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 στροφών 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 αεριοστροβίλων 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 αξονοστροβίλο
- 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 τη 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 περιλαμβάνουν τα συστήματα ανίχνευσης και τα 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 τη 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)

Ερωτήσεις

(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 αεριοστρόβilo 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 αφαίρεση του κινητήρα από το αεροσκάφος με σκοπό τη μερική 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 αεριοστροβίλων κινητήρων)

1. Αναφέρατε τα πιο συνηθισμένα ευρήματα που εντοπίζονται κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης του συμπιεστή ενός αεριοστροβίλου 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:
Α) την αποφυγή υπερθέρμανσης των πτερυγίων.
Β) 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 αεριοστροβίλων κινητήρων; Ποιες 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 ποιον 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 πώς 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 τη 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 ποια 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 αεριοστροβίλους κινητήρες. Ποιος παράγοντας συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του αεριοστροβίλου κινητήρα σε σχέση με τον εμβολοφόρο;
2. Αναφέρατε τις μεθόδους ψύξης των σταθερών και κινητών πτερυγίων του στροβίλου των αεριοστροβίλων κινητήρων.
3. Ποια είναι η βασική προϋπόθεση για να λειτουργήσει ο μηχανισμός ψύξης των πτερυγίων τα οποία διαθέτουν οπές ψύξης στην επιφάνειά τους;
4. Ποιος είναι ο λόγος που απαιτείται η μεγαλύτερη επιτρεπόμενη θερμοκρασία εισαγωγής στροβίλου στους αεριοστροβίλους κινητήρες;
5. Είναι απαραίτητη η ψύξη των δίσκων του στροβίλου και για ποιο λόγο;

(3.6 Σύστημα καυσίμου και καύσιμα)

1. Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο προκαλεί οξειδωση στα μέρη του κινητήρα που βρίσκονται στο ρεύμα των καυσαερίων δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια της καύσης παράγεται θεϊκό 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 στη 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 την εκκίνηση αεριοστρόβιλων κινητήρων.
4. Ο ηλεκτρικός εκκινητής – γεννήτρια συνδυάζει τη 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 αεριοστροβίλου κινητήρα;
5. Για ποιο λόγο πρέπει ο εκκινητής ενός αεριοστροβίλου 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 αεριοστροβίλο κινητήρα;
2. Ποια είναι η φιλοσοφία λειτουργίας των συστημάτων αντιπάγωσης και ποια των συστημάτων αποπάγωσης;
3. Ο σχηματισμός πάγου στην εισαγωγή ενός αεριοστροβίλου κινητήρα μπορεί να προκαλέσει:
 - A) Την αύξηση της ώσης του κινητήρα.
 - B) Τη μείωση της θερμοκρασίας εξαγωγής καυσαερίων.
 - Γ) Τη μείωση της ώσης του κινητήρα.
 - Δ) Την αύξηση της ποσότητας λιπαντικού στη δεξαμενή του κινητήρα.
4. Περιγράψτε τα βασικά εξαρτήματα ενός τυπικού αντιπαγωτικού συστήματος αεριοστροβίλου 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 αεριοστροβίλους κινητήρες είναι μόνιμα ή φορητά;
2. Πόσες και ποιες είναι οι ζώνες πυρόσβεσης που διαθέτουν οι αεριοστροβίλοι 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 έναν αεριοστροβίλο 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 αεριοστροβίλου κινητήρα)

1. Ο ρυθμιστής καυσίμου εκτός από τη θέση του μοχλού ισχύος διορθώνει τη ροή του καυσίμου με τις ακόλουθες παραμέτρους:
Α) Τη στατική πίεση του αέρα.
Β) Την περιστροφική ταχύτητα του κινητήρα.
Γ) Τη 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 αεριοστροβίλο κινητήρα;
4. Με ποιον τρόπο λειτουργεί το όργανο μέτρησης της ώσης του αεριοστροβίλου κινητήρα;
5. Περιγράψτε την αρχή λειτουργίας της διάταξης μέτρησης της ροπής ενός αξονοστροβίλου 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 τη 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 προτείνετε 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 ☐

Εργασίες - Δραστηριότητες

1. Αναζητήστε πληροφορίες σχετικά με τους τύπους λιπαντικών και καυσίμων που χρησιμοποιούνται στους αεριοστροβίλους 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 αεριοστροβίλων κινητήρων:
 - Σχετικά με τους υπάρχοντες τύπους επίγειων μονάδων και του τύπους 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 στην 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.

Εργαστήρια

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 πτερύγια στο δίσκο του συμπιεστή 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 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 (1η – 2η)¹, το συμπιεστή χαμηλής πίεσης 6 βαθμίδων (4η – 9η)² και το συμπιεστή υψηλής πίεσης 7 βαθμίδων (10η – 16η).

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 τη διαδικασία της συναρμολό-

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. 2η βαθμίδα συμπιεστή χαμηλής πίεσης).

² Η 3η βαθμίδα δεν υπάρχει. Τη θέση της καταλαμβάνει ο δίσκος απόστασης 2ης – 4ης βαθμίδας.

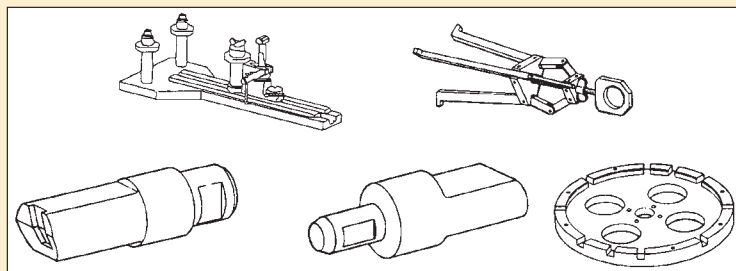
γησης, ειδικές μηχανές για την τοποθέτηση των κινητών πτερυγίων στους δίσκους, ειδικές μηχανές ζυγοστάθμισης, γενικά εργαλεία (συγκράτησης, μέτρησης, χάραξης, κοπής, κρούσης), μικρός γερανός με σχοινιά ανάρτησης («σαμπάνια») ή αλυσίδες ή ιμάντες βαρούλκων, κηροζίνη ή άλλο κατάλληλο καθαριστικό διάλυμα.

Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας του Παραρτήματος Β.

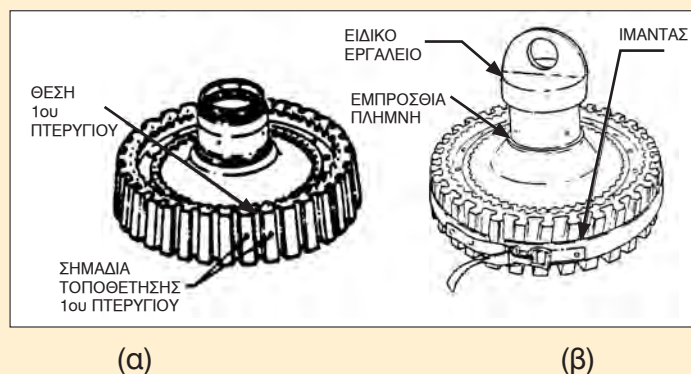
Πορεία εργασίας

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 3.69).
 - ▶ 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 3.69 Ειδικά εργαλεία

- Η θέση στην οποία τοποθετείται το πρώτο κινητό πτερύγιο στο δίσκο του στροφείου οριοθετείται από ειδικά σημάδια (Σχήμα 3.70α). Τοποθετήστε το κατάλληλο ειδικό εργαλείο στην πλήμνη του συμπιεστή και έναν ιμάντα στην περιφέρειά της (Σχήμα 3.70β). Ανασηκώστε το δίσκο με το γερανό και τοποθετήστε τον στον πάγκο εργασίας, ή σε κατάλληλο υποδοχέα. Απομακρύνετε το γερανό.



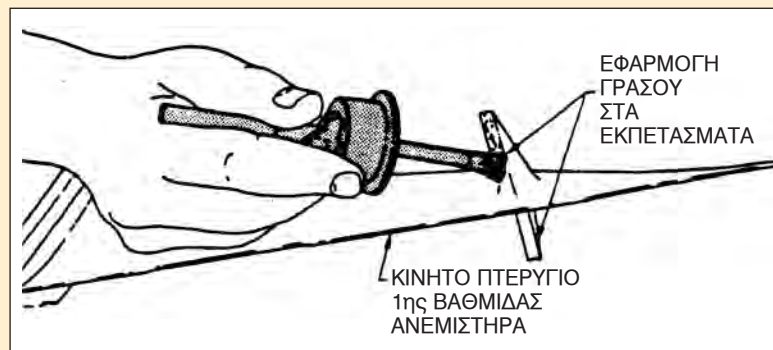
Σχήμα 3.70 Δίσκος συμπιεστή χαμηλής πίεσης

- Απομονώστε τα κινητά πτερύγια της 1ης 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 3.71α).
- 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 3.71β).
- Ξεκινήστε την τοποθέτηση των πτερυγίων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.72. 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 3.72).
- Αφαιρέστε τον ιμάντα από την πλήμνη. Χρησιμοποιώντας πλαστική ματσόλα χτυπήστε τις ρίζες των πτερυγίων ώστε αυτά να «καθήσουν» στη θέση τους. Εξασφαλίστε την καλή τοποθέτηση των πτερυγίων, ελέγχοντας ότι η ρίζα του κάθε πτερυγίου βρίσκεται «πρόσωπο» με την επιφάνεια της πλήμνης.

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



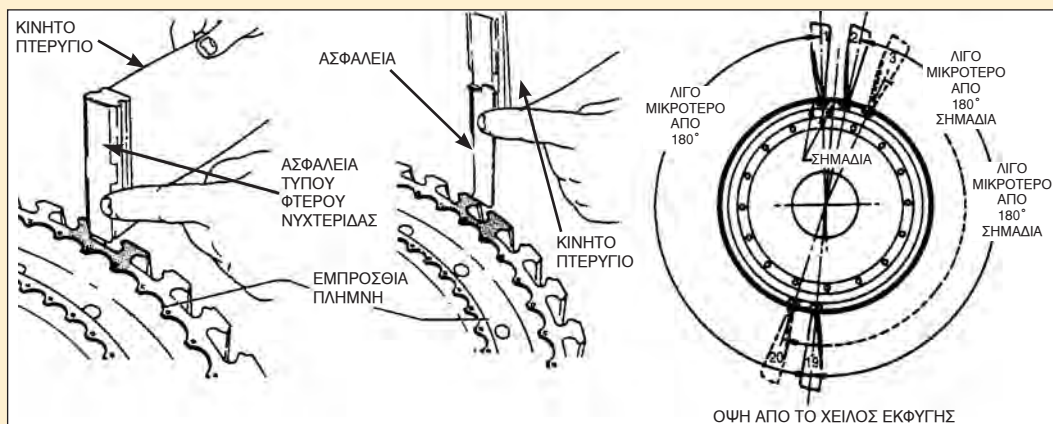
(α)



(β)

Σχήμα 3.71 Κινητά πτερύγια 1ης βαθμίδας ανεμιστήρα

- Τοποθετήστε, 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.



(α)

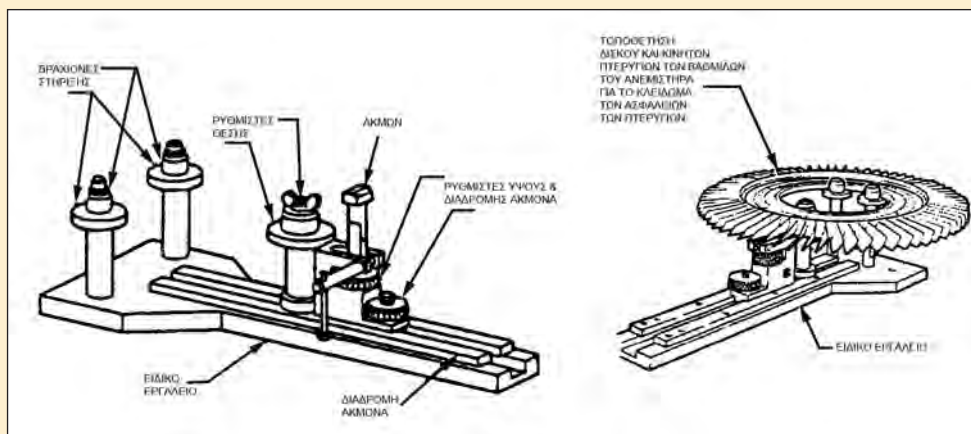
(β)

Σχήμα 3.72 Τοποθέτηση κινητών πτερυγίων ανεμιστήρα

- Τέλος, «κλειδώστε» τις ασφάλειες των πτερυγίων. Χρησιμοποιήστε το κατάλληλο ειδικό εργαλείο για την εργασία αυτήν, Σχήμα 3.73α. Συμβου-

λευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για τους ελέγχους που πρέπει να κάνετε στο εργαλείο αυτό πριν τη χρήση του.

- Τοποθετήστε το δίσκο και τα πτερύγια στο ειδικό εργαλείο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.73β.

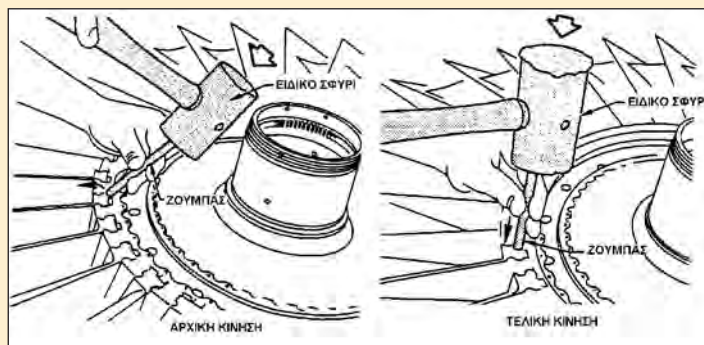


(α)

(β)

Σχήμα 3.73 (α) Ειδικό εργαλείο για την ασφάλιση πτερυγίων, (β) τοποθέτηση δίσκου και πτερυγίων σε ειδική βάση

- Ακολουθήστε τις οδηγίες του εγχειριδίου και «κλειδώστε» τις ασφάλειες των πτερυγίων χρησιμοποιώντας ειδικό σφυρί και ζουμπά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.74α. Ελέγξτε τις ανοχές των πτερυγίων και τις κινήσεις που είναι σε θέση να πραγματοποιούν μετά την εργασία της ασφάλισης (Σχήμα 3.74). 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 3.75.
- Η ίδια διαδικασία με την παραπάνω θα ακολουθηθεί για την τοποθέτηση των κινητών πτερυγίων της 2ης βαθμίδας του ανεμιστήρα και των βαθμίδων 4 έως 9 του συμπιεστή χαμηλής πίεσης. Πραγματοποιήστε τους ίδιους ελέγχους όπως στα πτερύγια της 1ης βαθμίδας του ανεμιστήρα. Εφαρμόστε ειδικό γράσο στα εκπετάσματα που φέρουν τα πτερύγια της 2ης βαθμίδας.

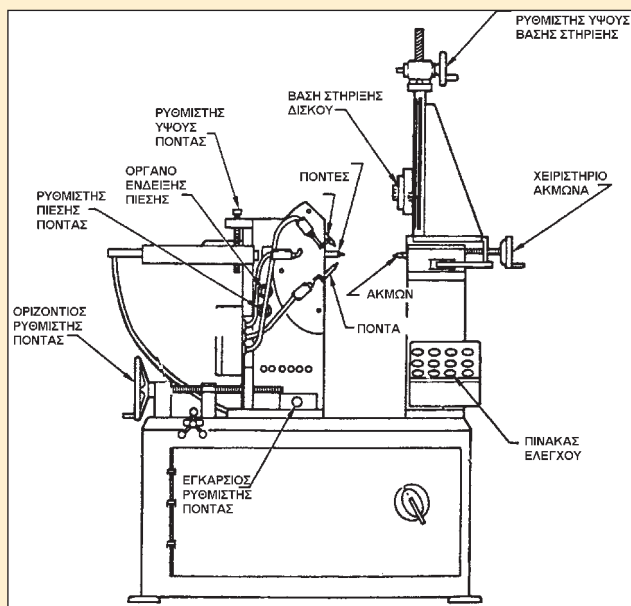


(α)



(β)

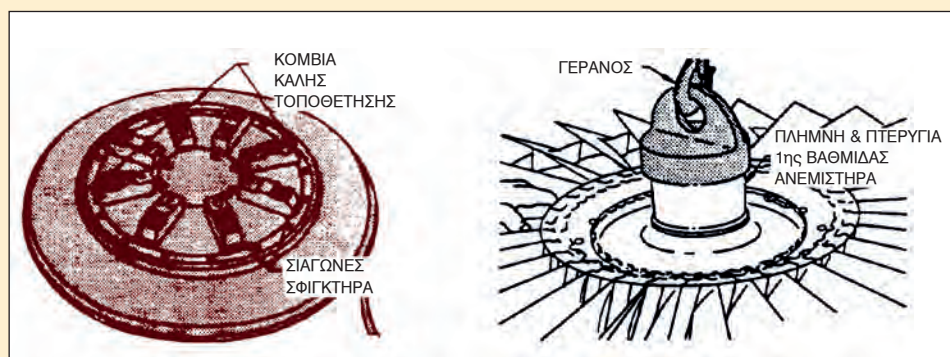
Σχήμα 3.74 (α) Ασφάλιση κινητών πτερυγίων, (β) περιοχές ελέγχου των κινητών πτερυγίων μετά την ασφάλισή τους στο δίσκο



Σχήμα 3.75 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.
- Τοποθετήστε το δίσκο με τα κινητά πτερύγια της 1η βαθμίδας του ανεμιστήρα στο σφιγκτήρα (τσοκ) του μηχανήματος της στατικής ζυγοστάθμισης, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο και το γερανό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.76.
- 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.



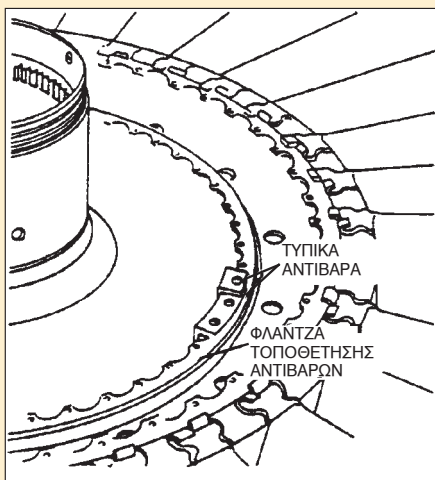
Σχήμα 3.76 Τοποθέτηση του δίσκου και των πτερυγίων της 1ης βαθμίδας στη μηχανή στατικής ζυγοστάθμισης

- Τοποθετήστε ένα έως τέσσερα αντίβαρα ζυγοστάθμισης, στην ειδική υποδοχή της φλάντζας της πλήμνης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.77,

¹ Βλέπε και §3.3.5.

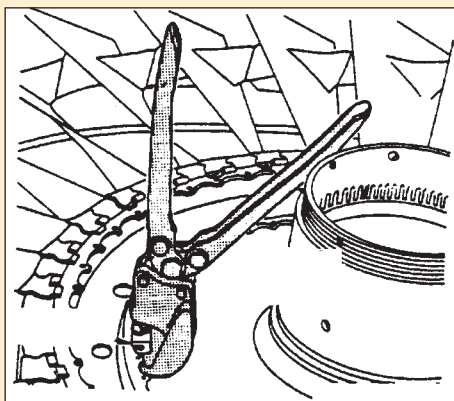
σύμφωνα φυσικά με τις οδηγίες του εγχειριδίου. Ασφαλίστε τα προσωρινά με πείρους και ταινία.

- 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.



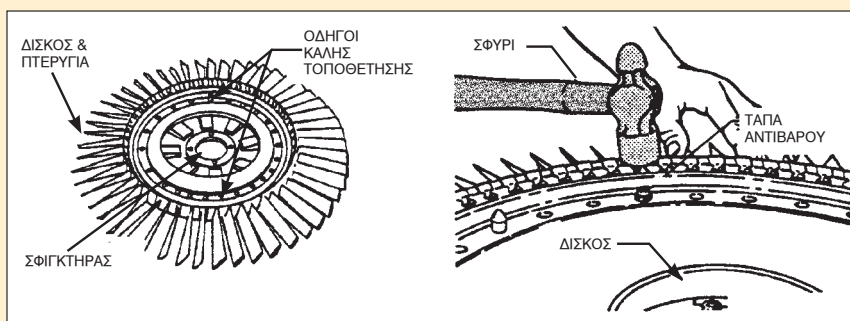
Σχήμα 3.77 Τοποθέτηση αντιβάρων

- Αφαιρέστε την ταινία από τα πτερύγια. Ασφαλίστε τα αντίβαρα ζυγοστάθμισης στην τελική τους θέση χρησιμοποιώντας ειδικό εργαλείο για τους πείρους ασφάλισης (Σχήμα 3.78). Επιθεωρήστε τους πείρους με μεγεθυντικό φακό 10X. Στην περίπτωση που έχει δημιουργηθεί ρωγμή σε κάποιον από αυτούς, αντικαταστήστε τον.



Σχήμα 3.78 Ασφάλιση των αντιβάρων ζυγοστάθμισης

- Τοποθετήστε το δίσκο και τα πτερύγια της 2ης βαθμίδας του ανεμιστήρα στο σφιγκτήρα (τσοκ) του μηχανήματος της στατικής ζυγοστάθμισης, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο και το γερανό. Ακολουθήστε 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.



(α)

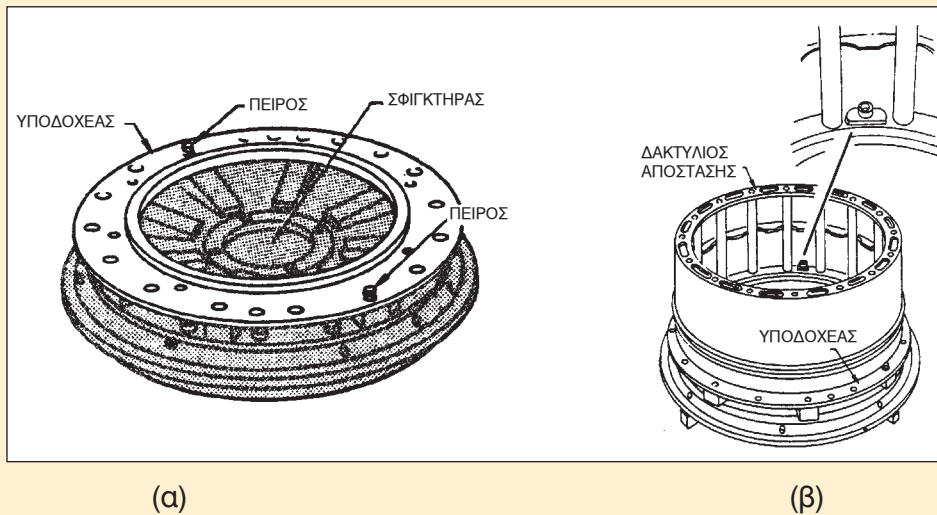
(β)

Σχήμα 3.79 Διαδικασία στατικής ζυγοστάθμισης για τις βαθμίδες του συμπιεστή χαμηλής πίεσης

- Στη συνέχεια, τοποθετήστε στο σφιγκτήρα (τσοκ) του μηχανήματος το δίσκο και τα κινητά πτερύγια κάθε μίας από τις βαθμίδες του συμπιεστή χαμηλής πίεσης (4η – 9η) ξεχωριστά, Σχήμα 3.79α. Ακολουθήστε την παραπάνω διαδικασία, με τη βοήθεια του εγχειριδίου για τον καθορισμό των αντιβάρων ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.79β) ανάλογα με τα καθορισμένα, για κάθε μία από τις βαθμίδες, όρια αζυγοσταθμίας.

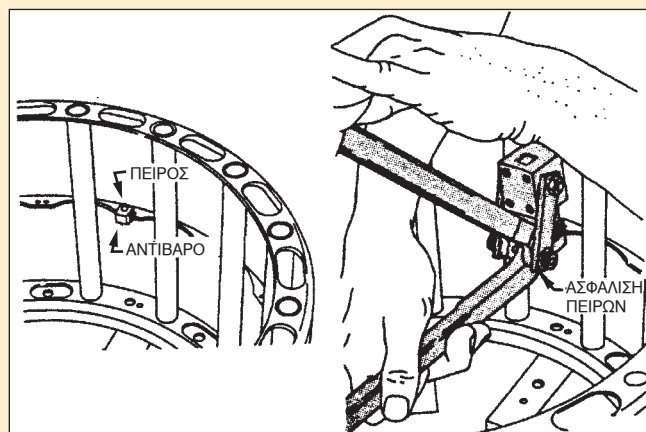
5. ΣΤΑΤΙΚΗ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΒΑΘΜΙΔΑΣ

- Τοποθετήστε τον κατάλληλο υποδοχέα στο σφιγκτήρα του μηχανήματος στατικής ζυγοστάθμισης για την υποδοχή του δακτυλίου απόστασης της πρώτης βαθμίδας του ανεμιστήρα, Σχήμα 3.80α.
- Τοποθετήστε το δακτύλιο στον υποδοχέα, Σχήμα 3.80β.
- 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.

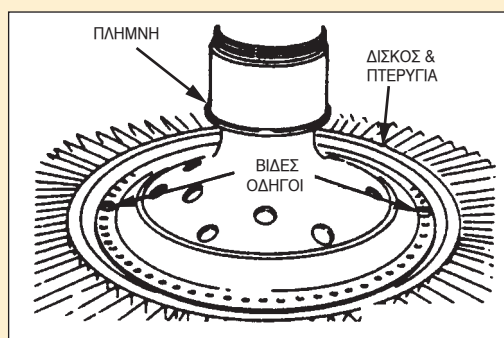


Σχήμα 3.80 Προετοιμασία για τη ζυγοστάθμιση δακτυλίου απόστασης

- ▶ Τοποθετήστε 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 μηχάνημα.
- ▶ Αφαιρέστε την ταινία από τους πείρους. Ασφαλίστε τα βάρη ζυγοστάθμισης στην τελική τους θέση χρησιμοποιώντας ειδικό εργαλείο για τους πείρους ασφάλισης (Σχήμα 3.81). Επιθεωρήστε 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 2ης 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 πλήρη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης, τον αντίστοιχο δίσκο και τον αντίστοιχο δακτύλιο απόστασης (Σχήμα 3.82).



Σχήμα 3.81 Διαδικασία ζυγοστάθμισης δακτυλίου

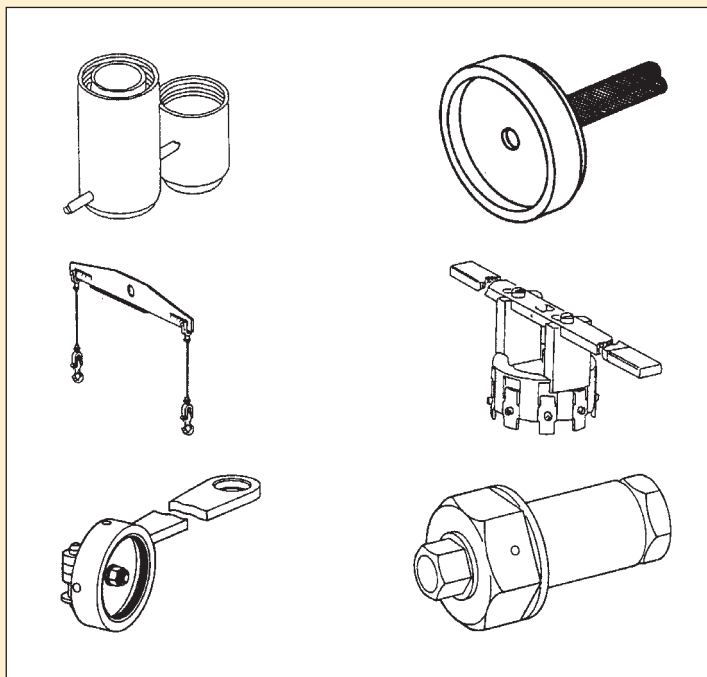


Σχήμα 3.82 Τοποθέτηση της πλήμνης στο δίσκο

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 3.83).
- ▶ Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία και την αντλία πίεσης τοποθετήστε το σύνδεσμο και τα υπόλοιπα εξαρτήματα στην πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.84¹.

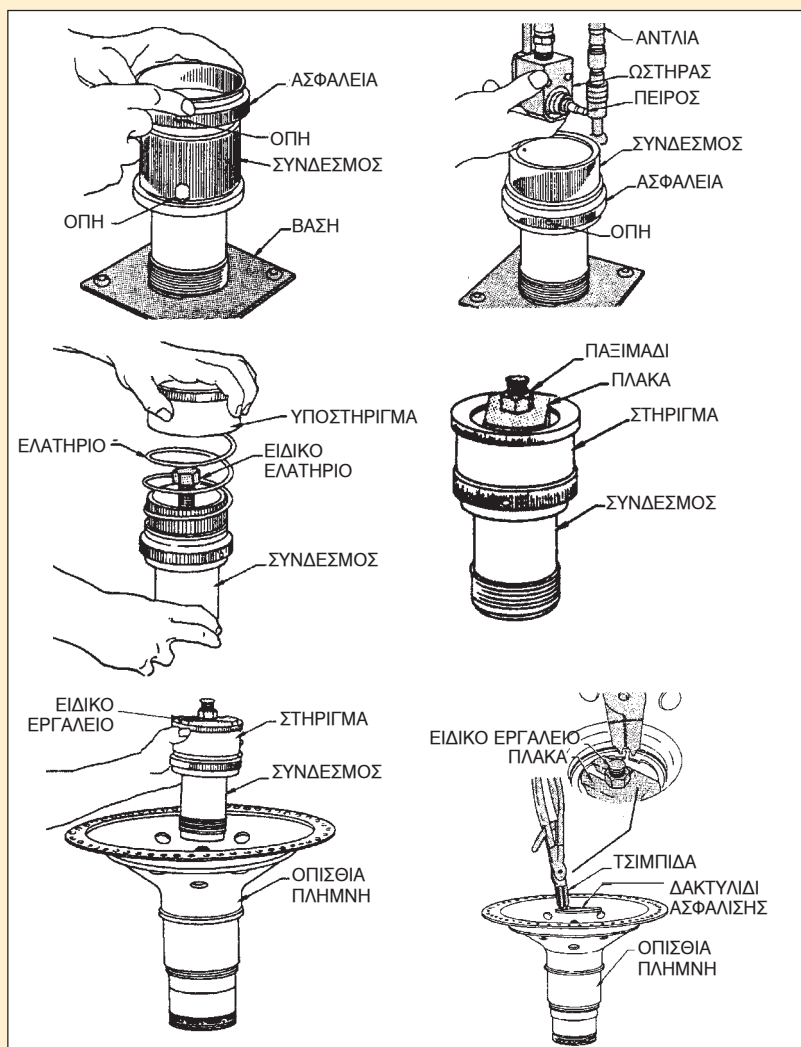
¹ Ο σύνδεσμος εξασφαλίζει τη μετάδοση κίνησης από τον άξονα του στροβίλου χαμηλής πίεσης στην οπίσθια πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης.



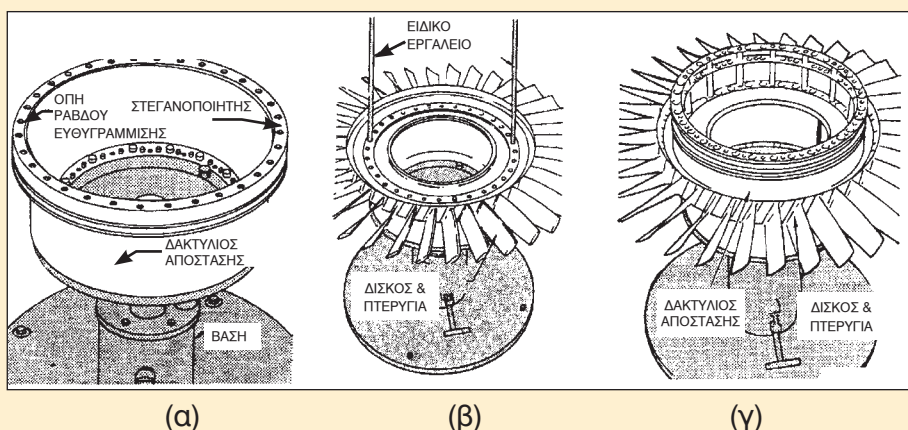
Σχήμα 3.83 Ειδικά εργαλεία

- ▶ 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.
- ▶ Τοποθετήστε το δακτύλιο απόστασης 2ης – 4ης βαθμίδας στο κατάλληλο ειδικό εργαλείο και τοποθετήστε τον στεγανοποιητή αέρα (air seal) (Σχήμα 3.85α). Χρησιμοποιήστε δύο ή τέσσερις ειδικές ράβδους ευθυγράμμισης για τη σωστή τοποθέτηση του στεγανοποιητή.
- ▶ Αφαιρέστε τις ράβδους και τοποθετήστε το δίσκο και τα κινητά πτερύγια της 4ης 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 τοποθετήστε το δακτύλιο απόστασης 4ης – 5ης βαθμίδας αφού τις τοποθετήσετε ξανά (Σχήμα 3.85γ).

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



Σχήμα 3.84 Τοποθέτηση εξαρτημάτων στην πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης



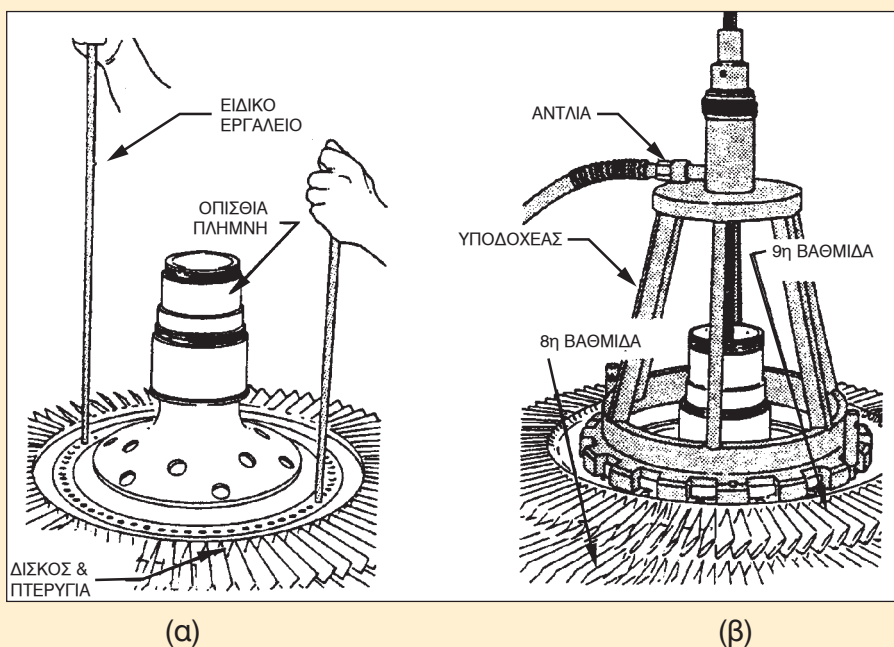
(α)

(β)

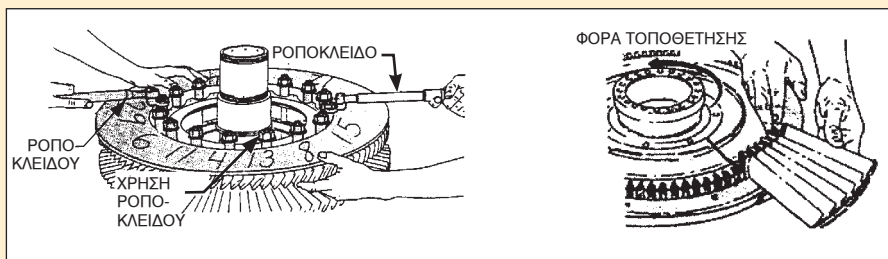
(γ)

Σχήμα 3.85 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, τοποθετήστε 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, τοποθετήστε την πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης, το δίσκο και τα κινητά πτερύγια της 7ης βαθμίδας (Σχήμα 3.86α).
- ▶ Στη συνέχεια, ακολουθώντας την ίδια μέθοδο όπως στις βαθμίδες 5 έως 7, τοποθετήστε τους δίσκους και τα κινητά πτερύγια των βαθμίδων 8 και 9 με τους αντίστοιχους δακτυλίους απόστασης.
- ▶ Ακολουθήστε τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής και χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία και την αντλία πίεσης συσφίξτε τους δίσκους και τους δακτυλίους απόστασης (Σχήμα 3.86β).
- ▶ Τοποθετήστε ράβδους συγκράτησης με τους αντίστοιχους δακτυλίους 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 3.87.

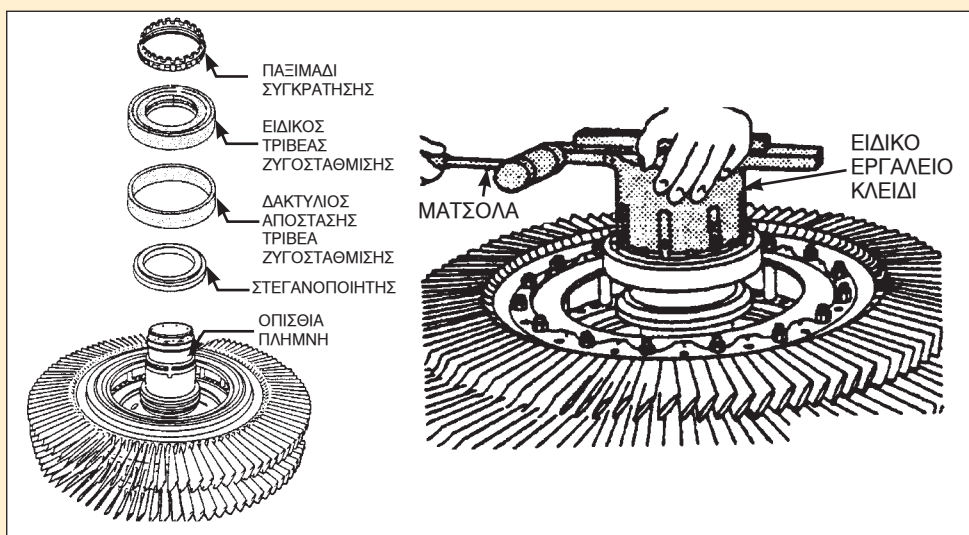


Σχήμα 3.86 (α) Τοποθέτηση δίσκου και κινητών πτερυγίων 7ης βαθμίδας, β) σύσφιγξη δίσκων και δακτυλίων απόστασης



Σχήμα 3.87 Τοποθέτηση εξαρτημάτων

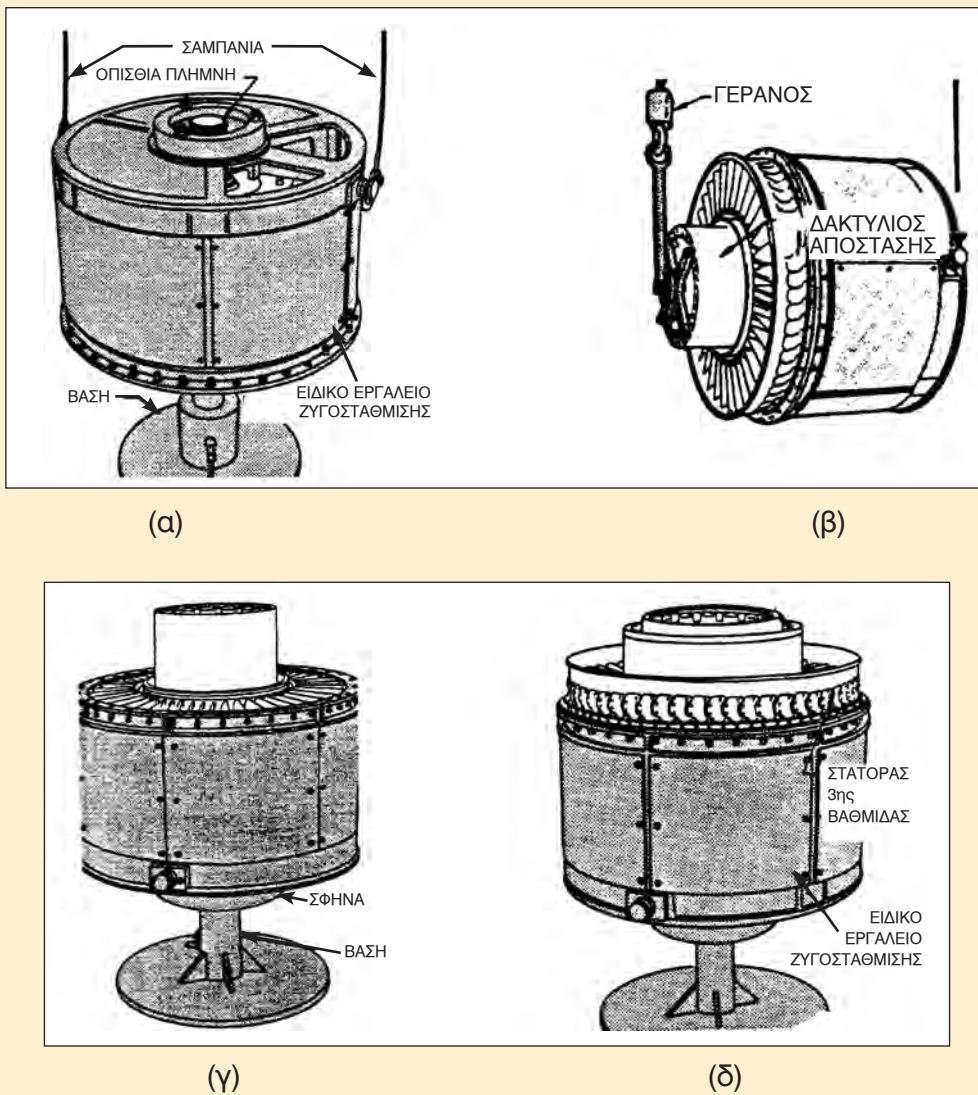
- Στη συνέχεια, θερμάνετε τον οπίσθιο ειδικό τριβέα ζυγοστάθμισης (balance bearing) και τοποθετήστε τον, μαζί με τα υπόλοιπα εξαρτήματα, στην πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.88.



