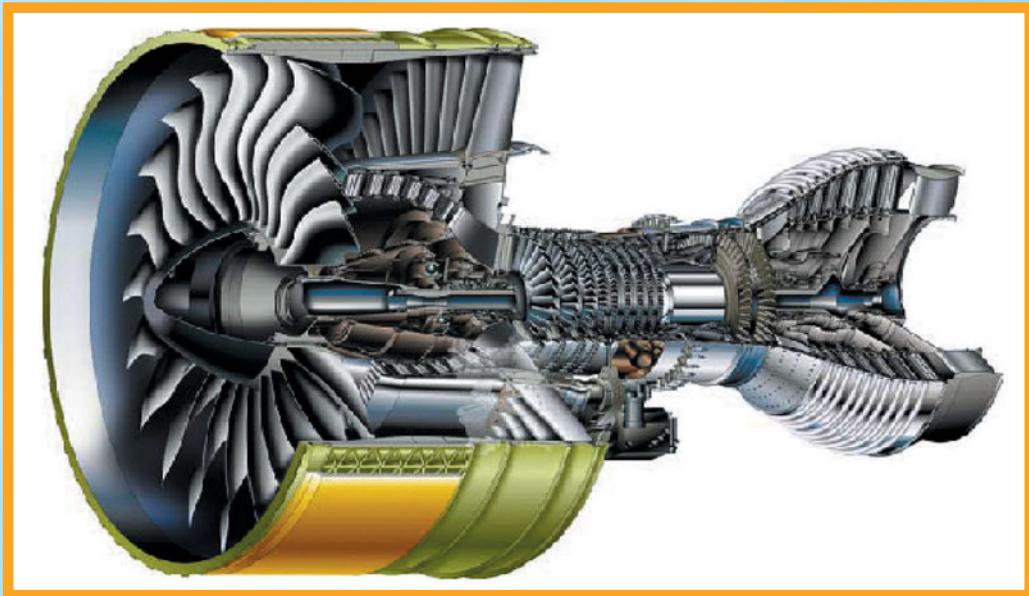


Ευάγγελος Καρέλας Ιωάννης Τριαντάφυλλος
Γρηγόριος Φρέσκος

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

Ειδικότητα Μηχανοσύνθετων Αεροσκαφών

Γ' ΕΠΑ.Λ.



ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ
ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι**

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.
Νικόλαος Αδαμόπουλος, Μηχανολόγος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

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

ΓΛΩΣΣΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ

Θεοδώρα Καμαρούδη, Φιλολόγος, 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 21/4/2004
- **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.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
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 Ι

Γ' ΕΠΑ.Λ.
Ειδικότητα Τεχνικών Μηχανοσυνθετών Αεροσκαφών

ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Πρόλογος

Το βιβλίο αυτό απευθύνεται στους σπουδαστές της Β' τάξης του 1ου κύκλου του μηχανολογικού τομέα των ΤΕΕ, της ειδικότητας «Μηχανοσυνθετών Αεροσκαφών» και γράφτηκε για τη διδασκαλία του μαθήματος «Κινητήρες Αεροσκαφών Ι».

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 γνωρίσουν οι σπουδαστές τις βασικές αρχές λειτουργίας των αεροπορικών κινητήρων, να κατανοήσουν τη λειτουργία των διάφορων συστημάτων τους και να αποκτήσουν 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 κατανοητή σε δύο 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 γίνεται μια αναδρομή στην ιστορική εξέλιξη των εμβολοφόρων κινητήρων, στις αρχές θερμοδυναμικής που διέπουν τη λειτουργία τους καθώς και περιγραφή των διαφόρων τύπων εμβολοφόρων κινητήρων και του τρόπου λειτουργίας αυτών και των συστημάτων τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους αεριοστρόβιλους κινητήρες, την ιστορική εξέλιξή τους, τις αρχές που διέπουν τη λειτουργία τους καθώς και περιγραφή των διαφόρων τύπων κινητήρων. Επίσης περιγράφονται αναλυτικά τα μέρη που τους αποτελούν και ο ρόλος τους στην λειτουργία ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα.

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: ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ	11
Διδακτικοί Στόχοι	11
1.1 Ιστορική εξέλιξη κινητήρων - είδη κινητήρων	11
1.1.1 Ιστορική εξέλιξη κινητήρων	11
1.1.2 Είδη κινητήρων εσωτερικής καύσης	16
1.1.3 Τύποι εμβολοφόρων κινητήρων	18
1.1.4 Ειδικοί ορισμοί για τη βασική λειτουργία του εμβολοφόρου κινητήρα....	19
1.1.5 Βασικά στοιχεία θερμοδυναμικής.....	21
1.2 Βενζινοκινητήρες - Πετρελαιοκινητήρες	23
1.2.1 Τα στοιχειώδη μέρη του βενζινοκινητήρα - πετρελαιοκινητήρα	23
1.2.2 Διάκριση τετράχρονων και δίχρονων κινητήρων	26
1.2.3 Τετράχρονος βενζινοκινητήρας	27
1.2.4 Ο τετράχρονος πετρελαιοκινητήρας	32
1.2.5 Στοιχειώδη μέρη του δίχρονου βενζινοκινητήρα και πετρελαιοκινητήρα.....	35
1.2.6 Ο δίχρονος βενζινοκινητήρας	36
1.2.7 Ο δίχρονος πετρελαιοκινητήρας	41
1.3 Περιγραφή - λειτουργία τμημάτων - εξαρτημάτων τετράχρονων βενζινοκινητήρων	44
1.3.1 Γενικά.....	44
1.3.2 Στροφαλοθάλαμος	45
1.3.3 Έδρανα ή Τριβείς.....	47
1.3.4 Στροφαλοφόρος άξονας ή στρόφαλος	51
1.3.5 Διωστήρας	55
1.3.6 Έμβολο - πείρος - τα ελατήρια του εμβόλου	57
1.3.7 Κύλινδροι - Κεφαλές κυλίνδρων.....	59
1.3.8 Βαλβίδες	64
1.3.9 Σύστημα κίνησης βαλβίδων και εκκεντροφόρος άξονας.....	66
1.4 Λίπανση - Συστήματα Λίπανσης	69
1.4.1 Χαρακτηριστικά του λιπαντικού μέσου.....	69
1.4.2 Συστήματα λίπανσης	75
1.5 Συστήματα ψύξης	81
1.5.1 Αναγκαιότητα	81
1.5.2 Αερόψυκτοι κινητήρες	81
1.5.3 Υγρόψυκτοι κινητήρες	85
1.6 Καύσιμα και συστήματα αναμεικτών αέρα - καυσίμου	86

1.6.1	Αεροπορικά καύσιμα.....	86
1.6.2	Συστήματα ανάμειξης αέρα - καυσίμου.....	88
1.7	Συστήματα υπερσυμπίεσης.....	110
1.7.1	Γενικά.....	110
1.7.2	Τα διάφορα συστήματα υπερσυμπίεσης.....	112
1.7.3	Ψύξη του παρεχόμενου αέρα (intercooler)	116
1.8	Συστήματα ανάφλεξης	117
1.8.1	Γενικά.....	117
1.8.2	Συστήματα ανάφλεξης με μπαταρία.....	117
1.8.3	Συστήματα ανάφλεξης με μανιατό	118
1.8.4	Ανάλυση κυκλώματος και λειτουργίας μανιατό	121
1.8.5	Βοηθητικά συστήματα ανάφλεξης.....	128
1.8.6	Σπινθηριστές (μπουζί).....	130
1.9	Συστήματα εκκίνησης	133
1.10	Συστήματα πυρόσβεσης.....	135
1.10.1	Το σύστημα πυρανίχνευσης του κινητήρα.....	136
1.10.2	Το σύστημα πυρόσβεσης του κινητήρα.....	138
	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ.....	141
	ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	145
	ΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	158
	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ	159
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.1: Αναγνώριση εξαρτημάτων</i>	<i>159</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.2: Αναγνώριση και χρήση γενικών εργαλείων</i>	<i>162</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.3: Σύσφιξη κοχλιών με δεδομένη ροπή (ροπομέτρηση) και ασφάλιση αυτών με τη μέθοδο της συρματασφάλισης.....</i>	<i>173</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.4: Φθαρμένα και κατεστραμμένα σπειρώματα</i>	<i>192</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.5: Αφαίρεση από αεροσκάφος αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα.....</i>	<i>196</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.6: Αποσυναρμολόγηση αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα</i>	<i>201</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.7: Αφαίρεση, επιθεώρηση και συναρμολόγηση εξαρτημάτων συστήματος λίπανσης.....</i>	<i>216</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.8: Αφαίρεση, επιθεώρηση και συναρμολόγηση αντλίας καυσίμου αεροπορικού εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα</i>	<i>222</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.9: Πληροφορίες για τη σωστή διαχείριση των εδράνων κύλισης κατά τη διαδικασία συντήρησής τους</i>	<i>228</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.10: Αφαίρεση κυλίνδρων, επιθεώρηση, επανατοποθέτηση</i>	<i>236</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.11: Ρύθμιση διάκενου βαλβίδων.....</i>	<i>247</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 1.12: Αφαίρεση, επιθεώρηση και επανατοποθέτηση σπινθηριστών.....</i>	<i>253</i>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	263
Διδακτικοί Στόχοι	263
2.1 Γενικά για την αεριώθηση	263
2.1.1 Ιστορική εξέλιξη	263
2.1.2 Αρχές αεριώθησης	267
2.1.3 Ωση	269
2.1.4 Μέθοδοι αεριώθησης - Τύποι αεριωθητών	271
2.1.5 Οι τύποι του αεριοστρόβιλου	275
2.1.6 Σύγκριση μεταξύ των ειδών και των τύπων των κινητήρων	283
2.1.7 Χρήσεις των κινητήρων αεριώθησης	284
2.1.8 Σχεδίαση, κατασκευή, υλικά κατασκευής	285
2.2 Κύκλος λειτουργίας αεριοστρόβιλων	287
2.2.1 Γενικά	287
2.2.2 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας	288
2.2.3 Κριτήρια λειτουργικής απόδοσης	290
2.2.4 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας	292
2.3 Εισαγωγή αέρα	296
2.3.1 Γενικά	296
2.3.2 Είδη αεραγωγών εισαγωγής	296
2.3.3 Φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων	299
2.3.4 Συστήματα αντί- και από-πάγωσης εισαγωγής αέρα	299
2.4 Συμπιεστές	300
2.4.1 Γενικά	300
2.4.2 Φυγοκεντρικοί συμπιεστές	301
2.4.3 Αξονικοί συμπιεστές	305
2.5 Διαχύτες	319
2.6 Θάλαμοι καύσης	320
2.6.1 Η διαδικασία της καύσης	320
2.6.2 Παροχή καυσίμου	324
2.6.3 Λειτουργικά χαρακτηριστικά του θαλάμου καύσης	325
2.6.4 Τύποι θαλάμων καύσης	328
2.7 Στρόβιλος	332
2.7.1 Περιγραφή και λειτουργία του στροβίλου	333
2.7.2 Κατασκευή των εξαρτημάτων του στροβίλου	341
2.7.3 Ψύξη των πτερυγίων	344
2.8 Εξαγωγή	345
2.8.1 Κώνος εξαγωγής	346
2.8.2 Αγωγοί εξαγωγής	346
2.8.3 Ακροφύσια εξαγωγής	348
2.9 Μείωση Θορύβου	350

2.9.1	Οι πηγές του θορύβου	350
2.9.2	Μέθοδοι μείωσης του θορύβου.....	352
2.9.3	Μειωτές θορύβου.....	352
2.10	Αναστροφή Ώσης.....	354
2.10.1	Επιβράδυνση α/φους κατά την προσγείωση.....	354
2.10.2	Πλεονεκτήματα και αρχή λειτουργίας των αναστροφένων ώσης....	355
2.10.3	Τύποι αναστροφένων ώσης	357
2.10.4	Αρχές σχεδιασμού και κατασκευής των αναστροφένων ώσης.....	358
2.11	Μετάκαυση.....	359
2.11.1	Λειτουργία	360
2.11.2	Σύστημα ελέγχου.....	366
2.11.3	Αύξηση της ώσης	367
2.11.4	Κατανάλωση καυσίμου	368
	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ.....	369
	ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ	375
	ΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	382
	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ	383
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.1: Αναγνώριση εξαρτημάτων αεριοστρόβιλου κινητήρα τύπου στροβιλοαντιδραστήρα</i>	<i>383</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.2: Αναγνώριση εξαρτημάτων αεριοστρόβιλου κινητήρα τύπου στροβιλοανεμιστήρα</i>	<i>391</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.3: Αναγνώριση εξαρτημάτων αεριοστρόβιλου κινητήρα τύπου ελικοστρόβιλου</i>	<i>398</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.4: Αφαίρεση / τοποθέτηση κινητήρα σε κλίνη εργασίας και κιβώτιο μεταφοράς.....</i>	<i>405</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.5: Αποσυναρμολόγηση αεροπορικού αεριοστρόβιλου κινητήρα</i>	<i>418</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.6: Αποσυναρμολόγηση βαθμίδων συμπίεστή. Επιθεώρηση, επισκευή και επανασυναρμολόγησή τους</i>	<i>441</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.7: Αποσυναρμολόγηση βαθμίδων στροβίλου. Επιθεώρηση, επισκευή και επανασυναρμολόγησή τους</i>	<i>461</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.8: Αφαίρεση - αποσυναρμολόγηση - συναρμολόγηση - τοποθέτηση μετακαυστήρα, αγωγού και ακροφυσίου εξαγωγής</i>	<i>474</i>
	<i>Εργαστηριακή άσκηση 2.9: Σκληρομέτρηση - Έλεγχος σκληρότητας εξαρτημάτων αεριοστρόβιλου κινητήρα.....</i>	<i>484</i>
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ.....	492
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	493

Κεφάλαιο 1:

ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

Διδακτικοί Στόχοι

Μετά το πέρας της μελέτης του πρώτου κεφαλαίου θα είστε ικανοί:

- Να αναφέρετε την ιστορική εξέλιξη των κινητήρων εσωτερικής καύσης και την ανάπτυξη των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων.
- Να περιγράψετε τους κύκλους λειτουργίας των δίχρονων και τετράχρονων εμβολοφόρων κινητήρων και τις διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά τις διάφορες φάσεις τους.
- Να αναγνωρίζετε τα κύρια χαρακτηριστικά των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων και τις κατηγορίες στις οποίες αυτοί διακρίνονται.
- Να διακρίνετε τα κύρια εξαρτήματα των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων και να γνωρίζετε τη λειτουργία τους.
- Να διακρίνετε τα διάφορα συστήματα (λίπανσης, ψύξης κλπ) των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων και να γνωρίζετε τη λειτουργία τους.

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ - ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

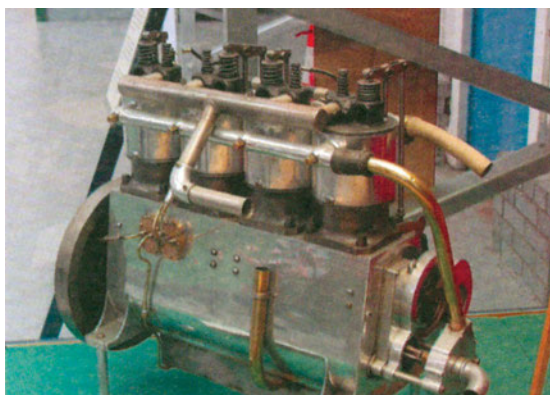
1.1.1 Ιστορική εξέλιξη κινητήρων

Οι άνθρωποι ονειρεύτηκαν να πετάξουν από την πρώτη στιγμή που αντίκρισαν τον ουρανό και τα πουλιά. Οι πρώτες προσπάθειες τους είχαν πλήρη αποτυχία. Ο λόγος δεν ήταν ο κακός σχεδιασμός ενός αντικειμένου με ικανό για την πτήση αεροδυναμικό σχήμα· ήταν η έλλειψη τεχνογνωσίας για την παραγωγή της απαραίτητης ισχύος που θα επέτρεπε την πραγματοποίηση μιας πτήσης.

Το έτος 1483, ο **Leonardo daVinci** σχεδίασε μία “ιπτάμενη μηχανή”, η οποία βέβαια δεν είχε καμία τύχη να πετάξει χωρίς την υποστήριξη της κατάλληλης μηχανικής ισχύος. Αρχικά, τη βασική ιδέα της χρήσης μίας ύλης που εκρήγνυται και κινεί ένα έμβολο για την παραγωγή έργου, ανέπτυξε πρώτος ο Γάλλος **Abbe Hautefeuille** το 1678. Οι πρώτοι εμβολοφόροι κινητήρες εσωτερικής καύσης σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν τις πρώτες δεκαετίες του 19ου αιώνα. Ένας από αυτούς περιγράφεται από τον **Reverend W. Cecil**, το 1820 στην Αγγλία. Ο κινητήρας αυτός χρησιμοποιούσε ως καύσιμο μείγμα υδρογόνου και αέρα. Το 1838 ο Άγγλος εφευρέτης **William Barnett** παρουσίασε έναν κινητήρα μονού κυλίνδρου, μέσα στον οποίο καιγόταν αέριο καύσιμο. Στην πράξη, ο πρώτος εμβολοφόρος κινητήρας εσωτερικής καύσης κατασκευάστηκε το 1860 από το Γάλλο εφευρέτη **Jean Joseph Etienne Lenoir**. Χρησιμοποιούσε φωταέριο ως καύσιμο και η έναυση πραγματοποιούνταν από μπαταρία. Μέσα σε λίγα χρόνια κατασκευάστηκαν περίπου 400 τέτοιοι κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την κίνηση μηχανημάτων όπως τόννοι και εκτυπωτικά συστήματα. Το 1862, ο Γάλλος **Beau de Rocas** έθεσε τους βασικούς όρους που πρέπει να πληρούνται ώστε ένας εμβολοφόρος κινητήρας να λειτουργεί με μέγιστη απόδοση.

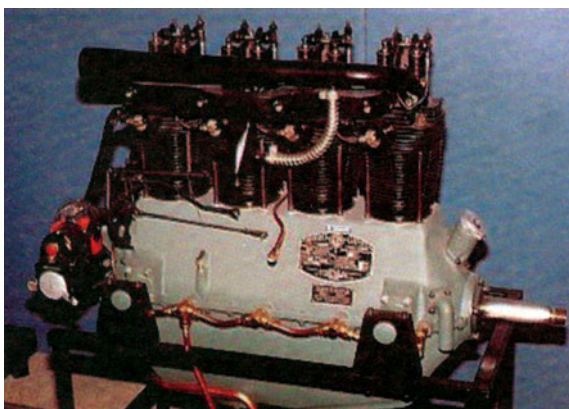
Ο πρώτος τετράχρονος κινητήρας κατασκευάστηκε από τους Γερμανούς **August Otto** και **Eugen Langen** το 1876. Για το λόγο αυτό ο κύκλος λειτουργίας του τετράχρονου κινητήρα εσωτερικής καύσης ονομάζεται κύκλος Otto. Οι Otto και Langen ήταν αυτοί που ανέπτυξαν και το δίχρονο κινητήρα εσωτερικής καύσης, βασισμένοι σε ιδέες των Άγγλων Barnett και **Clerk** (1878).

Στις ΗΠΑ, το 1876, ο μηχανικός **George B. Brayton** κατασκεύασε έναν κινητήρα που χρησιμοποιούσε ως καύσιμο τη βενζίνη. Όμως, ο πρώτος βενζινοκινητήρας που λειτουργούσε σύμφωνα με τον κύκλο των τεσσάρων χρόνων αναπτύχθηκε από τους Γερμανούς **Gottlieb Daimler** και **Karl Benz** ξεχωριστά, το 1885. Ο τύπος κινητήρα αυτός έδωσε κίνηση στα πρώτα αυτοκίνητα, ενώ οι κινητήρες των σύγχρονων αυτοκινήτων έχουν διατηρήσει αρκετά χαρακτηριστικά του σε βασικά λειτουργικά τους σημεία. Το 1892, ο Γερμανός **Rudolph Diesel** πρότεινε έναν κινητήρα στον οποίο πραγματοποιούνταν αυτανάφλεξη του μείγματος αέρα - καυσίμου και αποτελεί τον προπομπό των σύγχρονων πετρελαιοκινητήρων.



Σχήμα 1.1 Κινητήρας Αδελφών Wright

Αν λάβουμε ως δεδομένο ότι η πρώτη επιτυχής πτήση αεροσκάφους ήταν αυτή που πραγματοποίησαν οι αδελφοί **Wright** στις 17 Δεκεμβρίου 1903, είναι ασφαλές να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι ο πρώτος “επιτυχημένος” κινητήρας αεροσκάφους ήταν αυτός που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την πτήση. Ο κινητήρας αυτός σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από τους αδελφούς Wright και το συνεργάτη τους, μηχανικό **Charles Taylor**. Χρησιμοποιούσε βενζίνη ως καύσιμο, ήταν υγρόψυκτος, είχε τέσσερις κυλίνδρους, βάρος 82 κιλών και ιπποδύναμη 12 ίππων. Στο Σχήμα 1.1 φαίνεται μία φωτογραφία του κινητήρα των αδελφών Wright ενώ το Σχήμα 1.2 δείχνει μία εξέλιξή του (Wright “Gipsy” L-320).

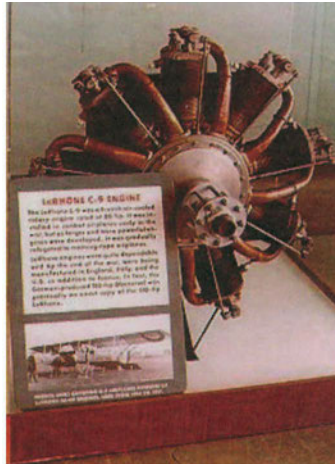


Σχήμα 1.2 Κινητήρας Wright “Gipsy” L-320

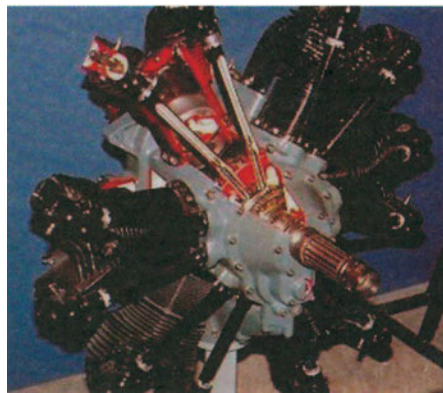
Κατά τη διάρκεια του 1ου Παγκοσμίου Πολέμου, σημειώθηκε πολύ μεγάλη πρόοδος στην ανάπτυξη και τη χρήση των αεροσκαφών, και παρουσιάστηκε εντυπωσιακή εξέλιξη των κινητήρων τους. Νέοι τύποι εμβολοφόρων κι-

νητήρων αναπτύχθηκαν και έδωσαν κίνηση σε αεροσκάφη πρωτοπόρα για την εποχή τους. Τρεις τύποι κινητήρων, οι οποίοι αναπτύχθηκαν την περίοδο εκείνη, έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην περαιτέρω διάδοση των εμβολοφόρων κινητήρων: ο ακτινικός κινητήρας, ο κινητήρας εν σειρά και ο κινητήρας τύπου V.

Ο ακτινικός κινητήρας παράγει τη μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με το βάρος του. Οι κύλινδροί του βρίσκονται τοποθετημένοι ακτινικά γύρω από ένα μικρό στροφαλοθάλαμο. Χαρακτηριστικά δείγματα του τύπου αυτού αποτελούν οι κινητήρες που φαίνονται στο Σχήμα 1.3 και στο Σχήμα 1.4.

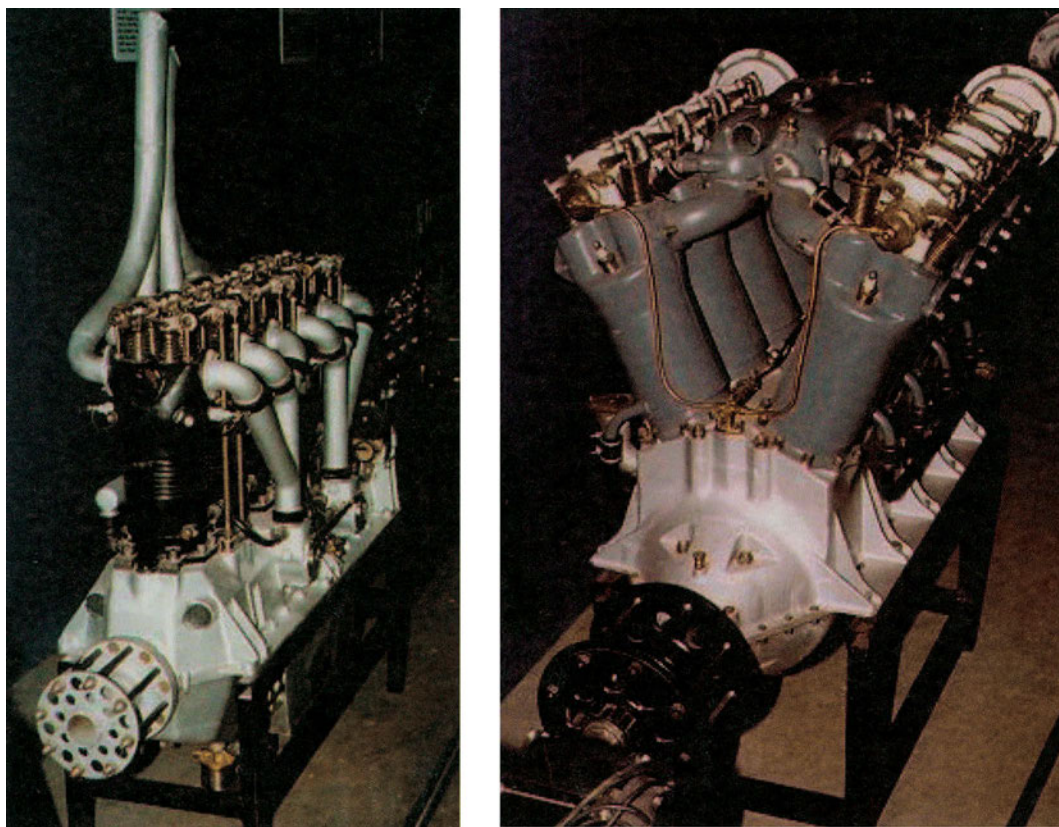


Σχήμα 1.3 Κινητήρας LeRhone-C9



Σχήμα 1.4 Κινητήρας Curtiss R-600

Ο κινητήρας εν σειρά (Σχήμα 1.5α) έχει όλους τους κυλίνδρους του παρατεταγμένους σε σειρά και παρουσιάζει πολύ μεγάλη αξιοπιστία. Όμως εμφανίζει το μειονέκτημα του αυξημένου βάρους λόγω του μεγάλου στροφαλοφόρου άξονά του.