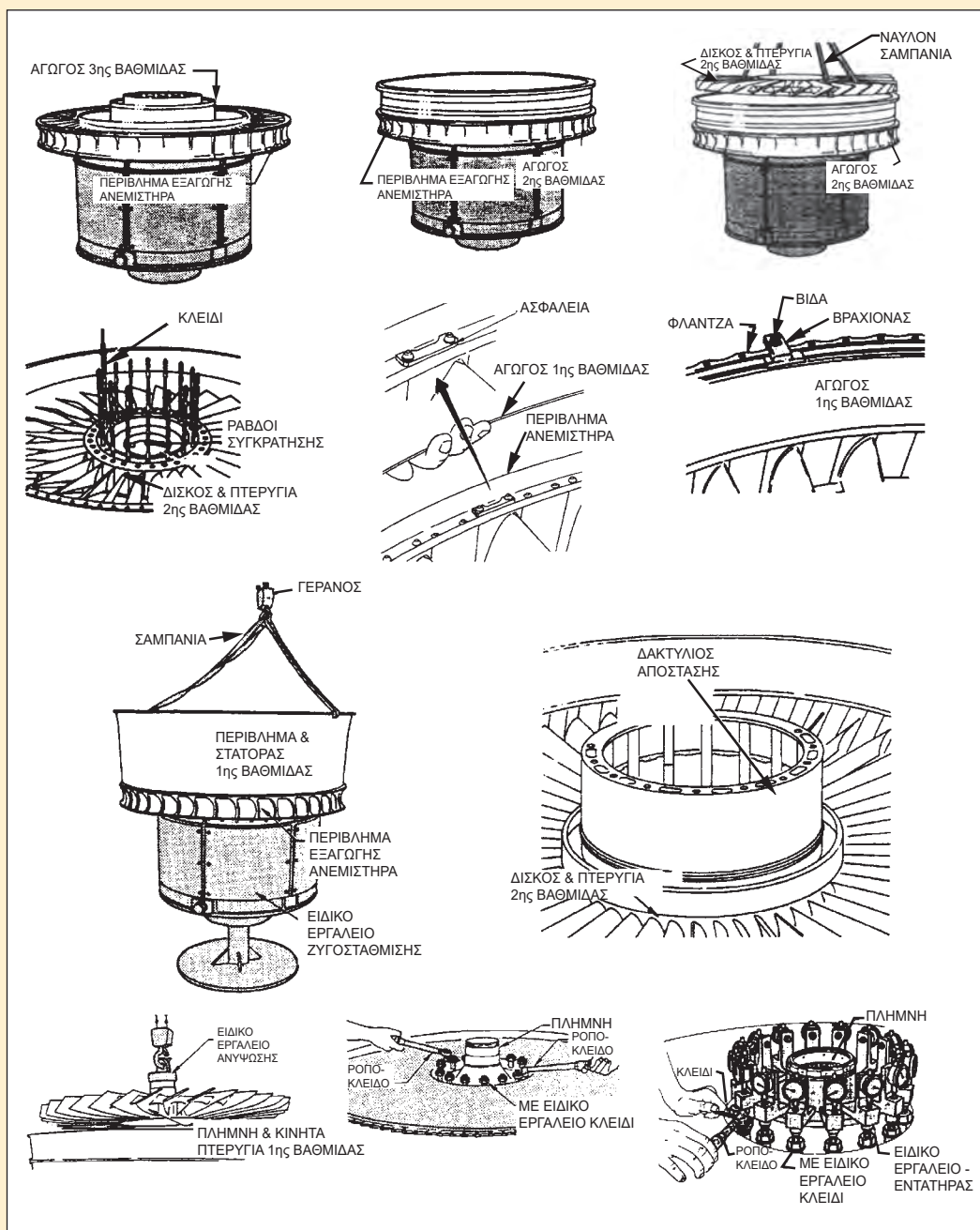
Σχήμα 3.88 Τοποθέτηση του ειδικού τριβέα ζυγοστάθμισης στο δίσκο

- Τοποθετήστε το περίβλημα του εξαρτήματος ζυγοστάθμισης πάνω από την πλήμνη, μετακινήστε το συγκρότημα με τη βοήθεια του γερανού και τοποθετήστε τα στην κατάλληλη βάση (Σχήμα 3.89 (α),(β),(γ)). Κατόπιν, τοποθετήστε τα σταθερά πτερύγια της 2ης βαθμίδας (Σχήμα 3.89δ).
- Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής, τοποθετήστε διαδοχικά, με τη βοήθεια του γερανού, το περίβλημα εξαγωγής και το ρότορα της 2ης βαθμίδας του ανεμιστήρα, το περίβλημα και το στάτορα της 1ης βαθμίδας του ανεμιστήρα και το ρότορα της 1ης βαθμίδας του ανεμιστήρα. Συσφίγξτε τα παξιμάδια των ράβδων συγκράτησης. Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στο Σχήμα 3.90.

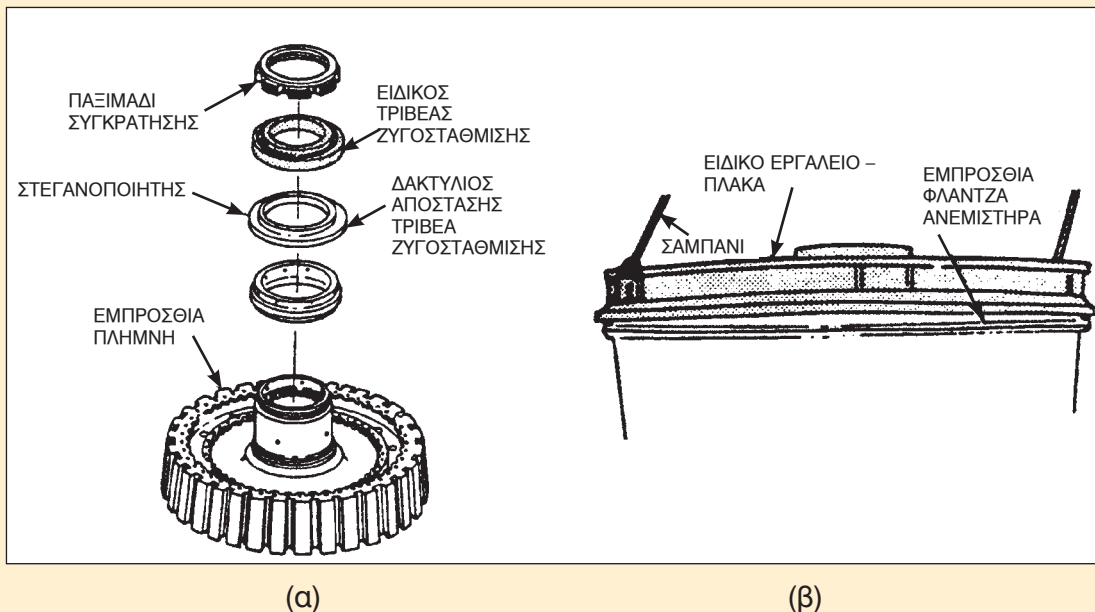
- Αφού συναρμολογηθούν τα παραπάνω εξαρτήματα, τοποθετήστε τον εμπρόσθιο ειδικό τριβέα ζυγοστάθμισης με την ίδια διαδικασία που τοποθετήσατε τον οπίσθιο τριβέα (Σχήμα 3.91α). Τέλος, τοποθετήστε την εμπρόσθια πλάκα ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.93β).



Σχήμα 3.89 (α), (β), (γ) Τοποθέτηση των εξαρτημάτων σε ειδική βάση, (δ) Τοποθέτηση των σταθερών πτερυγίων της 2ης βαθμίδας



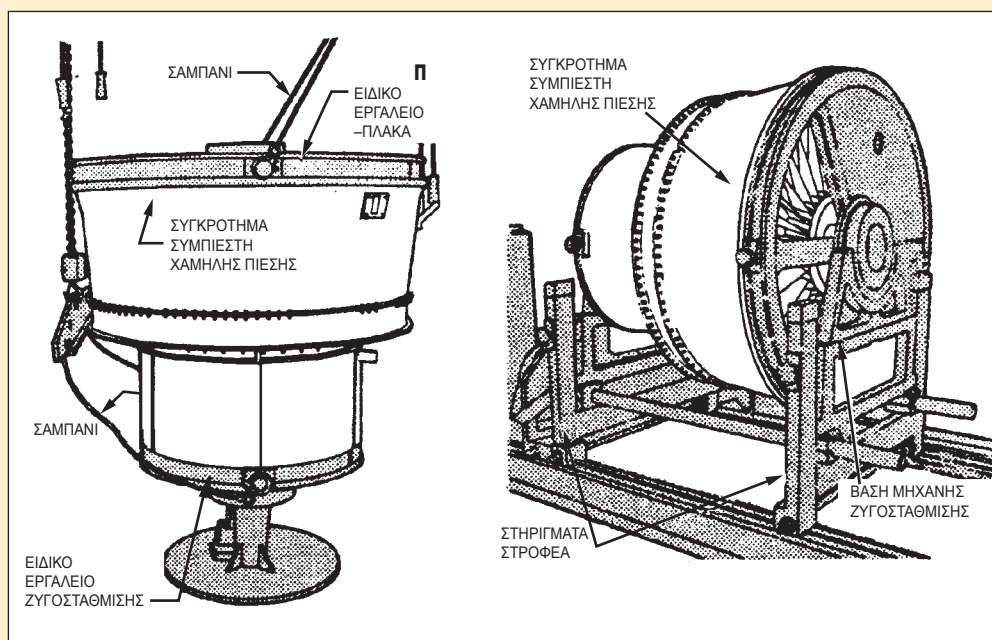
Σχήμα 3.90 Τοποθέτηση κινητών και σταθερών βαθμίδων



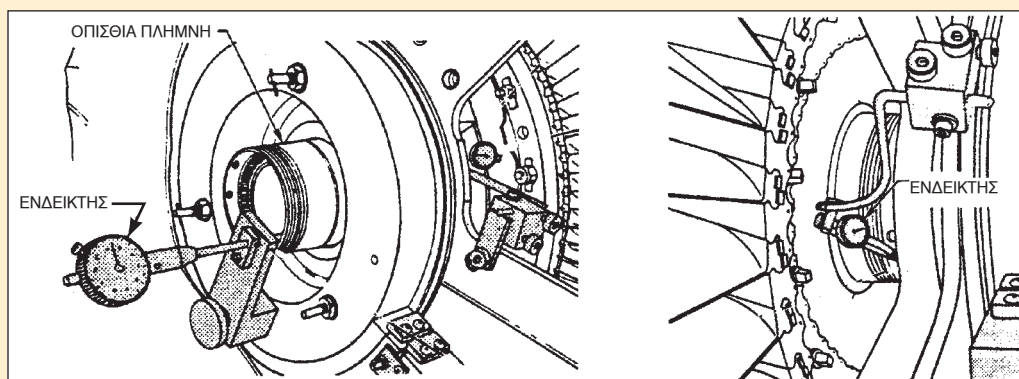
Σχήμα 3.91 Τοποθέτηση εξαρτημάτων για τη διαδικασία της δυναμικής ζυγοστάθμισης

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 3.92).
- ▶ 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 3.93. Στην περίπτωση απόκλισης πέραν των επιτρεπόμενων ορίων, πραγματοποιήστε τις διορθωτικές κινήσεις που προβλέπονται στο εγχειρίδιο.

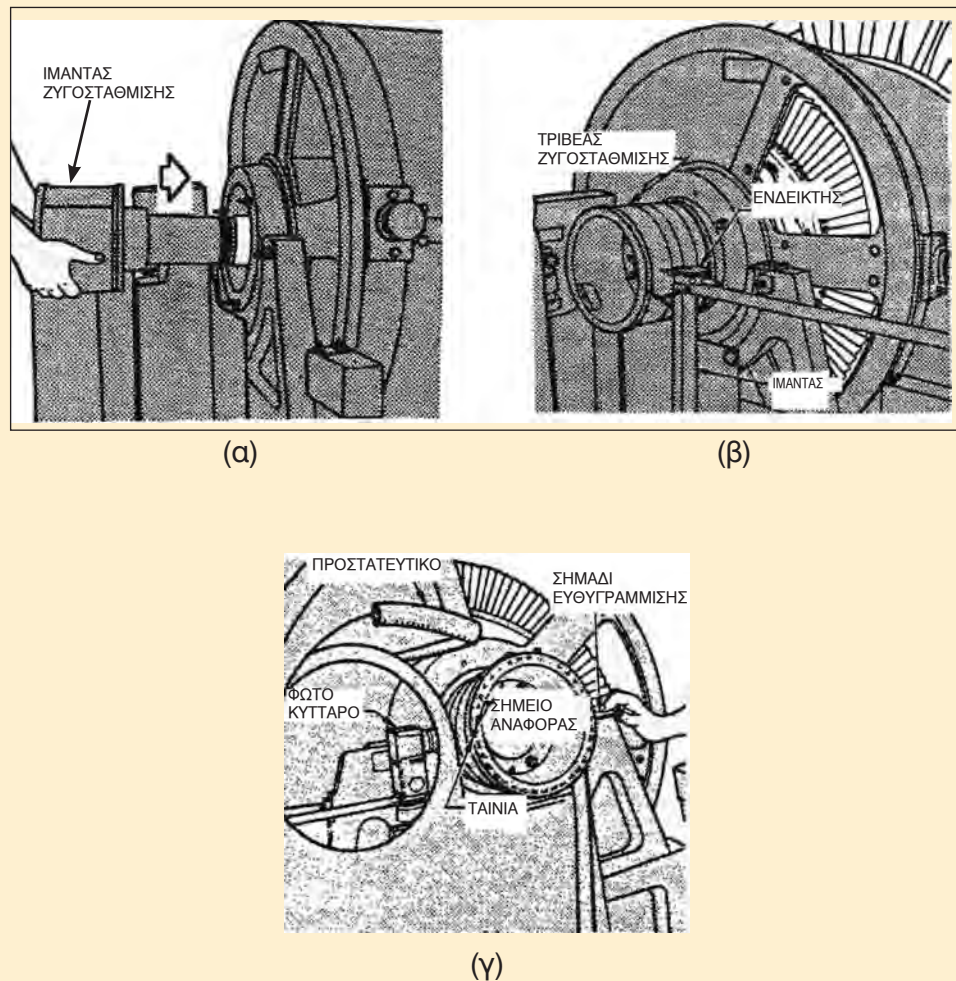


Σχήμα 3.92 Τοποθέτηση του συγκροτήματος ανεμιστήρα και συμπιεστή χαμηλής πίεσης στο μηχάνημα δυναμικής ζυγοστάθμισης



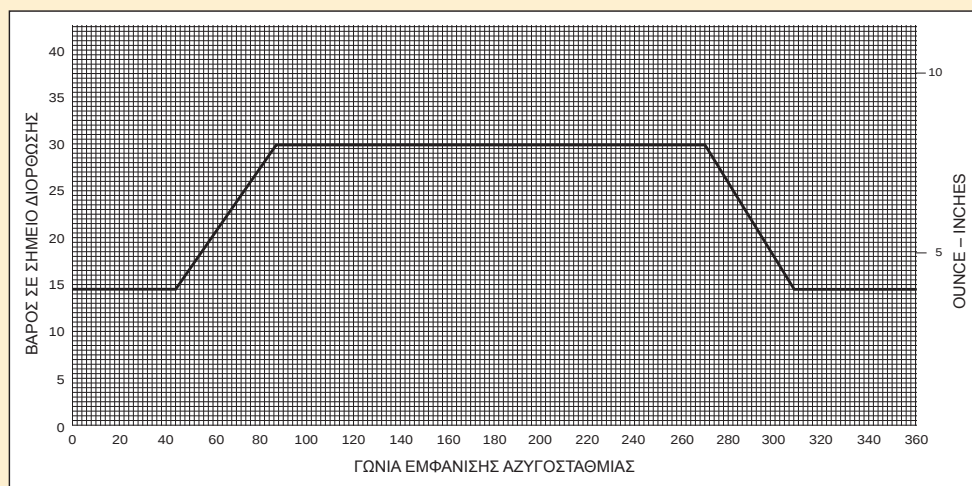
Σχήμα 3.93 Μετρήσεις οριζόντιων αποκλίσεων πριν τη δυναμική ζυγοστάθμιση

- Τοποθετήστε την τροχαλία ζυγοστάθμισης και τον οδηγό ιμάντα στην πλήμνη του συμπιεστή χαμηλής πίεσης (Σχήμα 3.94α) και μετρήστε την οριζόντια απόκλισή της (Σχήμα 3.94β). Τοποθετήστε την ειδική ασημένια ταινία στην περιφέρεια της τροχαλίας, ευθυγραμμίζοντάς τη με το φωτοκύτταρο του μηχανήματος ζυγοστάθμισης, Σχήμα 3.94γ. Κλείστε το κάλυμμα προστασίας.



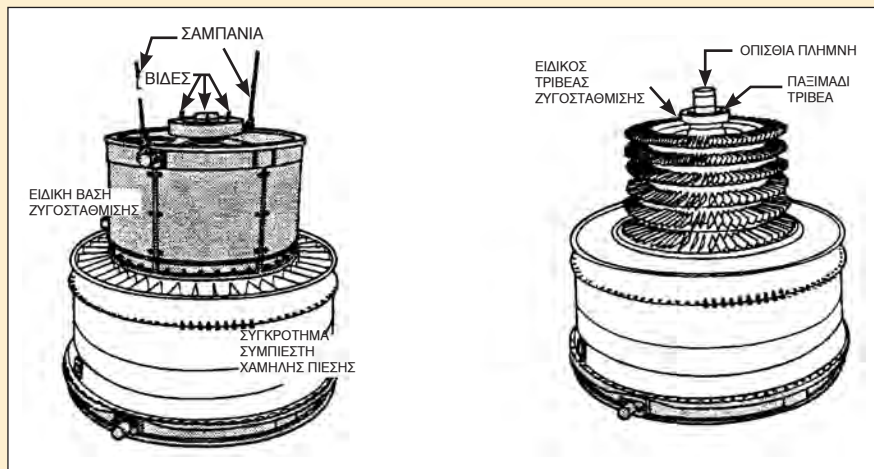
Σχήμα 3.94 Προετοιμασία για τη διαδικασία της δυναμικής ζυγοστάθμισης

- ▶ Ξεκινήστε τη λειτουργία του μηχανήματος ζυγοστάθμισης στις 900rpm τουλάχιστον.
- ▶ Ελέγξτε την αζυγοσταθμία (uncorrected unbalance). Χρησιμοποιήστε το διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 3.95, 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 ακολουθήστε τις διορθωτικές ενέργειες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής.



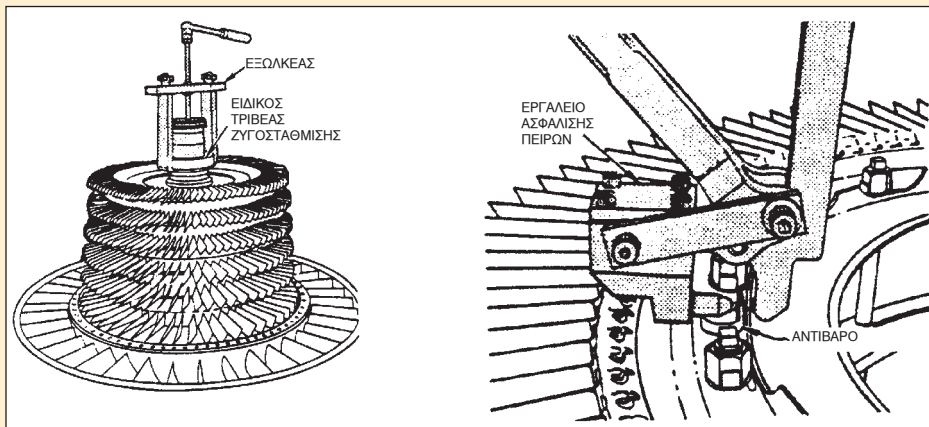
Σχήμα 3.95 Αποδεκτές τιμές αζυγοσταθμίας

- ▶ 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 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 3.96α).
- ▶ Αφαιρέστε τον οπίσθιο ειδικό τριβέα ζυγοστάθμισης και τα εξαρτήματά του (Σχήμα 3.96(β) και (γ)).
- ▶ Τοποθετήστε τους πείρους στα αντίβαρα ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.96δ). Επιθεωρήστε τους για την ύπαρξη ρωγμών.
- ▶ Ασφαλίστε τα παξιμάδια των ράβδων στήριξης με τη χρήση του κατάλληλου ειδικού εργαλείου (Σχήμα 3.96ε).



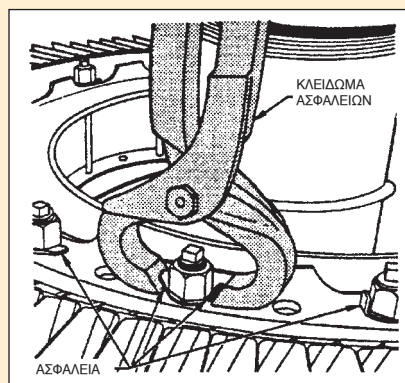
(α)

(β)



(γ)

(δ)



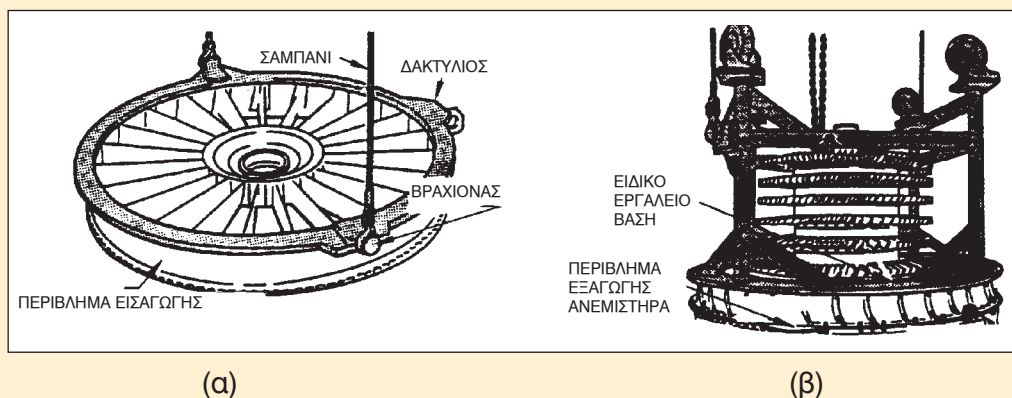
Σχήμα 3.96 Μετακίνηση από το μηχάνημα ζυγοστάθμισης και ασφάλιση των αντίβαρων

- Στη συνέχεια, ακολουθήστε τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής και αφαιρέστε τον εμπρόσθιο ειδικό τριβέα ζυγοστάθμισης και τα

εξαρτήματά του. Ασφαλίστε τις ράβδους στήριξης και τοποθετήστε τους πείρους στα αντίβαρα ζυγοστάθμισης.

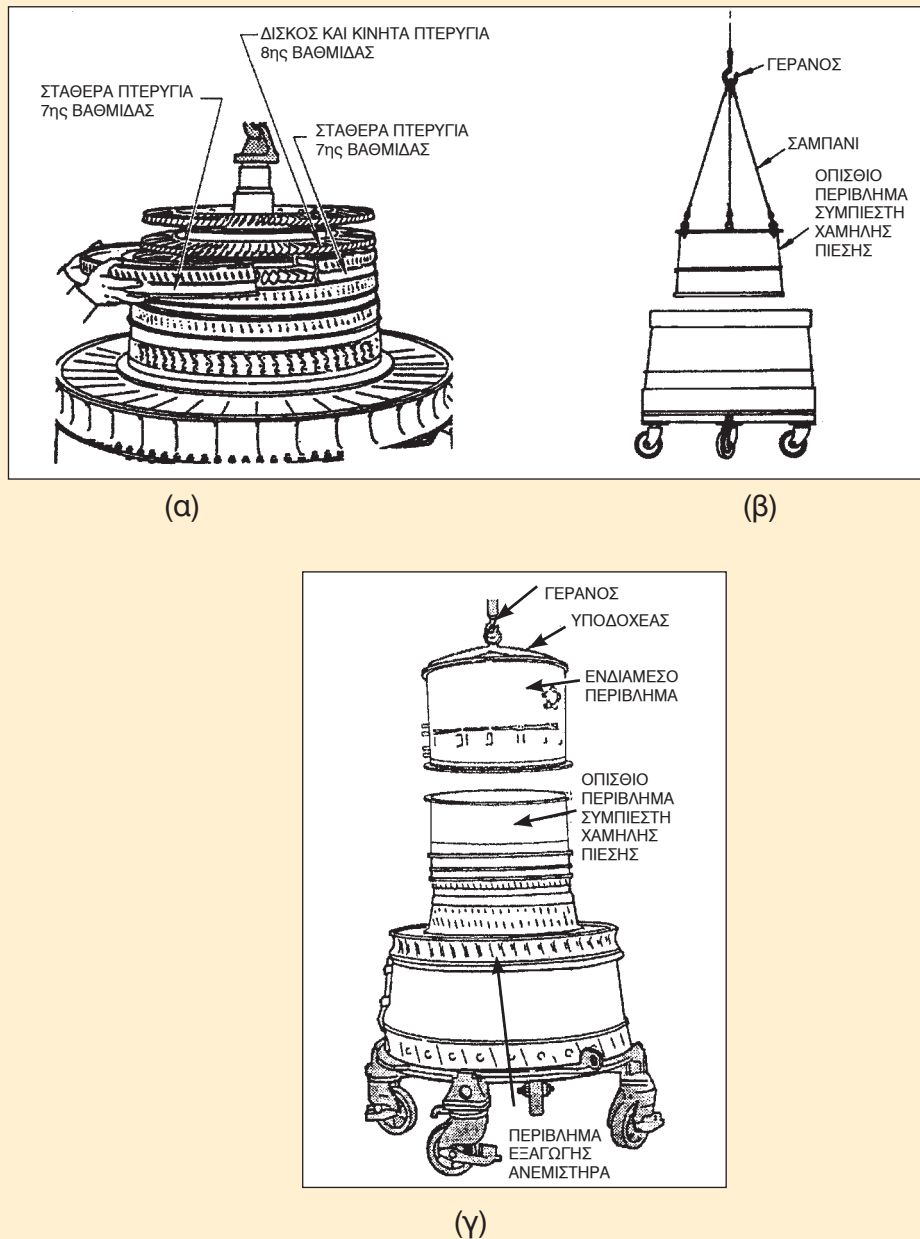
8. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΛΟΙΠΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- ▶ 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 3.97α). 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 3.97β). Βιδώστε τις βίδες στις φλάντζες σύνδεσης.



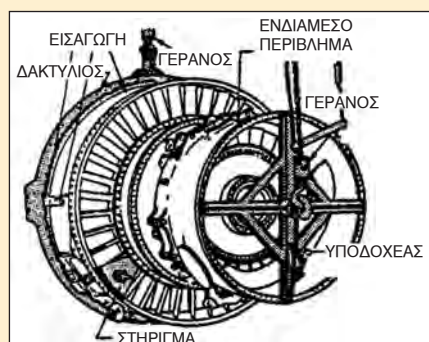
Σχήμα 3.97 (α) Τοποθέτηση του περιβλήματος εισαγωγής στην κλίνη, (β) συναρμολόγηση του συγκροτήματος ανεμιστήρα και συμπιεστή χαμηλής πίεσης στο περίβλημα εισαγωγής

- ▶ Τοποθετήστε τα σταθερά πτερύγια και τους δακτυλίους στήριξης των βαθμίδων 4 έως 9 (Σχήμα 3.98α). Κατά τη συναρμολόγηση ακολουθήστε τα σημάδια ευθυγράμμισης κάθε στάτορα.
- ▶ Με τη βοήθεια του γερανού, τοποθετήστε το οπίσθιο περίβλημα του συμπιεστή χαμηλής πίεσης (Σχήμα 3.98β). Ακολούθως, τοποθετήστε το ενδιάμεσο περίβλημα (Σχήμα 3.98γ). Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για τις τιμές της ροπομέτρησης που θα χρησιμοποιήσετε.

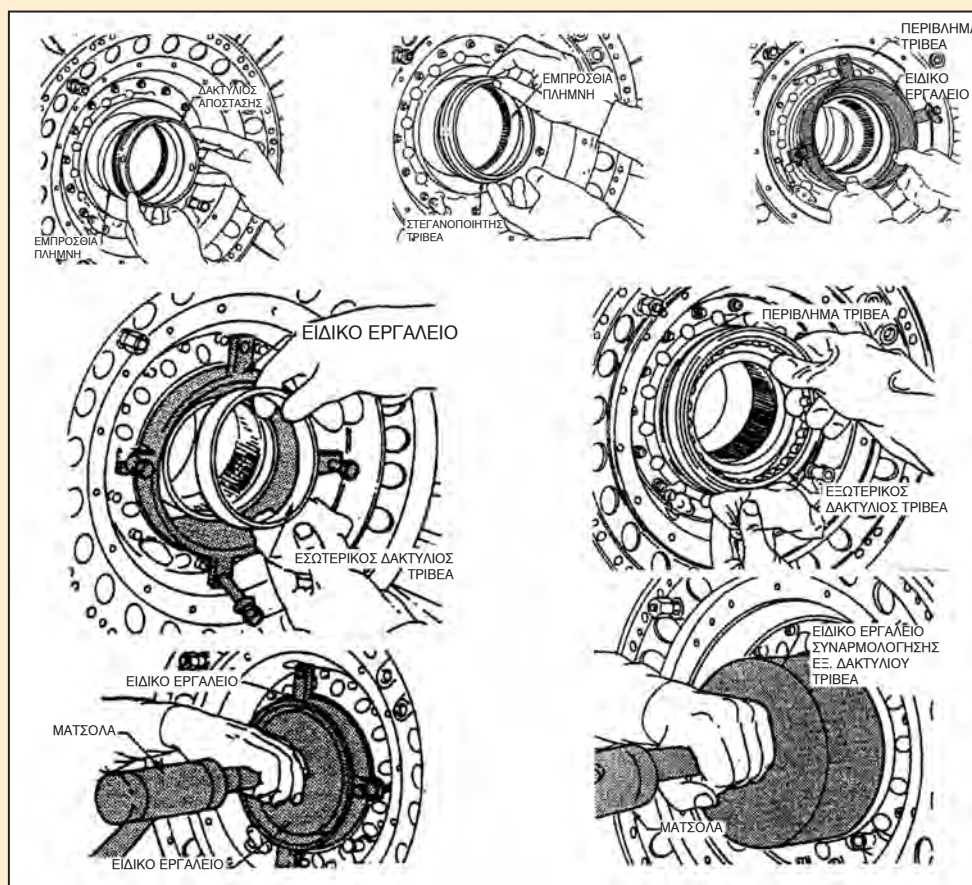


Σχήμα 3.98 Τοποθέτηση (α) σταθερών πτερυγίων, (β) οπίσθιου περιβλήματος συμπίεστη χαμηλής πίεσης, (γ) ενδιάμεσου περιβλήματος

- 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 3.99 Τοποθέτηση σε οριζόντια θέση



Σχήμα 3.100 Τοποθέτηση του τριβέα No 1

- Τέλος, τοποθετήστε το συγκρότημα σε οριζόντια θέση (Σχήμα 3.99) και τοποθετήστε τον τριβέα No 1, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.100.

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 αεριοστροβίλου 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.

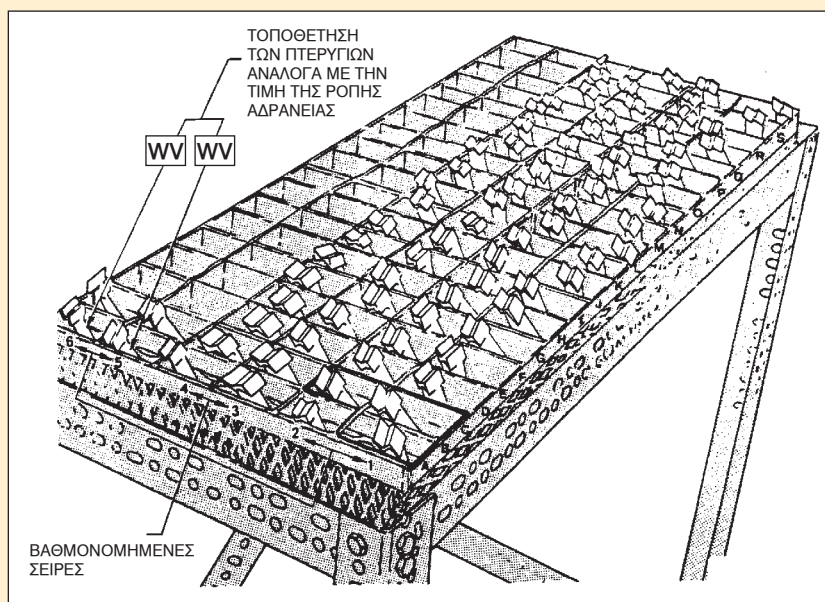
Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε 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.
- Τοποθετήστε τα κινητά πτερύγια στις ειδικές θήκες κατά ζεύγη, Σχήμα 3.101. 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.



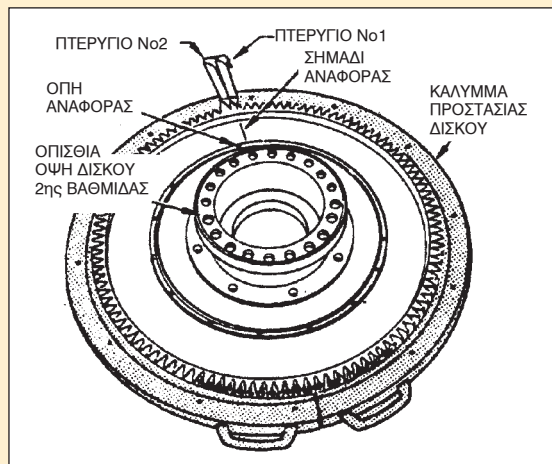
Σχήμα 3.101 Ειδικές θήκες τοποθέτησης των πτερυγίων ανάλογα με τη ροπή αδράνειάς τους

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

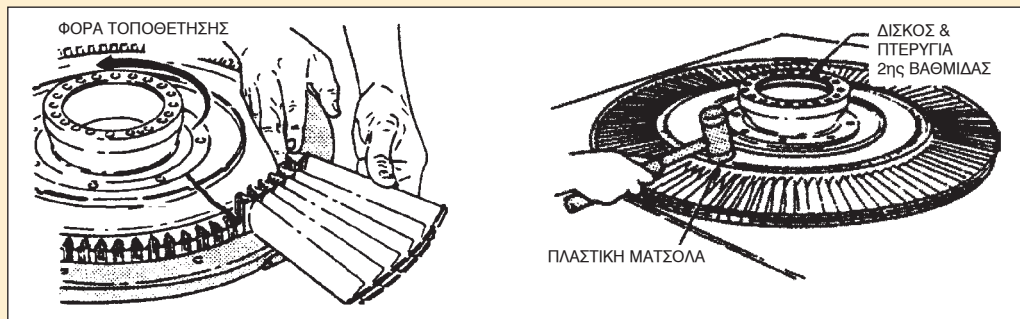
¹ Σε αντίθετη περίπτωση, το αποτέλεσμα θα είναι η αυξημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου και η μείωση της αντοχής των πτερυγίων των βαθμίδων του στροβίλου.

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

- Τοποθετήστε το δίσκο της 2ης 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 3.102α.
- 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 3.102β).



(α)



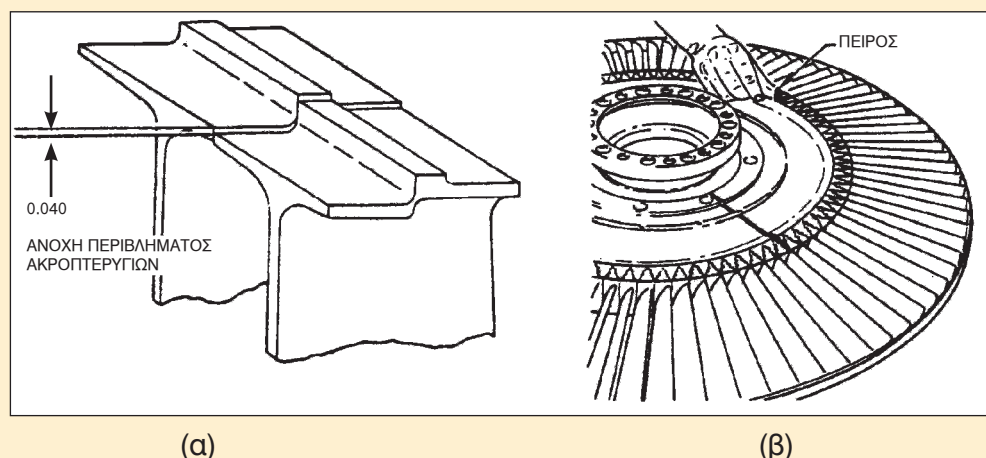
(β)

(γ)

Σχήμα 3.102 Διαδικασία τοποθέτησης των κινητών πτερυγίων της 2ης 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 3.102γ).

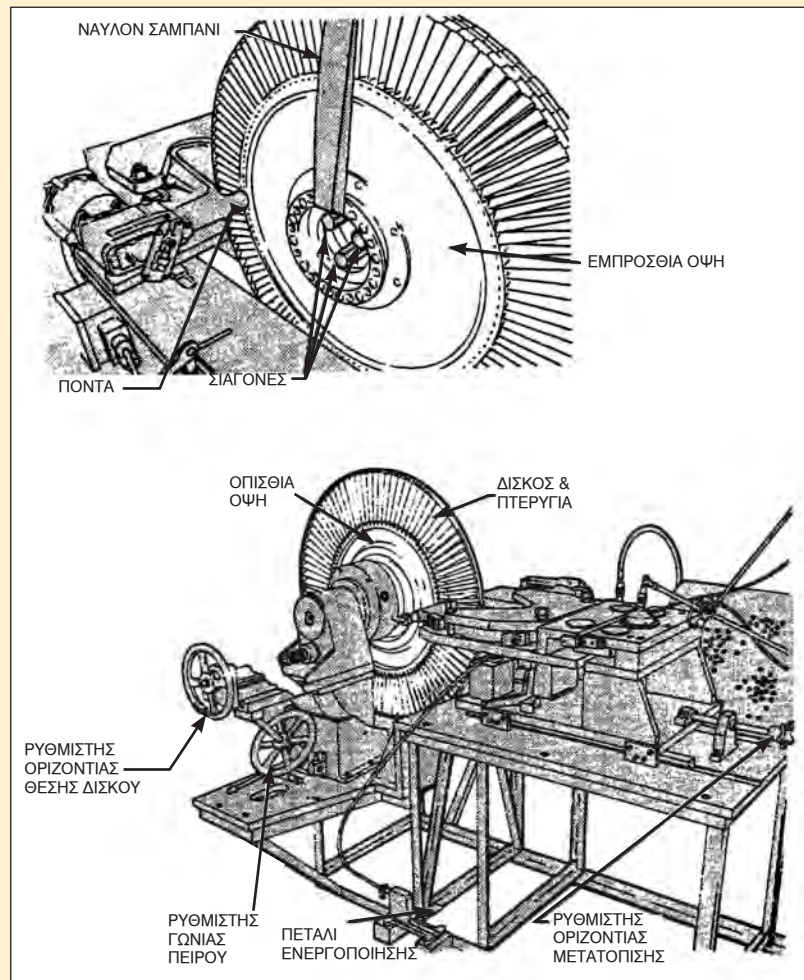
- ▶ Στην περίπτωση που τα πτερύγια είναι τύπου shrouded, ελέγξτε την καλή συναρμογή των ακροπτερυγίων με ειδικό filler, σύμφωνα με το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής (Σχήμα 3.103α). Αν κάποιο πτερύγιο βρεθεί εκτός ορίων, ακολουθήστε την προτεινόμενη στο εγχειρίδιο διαδικασία αντικατάστασής τους.
- ▶ Λιπάνετε με κατάλληλο λάδι τους πείρους ασφάλισης των πτερυγίων και τοποθετήστε τους (Σχήμα 3.103β). Η ασφάλισή τους στο δίσκο θα περιγραφεί παρακάτω.



Σχήμα 3.103 (α) Έλεγχος συναρμογής πτερυγίων τύπου shrouded, (β) τοποθέτηση πείρων ασφάλισης

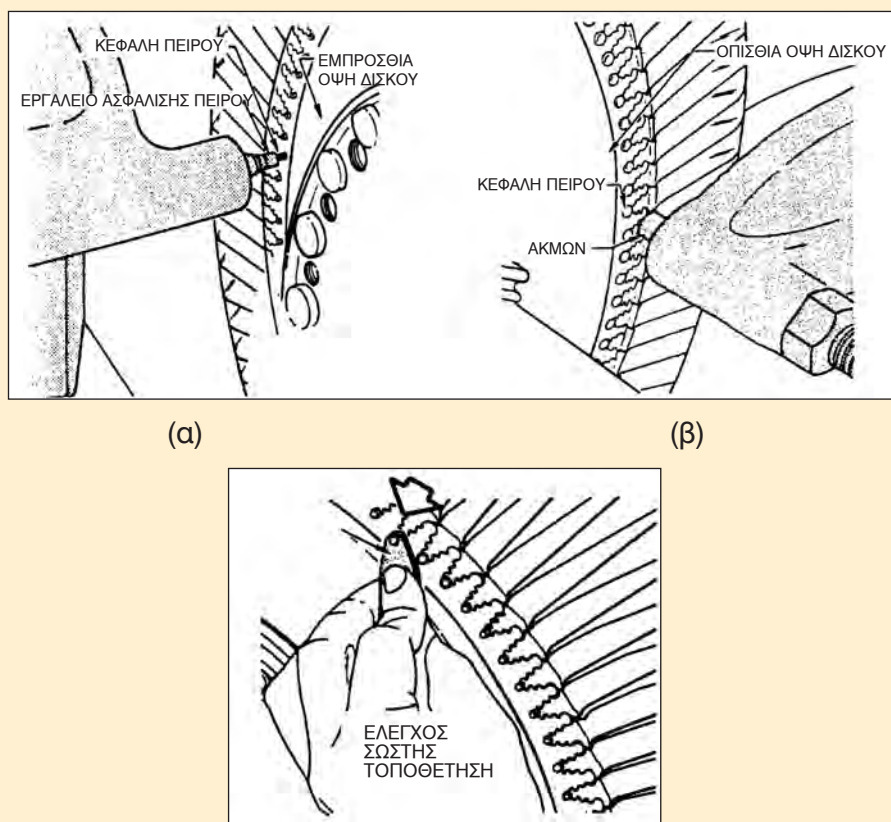
- ▶ Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία, τοποθετήστε τα κινητά πτερύγια της 3ης και 4ης βαθμίδας στους αντίστοιχους δίσκους. Στην περίπτωση που τα πτερύγια είναι τύπου shrouded, πραγματοποιήστε τον έλεγχο για την καλή συναρμογή τους όπως παραπάνω.
- ▶ Στη συνέχεια, χρησιμοποιήστε το ειδικό μηχάνημα 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 τοποθετήστε τον τελευταίο στον υποδοχέα του μηχανήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.104.
- ▶ Αφαιρέστε το σαμπάνι και χτυπήστε τις ρίζες των πτερυγίων για να σιγουρευτείτε για την καλή τοποθέτησή τους σε σχέση με το δίσκο.

- ▶ Ακολουθήστε τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής και του εγχειριδίου λειτουργίας του μηχανήματος και πραγματοποιήστε την ασφάλιση των πείρων (Σχήμα 3.105α).
- ▶ Ελέγξτε την κεφαλή του κάθε πείρου για τη σωστή τοποθέτησή τους (Σχήμα 3.105β).



Σχήμα 3.104 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.

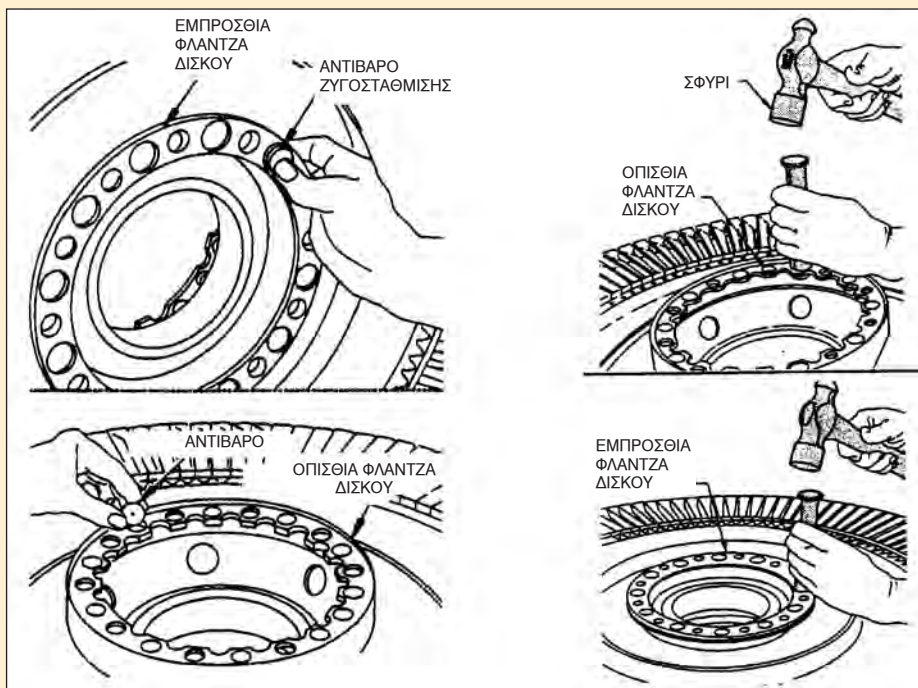


Σχήμα 3.105 (α) Ασφάλιση πείρων, (β) έλεγχος σωστής τοποθέτησης

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 2ης 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.

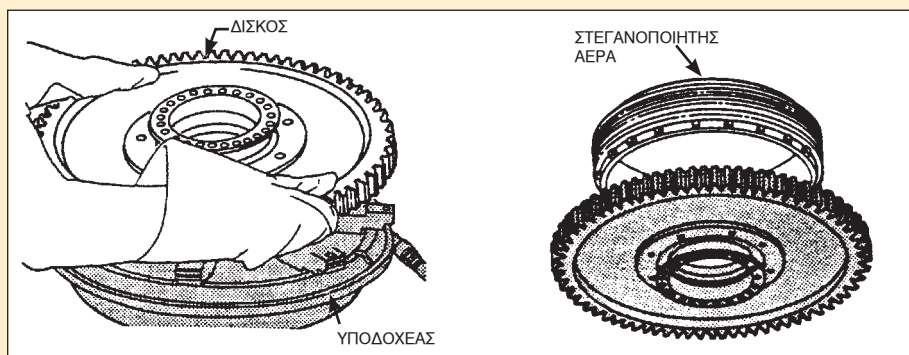
- ▶ Ελέγξτε τη στατική αζυγοσταθμία. Συγκρίνετε με τα επιτρεπόμενα όρια όπως αυτά δίνονται στο εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής. Χρησιμοποιήστε τα αντίβαρα ζυγοστάθμισης για να διορθώσετε την αζυγοσταθμία.
- ▶ Τοποθετήστε τα αντίβαρα ζυγοστάθμισης, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου, στις ειδικές υποδοχές του δίσκου της βαθμίδας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.106.



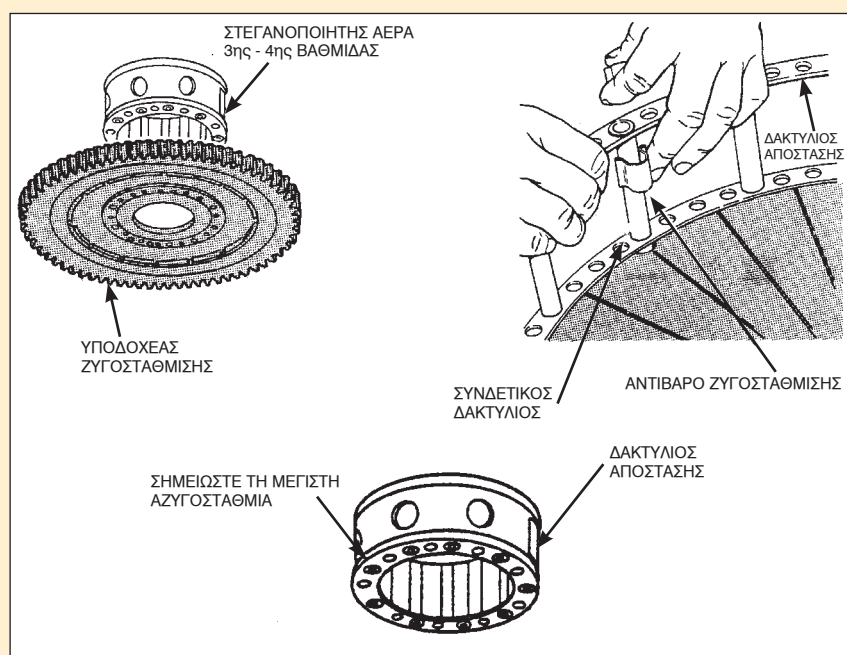
Σχήμα 3.106 Τοποθέτηση αντίβαρων ζυγοστάθμισης

- ▶ Εφαρμόστε την παραπάνω διαδικασία για τους δίσκους και τα πτερύγια της 3ης και 4ης βαθμίδας του στροβίλου χαμηλής πίεσης.
- ▶ Στη συνέχεια, τοποθετήστε το στεγανοποιητή αέρα της 3ης και 4ης βαθμίδας σε ειδικό υποδοχέα και, κατόπιν, τοποθετήστε το συγκρότημα στον υποδοχέα της μηχανής στατικής ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.107).
- ▶ 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 3ης – 4ης βαθμίδας (Σχήμα 3.108).



Σχήμα 3.107 Τοποθέτηση του στεγανοποιητή αέρα 3ης – 4ης βαθμίδας στο μηχανήμα στατικής ζυγοστάθμισης



Σχήμα 3.108 Τοποθέτηση του δακτυλίου απόστασης 3ης – 4ης βαθμίδας στο μηχανήμα στατικής ζυγοστάθμισης

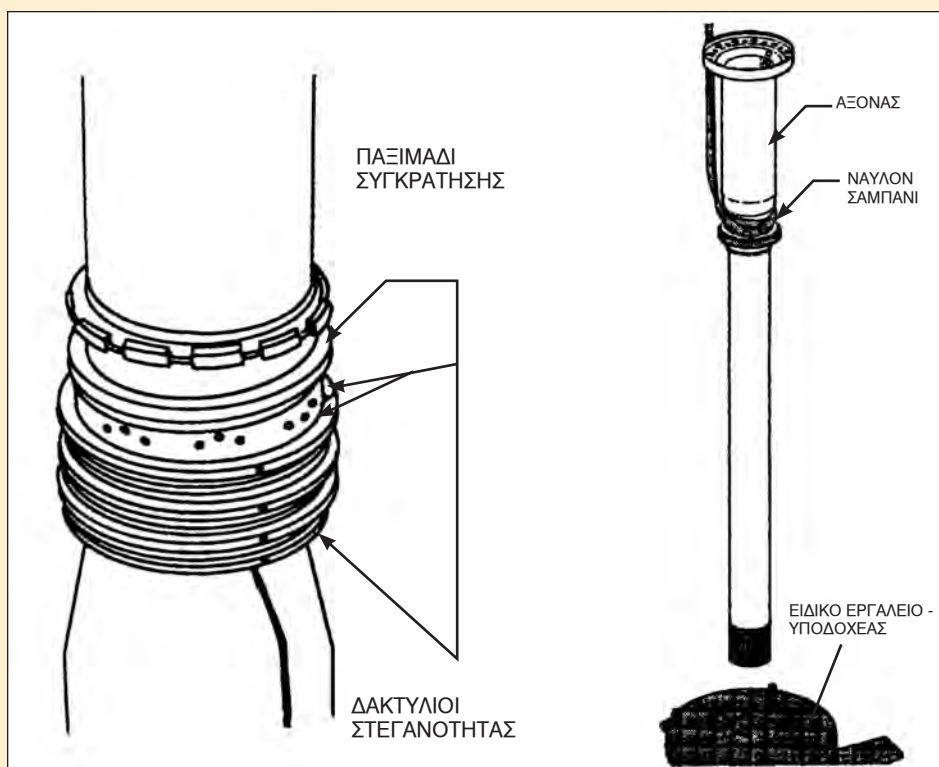
5. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΡΟΤΟΡΑ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.

- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της ενότητας αυτής, Σχήμα 3.109.

- Με τον άξονα του στροβίλου χαμηλής πίεσης σε κατακόρυφη θέση τοποθετήστε τους στεγανοποιητικούς δακτυλίους στην περιοχή του τριβέα Νο 4 ½. Αφού θερμάνετε τον ειδικό τριβέα ζυγοστάθμισης¹, τοποθετήστε τον στον άξονα και, στη συνέχεια, τοποθετήστε το παξιμάδι ασφάλισης χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο για την ασφάλισή του (Σχήμα 3.110α). Χρησιμοποιώντας ειδικό ιμάντα από νάυλον και γερανό τοποθετήστε τον άξονα στον κατάλληλο υποδοχέα, Σχήμα 3.110β.



Σχήμα 3.109 Ειδικά εργαλεία



(α)

(β)

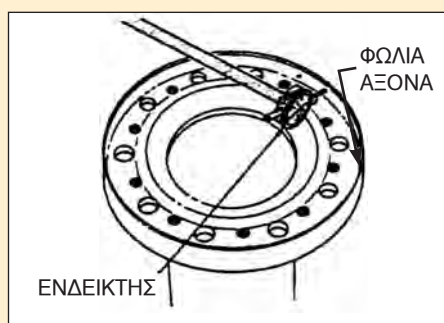
Σχήμα 3.110 (α) Τοποθέτηση στεγανοποιητικών δακτυλίων του τριβέα Νο 4 ½, (β) Τοποθέτηση του άξονα στον κατάλληλο υποδοχέα

¹ Σημειώστε τον αριθμό οικογένειας του τριβέα στο ειδικό αρχείο. Με τον τρόπο αυτόν υπολογίζεται η υπολειπόμενη χρονική διάρκεια ζωής του τριβέα.

- Χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο μετρητικό ενδείκτη (dial indicator), μετρήστε την **επιπεδότητα¹ (squareness)** των στεγανοποιητικών δακτυλίων (Σχήμα 3.111α). Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής για το επιτρεπτό όριο. Στην περίπτωση υπέρβασής του περιστρέψτε το δακτύλιο για να επιτύχετε την επιθυμητή ανοχή. Με filler 0,001 in μετρήστε το διάκενο της θέσης του μεσαίου από τους στεγανοποιητές.
- Χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο μετρητικό ενδείκτη επιβεβαιώστε ότι η οριζόντια μετατόπιση (**runout**) της φλάντζας του άξονα δεν υπερβαίνει τις 0,002 in (Σχήμα 3.111 β). Σε αντίθετη περίπτωση, τοποθετήστε ξανά τον άξονα στον υποδοχέα και επαναλάβετε τη μέτρηση ή αφαιρέστε μικρές ακαθαρσίες και μικροφθορές από τη μετρούμενη επιφάνεια χρησιμοποιώντας κατάλληλο υλικό.



(α)

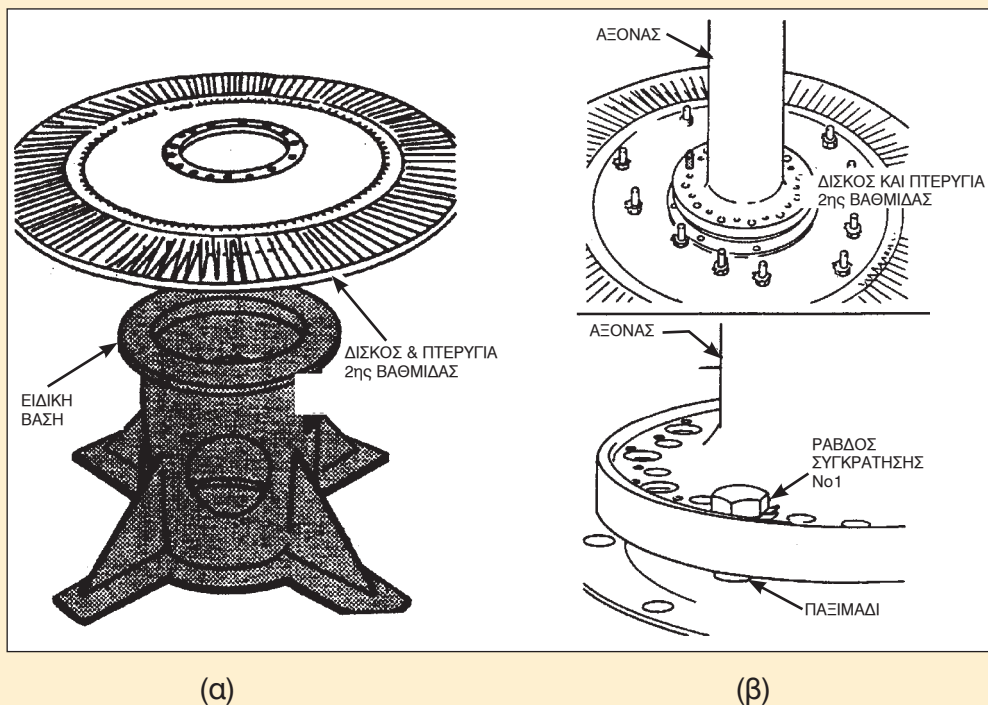


(β)

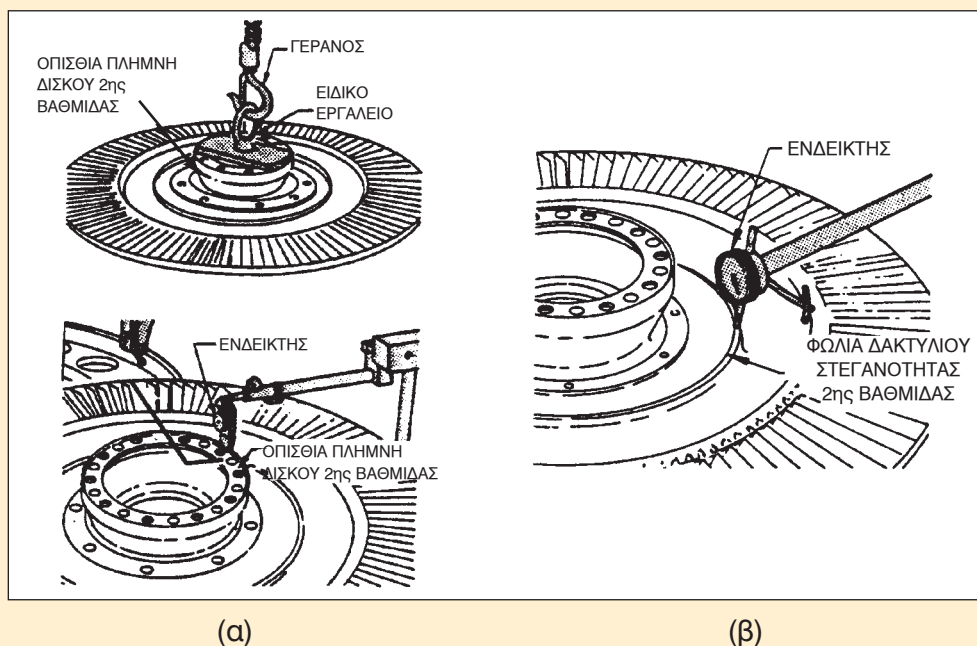
Σχήμα 3.111 (α) Μέτρηση επιπεδότητας στεγανοποιητικών δακτυλίων, (β) μέτρηση οριζόντιας μετατόπισης φλάντζας άξονα

¹ Ως επιπεδότητα εννοείται η σωστή τοποθέτηση του δακτυλίου στον άξονα, δηλαδή η επίτευξη παραλληλίας των κατακόρυφων αξόνων του άξονα και του δακτυλίου.

- Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής και αριθμήστε τις οπές του άξονα και του δίσκου της 2ης βαθμίδας. Τοποθετήστε το δίσκο και τα κινητά πτερύγια της 2ης βαθμίδας στην κατάλληλη βάση (Σχήμα 3.112α). Ψύξτε την εσωτερική διάμετρο του δίσκου χρησιμοποιώντας ξηρό πάγο.
- Μετακινήστε τον άξονα από τον υποδοχέα του και τοποθετήστε τον στο δίσκο της 2ης βαθμίδας. Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου, σφίξτε τις βίδες με τους δακτύλιους και τα παξιμάδια (Σχήμα 3.112β).
- Χρησιμοποιώντας τον ειδικό ιμάντα από νάυλον και το γερανό μετακινήστε τον άξονα και το δίσκο με τα πτερύγια και τοποθετήστε τα στον κατάλληλο υποδοχέα. Μετρήστε με τη βοήθεια του ενδείκτη την οριζόντια απόκλιση και την επιπεδότητα στα σημεία που υποδεικνύει το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής (Σχήμα 3.113).

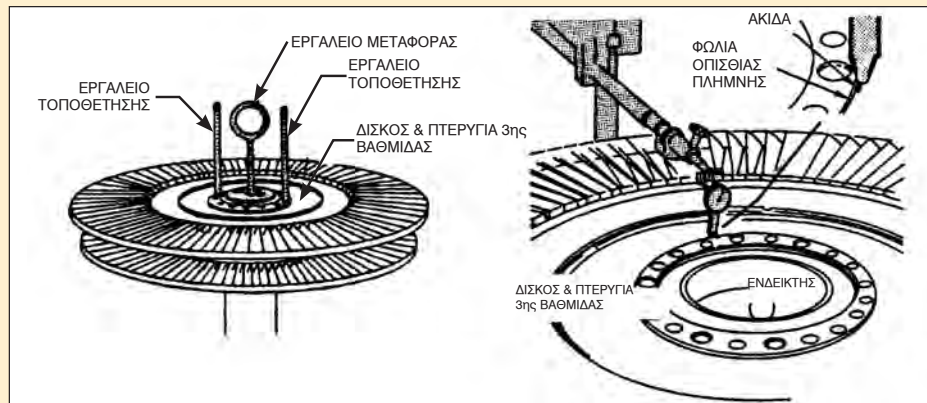


Σχήμα 3.112 (α) Τοποθέτηση δίσκου και πτερυγίων 2ης βαθμίδας σε κατάλληλη βάση και (β) σύσφιγξη βιδών



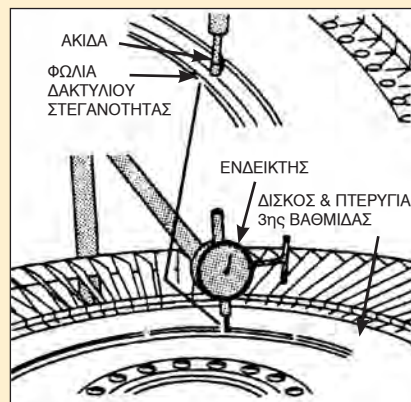
Σχήμα 3.113 Μέτρηση (α) οριζόντιας απόκλισης και (β) επιπεδότητας

- ▶ Στη συνέχεια, πραγματοποιήστε τις απαραίτητες μετρήσεις διαστάσεων και οριζόντιων αποκλίσεων, σύμφωνα με το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής.
- ▶ Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου, τοποθετήστε το δίσκο και τα κινητά πτερύγια της 3ης βαθμίδας στην οπίσθια πλήμνη του δίσκου της 2ης βαθμίδας (Σχήμα 3.114α). Μετρήστε την οριζόντια απόκλιση στην εξωτερική ακμή της πλήμνης (Σχήμα 3.114β) και την επιπεδότητα του στεγανοποιητή του δίσκου της 3ης βαθμίδας (Σχήμα 3.114γ).
- ▶ Θερμάνετε το δακτύλιο απόστασης 3ης – 4ης βαθμίδας και τοποθετήστε τον στο δίσκο της 3ης βαθμίδας, σύμφωνα με τα σημάδια ευθυγράμμισης. Ελέγξτε την οριζόντια απόκλισή του (Σχήμα 3.115α).
- ▶ Πραγματοποιήστε τις μετρήσεις που αναφέρονται στο εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής. Θερμάνετε το στεγανοποιητή αέρα 3ης – 4ης βαθμίδας και τοποθετήστε τον, σύμφωνα με τα σημάδια ευθυγράμμισης (Σχήμα 3.115β).



(α)

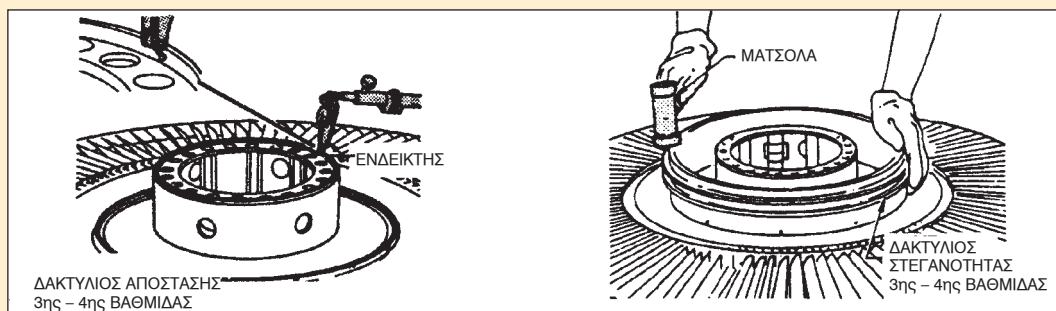
(β)



(γ)

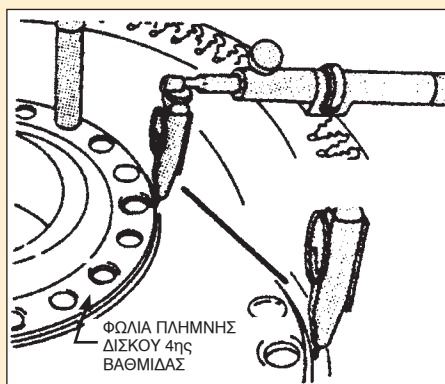
Σχήμα 3.114 (α) Τοποθέτηση δίσκου και πτερυγίων 3ης βαθμίδας στην πλήμνη του δίσκου της 2ης βαθμίδας, (β) μέτρηση οριζόντιας απόκλισης και (γ) μέτρηση επιπεδότητας

- Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο και το γερανό, τοποθετήστε το δίσκο και τα κινητά πτερύγια της 4ης βαθμίδας στο δακτύλιο απόστασης 3ης - 4ης βαθμίδας. Μετρήστε την οριζόντια απόκλισή του (Σχήμα 3.115γ).



(α)

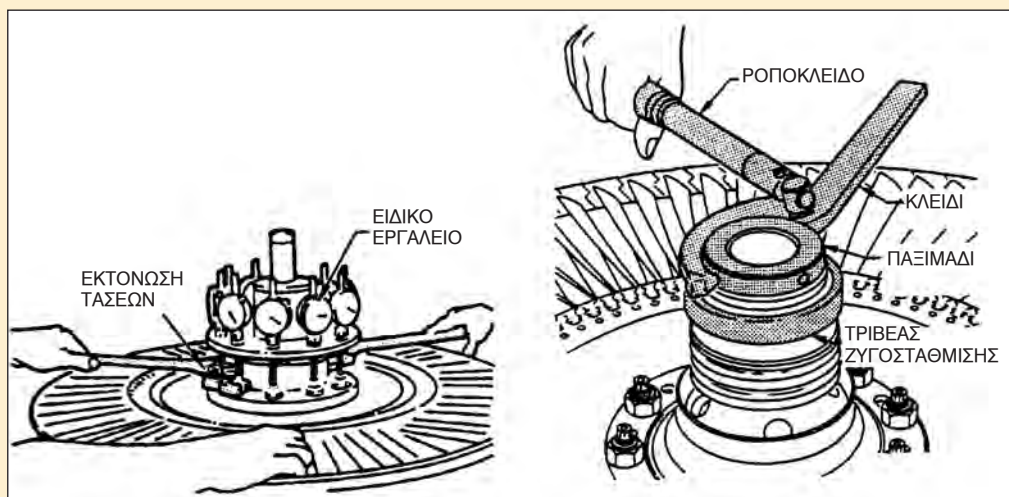
(β)



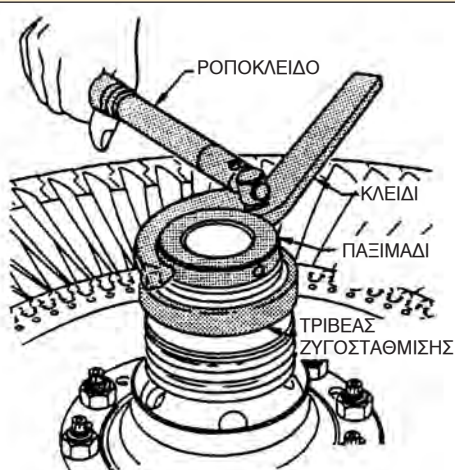
(γ)

Σχήμα 3.115 (α) Μέτρηση οριζόντιας απόκλισης δακτυλίου απόστασης 3ης – 4ης βαθμίδας, (β) τοποθέτηση στεγανοποιητή αέρα 3ης – 4ης βαθμίδας, (γ) μέτρηση οριζόντιας απόκλισης δίσκου 4ης βαθμίδας

- ▶ Στη συνέχεια, ακολουθήστε τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής και τοποθετήστε τα υπόλοιπα εξαρτήματα όπως ελατήρια, σωλήνα λαδιού τριβέα No 4 $\frac{1}{2}$, κομβίο τριβέα ζυγοστάθμισης No 6.
- ▶ Μετρήστε την οριζόντια απόκλιση του κομβίου και την επιπεδότητα του δίσκου της 4ης βαθμίδας. Σφίξτε τις βίδες του δίσκου και εκτονώστε τις τάσεις τους (Σχήμα 3.116α).
- ▶ Τέλος, τοποθετήστε το παξιμάδι ασφαλείας του τριβέα ζυγοστάθμισης No 6, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο (Σχήμα 3.116β).

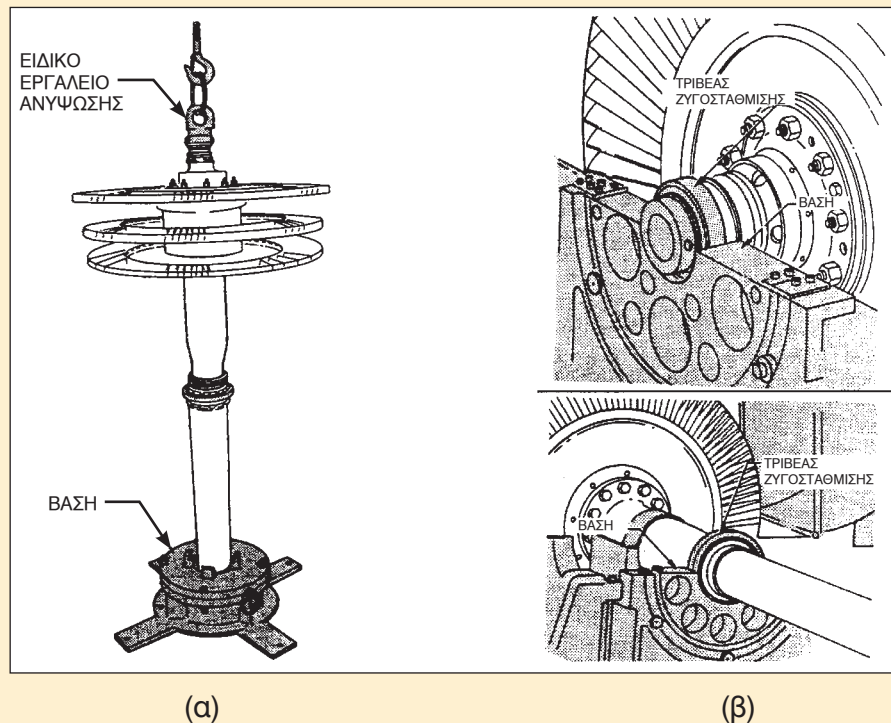


(α)



(β)

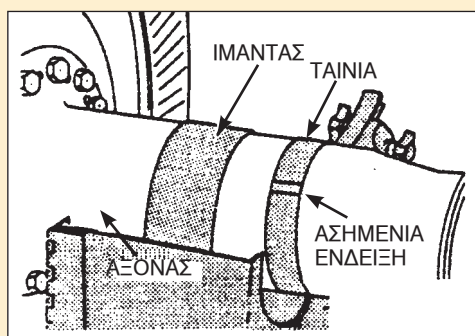
Σχήμα 3.116 (α) Εκτόνωση τάσης στις βίδες του δίσκου της 4ης βαθμίδας, (β) Τοποθέτηση παξιμαδιού ασφαλείας στον ειδικό τριβέα ζυγοστάθμισης



Σχήμα 3.117 (α) Μεταφορά στροβίλου χαμηλής πίεσης – άξονα και (β) τοποθέτησή τους στο μηχάνημα δυναμικής ζυγοστάθμισης

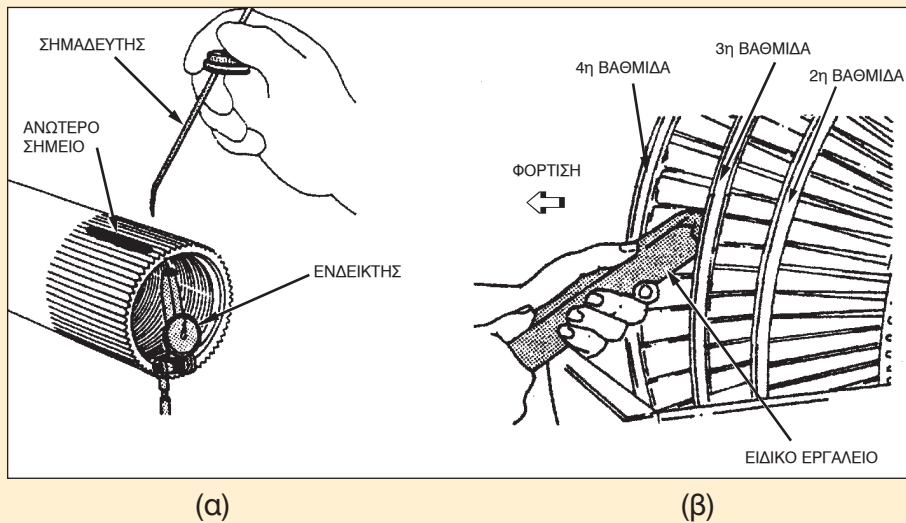
6. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΖΥΓΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΡΟΤΟΡΑ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ.

- ▶ 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.
- ▶ Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο και το γερανό, απομακρύνετε τον άξονα με τις κινητές βαθμίδες του στροβίλου χαμηλής πίεσης από τον υποδοχέα (Σχήμα 3.117α), γυρίστε τον σε οριζόντια θέση και τοποθετήστε τον στη μηχανή οριζόντιας ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.117β).
- ▶ Τοποθετήστε τον ιμάντα στον άξονα. Τοποθετήστε την ειδική ασημένια ταινία στον άξονα, ευθυγραμμίζοντάς τη με το φωτοκύτταρο του μηχανήματος ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.118).

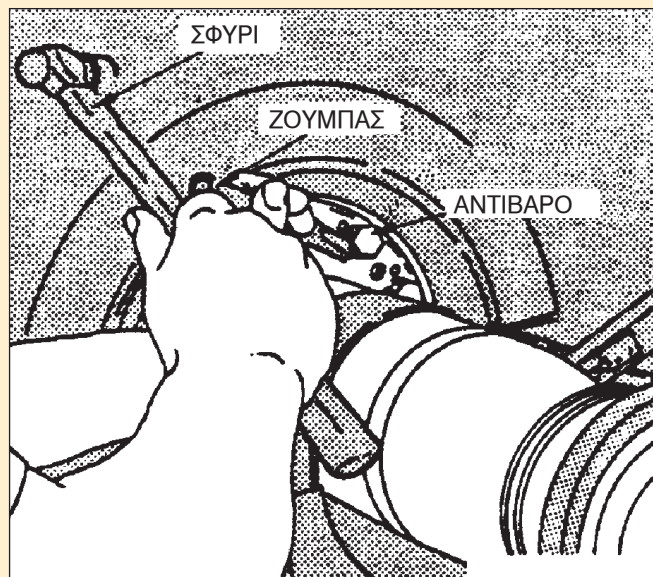


Σχήμα 3.118 Προετοιμασία για τη δυναμική ζυγοστάθμιση του στροβίλου χαμηλής πίεσης

- ▶ Μετρήστε την οριζόντια απόκλιση του άξονα (Σχήμα 3.119α).
- ▶ Χρησιμοποιώντας μία κατάλληλη πλαστική ράβδο, πιέστε τα κινητά πτερύγια της κάθε βαθμίδας προς τα πίσω (Σχήμα 3.119β), δηλαδή προς την **κατεύθυνση φόρτισης (loaded direction)**. Στην κατεύθυνση αυτή κινούνται τα πτερύγια κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα.
- ▶ Κλείστε το κάλυμμα προστασίας της μηχανής ζυγοστάθμισης και ξεκινήστε τη λειτουργία του μηχανήματος ζυγοστάθμισης στις 900rpm τουλάχιστον.
- ▶ Ελέγξτε την αζυγοσταθμία σύμφωνα με τα όρια που δίνονται στο εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής. Τοποθετήστε αντίβαρα διόρθωσης. Στην περίπτωση που η αζυγοσταθμία είναι εκτός των επιτρεπτών ορίων διόρθωσης, ακολουθήστε τις διορθωτικές ενέργειες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής και στη συνέχεια, τοποθετήστε τα αντίβαρα διόρθωσης.
- ▶ Επαναλάβετε τη μέτρηση της αζυγοσταθμίας. Στην περίπτωση που αυτή παραμένει εκτός των επιτρεπτών ορίων, αποσυναρμολογήστε το ρότορα από τον άξονα και αναζητήστε τα πιθανά αίτια.
- ▶ Μετά την επίτευξη της τελικής αζυγοσταθμίας, ασφαλίστε τα αντίβαρα ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.120).



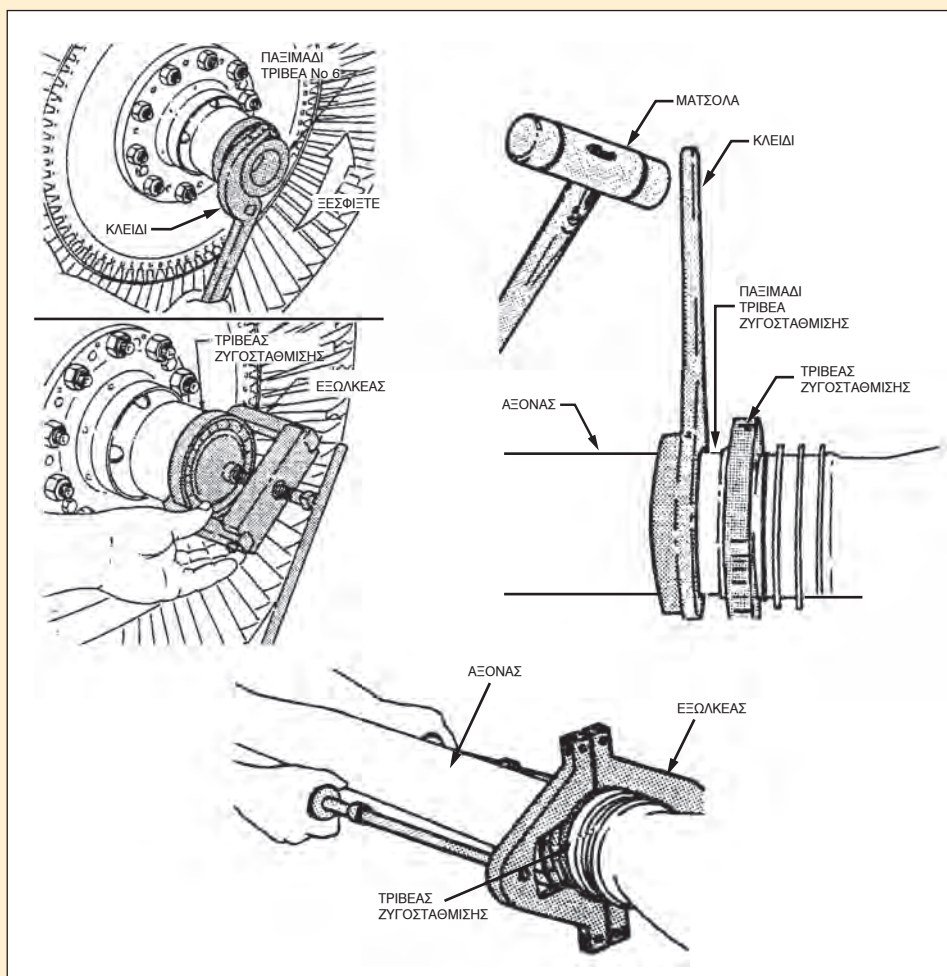
Σχήμα 3.119 (α) Μέτρηση οριζόντιας απόκλισης άξονα, (β) τοποθέτηση των κινητών πτερυγίων στην κανονική θέση



Σχήμα 3.120 Ασφάλισης αντίβαρων μετά το πέρας της δυναμικής ζυγοστάθμισης

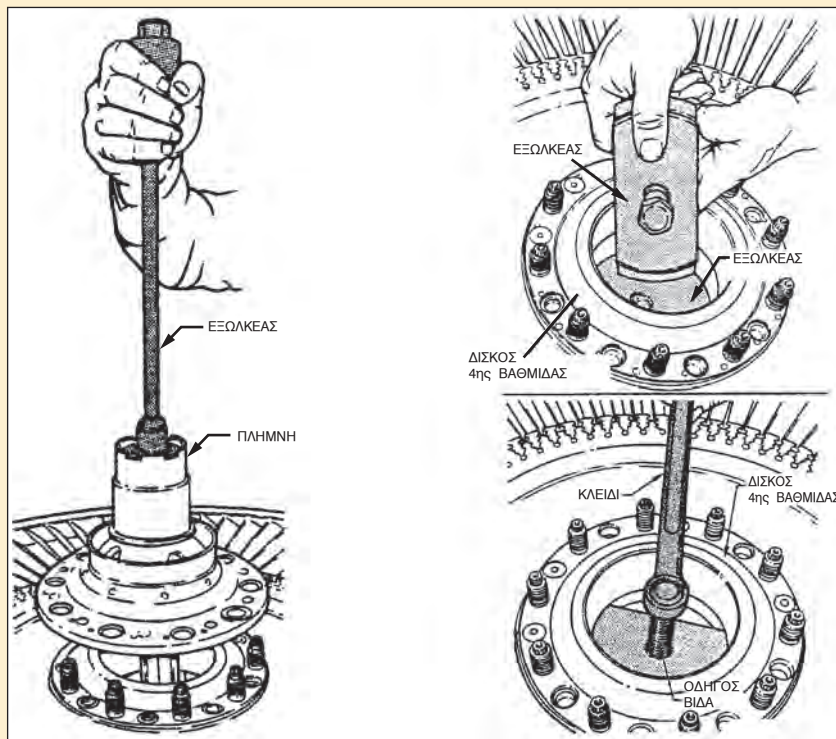
- Στη συνέχεια, αφαιρέστε τον ιμάντα και μετακινήστε το συγκρότημα τον άξονα από το μηχάνημα δυναμικής ζυγοστάθμισης με τη βοήθεια των σαμπανιών και του γερανού. Τοποθετήστε τον στον ειδικό υποδοχέα σε οριζόντια θέση.

- Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής, αφαιρέστε τα μέρη των τριβών ζυγοστάθμισης (Σχήμα 3.121). Προφυλάξτε τα ανάλογα.



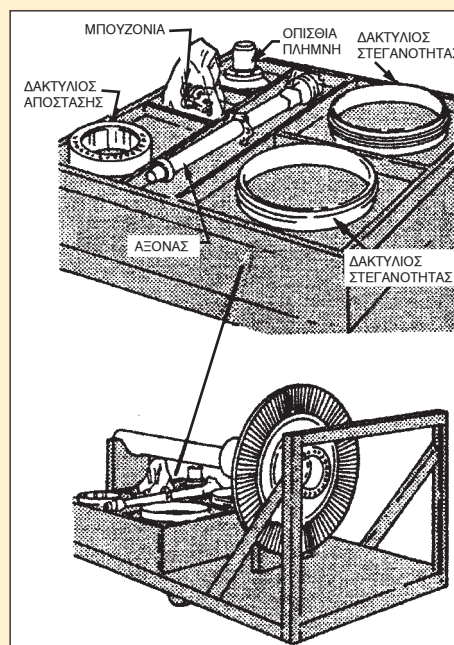
Σχήμα 3.121 Αφαίρεση των μερών του ειδικού τριβέα ζυγοστάθμισης

- Στη συνέχεια, αφαιρέστε την οπίσθια πλήμνη (Σχήμα 3.122α), το δίσκο και τα πτερύγια της 4ης βαθμίδας (Σχήμα 3.122β), το δακτύλιο απόστασης 3ης – 4ης βαθμίδας, το δίσκο και τα πτερύγια της 3ης βαθμίδας και στεγανοποιητή αέρα 2ης – 3ης βαθμίδας.
- Τέλος, τοποθετήστε τον άξονα με το δίσκο και τα πτερύγια της 2ης βαθμίδας καθώς και τα υπόλοιπα εξαρτήματα στους κατάλληλους υποδοχείς (Σχήμα 3.122γ).



(α)

(β)



(γ)

Σχήμα 3.122 Αφαίρεση (α) οπίσθιας πλήμνης και (β) δίσκου και πτερυγίων 4ης βαθμίδας, (γ) τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων του συγκροτήματος σε ειδικούς υποδοχείς

Εργαστηριακή άσκηση 3.3:

Ειδικός εξοπλισμός συντήρησης αεροπορικών κινητήρων -Μη καταστροφικοί έλεγχοι: MPI

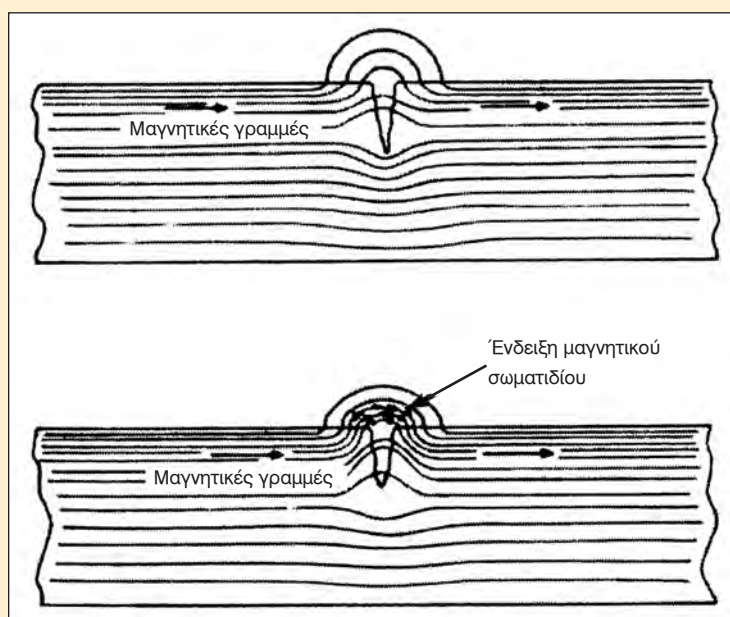
Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- Να αναφέρετε τις βασικές απαιτήσεις εξοπλισμού για την πραγματοποίηση μαγνητικής επιθεώρησης (MPI).
- Να αναγνωρίζετε τα βασικά στάδια της επιθεώρησης MPI που παρουσιάζεται στην άσκηση.
- Να εκτελείτε μη καταστροφικούς ελέγχους με τη μέθοδο MPI.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Η χρήση των μαγνητικών σωματιδίων για τον έλεγχο και την ανίχνευση ατελειών σε κάποιο αντικείμενο, είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος που χρησιμοποιείται σε φερρομαγνητικά υλικά (π.χ. χάλυβες). Με τον όρο αυτόν εννοούμε εκείνα τα υλικά, τα οποία μπορούν εύκολα να μαγνητιστούν υπό την επίδραση μαγνητικού πεδίου.



Σχήμα 3.123 Συγκέντρωση μαγνητικών σωματιδίων σε επιφανειακή ασυνέχεια, λόγω της διατάραξης της μαγνητικής ροής σε ράβδο

Οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου που εφαρμόζεται στο εξεταζόμενο αντικείμενο, ακολουθούν τη διαδρομή μέσα από τον όγκο του αντικειμένου λόγω του φερρομαγνητικού χαρακτήρα του αντικειμένου. Εάν σε κάποιο σημείο υπάρχει ασυνέχεια στο υλικό, αυτή θα δημιουργήσει εκτροπή στη ροή του μαγνητικού πεδίου, δημιουργώντας πόλους στα άκρα της ρωγμής (Σχήμα 3.123).

Λόγω της ιδιότητας των μαγνητισμένων υλικών να έλκουν έντονα όταν υπάρχουν πόλοι, τα μαγνητικά σωματίδια θα συγκεντρωθούν γύρω από τη ρωγμή. Εφόσον το μαγνητικό πεδίο δεν αλλοιώνεται, τα μαγνητικά σωματίδια δεν παρουσιάζουν την τάση να συγκεντρωθούν σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο.

Τα στάδια που περιγράφουν τη μέθοδο αυτή είναι:

- Καθαρισμός του αντικειμένου που πρόκειται να επιθεωρηθεί.
- Δημιουργία μαγνητικού πεδίου στο αντικείμενο που θέλουμε να εξετάσουμε.
- Εφαρμογή των μαγνητικών σωματιδίων στην επιφάνεια του αντικειμένου.
- Έλεγχος για την ύπαρξη ατελειών.

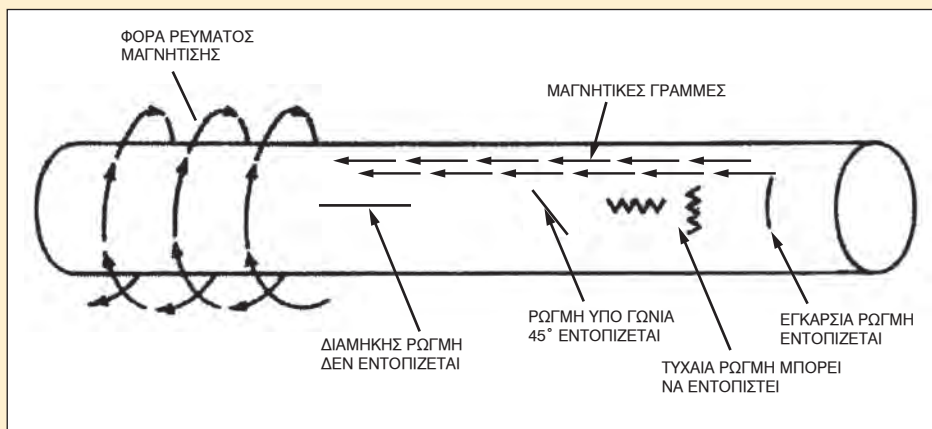
Ο καθαρισμός του αντικειμένου κρίνεται απαραίτητος εφόσον οποιαδήποτε ακαθαρσία, όπως ξένα στοιχεία από άλλα υλικά, οξείδωση της επιφάνειας, σκόνη ή ύπαρξη γράσου δεν αφήνουν τα μαγνητικά σωματίδια να δώσουν τις σωστές ενδείξεις, εμποδίζοντας την κίνησή τους.

Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται μπορεί να εμφανίζεται κατά μήκος του αντικειμένου ή κατά την περιφέρειά του, ανάλογα με τον τρόπο μαγνητισμού του. Η κατεύθυνση και το μέγεθος της ρωγμής, σχετικά με τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου, παίζει σημαντικό ρόλο στην ανίχνευσή της. Όσο μεγαλύτερη είναι η διατάραξη που προκαλεί η ρωγμή στο μαγνητικό πεδίο, τόσο πιο έντονη θα είναι και η συσσώρευση των σωματιδίων κοντά σε αυτή. Επομένως καλύτερη ένδειξη θα έχουμε όταν η κατεύθυνση της ασυνέχειας βρίσκεται κάθετα στις μαγνητικές γραμμές του πεδίου (Σχήμα 3.124 και Σχήμα 3.125).

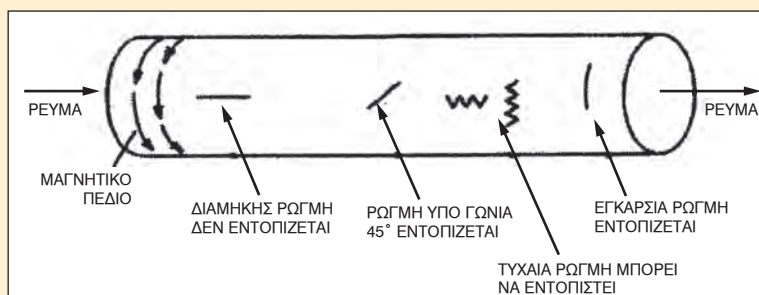
Τα μαγνητικά σωματίδια που χρησιμοποιούνται, διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με:

- το μέγεθός τους: όσο μικρότερα τα σωματίδια τόσο ακριβέστερες είναι οι ενδείξεις. Για παράδειγμα σε ένα ασθενές μαγνητικό πεδίο τα μεγαλύτερα σωματίδια έχουν μεγαλύτερη δυσκολία να συγκρατηθούν από το πεδίο.

- το σχήμα τους: σωματίδια επιμηκυμένα κατά τη μια κατεύθυνση δίνουν καλύτερες ενδείξεις από τα πιο ομοιόμορφα και σφαιρικά σωματίδια, εφόσον ευθυγραμμίζονται με τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου.



Σχήμα 3.124 Επίδραση της κατεύθυνσης της ροής σε αξονικά μαγνητιζόμενη ράβδο



Σχήμα 3.125 Επίδραση της κατεύθυνσης της ροής σε περιφερειακά μαγνητιζόμενη ράβδο

- τη μαγνητική τους διαπερατότητα: δηλαδή την ευκολία τους να μαγνητίζονται. Εξαρτάται από το υλικό των σωματιδίων.
- τις προϋπάρχουσες δυνάμεις μεταξύ των σωματιδίων: Αυτές προκαλούν συσσώρευση των σωματιδίων πριν την εφαρμογή τους.

Τα σωματίδια συναντώνται συνήθως είτε σε μορφή σκόνης, είτε σε συνδυασμό με κάποιο υγρό, όπου και χρησιμοποιούνται σωματίδια μικρότερου μεγέθους. Για τη διευκόλυνση της επιθεώρησης τα σωματίδια μπορεί να έχουν κάποιο είδος χρωστικής ουσίας, έτσι ώστε να διακρίνονται καλύτερα κάτω από λευκό φως ή κάποια φωσφορίζουσα ουσία που βελτιώνει τις ενδείξεις με τη βοήθεια υπεριώδους ακτινοβολίας.

Με τη μέθοδο των μαγνητικών σωματιδίων μπορεί να ανιχνευθεί ρωγμή και κάτω από την επιφάνεια του υλικού, ωστόσο κάτι τέτοιο απαιτεί εμπειρία από την πλευρά του χειριστή. Μπορούν επίσης να εντοπιστούν και άλλες ατέλειες (επιφανειακές ή μικρού βάθους), όπως αναδιπλώσεις ή μη μεταλλικές προσμείξεις. Υπάρχει συχνά η απαίτηση μετά το πέρας του έλεγχου, λόγω του παραμένουστος μαγνητικού πεδίου, το αντικείμενο να απομαγνητίζεται.

Απαιτούμενα μέσα

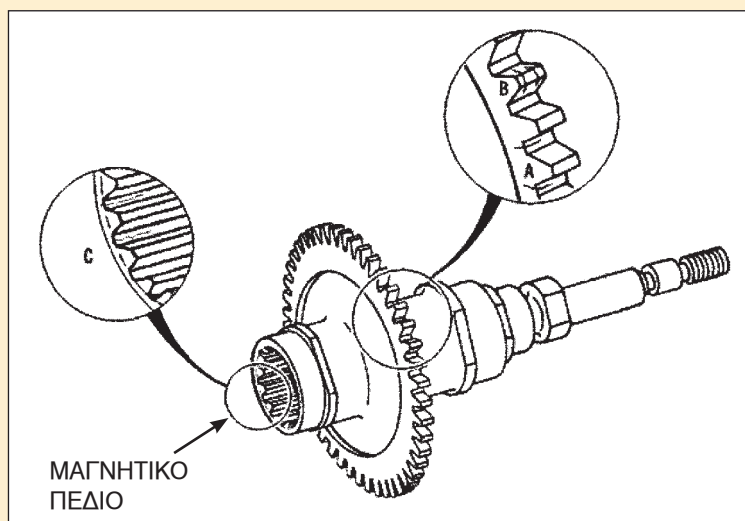
- Εξαρτήματα αεριοστρόβιλου κινητήρα, κατασκευασμένα από φερρομαγνητικά υλικά.
- Εξοπλισμός μαγνητικής επιθεώρησης (§2.3.4.2.1).
- Τεχνικά εγχειρίδια του κατασκευαστή, όπου περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία επιθεώρησης.
- Γενικά εργαλεία (συγκράτησης, κλπ.).
- Μικρός γερανός για τη μετακίνηση των εξαρτημάτων, εάν αυτά είναι μεγάλου βάρους.
- Διάλυμα καθαρισμού.

Μέτρα ασφάλειας

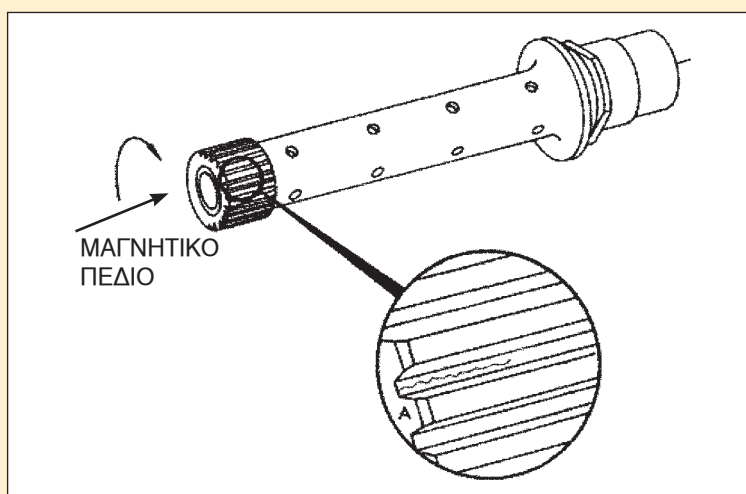
- Ο απομαγνητισμός των εξαρτημάτων πρέπει να είναι πλήρης. Ο μερικός απομαγνητισμός, επιτρέπει στο εξάρτημα να δρα σαν μαγνήτης, με τον κίνδυνο να έλξει μεταλλικά αντικείμενα, προκαλώντας πιθανώς ζημιές.
- Τα διαλύματα καθαρισμού είναι συνήθως εύφλεκτα, τοξικά και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ενοχλήσεις, αν έρθουν σε επαφή με το δέρμα, τα μάτια ή αν γίνει εισπνοή τους. Χρησιμοποιείτε προστατευτικά γυαλιά και κατάλληλο ρουχισμό. Φροντίστε για τον καλό αερισμό του χώρου πραγματοποίησης της επιθεώρησης.
- Γενικά, ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που περιγράφονται στο Παράρτημα Β.

Πορεία εργασίας

Για την εκτέλεση της εργασίας θα πρέπει να επιλεγεί κάποιο εξάρτημα, το οποίο είναι κατασκευασμένο από φερρομαγνητικό υλικό. Τέτοια εξαρτήματα μπορεί να είναι:



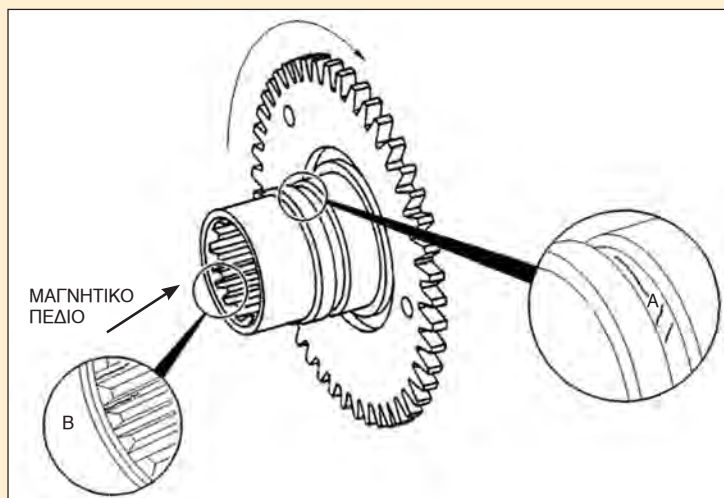
(α)



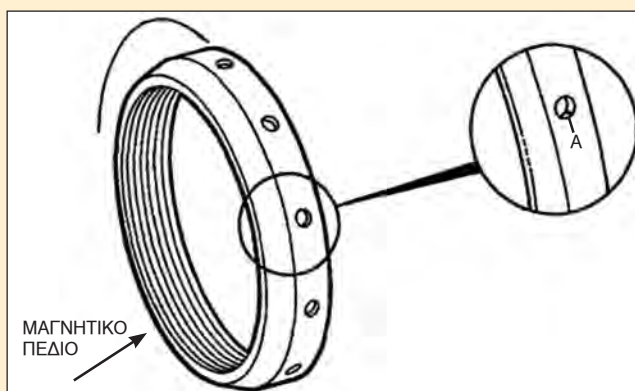
(β)

Σχήμα 3.126 Κρίσιμες περιοχές μαγνητικής επιθεώρησης αξονίσκων

- άξονες (Σχήμα 3.126 α & β),
- σύνδεσμοι αξόνων (Σχήμα 3.127),
- περικόχλια (Σχήμα 3.128),
- ελάσματα (Σχήμα 3.129),
- αποστάτες (Σχήμα 3.130),
- συγκρατητές (Σχήμα 3.131)



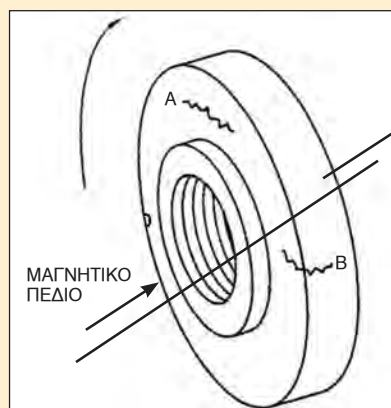
Σχήμα 3.127 Κρίσιμες περιοχές μαγνητικής επιθεώρησης συνδέσμου αξόνων (shaft coupling)



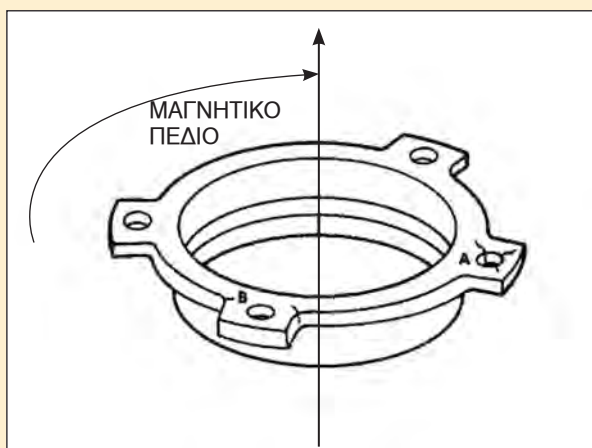
Σχήμα 3.128 Κρίσιμες περιοχές μαγνητικής επιθεώρησης περικόχλιου (nut)



Σχήμα 3.129 Κρίσιμες περιοχές μαγνητικής επιθεώρησης ελάσματος (liner)



Σχήμα 3.130 Κρίσιμες περιοχές μαγνητικής επιθεώρησης αποστάτη (spacer)



Σχήμα 3.131 Κρίσιμες περιοχές μαγνητικής επιθεώρησης συγκρατητή (retainer)

Μετά την επιλογή του εξαρτήματος, η επιθεώρησή του με τη μέθοδο των μαγνητικών σωματιδίων γίνεται ως εξής (είναι φυσικά απαραίτητο, να έχετε συμβουλευθεί και να ακολουθείτε κατά την πορεία της επιθεώρησης το εγχειρίδιο του κατασκευαστή):

1. Μελετήστε το τεχνικό εγχειρίδιο. Προδιαγράψτε τη σειρά των εργασιών που θα πραγματοποιήσετε στα πλαίσια της επιθεώρησης. Βεβαιωθείτε για την ύπαρξη του απαραίτητου εξοπλισμού, που θα απαιτηθεί για την απρόσκοπτη διεξαγωγή της επιθεώρησης.
2. Καθαρίστε το εξάρτημα σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
3. Εφαρμόστε το ηλεκτρικό πεδίο, ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή, αναφορικά με την ένταση του ρεύματος (Amperes DC).
4. Μαγνητίστε το εξάρτημα κατά τη διεύθυνση που απαιτεί η επιθεώρηση (βλέπε και Σχήμα 3.126 έως Σχήμα 3.131)
5. Εμβαπτίστε το εξάρτημα στο διάλυμα των μαγνητικών σωματιδίων.
6. Επιθεωρήστε το εξάρτημα χρησιμοποιώντας υπεριώδες φως (UV ή μαύρο φως).
7. Διαβάστε προσεκτικά τις υποδείξεις του κατασκευαστή, όσον αφορά την ερμηνεία των ενδείξεων. Σε περιπτώσεις που παρουσιάζεται δυσκολία στην ερμηνεία των ενδείξεων, είναι πιθανόν να απαιτηθεί η επανάληψη της επιθεώρησης, ή χρήση λευκού φωτός και μεγεθυντικού φακού.
8. Απομαγνητίστε το εξάρτημα, ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου.

Εργαστηριακή άσκηση 3.4:

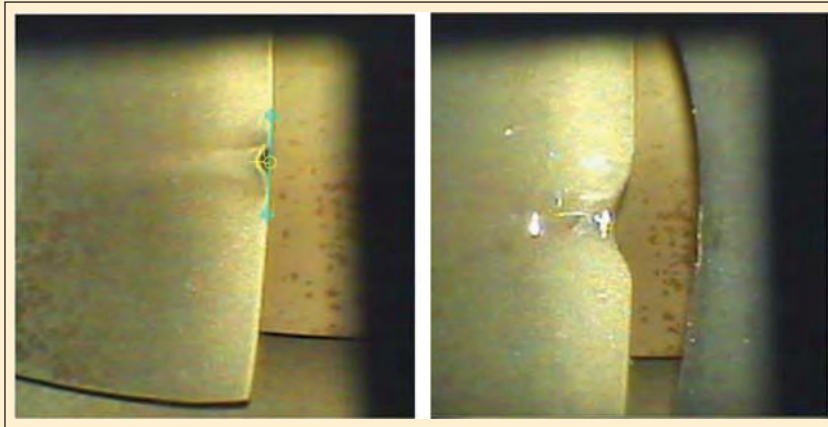
Επιθεώρηση – επισκευή περιστρεφόμενων πτερυγίων συμπιεστή

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αναγνωρίζετε τους βασικούς τύπους ευρημάτων, τα οποία εμφανίζονται κατά την επιθεώρηση πτερυγίων συμπιεστή.
- β) Να εφαρμόζετε μεθόδους μη καταστροφικών ελέγχων (κυρίως οπτική, FPI και MPI) για την επιθεώρηση των πτερυγίων.
- γ) Να επισκευάζετε τα πτερύγια με λείανση και να αντικαθιστάτε τις προστατευτικές επικαλύψεις.

Εισαγωγικές πληροφορίες



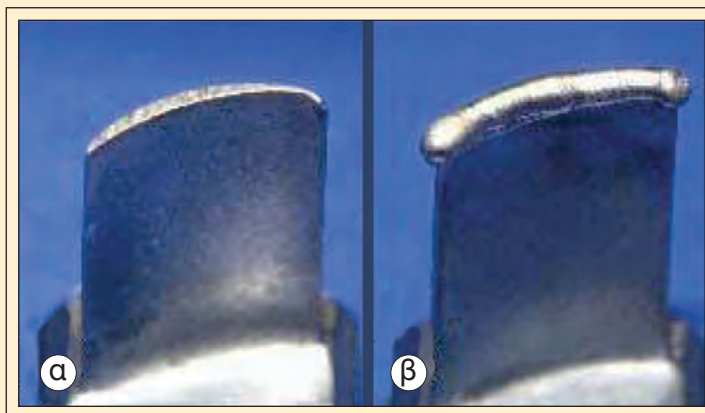
(α) (β)

Σχήμα 3.132 (α) Αποκόλληση τεμαχίου και (β) λείανση χείλους προσβολής πτερυγίου

Ένα από τα συνηθέστερα ευρήματα κατά την επιθεώρηση των πτερυγίων του ανεμιστήρα και του συμπιεστή είναι χτυπήματα (πολλές φορές και σπασίματα) στα χείλη προσβολής ή εκφυγής των πτερυγίων (Σχήμα 3.132α). Αυτά τα ευρήματα μπορούν να επηρεάσουν σ'ένα βαθμό την επίδοση, την καλή λειτουργία και σε ορισμένες περιπτώσεις την ακεραιότητα του κινητήρα, μια και αποτελούν πιθανές εστίες έναρξης ρωγμών. Για την αποκατάσταση τέτοιων βλαβών ακολουθείται διαδικασία λείανσης, η οποία αποσκοπεί στην αφαίρεση των αιχμηρών ακμών¹, οι

¹ Οι αιχμηρές ακμές αποτελούν περιοχές ανάπτυξης υψηλών καταπονήσεων, οι οποίες είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη ζημιά, ακόμη και θραύση.

οποίες έχουν προκληθεί από το χτύπημα και στη δημιουργία ενός στρογγυλεμένου περιγράμματος (Σχήμα 3.132 β). Σε πολλές περιπτώσεις, η λείανση μπορεί να επεκταθεί σε όλο το μήκος των χειλών προσβολής και εκφυγής. Σημειώνεται ότι υπάρχουν ειδικές τεχνικές λείανσης, οι οποίες προδιαγράφονται από την κατασκευάστρια εταιρεία. Αυτές πραγματοποιούνται συνήθως από ειδικά εκπαιδευμένο και εξουσιοδοτημένο τεχνικό προσωπικό.



Σχήμα 3.133 (α) Καθαρισμός και (β) συγκόλληση άκρου σε πτερύγιο συμπίεστή

Τα άκρα των πτερυγίων (blade tips) συνήθως παρουσιάζουν φθορές, εξαιτίας της τριβής τους με το εσωτερικό του περιβλήματος. Κατά τη διάρκεια της γενικής επισκευής είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ανάκτηση του αρχικού μήκους του πτερυγίου με συγκόλληση (**blade tip weld**). Σε αυτή την περίπτωση και αφού καθαρισθεί καλά η φθαρμένη περιοχή, εναποτίθεται αρχικά υλικό με συγκόλληση (Σχήμα 3.133). Στη συνέχεια αποκαθίσταται η αρχική μορφή του πτερυγίου με μηχανουργική κατεργασία (τρόχισμα - Σχήμα 3.134). Τέτοιες επισκευές είναι ιδιαίτερα σημαντικές, μια και επιτρέπουν την περαιτέρω χρήση υλικών μεγάλης αξίας.

Άλλες επισκευές, οι οποίες πραγματοποιούνται στα πτερύγια του συμπίεστή, κατά τη διάρκεια γενικών επισκευών περιλαμβάνουν την αντικατάσταση της προστατευτικής επίστρωσης¹ (**wear coating**) ή του σιλικονούχου στεγανοποιητικού (**RTV sealant**) της ρίζας των πτερυγίων. Απαιτείται φυσικά ειδικός εξοπλισμός. Συνήθης επίσης κατεργασία, η οποία εφαρμόζεται στις βάσεις των πτερυγίων, είναι ο «βομβαρδισμός» της περιοχής με σφαιρίδια (**shot-peening**).

¹ Σύνθετος υλικό επίστρωσης είναι πούδρα Χαλκού-Νικελίου-Ινδίου (Cu-Ni-In), η οποία εφαρμόζεται με ψεκασμό.



Σχήμα 3.134 (α) Συγκόλληση ακροπτερυγίου και (β) αποκατάσταση περιγράμματος μετά από μηχανουργική κατεργασία (τρόχισμα)

Τέλος, αφαιρείται και εφαρμόζεται εκ νέου η ειδική επίστρωση για την προστασία των πτερυγίων από μηχανική διάβρωση. Πρόκειται συνήθως για διαδικασία ψεκασμού των πτερυγίων με ειδική πούδρα, η οποία κατασκευάζεται με βάση το αλουμίνιο (Σχήμα 3.135)



Σχήμα 3.135 Πτερύγια που έχουν υποστεί αντιδιαβρωτική προστασία με πούδρα «αλουμινίου»

Στην παρούσα εργαστηριακή άσκηση προτείνεται η επιθεώρηση πτερυγίων από τις 8 βαθμίδες του συμπιεστή του κινητήρα J85, και περιγράφονται οι επισκευές, οι οποίες απαιτούνται, ανάλογα με τα ευρήματα της επιθεώρησης.

Απαιτούμενα μέσα

- Πτερύγια συμπιεστή.
- Εγχειρίδια επιθεώρησης και επισκευών της κατασκευάστριας εταιρείας.
- Μεγεθυντικός φακός.

- Εξοπλισμός πραγματοποίησης μη καταστροφικών ελέγχων με διεισδυτικά υγρά ή με μαγνητικά σωματίδια.
- Ο απαραίτητος εξοπλισμός για την πραγματοποίηση των επισκευών: εφαρμοστήριο, συνεργείο συγκολλήσεων κλπ.

Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας του Παραρτήματος Β.

Πορεία εργασίας

1. Μελετήστε τα τεχνικά εγχειρίδια. Προδιαγράψτε τη σειρά των εργασιών που θα πραγματοποιήσετε στα πλαίσια της επιθεώρησης των πτερυγίων και των πιθανών επισκευών.

Μελετήστε το Σχήμα 3.136 και αναγνωρίστε τις περιοχές, οι οποίες αναφέρονται στο σχήμα, στα πραγματικά πτερύγια.

2. Εξασφαλίστε ικανό αριθμό πάγκων εργασίας, χωρίς αντικείμενα στην επιφάνειά τους.
3. Επιθεωρήστε τα πτερύγια οπτικά. Σημειώστε τυχόν ευρήματα.
4. Επιθεωρήστε τα πτερύγια με τη μέθοδο των διεισδυτικών υγρών (FPI) ή με αυτή των μαγνητικών σωματιδίων (MPI) (βλέπε και §2.3.4.2). Αξιολογήστε τυχόν ευρήματα, συμβουλευόμενοι το τεχνικό εγχειρίδιο. Παραθέτουμε ενδεικτικές οδηγίες για τα πτερύγια της άσκησης:

i. Ρωγμές οι οποίες έχουν προκληθεί από εξωτερικό αντικείμενο, σκισίματα, χτυπήματα, κοψίματα στα χείλη προσβολής και εκφυγής και στα ακροπτερύγια αντιμετωπίζονται με λείανση, εφόσον η τελική διαμόρφωση του πτερυγίου βρίσκεται εντός των ορίων, τα οποία προδιαγράφονται στο Σχήμα 3.137 (α) και (β).

ii. Η διαπίστωση άλλων ρωγμών, ιδιαίτερα στις κρίσιμες περιοχές, σύμφωνα με το Σχήμα 3.136, αποτελεί αιτία αχρήστευσης του πτερυγίου.

iii. Φθορά στις οπές του πείρου συγκράτησης των πτερυγίων της 1ης βαθμίδας, μπορεί να γίνει αποδεκτή, εφόσον δεν υπερβαίνει κάποιο όριο ευχρηστότητας.

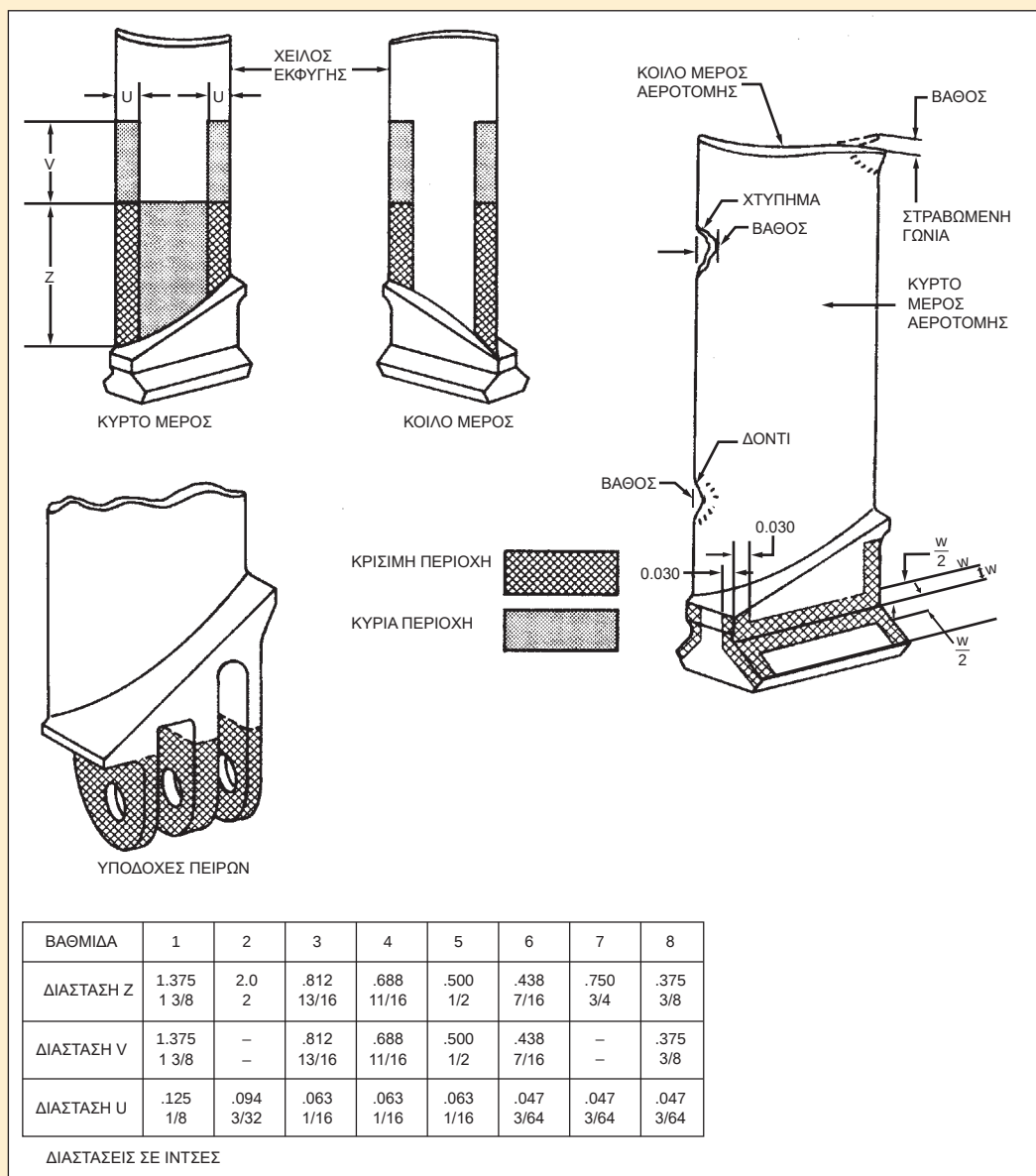
iv. **Εκτοπισμένο υλικό (high metal)** θα πρέπει να καθαρίζεται.

- ν. Ενδείξεις αποφλοίσωσης στην αντιδιαβρωτική επίστρωση (**diffused aluminum coating**) των πτερυγίων ή στην αντιτριβική επίστρωση (**Cu-Ni-In coating**) της ρίζας (**dovetail**) των πτερυγίων αντιμετωπίζονται με αφαίρεση και εκ νέου εφαρμογή των επιστρώσεων.

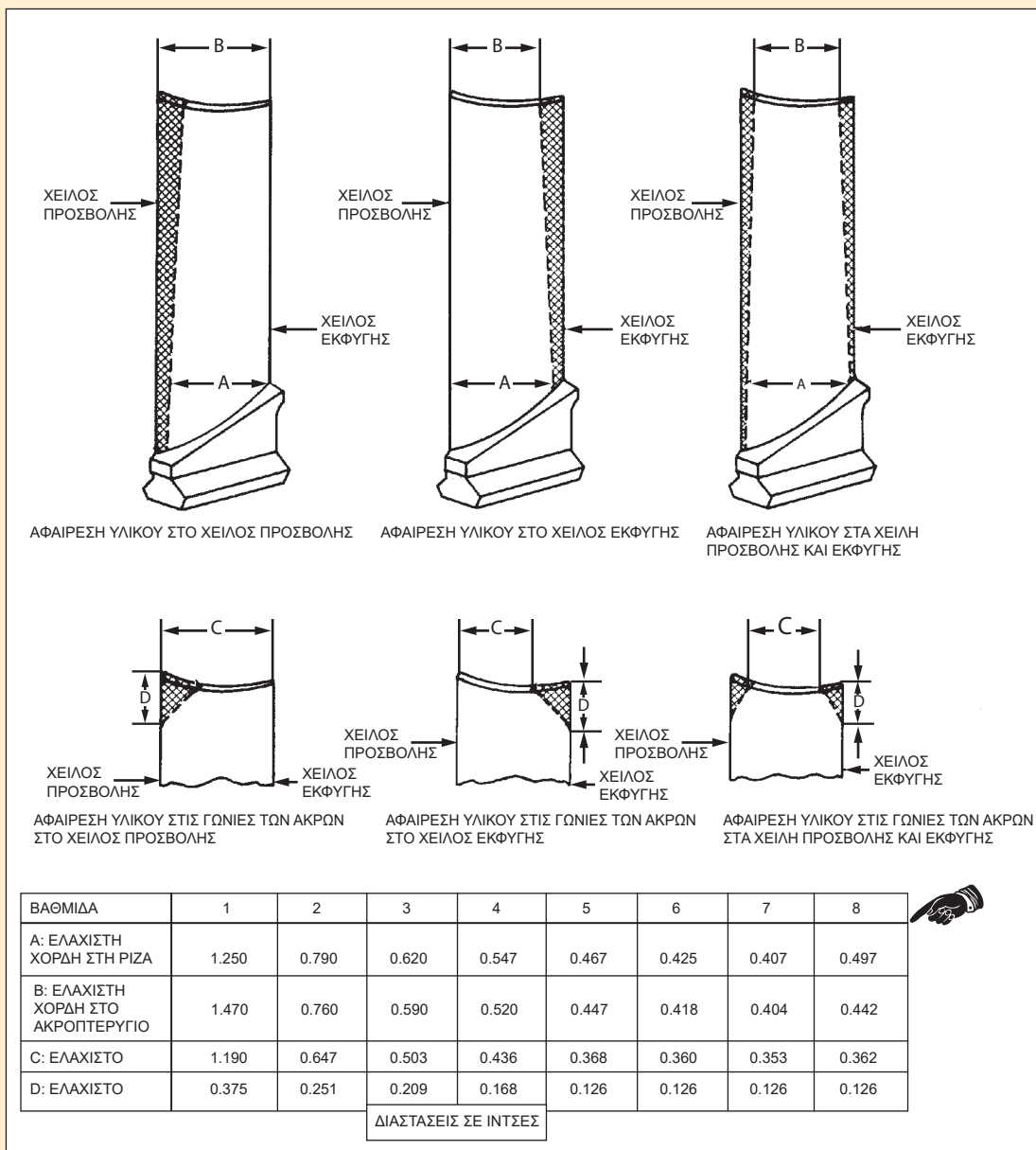
Θα πρέπει να σημειώσουμε, ότι η εφαρμογή μιας επίστρωσης απαιτεί καλή προετοιμασία του εξαρτήματος, η οποία περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, την **κάλυψη (masking)** των περιοχών, οι οποίες δεν θα πρέπει να επιστρωθούν (Σχήμα 3.138). Η κάλυψη γίνεται συνήθως με τη χρήση κατάλληλης ταινίας.

Περιγράφουμε στη συνέχεια τη διαδικασία λείανσης των χειλών προσβολής και εκφυγής των πτερυγίων:

1. Καθαρίστε αρχικά την περιοχή της ζημιάς με χονδρόκοκκο τροχό ή στυπόχαρτο. Προσέξτε ιδιαίτερα να μην αφαιρέσετε περισσότερο υλικό, από όσο απαιτείται για την εξάλειψη της ζημιάς:
 - Καθαρίστε και τις δύο ακμές μέσα στα όρια που δίνει το Σχήμα 3.137 (α,β).
 - Καθαρίστε και ενώστε περιοχές ευρημάτων, οι οποίες απέχουν λιγότερο από 0,250in. μεταξύ τους.
 - Στρογγυλέψτε την ακμή εκφυγής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.139.
2. Μετρήστε τα μήκη των χορδών, όπως απαιτεί το Σχήμα 3.137.
3. Ολοκληρώστε την επισκευή λειαίνοντας τις κατεργασμένες περιοχές, με τη χρήση ψιλόκοκκου τροχού, πέτρας ή στυπόχαρτου. Η τελική ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας (**surface finish**) πρέπει να είναι ισοδύναμη με αυτή των μη κατεργασμένων περιοχών.