(α)

(β)

Σχήμα 1.5 (α) Κινητήρας εν σειρά (Benz BZ-4), (β) Κινητήρας τύπου V (Liberty L-8).

Τέλος, ο κινητήρας τύπου V χρησιμοποιεί ένα μικρότερο στροφαλοφόρο άξονα αποτελώντας ένα συμβιβασμό μεταξύ ελαφριάς κατασκευής και ικανοποιητικής απόδοσης. Στο τέλος του 1ου παγκοσμίου πολέμου καθιερώθηκε η χρήση κινητήρων τύπου V και κυριότερα των Curtiss K-12, Hispano - Suiza και Liberty L-8 (Σχήμα 1.5β).

Στα τέλη της δεκαετίας του 1920, στην Αμερική, αναπτύχθηκε μία σειρά από ακτινικούς αεροπορικούς κινητήρες με μεγάλη αξιοπιστία στη λειτουργία τους. Ήταν τότε που πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες υπερατλαντικές πτήσεις που καθιέρωσαν το αεροπλάνο ως πρακτικό μέσο μεταφοράς. Στο Σχήμα 1.6 φαίνεται ο κινητήρας του αεροπλάνου "Spirit of Saint Louis" το οποίο το 1927 πραγματοποίησε την πρώτη υπερατλαντική πτήση.



Σχήμα 1.6 Κινητήρας Wright R-790

Η ανάπτυξη και η ραγδαία εξάπλωση των αεροστροβίλων κατά τη δεκαετία του 1950 περιόρισε τη χρήση των εμβολοφόρων κινητήρων στις αεροπορικές εφαρμογές. Σήμερα, οι τελευταίοι χρησιμοποιούνται σε μικρά αεροσκάφη χωρίς, βέβαια, να έχουν εκλείψει οι μεγάλοι εμβολοφόροι κινητήρες που κινούν με μεγάλη αξιοπιστία παλαιότερα αεροσκάφη τα οποία βρίσκονται σε κανονική λειτουργία.

1.1.2 Είδη κινητήρων εσωτερικής καύσης

Οι πρώτες προσπάθειες για τη δημιουργία του αεροπορικού κινητήρα βασίστηκαν στις αρχές λειτουργίας των **θερμικών μηχανών**. Ως **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 ενός στροβίλου, σε αεριοστρόβιλο κινητήρα.

Ο θερμοκινητήρας που χρησιμοποιεί καύσιμο, χαρακτηρίζεται ανάλογα με το αν το εργαζόμενο μέσο ταυτίζεται με το προϊόν της καύσης ή είναι διαφορετικό από αυτό:

- Στην περίπτωση των μηχανών εσωτερικής καύσης ή Μ.Ε.Κ., το καύσιμο καίγεται με το κατάλληλο ποσοστό αέρα μέσα στον ίδιο τον κινητήρα και το εργαζόμενο μέσο είναι το ίδιο το καυσαέριο.

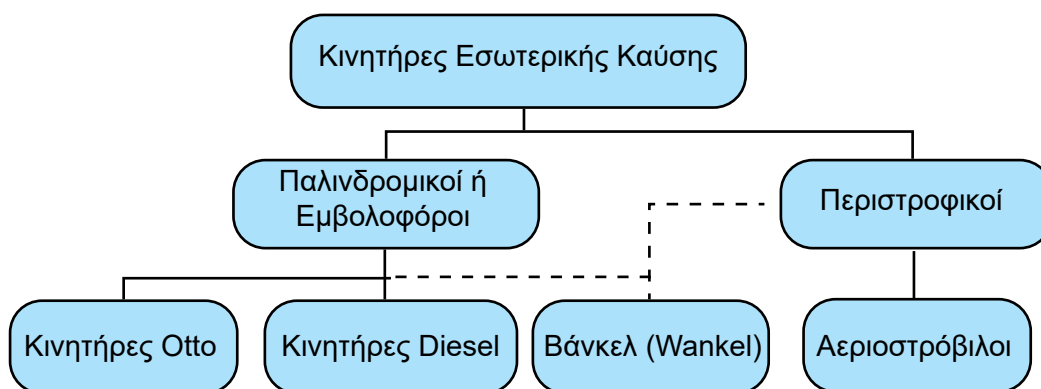
- Στους κινητήρες εξωτερικής καύσης, το καύσιμο καίγεται σε ιδιαίτερη συσκευή (π.χ. λέβητας), έξω από τον θερμοκινητήρα. Σε αυτήν την περίπτωση το εργαζόμενο μέσο είναι διαφορετικό από το καυσαέριο.

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανικό έργο, οι θερμοκινητήρες με καύσιμο διακρίνονται σε:

- παλινδρομικούς (εμβολοφόρους) και,
- σε περιστροφικούς (στροβίλους).

Οι κατηγορίες των κινητήρων εσωτερικής καύσης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 1.1

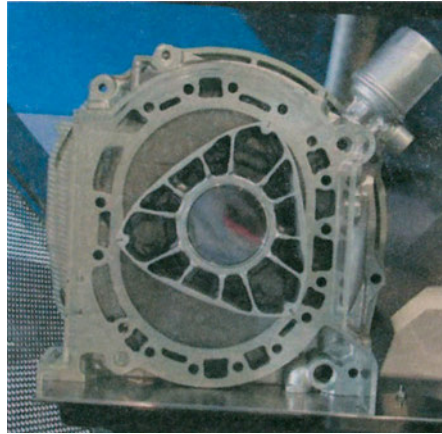


Στους εμβολοφόρους κινητήρες τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση καυσίμου και αέρα δίνουν κίνηση σε έμβολα που είναι συνδεδεμένα με κατάλληλο μηχανισμό ώστε η παλινδρομική κίνηση που εκτελούν να μετατρέπεται σε περιστροφική. Με τον τρόπο αυτό περιστρέφεται ο έλικας του αεροσκάφους.

Οι περιστροφικοί κινητήρες έχουν μόνο περιστρεφόμενα μέρη και τέτοιοι είναι οι αεριοστρόβιλοι.

Οι κινητήρες Βάνκελ (Wankel) στηρίζουν τη λειτουργία τους σε περιστρεφόμενο “έμβολο”¹ (Σχήμα 1.7).

¹ Για το λόγο αυτό μπορούν να θεωρηθούν είτε ως εμβολοφόροι είτε ως περιστροφικοί



Σχήμα 1.7 Τομή κινητήρα Wankel

1.1.3 Τύποι εμβολοφόρων κινητήρων

Οι εμβολοφόροι κινητήρες διακρίνονται ανάλογα με κατασκευαστικά και λειτουργικά κριτήρια. Έτσι, ξεχωρίζουμε τους ακόλουθους τύπους κινητήρων ανάλογα με :

1) τον τρόπο έναυσης:

- α) κινητήρες με σπινθηριστή (μπουζί) ή βενζινοκινητήρες ή κινητήρες Otto.
- β) κινητήρες με έναυση λόγω συμπίεσης ή πετρελαιοκινητήρες ή κινητήρες Diesel.

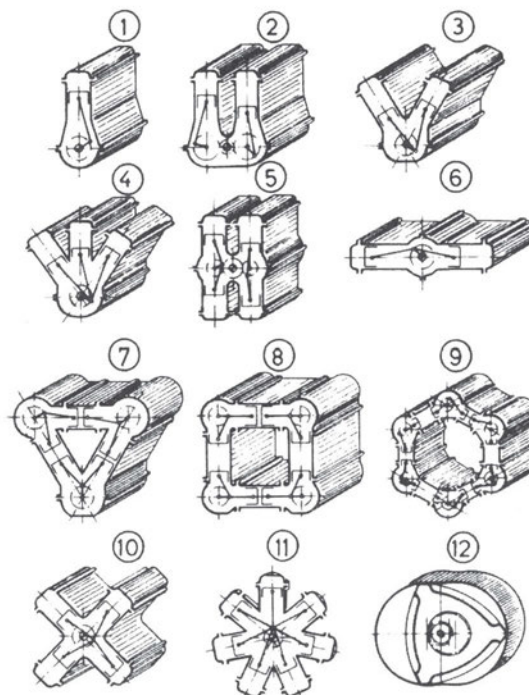
2) τον αριθμό των χρόνων λειτουργίας: α) δίχρονοι / β) τετράχρονοι.

3) τον τρόπο ψύξης των κυλίνδρων: α) υγρόψυκτοι / β) αερόψυκτοι.

4) τον αριθμό των κυλίνδρων: α) μονοκύλινδροι / β) πολυκύλινδροι (δικύλινδροι, τετρακύλινδροι, κλπ).

5) τη διάταξη των κυλίνδρων:

- α) εν σειρά (μονοί ή δίδυμοι) (Σχήμα 1.8-1, 2),
- β) ακτινικοί (radial) ή αστεροειδείς (Σχήμα 1.8-10, 11),
- γ) αντιτιθέμενων εμβόλων (opposed) (Σχήμα 1.8-6),
- δ) τύπου V ή W (Σχήμα 1.8-3, 4 αντιστοίχως),
- ε) πολυγωνικού τύπου - στην περίπτωση που οι κύλινδροι διατάσσονται σε σχήμα τριγώνου, τετραγώνου, κλπ. (Σχήμα 1.8-7, 8, 9),
- στ) διπλών εμβόλων (Σχήμα 1.8-5),
- ζ) Βάνκελ (Wankel) (Σχήμα 1.8-12).



Σχήμα 1.8 Διάταξη κυλίνδρων

- 6) την ταχύτητα περιστροφής του άξονα:
- α) ολιγόστροφοι,
 - β) μέσης ταχύτητας,
 - γ) ταχύστροφοι.
- 7) τη διαδικασία εισαγωγής του αέρα που θα αναμειχθεί με το καύσιμο:
- α) εισαγωγή και χρήση μόνο αέρα αναρροφούμενου απευθείας από την ατμόσφαιρα,
 - β) χρήση αέρα από υπερπλήρωση.

1.1.4 Ειδικοί ορισμοί για τη βασική λειτουργία του εμβολοφόρου κινητήρα

Στο σημείο αυτό παρατίθενται ορισμοί μεγεθών, χαρακτηριστικών για τη λειτουργία των αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων. Κάποια από τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται στους ορισμούς θα αναλυθούν στις παραγράφους που ακολουθούν.

- *Έργο (work)*: παράγεται όταν μία δύναμη, η οποία εξασκείται σε ένα σώμα, μετατοπίζει το σημείο εφαρμογής της. Το έργο αυτό είναι ίσο με το γινόμενο της αριθμητικής τιμής της δύναμης επί την απόσταση που μετακινήθηκε το σημείο εφαρμογής της. Συνήθης μονάδα μέτρησης έργου είναι το **Joule (J)**.
- *Ενέργεια (energy)*: αποτελεί μία αυθαίρετη και αφηρημένη έννοια και μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο.
- *Ισχύς (power)*: ονομάζεται το έργο που παράγεται σε μία μονάδα χρόνου, κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής. Συνήθεις μονάδες ισχύος είναι το **Watt (Joule/sec)** και ο **ίππος (hp)**.
- *Θεωρητική ισχύς (theoretical power)*: είναι η ισχύς που θα απέδιδε ο κινητήρας στην περίπτωση που το σύνολο της θερμικής ενέργειας του καυσίμου μετατρεπόταν σε έργο.
- *Ενδεικνυόμενη ισχύς (indicated horsepower)*: είναι η ισχύς που αποδίδεται στο έμβολο από την καύση του καυσίμου μείγματος.
- *Ισχύς πέδησης (brake horsepower)*: είναι η ισχύς που αποδίδεται στο στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα. Συχνά ονομάζεται και πραγματική ισχύς. Η διαφορά της από την ενδεικνυόμενη ισχύ ονομάζεται ισχύς τριβών και αποτελεί την ισχύ που καταναλώνεται λόγω μηχανικών απωλειών στον κινητήρα.
- *Ισχύς απογείωσης (take-off power)*: καθορίζεται από το μέγιστο αριθμό στροφών και την πίεση στην πολλαπλή σωλήνωση εισαγωγής αέρα στον κινητήρα κατά τη διάρκεια της φάσης απογείωσης.
- *Διαδρομή εμβολισμού (stroke)*: η συνολική απόσταση που διανύει το έμβολο κατά τη διάρκεια ενός από τους χρόνους λειτουργίας.
- *Κυλινδρισμός (piston displacement)*: υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το εμβαδόν της εγκάρσιας τομής του κυλίνδρου με τη διαδρομή εμβολισμού. Μετριέται σε μονάδες όγκου. Για την εύρεση του κυλινδρισμού του κινητήρα απαιτείται ο πολλαπλασιασμός του κυλινδρισμού του ενός κυλίνδρου επί το συνολικό αριθμό των κυλίνδρων.
- *Λόγος συμπίεσης (compression ratio)*: αποτελεί το λόγο του όγκου του κυλίνδρου όταν το έμβολο βρίσκεται στο Άνω Νεκρό Σημείο προς τον όγκο του κυλίνδρου όταν το έμβολο βρίσκεται στο Κάτω Νεκρό Σημείο. Η υψηλή τιμή λόγου συμπίεσης οδηγεί σε υψηλή ισχύ του κινητήρα.
- *Θερμικός βαθμός απόδοσης (thermal efficiency)*: είναι ο λόγος της ισχύος

που αποδίδεται από τον κινητήρα προς τη θερμική ισχύ που είναι σε θέση να προσφέρει το χρησιμοποιούμενο καύσιμο.

- *Μηχανικός βαθμός απόδοσης (mechanical efficiency)*: είναι ο λόγος της ισχύος πέδησης προς την ενδεικνυόμενη ισχύ και δείχνει το ποσοστό της παραγόμενης στους κυλίνδρους ισχύος που αποδίδεται στο στροφαλοφόρο άξονα.
- *Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης (volumetric efficiency)*: είναι ο λόγος του όγκου του καύσιμου μείγματος (σε ατμοσφαιρική πίεση) που καίγεται στους κυλίνδρους προς τον κυλινδρισμό του κινητήρα.
- *Ειδική κατανάλωση καυσίμου*: ορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας καυσίμου που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια μίας κυκλικής μεταβολής ενός συστήματος και της ισχύος που παράγεται από το σύστημα κατά την ίδια μεταβολή. Αποτελεί κριτήριο της οικονομικής λειτουργίας ενός θερμοκινητήρα.
- *Λόγος αέρα - καυσίμου*: ονομάζεται ο λόγος της ποσότητας του αέρα προς την ποσότητα καυσίμου, που αναμειγνύονται κατά την καύση.

1.1.5 Βασικά στοιχεία θερμοδυναμικής

Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται ορισμοί στοιχείων θερμοδυναμικής με σκοπό την κατανόηση των κύκλων λειτουργίας των κινητήρων που θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 1.2. Ενδελεχής ανάλυσή τους πραγματοποιείται στο βιβλίο “Αεροκινητήρες ΙΙ”.

- *Ενεργό μέσο*: 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.
- *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**, ενώ όταν αυτό περικλείεται εντός χώρου καθορισμένων ορίων (όγκου), μέσω των οποίων ρέει μάζα καλείται **ανοικτό σύστημα**.
- *Περιβάλλον*: οτιδήποτε βρίσκεται εκτός των ορίων του συστήματος ορίζεται σαν το περιβάλλον και επηρεάζεται άμεσα από μεταβολές που πραγματοποιούνται μέσα στο σύστημα. 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.

- *Εσωτερική ενέργεια*: χαρακτηρίζει την κατάσταση στο εσωτερικό ενός σώματος, δηλαδή στα δομικά στοιχεία που το αποτελούν, όπως τα μόρια και τα άτομα. Τα μόρια ενός σώματος ταλαντώνονται γύρω από τη θέση τους και ασκούν το ένα στο άλλο δυνάμεις έλξης και άπωσης λόγω των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που τα περιβάλλουν. Η εσωτερική ενέργεια αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία που δέχεται ένα σώμα.

- *Ενθαλπία*: είναι μια ιδιότητα ενός ρευστού (και της ύλης κατ' επέκταση) και ορίζεται σαν το άθροισμα της ειδικής εσωτερικής ενέργειας u , ενός ρευστού, και του γινομένου της πίεσης και του ειδικού όγκου του, pv .

- *Ιδανικό αέριο*: η κατάσταση ενός ιδανικού αερίου είναι καθορισμένη όταν είναι γνωστά δύο από τα ακόλουθα μεγέθη του: πίεση p , απόλυτη θερμοκρασία T και ο όγκος V που αυτό καταλαμβάνει. Τα ιδανικά αέρια υπακούουν σε απλούς νόμους και επαληθεύουν τη σχέση (εξίσωση της κατάστασής τους) $pV = nRT$, όπου n είναι ο αριθμός των γραμμομορίων¹ του ιδανικού αερίου και R ένας σταθερός αριθμός, ανεξάρτητος από το είδος του αερίου. Πρέπει να τονίσουμε ότι απόλυτα ιδανικά αέρια δεν υπάρχουν στη φύση. Αυτά αποτελούν μία επινόηση των ερευνητών, ώστε να περιγραφούν και να μελετηθούν καλύτερα τα πραγματικά αέρια. Ένα πραγματικό αέριο πλησιάζει την ιδανική κατάσταση όταν βρίσκεται μακριά από τις συνθήκες υγροποίησής του, δηλαδή όταν βρίσκεται σε μικρές πιέσεις και μεγάλες θερμοκρασίες.

- *Κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας*: ένα αέριο βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας όταν σε κάθε σημείο του τα μεγέθη πίεση, θερμοκρασία και πυκνότητα έχουν, το καθένα ξεχωριστά, την ίδια - χρονικά αμετάβλητη - τιμή.

- *Ισοθερμοκρασιακή μεταβολή*: ισοθερμοκρασιακή ή ισόθερμη ονομάζεται η μεταβολή της κατάστασης μίας ποσότητας ιδανικού αερίου, με την οποία μεταβάλλεται η πίεση και ο όγκος της ποσότητας του αερίου ενώ, παράλληλα, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.

- *Ισοβαρής μεταβολή*: ισοβαρής ονομάζεται η μεταβολή της κατάστασης μίας ποσότητας ιδανικού αερίου, με την οποία μεταβάλλεται η θερμοκρασία και ο όγκος της ποσότητας του αερίου ενώ η πίεση παραμένει σταθερή.

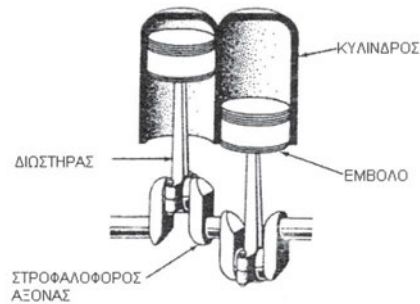
¹ Γραμμομόριο είναι η μάζα του αερίου, ίση με το μοριακό του βάρος.

- *Ισόχωρη μεταβολή:* ισόχωρη ονομάζεται η μεταβολή της κατάστασης μίας ποσότητας ιδανικού αερίου, με την οποία μεταβάλλεται η πίεση και η θερμοκρασία της ποσότητας του αερίου ενώ ο όγκος παραμένει σταθερός.
- *Αδιαβατική μεταβολή:* αδιαβατική ονομάζεται η μεταβολή της κατάστασης μίας ποσότητας ιδανικού αερίου, κατά την οποία δεν πραγματοποιείται καμία ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του αερίου και του περιβάλλοντός του.
- *Κυκλική μεταβολή:* κυκλική μεταβολή ονομάζεται μία συνεχής, κλειστή μεταβολή που αποτελείται από επί μέρους μεταβολές και στην οποία η αρχική και η τελική κατάσταση του αερίου ταυτίζονται.
- *Θερμότητα:* αποτελεί μία ειδική μορφή μεταφοράς ενέργειας η οποία εμφανίζεται όταν, για κάποιο λόγο, υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντός του. Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η θερμότητα δε θεωρείται ότι αποθηκεύεται μέσα στο σύστημα και άρα είναι λάθος να λέμε ότι ένα σώμα έχει θερμότητα. Το σώμα έχει θερμοκρασία και υπόκειται σε θερμοκρασιακές διαφορές. Η θερμοκρασία αποτελεί ένδειξη της ενεργειακής κατάστασης του σώματος.
- *1ος νόμος της Θερμοδυναμικής:* η ενέργεια μεταφέρεται και μετασχηματίζεται, αλλά δε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται.
- *2ος νόμος της Θερμοδυναμικής:* είναι αδύνατη η λειτουργία μίας 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.
- *Εντροπία:* Η εντροπία αποτελεί ιδιότητα του εργαζόμενου μέσου και στην πράξη αντιπροσωπεύει την κατάσταση της αταξίας ενός συστήματος και χρησιμοποιείται στη διατύπωση του δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος.

1.2 ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ - ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

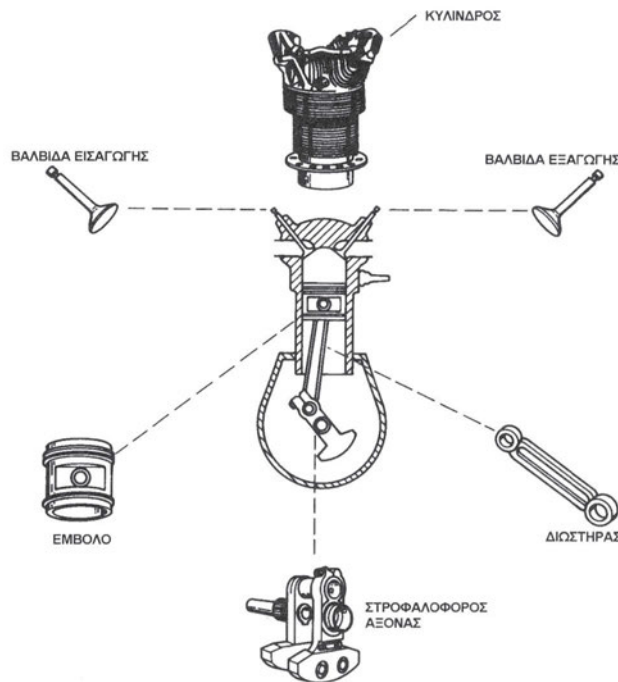
1.2.1 Τα στοιχειώδη μέρη του βενζινοκινητήρα - πετρελαιοκινητήρα

Οι εμβολοφόροι κινητήρες είχαν ευρεία αεροπορική εφαρμογή. Ακόμη και σήμερα, σε κάποιες κατηγορίες αεροσκαφών χρησιμοποιούνται αποκλειστικά εμβολοφόροι κινητήρες. Η βασική δομή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των κινητήρων αυτών φαίνεται στο Σχήμα 1.9.



Σχήμα 1.9 Κύρια μέρη παλινδρομικού κινητήρα

Οι εμβολοφόροι κινητήρες αποτελούνται από ένα σύστημα κυλίνδρου - εμβόλου. Το έμβολο εκτελεί παλινδρομική κίνηση μέσα στον κύλινδρο υπό την πίεση που ασκούν σε αυτό τα καυσαέρια από την καύση του καυσίμου. Η παλινδρομική αυτή κίνηση του εμβόλου μεταδίδεται ως περιστροφική στον άξονα του κινητήρα με κατάλληλο μηχανισμό που αποτελείται από το διωστήρα και το στρόφαλο. Ο άξονας του κινητήρα δίνει το μηχανικό έργο. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά (θα ακολουθήσει λεπτομερής περιγραφή τους στο Κεφάλαιο 1.3) τα κύρια εξαρτήματα των παλινδρομικών κινητήρων (βενζινοκίνητων ή πετρελαιοκίνητων):



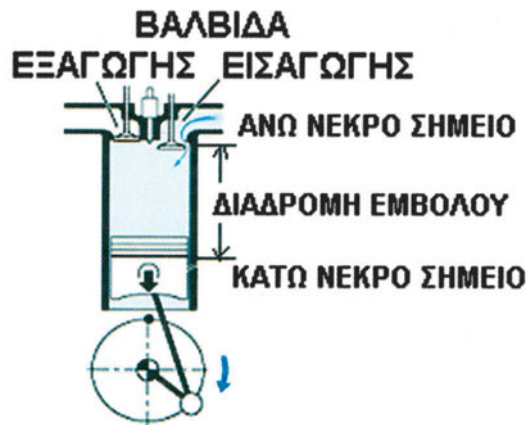
Σχήμα 1.10 Κύρια εξαρτήματα παλινδρομικών κινητήρων

- **Στροφαλοθάλαμος (Crankcase).** Αποτελεί το βασικό τμήμα του κινητήρα καθώς μέσα σε αυτόν βρίσκονται οι μηχανισμοί που περιβάλλουν το στρόφαλο και διάφορα άλλα εξαρτήματα.
- **Έδρανα ή Τριβείς (Bearings).** Αποτελούν τα σημεία στήριξης του άξονα στον κινητήρα επιτρέποντας παράλληλα την περιστροφή του σε σχέση με το σώμα (μη περιστρεφόμενο μέρος) του κινητήρα.
- **Στροφαλοφόρος άξονας ή στρόφαλος (Crankshaft).** Είναι ο άξονας στον οποίο αποδίδεται η ισχύς που παράγει ο κινητήρας. Οι στρόφαλοί του στηρίζουν τους διωστήρες που συνδέονται με τα έμβολα. Με τον τρόπο αυτό, η παλινδρομική κίνηση που πραγματοποιείται από τα έμβολα μετατρέπεται σε περιστροφική και επιτυγχάνεται η κίνηση του έλικα.
- **Διωστήρας (Connecting Rod).** Είναι ο σύνδεσμος που μεταφέρει δυνάμεις από τα έμβολα στο στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα, όπως περιγράφηκε παραπάνω.
- **Έμβολο (Piston).** Εκτελεί παλινδρομικές κινήσεις μέσα στον κύλινδρο μεταξύ δύο ακραίων θέσεων. Είναι το εξάρτημα που μεταφέρει τη δύναμη των καυσαερίων που παράγονται από την καύση του μείγματος αέρα - καυσίμου και εκτονώνονται μέσα στον κύλινδρο του κινητήρα.
- **Κύλινδρος (Cylinder).** Είναι το τμήμα του κινητήρα όπου κινείται το έμβολο και πραγματοποιείται η καύση του μείγματος αέρα - καυσίμου. Στο άνω μέρος του στηρίζονται οι βαλβίδες και ένα τμήμα του μηχανισμού κίνησής τους καθώς και οι σπινθηριστές (μπουζί).
- **Βαλβίδες (Valves).** Η βασική τους χρήση είναι το άνοιγμα και το κλείσιμο των διόδων του αέρα στο θάλαμο καύσης του κινητήρα. Μία σειρά διόδων ονομάζεται εισαγωγή και από εκεί εισέρχεται στον κύλινδρο το μείγμα καυσίμου - αέρα (στους πετρελαιοκινητήρες εισέρχεται μόνο αέρας). Μία άλλη σειρά ονομάζεται εξαγωγή και αποτελεί το δρόμο διαφυγής των καυσαερίων της καύσης από τον κύλινδρο. Κάθε κύλινδρος πρέπει να έχει τουλάχιστον μία βαλβίδα εισαγωγής και μία βαλβίδα εξαγωγής.

Εκτός από τα κύρια εξαρτήματα, η λειτουργία των εμβολοφόρων κινητήρων στηρίζεται και στα δευτερεύοντα εξαρτήματα τα οποία προσαρμόζονται στη βασική δομή τους. Τέτοια είναι η αντλία και το φίλτρο λαδιού, η αντλία και το φίλτρο καυσίμου, διάφορα συστήματα γρاناζιών, το σύστημα έναυσης, το σύστημα ψύξης και είναι απαραίτητα για την κανονική λειτουργία του κινητήρα.

1.2.2 Διάκριση τετράχρονων και δίχρονων κινητήρων

Η καύση και οι διεργασίες που συντελούν σε αυτήν πραγματοποιούνται στο χώρο που σχηματίζεται μεταξύ του ανώτερου τμήματος του κυλίνδρου¹ και της άνω επιφάνειας του εμβόλου. Ο όγκος του χώρου αυτού είναι μεταβλητός και εξαρτάται από τη θέση στην οποία βρίσκεται το έμβολο (Σχήμα 1.11). Η απόσταση που διανύει το έμβολο κατά την παλινδρομική του κίνηση μέσα στον κύλινδρο ονομάζεται **διαδρομή** του εμβόλου (**stroke**). Το σημείο του κυλίνδρου όπου το έμβολο βρίσκεται στη μεγαλύτερη απόσταση από το διαμήκη άξονα του στροφαλοφόρου, ονομάζεται **Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ - Top Dead Center)**. Αντίθετα, το σημείο στο οποίο το έμβολο απέχει τη μικρότερη απόσταση από το διαμήκη άξονα ονομάζεται **Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ - Bottom Dead Center)**. Η διαφορά μεταξύ των τιμών του όγκου στα δύο αυτά σημεία ονομάζεται **όγκος εμβολισμού**. Στο ΑΝΣ ο όγκος του χώρου όπου πραγματοποιούνται οι διεργασίες λαμβάνει τη μικρότερη τιμή του ενώ η μέγιστη επιτυγχάνεται στο ΚΝΣ.



Σχήμα 1.11 Διαδρομή Εμβόλου

Η απαραίτητη για τη διαδικασία της καύσης ποσότητα ατμοσφαιρικού αέρα εισάγεται μέσω των βαλβίδων εισαγωγής (ή των θυρίδων στην περίπτωση των δίχρονων κινητήρων). Η όλη διεργασία εισαγωγής - εξαγωγής επηρεάζει άμεσα τη δομή και την απόδοση του κινητήρα και εξαρτάται από τον αριθμό των **χρόνων (strokes)** του κινητήρα. Όπως είδαμε και παραπάνω, οι κινητήρες, ανάλογα με τους χρόνους λειτουργίας τους, διακρίνονται σε δύο είδη: τους **δίχρονους (two stroke)** και τους **τετράχρονους (four stroke)**. Ο όρος **χρόνος** δηλώνει **μία** διαδρομή του εμβόλου από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ, ή το

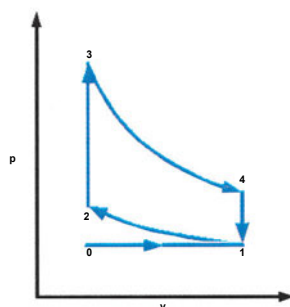
¹ Ονομάζεται και πώμα.

αντίθετο και αντιστοιχεί σε στροφή 180° του στροφαλοφόρου άξονα. Στους δίχρονους, λοιπόν, κινητήρες απαιτούνται **δύο διαδρομές** του εμβόλου (360°) για την ολοκλήρωση του θερμοδυναμικού κύκλου. Στους τετράχρονους κινητήρες απαιτούνται **τέσσερις διαδρομές**, δηλαδή **δύο πλήρεις στροφές** του άξονα (720°). Φυσικά, τόσο στους τετράχρονους, όσο και στους δίχρονους κινητήρες, ο θερμοδυναμικός κύκλος καλύπτει τις ίδιες πέντε βασικές φάσεις λειτουργίας του κινητήρα: Εισαγωγή - Συμπύεση - Καύση - Εκτόνωση - Εξαγωγή.

1.2.3 Τετράχρονος βενζινοκινητήρας

1.2.3.1 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας τετράχρονου βενζινοκινητήρα

Ο κινητήρας Otto, ή απλά βενζινοκινητήρας, χρησιμοποιείται στη συντριπτική πλειοψηφία των αυτοκινήτων. Η θεωρητική λειτουργία του τετράχρονου βενζινοκινητήρα περιγράφεται από θερμοδυναμικό κύκλο ο οποίος προέρχεται από τον κύκλο Otto, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες των διεργασιών εισαγωγής - εξαγωγής και των τεσσάρων χρόνων. Ο θερμοδυναμικός κύκλος, σε διάγραμμα πίεσης - όγκου ($p-v$), παριστάνεται στο Σχήμα 1.12, ενώ η σειρά των διεργασιών στους χρόνους αυτούς φαίνεται στο Σχήμα 1.13.



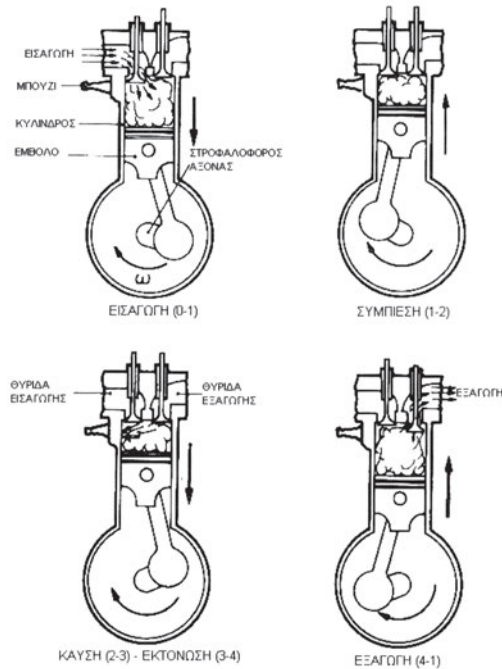
Σχήμα 1.12 Θεωρητικός θερμοδυναμικός κύκλος 4χρονου βενζινοκινητήρα σε διάγραμμα $p-v$

Αναλυτικά, οι διεργασίες που πραγματοποιούνται σε κάθε χρόνο είναι οι ακόλουθες:

1ος χρόνος - Εισαγωγή:

Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει ενώ η βαλβίδα εξαγωγής παραμένει κλειστή. Η κίνηση του εμβόλου δημιουρ-

γεί υποπίεση στο θάλαμο καύσης (δηλαδή τον κύλινδρο) με συνέπεια την εισροή μείγματος αέρα - καυσίμου μέσα σε αυτόν από τη βαλβίδα εισαγωγής. Κατά τη διάρκεια της μεταβολής αυτής, ισχύει η παραδοχή ότι η πίεση μέσα στον κύλινδρο παραμένει σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική. Αντίθετα, η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική διότι ένα ποσοστό των καυσαερίων παραμένει μέσα στον κύλινδρο. Στο διάγραμμα (Σχήμα 1.12) η μεταβολή αυτή παριστάνεται από τη γραμμή 0-1.



Σχήμα 1.13 Φάσεις 4χρονου βενζινοκινητήρα

2ος χρόνος - Συμπίεση:

Στην αρχή του χρόνου αυτού το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ. Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κλειστές. Το έμβολο ξεκινά την κίνησή του προς το ΑΝΣ. Η μεταβολή που πραγματοποιείται είναι αδιαβατική αφού γίνεται η παραδοχή ότι τα τοιχώματα και η κεφαλή του κυλίνδρου είναι θερμικά μονωμένα. Η πίεση και η θερμοκρασία του μείγματος αυξάνονται. Συνήθεις τιμές στο ΑΝΣ είναι από 8bar έως 15bar για την πίεση και 270°C έως και 380°C για την θερμοκρασία. Στο διάγραμμα η μεταβολή παριστάνεται από τη γραμμή 1-2.

3ος χρόνος - Καύση και εκτόνωση:

Κατά τη διάρκεια του χρόνου αυτού οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής παραμένουν κλειστές. Το έμβολο αρχικά βρίσκεται στο ΑΝΣ και τότε πραγματο-

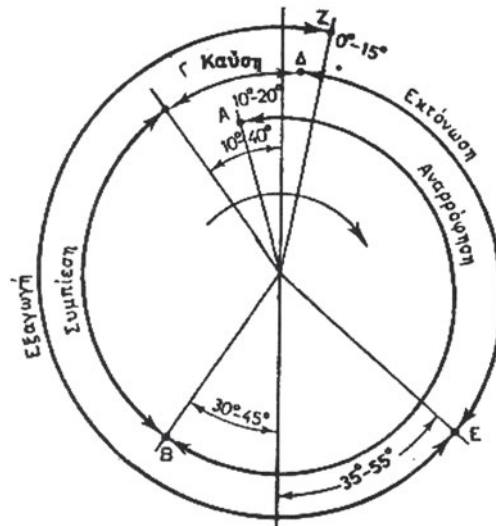
ποιείται έναυση του μείγματος (αέρα - καυσίμου - υπόλοιπων καυσαερίων) με τη βοήθεια ηλεκτρικής εκκένωσης του σπινθηριστή. Η διεργασία αυτή έχει τη μορφή της έκρηξης και το έμβολο μετακινείται ελάχιστα κατά την πολύ σύντομη διάρκειά της, ώστε θεωρούμε ότι η μεταβολή γίνεται υπό σταθερό όγκο κύλινδρου. Με τη λήξη της καύσης, η πίεση των καυσαερίων ανέρχεται σε 25bar έως 50bar ενώ η θερμοκρασία τους σε 1500°C έως 2200°C. Με τις βαλβίδες πάντα κλειστές, η υψηλή πίεση μετακινεί το έμβολο προς το ΚΝΣ - περνώντας στη διεργασία της εκτόνωσης - με ταυτόχρονη παραγωγή έργου. Η διεργασία αυτή θεωρείται αδιαβατική. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ, η πίεση έχει μειωθεί σε 2,5bar έως 4,5bar και η θερμοκρασία σε 400°C έως 500°C. Αυτός είναι ο μόνος από τους χρόνους του κινητήρα που παράγεται μηχανικό έργο. Στο διάγραμμα, η μεταβολή της καύσης παριστάνεται από τη γραμμή 2-3 και αυτή της εκτόνωσης από την καμπύλη 3-4.

4ος χρόνος - Εξαγωγή:

Με το τέλος της εκτόνωσης ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής. Η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει κλειστή. Τα καυσαέρια υπό την πίεση των 2,5bar έως 4,5bar εξέρχονται στην ατμόσφαιρα χωρίς - θεωρητικά - να έχει μετακινηθεί το έμβολο από το ΚΝΣ. Η διεργασία, λοιπόν, θεωρείται ισόχωρη κατά το ένα τμήμα της και παριστάνεται στο διάγραμμα από τη γραμμή 4-1. Η πίεση στον κύλινδρο μειώνεται στην τιμή της ατμοσφαιρικής. Κατά το άλλο τμήμα της διεργασίας που υπολείπεται, αυτή πραγματοποιείται υπό σταθερή - ατμοσφαιρική - πίεση και παριστάνεται στο διάγραμμα από τη γραμμή 1-0. Μόλις το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής και ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής για την πραγματοποίηση του επόμενου κύκλου.

1.2.3.2 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας τετράχρονου βενζινοκινητήρα

Στην πραγματικότητα, παρουσιάζονται αρκετές διαφορές κατά τη λειτουργία του τετράχρονου βενζινοκινητήρα από τις θεωρητικές διεργασίες που περιγράφηκαν στο θεωρητικό κύκλο: η έναρξη και η λήξη τους δεν γίνονται στο ΑΝΣ και στο ΚΝΣ, αλλά σε ενδιάμεσες θέσεις της διαδρομής του εμβόλου. Οι διεργασίες αυτές απεικονίζονται σε **σπειροειδές διάγραμμα** (Σχήμα 1.14), όπου σημειώνονται οι γωνίες του στροφάλου.



Σχήμα 1.14 Σειρά διεργασιών πραγματικού κύκλου λειτουργίας 4χρονου βενζινοκινητήρα

Οι πλέον χαρακτηριστικές διαφορές των πραγματικών διεργασιών από τις θεωρητικές είναι οι εξής:

Α) Το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής πραγματοποιείται στο σημείο Α, δηλαδή όταν ο άξονας του στροφάλου βρίσκεται σε θέση 10° έως 20° πριν το ΑΝΣ. Η βαλβίδα εξαγωγής παραμένει ανοικτή για 0° έως 15° μετά το ΑΝΣ. Η διάταξη αυτή επιτρέπει τον καλύτερο καθαρισμό του κυλίνδρου από τα καυσαέρια.

Β) Πρακτικά, η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει σε 30° έως 45° μετά την διέλευση του έμβολου από το ΚΝΣ και όχι στο ΚΝΣ. Αυτό συμβάλλει στην εισροή μεγαλύτερης ποσότητας αέρα στον κύλινδρο. Όπως αναφέρθηκε, στην παρούσα φάση της διεργασίας η πίεση στον κύλινδρο είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ. Έτσι επιτυγχάνεται η περαιτέρω εισροή αέρα.

Γ) Η σπινθηροδότηση και η έναυση πραγματοποιούνται σε θέση 10° έως 40° πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ - σημείο Γ. Με τον τρόπο αυτόν, το καύσιμο έχει το χρόνο να καεί σχεδόν τελείως όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ή λίγο αργότερα, στο σημείο Δ. Τότε επιτυγχάνεται η παραγωγή του μέγιστου έργου από την εκτόνωση των καυσαερίων.

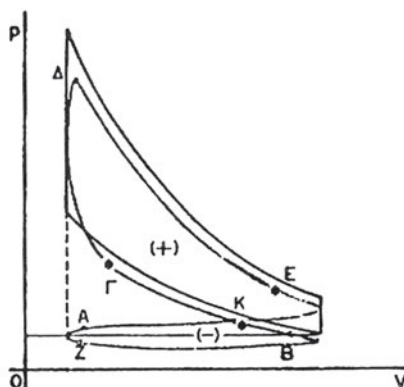
Δ) Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει στο σημείο Ε, δηλαδή 35° έως 55° πριν το ΚΝΣ, έτσι ώστε τα καυσαέρια να αρχίσουν να εξέρχονται προς την ατμόσφαιρα έγκαιρα.

Γενικά, λοιπόν, στους τετράχρονους βενζινοκινητήρες παρατηρούνται:

- Προπορεία στο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής.
- Αργοπορεία στο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής.
- Προπορεία στη σπινθηροδότηση - που συνήθως ονομάζεται προανάφλεξη ή αβάνς (advance).
- Προπορεία στο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής.
- Αργοπορεία στο κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η πραγματική μορφή των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια των τεσσάρων χρόνων του τετράχρονου βενζινοκινητήρα, απεικονίζεται στο Σχήμα 1.15. Στο ίδιο διάγραμμα παριστάνεται και ο θεωρητικός κύκλος λειτουργίας όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 1.2.3.1.

Η διεργασία της εισαγωγής περιγράφεται από την καμπύλη A-B. Ακολουθεί η συμπίεση (B-Γ) η οποία δεν είναι αδιαβατική καθώς το πώμα και τα τοιχώματα του κυλίνδρου δεν είναι μονωμένα και ανταλλάσσουν θερμότητα με το περιβάλλον. Επίσης, η διεργασία της καύσης - καμπύλη Γ-Δ - δεν είναι ισόχωρη όπως απαιτεί ο ιδανικός κύκλος Otto. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επικρατεί μειωμένη μέγιστη πίεση στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της καύσης, σε σχέση με αυτήν της ιδανικής διεργασίας καύσης. Τμήμα της θερμότητας που εκλύεται κατά τη διάρκεια της καύσης μεταφέρεται προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου και από εκεί, μέσω του συστήματος ψύξης, στην ατμόσφαιρα. Η εκτόνωση (καμπύλη Δ-E) δεν τελειώνει στο ΚΝΣ, αλλά νωρίτερα. Η διεργασία της εξαγωγής αντιστοιχεί στα σημεία E-K-A.



Σχήμα 1.15 Πραγματικός κύκλος 4χρονου βενζινοκινητήρα

Παρατηρώντας το διάγραμμα $p-v$ του πραγματικού κύκλου του τετράχρονου βενζινοκινητήρα, διαπιστώνουμε ότι αυτός ο κύκλος αποτελείται από δύο κλειστές καμπύλες, την ΚΓΔΕΚ και την ΚΑΖΒΚ. Η πρώτη έχει θετικό εμβα-

δόν οπότε, με το πέρας των διεργασιών που περιγράφει, παράγεται μηχανικό έργο. Η δεύτερη έχει αρνητικό εμβαδόν και απαιτεί την εισαγωγή μηχανικού έργου για να πραγματοποιηθεί η διεργασία.

Επίσης, κάποιες άλλες συνέπειες που προκύπτουν από την απόκλιση του πραγματικού κύκλου από τον αντίστοιχο θεωρητικό είναι:

- Απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον.
- Μείωση του αποδιδόμενου έργου.
- Μείωση της απόδοσης του κινητήρα.
- Μείωση της επιτυγχανόμενης μέγιστης θερμοκρασίας καύσης.

1.2.4 Ο τετράχρονος πετρελαιοκινητήρας

1.2.4.1 Διαφορές τετράχρονου βενζινοκινητήρα - πετρελαιοκινητήρα

Ο πετρελαιοκινητήρας είναι γνωστός ως κινητήρας Diesel. Η δομή και η αρχιτεκτονική του είναι όμοια με αυτήν του βενζινοκινητήρα. Χαρακτηρίζεται από το έμβολο που παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο και το σύστημα διωστήρα - στροφάλου που μετατρέπει την κίνηση σε περιστροφική.

Οι κυριότερες διαφορές που παρουσιάζουν οι κινητήρες Otto και Diesel είναι:

- Στο σύστημα ψεκασμού του καυσίμου: Οι κινητήρες Diesel δε διαθέτουν αναμεικτήρα (carburetor) και ο ψεκασμός γίνεται απευθείας στον κύλινδρο, σε αντίθεση με την πλειονότητα των κινητήρων Otto.
- Οι πετρελαιοκινητήρες δε χρησιμοποιούν σπινθηριστές για την ανάφλεξη του μείγματος. Αυτή επιτυγχάνεται με την υψηλή θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά τη συμπίεση μέσα στον κύλινδρο.
- Η υψηλή θερμοκρασία απαιτεί την υψηλή πίεση του αέρα στο εσωτερικό του κυλίνδρου.
- Λόγω των υψηλών πιέσεων που αναπτύσσονται, τα μέρη του πετρελαιοκινητήρα πρέπει να έχουν μεγάλη αντοχή. Για το λόγο αυτό, ένας πετρελαιοκινητήρας είναι βαρύτερος από έναν βενζινοκινητήρα της ίδιας ισχύος.

1.2.4.2 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα

Ο θεωρητικός κύκλος λειτουργίας του τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα ολοκληρώνεται με τέσσερις διαδρομές του εμβόλου ή δύο διαδρομές του στρο-

φαλοφόρου άξονα. Οι τέσσερις χρόνοι λειτουργίας απεικονίζονται στο Σχήμα 1.16, ενώ ο κύκλος στο Σχήμα 1.17.

1ος χρόνος - Αναρρόφηση ή εισαγωγή:

Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Η βαλβίδα εισαγωγής είναι ανοικτή ενώ η βαλβίδα εξαγωγής κλειστή, όπως επίσης και ο εγχυτήρας καυσίμου. Η μετατόπιση του εμβόλου δημιουργεί υποπίεση στον κύλινδρο με συνέπεια την εισροή αέρα - και όχι μείγματος όπως στον αντίστοιχο βενζινοκινητήρα - σε αυτόν από τη βαλβίδα εισαγωγής. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ, η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει.

2ος χρόνος - Συμπύεση:

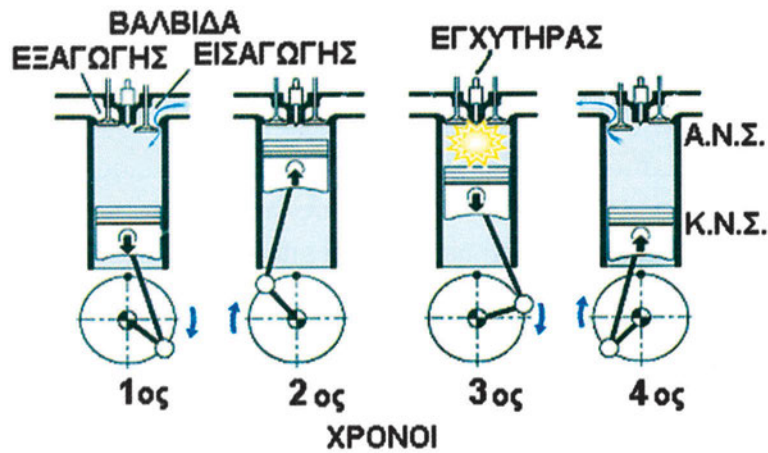
Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κλειστές, όπως και ο εγχυτήρας καυσίμου. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, η πίεση του αέρα στον κύλινδρο έχει ανέλθει στα 30bar έως 40bar και η θερμοκρασία στους 600°C έως 700°C περίπου. Σημειώνουμε ότι στο τέλος του 2ου χρόνου του αντίστοιχου βενζινοκινητήρα, οι συνθήκες είναι τέτοιες ώστε ο σπινθηριστής δίνει έναυση στο συμπιεσμένο μείγμα αέρα - καυσίμου - καυσαερίων.

3ος χρόνος - Εκτόνωση:

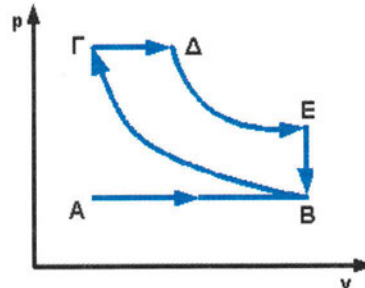
Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Στην αρχή του χρόνου αυτού πραγματοποιείται η έγχυση του πετρελαίου σε μορφή σταγονιδίων. Αυτά αναμειγνύονται με το συμπιεσμένο αέρα, η υψηλή θερμοκρασία του οποίου - μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία στην οποία αυταναφλέγεται το πετρέλαιο - οδηγεί στην έναρξη της καύσης του μείγματος. Η όλη διεργασία λαμβάνει το 1/10 του 3ου χρόνου. Στο υπόλοιπο του χρόνου πραγματοποιείται εκτόνωση, οπότε το έμβολο παράγει μηχανικό έργο. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ, η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει.

4ος χρόνος - Εξαγωγή:

Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Η βαλβίδα εισαγωγής και ο εγχυτήρας καυσίμου έχουν κλείσει. Τα καυσαέρια εξέρχονται στην ατμόσφαιρα από τη βαλβίδα εξαγωγής λόγω της κίνησης του εμβόλου. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, ο κινητήρας έχει συμπληρώσει τον κύκλο λειτουργίας και οι συνθήκες είναι κατάλληλες για την έναρξη του επόμενου κύκλου.



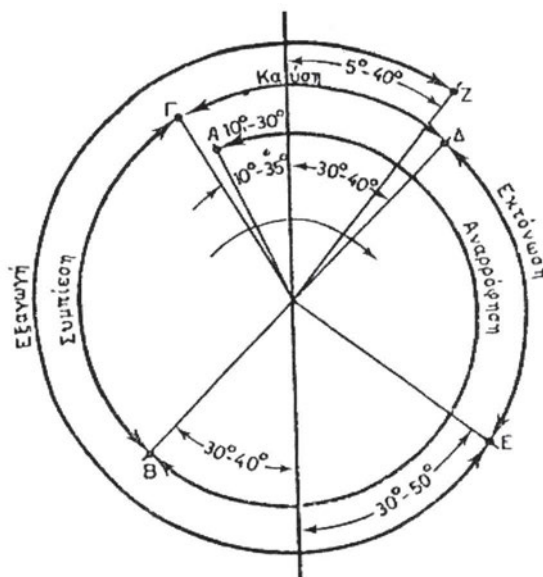
Σχήμα 1.16 Χρόνοι λειτουργίας 4χρονου πετρελαιοκινητήρα



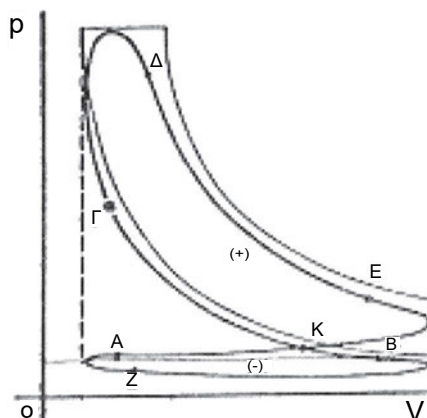
Σχήμα 1.17 Θεωρητικός κύκλος 4χρονου πετρελαιοκινητήρα

1.2.4.3 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα

Στην πράξη, όπως συμβαίνει και στον κύκλο του βενζινοκινητήρα, η διαδικασία που ακολουθείται δεν είναι αυτή του θεωρητικού κύκλου. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.18, η ακολουθία ανοίγματος και κλεισίματος των βαλβίδων και του εγχυτήρα δεν πραγματοποιείται όταν το έμβολο βρίσκεται ακριβώς στο ΑΝΣ και ΚΝΣ. Πιο αναλυτικά, η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει 10° έως 30° πριν το ΑΝΣ και κλείνει 30° έως 40° μετά το ΚΝΣ (σημεία Α και Β του σχήματος). Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει 30° έως 50° πριν το ΚΝΣ (σημείο Ε) και κλείνει 5° έως 40° μετά το ΑΝΣ (σημείο Ζ). Η έγχυση του καυσίμου ξεκινά 10° έως 35° πριν το ΑΝΣ (σημείο Γ) και τελειώνει 30° έως 40° μετά το ΑΝΣ (σημείο Δ). Η μορφή του διαγράμματος $p-v$, τόσο για τις ιδανικές όσο και για τις πραγματικές διεργασίες, είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 1.19.