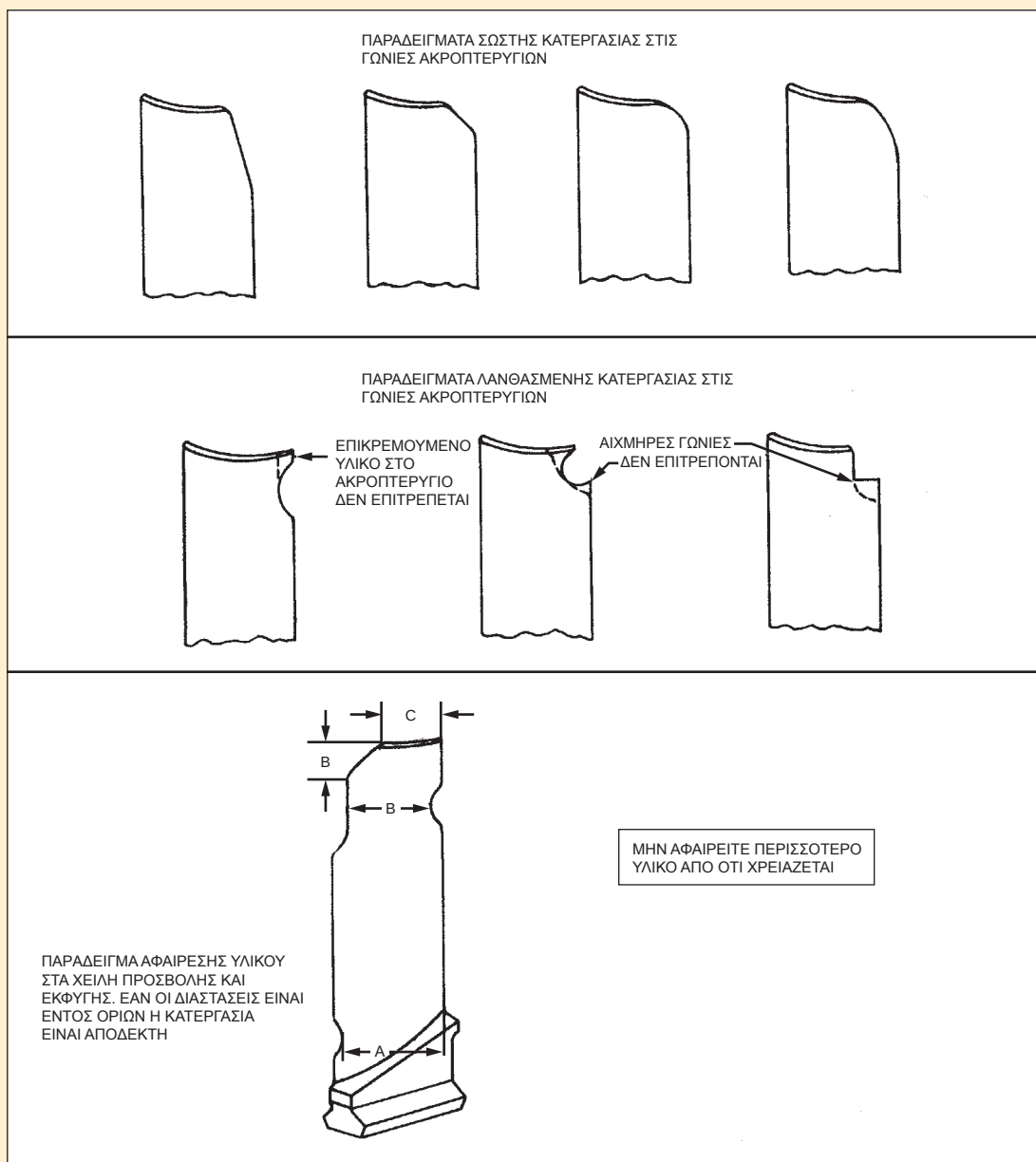


Σχήμα 3.136 Αναγνώριση περιοχών επιθεώρησης και πιθανών ευρημάτων



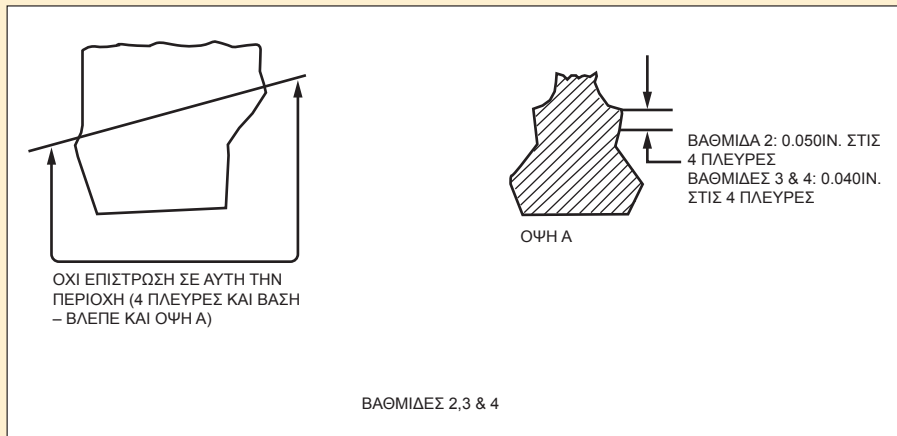
(α)

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

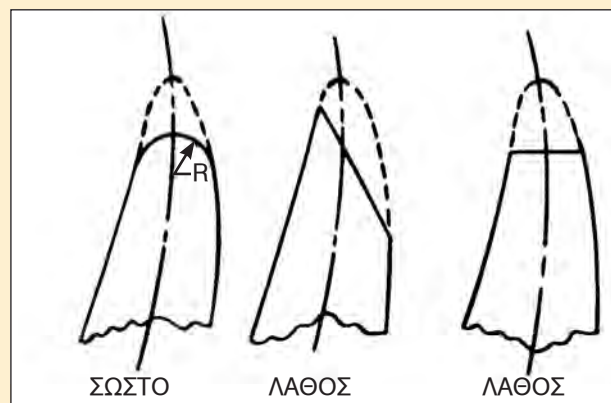


(β)

Σχήμα 3.137 Όρια επισκευής των πτερυγίων



Σχήμα 3.138 Προστασία (masking) της ρίζας των πτερυγίων των βαθμίδων 2-4 πριν την εφαρμογή της αντιδιαβρωτικής επίστρωσης



Σχήμα 3.139 Λείανση χείλους προσβολής

Εργαστηριακή άσκηση 3.5:

Επιθεώρηση – επισκευή θαλάμου καύσης

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- Να αναγνωρίζετε τους βασικούς τύπους ευρημάτων, τα οποία εμφανίζονται κατά την επιθεώρηση ενός θαλάμου καύσης.
- Να εφαρμόζετε μεθόδους μη καταστροφικών ελέγχων (κυρίως οπτική και FPI) για την επιθεώρηση εξαρτημάτων, όπως αυτά που απαρτίζουν τους θαλάμους καύσης.
- Να επισκευάζετε τα παραπάνω εξαρτήματα με λείανση, συγκόλληση κ.ά.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Ο θάλαμος καύσης ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα υπόκειται σε σημαντικές καταπονήσεις, εξαιτίας των μεγάλων θερμοκρασιών, οι οποίες αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αποτελεί ένα από τα κύρια υποσυσκροτήματα του κινητήρα, τα οποία χρειάζονται λεπτομερή επιθεώρηση και εκτεταμένες επισκευές κατά τη διάρκεια της γενικής επισκευής. Όπως αναφέρθηκε και στην §3.3.2.1 (βλ. και Σχήμα 3.11) τα συνήθη ευρήματα κατά την επιθεώρηση των θαλάμων καύσης περιλαμβάνουν ρωγμές, «καψίματα» (burns), ενδείξεις υπερθέρμανσης (hot spots), στρεβλώσεις (warpage) και μηχανική διάβρωση (erosion) (Πίνακας 2.4). Η αποκατάσταση των ρωγμών γίνεται συνήθως με συγκόλληση.

Στην παρούσα εργαστηριακή άσκηση προτείνεται η επιθεώρηση ενός θαλάμου καύσης, δακτυλιοειδούς τύπου, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος εφαρμογής ορισμένων μεθόδων επισκευής.

Απαιτούμενα μέσα

- Αποσυναρμολογημένος θάλαμος καύσης, δακτυλιοειδούς τύπου.
- Εγχειρίδια επιθεώρησης και επισκευών της κατασκευάστριας εταιρείας.
- Μεγεθυντικός φακός.
- Εξοπλισμός πραγματοποίησης μη καταστροφικών ελέγχων με διεισδυτικά υγρά.
- Ο απαραίτητος εξοπλισμός για την πραγματοποίηση των επισκευών: εφαρμοστήριο, συνεργείο συγκολλήσεων κλπ.

Δεδομένης της αναμενόμενης δυσκολίας για την πραγματοποίηση των επισκευών σε πραγματικά κομμάτια, συνιστάται η πραγματοποίηση αυτών με τη χρήση απλών λαμαρινών, από το ίδιο υλικό και παραπλήσιας, κατά το δυνατόν, γεωμετρικής διαμόρφωσης¹.

Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που περιγράφονται στο Παράρτημα Β.

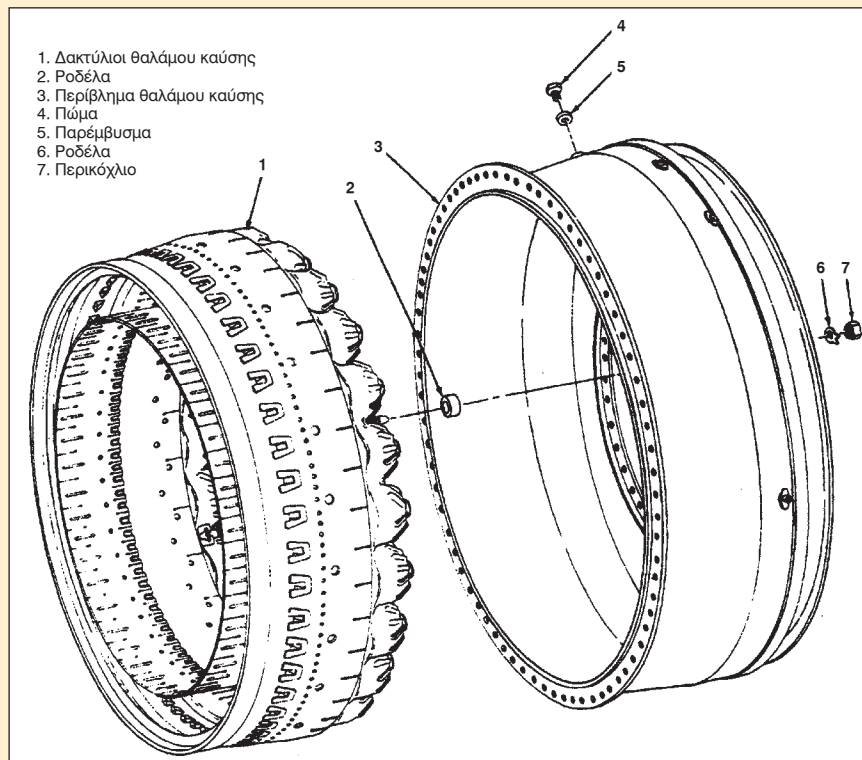
Πορεία εργασίας

1. Μελετήστε τα τεχνικά εγχειρίδια. Προδιαγράψτε τη σειρά των εργασιών που θα πραγματοποιήσετε στα πλαίσια της επιθεώρησης του ή των δακτυλίων του

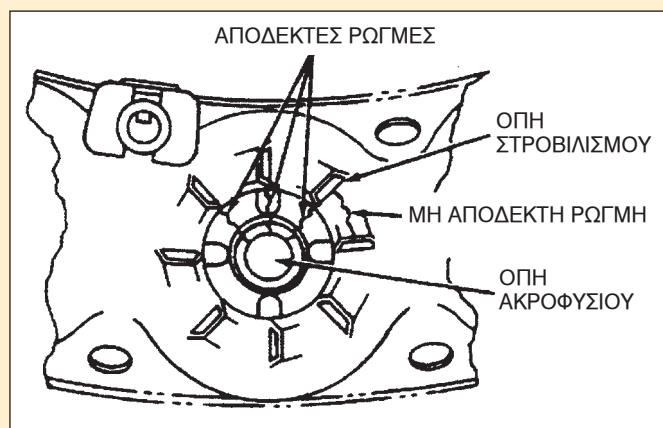
¹ Υπάρχει φυσικά η δυνατότητα πραγματοποίησης της άσκησης σε μη εύχρηστους θαλάμους καύσης, οι οποίοι μπορούν να προμηθευθούν από οργανισμούς γενικής επισκευής, από τους χρήστες, κλπ.

θαλάμου καύσης (combustion chamber liner – Σχήμα 3.140) και των πιθανών επισκευών.

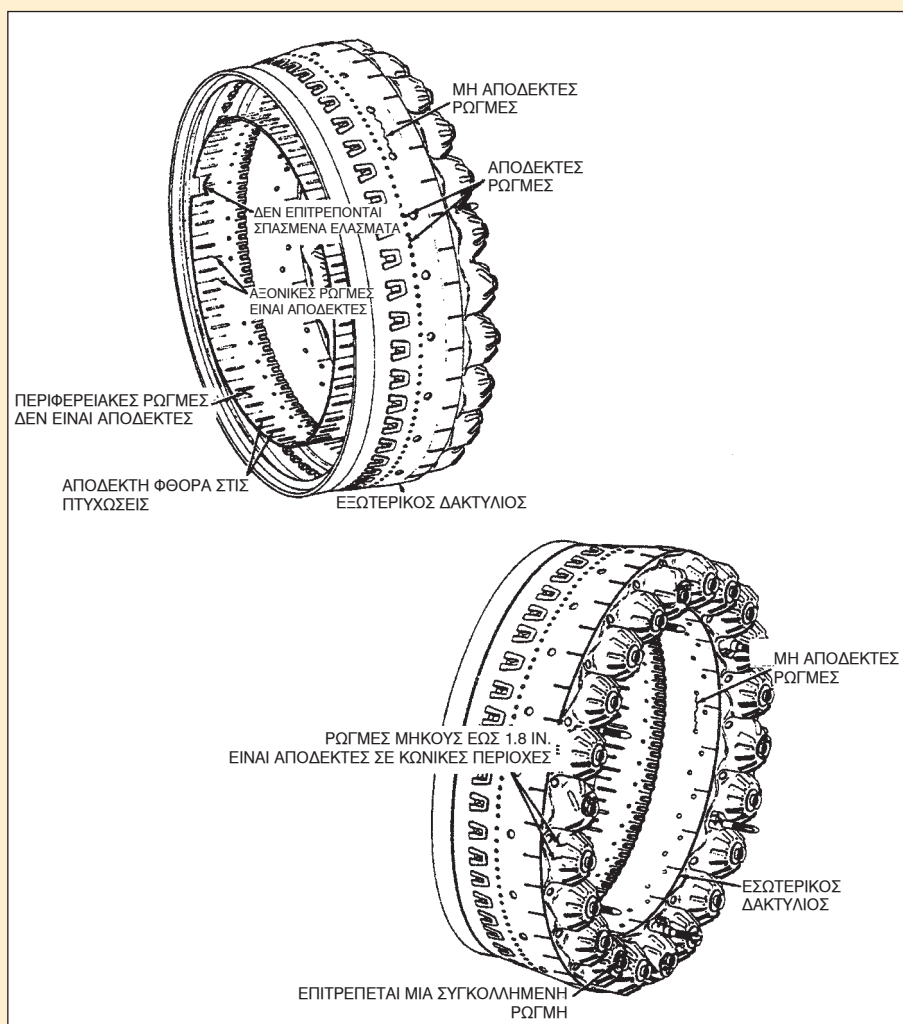
2. Εξασφαλίστε ικανό αριθμό πάγκων εργασίας, χωρίς αντικείμενα στην επιφάνειά τους.
3. Επιθεωρήστε οπτικά το δακτύλιο του θαλάμου καύσης. Βεβαιωθείτε ότι δεν έχει εκτεταμένες ζημιές, οι οποίες θα απέτρεπαν οποιαδήποτε προσπάθεια επισκευής, σύμφωνα με το τεχνικό εγχειρίδιο.
4. Επιθεωρήστε το εξάρτημα με τη μέθοδο των διεισδυτικών υγρών (FPI). Αξιολογήστε τυχόν ευρήματα, συμβουλευόμενοι το τεχνικό εγχειρίδιο. Παραθέτουμε ενδεικτικές οδηγίες για το δακτύλιο της παρούσας άσκησης:
 - i. Ρωγμές στην περιοχή ψεκασμού του καυσίμου (Σχήμα 3.141) μικρού μήκους είναι αποδεκτές.
 - ii. Στο Σχήμα 3.141 παρατίθενται ρωγμές, οι οποίες είναι πιθανόν να εμφανιστούν στην περιοχή ψεκασμού του καυσίμου.
 - iii. Το Σχήμα 3.142 περιέχει πληροφορίες σχετικές με τις αναμενόμενες ρωγμές στον εσωτερικό και στον εξωτερικό δακτύλιο.



Σχήμα 3.140 Συγκρότημα θαλάμου καύσης

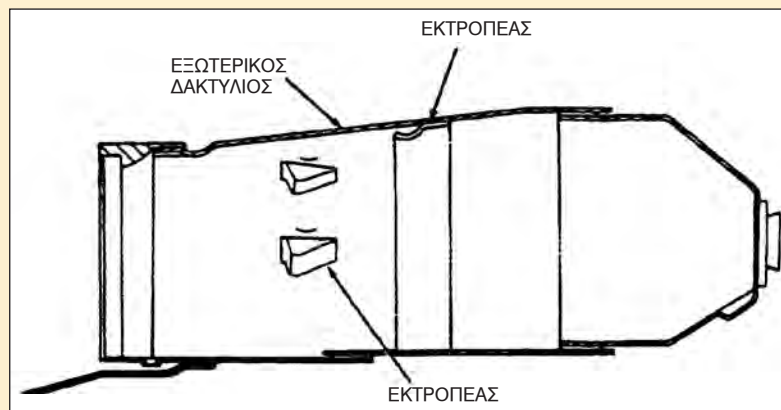


Σχήμα 3.141 Περιοχή ψεκασμού



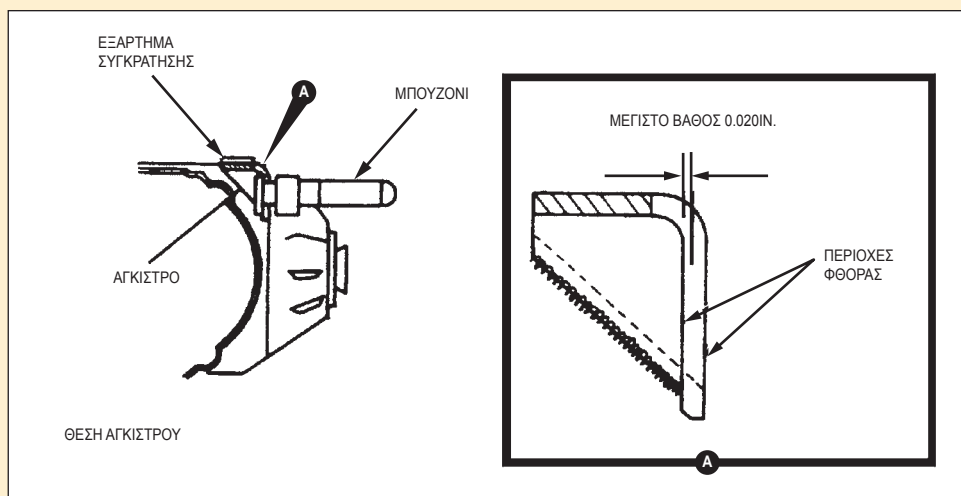
Σχήμα 3.142 Ευρήματα στον εσωτερικό και στον εξωτερικό δακτύλιο

- iv. Ορισμένες από τις μη αποδεκτές ρωγμές είναι δυνατόν να επισκευασθούν με συγκόλληση. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις απαιτείται αντικατάσταση του δακτύλιου.
5. Επιθεωρήστε οπτικά τους εκτροπείς (deflectors), οι οποίοι βρίσκονται στον εξωτερικό δακτύλιο (Σχήμα 3.143):
- i. Ορισμένες από τις μη αποδεκτές ρωγμές είναι δυνατόν να επισκευασθούν με συγκόλληση. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις απαιτείται αντικατάσταση του δακτύλιου.
 - ii. Αιχμηρά χτυπήματα (nicks) αποκαθίστανται με λείανση.
 - iii. Παραμορφωμένες περιοχές (bent areas) θα πρέπει να αποκαθίστανται με σφυρηλάτηση.
 - iv. Ρωγμές κοντά σε πονταρισίες πρέπει να συγκολλούνται.
 - v. Σπασμένοι εκτροπείς πρέπει να αποκαθίστανται.



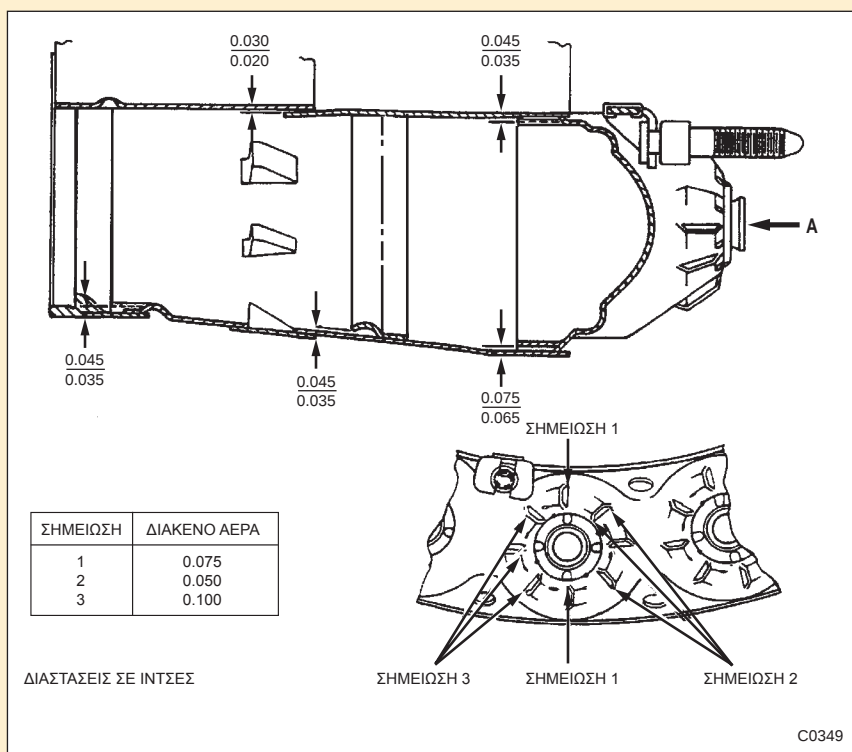
Σχήμα 3.143 Θέση των εκτροπέων

6. Εντοπίστε καμένες περιοχές:
- Καμένες περιοχές στον εσωτερικό ή εξωτερικό δακτύλιο είναι αποδεκτές, εφόσον δεν ξεπερνούν συγκεκριμένα όρια. Σε αντίθετη περίπτωση, εφαρμόζεται επισκευή μπαλώματος (**patch repair**).

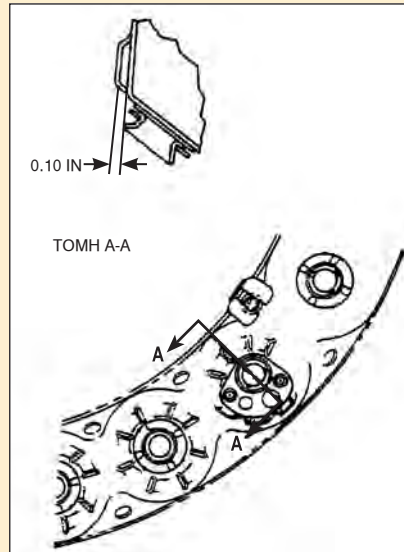


Σχήμα 3.144 Τυφλός κοχλίας (μπουζόνι) και άγκιστρο

7. Επιθεωρήστε τις **οπές στροβιλισμού (cooling louvers)** για απόφραξη (clogging). Καθαρίστε τις οπές, εάν απαιτείται.
8. Επιθεωρήστε τους δακτυλίους για παραμόρφωση και αποκαταστήστε τη γεωμετρία τους, εάν η παραμόρφωση υπερβαίνει τα όρια του κατασκευαστή.



(α)

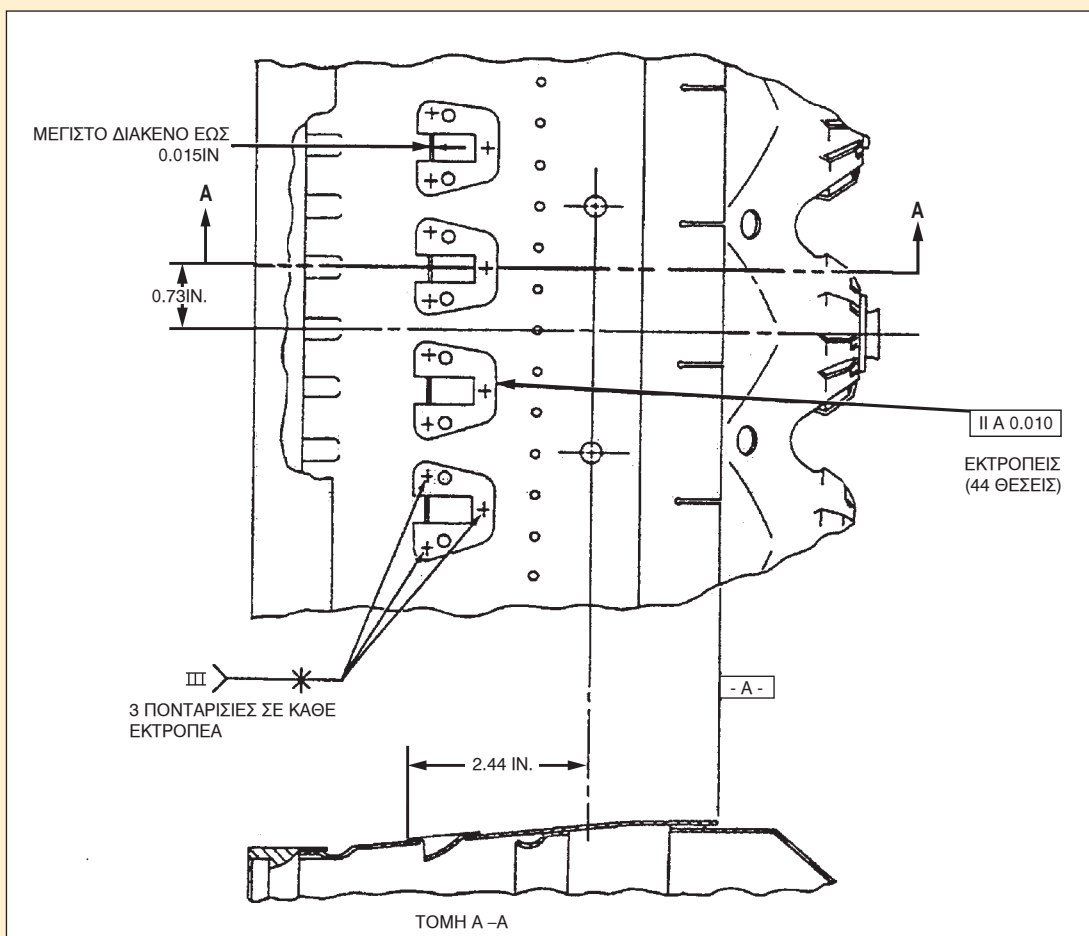


Σχήμα 3.145 Έλεγχος διάκενου αέρα

9. Επιθεωρήστε τους τυφλούς κοχλίες (studs – Σχήμα 3.144). Επισκευάστε το σπείρωμα αν απαιτείται, ή αντικαταστήστε τους με καινούργιους.
 10. Επιθεωρήστε τα άγκιστρα (stud bracket – Σχήμα 3.144) για φθορά. Αντικαταστήστε τα κομμάτια, αν η φθορά υπερβαίνει το όριο του κατασκευαστή.
 11. Ελέγξτε τις ανοχές των διακένων αέρα (air gap clearances – Σχήμα 3.145). Στην περίπτωση που οι μετρήσεις σας δεν είναι εντός των ορίων του σχήματος, αποκαταστήστε τα διάκενα, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
- Προτείνεται στη συνέχεια η επισκευή των εκτροπέων και η διαδικασία αντικατάστασής τους (αν αυτό απαιτείται).
1. Εξαλείψτε τα αιχμηρά χτυπήματα με λείανση.
 2. Αποκαταστήστε τις στραβωμένες περιοχές με **ψυχρή κατεργασία (cold straightening)**. Μην χρησιμοποιείτε αιχμηρά εργαλεία.
 3. Συγκολλήστε τις ρωγμές, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο σύρμα συγκόλλησης (**filler wire**). Ελέγξτε τις συγκολλήσεις.
 4. Αντικαταστήστε τους σπασμένους εκτροπείς ως ακολούθως:
 - Χρησιμοποιώντας λεπτό τροχό κοπής, κόψτε τον εκτροπέα σύρριζα με την επιφάνεια του εξωτερικού δακτυλίου.

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

- Λειάνετε με το κατάλληλο εργαλείο, τις περιοχές απ' όπου αφαιρέθηκε ο εκτροπέας.
- Καθαρίστε (degrease) τον δακτύλιο από σκόνες, λάδια, κλπ.
- Συγκολλήστε τις ρωγμές, που θα εντοπίσετε ενδεχομένως στην περιοχή, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο σύρμα συγκόλλησης. Ελέγξτε τις συγκολλήσεις.
- Τοποθετήστε τον καινούργιο εκτροπέα με ποντάρισμα (**spot weld** – Σχήμα 3.146). Ελέγξτε τα πονταρίσματα.



Σχήμα 3.146 Αντικατάσταση εκτροπέα

Εργαστηριακή άσκηση 3.6:

Αποσυναρμολόγηση των κύριων παρελκομένων του συστήματος καυσίμου και ελέγχου ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα. Επιθεώρηση των εγχυτήρων καυσίμου.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να πραγματοποιείτε τις απαιτούμενες διαδικασίες προετοιμασίας ενός κινητήρα πριν την αποσυναρμολόγησή του.
- β) Να αναγνωρίζετε τα επιμέρους εξαρτήματα του συστήματος καυσίμου πάνω στον κινητήρα και να γνωρίζετε τη σειρά αφαίρεσής τους.
- γ) Να αποσυναρμολογείτε το σύστημα καυσίμου ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα και να επιθεωρείτε τα επιμέρους εξαρτήματά του.
- δ) Να εφαρμόζετε τις διαδικασίες επιθεώρησης και επισκευής τους.
- ε) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

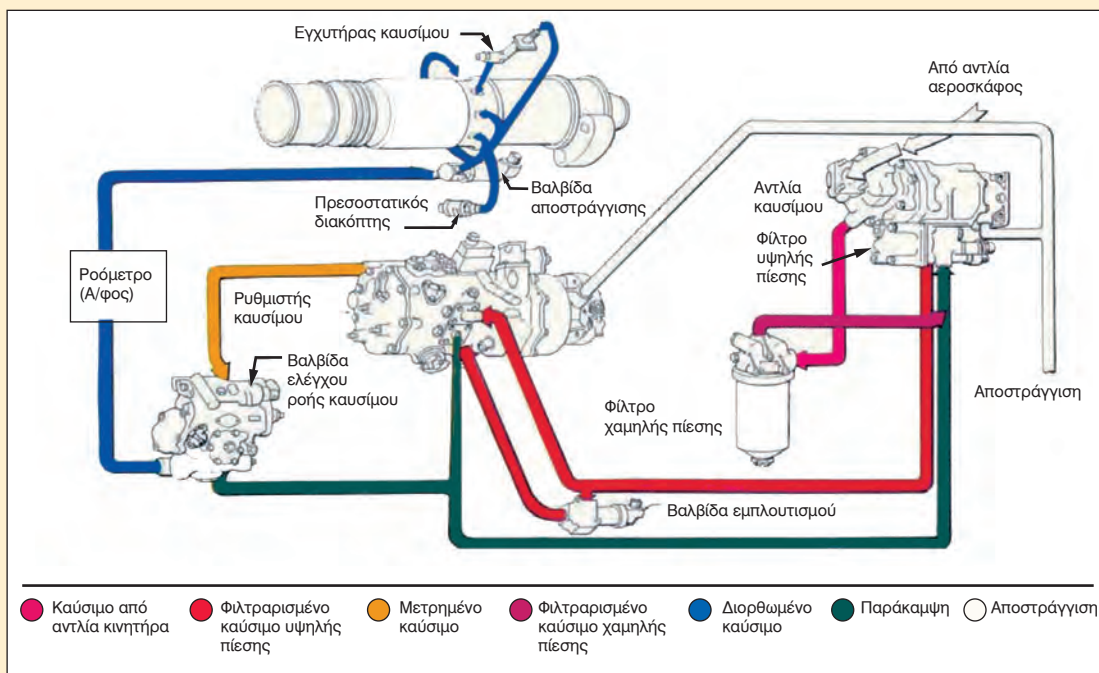
Εισαγωγικές πληροφορίες

Το σύστημα καυσίμου ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα έχει ως σκοπό την παροχή της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου στο θάλαμο καύσης του κινητήρα ελέγχοντας τη ροπή που αναπτύσσεται στον άξονα του έλικα. Η παραγόμενη ώση από τον έλικα σχετίζεται με τη ροπή που αναπτύσσεται στον άξονα του κινητήρα αλλά και με την γωνία του βήματος του έλικα. Αυξάνοντας το βήμα του έλικα αυξάνεται και η απαιτούμενη ροπή για την περιστροφή του λόγω μεγαλύτερης αεροδυναμικής αντίστασης.

Τα **βασικά παρελκόμενα** (Σχήμα 3.147) του συστήματος καυσίμου είναι τα ακόλουθα:

- 1. Αντλία καυσίμου
- 2. Συγκρότημα φίλτρου χαμηλής πίεσης
- 3. Συγκρότημα φίλτρου υψηλής πίεσης
- 4. Ρυθμιστής καυσίμου
- 5. Σύστημα εκκίνησης βαλβίδας εμπλουτισμού
- 6. Βαλβίδα ελέγχου θερμοκρασίας
- 7. Διανομέας καυσίμου (Πολλαπλή)

8. Εγχυτήρες καυσίμου
9. Βαλβίδα αποστράγγισης διανομέα καυσίμου
10. Βαλβίδες αποστράγγισης θαλάμου καύσης



Σχήμα 3.147 Διάγραμμα συστήματος καυσίμου του κινητήρα

Μέτρα ασφαλείας

Κατά τη διάρκεια των εργασιών αποσυναρμολόγησης του συστήματος καυσίμου - ελέγχου του κινητήρα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη λήψη των παρακάτω μέτρων ασφαλείας:

- Βεβαιωθείτε ότι έχει γίνει αποστράγγιση του καυσίμου από τον κινητήρα προτού εκτελέσετε οποιαδήποτε εργασία στον κινητήρα.
- Οι εργασίες θα πρέπει να γίνονται σε ανοικτό χώρο με καλό εξαερισμό για αποφυγή συγκέντρωσης τοξικών και εύφλεκτων αναθυμιάσεων.
- Γενικά, ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφαλείας που περιγράφονται στο Παράρτημα Β.

Απαιτούμενα μέσα

Τα μέσα που απαιτούνται για την εκτέλεση της άσκησης είναι τα ακόλουθα:

- Ένας αξονοστρόβιλος κινητήρας τοποθετημένος στην κλίνη γενικής επισκευής. (Σχήμα 3.148).

- Τα απαραίτητα τεχνικά εγχειρίδια της κατασκευάστριας εταιρείας που αναφέρονται στις διαδικασίες των εργασιών αποσυναρμολόγησης των παρελκομένων του συστήματος καυσίμου.
- Μικρός ανυψωτικός γερανός και ιμάντες για την ανύψωση την ανάρτηση και την αφαίρεση των υποσυγκροτημάτων του κινητήρα.
- Κλίνη για την τοποθέτηση του συγκροτήματος παρελκομένων.
- Πάγκοι εργασίας για την τοποθέτηση των παρελκόμενων που αφαιρούνται από τον κινητήρα.
- Μία σειρά των απαραίτητων ειδικών εργαλείων για τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης.
- Γενικά εργαλεία αποσυναρμολόγησης όπως γερμανικά κλειδιά, κόφτης συρματασφαλίσεων κ.ά.

Πορεία εργασίας

1. Προετοιμασία του χώρου εργασίας και των εργαλείων

- Μελετήστε το εγχειρίδιο αφαίρεσης των υποσυγκροτημάτων του συστήματος καυσίμου και προετοιμάστε τα ειδικά εργαλεία που θα χρειαστούν για την αφαίρεσή τους.
- Βεβαιωθείτε ότι έχετε όλα τα απαραίτητα γενικά εργαλεία που χρειάζονται για τις εργασίες αποσυναρμολόγησης.
- Προετοιμάστε ένα πρόχειρο πλάνο με τις εργασίες αποσυναρμολόγησης με τη σειρά που θα πραγματοποιηθούν.
- Εξασφαλίστε κατάλληλο διαθέσιμο χώρο για την τοποθέτηση των παρελκόμενων μετά την αφαίρεσή τους από τον κινητήρα.

2. Αφαίρεση των παρελκομένων από τον κινητήρα

- Πριν προχωρήσετε σε οποιαδήποτε εργασία αποσυναρμολόγησης παρελκομένων προβείτε σε αποστράγγιση του καυσίμου από το σύστημα από τις βαλβίδες αποστράγγισης που διαθέτουν ο διανομέας, ο ρυθμιστής, και η αντλία καυσίμου. Ποσότητα καυσίμου μπορεί επίσης να αφαιρεθεί και αποσυνδέοντας του αγωγούς καυσίμου που συνδέουν τα παρελκόμενα.

- Η αποστράγγιση του καυσίμου (καθώς και των υπόλοιπων υγρών του κινητήρα) είναι μια διαδικασία που λαμβάνει μέρος στο χώρο του πλυντηρίου κινητήρων, χώρο ανοιχτό, εκτός του υπόστεγου αποσυναρμολόγησης.



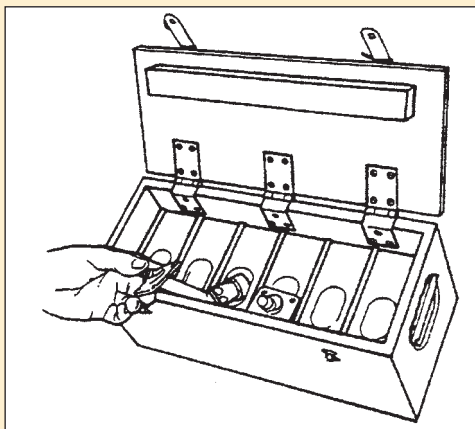
Σχήμα 3.148 Γενική άποψη του κινητήρα σε κλίνη

3. Αφαίρεση εγχυτήρων καυσίμου και του διανομέα καυσίμου

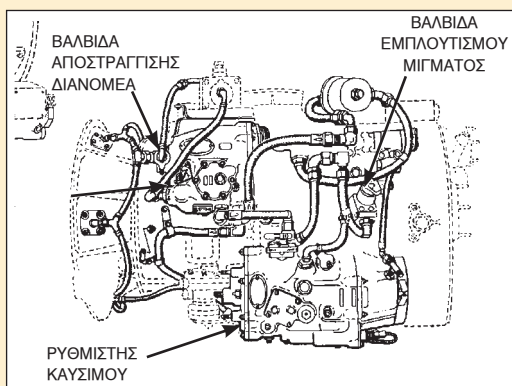
Αφαιρέστε του εγχυτήρες καυσίμου ως εξής:

- Κόψτε τις συρματασφαλίσεις από τα ρακόρ σύσφιξης (unions) και ξεβιδώστε τα για να αφαιρέσετε τους αγωγούς καυσίμου από τους εγχυτήρες. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή στρέβλωσης των αγωγών καυσίμου κατά την αποσύνδεση των ρακόρ.
- Ξεβιδώστε τους κοχλίες που συγκρατούν τους εγχυτήρες με τον διαχύτη του κινητήρα.
- Αφαιρέστε ένα προς ένα τους εγχυτήρες δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή να μην προκληθεί βλάβη στα ακροφύσια ψεκασμού καυσίμου. Τυχόν παραμόρφωση των οπών ροής καυσίμου (ή αέρα) που βρίσκονται στο ακροφύσιο - από χτύπημα ή πτώση του εγχυτήρα - μπορεί να το καταστήσει μη εύχρηστο.
- Αντικαταστήστε το παρεμβύσμα της φλάντζας κάθε εγχυτήρα με καινούργιο.
- Τοποθετήστε τους εγχυτήρες σε κατάλληλη προστατευτική θήκη (Σχήμα 3.149) για την ασφαλή διακίνησή τους μέσα στο συνεργείο.
- Αποσυνδέστε τις σωληνώσεις καυσίμου των εγχυτήρων από τη βαλβίδα αποστράγγισης (Σχήμα 3.150) και από τον πρεσοστατικό διακόπτη

καυσίμου (Σχήμα 3.147) και αφαιρέστε τις από το περίβλημα του κινητήρα. Μετά την αφαίρεση των σωληνώσεων από τον κινητήρα ακολουθεί ο εσωτερικός καθαρισμός τους με κατάλληλο διαλύτη, η επιθεώρησή τους και η δοκιμή τους για τυχόν διαρροές με ειδικό λιπαντικό.



Σχήμα 3.149 Θήκη τοποθέτησης εγχυτήρων καυσίμου

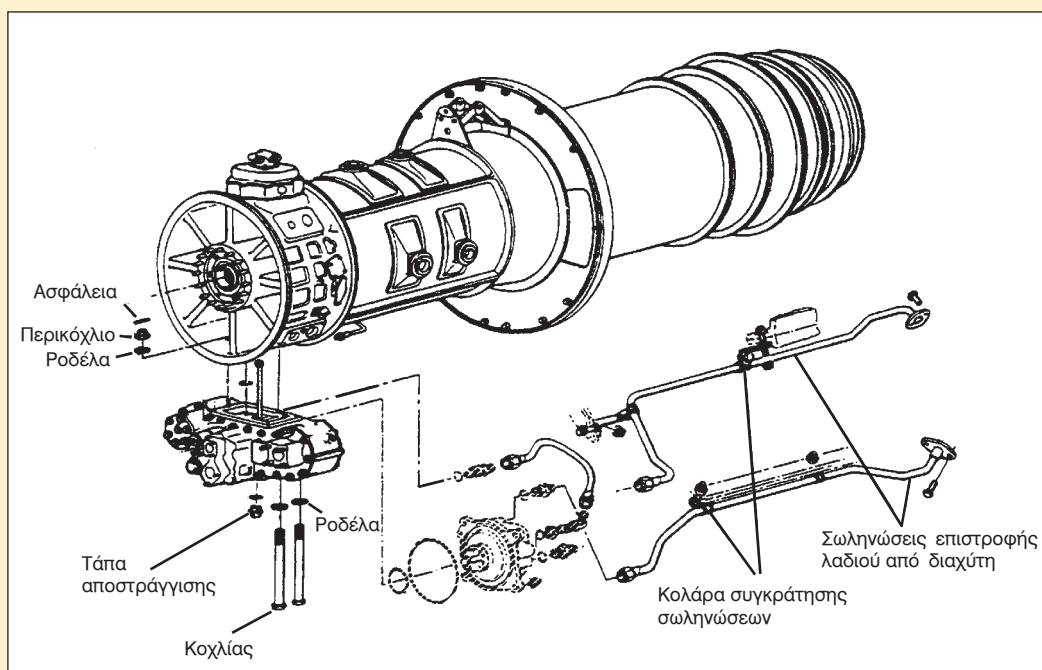


Σχήμα 3.150 Θέση βαλβίδας αποστράγγισης καυσίμου

4. Αφαίρεση της αντλίας και του φίλτρου καυσίμου

- Για την αφαίρεση της αντλίας καυσίμου είναι απαραίτητη η αφαίρεση του κιβωτίου μετάδοσης ισχύος του κινητήρα από το περίβλημα του συμπιεστή και η τοποθέτησή του στην κλίνη αποσυναρμολόγησής του (Σχήμα 3.148).
- Βεβαιωθείτε ότι ο κινητήρας είναι σε θέση με το κιβώτιο στο χαμηλότερο σημείο. Αφαιρέστε την τάπα αποστράγγισης του κιβωτίου μετάδοσης ισχύος αφού έχετε πριν τοποθετήσει κατάλληλο δοχείο αποστράγγισης κάτω από τον κινητήρα.

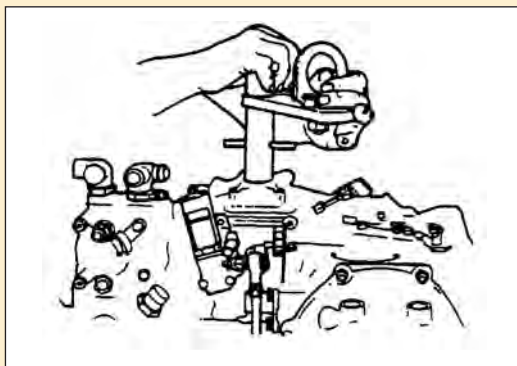
- Περιστρέψτε τον κινητήρα κατά μισή στροφή ώστε να έρθει το κιβώτιο στο υψηλότερο σημείο και αφαιρέστε τις ασφάλειες, τα περικόχλια, τους κοχλίες και τις ροδέλες από το εσωτερικό του συγκροτήματος της εισαγωγής.
- Αποσυνδέστε τις σωληνώσεις επιστροφής λαδιού του διαχύτη από το διαχύτη. Αφαιρέστε τις βίδες από τα κολάρα συγκράτησης και τέλος αφαιρέστε τις σωλήνες από την αντλία επιστροφής λιπαντικού.
- Τοποθετήστε κατάλληλες τάπες στα άκρα των σωλήνων και στα σημεία σύνδεσης που μένουν εκτεθειμένα μετά την αφαίρεση των σωλήνων για αποφυγή εισαγωγής σκουπιδιών, σκόνης και υγρασίας από το περιβάλλον στα παρελκόμενα.



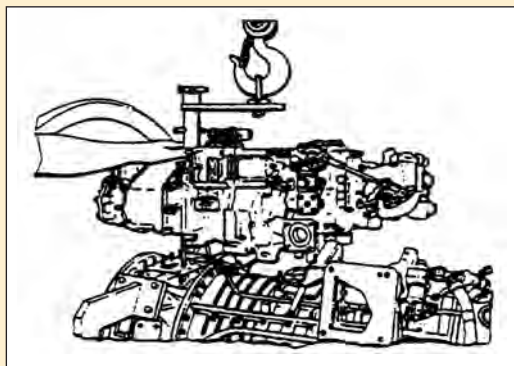
Σχήμα 3.151 Αποσύνδεση του συγκροτήματος των παρελκομένων από το περίβλημα της εισαγωγής του κινητήρα

- Τοποθετήστε τον βραχίονα ανύψωσης του κιβωτίου στην κατάλληλη υποδοχή που διαθέτει (Σχήμα 3.152) και αφαιρέστε το κιβώτιο από το περίβλημα της εισαγωγής με τη χρήση του ανυψωτικού γερανού. (Σχήμα 3.153). Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε η αφαίρεσή του να γίνει προσοδευτικά, χωρίς να προκληθεί φθορά στις επιφάνειες εφαρμογής των δύο μερών και στον κινητήρα.

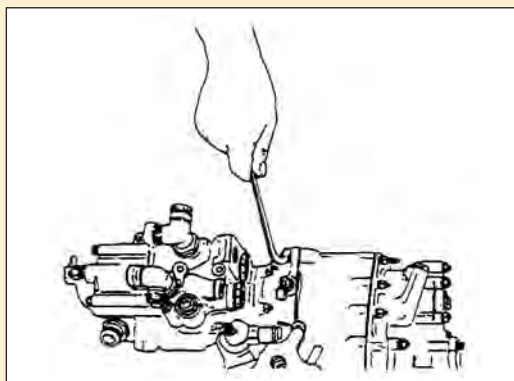
- Τοποθετήστε και ασφαλίστε το κιβώτιο στην κλίνη του.
- Αφαιρέστε την αντλία καυσίμου (Σχήμα 3.154) αφαιρώντας τα περικόχλια συγκράτησής της με το κιβώτιο, και τα μεταξύ τους παρεμβύσματα. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την αφαίρεση των παρεμβυσμάτων για την αποφυγή πρόκλησης φθοράς στις επιφάνειες επαφής.



Σχήμα 3.152 Τοποθέτηση του βραχίονα ανάρτησης



Σχήμα 3.153 Αφαίρεση του κιβωτίου από τον κινητήρα



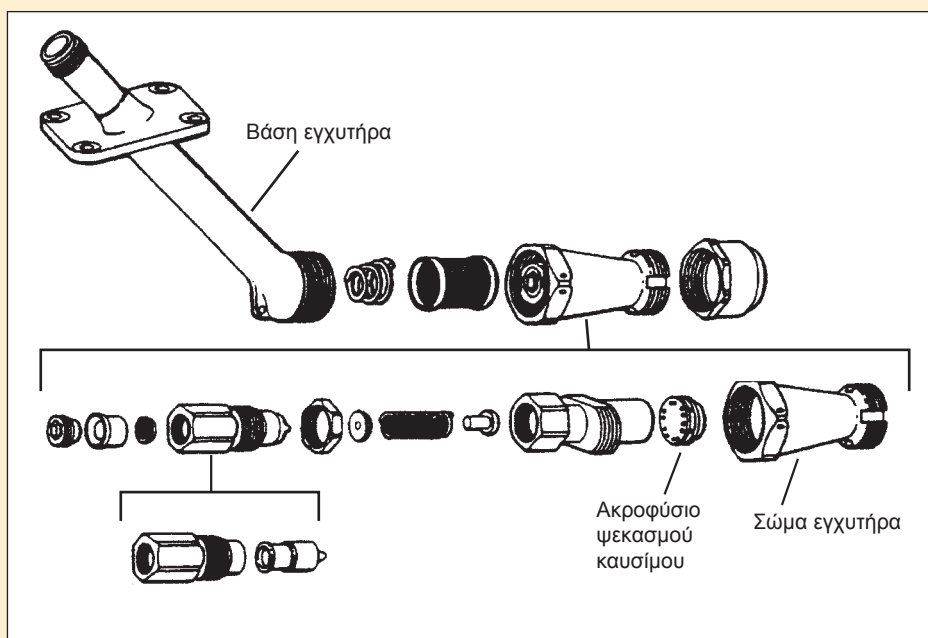
Σχήμα 3.154 Αφαίρεση της αντλίας καυσίμου

5. Επιθεώρηση εγχυτήρων καυσίμου¹

- Τοποθετήστε έναν εγχυτήρα καυσίμου στον πάγκο εργασίας και αποσυναρμολογήστε τον στα επιμέρους εξαρτήματά του. (Σχήμα 3.155)
- Επιθεωρήστε το σώμα του εγχυτήρα και βάση του με τη μέθοδο των εισδυτικών υγρών για ρωγμές. Η ύπαρξη ρωγμών δεν επιτρέπεται.

¹ Η διαδικασία επιθεώρησης προϋποθέτει τον καθαρισμό των εγχυτήρων μετά την αφαίρεσή τους από τον κινητήρα.

- Επιθεωρήστε τα σπειρώματα του σώματος του εγχυτήρα και την επιφάνεια έδρασής του με μεγεθυντικό φακό (10X) για ρωγμές και φθορές. Η ύπαρξη ρωγμών δεν επιτρέπεται.
- Επιθεωρήστε τις επιφάνειες έδρασης των εξαρτημάτων για αμυχές, χαρακιές και χτυπήματα. Τυχόν ύπαρξη τέτοιων ενδείξεων θα πρέπει να αφαιρείται με λείανση (για την αποφυγή διαρροών καυσίμου) αφού εξασφαλιστεί ότι δεν γίνεται υπέρβαση των διαστατικών ορίων του κατασκευαστή.
- Οι επιφάνειες του ακροφυσίου ψεκασμού καυσίμου δεν θα πρέπει να έχουν ίχνη διάβρωσης, ρωγμών, χτυπημάτων και χαρακιών. Χρησιμοποιήστε μεγεθυντικό φακό 20X και έντονο φως για την επιθεώρησή τους. Τα ακροφύσια που παρουσιάζουν τις παραπάνω ενδείξεις θα πρέπει να απορρίπτονται.



Σχήμα 3.155 Αποσυναρμολογημένος εγχυτήρας

- Το όριο των φθορών στην εξωτερική επιφάνεια του ακροφυσίου αέρα δεν πρέπει να ξεπερνά τις 0,003 in. Τυχόν αιχμηρές ακμές από διάβρωση ή απώλεια μετάλλου θα πρέπει να λειαίνονται.
- Ύπαρξη ρωγμών δεν επιτρέπεται στην εξωτερική επιφάνεια του ακροφυσίου.

Εργαστηριακή άσκηση 3.7:

Αποσυναρμολόγηση και επιθεώρηση του συστήματος λίπανσης ενός αξονο-στρόβιλου κινητήρα

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να πραγματοποιείτε τις απαιτούμενες διαδικασίες προετοιμασίας ενός κινητήρα πριν την αποσυναρμολόγηση του συστήματος λίπανσης.
- β) Να αναγνωρίζετε τα επιμέρους εξαρτήματα του συστήματος λίπανσης πάνω στον κινητήρα και να αναφέρετε τη σειρά αφαίρεσής τους.
- γ) Να αποσυναρμολογείτε το σύστημα λίπανσης ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα και να επιθεωρείτε τα επιμέρους εξαρτήματά του.
- δ) Να εφαρμόζετε τις διαδικασίες επιθεώρησης σε εξαρτήματα συστήματος λίπανσης

Εισαγωγικές πληροφορίες

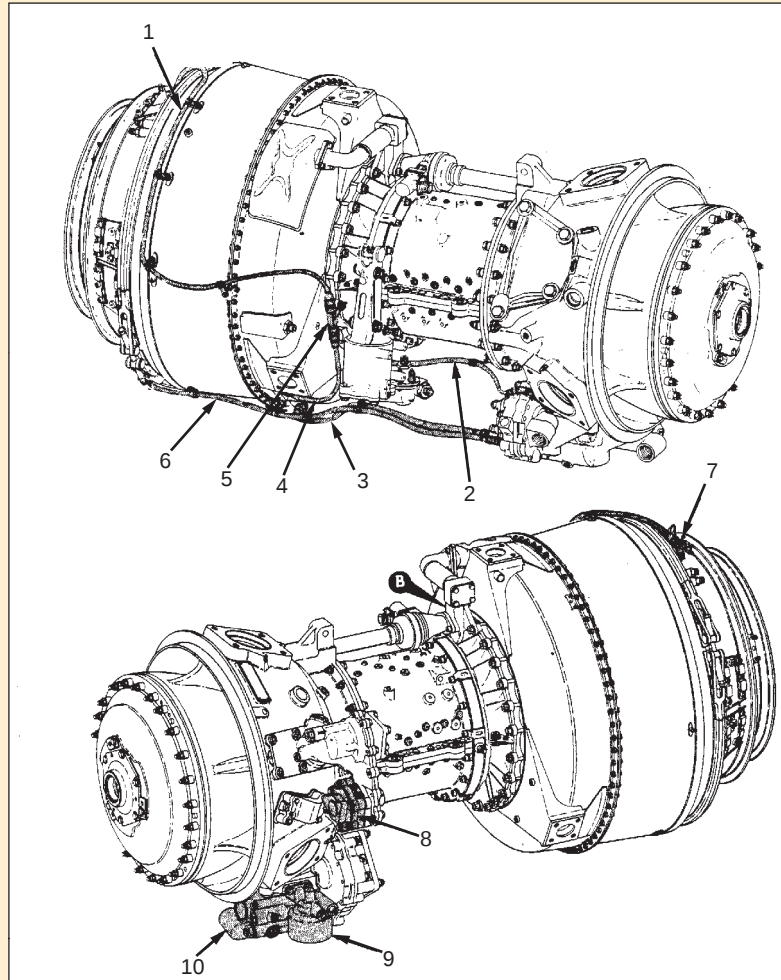
Το σύστημα λίπανσης του κινητήρα αποτελείται από το κύριο σύστημα παροχής λιπαντικού ή σύστημα πίεσης (pressure) και το σύστημα επιστροφής (scavenge) λιπαντικού. Η σχηματική αναπαράσταση του συστήματος λίπανσης φαίνεται στο Σχήμα 3.156.

Τα κύρια εξαρτήματα του συστήματος λίπανσης είναι τα παρακάτω (Σχήμα 3.157):

- 1. Το συγκρότημα του φίλτρου του λιπαντικού
- 2. Η ενισχυτική αντλία λιπαντικού
- 3. Η αντλία λιπαντικού
- 4. Εξωτερικές σωληνώσεις μεταφοράς λιπαντικού και εσωτερικές δίοδοι λίπανσης των τριβέων.

Το λιπαντικό διοχετεύεται στον κινητήρα από τη δεξαμενή λιπαντικού που βρίσκεται στο ελικόπτερο. Εισέρχεται στην αντλία λιπαντικού η οποία είναι τοποθετημένη πάνω στο κιβώτιο μετάδοσης ισχύος του κινητήρα, και εξέρχεται με αυξημένη πίεση στο συγκρότημα του φίλτρου λιπαντικού. Το λιπαντικό φιλτραρισμένο διοχετεύεται στα εξαρτήματα του κινητήρα – το κιβώτιο μετάδοσης ισχύος, τους τριβείς, και τις στεγανοποιητικές διατάξεις των τριβέων.

Το σύστημα λίπανσης είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί ικανοποιητικά σε θερμοκρασίες από $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $95\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Σχήμα 3.157 Κύρια εξαρτήματα του συστήματος λίπανσης του κινητήρα

Στο Σχήμα 3.157 φαίνονται τα παρακάτω εξαρτήματα.

1. Συγκρότημα αγωγών λιπαντικού παροχής (pressure) των No 3 και No 4 τριβέων
2. Συγκρότημα αγωγών λιπαντικού παροχής στον διανομέα λιπαντικού
3. Συγκρότημα αγωγών λιπαντικού επιστροφής (scavenge) από τον No 2 τριβέα
4. Συγκρότημα αγωγών λιπαντικού παροχής στο φίλτρο του No 2 τριβέα
5. Διανομέας λιπαντικού (Oil Manifold)
6. Συγκρότημα αγωγών λιπαντικού επιστροφής από τους No 3 και No 4 τριβείς
7. Προσαρμογέας φίλτρου λιπαντικού των No 3 και No 4 τριβέων

8. Ενισχυτική αντλία λιπαντικού (Booster Pump)

9. Συγκρότημα φίλτρου λιπαντικού

10. Περιστροφική αντλία λιπαντικού

Μέτρα ασφάλειας

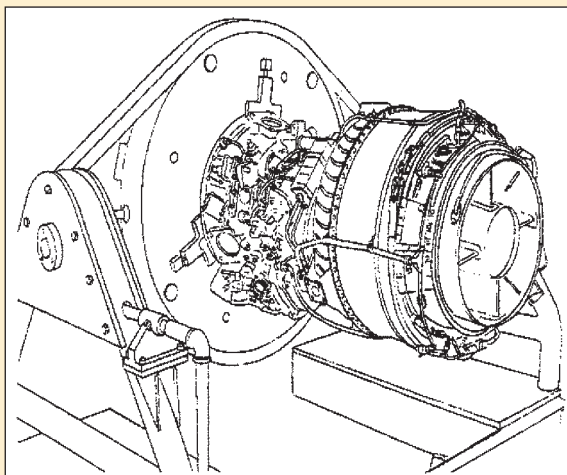
Κατά τη διάρκεια των εργασιών αποσυναρμολόγησης του συστήματος καυσίμου - ελέγχου του κινητήρα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη λήψη των παρακάτω μέτρων ασφάλειας:

- Αποφύγετε την επαφή με το λιπαντικό του κινητήρα. Τα συνθετικά λάδια που χρησιμοποιούνται στους αεροστροβίλους κινητήρες είναι τοξικά και μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στο δέρμα
- Οι εργασίες θα πρέπει να γίνονται σε ανοικτό χώρο με καλό εξαερισμό για την αποφυγή συγκέντρωσης τοξικών αναθυμιάσεων
- Γενικά, ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που περιγράφονται στο Παράρτημα Β.

Απαιτούμενα μέσα

Τα μέσα που απαιτούνται για την εκτέλεση της άσκησης είναι τα ακόλουθα:

- Ένας αξονοστρόβιλος κινητήρας τοποθετημένος στην κλίνη γενικής επισκευής. (Σχήμα 3.158).



Σχήμα 3.158 Αξονοστρόβιλος κινητήρας ελικοπτέρου σε κλίνη αποσυναρμολόγησης

- Τα απαραίτητα τεχνικά εγχειρίδια της κατασκευάστριας εταιρείας που αναφέρονται στις διαδικασίες των εργασιών αποσυναρμολόγησης των παρελκομένων του συστήματος καυσίμου.
- Μικρός ανυψωτικός γερανός και ιμάντες για την ανύψωση την ανάρτηση και την αφαίρεση των υποσυγκροτημάτων του κινητήρα.
- Κλίνη για την τοποθέτηση του συγκροτήματος παρελκομένων.
- Πάγκοι εργασίας για την τοποθέτηση των παρελκόμενων που αφαιρούνται από τον κινητήρα.
- Μία σειρά των απαραίτητων ειδικών εργαλείων για τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης.
- Γενικά εργαλεία αποσυναρμολόγησης όπως γερμανικά κλειδιά, κόφτης συρματασφαλίσεων κ.ά

Πορεία εργασίας

1. Προετοιμασία του χώρου εργασίας και των εργαλείων

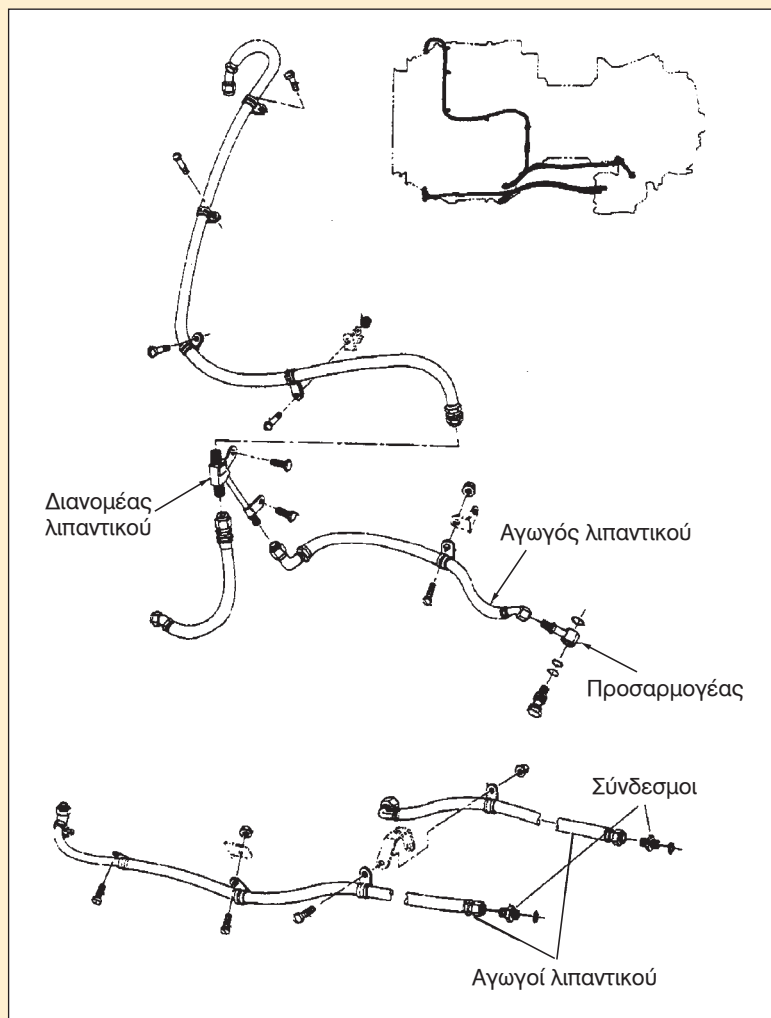
- Μελετήστε το εγχειρίδιο αφαίρεσης των υποσυγκροτημάτων του συστήματος καυσίμου και προετοιμάστε τα ειδικά εργαλεία που θα χρειαστούν για την αφαίρεσή τους.
- Βεβαιωθείτε ότι έχετε όλα τα απαραίτητα γενικά εργαλεία που χρειάζονται για τις εργασίες αποσυναρμολόγησης.
- Προετοιμάστε ένα πρόχειρο πλάνο με τις εργασίες αποσυναρμολόγησης με τη σειρά που θα πραγματοποιηθούν.
- Εξασφαλίστε κατάλληλο διαθέσιμο χώρο για την τοποθέτηση των παρελκομένων μετά την αφαίρεσή τους από τον κινητήρα.

2. Αφαίρεση των παρελκομένων από τον κινητήρα

- Πριν προχωρήσετε στις εργασίες αποσυναρμολόγησης των παρελκομένων του συστήματος καυσίμου προβείτε σε αποστράγγιση του λιπαντικού του κινητήρα τοποθετώντας κατάλληλο δοχείο αποστράγγισης και αφαιρώντας τον ανιχνευτή ρινισμάτων από το κιβώτιο μετάδοσης ισχύος και τον αγωγό επιστροφής λιπαντικού (Σχήμα 3.159).
- Αποσυναρμολογήστε διαδοχικά τις σωληνώσεις του συστήματος αφαιρώντας αρχικά τις βίδες συγκράτησης από τα κολάρα συγκράτησης και ξεβιδώνοντας τα ρακόρ σύσφιξης των αγωγών. Αφαιρέστε αρχικά τον

αγωγό λιπαντικού από τον προσαρμογέα του πλέγματος-φίλτρου του λιπαντικού (oil strainer) και από το διανομέα λιπαντικού.

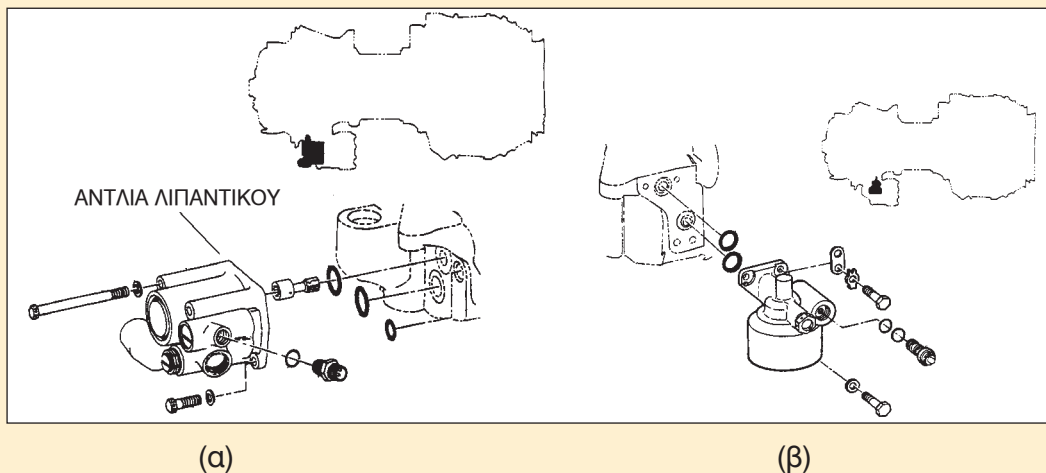
- Αφαιρέστε τον αγωγό λιπαντικού από τον σύνδεσμο του Νο 2 τριβέα στο συγκρότημα έδρασης του διαχύτη και από το διανομέα λιπαντικού.



Σχήμα 3.159 Σωληνώσεις συστήματος λίπανσης και θέση τους στον κινητήρα

- Αφαιρέστε τον αγωγό λιπαντικού από τον προσαρμογέα και από τον διανομέα λιπαντικού.
- Αφαιρέστε τις βίδες συγκράτησης του διανομέα και αφαιρέστε τον από το σημείο στήριξής του στο περίβλημα του κινητήρα..
- Αφαιρέστε τέλος τους αγωγούς λιπαντικού, αποσυνδέοντάς τους από τους συνδέσμους.

- Αφαιρέστε την **αντλία λιπαντικού** κρατώντας τη σταθερά και αφαιρώντας τους κοχλίες συγκράτησής της (Σχήμα 3.160α).
- Τραβήξτε την αντλία έξω από το κιβώτιο του κινητήρα προσέχοντας να μην χτυπήσετε ή λυγίσετε το συγκρότημα του άξονα μετάδοσης κίνησης. Αφαιρέστε και πετάξτε τα παρεμβύσματα της αντλίας.
- Αφαιρέστε το συγκρότημα του **φίλτρου λιπαντικού** (Σχήμα 3.160β) ιστώνοντας τα «αυτιά» των ασφαλιστικών ροδελών των κοχλιών συγκράτησης και ξεβιδώνοντας τους κοχλίες.
- Κρατήστε σταθερά το συγκρότημα του φίλτρου λίπανσης και αφαιρέστε το μετά την αφαίρεση και των κοχλιών.



Σχήμα 3.160 (α) Αντλία και (β) συγκρότημα φίλτρου λιπαντικού και θέση τους στον κινητήρα

3. Επιθεώρηση της αντλίας λιπαντικού

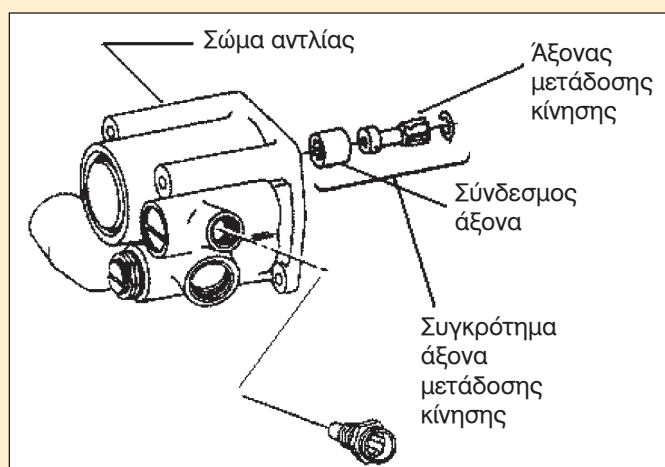
Η αντλία πίεσης λιπαντικού είναι αντλία τύπου αξονικής πτερωτής δύο στοιχείων. Το ένα στοιχείο αυξάνει την πίεση του λιπαντικού που εισέρχεται στον κινητήρα ενώ το άλλο επιστρέφει το λιπαντικό που γυρίζει από τον κινητήρα στην δεξαμενή λιπαντικού του σκάφους. Οι δύο βαθμίδες της αντλίας οδηγούνται από έναν άξονα ο οποίος παίρνει κίνηση από το κιβώτιο μετάδοσης ισχύος.

- Αποσυναρμολογήστε την αντλία για την επιθεώρησή της ως ακολούθως:
 1. Αφαιρέστε την ασφάλεια του άξονα μετάδοσης κίνησης (Σχήμα 3.161).
 2. Τρυπήστε το ένα άκρο του ασφαλιστικού πύρου σε σταθερό τρυπάνι αφού πρώτα το τοποθετήσετε σε μέγγενη και χρησιμοποιώντας υδραυλική πρέσα αφαιρέστε τον σύνδεσμο από τον άξονα.

3. Αφαιρέστε το βολβό του αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας.

- Επιθεωρήστε το σώμα της αντλίας οπτικά για φθορές, χτυπήματα και οξείδωση. Επισκευάστε τις φθορές σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
- Επιθεωρήστε τον άξονα μετάδοσης κίνησης για στρέβλωση, χτυπήματα και φθορές. Αντικαταστήστε τον άξονα εάν οι παραπάνω φθορές είναι εμφανείς.

Εκτελέστε μη καταστροφικό έλεγχο με τη μέθοδο του διεισδυτικού υγρού στο συγκρότημα του άξονα μετάδοσης κίνησης και στον σύνδεσμο του άξονα. Αντικαταστήστε τα εξαρτήματα εάν εντοπίσετε ρωγμές.



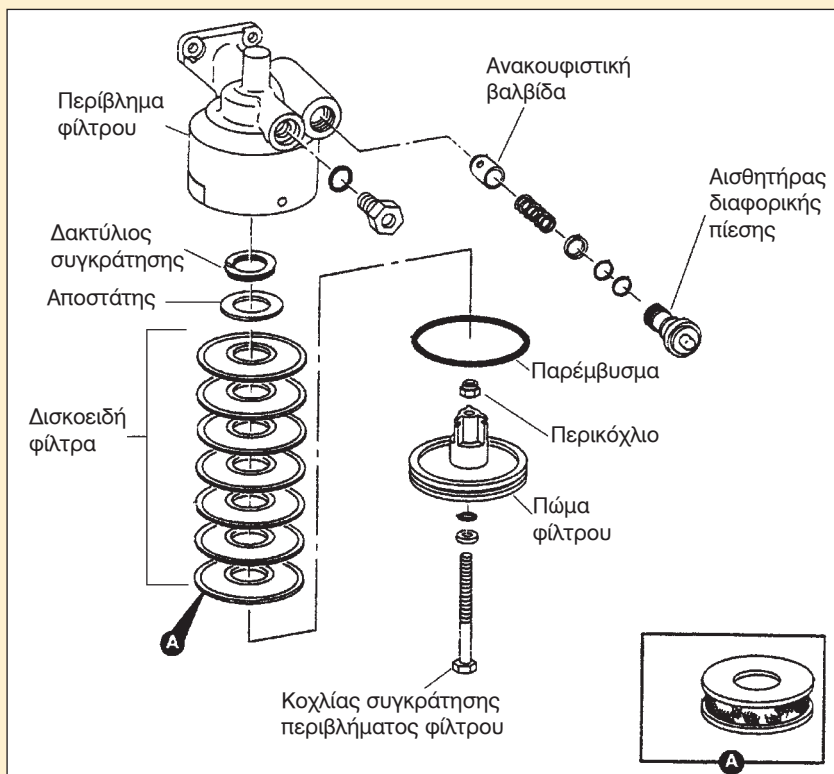
Σχήμα 3.161 Αντλία λιπαντικού τύπου αξονικής περωτής

- Επιθεωρήστε τον άξονα για φθαρμένο πολύσφηνο χρησιμοποιώντας μικρόμετρο. Εάν η φθορά είναι μεγαλύτερη από 0,010in ο άξονας πρέπει να αντικατασταθεί. Σε διαφορετική περίπτωση είναι αποδεκτός.

4. Επιθεώρηση του φίλτρου λιπαντικού

Το συγκρότημα του φίλτρου λιπαντικού του κινητήρα αποτελείται από ένα φίλτρο τύπου πολλαπλών δίσκων μεταλλικού πλέγματος (Σχήμα 3.162). Το φίλτρο έχει ενσωματωμένη μια βαλβίδα παράκαμψης ρυθμισμένη να ανοίγει σε διαφορική πίεση τα 15 – 20 psi επιτρέποντας στο λιπαντικό να παρακάμπτει το φίλτρο όταν αυτό βουλώσει. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η ροή του λιπαντικού στον κινητήρα έστω και αν αυτό δεν έχει περάσει από το φίλτρο. Ένας μηχανικός αισθητήρας διαφορικής πίεσης είναι τοποθετημένος δίπλα από τη γραμμή εισαγωγής του φίλτρου ο οποίος ανοίγει σε περίπτωση που η πίεση υπερβεί τα 9 με 13 psi προειδοποιώντας επικείμενη απόφραξη του φίλτρου κατά την επιθεώρηση γραμμής του αεροσκάφους.

- Αποσυναρμολογήστε το φίλτρο λιπαντικού για την επιθεώρησή του ως ακολούθως:
 1. Χαλαρώστε τον κοχλία που συγκρατεί το πώμα του φίλτρου στο σώμα του. Αφαιρέστε το παρέμβυσμα, το δακτύλιο συγκράτησης, τον αποστάτη και τέλος το περίβλημα του φίλτρου μαζί με τους δίσκους.
 2. Χαλαρώστε το περικόχλιο από τον κοχλία για να αποσυναρμολογήσετε τους δίσκους του φίλτρου.
 3. Αφαιρέστε τον αισθητήρα διαφορικής πίεσης από την έδρα του χρησιμοποιώντας το κατάλληλο κλειδί, και την ανακουφιστική βαλβίδα.
- Επιθεωρήστε το συγκρότημα του φίλτρου οπτικά για φθορές, χτυπήματα και παραμόρφωση. Αντικαταστήστε το, εάν έχει εμφανείς φθορές.



Σχήμα 3.162 Συγκρότημα φίλτρου λιπαντικού

- Επιθεωρήστε τον κοχλία συγκράτησης του φίλτρου για κατεστραμμένες σπείρες ή ρωγμές. Αντικαταστήστε τον, εάν είναι εμφανή τα προαναφερθέντα ευρήματα.
- Επιθεωρήστε το σταθερό περίβλημα του φίλτρου για ρωγμές και φθαρμένες ή αποσπασμένες σπείρες. Αντικαταστήστε το περίβλημα εάν παρουσιάζονται τα ευρήματα αυτά.
- Επιθεωρήστε διαστατικά την εσωτερική διάμετρο των δίσκων (18) για το πάχος των δακτυλίων με παχύμετρο. Εάν η μέτρηση είναι εκτός του ορίου των 0,140 – 0,160 in, αντικαταστήστε τον δίσκο.
- Επιθεωρήστε οπτικά όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα του συγκροτήματος του φίλτρου για φθορές. Αντικαταστήστε τα εάν παρουσιάζουν εμφανείς φθορές.

Εργαστηριακή άσκηση 3.8:

Αποσυναρμολόγηση και επιθεώρηση του συστήματος ανάφλεξης ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να πραγματοποιείτε τις απαιτούμενες ενέργειες πριν από οποιαδήποτε εργασία στο σύστημα ανάφλεξης ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα.
- β) Να αναγνωρίζετε τα επιμέρους εξαρτήματα του συστήματος ανάφλεξης πάνω στον κινητήρα και να αναφέρετε τη σειρά αφαίρεσής τους.
- γ) Να αποσυναρμολογείτε το σύστημα ανάφλεξης ενός αξονοστρόβιλου κινητήρα και να επιθεωρείτε τα επιμέρους εξαρτήματά του.
- δ) Να εφαρμόζετε τις διαδικασίες επιθεώρησης σε εξαρτήματα συστήματος ανάφλεξης.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Το σύστημα ανάφλεξης του κινητήρα είναι σύστημα υψηλής ενέργειας, μέσης τάσης (βλέπε και §3.8), το οποίο αποτελείται από τα ακόλουθα εξαρτήματα:

1. Τις μονάδες ανάφλεξης (ignition units)
2. Τους πολλαπλασιαστές τάσης (ignition coils)
3. Την καλωδίωση υψηλής τάσης (ignition wiring)
4. Τους αναφλεκτήρες (igniters)

Τα παραπάνω εξαρτήματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.163, ως μέρος του ηλεκτρικού συστήματος του κινητήρα ενώ η θέση τους στον κινητήρα φαίνεται στο Σχήμα 3.164. Το σύστημα ανάφλεξης περιλαμβάνει 4 συνολικά αναφλεκτήρες τοποθετημένους περίπου ανά 90° στην περίμετρο του θαλάμου καύσης για βελτιστοποιημένη καύση και γρήγορη ανάφλεξη και εξάπλωση της φλόγας μέσα στο θάλαμο καύσης κατά την εκκίνηση και επανεκκίνηση του κινητήρα. Η απαίτηση του σε παροχή ρεύματος είναι 24V συνεχούς ρεύματος με 3.5A μέγιστη ένταση.

Απαιτούμενα μέσα

Τα μέσα που απαιτούνται για την εκτέλεση της άσκησης είναι τα ακόλουθα:

- Ένας αξονοστρόβιλος κινητήρας τοποθετημένος στην κλίνη γενικής επισκευής. Ο κινητήρας στον οποίο πραγματοποιείται η αφαίρεση των εξαρτημάτων φαίνεται στο Σχήμα 3.164.
- Τα τεχνικά εγχειρίδια της κατασκευάστριας εταιρείας που αναφέρονται στις διαδικασίες των εργασιών αποσυναρμολόγησης των παρελκομένων του συστήματος ανάφλεξης.
- Πάγκοι εργασίας για την τοποθέτηση των παρελκόμενων που αφαιρούνται από τον κινητήρα.
- Μία σειρά των απαραίτητων ειδικών εργαλείων για τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης.
- Γενικά εργαλεία αποσυναρμολόγησης όπως γερμανικά κλειδιά, κόφτης συρματασφαλίσεων κ.ά.

Μέτρα ασφάλειας

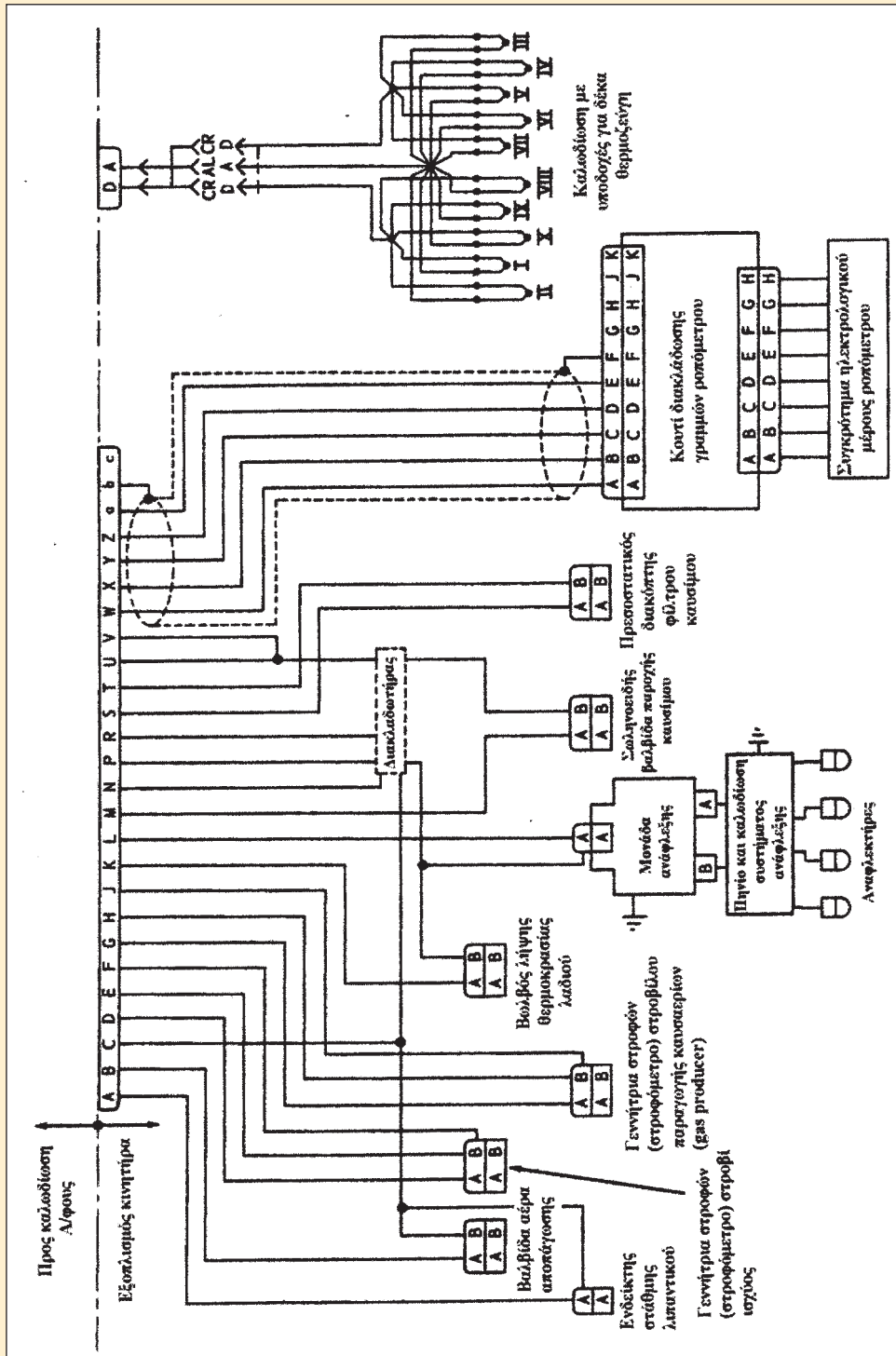
Κατά τη διάρκεια των εργασιών αποσυναρμολόγησης ή της συντήρησης γραμμής του συστήματος ανάφλεξης του κινητήρα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη λήψη των παρακάτω μέτρων ασφάλειας:

- Πριν από οποιαδήποτε εργασία συντήρησης επιπέδου γραμμής στα εξαρτήματα του συστήματος ανάφλεξης βεβαιωθείτε ότι έχει διακοπεί η παροχή ρεύματος στο σύστημα από το πιλοτήριο. Τα επίπεδα της τάσης που δημιουργούνται στο κύκλωμα ανάφλεξης είναι υψηλά και υπάρχει ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.
- Γενικά, ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που περιγράφονται στο Παράρτημα Β.