Σχήμα 1.18 Σειρά διεργασιών πραγματικού κύκλου λειτουργίας 4χρονου πετρελαιοκινητήρα



Σχήμα 1.19 Πραγματικός κύκλος 4χρονου πετρελαιοκινητήρα

1.2.5 Στοιχειώδη μέρη του δίχρονου βενζινοκινητήρα και πετρελαιοκινητήρα

Από την παρουσίαση της λειτουργίας του τετράχρονου βενζινοκινητήρα και πετρελαιοκινητήρα εξάγεται το συμπέρασμα ότι η εισαγωγή του μείγματος αέρα - καυσίμου και η εξαγωγή των καυσαερίων της καύσης μπορούν να προσομοιαστούν με τη διεργασία που κάνει ένας συμπιεστής αέρα. Αν κάποιος,

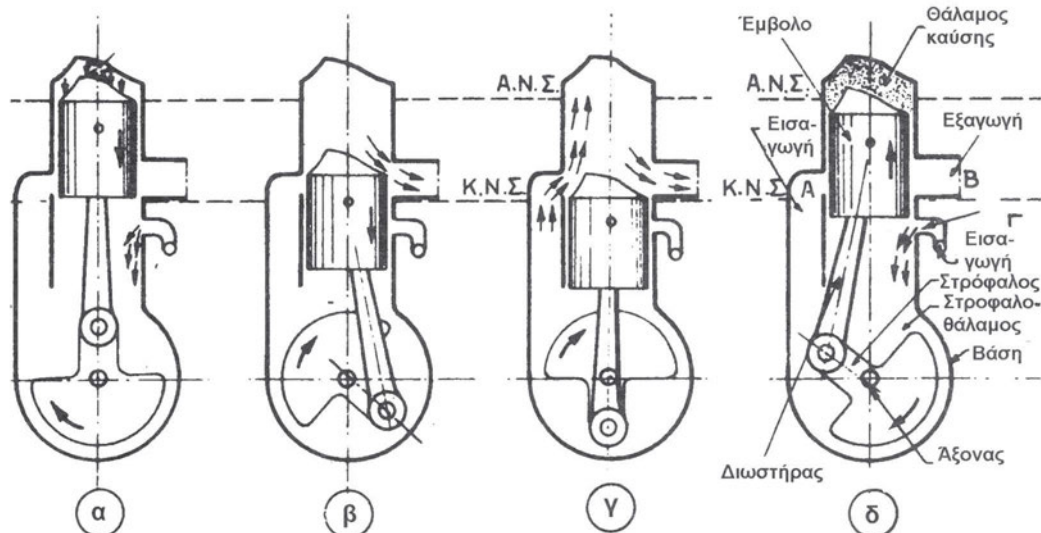
λοιπόν, συνδυάσει έναν εμβολοφόρο κινητήρα με ένα συμπιεστή αέρα, τότε θα μπορεί να υποβοηθήσει τις διεργασίες εισαγωγής και εξαγωγής. Με τον τρόπο αυτόν, οι συγκεκριμένες διεργασίες περιορίζονται, πρακτικά, να λαμβάνουν χώρα μόνο σε ένα μικρό τμήμα της διαδρομής του εμβόλου του κινητήρα μέσα στον κύλινδρο. Πιο συγκεκριμένα, η εισαγωγή και η εξαγωγή μπορούν να συμβούν σε ένα τμήμα των χρόνων της εκτόνωσης και της συμπίεσης και ο κύκλος λειτουργίας του κινητήρα να ολοκληρωθεί σε δύο χρόνους, δηλαδή σε μία μόνο στροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Οι εμβολοφόροι κινητήρες που στηρίζουν τη λειτουργία τους σε αυτήν την αρχή, ονομάζονται δίχρονοι και απαντώνται τόσο σε βενζινοκίνητη όσο και σε πετρελαιοκίνητη έκδοση. Ο πρώτος δίχρονος κύκλος επινοήθηκε από τον Douglas Clerk το 1878.

1.2.6 Ο δίχρονος βενζινοκινητήρας

Ο δίχρονος βενζινοκινητήρας αποτελεί την έκδοση του κινητήρα Otto σε δύο χρόνους λειτουργίας. Οι διαφορές με την τετράχρονη έκδοση δεν είναι πολλές. Η πιο χαρακτηριστική από αυτές είναι η απουσία βαλβίδων από το δίχρονο βενζινοκινητήρα. Το έργο τους επιτελείται από το ίδιο το έμβολο, το οποίο κατά την κίνησή του προς το ΚΝΣ ανοίγει ή κλείνει μία σειρά από θυρίδες που βρίσκονται κατάλληλα τοποθετημένες περιφερειακά και κοντά στο ΚΝΣ. Από αυτές, οι μισές βρίσκονται λίγο ψηλότερα από τις άλλες, επικοινωνούν με τον περιβάλλοντα ατμοσφαιρικό αέρα και ονομάζονται θυρίδες εξαγωγής. Οι υπόλοιπες επικοινωνούν με το στροφαλοθάλαμο, ο οποίος είναι στεγανός και επικοινωνεί με το εξάρτημα του εξαερωτή μέσω αγωγού που φέρει διάφραγμα. Από αυτό επιτρέπεται μόνον η εισροή μείγματος αέρα - καυσίμου.

1.2.6.1 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας δίχρονου βενζινοκινητήρα

Οι σχετικές θέσεις του εμβόλου για τις ιδανικές διεργασίες του δίχρονου βενζινοκινητήρα παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.20.



Σχήμα 1.20 Φάσεις λειτουργίας 2χρονου βενζινοκινητήρα

Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους δύο χρόνους είναι οι εξής:

1ος χρόνος:

Το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ (Σχήμα 1.20, α-β-γ). Η εισαγωγή του αέρα γίνεται στο στροφαλοθάλαμο μέσω της θύρας εισαγωγής. Στο ΑΝΣ δημιουργείται σπινθήρας και το μείγμα αέρα - καυσίμου καίγεται, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η θερμοκρασία και η πίεση μέσα στον κύλινδρο¹. Όταν το έμβολο έχει καλύψει το 80% της διαδρομής προς το ΚΝΣ, αποκαλύπτει τη θύρα εξαγωγής (σημείο Β) οπότε και πραγματοποιείται η εξαγωγή των καυσαερίων της καύσης. Με την αποκάλυψη της θύρας εξαγωγής καλύπτεται η θύρα εισαγωγής στο στροφαλοθάλαμο. Έτσι, συμπιέζεται ο αέρας που έχει εισαχθεί στο στροφαλοθάλαμο. Στη συνέχεια, ανοίγει και η οπή της θυρίδας Α με αποτέλεσμα ο αέρας που βρίσκεται στο στροφαλοθάλαμο να εισέρχεται στο θάλαμο καύσης. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, οι διεργασίες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κατά ένα βαθμό ταυτόχρονες. Για το λόγο αυτόν, το άνω μέρος του εμβόλου - η κεφαλή - είναι ειδικά σχεδιασμένο ώστε να μη διαφεύγει ατμοσφαιρικός αέρας από τη θυρίδα εξαγωγής.

¹ Αξίζει να αναφερθεί, ότι ειδικά στους δίχρονους βενζινοκινητήρες, το μείγμα αέρα-καυσίμου περιέχει εν γένει λιπαντικά, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται λίπανση των κινουμένων μερών.

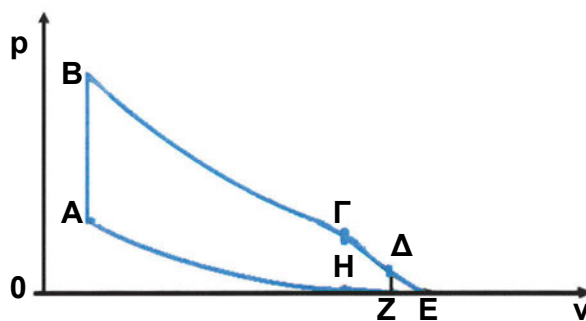
2ος χρόνος:

Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ (Σχήμα 1.20 (γ), (δ), (α)). Στην κίνησή του αυτή αρχικά καλύπτει τη θυρίδα Α και σταματά η εισαγωγή αέρα από το στροφαλοθάλαμο. Κατόπιν, κλείνει η θυρίδα Β και σταματά η εξαγωγή. Ταυτόχρονα, αποκαλύπτεται η θυρίδα του κυλίνδρου, οπότε σε συνδυασμό με την υποπίεση που δημιουργεί στο στροφαλοθάλαμο η κίνηση του εμβόλου, εισέρχεται αέρας στον τελευταίο. Η κίνηση του εμβόλου επίσης συμπιέζει το μείγμα αέρα - καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης. Η ειδική μορφή της κεφαλής του εμβόλου βοηθά στην κίνηση του μείγματος αέρα - καυσίμου, η οποία σαρώνει τον κύλινδρο. Για το λόγο αυτό η διεργασία αυτή ονομάζεται σάρωση.

Μερικές παρατηρήσεις που αφορούν τη θεωρητική λειτουργία του δίχρονου βενζινοκινητήρα, είναι οι ακόλουθες:

- Σε κάθε έναν από τους δύο χρόνους λειτουργίας δεν αντιστοιχούν μόνο οι διεργασίες που δίνουν στους χρόνους την ονομασία τους. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή της συμπίεσης εισέρχεται μείγμα αέρα - καυσίμου και εξαγονται καυσαέρια ενώ στο τέλος της εκτόνωσης πραγματοποιείται η σάρωση του κυλίνδρου.
- Μόνον ο 2ος χρόνος, κατά τον οποίον γίνεται η εκτόνωση των καυσαερίων, παράγει μηχανικό έργο για τον κινητήρα.
- Το μείγμα αέρα - καυσίμου δεν εισέρχεται απευθείας στον κύλινδρο αλλά οδηγείται σε αυτόν από τον στροφαλοθάλαμο την κατάλληλη στιγμή.

Η μορφή των ιδανικών διεργασιών σε διάγραμμα p-v φαίνεται στο Σχήμα 1.21.



Σχήμα 1.21 Θεωρητικός κύκλος 2χρονου βενζινοκινητήρα

Ο 1ος χρόνος περιλαμβάνει την ισόχωρη καύση A-B με το έμβολο στο ΑΝΣ και την εκτόνωση B-Γ. Στο σημείο Γ ανοίγει η θύρα εξαγωγής, ο κύλινδρος έρχεται σε επικοινωνία με τον ατμοσφαιρικό αέρα με αποτέλεσμα την απότο-

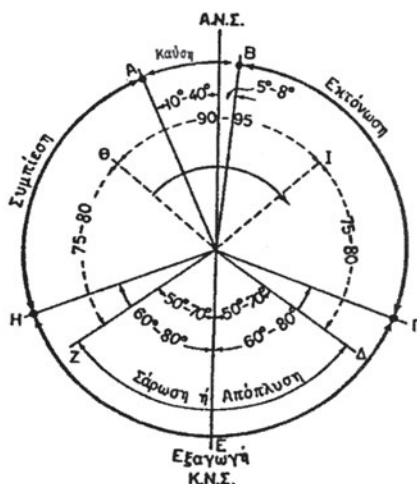
μη πτώση της πίεσης μέχρι το σημείο Ε (το έμβολο φτάνει στο ΚΝΣ). Προηγουμένως, στο σημείο Δ ανοίγει η θύρα εισαγωγής (από το στροφαλοθάλαμο στο θάλαμο καύσης). Η πίεση παραμένει σταθερή - περίπου 10 έως 20% πάνω από την ατμοσφαιρική - μέχρι το σημείο Ε. Το μείγμα αέρα - καυσίμου ωθεί τα καυσαέρια που υπάρχουν στο θάλαμο προς τη θύρα εξαγωγής και επιτυγχάνει τη σάρωση του κυλίνδρου μέχρι το ΚΝΣ. Ο 1ος χρόνος, λοιπόν, περιγράφεται από την καμπύλη Α-Β-Γ-Δ-Ε.

Από το σημείο Ε ξεκινά ο 2ος χρόνος. Το έμβολο ανεβαίνει προς το ΑΝΣ. Η θυρίδα εξαγωγής είναι ανοιχτή και η πίεση μειώνεται μέχρι την τιμή της ατμοσφαιρικής. Στο σημείο Ζ κλείνει η θύρα της εισαγωγής ενώ τα καυσαέρια συνεχίζουν να εξέρχονται από τη θυρίδα εξαγωγής μέχρι το σημείο Η οπότε και κλείνει η τελευταία. Τότε αρχίζει να αυξάνεται και η πίεση στο θάλαμο καύσης μέχρι το ΑΝΣ (καμπύλη Η-Α). Ο 2ος χρόνος περιγράφεται από την καμπύλη Ε-Ζ-Η-Α.

Στο σημείο αυτό θα παρατηρήσουμε ότι ο βαθμός συμπίεσης του δίχρονου βενζινοκινητήρα είναι μικρότερος από αυτόν του αντίστοιχου τετράχρονου. Αυτό συμβαίνει γιατί η συμπίεση δεν επιτυγχάνεται σε όλη τη διαδρομή του εμβόλου από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ, αλλά σε ένα τμήμα αυτής που αντιστοιχεί στο 70% έως 80% αυτής.

1.2.6.2 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας δίχρονου βενζινοκινητήρα

Στην πράξη υπάρχουν αποκλίσεις από το θεωρητικό κύκλο λειτουργίας που περιγράφηκε παραπάνω για το δίχρονο βενζινοκινητήρα. Αυτές απεικονίζονται στο Σχήμα 1.22,



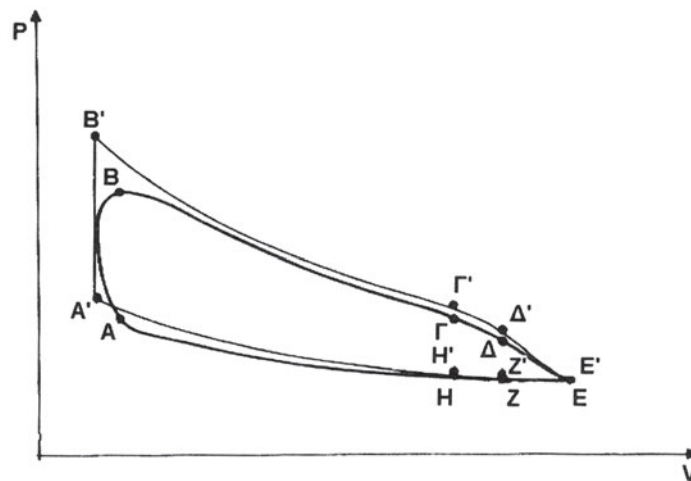
Σχήμα 1.22 Σειρά διεργασιών πραγματικού κύκλου λειτουργίας 2χρονου βενζινοκινητήρα

και είναι:

1. Η σπινθηροδότηση λαμβάνει χώρα στο σημείο A που βρίσκεται 10° έως 40° πριν το ANΣ και η καύση τελειώνει 5° έως 8° μετά το ANΣ.
2. Η εκτόνωση ξεκινά από το σημείο B - όταν τελειώνει η καύση - και τελειώνει στο σημείο Γ, 60° έως 80° πριν το ΚΝΣ.
3. Η θυρίδα εξαγωγής ανοίγει στο σημείο Γ και η θυρίδα εισαγωγής στο σημείο Δ, 50° έως 70° πριν το ΚΝΣ. Η τελευταία κλείνει στο σημείο Z - 60° έως 80° μετά το ΚΝΣ, ενώ η πρώτη κλείνει στο σημείο Η, 60° έως 80° μετά το ΚΝΣ.
4. Η συμπίεση αντιστοιχεί στο τόξο ΗΑ. Κατά τη διάρκεια του τόξου ΖΘ, επικρατεί υποπίεση στο στροφαλοθάλαμο ενώ κατά τη διάρκεια του τόξου ΘΙ υπάρχει επικοινωνία μεταξύ στοφαλοθαλάμου και ατμόσφαιρας. Τέλος, κατά τη διάρκεια του τόξου ΙΔ παρατηρείται αύξηση της πίεσης στο στροφαλοθάλαμο.

Τελικά, το διάγραμμα p-v που περιγράφει τον πραγματικό κύκλο λειτουργίας του δίχρονου βενζινοκινητήρα φαίνεται στο Σχήμα 1.23.

Τα τονούμενα σημεία είναι αυτά που χαρακτηρίζουν τις θεωρητικές διεργασίες όπως περιγράφηκαν στην αντίστοιχη παράγραφο. Το εμβαδόν της επιφάνειας που περικλείεται από την κλειστή καμπύλη Α-Β-Γ-Δ-Ε-Ζ-Η-Α δίνει το πραγματικό έργο που εκτελείται από τον κινητήρα.



Σχήμα 1.23 Πραγματικός κύκλος 2χρονου βενζινοκινητήρα

1.2.7 Ο δίχρονος πετρελαιοκινητήρας

1.2.7.1 Διαφορές δίχρονου βενζινοκινητήρα-πετρελαιοκινητήρα

Ο δίχρονος πετρελαιοκινητήρας στηρίζει τη λειτουργία του στον κύκλο Diesel. Αν και τόσο η εισαγωγή του αέρα όσο και η εξαγωγή των καυσαερίων ακολουθούν τις αντίστοιχες διεργασίες που περιγράφηκαν στην παρουσίαση του δίχρονου βενζινοκινητήρα, υπάρχουν κάποιες σημαντικές διαφορές, όπως:

- Στο δίχρονο πετρελαιοκινητήρα χρησιμοποιείται η αντλία σάρωσης, η οποία χρησιμεύει στη συμπίεση του αέρα της σάρωσης των καυσαερίων του κυλίνδρου αλλά και στην πλήρωση του τελευταίου με αέρα.
- Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.24, η εξαγωγή των καυσαερίων από τον κύλινδρο πραγματοποιείται με τη βοήθεια βαλβίδων τοποθετημένων στην κεφαλή του κυλίνδρου. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται καλύτερη σάρωση, αφού ο αέρας εισάγεται από το κάτω τμήμα του κυλίνδρου και τα καυσαέρια εξέρχονται από το άνω τμήμα του.

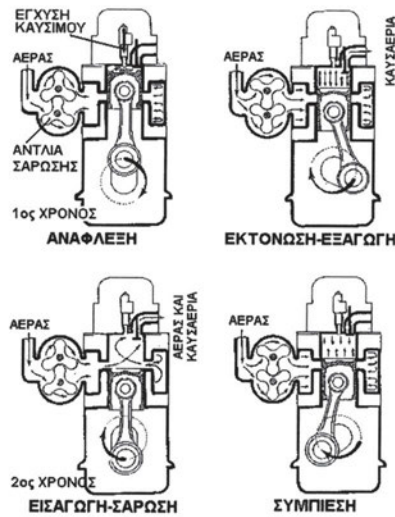
1.2.7.2 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας δίχρονου πετρελαιοκινητήρα

Οι θεωρητικοί χρόνοι λειτουργίας του δίχρονου πετρελαιοκινητήρα φαίνονται στο Σχήμα 1.24.

1ος χρόνος:

Στο χρόνο αυτό λαμβάνουν χώρα η καύση, η εκτόνωση των καυσαερίων και η έναρξη της εξαγωγής τους, η εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα και η σάρωση του κυλίνδρου.

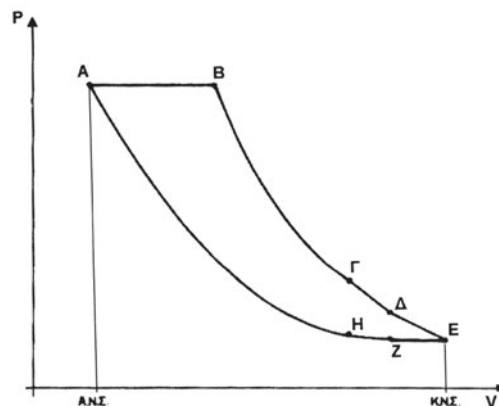
Αρχικά, το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ. Εκεί αρχίζει η έγχυση του καυσίμου η διάρκεια της οποίας είναι το 1/10 του πλήρους χρόνου. Το μείγμα αέρα - καυσίμου έχει συμπιεσθεί, βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία οπότε επιτυγχάνεται η αυτανάφλεξη και η καύση του. Ακολουθεί η εκτόνωση των καυσαερίων η οποία ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ. Πριν το έμβολο φτάσει εκεί, ανοίγει διαδοχικά τις θυρίδες εξαγωγής - οπότε και μεγάλο μέρος των καυσαερίων εξέρχονται του κυλίνδρου - και εισαγωγής οπότε και η πίεση των υπόλοιπων καυσαερίων γίνεται μικρότερη από την πίεση του αέρα στο χώρο γύρω από τις θυρίδες εισαγωγής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εισροή καθαρού αέρα στον κύλινδρο και τη σάρωση των υπόλοιπων καυσαερίων από αυτόν.



Σχήμα 1.24 Φάσεις 2χρονου πετρελαιοκινητήρα

2ος χρόνος:

Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Στη διαδρομή του κλείνει τις θυρίδες εισαγωγής οπότε και σταματά η εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα καθώς και η σάρωση του κυλίνδρου. Στη συνέχεια, το έμβολο κλείνει τις θυρίδες εξαγωγής οπότε και ξεκινά η συμπίεση του ατμοσφαιρικού αέρα που υπάρχει στον κύλινδρο. Όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ξεκινά η έναυση του καυσίμου. Συνοπτικά, λοιπόν, κατά τη διάρκεια του 2ου χρόνου πραγματοποιούνται η αποπεράτωση της σάρωσης του κυλίνδρου και της εισαγωγής ατμοσφαιρικού αέρα σε αυτόν, η συμπίεση του ατμοσφαιρικού αυτού αέρα και η έγχυση του καυσίμου.

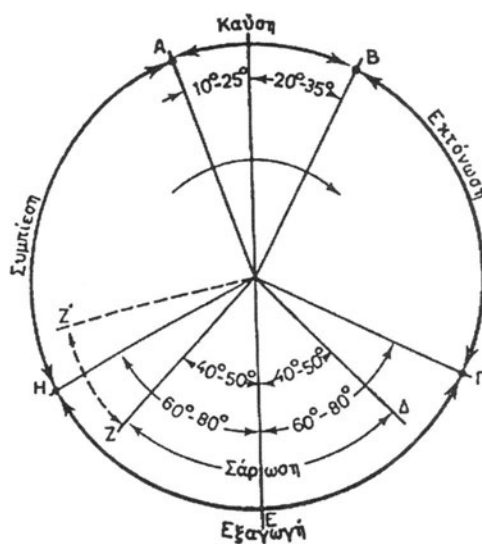


Σχήμα 1.25 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας 2χρονου πετρελαιοκινητήρα

Το θεωρητικό διάγραμμα λειτουργίας $p-v$ του δίχρονου πετρελαιοκινητήρα φαίνεται στο Σχήμα 1.25. Ο 1ος χρόνος απεικονίζεται από την καμπύλη A-B-Γ-Δ-E και ο 2ος χρόνος από τη γραμμή E-Z-H-A. Το θεωρητικό έργο του κινητήρα για έναν κύκλο λειτουργίας του δίνεται από το εμβαδόν της καμπύλης A-B-Γ-Δ-E-Z-H-A. Πρέπει να σημειώσουμε ότι ο βαθμός συμπίεσης είναι μικρότερος από αυτόν του τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα.

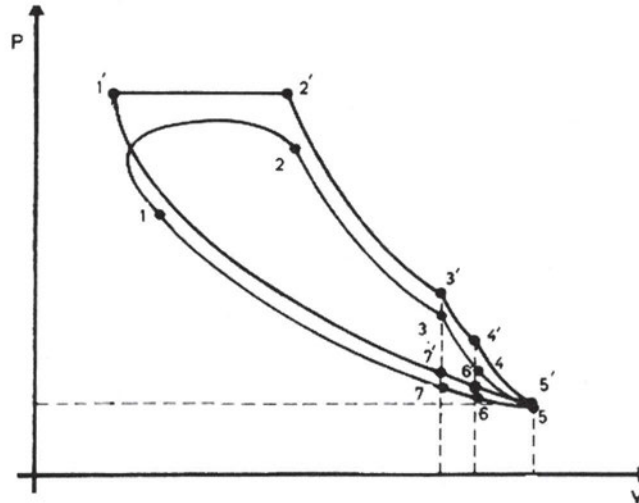
1.2.7.3 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας δίχρονου πετρελαιοκινητήρα

Όπως και στους υπόλοιπους κινητήρες που εξετάσαμε, έτσι και στην περίπτωση του δίχρονου πετρελαιοκινητήρα το πραγματικό διάγραμμα του κύκλου λειτουργίας διαφέρει σημαντικά από το θεωρητικό. Στο Σχήμα 1.26 φαίνονται οι θέσεις του εμβόλου κατά την πραγματική λειτουργία του κινητήρα και στο Σχήμα 1.27 το πραγματικό διάγραμμα λειτουργίας $p-v$ σε σύγκριση με το θεωρητικό (Σχήμα 1.25 - οι θεωρητικές διεργασίες εμφανίζονται και στο Σχήμα 1.27 σαν μεταβολές μεταξύ των τονούμενων σημείων). Από τη σύγκριση των δύο καμπύλων μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι, ο δίχρονος πετρελαιοκινητήρας παρουσιάζει τις ίδιες διαφορές μεταξύ θεωρητικού και πραγματικού κύκλου με αυτές που παρουσιάζει ο δίχρονος βενζινοκινητήρας, όπως αυτές αναφέρθηκαν στην παράγραφο 1.2.6.2.



Σχήμα 1.26 Σειρά διεργασιών πραγματικού κύκλου λειτουργίας δίχρονου πετρελαιοκινητήρα

Στα προηγούμενα περιγράψαμε τους κύκλους λειτουργίας των διαφόρων τύπων εμβολοφόρων κινητήρων. Από αυτούς, ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος στην αεροπλοΐα, είναι ο τετράχρονος βενζινοκινητήρας, με τον οποίο και θα ασχοληθούμε εκτενέστερα στη συνέχεια.