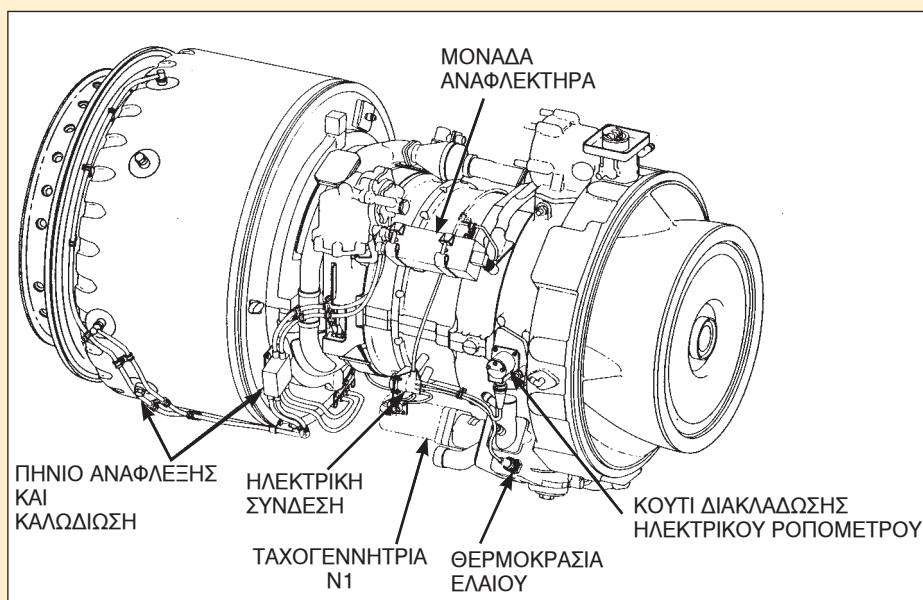
Πορεία εργασίας

1. Προετοιμασία του χώρου εργασίας και των εργαλείων

- Μελετήστε το εγχειρίδιο αφαίρεσης των υποσυγκροτημάτων του συστήματος ανάφλεξης και προετοιμάστε τα ειδικά εργαλεία που θα χρειαστούν για την αφαίρεσή τους.
- Βεβαιωθείτε, ότι έχετε όλα τα απαραίτητα γενικά εργαλεία που χρειάζονται για τις εργασίες αποσυναρμολόγησης.
- Προετοιμάστε ένα πρόχειρο πλάνο με τις εργασίες αποσυναρμολόγησης με τη σειρά που θα πραγματοποιηθούν.
- Εξασφαλίστε κατάλληλο διαθέσιμο χώρο για την τοποθέτηση των παρελκομένων μετά την αφαίρεσή τους από τον κινητήρα.



Σχήμα 3.163 Σχηματική αναπαράσταση του ηλεκτρικού συστήματος του κινητήρα



Σχήμα 3.164 Θέση των εξαρτημάτων του συστήματος ανάφλεξης στον κινητήρα

2. Αφαίρεση των παρελκομένων από τον κινητήρα

- Προτού αρχίσετε την αφαίρεση των παρελκομένων του συστήματος βεβαιωθείτε ότι η παροχή ηλεκτρικής ισχύος προς το σύστημα είναι αποσυνδεδεμένη. Εκφορτίστε το ρεύμα που είναι συσσωρευμένο στη μονάδα ανάφλεξης γειώνοντας τις καλωδιώσεις των αναφλεκτήρων.
- Κόψτε την συρματασφάλιση και αποσυνδέστε τους συζευκτήρες (connectors) των καλωδιώσεων του πολλαπλασιαστή από τη μονάδα ανάφλεξης.
- Με τον ίδιο τρόπο αποσυνδέστε τα τέσσερα καλώδια του πολλαπλασιαστή από κάθε αναφλεκτήρα.
- Αφαιρέστε τις βίδες από τα κολάρα συγκράτησης των καλωδιώσεων και τους κοχλίες συγκράτησης, για να απομακρύνετε τις καλωδιώσεις και τον πολλαπλασιαστή από το περίβλημα του θαλάμου καύσης.

3. Επιθεώρηση του πολλαπλασιαστή και των καλωδιώσεών του

Πριν την επιθεώρηση ή τη δοκιμή των καλωδιώσεων δεν θα πρέπει οι συζευκτήρες να είναι βρεγμένοι ή να έχουν ακαθαρσίες για την αποφυγή βραχυκυκλωμάτων και λάθος ενδείξεων κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης.

- Επιθεωρήστε οπτικά τους συζευκτήρες για φθορές στα σπειρώματά τους και για σπασμένη ή φθαρμένη μόνωση. Τα φθαρμένα σπειρώματα θα πρέπει να επισκευάζονται χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο κολαούζο.
- Μονωτήρες που παρουσιάζουν ρωγμές ή σπασίματα θα πρέπει να αντικαθίστανται.
- Επιθεωρήστε οπτικά τις καλωδιώσεις του συστήματος για φθαρμένη, ξεφτισμένη ή καμένη μόνωση. Επίσης επιθεωρήστε για χαλαρές ή κομμένες συνδέσεις των καλωδίσεων με τους συζευκτήρες. Αντικαταστήστε τον πολλαπλασιαστή με τα καλώδια εάν εντοπιστούν κάποιες από τις παραπάνω ενδείξεις.

4. Επιθεώρηση της μονάδας ανάφλεξης

- Επιθεωρήστε οπτικά για φθαρμένα σπειρώματα, ακροδέκτες και σπασμένη μόνωση ή ρωγμές γύρω από τους ακροδέκτες. Ελαφρές φθορές στα σπειρώματα ή στραβωμένοι ακροδέκτες μπορούν να επισκευαστούν με τους ακόλουθους τρόπους:
 1. Χρησιμοποιήστε φιλιέρα κατάλληλου μεγέθους για να επαναφέρετε τα φθαρμένα σπειρώματα.
 2. Ισιώστε τους λυγισμένους ακροδέκτες, έτσι ώστε να είναι ομόκεντροι με την εσωτερική διάμετρο του αντίστοιχου ακροδέκτη της καλωδίωσης εντός του ορίου 0.020in.
- Αντικαταστήστε τη μονάδα ανάφλεξης εάν η φθορά στα σπειρώματα ή στους ακροδέκτες δεν μπορεί να επισκευαστεί με τις παραπάνω μεθόδους, ή εάν η μόνωση γύρω από τους ακροδέκτες έχει ρωγμές.

Εργαστηριακή άσκηση 3.9:

Εκπόνηση πλάνων εργασίας

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να διακρίνετε τα διάφορα είδη τεχνικών εγχειριδίων, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τη συντήρηση των αεριοστρόβιλων αεροπορικών κινητήρων.

- β) Να χρησιμοποιείτε επιτυχώς και να αντλείτε πληροφορίες από τα εγχειρίδια συντήρησης των αεριοστρόβιλων αεροπορικών κινητήρων.
- γ) Να διαβάζετε και να συμπληρώνετε μητρώα αεριοστρόβιλων αεροπορικών κινητήρων.
- δ) Να εκδίδετε πλάνα εργασίας για απαιτούμενες εργασίες επί αεριοστρόβιλων αεροπορικών κινητήρων.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Όπως και στην περίπτωση των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων, τα σημαντικά ιστορικά στοιχεία ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα καταγράφονται σε ειδικούς φακέλους, τα «**μητρώα του κινητήρα**». Οι φάκελοι αυτοί, που είναι πια ηλεκτρονικοί για τους σύγχρονους κινητήρες, περιέχουν τα σημαντικά στοιχεία, των οποίων η καταγραφή απαιτείται από τον κατασκευαστή, τόσο για τις ανάγκες της συντήρησης, όσο και για γενικότερους λόγους παρακολούθησης του κινητήρα. Έτσι ανάμεσα σε αυτά τα στοιχεία μπορεί να είναι:

- Ο χρόνος λειτουργίας του κινητήρα (**TSN**: Time Since New – Ώρες λειτουργίας από κατασκευής, **TSO**: Time Since Overhaul – Ώρες λειτουργίας από την τελευταία γενική επισκευή)
- Ο χρόνος, ο τόπος και ο φορέας που πραγματοποίησε κάθε γενική επισκευή.
- Ιδιαίτερα συμβάντα, τα οποία συνέβησαν κατά τη λειτουργία του αεροσκάφους / αεροκινητήρα, όπως υπερστροφία (overspeed), υπέρβαση ορίων θερμοκρασίας (overtemperature).
- Στοιχεία αναγνώρισης «κρίσιμων» εξαρτημάτων (δίσκοι στροβίλου, πτερύγια, σταθερές βαθμίδες, κ.ά.). Τέτοια στοιχεία είναι συνήθως το P/N (Part Number), S/N (Serial Number), πραγματοποιηθείσες τροποποιήσεις (Service Bulletins), κλπ.
- Στοιχεία παρακολούθησης «κρίσιμων» εξαρτημάτων, όπως κύκλοι κόπωσης ή ώρες λειτουργίας. Πολλά από τα κρίσιμα εξαρτήματα, τα οποία πρέπει να αντικαθίστανται μετά από ορισμένο χρόνο λειτουργίας, χαρακτηρίζονται και ως υλικά **ΛΟΖ (Λήξη Ορίου Ζωής)**.

Πέρα από τα παραπάνω στοιχεία, τα οποία συνοδεύουν τον κινητήρα, ένας φορέας γενικής επισκευής διατηρεί επιπλέον στοιχεία για τις εργασίες που πραγματοποιούνται σε κάθε κινητήρα. Αυτά τα στοιχεία περιλαμβάνουν τις αρχικές απαιτήσεις του πελάτη, τις επιθεωρήσεις και επισκευές που πραγματοποιήθηκαν,

τις αιτίες απόρριψης και αντικατάστασης εξαρτημάτων κ.ά. Η διαχείριση και αποθήκευση αυτών των στοιχείων ανήκει συνήθως στις αρμοδιότητες του **τμήματος ποιοτικής διασφάλισης (Quality Assurance Department)**.

Τα βασικά έντυπα, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά τον προγραμματισμό εργασιών ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα δεν διαφέρουν από τα αντίστοιχα των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων, όπως αυτά αναφέρθηκαν στην αντίστοιχη άσκηση του βιβλίου «**Κινητήρες Αεροσκαφών I**». Έτσι και σε αυτή την περίπτωση, το τμήμα τεχνικού προγραμματισμού ενημερώνεται για τις απαιτήσεις εργασιών, οι οποίες πρέπει να εκτελεσθούν σε έναν κινητήρα, μέσω ειδικού εντύπου (π.χ **WEI – Workscope Evaluation Instructions**), το οποίο συνήθως εκδίδεται από το τμήμα ποιοτικής διασφάλισης.

Οι απαραίτητες οδηγίες για την εκτέλεση των εργασιών καταχωρούνται από το τμήμα τεχνικού προγραμματισμού σε ειδικά έντυπα, τα οποία συνοπτικά αναφέρουμε παρακάτω¹:

- **Έντυπα δρομολόγησης (Traveler)**: Συνοδεύει κάθε κύριο υποσυγκρότημα (ή παρελκόμενο) σε όλες τις φάσεις και κέντρα εργασίας, από τα οποία διέρχεται αυτό κατά την παραμονή του στο εργοστάσιο.
- **Έντυπα ελέγχου εργασιών (RCC-Routine Control Card, ή WCD-Work Control Document)**: Συνοδεύει κάθε εξάρτημα και περιέχει αναλυτικές οδηγίες για την πραγματοποίηση των απαραίτητων εργασιών.
- **Φύλλα εργασίας (Operation Sheet)**: Περιγράφει αναλυτικά μια ομάδα εργασιών (π.χ. επισκευή), οι οποίες πραγματοποιούνται σε ένα σταθμό εργασίας. Οι οδηγίες αυτού του εντύπου αφορούν την οικογένεια (Part Number) και όχι το συγκεκριμένο κάθε φορά κομμάτι.

Ενδεικτικά παραθέτουμε το **έντυπο ελέγχου εργασιών (WCD)**, οι οποίες αφορούν εξάρτημα στροβιλοανεμιστήρα και συγκεκριμένα το **divergent flap** του κινητήρα **F110** (Σχήμα 3.165). Πρόκειται για ένα εξάρτημα του ακροφυσίου εξαγωγής, το οποίο υπόκειται σε σημαντική θερμική καταπόνηση, κυρίως κατά τη λειτουργία μετάκαυσης. Συνήθη ευρήματα περιλαμβάνουν αποκόλληση της προστατευτικής επίστρωσης, ρωγματώσεις και καψίματα. Οι εργασίες που πραγματοποιούνται είναι σύμφωνες με τις οδηγίες των παραγράφων του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής που φαίνονται στη γραμμή (5), καθώς και με διαδικασίες που ακολουθεί το εργοστάσιο επισκευής, η EAB στην προκειμένη περίπτωση. Οι εργασίες αυτές είναι οι ακόλουθες (οι αριθμοί αναφέρονται στη γραμμή του εντύπου, όπου περιγράφεται

¹ Αναλυτικότερη περιγραφή έχει γίνει στο βιβλίο «Κινητήρες Αεροσκαφών I»

κάθε εργασία και σημειώνονται δίπλα στην εικόνα του εντύπου στο Σχήμα 3.165):

- (6): Καθαρίστε το εξάρτημα σύμφωνα με τις (εσωτερικές) διαδικασίες 1.02A και 1.04A.
- (7): Αφαιρέστε όλους τους εσωτερικούς δακτυλίους σύμφωνα με την παράγραφο (του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής) 4 c-f. Καταγράψτε τη διάσταση της διαμέτρου C.
- (8): Αφαιρέστε την αρχική επικάλυψη του στρώματος θερμικής προστασίας με διεργασία **grit blast**, σύμφωνα με την (εσωτερική) διαδικασία PR-2.01.
ΠΡΟΣΟΧΗ: η διεργασία θα πραγματοποιηθεί **ΜΟΝΟ για τα εξαρτήματα με αριθμό οικογένειας 5051M72G02**.
- (9): Αφαιρέστε το στρώμα θερμικής προστασίας σύμφωνα με το φύλλο εργασίας No 64. ΠΡΟΣΟΧΗ: η διεργασία θα πραγματοποιηθεί **ΜΟΝΟ για τα εξαρτήματα με αριθμό οικογένειας 5051M72G02**.
- (10): Αφαιρέστε το χρωμιούχο καρβίδιο (chrome carbide) σύμφωνα με το φύλλο εργασίας No 124.
- (11): Αφαιρέστε την υπολειπόμενη ποσότητα χρωμιούχου καρβιδίου με διεργασία grit blast, σύμφωνα με την (εσωτερική) διαδικασία PR-2.01.
- (12): Πραγματοποιήστε επιθεώρηση με διεισδυτικό υγρό (FPI) σύμφωνα με την (εσωτερική) διαδικασία PR-13.01.
- (13): Πραγματοποιήστε επιθεώρηση σύμφωνα με τα σχετικά εγχειρίδια (1) και (2).
- (14): Αφαιρέστε τους ειδικούς εσωτερικούς δακτυλίους ασφάλειας (clevis bushings), αν τους έχετε τοποθετήσει προηγουμένως, σύμφωνα με την παράγραφο (του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής) 6a1-2. Καταγράψτε τη διάσταση M.

1	HELLENIC AEROSPACE INDUSTRY ENGINE DIVISION		WORK CONTROL DOCUMENT				
2	WORK ORDER	ITEM SERIAL NO.	DATE:	PAGE 2 OF 5			
3	W.C. D. No: 37202	QTY:	PART NAME : DIVERGENT FLAP				
4	OPERAT. NO.	WORK TO BE ACCOMPLISHED	APPL INDE X	WORK STATION	OPRT &DT	INSP &DT	MAN HR
5		T.O REF. (1) 2J-F110-3-5 WP11200 (2) 2J-F110-3-6 WP11200					
6	37202-10	CLEAN PART PER PR-1.02A, PR-1.04A		CP 9000		XXX XXX	
7	37202-20	REMOVE ALL FORWARD LUG BUSHINGS PER PAR 4 c-f RECORD DIA C=		RH 9000			
8	37202-30	GRIT BLAST TO REMOVE TOP COATING OF T.B.C PER PR-2.01 <u>ONLY P/N 5051M72G02</u>		SG 9000		XXX XXX XXX	
9	37202-40	REMOVE T.B.C PER OP. SHEET No. 64 <u>ONLY P/N 5051M72G02</u>		CP 9000			
10	37202-50	STRIP CHROME CARBIDE PER OPER. SHEET No. 124		CP 9000			
11	37202-60	GRIT BLAST TO REMOVE REMAINING CHROME CARBIDE PER PR-2.01		SG 9000		XXX XXX	
12	37202-70	FPI PER PR-13.01		FP 9000	XXX XXX XXX		
13	37202-80	WORKSCOPE INSPECT PER T.O REF. (1),(2)		WS 9000	XXX XXX XXX		
14	37202-90	REMOVE MID CLEVIS BUSHINGS IF PREVIOUSLY INSTALLED PER PAR 6a1-2 . RECORD M= REQ.	6-7-8 9-10- 11-15- 16	RH 9000			
15	37202-100	GRIND OFF 2 TACK WELDS TO REMOVE CLEVIS PER PAR 10 A (2a-b-c). THIS STEP REQ/D ONLY IF SOLUTION HEAT TREAT IS REQ/D. REQ.	7-8-9 10-11- 15-16	RH 9000		XXX XXX XXX	
16	37202-110	CLEAN PER PR-1.01A REQ.	7-8-9 10-15 16	CP 9000		XXX XXX XXX	
17	37202-120	SOLUTION HEAT TREAT PER OPER. SHEET No. 94 REQ.	9-15	HT 9000		XXX XXX	
18	37202-130	CLEAN PER PR-1.01A REQ.	9-15	CP 9000		XXX XXX	
19	37202-140	BLEND AND HOT FORM ALL BENDS, TEARS AND DISTORTION PER PAR 10 STEP F REQ.	10	RH 9000			
PLANNED BY :		PROD . PLAN APPROVAL:		Q.A APPROVAL:			
DATE:		DATE:		DATE:			

Σχήμα 3.165 Πλάνο εργασιών σε εξάρτημα στροβιλοανεμιστήρα

- (15): Απομακρύνετε με λείανση (grinding) το άγκιστρο ασφάλειας σύμφωνα με την παράγραφο (του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής) 10 A (2a-b-c). Το βήμα αυτό απαιτείται μόνο στην περίπτωση όπου θα εφαρμοστεί **θερμική διεργασία (heat treatment)**.
- (16): Καθαρίστε σύμφωνα την (εσωτερική) διαδικασία PR-1.01A.
- (17): Πραγματοποιήστε διεργασία heat treatment σύμφωνα με το φύλλο εργασίας No 94.
- (18): Καθαρίστε σύμφωνα με την (εσωτερική) διαδικασία PR-1.01A.
- (19): Αφαιρέστε όλες τις ατέλειες σύμφωνα με την παράγραφο 10, βήμα F (του εγχειριδίου Γενικής Επισκευής).

Απαιτούμενα μέσα

Η παρούσα άσκηση παρέχει οδηγίες για την εκπόνηση πλάνων εργασίας. Απαιτούνται (ή συνιστώνται) τα ακόλουθα έγγραφα ή μέσα:

- βιβλίο οδηγιών γενικής επισκευής του κινητήρα,
- γραφεία εργασίας,
- ηλεκτρονικός υπολογιστής,
- επεξεργαστής κειμένου (MS Word) ή λογισμικό λογιστικών φύλλων (MS Excel).

Μέτρα ασφαλείας

Οι εργασίες εκπόνησης πλάνων εργασίας εκτελούνται κατά κανόνα σε περιβάλλον γραφείου. Ως εκ τούτου θα πρέπει να ακολουθούνται οι γενικότεροι κανόνες συμπεριφοράς και προστασίας από ατυχήματα, οι οποίοι ισχύουν σε αυτούς τους χώρους.

Πορεία εργασίας

ΕΠΙΛΟΓΗ Α': Στην «Εργαστηριακή άσκηση 3.1» και στην «Εργαστηριακή άσκηση 3.2» δόθηκαν αναλυτικές οδηγίες για την πραγματοποίηση εργασιών συναρμολόγησης στροφείων ανεμιστήρα, συμπιεστή χαμηλής πίεσης και στροβίλου χαμηλής πίεσης. Στην παρούσα άσκηση προτείνεται η εκπόνηση πλάνων εργασίας, τα οποία να παρέχουν δομημένες οδηγίες εκτέλεσης αυτών των εργασιών.

1. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες του κατασκευαστή και την πορεία εργασίας των ασκήσεων.
2. Αναγνωρίστε τις περιοχές ενός εργοστασίου γενικής επισκευής, οι οποίες εμπλέκονται στις διάφορες φάσεις της επιθεώρησης.
3. Συζητήστε και επιλέξτε το καταλληλότερο από τα έντυπα που παρουσιάστηκαν στην αντίστοιχη άσκηση του βιβλίου «**Κινητήρες Αεροσκαφών I**», για την έκδοση του πλάνου εργασίας.
4. Δημιουργήστε το έντυπο που επιλέξατε στον υπολογιστή σας, με τη χρήση κειμενογράφου ή λογιστικού φύλλου.
5. Συμπληρώστε το έντυπο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του τεχνικού εγχειριδίου.
6. Συζητήστε πιθανά προβλήματα που προκύπτουν από το πλάνο εργασίας, που μόλις εκπονήσατε και προτείνετε βελτιώσεις.

ΕΠΙΛΟΓΗ Β': Εκπόνηση πλάνου επισκευών.

Επαναλάβετε τα βήματα της επιλογής Α' για διαδικασία επισκευής, την οποία θα επιλέξετε από το τεχνικό εγχειρίδιο του κινητήρα που διαθέτετε.

Εργαστηριακή άσκηση 3.10:

Επίδειξη οργάνων για τον έλεγχο της λειτουργίας αεριοστρόβιλου κινητήρα.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αναγνωρίζετε τα βασικά όργανα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της λειτουργίας των αεριοστρόβιλων κινητήρων.
- β) Να αναφέρετε τις αρχές λειτουργίας των οργάνων.
- γ) Να ελέγχετε τη λειτουργία του κινητήρα, μέσω των ενδείξεων των οργάνων.

Εισαγωγικές πληροφορίες

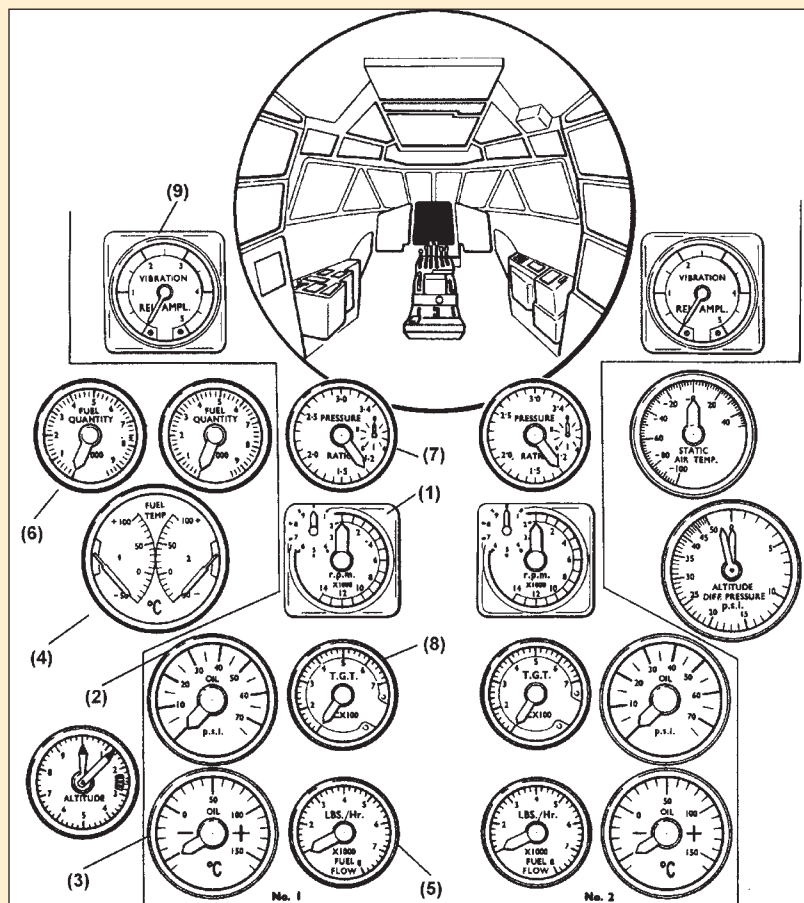
Τα όργανα ελέγχου και παρακολούθησης της λειτουργίας ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα βρίσκονται στην κονσόλα του θαλάμου διακυβέρνησης. Βοηθούν τον χειριστή να γνωρίζει τις ταχύτητες περιστροφής των στροφείων του κινητήρα και του έλικα, τις τιμές πίεσης και θερμοκρασίας σε διάφορα κρίσιμα σημεία του κινη-

τήρα και των παρελκομένων και να έχει μία καλή γενική άποψη της συμπεριφοράς του κινητήρα. Πρόκειται για συσκευές, οι οποίες συνήθως παρέχουν μετρήσεις και απαιτούν, ως εκ τούτου περιοδικό έλεγχο για την αξιοπιστία τους. Η ρύθμισή τους γίνεται με διαδικασίες που συνήθως παρέχονται από τον κατασκευαστή του αεροσκάφους.

Ανάλογα όργανα συναντώνται και στα δοκιμαστήρια των κινητήρων. Σε πολλές μάλιστα περιπτώσεις ένα δοκιμαστήριο είναι υποχρεωμένο να ελέγχει περισσότερες παραμέτρους της λειτουργίας του κινητήρα και είναι συνεπώς εφοδιασμένο με επιπλέον εξοπλισμό.

Τα κυριότερα όργανα τα οποία συναντάμε στο χειριστήριο του πιλοτηρίου ενός αεροσκάφους (Σχήμα 3.166), ή της αίθουσας ελέγχου ενός δοκιμαστηρίου είναι τα ακόλουθα (βλέπε και §3.11):

- Στροφόμετρο (tachometer): (1) στο Σχήμα 3.166.
- Ενδείκτες πίεσης και θερμοκρασίας λιπαντικού (oil pressure & oil temperature gages): (2) και (3) στο Σχήμα 3.166.
- Ενδείκτες θερμοκρασίας, παροχής και στάθμης καυσίμου (fuel temperature, fuel flow & fuel level gages): (4), (5) και (6) στο Σχήμα 3.166.
- Ενδείκτης λόγου συμπίεσης κινητήρα (Engine Pressure Ratio indicator – σε στροβιλοαντιδραστήρες και στροβιλοανεμιστήρες): (7) στο Σχήμα 3.166
- Όργανο μέτρησης θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων (Exhaust Gas Temperature): (8) στο Σχήμα 3.166, ή θερμοκρασίας εισόδου στροβίλου (Turbine Inlet Temperature).
- Ενδείκτης ροπής (Torquemeter indicator – σε αξονοστρόβιλους και ελικοστρόβιλους).
- Ενδείκτης κραδασμών (Vibration indicator): (9) στο Σχήμα 3.166.



Σχήμα 3.166 Διάταξη οργάνων ελέγχου αεριοστροβίλων κινητήρων



Σχήμα 3.167 Κονσόλα ελέγχου δικινητήριου αεροσκάφους



(α)



(β)

Σχήμα 3.168 (α) «Αναλογική» και (β) «ψηφιακή» κονσόλα ελέγχου δοκιμαστηρίων αξονοστροβίλων κινητήρων

Απαιτούμενα μέσα

- Χειριστήριο αεροσκάφους με αεριοστροβίλους κινητήρες, και/ή,
- Δοκιμαστήριο αεριοστροβίλων κινητήρων.

Μέτρα ασφάλειας

Η παρούσα άσκηση δεν απαιτεί ιδιαίτερα μέσα ασφαλείας. Κατά την επίσκεψή σας σε δοκιμαστήριο αεριοστροβίλων κινητήρων, θα πρέπει να ακολουθείτε τις οδηγίες των υπευθύνων και να είστε ιδιαίτερα προσεκτικοί στον χειρισμό ευαίσθητων οργάνων.

Πορεία εργασίας

1. Αναγνωρίστε στην κονσόλα, την οποία διαθέτει το σχολείο σας, τα βασικά όργανα ελέγχου λειτουργίας των αεριοστροβίλων κινητήρων, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω. Μία τυπική κονσόλα δικινητήριου αεροσκάφους με στροβιλοαντιδραστήρες φαίνεται στο Σχήμα 3.167.

2. Περιγράψτε τις αρχές λειτουργίας και το ρόλο κάθε οργάνου.

Εναλλακτικά, εκτελέστε τα παραπάνω βήματα κατά τη διάρκεια επίσκεψής σας σε αίθουσα ελέγχου δοκιμαστηρίου κινητήρων. Στο Σχήμα 3.168 παρουσιάζονται δύο κονσόλες ελέγχου από δοκιμαστήρια αξονοστροβίλων / ελικοστροβίλων κινητήρων. Στο σύγχρονο δοκιμαστήριο (Σχήμα 3.168 β) τα όργανα ελέγχου λειτουργίας έχουν αντικατασταθεί από λογισμικό παρακολούθησης και καταγραφής της λειτουργίας του κινητήρα (Data Acquisition System).

Εργαστηριακή άσκηση 3.11:

Επιθεώρηση και έλεγχος θερμοστοιχείων μέτρησης θερμοκρασίας καυσαερίων.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αφαιρείτε και να επανατοποθετείτε στον κινητήρα τα θερμοστοιχεία μέτρησης θερμοκρασίας εξαγωγής καυσαερίων ή εισόδου στροβίλου.
- β) Να ελέγχετε την ευχρηστότητα των θερμοστοιχείων.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Η θερμοκρασία του θερμού τμήματος ενός αεριοστροβίλου κινητήρα είναι η σημαντικότερη ίσως ένδειξη, όσον αφορά τη θερμική καταπόνηση του στροβίλου αλλά και του τμήματος εξαγωγής. Αποτελεί μία από τις κύριες παραμέτρους για τον έλεγχο της λειτουργίας του ρυθμιστή καυσίμου, έτσι ώστε να αποφεύγονται

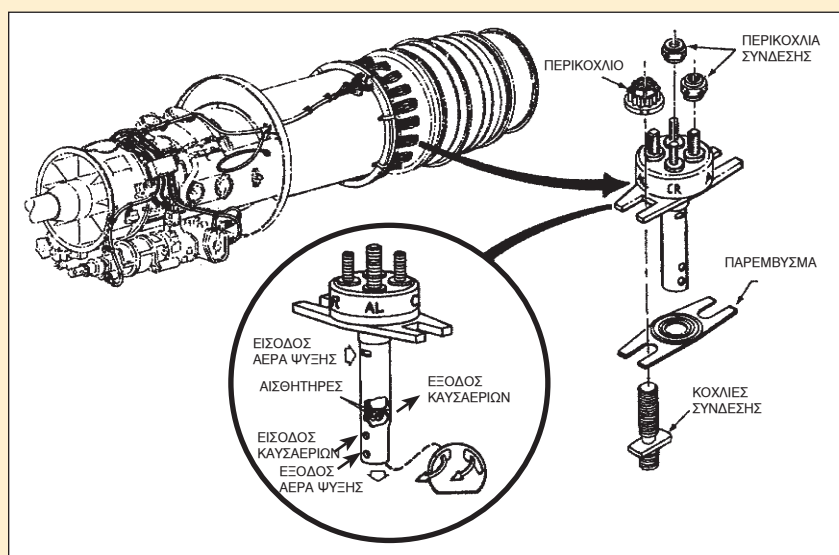
υπερθερμάνσεις των σταθερών και κινητών πτερυγίων του στροβίλου, καθώς επίσης σαφής ένδειξη, σε συνδυασμό με άλλες παραμέτρους, της απόδοσης του κινητήρα.

Ανάλογα με τη θέση των θερμοστοιχείων, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, αυτή χαρακτηρίζεται ως:

- **θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (exhaust gas temperature, EGT),**
- **θερμοκρασία εισόδου στροβίλου (turbine inlet temperature, TIT),**
- **θερμοκρασία καυσαερίων μεταξύ στροβίλων (interstage turbine temperature, ITT)**

Η θερμοκρασία εισόδου στροβίλου (TIT–Σχήμα 3.169) καθορίζει γενικά τη βέλτιστη απόδοση που μπορεί να επιτύχει ο κινητήρας. Συνήθως όμως, για λόγους αντοχής των θερμοζευγών, μετρείται η θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων (βλέπε και §3.11.2.4).

Η μέγιστη θερμοκρασία εισόδου στροβίλου, στην οποία μπορεί να λειτουργήσει ο κινητήρας, περιορίζεται από τα υλικά κατασκευής των τμημάτων του στροβίλου (κυρίως των σταθερών και κινητών πτερυγίων)¹. Ως εκ τούτου, η μέγιστη θερμοκρασία εισόδου στροβίλου κατά τη λειτουργία του κινητήρα, προκύπτει από τον συνυπολογισμό των δύο προαναφερθέντων απαιτήσεων:

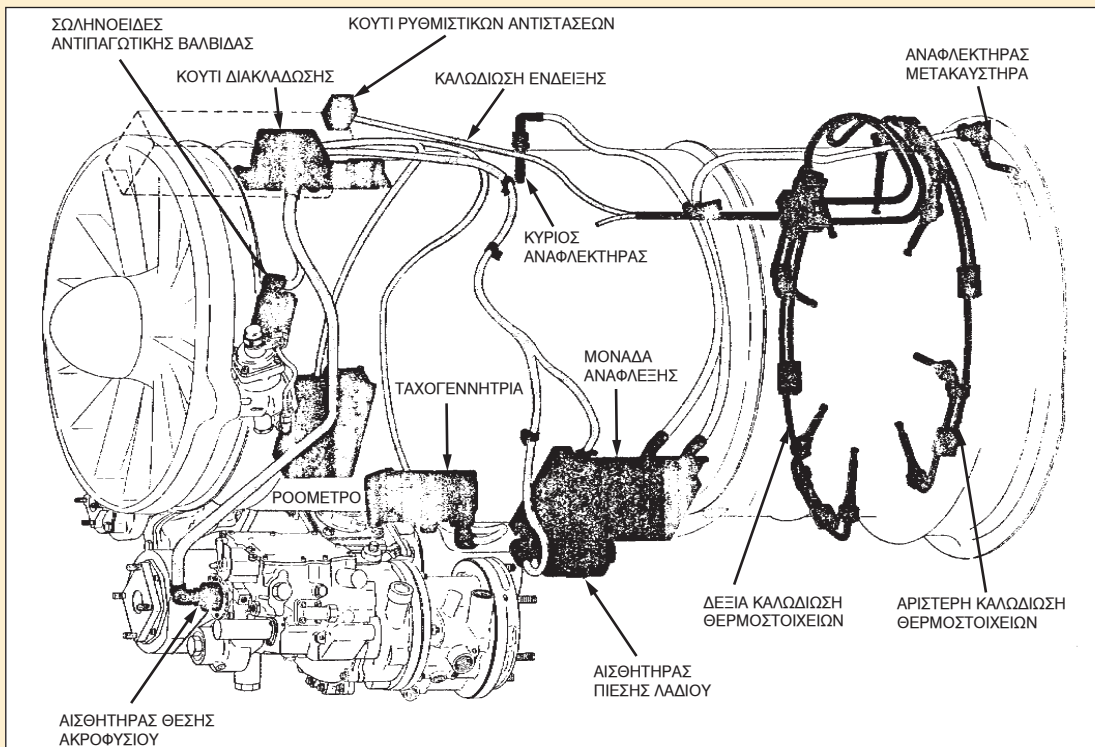


Σχήμα 3.169 Μέτρηση θερμοκρασίας εισόδου στροβίλου σε κινητήρα T56

¹ Μια τυπική τιμή αυτής της θερμοκρασίας είναι 1200°C. Η χρήση ψυχόμενων πτερυγίων μπορεί να επιτρέψει την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου στροβίλου, διατηρώντας τη θερμοκρασία του μετάλλου σε ανεκτά επίπεδα.

Υψηλός βαθμός απόδοσης και μεγάλη χρονική διάρκεια ασφαλούς λειτουργίας του κινητήρα. Περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας μπορεί να μειώσει δραστικά τη «ζωή» του κινητήρα.

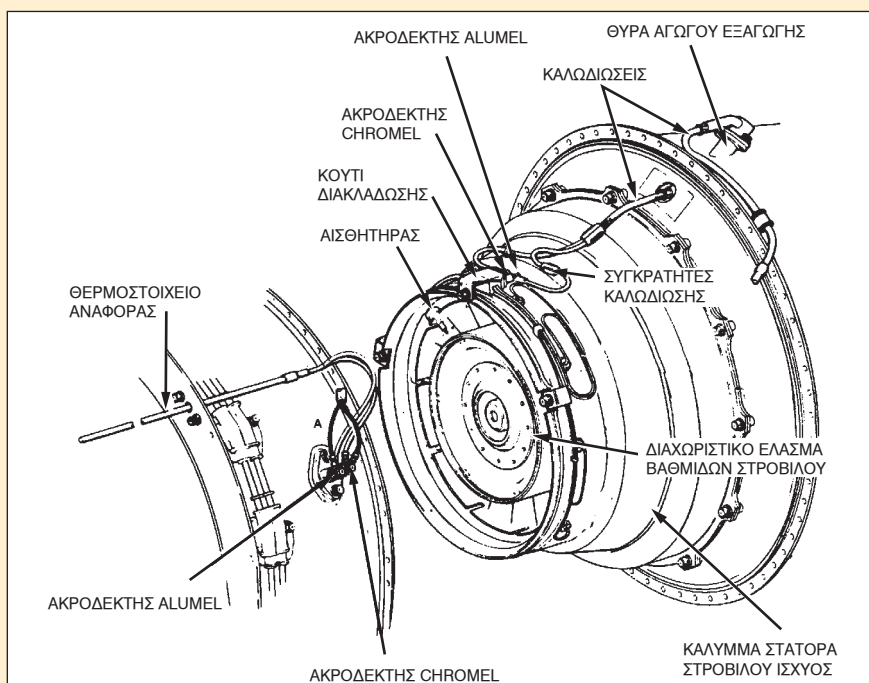
Αν και η θερμοκρασία εισόδου στροβίλου είναι η κρισιμότερη από τις προαναφερθείσες, η μέτρησή της είναι γενικά δύσκολη εξαιτίας κυρίως των αυξημένων φθορών, οι οποίες μπορούν να προκληθούν στα θερμοστοιχεία κατά τη λειτουργία τους σε περιβάλλον εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών. Έτσι, στις περισσότερες περιπτώσεις, προκρίνεται η μέτρηση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένδειξη της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στο στρόβιλο (Σχήμα 3.170).



Σχήμα 3.170 Μέτρηση θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων

Σε ορισμένους κινητήρες, τέλος, ο κατασκευαστής έχει τοποθετήσει θερμοστοιχεία μέτρησης της θερμοκρασίας μεταξύ των δύο στροβίλων (Σχήμα 3.171). Παράλληλα με τη μέτρηση αυτής της θερμοκρασίας, μετριέται και η θερμοκρασία εισόδου του συμπιεστή (trim thermocouple). Η ένδειξη αυτή χρησιμοποιείται για τη διόρθωση (trimming) της ενδεικνυόμενης θερμοκρασίας ΙΤΤ¹, σχετικά με την θερμοκρασία εισόδου του συμπιεστή.