Σχήμα 1.27 Πραγματικός κύκλος 2χρονου πετρελαιοκινητήρα

1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ - ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΜΗΜΑΤΩΝ - ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΩΝ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

1.3.1 Γενικά

Στην κατασκευή ενός αεροπορικού κινητήρα η αξιοπιστία όλων των συνεργαζόμενων εξαρτημάτων είναι πρωταρχικής σημασίας. Για το λόγο αυτό, η χρήση πολύ ανθεκτικών υλικών έχει κριθεί απαραίτητη. Ένα από τα βασικά προβλήματα που απασχολούν πάντα την αεροπορική βιομηχανία, είναι η επίτευξη της κατασκευής ενός κινητήρα που θα αποτελείται από υλικά ανθεκτικά, ώστε να πληρούν το κριτήριο της **αξιοπιστίας (reliability)**, αλλά και ελαφρά, ώστε να μην αυξάνουν υπέρμετρα το βάρος του αεροσκάφους. Είναι απαραίτητος, δηλαδή, ο συνδυασμός **υψηλής αξιοπιστίας και υψηλού λόγου**

παρεχόμενης ισχύος προς βάρος (power to weight ratio) του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτόν ο σχεδιασμός ενός κινητήρα επιτυγχάνει την **προσαρμοστικότητα** του (**flexibility**) στις απαιτήσεις καλής λειτουργίας. Στις πρώτες φάσεις ανάπτυξης των αεροπορικών κινητήρων η χρήση παραδοσιακών υλικών, όπως χυτοσίδηρος και κράματα χάλυβα, είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση του βάρους αυτών.

Όλα τα κινούμενα μέρη ενός κινητήρα έχουν υποστεί λεπτομερείς μηχανουργικές κατεργασίες και διαδικασίες ζυγοστάθμισης σε μία προσπάθεια για την **ελαχιστοποίηση της δημιουργίας κραδασμών (freedom of vibration)** και κόπωσης των υλικών κατά τη λειτουργία τους. Ένας παράγοντας βέβαια που λαμβάνεται και εδώ υπόψη είναι η **οικονομική λειτουργία (operational economy)** του κινητήρα. Γίνεται φανερό ότι η ανάπτυξη, ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός κινητήρα χαρακτηρίζονται από το συγκεκριμένο τεχνικών και οικονομικών στοιχείων.

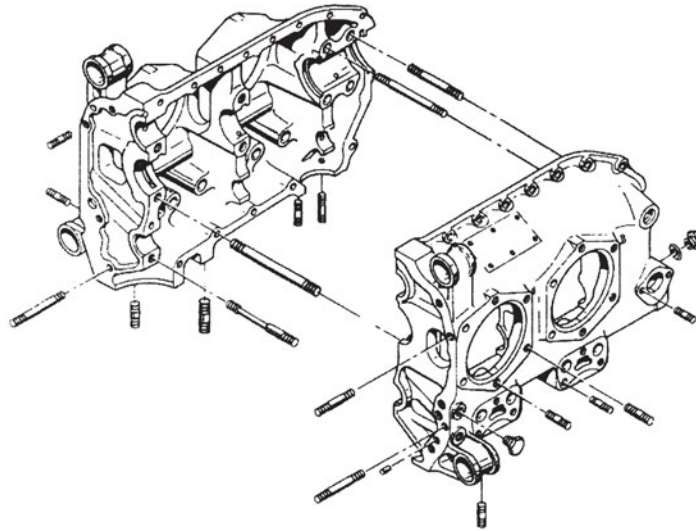
Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει τα βασικά εξαρτήματα τα οποία απαρτίζουν έναν τετράχρονο, εμβολοφόρο κινητήρα ο οποίος λειτουργεί σύμφωνα με τον κύκλο του Otto σε αεροπορική έκδοση. Παράλληλα, θα δοθεί έμφαση σε διάφορες κατασκευαστικές λεπτομέρειες οι οποίες κάνουν φανερή την πρόθεση των σχεδιαστών να εκπληρώσουν τα δεδομένα τα οποία τονίσαμε παραπάνω.

1.3.2 Στροφαλοθάλαμος

Ο στροφαλοθάλαμος (**crankcase**) αποτελεί το βασικό τμήμα του κινητήρα καθώς μέσα σε αυτόν βρίσκονται οι μηχανισμοί που περιβάλλουν το στροφαλοφόρο άξονα καθώς και διάφορα άλλα εξαρτήματα. Οι κύριες λειτουργίες που προσφέρει είναι: **(1)** στηρίζεται αυτόνομα, **(2)** περιέχει τα έδρανα στα οποία περιστρέφεται ο στροφαλοφόρος άξονας, **(3)** προσφέρει χώρο για την αποθήκευση του λαδιού, **(4)** προσφέρει στήριξη σε διάφορους εσωτερικούς και εξωτερικούς μηχανισμούς του κινητήρα, **(5)** προσφέρει τις κατάλληλες υποδοχές για τη στήριξη του κινητήρα στο αεροσκάφος, **(6)** προσφέρει στήριξη για την προσαρμογή των κυλίνδρων και, λόγω της αντοχής και της στιβαρότητάς του, βοηθά στην ευθυγράμμιση του στροφαλοφόρου άξονα και των εδράνων του.

Η κατασκευή ενός στροφαλοθαλάμου εξαρτάται από το είδος του κινητήρα στον οποίο προσαρμόζεται. Η πλειοψηφία των στροφαλοθαλάμων στους αεροπορικούς κινητήρες κατασκευάζεται από αλουμίνιο, το οποίο είναι ελαφρύ αλλά και εξαιρετικά ανθεκτικό. Γενικά, διακρίνουμε **τρεις (3)** κατηγορίες στροφαλοθαλάμων:

- **Στροφαλοθάλαμοι κινητήρων αντίθετων εμβόλων** (Σχήμα 1.28, Σχήμα 1.29). Ένας τέτοιος θάλαμος αποτελείται από δύο χυτά μέρη αλουμινίου τα οποία προσαρμόζονται μεταξύ τους με τη χρήση βιδών και παξιμαδιών.



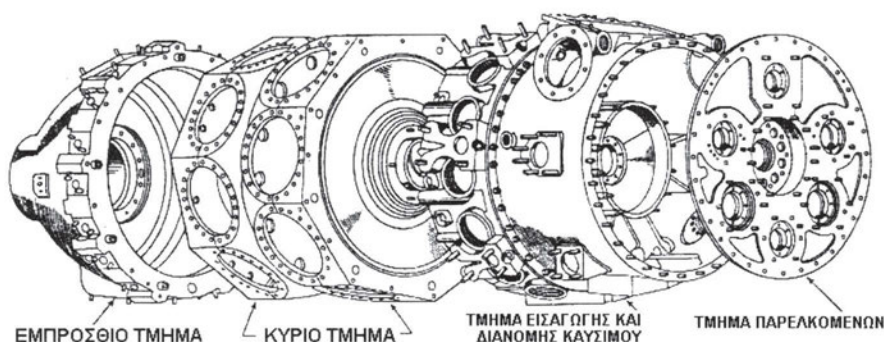
Σχήμα 1.28 Συνδεσμολογία στροφαλοθαλάμου κινητήρα με αντίθετα έμβολα



Σχήμα 1.29 Στροφαλοθάλαμος κινητήρα αντίθετων εμβόλων

- **Στροφαλοθάλαμοι ακτινικών κινητήρων** (Σχήμα 1.30, Σχήμα 1.6). Οι

θάλαμοι αυτοί αποτελούνται από τρία έως και επτά τμήματα, ανάλογα με το μέγεθος του κινητήρα. Παίρνοντας υπόψη έναν κινητήρα μεσαίου μεγέθους, διακρίνουμε τα ακόλουθα **τέσσερα τμήματα: (1) Μπροστινό τμήμα (μύτη)**. Συνήθως κατασκευάζεται από κράματα αλουμινίου και στηρίζει, στις περισσότερες περιπτώσεις, το έδρανο και τον άξονα του έλικα καθώς και διάφορους μηχανισμούς. **(2) Κύριο τμήμα**. Συνήθως αποτελείται από ένα έως και τρία μέρη από υψηλής αντοχής θερμικά επεξεργασμένα κράματα αλουμινίου ή και σφυρήλατο χάλυβα. Στο τμήμα αυτό βρίσκονται οι μηχανισμοί των έκκεντρων του κινητήρα. **(3) Τμήμα εισαγωγής και διανομής καυσίμου**. Βρίσκεται μετά από το κύριο τμήμα και αποτελείται από ένα ή δύο μέρη. Σε αυτό βρίσκονται ο φυσητήρας ή φτερωτή του συστήματος υπερπλήρωσης καθώς και οι βαθμίδες του διαχύτη (diffuser vanes). **(4) Τμήμα παρελκομένων**. Σε αυτό βρίσκονται εξαρτήματα όπως αντλίες καυσίμου, λαδιού, κενού, φίλτρα, βαλβίδες ελέγχου. Στο τμήμα αυτό τοποθετούνται πάντα τα γρανάζια μετάδοσης της κίνησης στους μηχανισμούς των παρελκομένων, τα οποία παίρνουν κίνηση από τον ίδιο τον κινητήρα.



Σχήμα 1.30 Στροφαλοθάλαμος ακτινικού κινητήρα

- **Στροφαλοθάλαμοι κινητήρων τύπου V και εν σειρά**. Συνήθως οι στροφαλοθάλαμοι αυτοί έχουν τέσσερα κύρια τμήματα, όπως και αυτά που περιγράφηκαν στους στροφαλοθαλάμους των ακτινικών κινητήρων.

1.3.3 Έδρανα ή Τριβείς

Γενικά, ως έδρανα (**bearings**) χαρακτηρίζονται τα σημεία στήριξης του άξονα στον κινητήρα που επιτρέπουν, παράλληλα, την περιστροφή του σε σχέση με το σώμα (μη περιστρεφόμενο μέρος) του κινητήρα. Τα φορτία που δέχονται

κατά τη λειτουργία τους είναι ακτινικά, αξονικά ή συνδυασμός τους. Τα έδρανα διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα **έδρανα ολίσθησης (κουζινέτα)** και τα **έδρανα κύλισης (ρουλεμάν)**, Σχήμα 1.31. Στα έδρανα ολίσθησης αναπτύσσεται τριβή ολίσθησης μεταξύ του άξονα (**στροφέας**) και του τμήματος του εδράνου με το οποίο έρχεται σε επαφή. Στα έδρανα κύλισης επιτυγχάνεται περιστροφή του στροφέα ως προς το εξωτερικό μέρος του εδράνου με την κύλιση των **στοιχείων κύλισης** (Σχήμα 1.33, 3). Κατά την κύλιση των στοιχείων αναπτύσσεται τριβή κύλισης.



(α)



(β)

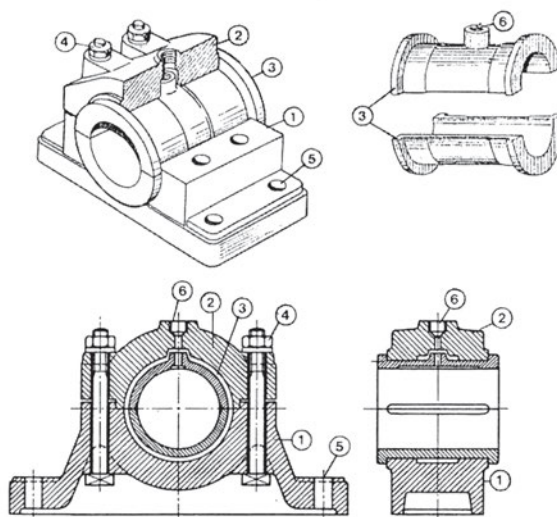
Σχήμα 1.31 (α) Έδρανο ολίσθησης (κουζινέτο) και (β) έδρανο κύλισης (ρουλεμάν)

1.3.3.1 Έδρανα ολίσθησης

Ένα έδρανο ολίσθησης αποτελείται από το σώμα, το κάλυμμα, τον τριβέα, το σύστημα λίπανσης και το σύστημα στεγανότητας για τη διατήρηση του λιπαντικού μέσα στο έδρανο (Σχήμα 1.32). Ο **τριβέας** έρχεται σε επαφή με το στροφέα, το τμήμα δηλαδή του άξονα που περιστρέφεται μέσα στο έδρανο. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στο υλικό, την ποιότητα επιφάνειας και τον τρόπο λίπανσής του. Συνήθη υλικά κατασκευής του είναι κυρίως αντί-τριβικά κράματα με βάση το χαλκό, όπως μπρούτζοι, κράματα χαλκού - μολύβδου και σύνθετα υλικά.

Τα έδρανα ολίσθησης διακρίνονται:

- Ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση: σε έδρανα ολόσωμα και σε έδρανα διαιρούμενα.
- Ανάλογα με τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά: σε έδρανα σταθερά (ο τριβέας είναι σε σταθερή θέση μέσα στο κάλυμμα) και έδρανα αυτορρυθμιζόμενα (ο τριβέας ακολουθεί τις κλίσεις του στροφέα).



Μέρη εδράνου ολίσθησης.

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Σώμα εδράνου. | 4. Κοχλίες σύνδεσης σώματος και καλύμματος. |
| 2. Κάλυμμα. | 5. Τρύπες κοχλίων για τη στήριξη του εδράνου. |
| 3. Διαιρούμενος τριβέας. | 6. Υποδοχή λιπαντήρα. |

Σχήμα 1.32 Χαρακτηριστικά εδράνου ολίσθησης

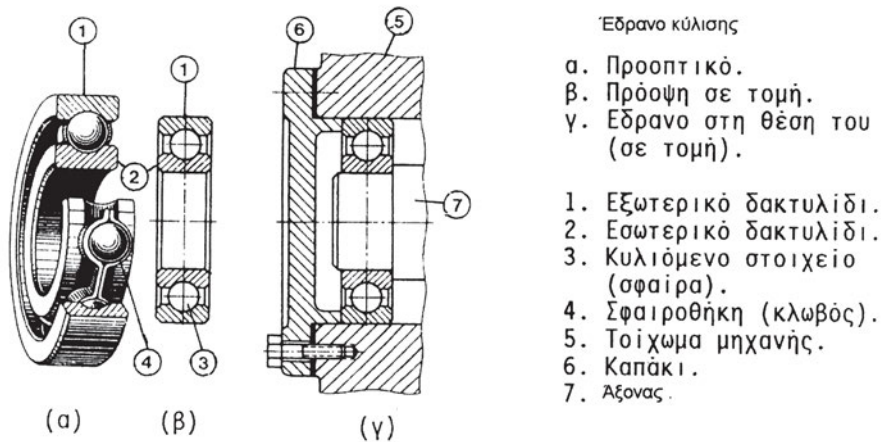
- Ανάλογα με τη διεύθυνση του φορτίου: σε έδρανα εγκάρσια ή ακτινικά (δέχονται το φορτίο στη διεύθυνση της ακτίνας τους) και έδρανα αξονικά (δέχονται φορτίο κατά το νοητό άξονά τους).
- Ανάλογα με το είδος του λιπαντικού: σε έδρανα νερού, λαδιού ή γράσου, αέρα και τριβής (λειτουργούν χωρίς λιπαντικά και ονομάζονται αυτολίπαντα).

Τα έδρανα ολίσθησης είναι απλά στην κατασκευή τους, έχουν μικρό κόστος κατασκευής και μεγάλη διάρκεια ζωής, κατασκευάζονται σε διάφορες διαστάσεις ανάλογα με την εφαρμογή τους ενώ παρέχουν τη δυνατότητα να ρυθμιστεί η απόσταση - "χάρη" - ανάμεσα στον τριβέα και το στροφέα. Όμως, παράλληλα, παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση τριβής και χαμηλό βαθμό απόδοσης, απαιτούν το λεγόμενο ροντάζ (στρώσιμο), και εμφανίζουν σχετικά μεγάλη κατανάλωση λιπαντικού μέσου.

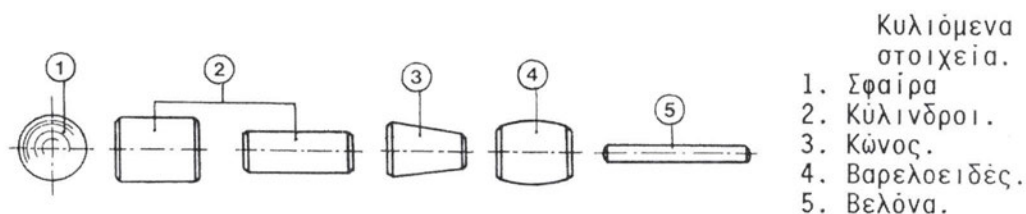
1.3.3.2 Έδρανα κύλισης

Τα έδρανα κύλισης είναι γνωστά ως ρουλεμάν. Αποτελούνται από (Σχήμα 1.33): το εξωτερικό δακτυλίδι, το εσωτερικό δακτυλίδι, τα κυλιόμενα στοιχεία, τον κλωβό, τα καλύμματα των κυλιόμενων στοιχείων. Γενικά, ως κυλιόμενα στοιχεία χρησιμοποιούνται σφαίρες, κύλινδροι, κώνοι, βαρελοειδή και βελόνες (Σχήμα 1.34). Η θήκη (φωλιά) στην οποία τοποθετούνται τα ρουλεμάν μπορεί να είναι ολόσωμη ή διαιρούμενη.

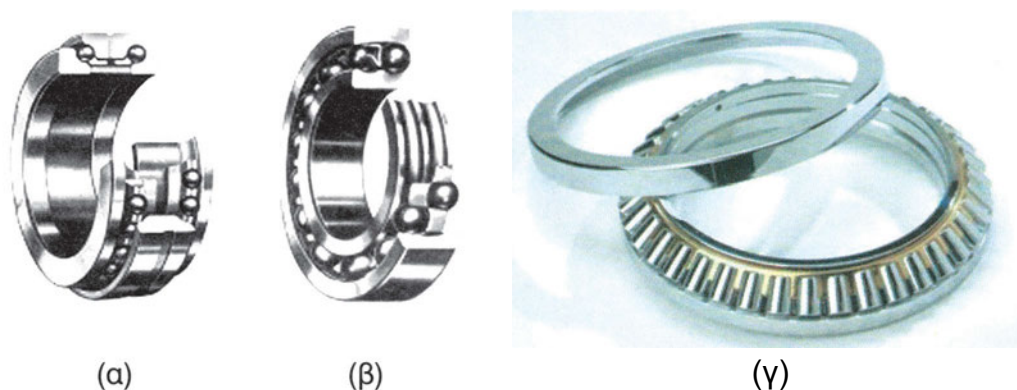
Τα έδρανα κύλισης χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην αεροπορική βιομηχανία. Διακρίνονται σε ακτινικά και αξονικά καθώς και σε σταθερά (τα οποία απαιτούν καλή ευθυγράμμιση με τον άξονα) και αυτορρυθμιζόμενα (χρησιμοποιούνται όταν οι γεωμετρικοί άξονες εδράνου και άξονα δε συμπίπτουν). Πιο αναλυτικά, οι κατηγορίες των εδράνων κύλισης είναι τα ακτινικά (εγκάρσια), σταθερά έδρανα κύλισης (μονόσφαιρα και δίσφαιρα με βαθύ αυλάκι, ένσφαιρα γωνιακής επαφής (Σχήμα 1.35α), μονοκύλινδρα, κωνικά και βελονοειδή), τα ακτινικά αυτορρυθμιζόμενα (δίσφαιρα - Σχήμα 1.35β, ακτινικά και βαρελοειδή), τα αξονικά σταθερά και τα αξονικά αυτορρυθμιζόμενα (Σχήμα 1.35γ).



Σχήμα 1.33 Χαρακτηριστικά εδράνου κύλισης



Σχήμα 1.34 Τύποι κυλιόμενων στοιχείων εδράνων κύλισης

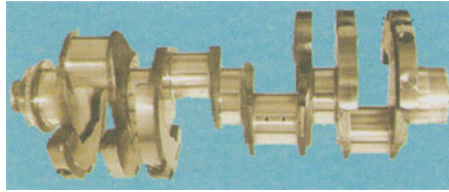


Σχήμα 1.35 Ορισμένες κατηγορίες εδράνων κύλισης

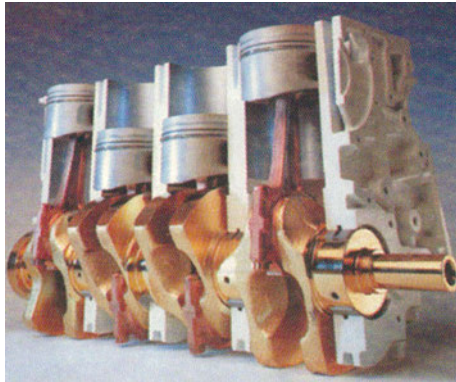
Τα έδρανα κύλισης έχουν μικρό βάρος καθώς και μικρές διαστάσεις αξονικά. Παραλαμβάνουν σημαντικό φορτίο ανά μονάδα πλάτους. Επίσης, παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό απόδοσης λόγω χαμηλών απωλειών από τριβές και χαμηλή κατανάλωση λιπαντικού, η λειτουργία τους δεν εξαρτάται από το υλικό του άξονα που στηρίζουν και κατασκευάζονται σε τυποποιημένες διαστάσεις. Δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Ως μειονεκτήματα των εδράνων κύλισης θεωρούνται το κόστος αγοράς (όσον αφορά τις αεροπορικές εφαρμογές), ο αυξημένος θόρυβος λειτουργίας και η αδυναμία να παραλάβουν κρουστικά φορτία. Ακόμη, τα έδρανα κύλισης δεν επισκευάζονται, δεν μπορούν να τοποθετηθούν σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος ακτινικά και απαιτούν πολύ προσεκτική τοποθέτηση ώστε να μην καταστραφούν από τυχόν σφιχτή εφαρμογή τους.

1.3.4 Στροφαλοφόρος άξονας ή στρόφαλος

Ο στροφαλοφόρος άξονας (**crankshaft**) μετατρέπει την παλινδρομική κίνηση που πραγματοποιεί το έμβολο και ο διωστήρας σε περιστροφική, με αποτέλεσμα την περιστροφή του έλικα.



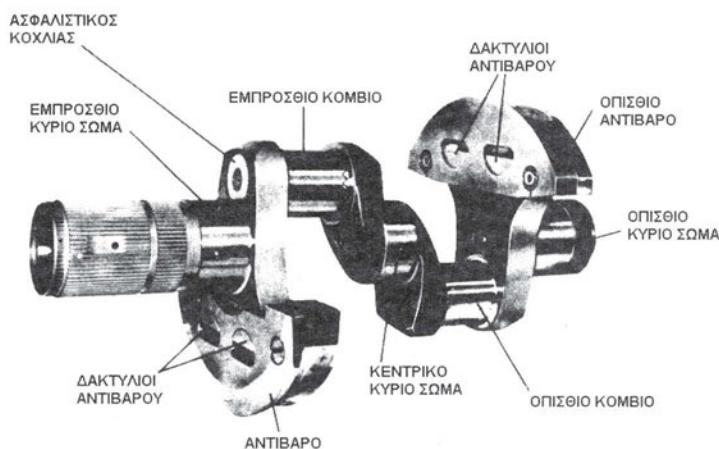
Σχήμα 1.36 Στροφαλοφόρος Άξονας



Σχήμα 1.37 Συνεργασία στροφαλοφόρου άξονα με λοιπά μέρη του κινητήρα

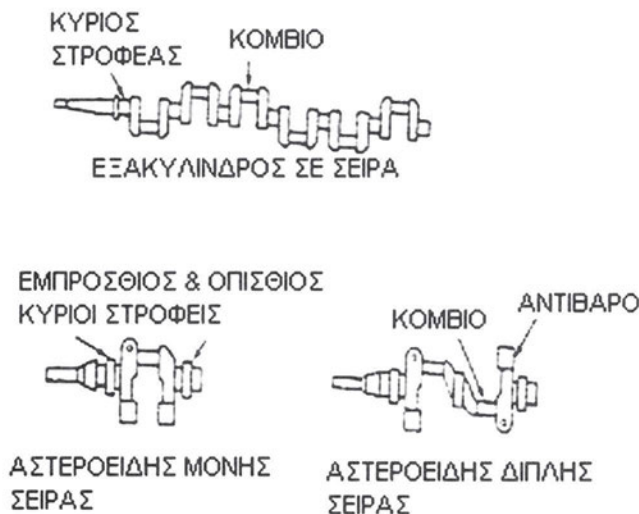
Γενικά, ο στροφαλοφόρος άξονας αποτελείται από στρόφαλους (**cranks**) τοποθετημένους σε συγκεκριμένα σημεία μεταξύ των δύο άκρων του άξονα (Σχήμα 1.36). Οι στρόφαλοι δημιουργούνται αρχικά με την εν θερμώ σφυρηλάτηση του άξονα που μόλις έχει χυτευθεί. Η τελική μορφή των στροφάλων επιτυγχάνεται με κατάλληλη μηχανουργική κατεργασία. Εναλλακτικά ο στροφαλοφόρος άξονας μπορεί να κατασκευαστεί με τη συναρμογή χυτοπρεσαριστών στροφάλων με κομβία. Ο στροφαλοφόρος άξονας φέρει τα κύρια κινητά μέρη του κινητήρα ενώ δίνει κίνηση σε διάφορα βοηθητικά συστήματα όπως αντλίες καυσίμου και λαδιού, γεννήτρια ρεύματος. Χαρακτηρίζεται, λοιπόν, ως η ραχοκοκαλιά του κινητήρα, υπόκειται σε όλες σχεδόν τις δυνάμεις που ασκούνται στον τελευταίο και για το λόγο αυτό επιβάλλεται η στιβαρή και πολύ ανθεκτική κατασκευή του. Αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση κάποιων ιδιαίτερα ανθεκτικών κραμάτων χάλυβα όπως το SAE 4340, κράμα χάλυβα - χρωμίου - νικελίου - μολυβδενίου. Στο Σχήμα 1.37 παρουσιάζεται ο τρόπος συναρμο-λόγησης του στροφαλοφόρου άξονα με τα λοιπά τμήματα του κινητήρα.