¹ Η διόρθωση αυτή παρέχει μια, «ανεξάρτητη» από τις συνθήκες εισόδου, ένδειξη της θερμοκρασίας ΙΤΤ, έτσι ώστε να γίνεται ευκολότερος ο έλεγχος από τον χειριστή



Σχήμα 3.171 Μέτρηση θερμοκρασίας καυσαερίων μεταξύ δύο στροβίλων

Απαιτούμενα μέσα

- Ελικοστρόβιλος κινητήρας με θερμοστοιχεία και την καλωδίωσή τους.
- Οι απαιτούμενες συσκευές δοκιμής λειτουργίας των θερμοστοιχείων και της καλωδίωσής τους.
- Τα απαραίτητα τεχνικά εγχειρίδια της κατασκευάστριας εταιρείας.
- Τα απαραίτητα ειδικά εργαλεία για τη διαδικασία της αφαίρεσης.
- Γενικά εργαλεία (συγκράτησης, κοπής, κλπ.).

Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που περιγράφονται στο Παράρτημα Β.

Πορεία εργασίας

Η άσκηση βασίζεται στην αφαίρεση και επιθεώρηση των θερμοστοιχείων μέτρησης θερμοκρασίας εισόδου στροβίλου του αεροκινητήρα T56-A-7/-15.

1. Μελετήστε τα τεχνικά εγχειρίδια. Προδιαγράψτε τη σειρά των εργασιών που θα πραγματοποιήσετε στα πλαίσια της αφαίρεσης των θερμοστοιχείων και της καλωδίωσής τους. Βεβαιωθείτε για την ύπαρξη των ειδικών εργαλείων και όλου

γενικότερα του εξοπλισμού, που τυχόν χρειάζεστε για τη διεξαγωγή της άσκησης.

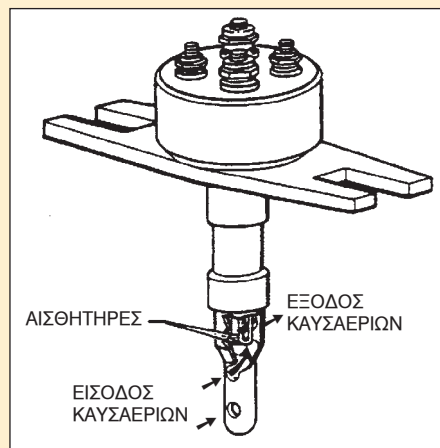
2. Εξασφαλίστε ικανό αριθμό πάγκων εργασίας, χωρίς αντικείμενα στην επιφάνειά τους.

3. Αφαίρεση θερμοστοιχείων από τον κινητήρα.

- ▶ Κόψτε τις συρματασφαλίσεις.
- ▶ Αποσυνδέστε τους ακροδέκτες της καλωδίωσης από τα θερμοστοιχεία.
- ▶ Χαλαρώστε και αφαιρέστε τα παξιμάδια συγκράτησης των θερμοστοιχείων στο περίβλημα του κινητήρα (Σχήμα 3.169).
- ▶ Τραβήξτε τα θερμοστοιχεία. Η αφαίρεση πρέπει να γίνει με ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή πρόκλησης ζημιάς στα θερμοστοιχεία.
- ▶ Τα αφαιρούμενα παρεμβύσματα απορρίπτονται.
- ▶ Μετά την αφαίρεση των θερμοστοιχείων καλύψτε τις οπές στο περίβλημα για την αποφυγή εισαγωγής ξένων σωματιδίων.

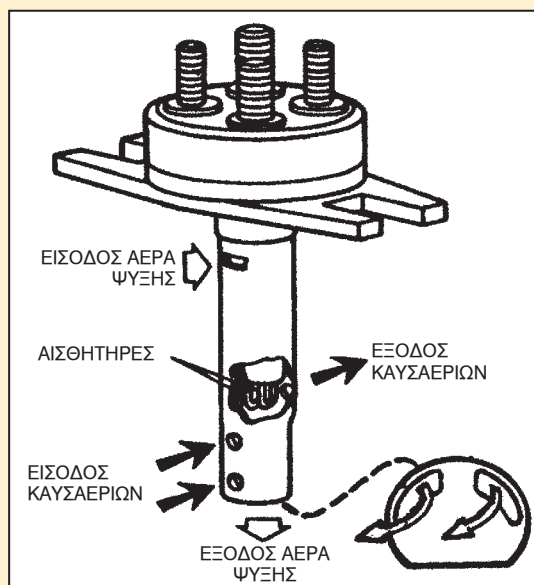
4. Καθαρισμός και επιθεώρηση θερμοστοιχείων.

Στους κινητήρες του παραδείγματος χρησιμοποιούνται δύο είδη θερμοστοιχείων. Η πρώτη κατηγορία θερμοστοιχείων φέρει δύο οπές εισαγωγής και μία οπή εξαγωγής των καυσαερίων (Σχήμα 3.172).



Σχήμα 3.172 Θερμοστοιχείο χωρίς ψύξη

Η δεύτερη κατηγορία έχει μία οπή κοντά στη βάση του στελέχους (Σχήμα 3.173). Αέρας ψύξης εισάγεται από αυτή την οπή και βγαίνει από οπές που βρίσκονται στο άκρο του στελέχους.

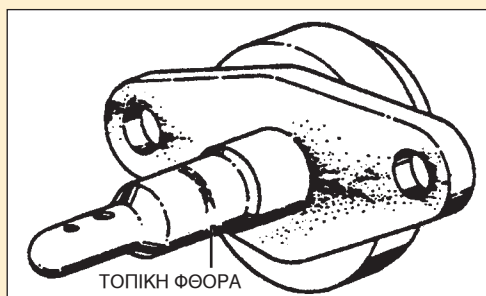


Σχήμα 3.173 Ψυχόμενο θερμοστοιχείο

- Καθαρίστε τους κοχλίες σύνδεσης (connector studs) των θερμοστοιχείων με τη χρήση διαλυτικού. Δεν απαιτείται άλλος καθαρισμός.

Οι παρακάτω έλεγχοι είναι χαρακτηριστικοί των επιθεωρήσεων που περιέχονται στο τεχνικό εγχειρίδιο (το οποίο και θα πρέπει να συμβουλευθείτε):

- Ελέγξτε τη διάμετρο της οπής εισαγωγής. Εάν μπορείτε να εισάγετε τρυπάνι συγκεκριμένης διαμέτρου (βλέπε το τεχνικό εγχειρίδιο), το θερμοστοιχείο απορρίπτεται.
- Ελέγξτε εάν υπάρχουν καψίματα ή ενδείξεις διάβρωσης που επηρεάζουν τη ροή των καυσαερίων μέσα στο στέλεχος του θερμοστοιχείου. Σε αυτή την περίπτωση το θερμοστοιχείο απορρίπτεται.
- Μετρήστε τη φθορά του στελέχους του θερμοστοιχείου (Σχήμα 3.174). Υπερβολική φθορά είναι αιτία απόρριψης του κομματιού.



Σχήμα 3.174 Ενδείξεις φθοράς στο στέλεχος των θερμοστοιχείων

- ▶ Ελέγξτε τη στιβαρότητα των κοχλιών σύνδεσης, εφαρμόζοντας συγκεκριμένη ροπή στρέψης.
- ▶ Επιθεωρήστε τις οπές ψύξης των ψυχόμενων θερμοστοιχείων.
- ▶ Χρησιμοποιώντας ωμόμετρο, μετρήστε την αντίσταση μεταξύ των κοχλιών σύνδεσης και του στελέχους. Εάν η μετρούμενη αντίσταση είναι μικρότερη των ορίων του κατασκευαστή, θα πρέπει να ζεστάνετε το θερμοστοιχείο, έτσι ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία και να το ξαναμετρήσετε. Στην περίπτωση που η αντίσταση παραμένει μικρότερη των ορίων, αντικαταστήστε την.

5. Δοκιμή θερμοστοιχείου.

- ▶ Ελέγξτε την αξιοπιστία των μετρήσεων κάθε θερμοστοιχείου, δοκιμάζοντάς το με την κατάλληλη συσκευή. Για τα θερμοστοιχεία της άσκησης, η δοκιμή περιλαμβάνει μέτρηση της αντίστασης κάθε αισθητήρα (junction) με ωμόμετρο. Τιμή αντίστασης εκτός των ορίων του κατασκευαστή αποτελεί αιτία απόρριψης του θερμοζεύγους.

Παράρτημα Α:

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Α.1. Οργανισμοί ελέγχου και πιστοποίησης – Κανονισμοί

Οι βασικοί φορείς εκπόνησης κανονισμών και ελέγχου σχετικά με τις κάθε είδους αεροπορικές δραστηριότητες είναι οι υπηρεσίες πολιτικής αεροπορίας (Civil Aviation Authorities - CAA) των διαφόρων κρατών. Στην Ελλάδα, το έργο αυτό είναι αρμοδιότητα της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ, Σχήμα Α.1), η οποία ουσιαστικά λειτουργεί από το 1931 και υπάγεται στο Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών.

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο δημιουργήθηκε το 1970 η υπηρεσία JAA (η υπηρεσία ονομαζόταν αρχικά Joint Airworthiness Authorities και στη συνέχεια Joint Aviation Authorities, Σχήμα Α.1), η οποία είχε αρχικά σαν αποστολή την εκπόνηση κοινών κανόνων πιστοποίησης για μεγάλα αεροπλάνα και κινητήρες (η Ελλάδα συμμετείχε στη JAA). Από το 1987, οι αρμοδιότητες της JAA επεκτάθηκαν και στην εκπόνηση προτύπων και κανονισμών που αφορούν σχεδιασμό, αδειοδότηση, πιστοποίηση, λειτουργία και συντήρηση όλων των τύπων αεροσκαφών. Περιλαμβάνονται επίσης και διαδικασίες έγκρισης / πιστοποίησης εταιριών σχεδιασμού, παραγωγής και συντήρησης αεροσκαφών και κινητήρων, καθώς επίσης και διαδικασίες πιστοποίησης φυσικών προσώπων (χειριστών, μηχανικών, κλπ.). Κανονισμοί και διαδικασίες, οι οποίες εκπονούνται ή εγκρίνονται από τη JAA, τίθενται σε ισχύ και στα κράτη μέλη. Η συμμετοχή στη JAA βασίζεται στο κείμενο με τον τίτλο “JAA Arrangements”, το οποίο υπογράφηκε αρχικά στην Κύπρο το 1990.

Στις Η.Π.Α., η αντίστοιχη υπηρεσία ελέγχου και έκδοσης κανονισμών είναι η FAA (Federal Aviation Administration, Σχήμα Α.1), η οποία λειτουργεί από το 1926 και με τη σημερινή της μορφή και ονομασία από το 1966.

Πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ήδη δρομολογήσει τη δημιουργία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Ασφάλειας στις Αερομεταφορές (European Aviation Safety Agency), κατά το πρότυπο της FAA. Ο οργανισμός αυτός θα διαδεχθεί τη JAA και προβλέπεται να είναι σε θέση να προδιαγράφει κοινούς κανονισμούς και πρότυπα (σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, αλλά και συμβατά με τα αντίστοιχα των Η.Π.Α.), τα οποία θα προσφέρουν τον υψηλότερο βαθμό ασφάλειας αλλά και περιβαλλοντικής προστασίας.

Οι κανονισμοί, οι οποίοι διέπουν τις διάφορες αεροπορικές δραστηριότητες εκπονούνται κυρίως από τις JAA για την Ευρώπη και την FAA για τις Η.Π.Α. Είναι τα Joint Airworthiness Requirements-JAR και Federal Aviation Regulations – FAR. Υπάρχει γενικότερα αντιστοιχία στην κωδικοποίηση (αριθμός “Part”) μεταξύ των δύο οργανισμών, ενώ υπάρχει συνεργασία για την ομογενοποίηση των κανονισμών μεταξύ Ευρώπης και Αμερικής.



Σχήμα Α.1 Τα σήματα των ΥΠΑ, JAA & FAA

Στη συνέχεια αναφέρεται περιληπτικά το αντικείμενο ορισμένων κανονισμών, οι οποίοι παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τεχνικούς συντήρησης αεροπορικών κινητήρων:

- JAR-1, FAR Part 1: Περιέχονται ορισμοί και συντομογραφίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε κάθε είδους αεροπορική δραστηριότητα (σχεδίαση, παραγωγή, λειτουργία, συντήρηση). Ο πίνακας, στο τέλος του παραρτήματος, περιέχει επιλεγμένους ορισμούς, οι οποίοι περιέχονται σε αυτούς τους κανονισμούς.

- JAR-21, FAR Part 21: Αναφέρονται στις διαδικασίες πιστοποίησης που απαιτούνται για το σχεδιασμό, παραγωγή και λειτουργία αεροπορικών προϊόντων και εξαρτημάτων.
- JAR-22/-23/-25/-27/-29 και τα αντίστοιχα FAR Parts: Περιέχουν προδιαγραφές για το σχεδιασμό και τις δοκιμές αποδοχής διαφόρων τύπων αεροσκαφών.
- JAR-E, FAR Part 33: Περιέχουν προδιαγραφές για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τις δοκιμές αποδοχής αεροπορικών κινητήρων (εμβολοφόρων και αεριοστρόβιλων).
- FAR Part 43: Παρέχονται οι νομικές απαιτήσεις αναφορικά με την προληπτική και διορθωτική συντήρηση, ανακατασκευές και τροποποιήσεις πιστοποιημένων αεροσκαφών.
- JAR-66, FAR Part 65 & 66: Απαιτήσεις πιστοποίησης του προσωπικού συντήρησης αεροσκαφών και κινητήρων.
- FAR Part 91: Αναφέρεται σε γενικούς κανόνες λειτουργίας και πτήσης. Περιέχει επίσης τις γενικές απαιτήσεις αναφορικά με τη συντήρηση, επιθεώρηση και διατήρηση μητρώων.
- JAR-145, FAR Part 145: Περιέχει τις προϋποθέσεις, οι οποίες θα πρέπει να πληρούνται από οργανισμούς ή εταιρείες επισκευής, ενώ κατηγοριοποιεί τα επισκευαστικά κέντρα.
- JAR-147, FAR Part 147: Καταγράφονται οι απαιτήσεις για την πιστοποίηση κέντρων εκπαίδευσης στη συντήρηση αεροσκαφών και κινητήρων.

Παρατίθενται για ενημερωτικούς λόγους, στο τέλος του παραρτήματος, κατάλογοι JARs και FARs, (Πίνακας Α.1 και ο Πίνακας Α.2 αντίστοιχα).

A.2. Πιστοποίηση προσωπικού κατά JAR-66

Ο αρχικός κανονισμός FAR Part 65 προδιαγράφει τις απαιτήσεις πιστοποίησης του προσωπικού συντήρησης αεροσκαφών και κινητήρων καθώς επίσης και άλλων ειδικοτήτων (ελεγκτές πτήσεων κ.ά.). Εξαιτίας των αυξημένων πλέον απαιτήσεων δεξιοτήτων του προσωπικού συντήρησης, αλλά και του ιδιαίτερου ρόλου που έχει αυτό στην καλή λειτουργία αεροσκαφών και κινητήρων, αποφασίσθηκε η εκπόνηση ιδιαίτερων κανονισμών (JAR-66, FAR Part 66) οι οποίοι καλύπτουν αποκλειστικά τις απαιτήσεις για την πιστοποίηση των τεχνικών και μηχανικών συντήρησης. Το Σχήμα Α.2 παρουσιάζει ενδεικτικά μία σελίδα του JAR-66.

Το JAR-66 προβλέπει τρεις κατηγορίες προσωπικού συντήρησης (βλ. και Σχήμα A.3):

- Κατ. A: Πιστοποιημένος τεχνίτης συντήρησης γραμμής πτήσης, ο οποίος μπορεί να διεκπεραιώνει¹ απλές εργασίες συντήρησης και αντικατάστασης.
- Κατ. B: Πιστοποιημένος τεχνικός συντήρησης γραμμής πτήσης, ο οποίος μπορεί να διεκπεραιώνει εργασίες συντήρησης στη δομή του αεροσκάφους, στον κινητήρα και στα ηλεκτρικά μέρη (κατ. B1), καθώς επίσης και στα ηλεκτρονικά του σκάφους (Avionics – κατ. B2).
- Κατ. C: Πιστοποιημένος μηχανικός συντήρησης υποστέγου, ο οποίος μπορεί να διεκπεραιώνει εργασίες γενικής επισκευής.

Η πιστοποίηση στις διάφορες κατηγορίες του JAR-66 εξαρτάται από την εκπαίδευση, αλλά και από την πρακτική εμπειρία.

A.3. Τεχνικά εγχειρίδια

Κάθε είδους εργασία, η οποία εκτελείται σε αεροπορικό κινητήρα εκτελείται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, ή άλλου εξουσιοδοτημένου οίκου. Οι οδηγίες παρέχονται στον τεχνικό συντήρησης μέσω κατάλληλων τεχνικών εγχειριδίων, τα οποία αποκαλούνται συνήθως “Technical Manuals” ή “Technical Orders”. Τα εγχειρίδια αυτά, φέρουν ειδική κωδικοποίηση, ανάλογα συνήθως με τον κατασκευαστή του κινητήρα, ή του εξουσιοδοτημένου κέντρου, το οποίο εκδίδει την τεχνική οδηγία. Ενδεικτικά αναφέρουμε ορισμένους τύπους τεχνικών οδηγιών, με τις οποίες έρχεται σε καθημερινή επαφή ένας τεχνικός συντήρησης κινητήρων:

- Ευρετήρια (Indexes)
- Κατάλογοι εξαρτημάτων (Illustrated Parts Catalog – Illustrated Parts Breakdown)
- Οδηγίες επιθεώρησης (Inspection Requirements)
- Οδηγίες επισκευής (Structural Repair Manuals - Structural Repair Instructions)
- Οδηγίες συντήρησης (Maintenance Instructions)
- Οδηγίες από-/συναρμολόγησης (Disassembly / Assembly instructions)
- Λειτουργική προσθήκη (Operational supplement)

¹ Ως διεκπεραίωση εννοείται η αποδέσμευση του αεροσκάφους ή του κινητήρα μετά τις εργασίες συντήρησης.

SECTION

JAR 66.1 General

(See AMC 66.1)

(a) JAR-145 requires appropriately authorised certifying staff to issue a certificate of release to service on behalf of the JAR-145 approved maintenance organisation when satisfied that all required maintenance has been completed.

(b) Except where stated otherwise in paragraphs (c), (d), (e) and (f), certifying staff responsible for issuing the certificate of release to service must be qualified in accordance with the appropriate requirements of this JAR-66.

(c) This JAR-66 is limited to those certifying staff responsible for issuing the certificate of release to service for aeroplanes and helicopters with a maximum take off mass of 5700 kg and above.

Note: The application of JAR 66 to aeroplanes and helicopters with a maximum take off mass below 5700 kg, airships and aircraft components will be considered in a future issue. Aircraft components include engines, auxiliary power units and propellers.

(d) Personnel authorised to exercise certification privileges in accordance with National aviation regulations valid before the effective date of JAR-66, may continue to exercise these privileges.

(e) Personnel undergoing a course of approved basic or type training at the JAR-66.3(b) compliance date in accordance with National aviation regulations valid before the effective date of JAR-66, may continue to be qualified in accordance with these National aviation regulations. The qualifications gained following such training will be recognised for the purposes of certification privileges in accordance with JAR-66.1(d).

(f) Certifying staff qualified in accordance with paragraph (d) or (e) may continue to exercise the authorisation except in the case of adding other basic categories / sub-categories of qualification to that authorisation when the appropriate additional requirements of JAR-66 will apply to such extension. Certifying staff qualified in accordance with paragraph (d) or (e) may extend the scope of their authorisation to include new aircraft types subject to compliance with National aviation regulations valid before the effective date of JAR-66.

(g) Notwithstanding that paragraph (d), (e) and (f) personnel may continue to exercise such privileges, such personnel must be issued a

JAR 66.1(g) (continued)

JAR-66 aircraft maintenance licence based upon the National qualification without further examination but within the time limits of JAR 66.3 (d). The JAR-66 aircraft maintenance licence may contain technical limitations in relation to JAR-66 where not appropriately qualified but does not change any existing certification privileges. Technical limitations will be deleted, as appropriate, when the person satisfactorily sits the relevant conversion examination.

JAR 66.3 Effectivity

(a) This JAR-66 was first issued on 03 April 1998 and becomes effective on 01 June 1998.

(b) After 01 June 2001 any person required to be approved in accordance with JAR - 66.1(b) or (f) must be in compliance with this JAR - 66.

(c) A JAR - 66 aircraft maintenance licence may be issued by the JAA full member Authority during the sub-paragraph (b) transition period.

(d) Any person required by JAR - 66.1 (g) to convert a National qualification to a JAR - 66 aircraft maintenance licence must do so not later than 10 years after the end of the transition period of sub-paragraph (b).

JAR 66.5 Definitions

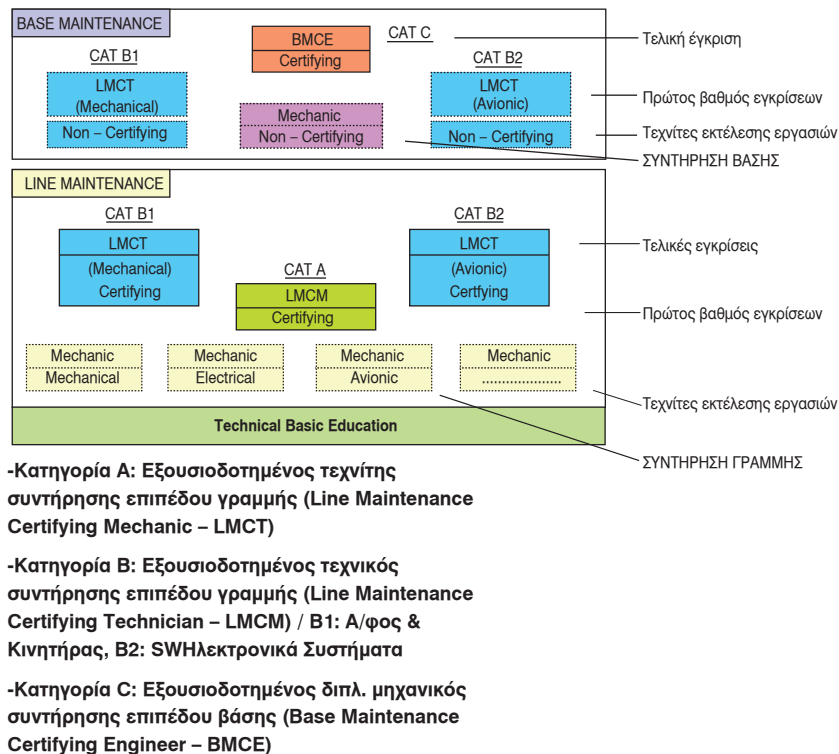
For the purpose of this JAR-66, the following definitions shall apply:

'Aircraft maintenance licence' means a document issued as evidence of qualification confirming that the person to whom it refers has met the JAR - 66 knowledge and experience requirements for any aircraft basic category and aircraft type rating specified in the document.

Note: The aircraft maintenance licence alone does not permit the holder to issue certificates of release to service in respect of aircraft used for commercial air transport. To issue a certificate of release to service for such aircraft, the aircraft maintenance licence holder must in addition hold a JAR - 145 certification authorisation issued by the JAR - 145 approved maintenance organisation.

'Certification' means the issuance of a certificate of release to service.

03.04.98



Σχήμα A.3 Οργάνωση εργασιών συντήρησης κατά JAR

- Τεχνική οδηγία άμεσης συμμόρφωσης (Time Compliance Technical Order)
- Τεχνικές οδηγίες μεθόδων και διαδικασιών (Methods and Procedures Technical Orders)
- Τεχνικές οδηγίες συντήρησης παρελκομένων (Accessories Maintenance instructions), κ.ά.

Οι εταιρείες κατασκευής κινητήρων έχουν αρχίσει πλέον να διαθέτουν τα τεχνικά εγχειρίδια σε ηλεκτρονική μορφή, απλοποιώντας σημαντικά την εργασία του τεχνικού συντήρησης, απαλλάσσοντάς τον από τη χρονοβόρα διαδικασία αναζήτησης μέσα στους ογκώδεις τόμους της τεχνικής βιβλιογραφίας (βλ. Σχήμα A.4, Σχήμα A.5).

A.4. Έντυπα εργασιών

Η απαίτηση τεκμηρίωσης είναι από τις σημαντικότερες υποχρεώσεις του τεχνικού συντήρησης, έτσι ώστε να διασφαλίζεται στο μέγιστο η ασφάλεια των πτήσεων. Για το λόγο αυτό, οι οργανισμοί πιστοποίησης διατυπώνουν σαφώς, μέσω των διάφορων σχετικών κανονισμών (π.χ. JAR-145, FAR Part 43 κλπ.), την ανάγκη λεπτομερούς καταγραφής των εργασιών οι οποίοι επιτελούνται στον κινητήρα. Για το σκοπό αυτό έχουν προδιαγραφεί ειδικά έντυπα για την αναλυτική καταγραφή των διαφόρων εργασιών, οι οποίες εκτελούνται σε έναν κινητήρα και της συμμόρφωσης εξαρτημάτων / εργασιών με τις αντίστοιχες προδιαγραφές (π.χ. FORM 337, JAR FORM ONE).



Σχήμα A.4 Η κεντρική σελίδα «ηλεκτρονικού» εγχειριδίου συντήρησης

Πέραν τούτων, ακόμη και η καθημερινή εργασία σε ένα εργοστάσιο συντήρησης κινητήρων απαιτεί την ύπαρξη πλάνων εργασίας, όπου πιστοποιείται εγγράφως κάθε φάση της προδιαγεγραμμένης διαδικασίας επιθεώρησης, επισκευής ή συναρμολόγησης (Σχήμα 2.103). Η πιστοποίηση γίνεται από τον τεχνικό ή / και τον επιθεωρητή συντήρησης.

Table of Contents:

- 2J-F110-3-6
 - Front Matter
 - List of Work Packages
 - WP 002 00 Repair Introdu
 - WP 003 00 Repair Genera
 - SWP 003 01 Technical Pri
 - SWP 003 02 Repair Appli
 - SWP 003 03 Repair Manif
 - SWP 003 04 Repair Threa
 - SWP 003 05 Repair Heat
 - SWP 003 08 Repair Weldi
 - SWP 003 09 Technical Pri
 - SWP 003 10 Repair No. 2
 - SWP 003 11 Repair Appli
 - SWP 003 12 Repair Appli
 - SWP 003 13 Repair Appli
 - SWP 003 14 Repair Paint
 - SWP 003 15 Technical Pri
 - SWP 003 16 Technical Pri
 - SWP 003 17 Technical Pri
 - SWP 003 18 Technical Pri
 - SWP 003 19 Repair Almer
 - SWP 003 20 Repair Gene
 - SWP 003 21 Repair Appli
 - SWP 003 22 Technical Pri
 - SWP 003 23 Technical Pri
 - SWP 003 24 Repair No.4
 - SWP 003 25 Repair No.5
 - WP 005 00 Repair Front F
 - WP 007 00 Repair Variabl
 - WP 009 00 Repair No. 1 E
 - WP 010 00 Repair Front F
 - WP 013 00 Repair Fan Sti
 - WP 016 00 Repair Stages
 - WP 017 00 Repair Fan Ro
 - WP 018 00 Repair Stages
 - WP 019 00 Repair Stage
 - WP 020 00 Repair Stages
 - WP 021 00 Technical Pro
 - WP 025 00 Repair Fan Fri
 - WP 028 00 Technical Pro
 - WP 029 00 Repair Compr
 - WP 030 00 Repair Stages
 - WP 031 00 Repair Compr
 - WP 032 00 Repair Compr
 - WP 041 00 Repair Compr
 - WP 042 00 Repair Compr
 - WP 043 00 Repair Compr
 - WP 044 00 Repair Compr
 - WP 045 00 Repair Stages
 - WP 046 00 Repair Compr
 - WP 047 00 Repair Compr

EMERGENCY SHUTDOWN PROCEDURES
MAIN
TOC
CHANGE INDEX
ANNOTATE

SEARCH
CONSOLIDATED INDEX
VIEW ANNOTATION

WP 046 00 Repair Compressor Rotor Blades Stages 1 Through 3 Repair

REFERENCE MATERIAL REQUIRED

Number	Title
TO 2J-F110-3-4	Cleaning And Stripping
SWP 005 17	Dry Abrasive Grit-blast - Cleaning
SWP 006 02	Solid Film Lubricant - Stripping
SWP 006 03	Silicone Rubber Coating - Stripping
SWP 006 05	Rubber Masking - Stripping
TO 2J-F110-3-5	Inspection
WP 046 00	Compressor Rotor Blades - Stages 1 Through 3 - Inspection
TO 2J-F110-3-6	Repair
WP 003 00	General Repair Procedures
SWP 003 01	Application Of Dry Film Lubricant
SWP 003 06	Metal Finishing - Repair
SWP 003 15	Application Of Maskants
SWP 003 17	Glass Bead Peening - Repair
SWP 003 19	Almen Test Procedures For Peening - Repair
TO 33B-1-11	Nondestructive Inspection

APPLICABLE TCTO
None

CONSUMABLE MATERIALS

Nomenclature	Material/Specification	Part Number/Qty
Acetone, Technical	O-A-51	-

Σχήμα A.5 Η χρήση του «ηλεκτρονικού» εγχειριδίου γίνεται μέσω προγράμματος “browser” και είναι ιδιαίτερα εύκολη για τον χρήστη

Πίνακας Α.1 Ενδεικτικός Κατάλογος JARs

JAR - 1	Definitions and Abbreviations
JAR - 11	JAA Regulatory And Related Procedures
JAR - 21	Certification Procedures for Aircraft and Related Products and Parts
JAR - 22	Sailplanes and Powered Sailplanes
JAR - 23	Normal, Utility, Aerobatic, and Commuter Category Aeroplanes
JAR - 25	Large Aeroplanes
JAR - 26	Additional Airworthiness Requirements for Operations
JAR - 27	Small Rotorcraft
JAR - 29	Large Rotorcraft
JAR - 36	Aircraft Noise
JAR - 39	Airworthiness Directives
JAR - 66	Certifying Staff Maintenance
JAR - 145	Approved Maintenance Organisations
JAR - 147	Approved Maintenance Training/Examinations
JAR - APU	Auxiliary Power Units
JAR - AWO	All Weather Operations
JAR - E	Engines
JAR - FCL 1	Flight Crew Licensing (Aeroplane)
JAR - FCL 2	Flight Crew Licensing (Helicopter)
JAR - FCL 3	Flight Crew Licensing (Medical)
JAR - FCL 4	Flight Crew Licensing (Flight Engineers)
JAR - M	Continuing Airworthiness

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

JAR-	
MMEL/MEL	Master Minimum Equipment List / Minimum Equipment List
JAR - OPS 1	Commercial Air Transportation (Aeroplanes)
JAR - OPS 3	Commercial Air Transportation (Helicopters)
JAR - P	Propellers
JAR - STD 1A	Aeroplane Flight Simulators
JAR - STD 1H	Helicopter Flight Simulators
JAR - STD 2A	Aeroplane Flight Training Devices
JAR - STD 3A	Aeroplane Flight and Navigation Procedures Trainers
JAR - STD 3H	Helicopter Flight and Navigation Procedures Trainers
JAR - STD 4A	Basic Instrument Training Devices
JAR - TSO	Joint Technical Standard Orders
JAR - VLA	Very Light Aeroplanes

Πίνακας Α.2 Ενδεικτικός Κατάλογος FARs

Part 1	DEFINITIONS AND ABBREVIATIONS
Part 11	GENERAL RULEMAKING PROCEDURES
Part 13	INVESTIGATIVE AND ENFORCEMENT PROCEDURES
Part 21	CERTIFICATION PROCEDURES FOR PRODUCTS AND PARTS
Part 23	AIRWORTHINESS STANDARDS: NORMAL, UTILITY, ACROBATIC, AND COMMUTER CATEGORY AIRPLANES
Part 25	AIRWORTHINESS STANDARDS: TRANSPORT CATEGORY AIRPLANES
Part 27	AIRWORTHINESS STANDARDS: NORMAL CATEGORY ROTORCRAFT
Part 29	AIRWORTHINESS STANDARDS: TRANSPORT CATEGORY ROTORCRAFT
Part 31	AIRWORTHINESS STANDARDS: MANNED FREE BALLOONS
Part 33	AIRWORTHINESS STANDARDS: AIRCRAFT ENGINES
Part 34	FUEL VENTING AND EXHAUST EMISSION REQUIREMENTS FOR TURBINE ENGINE POWERED AIRPLANES
Part 35	AIRWORTHINESS STANDARDS: PROPELLERS
Part 36	NOISE STANDARDS: AIRCRAFT TYPE AND AIRWORTHINESS CERTIFICATION
Part 39	AIRWORTHINESS DIRECTIVES
Part 43	MAINTENANCE, PREVENTIVE MAINTENANCE, REBUILDING, AND ALTERATION
Part 45	IDENTIFICATION AND REGISTRATION MARKING
Part 47	AIRCRAFT REGISTRATION
Part 61	CERTIFICATION: PILOTS, FLIGHT INSTRUCTORS, AND GROUND INSTRUCTORS
Part 63	CERTIFICATION: FLIGHT CREWMEMBERS OTHER THAN PILOTS
Part 65	CERTIFICATION: AIRMEN OTHER THAN FLIGHT CREWMEMBERS
Part 91	GENERAL OPERATING AND FLIGHT RULES

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ II

Part 103	ULTRALIGHT VEHICLES
Part 119	CERTIFICATION: AIR CARRIERS AND COMMERCIAL OPERATORS
Part 121	OPERATING REQUIREMENTS: DOMESTIC, FLAG, AND SUPPLEMENTAL OPERATIONS
Part 125	CERTIFICATION AND OPERATIONS: AIRPLANES HAVING A SEATING CAPACITY OF 20 OR MORE PASSENGERS OR A MAXIMUM PAYLOAD CAPACITY OF 6,000 POUNDS OR MORE
Part 129	OPERATIONS: FOREIGN AIR CARRIERS FOREIGN OPERATORS OF U.S.-REGISTERED AIRCRAFT ENGAGED IN COMMON CARRIAGE
Part 133	ROTORCRAFT EXTERNAL-LOAD OPERATIONS
Part 135	OPERATING REQUIREMENTS: COMMUTER AND ON-DEMAND OPERATIONS AND RULES GOVERNING PERSONS ON BOARD SUCH A/C
Part 137	AGRICULTURAL AIRCRAFT OPERATIONS
Part 141	PILOT SCHOOLS
Part 142	TRAINING CENTERS
Part 145	REPAIR STATIONS
Part 183	REPRESENTATIVES OF THE ADMINISTRATOR
Part 193	PROTECTION OF VOLUNTARILY SUBMITTED INFORMATION

Πίνακας Α.3 Ορισμοί μερικών βασικών εννοιών κατά JAR-1, FAR Prt 1

«**Αεροσκάφος**» ("Aircraft"): Συσκευή που χρησιμοποιείται, ή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, για πτήση στον αέρα.

«**Κινητήρας αεροσκάφους**» ("Aircraft engine"): Κινητήρας που χρησιμοποιείται, ή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, για την πρόωση αεροσκάφους. Περιλαμβάνονται οι στρόβιλοι υπερπλήρωσης, τα παρελκόμενα, όχι όμως οι έλικες.

«**Αεροπλάνο**» ("Airplane"): Αεροσκάφος με κινητήρα και σταθερές πτέρυγες, πιο βαρύ από τον αέρα, η πτήση του οποίου βασίζεται στη δυναμική αντίδραση του αέρα στις πτέρυγες.

«**Αεροδρόμιο**» ("Airport"): Περιοχή ξηράς ή νερού, η οποία προορίζεται για την προσγείωση και απογείωση αεροσκαφών. Περιλαμβάνει τυχόν υπάρχοντα κτίρια και εγκαταστάσεις.

«**Ισχύς πέδης**» ("Brake horsepower"): Η ισχύς που αποδίδεται στον άξονα του έλικα ενός κινητήρα αεροσκάφους.

«**Ελικόπτερο**» ("Helicopter"): Αεροσκάφος, η οριζόντια κίνηση του οποίου εξασφαλίζεται από τις πτέρυγές του, οι οποίες περιστρέφονται με τη βοήθεια κινητήρων.

«**Συντήρηση**» ("Maintenance"): Περιλαμβάνει την επιθεώρηση, γενική επισκευή, επισκευή, προετοιμασία αποθήκευσης και την αντικατάσταση εξαρτημάτων. Δεν περιλαμβάνει την προληπτική συντήρηση.

«**Μεγάλη τροποποίηση**» ("Major alteration"): Τροποποίηση η οποία δεν περιλαμβάνεται στις προδιαγραφές του αεροσκάφους, του κινητήρα ή του έλικα, η οποία: (1) μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το βάρος, τη δομική αντοχή, τις επιδόσεις, τη λειτουργία του κινητήρα, τα χαρακτηριστικά της πτήσης, ή άλλα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την πλοϊμότητα, ή, (2) απαιτεί ιδιαίτερες συνθήκες για την πραγματοποίησή της.

«**Εκτεταμένη επισκευή**» ("Major repair"): Επισκευή, η οποία (1) αν δεν πραγματοποιηθεί σωστά μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το βάρος, τη δομική αντοχή, τις επιδόσεις, τη λειτουργία του κινητήρα, τα χαρακτηριστικά της πτήσης, ή άλλα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την πλοϊμότητα, ή, (2) απαιτεί ιδιαίτερες συνθήκες για την πραγματοποίησή της.

«**Έλικας**» ("Propeller"): Συσκευή με πτερύγια, η οποία χρησιμοποιείται για την πρόωση ενός αεροσκάφους και η οποία όταν περιστρέφεται παράγει ώση, που είναι περίπου κάθετη στο επίπεδο περιστροφής. Περιλαμβάνει τα απαραίτητα συστήματα ελέγχου.

Παράρτημα Β:

ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

Κατά τη διάρκεια των εργασιών που θα πραγματοποιηθούν στα πλαίσια των εργαστηριακών ασκήσεων, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη λήψη των απαραίτητων μέτρων ασφάλειας, ώστε να εξαλειφθεί η οποιαδήποτε πιθανότητα τραυματισμού των συμμετεχόντων:

- Πραγματοποιείτε τις όποιες εργασίες αργά και μεθοδικά. Βιαστικές κινήσεις μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμούς και ζημιές στα κομμάτια.
- Εξασφαλίστε την καλή κατάσταση των εργαλείων που θα χρησιμοποιηθούν.
- Εξασφαλίστε την καλή κατάσταση των μέσων ανάρτησης (σχοινί, συρματόσχοινο, ιμάντας ή αλυσίδα) που ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν.
- Εξασφαλίστε την καθαριότητα του χώρου εργασίας (καθαρίστε λάδια, γράσα, κόλλες και άλλα).
- Διατηρείτε την ευταξία του χώρου εργασίας.
- Αποφύγετε να φοράτε ρούχα που είναι φαρδιά και, γενικά, εξέχουν. Είναι προτιμότερη η χρήση φόρμας και παπουτσιών εργασίας. Σε ειδικές περιπτώσεις πρέπει να χρησιμοποιούνται τα ειδικά γυαλιά ασφαλείας.
- Αποφεύγετε την εισπνοή των σπρίντ που, πιθανόν, χρησιμοποιείτε κατά τη διάρκεια των εργασιών.
- Πλένετε καλά και με επιμέλεια τα χέρια σας μετά το τέλος των εργασιών.
- Μην επιχειρείτε να σηκώνετε εξαρτήματα τα οποία είναι βαριά ή είναι άγνωστο το βάρος τους
- Μην καπνίζετε στο χώρο της εργασίας ακόμη και κατά τη διάρκεια του διαλείμματος.
- Ενημερωθείτε για τη λειτουργία των πυροσβεστικών μέσων του χώρου εργασίας καθώς και για την ύπαρξη εξόδων κινδύνου.
- Μη θεωρήσετε υπερβολικά ή αστεία τα μέτρα ασφαλείας.

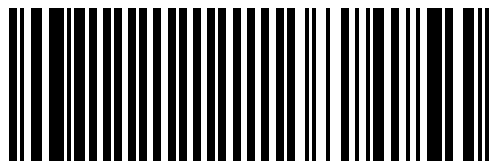
Βιβλιογραφία

1. Καρκανιάς, Κ., Γούλιος, Γ., «Εμβολοφόροι Αεροπορικοί Κινητήρες», Εκδόσεις ΑΛΦΑ, Αθήνα
2. Καρκανιάς, Κ., «Αεροστρόβιλοι κινητήρες», Εκδόσεις ΑΛΦΑ, Αθήνα.
3. Κουρεμένος, Δ., Α., «Σημειώσεις Θερμοδυναμικής Ι», Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 1978.
4. Μαυροματάκος, Α., Κ., «Φυσική», Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου
5. Σαββάλας Α., Σαββάλας, Σ., «Θερμοδυναμική – Εντροπία - Ταλαντώσεις», Εκδόσεις Σαββάλα
6. Abbott, A., F., "Physics", 5th edition, Heinman Educational
7. "A & P Technician Powerplant Textbook", Jeppesen Sanderson Inc., 2003
8. Crane, D., Otis, C., Delp, F., "Aviation Technician Training Series, 1) Powerplant Section, 2) General Section", AMP
9. Hellenic Aerospace Industry, Technical Directorate, "Technical Publications Course", Τανάγρα, 2002
10. Joint Aviation Authorities, "JARs", <http://www.jaa.nl>, The World Wide Web, 2003
11. Kroes, M. J., Wild, T., W., "Aircraft Powerplants", McGraw-Hill, INTERNATIONAL EDITIONS, Seventh Edition, 1994.
12. Rogers and Mayhew, "Engineering thermodynamics- Work and Heat Transfer", Third Edition, Longman Scientific Technical
13. "Training Manual, Powerplant Section", Aviation Maintenance Publishers, 1983
14. Treager, I., E., "Aircraft Gas Turbine Engine Technology", Glencoe McGraw-Hill, Third Edition, 1996.
15. Young D. Huch, "University Physics", 8th edition, Addison-Wesley publishing, Inc.
16. Avco Lycoming, "Engine Mounted Oil Filter Kits and Replacement Filters", Service letter No 1319B

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.

Κωδικός βιβλίου: 0-24-0081
ISBN 978-960-06-2868-5



(01) 000000 0 24 0081 5