Τα μέρη που απαρτίζουν ένα στροφαλοφόρο άξονα (Σχήμα 1.38) είναι το **κύριο σώμα** (εμπρόσθιο, κεντρικό και οπίσθιο - **main journals**), το **κομβίο** (**crankpin**), ο **βραχίονας** (**crank arm** ή **crank cheek**), τα **αντίβαρα** (**counterweights**) και οι **αποσβεστήρες** (**dampers**) ή **δακτύλιοι αντίβαρου**.



Σχήμα 1.38 Τμήματα του στροφαλοφόρου άξονα

Στο Σχήμα 1.39 φαίνονται τρεις τύποι στροφαλοφόρων αξόνων.



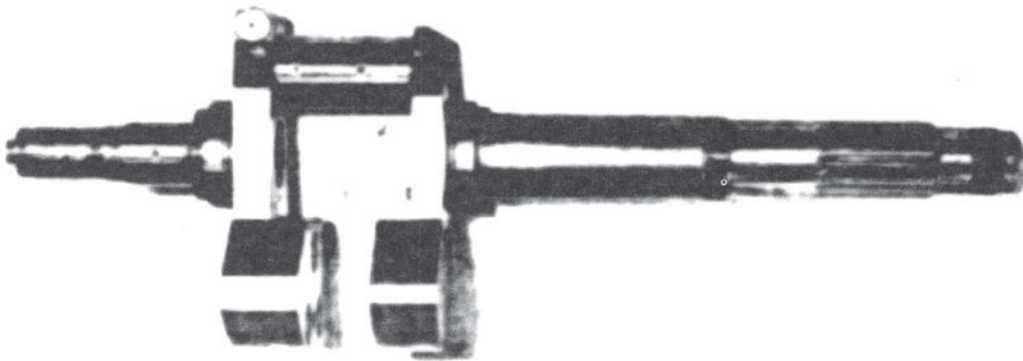
Σχήμα 1.39 Είδη στροφαλοφόρων

Το κύριο σώμα είναι το τμήμα του στροφαλοφόρου άξονα το οποίο υποστηρίζεται από ένα κύριο έδρανο. Αποτελεί το κέντρο της περιστροφής του άξονα και διατηρεί τη σωστή ευθυγράμμισή του όταν αυτός λειτουργεί υπό κανονικές συνθήκες. Το κύριο σώμα υπόκειται σε επιφανειακή κατεργασία σκλήρυνσης κατά την κατασκευή του (βάθους 0,015 έως 0,025 ίντσες) ώστε να παρουσιάζει αντοχή σε φθορά. Στους αεροπορικούς κινητήρες ο στροφαλοφόρος άξονας φέρει δύο ή και παραπάνω κύρια σώματα για να ανταπεξέρχεται στο

βάρος και τα λειτουργικά φορτία των περιστρεφόμενων και παλινδρομούντων τμημάτων του κινητήρα.

Το κομβίο φέρει το διωστήρα και είναι έκκεντρα τοποθετημένο ως προς το κύριο σώμα του άξονα. Το κομβίο είναι κατά κύριο λόγο κούφιο ώστε (α) να μειωθεί το βάρος του άξονα, (β) να υπάρξει δίοδος λαδιού για τη λίπανση του άξονα και (γ) να χρησιμοποιείται ως θάλαμος συλλογής διάφορων επικαθίσεων και ξένων σωματιδίων.

Ο βραχίονας είναι το τμήμα του άξονα που συνδέει το κομβίο με το κύριο σώμα του και για το λόγο αυτό η κατασκευή του πρέπει να είναι πολύ ανθεκτική. Σε πολλούς αεροπορικούς κινητήρες ο βραχίονας διαπερνά το κύριο σώμα και συνδέεται με αντίβαρο με σκοπό την καλή ζυγοστάθμιση του άξονα. Συνήθως, οι βραχίονες φέρουν διόδους λαδιού ώστε να επιτυγχάνεται η κυκλοφορία λαδιού λίπανσης από το κύριο σώμα στο κομβίο του στροφαλοφόρου άξονα.



Σχήμα 1.40 Στροφαλοφόρος αστεροειδούς κινητήρα

Τα αντίβαρα παρέχουν στατική ισορροπία στον άξονα. Βέβαια, στην περίπτωση που ο τελευταίος φέρει περισσότερα από δύο κομβία, δεν απαιτείται πάντοτε η χρήση αντιβάρων. Και αυτό γιατί όταν τα κομβία τοποθετούνται σε θέση συμμετρικά αντίθετη μεταξύ τους, μπορούν να φέρουν τον άξονα σε κατάσταση στατικής ισορροπίας, χωρίς την τοποθέτηση αντιβάρων. Από την άλλη πλευρά, ένας στροφαλοφόρος άξονας που φέρει ένα μόνο κομβίο - όπως αυτός που χρησιμοποιείται σε αστεροειδή κινητήρα - πρέπει να συνοδεύεται από τα κατάλληλα αντίβαρα τα οποία θα υπερκεράσουν το βάρος του κομβίου που είναι συνδεδεμένο με το διωστήρα και το έμβολο. Ένας τέτοιος άξονας φαίνεται στο Σχήμα 1.40.

Οι δυναμικοί αποσβεστήρες εξουδετερώνουν τις φυγοκεντρικές δυνάμεις και τις ταλαντώσεις που προέρχονται από την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Έχει υπολογιστεί ότι η δύναμη που ασκείται από το έμβολο του κινητήρα στο κομβίο του άξονα στην αρχή του 3ου χρόνου ενός τετράχρονου κινητήρα είναι από 35kN έως 45kN. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα η δύναμη αυτή εφαρμόζεται ανά τακτά διαστήματα στο ή στα κομβία. Αν η συχνότητα της δύναμης είναι τέτοια ώστε, να πλησιάσει την ιδιοσυχνότητα του στροφαλοφόρου άξονα και του έλικα ως μονάδα, τότε το αποτέλεσμα θα είναι μία ταλάντωση πολύ μεγάλου βαθμού και επικινδυνότητας. Οι δυναμικοί αποσβεστήρες, τοποθετημένοι σε μικρές, κατάλληλες οπές (συνήθως στα αντίβαρα, βλ. και Σχήμα 1.38 - δακτύλιοι αντίβαρου), μετακινούνται σε κατεύθυνση τέτοια και με ανάλογη συχνότητα, ώστε να επιτυγχάνουν την μείωση της έντασης της ταλάντωσης αυτής.

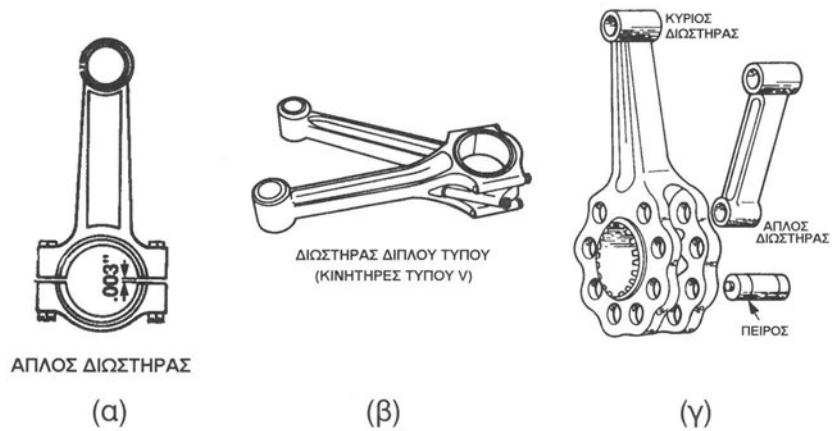
1.3.5 Διωστήρας

Ο διωστήρας (ή μπιέλα - **connecting rod**) αποτελεί το τμήμα του κινητήρα που συνδέει το έμβολο με το στροφαλοφόρο άξονα για τη μετατροπή της παλινδρομικής κίνησης των εμβόλων σε περιστροφική στον έλικα (το άνω τμήμα του εκτελεί παλινδρομική κίνηση και το κάτω περιστροφική). Ουσιαστικά, ο διωστήρας είναι μία ευθύγραμμη ράβδος με πεπλατυσμένα τα δύο της άκρα και τέτοια διατομή, ώστε να εξασφαλίζεται μέγιστη αντοχή με μικρό βάρος. Σε αρκετές περιπτώσεις, στο εσωτερικό του διωστήρα, υπάρχει εσωτερική οπή για τη μεταφορά ελαίου για τη λίπανση του χιτωνίου και του άνω τμήματος του εμβόλου. Ο διωστήρας καταπονείται σε εφελκυσμό, θλίψη και λυγισμό λόγω των δυνάμεων που μεταφέρονται από το έμβολο στο στροφαλοφόρο άξονα και αντίστροφα. Για την κατασκευή του χρησιμοποιείται κράμα (σφυρήλατου) χυτοχάλυβα και για μικρότερο βάρος, κράματα αλουμινίου. Για την αποφυγή της φθοράς του διωστήρα στις αρθρώσεις με το κομβίο του στροφάλου και τον πείρο του εμβόλου, χρησιμοποιούνται στα σημεία αυτά έδρανα ολίσθησης.

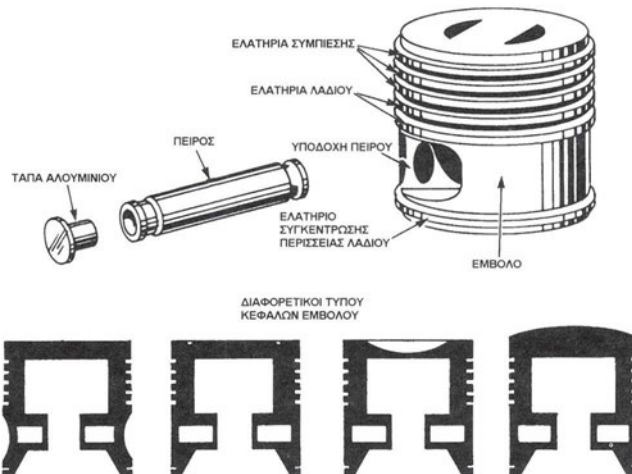
Διακρίνουμε τρεις τύπους διωστήρων:

- τον **απλό (plain type)**, που είναι ίδιος για όλους τους κυλίνδρους του κινητήρα και φέρει διαιρετό έδρανο ολίσθησης (Σχήμα 1.41α). Συνήθως χρησιμοποιείται σε κινητήρες εν σειρά και αντίθετων εμβόλων.
- το **διπλό (fork-and-blade)**, με διαιρετά μέρη που συνδέει δύο έμβολα στον ίδιο στροφάλο (Σχήμα 1.41β). Χρησιμοποιείται σε κινητήρες τύπου V, και

- το συνδυασμό κύριου και βοηθητικών διωστήρων (master and articulated) που χρησιμοποιείται, συνήθως, στους ακτινικούς κινητήρες (Σχήμα 1.41γ). Το έμβολο ενός από τους κυλίνδρους σε κάθε σειρά συνδέεται με το στροφαλοφόρο άξονα μέσω ενός κύριου διωστήρα. Τα υπόλοιπα έμβολα της σειράς συνδέονται με τον κύριο διωστήρα μέσω ενός βοηθητικού. Για παράδειγμα, σε έναν κινητήρα με 18 κυλίνδρους που είναι διατεταγμένοι σε δύο σειρές, υπάρχουν δύο κύριοι διωστήρες και 16 βοηθητικοί. Η διατομή των βοηθητικών διωστήρων έχει, συνήθως, σχήμα I ή H.



Σχήμα 1.41 (α) Απλός διωστήρας, (β) Διπλός διωστήρας, (γ) Συνδυασμός κύριου και βοηθητικών διωστήρων.



Σχήμα 1.42 Το έμβολο, τα εξαρτήματά του και διάφοροι τύποι του.

1.3.6 Έμβολο - πείρος - τα ελατήρια του εμβόλου

Το έμβολο (**piston**) εκτελεί παλινδρομική κίνηση μεταξύ δύο ακραίων θέσεων (ΑΝΣ και ΚΝΣ) μέσα στον κύλινδρο. Με τον τρόπο αυτό μεταφέρει, μέσω του διωστήρα, τη δύναμη των καυσαερίων, που παράγονται από την καύση του μείγματος αέρα - καυσίμου και εκτονώνονται, στο στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα. Ουσιαστικά, το έμβολο ενεργεί ως κινούμενος τοίχος μέσα στο θάλαμο καύσης. Το σχήμα του είναι κυλινδρικό με την άνω επιφάνειά του να είναι επίπεδη, κοίλη ή κυρτή, ανάλογα με κάποια ιδιαίτερα λειτουργικά χαρακτηριστικά του, όπως π.χ. η ψύξη του. Στο κάτω εσωτερικό τμήμα του εμβόλου εδράζεται ο **πείρος** με τον οποίο συνδέεται ο διωστήρας. Στο Σχήμα 1.42 φαίνεται ένα έμβολο με τα εξαρτήματά του καθώς και οι διαφοροποιήσεις που απαντώνται όσον αφορά στις κεφαλές του. Τα πλευρικά τοιχώματα του εμβόλου έχουν κατάλληλες υποδοχές για την τοποθέτηση των **ελατηρίων συμπίεσης και λίπανσης**, τη χρησιμότητα των οποίων θα εξετάσουμε παρακάτω. Στο εσωτερικό τμήμα του εμβόλου κυκλοφορεί, μέσω **ειδικών διόδων**, λάδι (ή νερό) για την κατάλληλη ψύξη του. Στις περισσότερες περιπτώσεις το λάδι ψύξης κυκλοφορεί μέσω του διωστήρα. Μετά την κυκλοφορία του στο έμβολο, χύνεται στην ελαιολεκάνη ή επιστρέφει μέσω των ειδικών διόδων στο δίκτυο λίπανσης.

Τα έμβολα ενός **αεροπορικού κινητήρα** κατασκευάζονται από κατάλληλα **κράματα αλουμινίου**. Σε άλλες εφαρμογές, τα έμβολα των κινητήρων κατασκευάζονται και από **χυτοσίδηρο ή χυτοχάλυβα**. Το άνω τμήμα του εμβόλου καταπονείται σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Για το λόγο αυτόν, το άνω τμήμα φέρει τοιχώματα μεγαλύτερου πάχους από το πλευρικό τμήμα. Επίσης, στο άνω τμήμα δίνεται μία **ελαφριά κωνικότητα** - ως επί το πλείστον στα έμβολα των μεγάλων κινητήρων ξηράς και θάλασσας. Οι φθορές παρουσιάζονται πιο συχνά στο άνω τμήμα του εμβόλου και οφείλονται σε υπερθέρμανση, κακή ποιότητα καυσίμου (η οποία μπορεί να επιφέρει και τη δημιουργία στρώματος καταλοίπων στην άνω επιφάνεια) και μη κανονική ψύξη. Έχουν τη μορφή οξειδώσεων, διαβρώσεων ακόμη και ρωγμών που μπορούν να φτάσουν μέχρι τη θραύση.

Ας εξετάσουμε με περισσότερη λεπτομέρεια τα **ελατήρια** του εμβόλου. Το έμβολο φέρει ειδικές εγκοπές στην περιφέρειά του. Εκεί τοποθετούνται τα ελατήρια του εμβόλου, τα οποία έχουν σχήμα κυκλικού δακτυλίου διακοπτόμενο σε ένα σημείο. Όταν είναι συμπιεσμένα μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου, η εξωτερική τους διάμετρος είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή του εμβόλου. Για το λόγο αυτό, μεταξύ του εμβόλου και των τοιχωμάτων του κυλίνδρου υπάρχει

ένα διάκενο. Η προσαρμογή των ελατηρίων στο έμβολο εξασφαλίζεται από την τάση που έχουν εκ κατασκευής να εκταθούν. Φυσικά, οι κατασκευαστές λαμβάνουν υπόψη τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας των ελατηρίων και εξασφαλίζουν ανοχές για την τοποθέτησή τους, τόσο στις εγκοπές του εμβόλου όσο και μεταξύ των άκρων τους.

Τα ελατήρια διακρίνονται σε **ελατήρια συμπίεσης** και **ελατήρια λαδιού**. Τα πρώτα αποκλείουν τη διόδο των καυσαερίων προς το κάτω τμήμα του εμβόλου και το στροφαλοθάλαμο. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζουν τη διατήρηση της συμπίεσης του κυλίνδρου, ενώ αποκλείεται και η αλλοίωση του λαδιού λίπανσης από τα καυσαέρια. Παράλληλα, κατά τη μετακίνησή τους, έρχονται σε επαφή με τα τοιχώματα του κυλίνδρου και έτσι, μεταφέρουν τη θερμότητα που αναπτύσσεται σε αυτά. Τα ελατήρια λαδιού εξασφαλίζουν τη στεγανότητα του θαλάμου καύσης από το λάδι λίπανσης που εκτινάσσεται από το στροφαλοθάλαμο ή κυκλοφορεί μέσω οπών του εμβόλου. Επίσης, ελέγχουν την ποσότητα του λαδιού αυτού. Στους **αεροπορικούς κινητήρες**, τα **ελατήρια συμπίεσης** είναι συνήθως 3 ενώ τα **ελατήρια λαδιού** από 1 έως 3. Τα ελατήρια συμπίεσης βρίσκονται πάντοτε τοποθετημένα πάνω από τα ελατήρια λαδιού. Από τα τελευταία, ένα συνήθως τοποθετείται στο κατώτερο άκρο του εμβόλου με σκοπό τη συγκέντρωση της περίσσειας λαδιού και τη διοχέτευση του, μέσω των οπών των εγκοπών του άλλου ή των άλλων ελατηρίων λαδιού, στο στροφαλοθάλαμο. Τονίζεται ότι τα ελατήρια τοποθετούνται με τις εγκοπές τους σε αντιδιαμετρική θέση διαδοχικά, ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα διαδοχικής διαφυγής καυσαερίων ή λαδιού μεταξύ τους. Η περιοχή των ελατηρίων που βρίσκεται αντιδιαμετρικά της εγκοπής τους υφίσταται ιδιαίτερη κατεργασία κατά την κατασκευή λόγω των υψηλών καταπονήσεων που δέχεται κατά την αφαίρεση και την τοποθέτησή τους. Συνήθως, τα ελατήρια των αεροπορικών κινητήρων είναι κατασκευασμένα από **κράματα χυτοχάλυβα με περιεκτικότητα σε αλουμίνιο, χρώμιο και μολυβδένιο** με υψηλές ανοχές σε εφελκυσμό. Το υλικό κατασκευής τους πρέπει να είναι πάντα πιο μαλακό από αυτό των χιτωνίων των κυλίνδρων, ώστε η φθορά που θα προέλθει από την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των δύο στοιχείων, να επηρεάζει τα ελατήρια. Επίσης, φθορά παρουσιάζεται στην ένωση των άκρων τους και στα τοιχώματα των εγκοπών τους και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ανοχών τους. Γενικά, οι φθορές αυτές, όταν ξεπεράσουν ένα προκαθορισμένο από τον κατασκευαστή όριο, επιφέρουν απώλεια στη συμπίεση του κινητήρα.

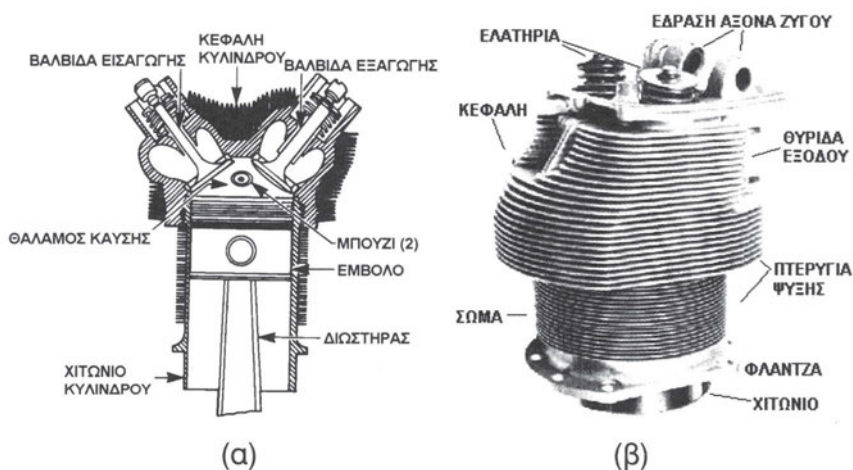
Ο πείρος του εμβόλου (pin) έχει κυλινδρικό σχήμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.42. Προσαρμόζεται με δύο βύσματα από μαλακό κράμα αλουμινίου σε

αντίστοιχες κυλινδρικές οπές στα τοιχώματα του εμβόλου και συνδέεται με το διωστήρα. Ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, ο πείρος εμφανίζεται σε διάφορες κατασκευαστικές εκδοχές (εσωτερική διπλή κωνικότητα, κοίλος, συμπαγής κλπ). Η μέγιστη καταπόνησή του πραγματοποιείται κατά τη φάση της εκτόνωσης του κινητήρα, οπότε και μεταφέρεται (μέσω αυτού προς το διωστήρα) η δύναμη που παράγεται από την καύση του μείγματος αέρα - καυσίμου. Βέβαια, και κατά τη διάρκεια των άλλων φάσεων ο πείρος υφίσταται καταπονήσεις, αλλά σε μικρότερη ένταση. Το υλικό κατασκευής των πείρων είναι συνήθως κράμα αλουμινίου με περιεκτικότητα σε χρώμιο, μολυβδένιο και βανάδιο, το οποίο παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε εφελκυστικά φορτία.

1.3.7 Κύλινδροι - Κεφαλές κυλίνδρων

Ο κύλινδρος (**cylinder**) είναι το τμήμα του κινητήρα όπου παράγεται η ισχύς. Σχηματίζει το θάλαμο όπου πραγματοποιείται η καύση του καυσίμου μείγματος και η εκτόνωση των καυσαερίων. Σε αυτόν, λειτουργεί το σύστημα εμβόλου και διωστήρα, στηρίζονται οι βαλβίδες, και ένα τμήμα του μηχανισμού κίνησής τους, καθώς και οι σπινθηριστές (μπουζί). Η τομή κυλίνδρου αερόψυκτου κινητήρα φαίνεται στο Σχήμα 1.43α ενώ στο Σχήμα 1.43β φαίνεται η εξωτερική όψη του κυλίνδρου.

Στην καλή σχεδίαση και κατασκευή του κυλίνδρου σημαντικό ρόλο έχουν οι ακόλουθοι παράγοντες:



Σχήμα 1.43 (α) Τομή και (β) εξωτερική όψη κυλίνδρου

- Το υλικό κατασκευής του πρέπει να παρουσιάζει μεγάλη αντοχή ως προς τις εσωτερικές πιέσεις που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα και να είναι ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες και σε διάβρωση.
- Το υλικό κατασκευής πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφρύ, με δεδομένη την αντοχή του, ώστε να μην αυξάνεται υπέρμετρα το βάρος του κινητήρα.
- Το υλικό κατασκευής πρέπει να έχει καλή συμπεριφορά όσον αφορά τη μετάδοση θερμότητας, για να εξασφαλίζεται η αποδοτική ψύξη του κυλίνδρου.
- Η σχεδίασή του πρέπει να είναι, όσο γίνεται, απλή και οικονομική για λόγους κατασκευής, επιθεώρησης και επισκευής.

Οι κύλινδροι των αερόψυκτων εμβολοφόρων κινητήρων αποτελούνται από δύο βασικά μέρη: την **κεφαλή (cylinder head)** και το **σώμα (cylinder barrel)** μέσα στο οποίο βρίσκεται στο **χιτώνιο (skirt)**. Η κεφαλή του κυλίνδρου (ή κυλινδροκεφαλή) κατασκευάζεται ξεχωριστά για κάθε κύλινδρο στους αερόψυκτους κινητήρες ή ως ένα σώμα (μονομπλόκ) για όλους τους κυλίνδρους στους υγρόψυκτους κινητήρες. Κατά τη συναρμολόγηση, η κεφαλή θερμαίνεται και το σώμα ψύχεται, οπότε επιτυγχάνεται η καλή συναρμογή τους, εντός των ορίων συγκεκριμένων κατασκευαστικών ανοχών. Σε μεμονωμένες περιπτώσεις, κατασκευάζονται κύλινδροι μονομπλόκ, οπότε το σώμα και το χιτώνιο ταυτίζονται.

Η κεφαλή του κυλίνδρου σχηματίζει, μαζί με τα τοιχώματα του σώματος και του χιτωνίου, το θάλαμο καύσης. Επιπρόσθετα, συνεισφέρει στο βέλτιστο τρόπο απαγωγής θερμότητας από αυτόν. Συνήθως, για την κατασκευή της κεφαλής και του σώματος χρησιμοποιούνται κράματα αλουμινίου με χαλκό, ψευδάργυρο και κασσίτερο. Χυτεύονται εύκολα και έχουν καλή μηχανική συμπεριφορά κατά τη μηχανουργική κατεργασία, είναι ελαφριά ενώ παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στο διαβρωτικό περιβάλλον καύσης που δημιουργείται από τις ενώσεις του μολύβδου. Η στήριξη της κεφαλής επιτυγχάνεται είτε με κοχλίες πάνω στον κύλινδρο κατ' ευθείαν, είτε επί του σώματος του κινητήρα με προτεταμένες βίδες ή μπουζόνια και με την απολύτως προδιαγεγραμμένη από τον κατασκευαστή ροπή σύσφιξης. Στην περιφέρεια της επαφής της κεφαλής και του κυλίνδρου τοποθετείται **ειδικό παρέμβυσμα (φλάντζα)**. Αυτό έχει σκοπό την καλή στεγανοποίηση της σύνδεσης, την αποφυγή διαρροής καυσαερίων από το θάλαμο καύσης και την αποφυγή αναρρόφησης ψυκτι-

κού προς τους κυλίνδρους. Το παρέμβυσμα αυτό είναι κατασκευασμένο από υλικά ανθεκτικά στη θερμοκρασία και μεταλλικά στοιχεία που εξασφαλίζουν απόλυτη στεγανότητα.

Η κεφαλή και το σώμα των αερόψυκτων κινητήρων φέρουν στο εξωτερικό τους μία σειρά από **πτερύγια (cooling fins)**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.43. Αυτά έχουν ως σκοπό να αυξήσουν την επιφάνεια απαγωγής της θερμότητας από τον κύλινδρο, να επιτευχθεί καλύτερη ροή του αέρα και, τελικά, πιο αποτελεσματική ψύξη. Οι αερόψυκτοι κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε αεροσκάφη για να εκμεταλλεύονται το ρεύμα του αέρα που δημιουργείται από την κίνηση. Για την καλύτερη ψύξη τα πτερύγια έχουν μειωμένο πάχος και αυξημένο μήκος. Λόγω της διαφορετικής κατανομής της θερμοκρασίας στις επιφάνειες του κυλίνδρου, η επιφάνεια των πτερυγίων μεταβάλλεται στα διάφορα σημεία του. Στο τμήμα της κεφαλής τριγύρω από τη βαλβίδα εξαγωγής παρουσιάζεται η μέγιστη επιφάνειά τους (στο εσωτερικό της περιοχής αυτής αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες κατά τη λειτουργία του κινητήρα - Σχήμα 1.43). Τα πτερύγια ψύξης του σώματος μπορούν να είναι αποσπώμενα ή όχι, ανάλογα με το συγκεκριμένο κινητήρα.

Τα χιτώνια τοποθετούνται στο εσωτερικό τμήμα του σώματος και αποτελούν, ουσιαστικά, τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης. Πρέπει να είναι ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την καύση, ενώ υψηλή πρέπει να είναι και η αντοχή τους στις μηχανικές καταπονήσεις. Συνήθως για την κατασκευή των χιτωνίων χρησιμοποιείται σκληρός χυτοσίδηρος, χυτοσίδηρος με περιεκτικότητα σε νικέλιο ή χρώμιο, ή νικελιοχάλυβας. Η εσωτερική επιφάνεια υπόκειται σε επιφανειακή σκλήρυνση ή επιχρωμίωση ώστε να αποκτήσει αντοχή στις προαναφερόμενες καταπονήσεις. Στην περίπτωση υγρόψυκτου κινητήρα, στο εσωτερικό του κυλίνδρου - μεταξύ στροφαλοθαλάμου και χιτωνίου - υπάρχουν θάλαμοι κυκλοφορίας του υγρού ψύξης.

Οι φθορές που παρουσιάζονται στον κύλινδρο ή τα χιτώνιά του χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Τα χιτώνια υπόκεινται στις τριβές των ελατηρίων του εμβόλου και στη διαβρωτική δράση του λαδιού λίπανσης, του καυσίμου και των καυσαερίων. Οι συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα επιφέρουν καταπονήσεις από υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Οι καταπονήσεις αυτές είναι μεγαλύτερες στο άνω τμήμα των χιτωνίων. Για το λόγο αυτό, σε αρκετές περιπτώσεις, το τμήμα αυτό κατασκευάζεται με μεγαλύτερο πάχος τοιχώματος. Επίσης, μία σοβαρή αιτία καταπονήσεων των χιτωνίων αποτελεί η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εσωτερικής πλευράς τους, η οποία έρχεται σε άμεση επαφή με

τα προϊόντα της καύσης και της εξωτερικής πλευράς που ψύχεται. Το αποτέλεσμα της διαφοράς αυτής είναι η δημιουργία εσωτερικών τάσεων οι οποίες μπορούν να επιφέρουν ρωγμές στο υλικό του χιτωνίου. Ακόμη, οι παραπάνω καταπονήσεις δημιουργούν την **κωνικότητα**, η οποία αποτελεί αλλοίωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κυλίνδρου. Τέλος, μία συνηθισμένη, όσο και σοβαρή, καταπόνηση των χιτωνίων προέρχεται από τις πλευρικές δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την παλινδρομική κίνηση του εμβόλου και έχει τη μορφή της ανομοιόμορφης (ελλειψοειδούς) φθοράς. Η φθορά αυτή είναι γνωστή με την ονομασία **οβάλ** και διαπιστώνεται (μέτρηση οβαλότητας) με την τοποθέτηση ενός μικρόμετρου παράλληλα και κάθετα στον στροφαλοφόρο άξονα (Σχήμα 1.44).

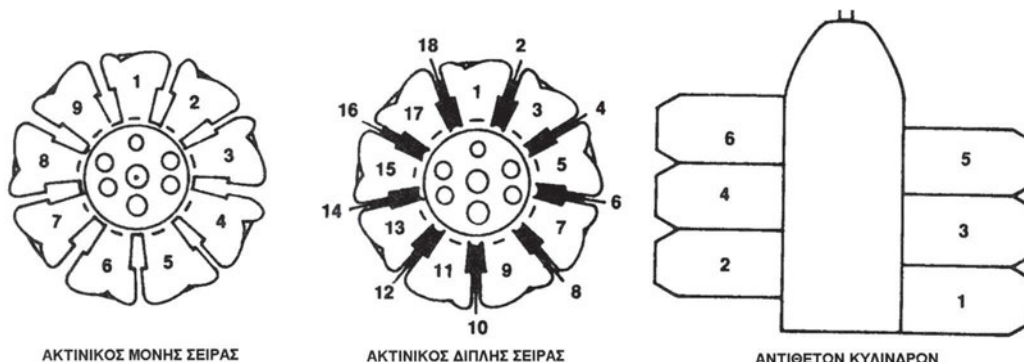


Σχήμα 1.44 Μέτρηση οβαλότητας κυλίνδρου

Οι φθορές αυτές του κυλίνδρου έχουν ως αποτέλεσμα την εισροή καυσαερίων στο στροφαλοθάλαμο και στο φίλτρο του αέρα. Τότε δημιουργείται υπερθέρμανση του λαδιού λίπανσης, καθώς και μείωση της συμπίεσης και της απόδοσης του κινητήρα. Για την επισκευή των φθορών αυτών **πραγματοποιείται ειδική επεξεργασία των κυλινδρικών επιφανειών** - πλάνισμα της κυλινδροκεφαλής, τρίψιμο των εδρών των βαλβίδων, αντικατάσταση των οδηγών των βαλβίδων, επισκευή σπειρώματος τοποθέτησης μπουζί, κ.ά. Για την αποκατάσταση του οβάλ, σε ορισμένες περιπτώσεις, ο κατασκευαστής προτείνει τη μηχανουργική κατεργασία του κυλίνδρου σε μεγαλύτερη διάμετρο, την αποκατάσταση της αρχικής διαμέτρου με επιχρωμίωση ή και την αλλαγή του χιτωνίου (όταν υπάρχει).

Στους αεροπορικούς κινητήρες υπάρχει ειδικός τρόπος **αρίθμησης των κυλίνδρων**. **Εμπρόσθιο τμήμα** του κινητήρα θεωρείται εκείνο στο οποίο καταλήγει ο άξονας του έλικα, ανεξάρτητα με τον τρόπο που είναι τοποθετημένος ο κινητήρας στο αεροσκάφος. **Το δεξιό και το αριστερό** τμήμα του κινητήρα

καθορίζονται όταν ο παρατηρητής κοιτάει από το οπίσθιο προς το εμπρόσθιο τμήμα, ενώ με τον ίδιο τρόπο καθορίζεται και η φορά περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα. Πιο συγκεκριμένα, στους κινητήρες εν σειρά οι κύλινδροι αριθμούνται ξεκινώντας από το οπίσθιο τμήμα όπως και στους κινητήρες τύπου V, με τη μόνη διάκριση σε κυλίνδρους αριστερής και δεξιάς πλευράς. Στους αστεροειδείς κινητήρες απλής σειράς κυλίνδρων η αρίθμηση πραγματοποιείται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού από το οπίσθιο τμήμα και με αφετηρία τον υψηλότερο κύλινδρο (αυτόν που βρίσκεται στη δωδέκατη ώρα, σύμφωνα με την ορολογία των τεχνικών). Στους αστεροειδείς διπλής σειράς χαρακτηρίζεται ως πρώτος, ο υψηλότερος κύλινδρος της οπίσθιας σειράς. Ο δεύτερος κύλινδρος είναι ο αμέσως επόμενος κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού αλλά στην εμπρόσθια σειρά κ.ο.κ. Παραδείγματα σειράς αρίθμησης κυλίνδρων φαίνονται στο Σχήμα 1.45.

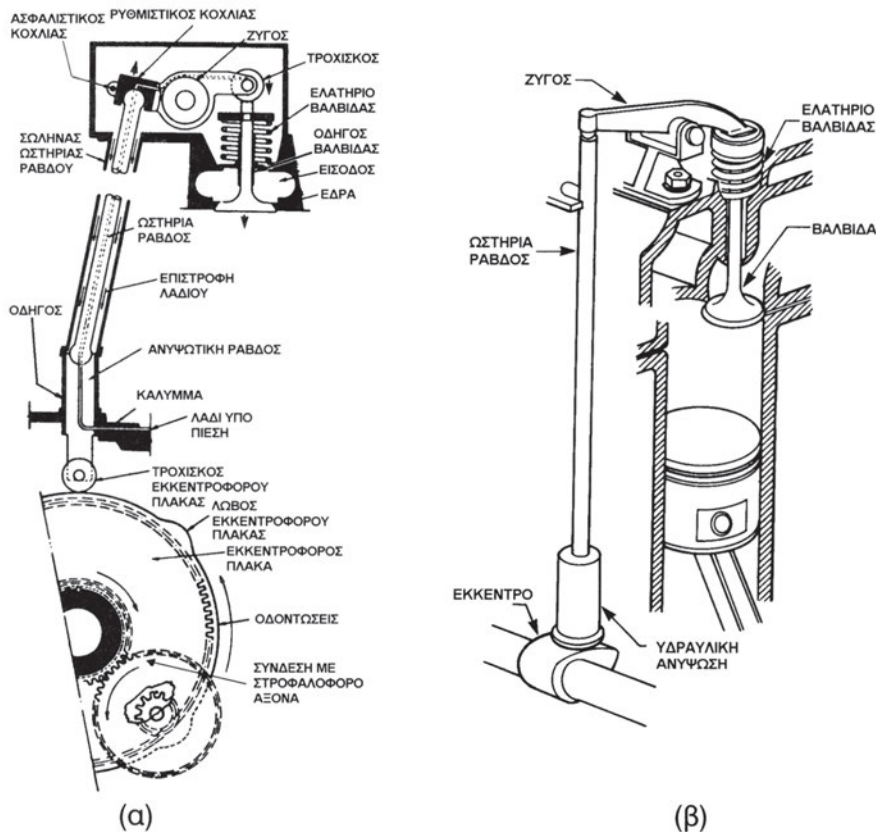


Σχήμα 1.45 Παραδείγματα σειράς αρίθμησης κυλίνδρων

Ιδιαίτερη σημασία για τη μελέτη, επισκευή και συντήρηση των πολυκύλινδρων κινητήρων έχει η **σειρά καύσης**. Το έμβολο αποδίδει ενέργεια στο στροφαλοφόρο άξονα κατά τη φάση της εκτόνωσης ενώ στις άλλες φάσεις απορροφάται ενέργεια από τον άξονα. Έτσι, στον άξονα εξασκείται δύναμη από το έμβολο του κάθε κυλίνδρου μόνο για ένα μικρό, δεδομένο χρονικό διάστημα. Για το λόγο αυτόν, έχει καθοριστεί μία συγκεκριμένη χρονική σειρά καύσης σε κάθε κύλινδρο ώστε η εξασκούμενη, από τον καθένα από αυτούς, δύναμη προς τον άξονα να είναι όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφη και σταθερή για την αποφυγή κραδασμών. Η σειρά καύσης αυτή εξαρτάται από το είδος του κινητήρα και τη διάταξη των κυλίνδρων του. Για παράδειγμα, η σειρά έναυσης σε έναν εν σειρά κινητήρα με έξι κυλίνδρους είναι 1-5-3-6-2-4. Ένας κινητήρας αντίθετων εμβόλων με έξι κυλίνδρους έχει σειρά έναυσης 1-4-5-2-3-6, λαμβάνοντας ως ζεύγη κάθε δύο αντιτιθέμενους κυλίνδρους.

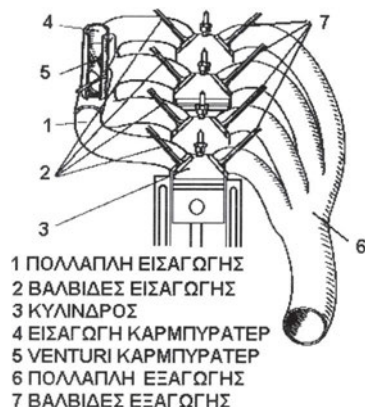
1.3.8 Βαλβίδες

Με το περιοδικό άνοιγμα και κλείσιμο των βαλβίδων (**valves**) επιτυγχάνεται η **εισαγωγή του μείγματος αέρα - καυσίμου** (σε βενζινοκινητήρα) στο θάλαμο καύσης και η **εξαγωγή των καυσαερίων**, που παράχθηκαν κατά την καύση, από αυτόν. Οι σπές που επιτρέπουν τις διεργασίες αυτές βρίσκονται πάνω στην κεφαλή του κυλίνδρου. Ο αριθμός των **βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής** σε κάθε κύλινδρο εξαρτάται από το σχεδιασμό του κάθε κινητήρα. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.46, μία βαλβίδα αποτελείται από ένα **επίμηκες κυλινδρικό στέλεχος** το οποίο παλινδρομεί μέσα σε σταθερό οδηγό και φέρει λεπτή και πλατιά κεφαλή στο ένα άκρο του. Το ελατήριο που την περιβάλλει είναι αυτό που την κρατά στην κλειστή θέση. Το ελατήριο στηρίζεται στο ένα του άκρο επάνω σε σταθερό σημείο του κινητήρα, ενώ στο άλλο άκρο του ασφαρίζεται σε εγκοπή που φέρει το στέλεχος της βαλβίδας. Η βαλβίδα ανοίγει με την ώθηση του ωστήρα της. Αυτός παίρνει κίνηση από τον εκκεντροφόρο άξονα, τη λειτουργία του οποίου θα εξετάσουμε παρακάτω. Οι βαλβίδες ανοίγουν πάντα προς το εσωτερικό του κυλίνδρου.



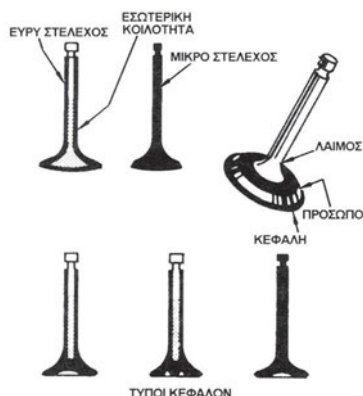
Σχήμα 1.46 Τα μέρη που αποτελούν το μηχανισμό κίνησης των βαλβίδων (α) ακτινικού και (β) κινητήρα αντίθετων εμβόλων

Η είσοδος του καύσιμου μείγματος και η έξοδος των καυσαερίων πραγματοποιούνται μέσω αγωγών, ιδιαίτερων για κάθε κύλινδρο (Σχήμα 1.47). Οι αγωγοί εισαγωγής κάθε κυλίνδρου ενώνονται σε κάποιο σημείο τους και σχηματίζουν την πολλαπλή σωλήνωση εισαγωγής η οποία, με τη σειρά της, συνδέεται με τον **αναμεικτήρα (carburetor)** αέρα - καυσίμου. Οι αγωγοί εξαγωγής των καυσαερίων κάθε κυλίνδρου ενώνονται και σχηματίζουν την πολλαπλή σωλήνωση εξαγωγής η οποία καταλήγει στην εξάτμιση.



Σχήμα 1.47 Τροφοδοσία καυσίμου μείγματος και απαγωγή καυσαερίων

Εξετάζοντας τη γεωμετρία της βαλβίδας (Σχήμα 1.48) παρατηρούμε ότι η **κεφαλή** της έχει σχήμα κολουρου κώνου, με γωνία έδρασης 30° ή 45° . Στην κεφαλή του κυλίνδρου (έδρα της βαλβίδας) υπάρχει η αντίστοιχη διαμόρφωση, ώστε να επιτυγχάνεται τέλεια εφαρμογή και στεγανότητα. Η κεφαλή της βαλβίδας έχει σχήμα κοίλο ή κυρτό - προς την πλευρά του κυλίνδρου. Σε κάποιες περιπτώσεις, η κεφαλή είναι επίπεδη ή φέρει κυκλική αυλάκωση.



Σχήμα 1.48 Οι διάφορες μορφές των βαλβίδων

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής δεν είναι δυνατό να αντικαταστήσουν η μία την άλλη, ακόμη και όταν έχουν το ίδιο σχήμα, διότι οι έδρες τους υφίστανται διαφορετική επεξεργασία κατά την κατασκευή. Κατασκευαστικά υλικά για τις **βαλβίδες εισαγωγής** είναι διάφορα κράματα χάλυβα με νικέλιο, χρώμιο ή και συνδυασμό τους, τα οποία υφίστανται σκλήρυνση. Οι βαλβίδες εισαγωγής έχουν το πλεονέκτημα ότι ψύχονται κατά την εισαγωγή του καύσιμου μείγματος. Οι **βαλβίδες εξαγωγής** κατασκευάζονται από ωστενιτικό νικέλιο - χρώμιο - χάλυβα ώστε να επιδεικνύουν αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις λειτουργίας καθώς και στη διαβρωτική και οξειδωτική δράση των καυσαερίων.

Σε μεγάλους κινητήρες οι βαλβίδες φέρουν εσωτερική κοιλότητα ώστε να μειωθεί το βάρος τους αλλά και να κυκλοφορεί υγρό ψύξης. Στους αεροπορικούς κινητήρες, στην εσωτερική κοιλότητα τοποθετείται άλας λιθίου και νατρίου, το οποίο υγροποιείται στις θερμοκρασίες λειτουργίας και απορροφά μέρος της παραγόμενης θερμότητας.

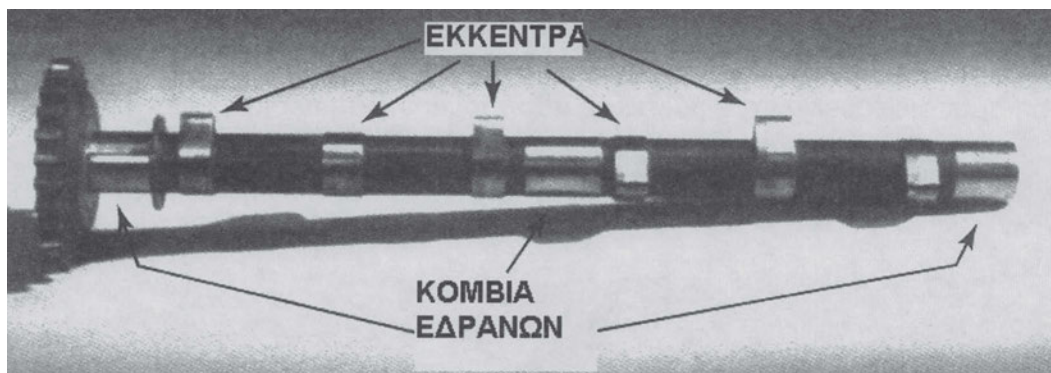
Τα σημεία των βαλβίδων στα οποία εμφανίζονται κυρίως φθορές είναι οι έδρες οι οποίες επικαλύπτονται από στελλίτη ή βολφράμιο για την αύξηση της αντοχής τους στις κρουστικές καταπονήσεις κατά την έδρασή τους στην κεφαλή.

Κλείνοντας την παρουσίαση των βαλβίδων ας μιλήσουμε λίγο **για τα ελατήρια**. Είναι ελικοειδή κυλινδρικά, έχουν περίπου δέκα σπείρες και κατασκευάζονται από χυτοχάλυβα υψηλής αντοχής με προσμίξεις πυριτίου και μαγνησίου. Καταπονούνται από τις θερμοκρασίες που τους μεταφέρονται από το στέλεχος των βαλβίδων και από τις συνεχείς μεταβαλλόμενες τάσεις. Συνήθως, τοποθετούνται δύο ή και τρία διαφορετικά ελατήρια, το ένα μέσα στο άλλο, ώστε σε περίπτωση θραύσης του ενός να αντιμετωπιστεί η πτώση της βαλβίδας μέσα στον κύλινδρο.

1.3.9 Σύστημα κίνησης βαλβίδων και εκκεντροφόρος άξονας

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα ελατήρια κρατούν τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές. Για να ανοίξουν, πρέπει με κάποιο τρόπο να υπερνικηθεί η δύναμη των ελατηρίων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη λειτουργία

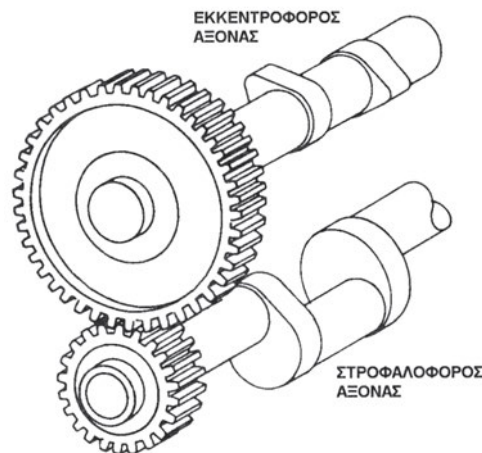
του **εκκεντροφόρου άξονα (camshaft, Σχήμα 1.49)** ο οποίος κινείται από το στροφαλοφόρο άξονα με τη συνεργασία οδοντωτών τροχών.



Σχήμα 1.49 Εκκεντροφόρος άξονας

Ο εκκεντροφόρος άξονας φέρει τα **έκκεντρα (κνώδακες, cams)**, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μία βαλβίδα. Το σχήμα του λοβού και των πλευρών του έκκεντρου καθορίζει την ταχύτητα ανοίγματος και κλεισίματος της βαλβίδας καθώς και τη διάρκεια ανοίγματός της. Μεταξύ του έκκεντρου και της βαλβίδας παρεμβάλλονται η **ανυψωτική ράβδος (tappet)**, η **ωστήρια ράβδος (push rod)** και ο **ζυγός ή κοκοράκι (rocker arm)**. Στο Σχήμα 1.46α φαίνεται ο μηχανισμός κίνησης των βαλβίδων ενός ακτινικού κινητήρα ενώ στο Σχήμα 1.46β ενός κινητήρα αντίθετων εμβόλων. Αυτά τα εξαρτήματα μεταφέρουν την κίνηση από τα έκκεντρα προς το στέλεχος της βαλβίδας. Σε κάποιους κινητήρες, ο εκκεντροφόρος άξονας τοποθετείται σε σημείο υψηλότερο από τις βαλβίδες (εκκεντροφόρος επί κεφαλής) οπότε η μετάδοση της κίνησης γίνεται απ' ευθείας. Στην περίπτωση αυτήν, η μετάδοση της κίνησης από το στροφαλοφόρο στον εκκεντροφόρο άξονα επιτυγχάνεται με αλυσίδα. Σημειώνεται ότι οι κατασκευαστές δίνουν ιδιαίτερη σημασία στη μετάδοση της κίνησης από το στροφαλοφόρο στον εκκεντροφόρο άξονα - είτε επιτυγχάνεται απ' ευθείας με σύστημα οδοντωτών τροχών είτε με την προσαρμογή αλυσίδας - διότι από αυτήν εξαρτάται η ορθή ρύθμιση της λειτουργίας του κινητήρα. Ανάλογα με το είδος του κινητήρα, μπορούν να υπάρχουν δύο εκκεντροφόροι άξονες.

Στους τετράχρονους βενζινοκινητήρες η σχέση της ταχύτητας περιστροφής του εκκεντροφόρου άξονα ως προς αυτήν του στροφαλοφόρου είναι πάντα 1:2, ώστε ο πρώτος να περιστρέφεται με τις μισές στροφές του κινητήρα. Έτσι, σε δύο περιστροφές - που αποτελούν ένα θερμοδυναμικό κύκλο - κάθε βαλβίδα θα ανοίγει μία φορά (Σχήμα 1.50). Στους δίχρονους κινητήρες - όταν χρησιμοποιείται εκκεντροφόρος - η παραπάνω σχέση περιστροφής είναι 1:1.



Σχήμα 1.50 Σχέση ταχύτητας περιστροφής (1:2) εκκεντροφόρου και στροφαλοφόρου άξονα

Το σύνηθες υλικό για την κατασκευή των εκκεντροφόρων αξόνων είναι ο σφυρήλατος χάλυβας. Από το ίδιο υλικό κατασκευάζονται η ανυψωτική και η ωστήρια ράβδος ενώ ο ζυγός κατασκευάζεται από χυτοχάλυβα. Τα έκκεντρα, ιδιαίτερα, υφίστανται επιφανειακή σκλήρυνση ώστε να αποκτήσουν ιδιαίτερη αντοχή στις συνεχείς κρούσεις τους επί των ωστήριων ράβδων. Σε μεγάλους κινητήρες τα έκκεντρα κατασκευάζονται χωριστά και στη συνέχεια προσαρμόζονται στους εκκεντροφόρους.

Οι **αστεροειδείς κινητήρες των αεροσκαφών** παρουσιάζουν μία κατασκευαστική ιδιαιτερότητα. Για κάθε σειρά κυλίνδρων έχουν μία **εκκεντροφόρο πλάκα**, αντί του εκκεντροφόρου άξονα (Σχήμα 1.46α). Η πλάκα αυτή είναι, ουσιαστικά, ένας δίσκος που στρέφεται στον ίδιο νοητό άξονα με το στροφαλοφόρο (χρησιμοποιώντας σύστημα μείωσης των στροφών) και η περιφέρειά

του φέρει δύο σειρές λοβών, μία για την κίνηση των βαλβίδων εισαγωγής και μία για την κίνηση των βαλβίδων εξαγωγής. Στους κινητήρες που φέρουν μία σειρά κυλίνδρων, η πλάκα βρίσκεται μεταξύ του εμπρόσθιου μέρους του κινητήρα και του συστήματος μείωσης των στροφών του έλικα. Όταν υπάρχει και δεύτερη σειρά κυλίνδρων, η πλάκα τοποθετείται μεταξύ του οπίσθιου μέρους του κινητήρα και του υπερσυμπιεστή.

Μεταξύ της ουράς της βαλβίδας και του επόμενου εξαρτήματος στην κινηματική αλυσίδα (ζυγός ή ωστήρια ράβδος) υπάρχει το χαρακτηριστικό **διάκενο των βαλβίδων**. Η ρύθμισή του πραγματοποιείται από κοχλία που βρίσκεται στο άκρο της ωστήριας ράβδου. Στην περίπτωση που, κατά τη λειτουργία του κινητήρα, το διάκενο είναι μικρότερο από τα προβλεπόμενα στις κατασκευαστικές προδιαγραφές, η βαλβίδα διατηρείται σε ελαφρά ανοικτή θέση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διαφυγή καυσαερίων από το θάλαμο και την μείωση της συμπίεσής του, καθώς επίσης και την καταστροφή του στελέχους και του ελατηρίου της βαλβίδας από τη μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη επαφή τους με τα θερμά καυσαέρια. Αντίθετα, στην περίπτωση που το διάκενο είναι μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο, η βαλβίδα δεν ανοίγει αρκετά και δεν παρέχεται αρκετό άνοιγμα για την εύκολη δίοδο του μείγματος αέρα - καυσίμου. Τότε, υπάρχει μειωμένη πλήρωση των κυλίνδρων με αποτέλεσμα την επίτευξη χαμηλότερης ισχύος. Ακόμη, παρατηρείται μεγαλύτερη καταπόνηση της βαλβίδας λόγω των μεγαλύτερων επιταχύνσεων του μείγματος που επιφέρουν και αύξηση του θορύβου.

1.4 ΛΙΠΑΝΣΗ - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

1.4.1 Χαρακτηριστικά του λιπαντικού μέσου

Η **λίπανση** ενός κινητήρα είναι απαραίτητη ώστε να ελαττωθούν οι τριβές που αναπτύσσονται στα τριβόμενα μέρη του. Επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία λιπαντικού μέσου με συγκεκριμένες ιδιότητες, ανάλογα με το είδος του κινητήρα και τις συνθήκες λειτουργίας του. Τα **λιπαντικά μέσα** και τα εξαρτήματα του συστήματος λίπανσης αναλύονται στη συνέχεια.

Ανάλογα με το είδος του εξαρτήματος το οποίο θα λιπανθεί, χρησιμοποιούνται διάφορα λιπαντικά μέσα. Στη συνέχεια, θα δούμε κάπως πιο αναλυτικά τις διάφορες κατηγορίες των λιπαντικών και τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Αρχικά, αναφέρουμε ότι **η πρώτη ύλη για την κατασκευή των λιπαντικών είναι το φυσικό ή αργό πετρέλαιο**, το οποίο λαμβάνεται από τις πετρελαιοπηγές συνήθως σε συνύπαρξη με άλλα συστατικά, νερό καθώς και αέρια. Οι συνεχείς αποστάξεις και κατεργασίες που πραγματοποιούνται στα διυλιστήρια, παράγουν τα βασικά λάδια λίπανσης τα οποία αποτελούν την κύρια ουσία των **ορυκτελαίων** - ή απλά **λαδιών** - και των **λιπών (γράσων)**. Με την προσθήκη ορισμένων άλλων συστατικών για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους προκύπτουν τα ορυκτέλαια και λίπη με πρόσθετα. Υπάρχουν, όμως και λιπαντικά που δεν προέρχονται από τα βασικά λάδια. Αυτά είναι μείγματα διαφόρων χημικών ενώσεων και ονομάζονται **συνθετικά λιπαντικά** (λάδια ή γράσα).

1.4.1.1 Λιπαντικά λάδια

Χρησιμοποιούνται για τη λίπανση στοιχείων των τμημάτων ενός κινητήρα όπως έδρανα ολίσθησης και κύλισης, κύλινδροι, οδοντωτοί τροχοί, αλυσίδες κ.λ.π., καθώς και για τη μετάδοση δυνάμεων ή κινήσεων (στα υδραυλικά συστήματα του κινητήρα). Ως βασικό χαρακτηριστικό των λαδιών των κινητήρων θεωρούμε το **ιξώδες (viscosity)**. Αυτό αποτελεί ένα μέτρο της εσωτερικής τριβής που επικρατεί σε ένα ρευστό αποτέλεσμα της οποίας είναι η ευκολία με την οποία αυτό ρέει. Με αυτό το κριτήριο τα λάδια διακρίνονται σε **λεπτόρευστα** και **παχύρευστα**. Έξω από τον τεχνικό χώρο, ένα παράδειγμα μεγάλης τιμής ιξώδους, σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, αποτελεί το μέλι. Όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία ενός λαδιού, λοιπόν, μεταβάλλεται και το ιξώδες του. Δεν μπορούμε, έτσι, να μιλάμε για ιξώδες ενός ρευστού αν δεν αναφέρουμε τη θερμοκρασία προσδιορισμού του. Με την αύξηση της θερμοκρασίας το ιξώδες ελαττώνεται (το λάδι γίνεται λεπτόρευστο) ενώ όσο αυτή μειώνεται, παρατηρείται αύξηση του ιξώδους (το λάδι γίνεται παχύρευστο). Στην πρώτη περίπτωση, υπάρχει κίνδυνος να διασπαστεί η λιπαντική μεμβράνη που σχηματίζεται μεταξύ των τριβόμενων επιφανειών, με αποτέλεσμα τη γρήγορη φθορά και την καταστροφή τους. Αντίθετα, στην περίπτωση του παχύρευστου λαδιού αυξάνεται η αντίσταση στην περιστροφή των τριβένων ενώ η κυκλοφορία του λαδιού στο κύκλωμα λίπανσης είναι δύσκολη. Στους εμβολοφόρους κινητήρες χρησιμοποιούνται λάδια με σχετικά μεγάλο ιξώδες

λόγω των σχετικά μεγάλων διακένων που έχουν οι τριβόμενες επιφάνειες μεταξύ τους καθώς και των μεγάλων θερμοκρασιών και πιέσεων λειτουργίας.

Το ιξώδες των λαδιών μετριέται σε ειδική συσκευή ενώ οι μονάδες μέτρησής του είναι το cSt (σεντιστόουκ, ισούται με 0,01cm²/sec), το cP (σεντιπουάζ), οι βαθμοί Engler (°E) και οι βαθμοί Saybolt. Η ταξινόμηση των λιπαντικών για κινητήρες εσωτερικής καύσης με βάση το ιξώδες τους έχει πραγματοποιηθεί από την Αμερικάνικη Ένωση Μηχανικών Αυτοκίνησης (SAE - Society of Automotive Engineers). Στους αεροπορικούς κινητήρες χρησιμοποιούνται λάδια κατηγορίας SAE-30 έως SAE-75, όσον αφορά την τιμή του ιξώδους τους¹. Τα λάδια κατηγοριοποιούνται και ανάλογα με την ποιότητά τους (από το SAE και το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Πετρελαίου - API - American Petroleum Institute). Έτσι, είναι δυνατό να υπάρχουν δύο ή και περισσότερα λιπαντικά του ίδιου βαθμού SAE, από τα οποία μόνο το ένα να είναι κατάλληλο για το συγκεκριμένο κινητήρα τον οποίο θέλουμε να λιπάνουμε.

Άλλα χαρακτηριστικά ενός λαδιού που καθορίζουν την καταλληλότητά του για μία συγκεκριμένη χρήση είναι:

- **Η αντοχή του στην οξειδωση.** Η οξειδωση ενός λαδιού οφείλεται στη θερμοκρασία λειτουργίας και την επαφή του με τον αέρα. Δημιουργεί αύξηση του ιξώδους, λάσπη και ανθρακούχα υπολείμματα που προκαλούν φθορές.
- **Σημείο ροής και σημείο θόλωσης.** Το σημείο ροής είναι η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία το λάδι εξακολουθεί να ρέει. Το σημείο θόλωσης είναι η θερμοκρασία στην οποία ξεκινά η κρυστάλλωση της περιεχόμενης στο λάδι παραφίνης οπότε το λάδι γίνεται θολό.
- **Σημείο ανάφλεξης, καύσης και αυτανάφλεξης.** Το **Σημείο Ανάφλεξης (ΣΑ)** είναι η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία ένα θερμαινόμενο λάδι παράγει ατμούς που μπορούν στιγμιαία να αναφλεγούν αν πλησιάσει μία φλόγα. Στην περίπτωση που ένα λάδι θερμανθεί σε υψηλότερη θερμοκρασία ώστε να μη γίνει μόνο στιγμιαία ανάφλεξη αλλά να υπάρχει παραγωγή ατμών και διατήρηση της καύσης για πέντε, τουλάχιστον, δευτερόλεπτα, η

¹ Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι η κατηγορία SAE-30 περιλαμβάνει λάδια ιξώδους 9,3cSt έως 12,5cSt, μετρημένο στους 100°C.

θερμοκρασία αυτή ονομάζεται το **Σημείο Καύσης (ΣΚ)**. Το ΣΑ των λαδιών εξαρτάται από την προέλευσή τους. Έχει μεγάλη σημασία από την άποψη της ασφάλειας κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση των λαδιών γιατί τα προϊόντα με χαμηλό ΣΑ είναι εύφλεκτα και απαιτούν ειδικούς κανονισμούς ασφαλείας. Τα πτητικά συστατικά ενός λαδιού (π.χ. ίχνη βενζίνης) ελαττώνουν το ΣΑ, ακόμη και όταν βρίσκονται σε πολύ μικρή αναλογία. Τέλος, η κατώτερη θερμοκρασία στην οποία ένα λάδι αναφλέγεται, παρουσία αέρα ή οξυγόνου, χωρίς να υπάρχει φλόγα, ονομάζεται **Σημείο Αυτανάφλεξης (SIT - Self Ignition Temperature)** και είναι πολύ ανώτερο του ΣΑ. Στα υδραυλικά συστήματα, ο κίνδυνος ανάφλεξης από τη διαρροή λαδιού συνδέεται περισσότερο με το SIT παρά με το ΣΑ.

- **Το ειδικό βάρος.** Είναι η σχέση του βάρους ενός δεδομένου όγκου λαδιού σε ορισμένη θερμοκρασία ως προς το βάρος ίσου όγκου αποσταγμένου νερού σε δεδομένη θερμοκρασία. Για τη μέτρησή του έχει πολύ μεγάλη σημασία η τιμή της θερμοκρασίας.

1.4.1.2 Πρόσθετα λαδιών

Οι διάφορες τεχνικές της διύλισης έχουν φτάσει σε τέτοιο σημείο, ώστε δεν υπάρχουν άλλα περιθώρια για την παραγωγή καλύτερης ποιότητας λαδιών απ' ευθείας από το διυλιστήριο. Οι αυξημένες απαιτήσεις για ποιοτικά λάδια (μεγάλα φορτία, υψηλές θερμοκρασίες και ταχύτητες λειτουργίας κ.λ.π.) οδήγησαν στη χρήση πρόσθετων. Αυτά είναι χημικές ουσίες ή και φυσικά προϊόντα που βελτιώνουν την ποιότητα των λαδιών, βελτιώνοντας έτσι την απόδοσή τους. Η δράση, βέβαια, ενός πρόσθετου εξαρτάται από το βασικό λάδι στο οποίο προστίθεται καθώς και από τα υπόλοιπα πρόσθετα που το τελευταίο περιέχει. Τύποι πρόσθετων που χρησιμοποιούνται είναι:

- **Τα αντιοξειδωτικά**, που εμποδίζουν την οξείδωση του λαδιού και τη δημιουργία επικαθήσεων.
- **Τα απορρυπαντικά και διασκορπιστικά**, που περιορίζουν τη δημιουργία καταλοίπων (τα πρώτα) και διατηρούν σε διασπορά τις ουσίες που έχουν την τάση να σχηματίζουν λάσπη μέσα στον κινητήρα (τα δεύτερα).
- **Τα αντιδιαβρωτικά**, που εμποδίζουν τα οξέα να προσβάλλουν τις επιφά-

νιες των μετάλλων και ελαττώνουν τη διάβρωση και τη φθορά.

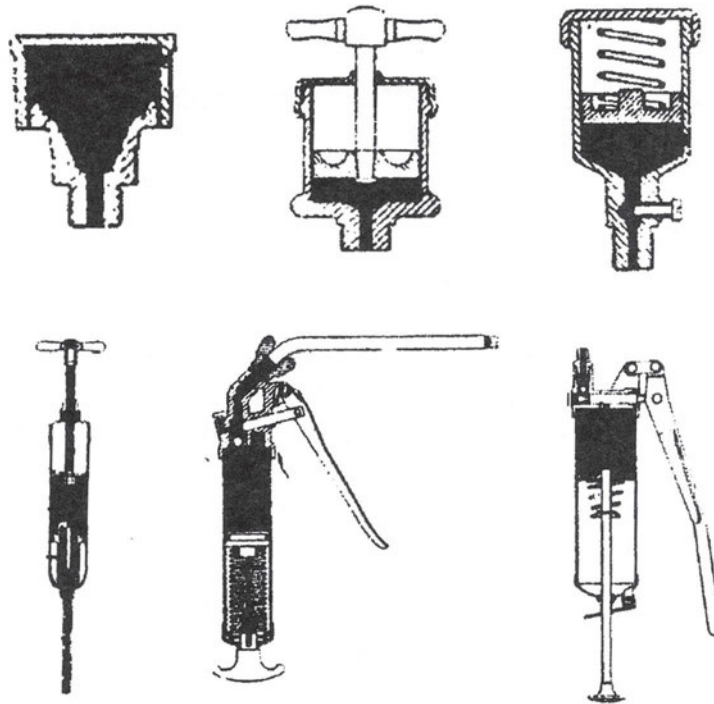
- Τα πρόσθετα για τη βελτίωση του δείκτη ιξώδους, που διατηρούν τη ρευστότητα του λαδιού σταθερή στις υψηλές θερμοκρασίες.
- Τα πρόσθετα υψηλής πίεσης, που χρησιμοποιούνται όταν τα φορτία που εξασκούνται σε δύο τριβόμενες επιφάνειες είναι τόσο μεγάλα ώστε η λιπαντική μεμβράνη του λαδιού σπάει και δε διαχωρίζει πλέον τις μεταλλικές επιφάνειες.

1.4.1.3 Συνθετικά λιπαντικά

Τα συνθετικά λιπαντικά είναι χημικά προϊόντα που παρασκευάζονται με τη μέθοδο της χημικής σύνθεσης. Η μέθοδος αυτή μπορεί να είναι πολυμερισμός, ολιγομερισμός ή πρόσμειξη ενός προϊόντος σε ένα άλλο (οξέος σε αλκοόλη για τη δημιουργία εστέρα) και επιτρέπει την επίτευξη δύο στόχων: την αποδέσμευση των κατασκευαστών λιπαντικών από τις πηγές προμήθειας πρώτων υλών και τη συνεχή ικανοποιητική ποιότητα μέσω της τέλει αναπαραγωγής της χημικής σύνθεσης. Το είδος των συνθετικών λιπαντικών που χρησιμοποιείται στην αεροπορική βιομηχανία είναι οι διεστέρες (DIE).

Τα πλεονεκτήματα των συνθετικών λιπαντικών σε σχέση με τα ορυκτά λιπαντικά είναι σημαντικά:

- Καλύτερη λίπανση, με αποτέλεσμα λιγότερες φθορές και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του κινητήρα.
- Χαμηλότερο σημείο ροής που εξασφαλίζει χρήση του λιπαντικού σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Μεγαλύτερη αντίσταση στην οξειδωση ώστε επιτυγχάνονται ικανοποιητική λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες και μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα μεταξύ δύο αλλαγών.
- Υψηλός δείκτης ιξώδους για τη χρήση σε μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές.
- Υψηλότερο σημείο εξάτμισης, που εξασφαλίζει χαμηλότερη κατανάλωση λιπαντικού.
- Υψηλότερο σημείο ανάφλεξης, που σημαίνει μεγαλύτερη ασφάλεια.
- Δε δημιουργούνται κατάλοιπα.



Σχήμα 1 .51 Είδη γρασαδόρων

1.4.1.4 Λιπαντικά λίπη (γράσα)

Τα λιπαντικά λίπη (γράσα) είναι στερεά έως ημίρυστα προϊόντα, που αποτελούνται από ένα ρευστό λιπαντικό λάδι (βασικό λάδι) στη μάζα του οποίου έχει προστεθεί ένα πηγματικό μέσο. Τα χρησιμοποιούμενα πηγματικά μέσα είναι τριών ειδών: οι σάπωνες ανώτερων λιπαρών οξέων, τα ανόργανα μέσα και τα πολυμερή. Τα λιπαντικά λίπη, όπως ακριβώς και τα λάδια, μπορεί να είναι απλά, χωρίς πρόσθετα, ή να ενισχυθούν με πρόσθετα για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους. Τα συνηθέστερα λιπαντικά λίπη παράγονται από τους σάπωνες με κυριότερους αυτούς του ασβεστίου, νατρίου, αργιλίου, λιθίου, βαρίου. Παρά το γεγονός ότι η χρήση των λαδιών είναι πολύ περισσότερο ευρεία από αυτή των γράσων, τα τελευταία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Όταν το σημείο λίπανσης δεν είναι προσιτό οπότε και η συχνή αναλίπανση είναι προβληματική.
- Όταν αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες οπότε και χρησιμοποιούνται γράσα που περιέχουν στερεά λιπαντικά (όπως γραφίτη ή θειούχο μολυβδένιο).

- Όταν δεν είναι δυνατή η απόλυτη στεγανοποίηση του συστήματος με αποτέλεσμα την παρουσία σκόνης ή νερού (όπως στους ανοιχτούς οδοντωτούς τροχούς).

Ιδιότητες των γράσων είναι η σταθερότητα της σύστασης, η σταθερότητα σε οξειδωτικές συνθήκες και μηχανικές καταπονήσεις, η συνάφεια, το ιξώδες, η αντοχή στο νερό. Όπως ακριβώς και στα λάδια, χρησιμοποιούνται πρόσθετα για τη βελτίωση των ιδιοτήτων των γράσων.

Τα γράσα κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη διεισδυτικότητά τους, τη χρήση τους και τη συμπεριφορά τους στο νερό και τη θερμοκρασία λειτουργίας. Χρησιμοποιούνται για τη λίπανση των εδράνων ολίσθησης και κύλισης, των οδοντωτών τροχών και των αλυσίδων. Η λίπανση με γράσο μπορεί να γίνει με τους ακόλουθους τρόπους: με **μηχανικούς λιπαντήρες**, με **γρασαδόρους** (Σχήμα 1.51), με **στερεό γράσο** (έχει τη μορφή ράβδου) και με **κεντρικό σύστημα** (που φέρει δεξαμενή, αντλία και σωληνώσεις).

1.4.2 Συστήματα λίπανσης

Γενικά, τα συστήματα λίπανσης διακρίνονται σε:

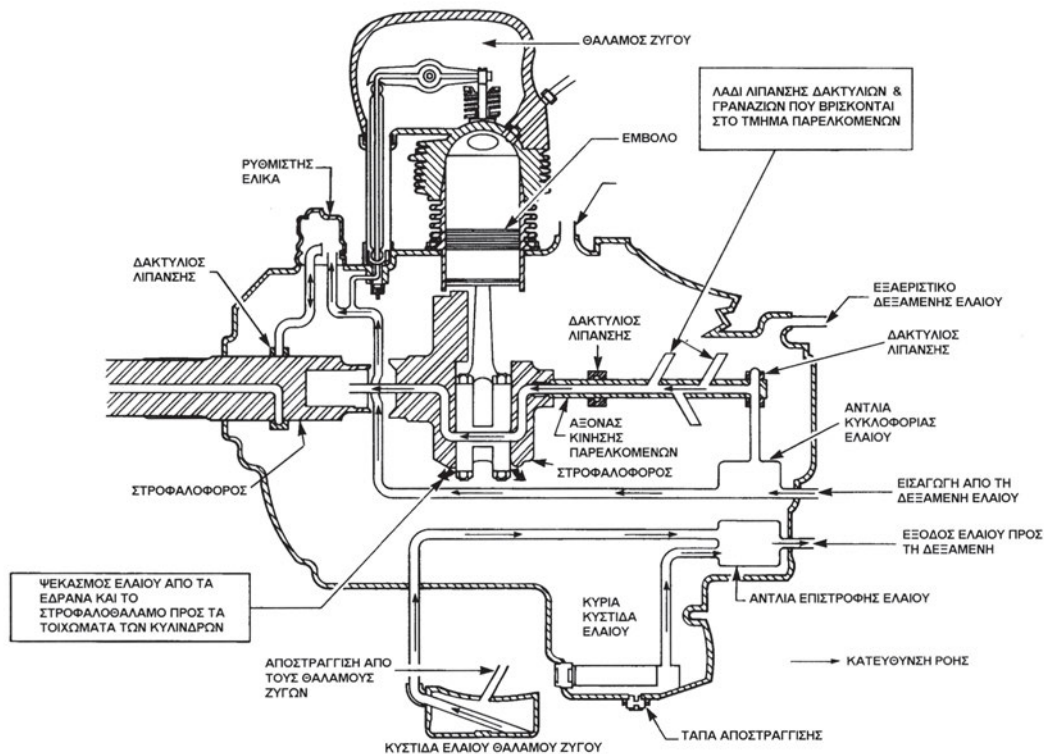
1. **Μηχανικά χωρίς πίεση (splash lubrication)**. Χρησιμοποιούνται σε μικρούς κινητήρες. Τα τριβόμενα μέρη κινούνται μέσα σε λιπαντικά ή περιοδικά εμβαπτίζονται μέσα σε αυτό ή, ακόμη, εκτινάσσεται περιοδικά ποσότητα λιπαντικού προς αυτά.
2. **Εξαναγκασμένης ροής (με πίεση, pressure lubrication)**. Διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν ως δεξαμενή λαδιού το στροφαλοθάλαμο και σε αυτά που χρησιμοποιούν ξεχωριστή δεξαμενή λαδιού. Τα πρώτα είναι γνωστά ως συστήματα υγρής κυστίδας, ενώ τα δεύτερα ως συστήματα ξηρής κυστίδας.
3. **Μεικτά**. Στα συστήματα αυτά, κάποια μέρη του κινητήρα λιπαίνονται με πίεση και κάποια άλλα χωρίς πίεση.

Οι αεροπορικοί κινητήρες λιπαίνονται με συστήματα πίεσης ή με μεικτά. Όταν υπάρχουν περισσότεροι του ενός κινητήρα, χρησιμοποιείται ξεχωριστό σύστημα λίπανσης για κάθε κινητήρα.

Συγκρίνοντας τα συστήματα λίπανσης μεταξύ τους, μπορούμε να πούμε ότι τα συστήματα πίεσης παρέχουν μεγαλύτερη ποσότητα λιπαντικού προς τα τριβόμενα μέρη. Παράλληλα, το λιπαντικό ψύχεται με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Στους αεροπορικούς κινητήρες, τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αεροσκάφη που εκτελούν ανάστροφες πτήσεις. Τα συ-

στήματα υγρής κυστίδας έχουν το μειονέκτημα της μειωμένης χωρητικότητας λιπαντικού, της έλλειψης ψύξης και της λειτουργίας σε υψηλή θερμοκρασία αφού χρησιμοποιούν ως δεξαμενή το στροφαλοθάλαμο. Επιπλέον, τα αεροσκάφη που τα χρησιμοποιούν δεν μπορούν να εκτελούν ανάστροφες πτήσεις. Τα συστήματα ξηρής κυστίδας, αντίθετα, διαθέτουν αντλία κυκλοφορίας του λιπαντικού, το οποίο και διοχετεύουν μέσω οπών στα διάφορα εξαρτήματα του κινητήρα που χρειάζονται λίπανση. Το έμβολο και το χιτώνιο λιπαίνονται με εκτίναξη λαδιού με πίεση προς αυτά.

Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε με περισσότερες λεπτομέρειες τη λειτουργία ενός συστήματος λίπανσης ξηρής κυστίδας ενός αεροπορικού κινητήρα (Σχήμα 1.52). Τα βασικά τμήματα ενός τέτοιου συστήματος λίπανσης είναι η **δεξαμενή λαδιού**, η **αντλία πίεσης**, η **αντλία επιστροφής**, τα **φίλτρα**, οι **διατάξεις ένδειξης πίεσης και θερμοκρασίας λειτουργίας λαδιού**, το **ψυγείο λαδιού** και ο **ρυθμιστής θερμοκρασίας**.



Σχήμα 1.52 Σύστημα λίπανσης ξηρής κυστίδας

Πιο αναλυτικά:

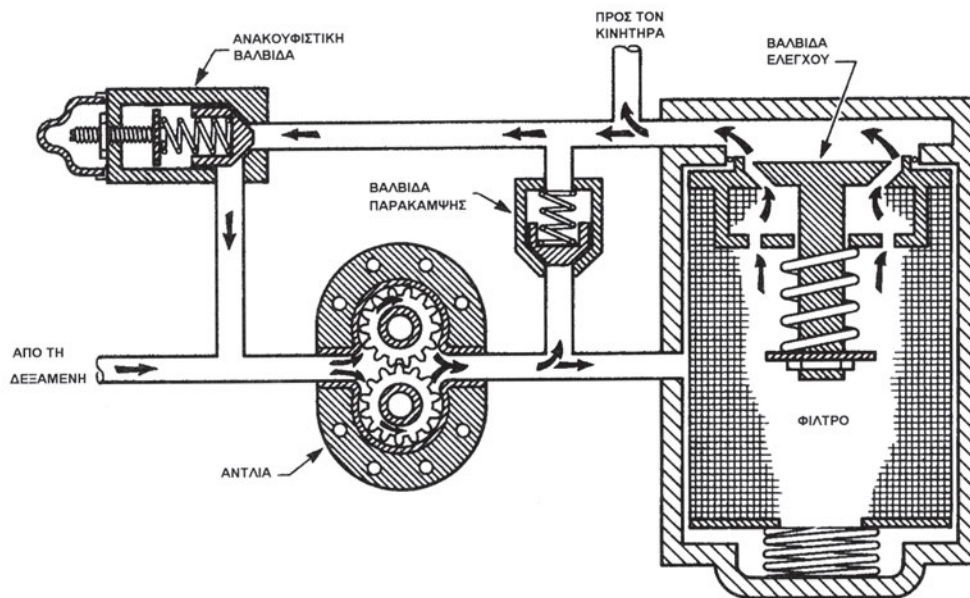
Η *δεξαμενή λαδιού*: τοποθετείται όσο γίνεται πιο κοντά στον κινητήρα τον οποίο εξυπηρετεί και πάντοτε σε ψηλότερη θέση από την αντλία πίεσης για να την τροφοδοτεί με βαρύτητα. Η περιεκτικότητά της εξαρτάται από το μέγεθος του κινητήρα και το πλήθος των εξαρτημάτων και συγκροτημάτων του που θα λιπανθούν. Το υλικό κατασκευής της είναι το αλουμίνιο ώστε να είναι ελαφριά.

Γενικά, η δεξαμενή θα πρέπει να είναι εφοδιασμένη με στόμιο πλήρωσης, πρόβλεψη για απαέρωση των σχηματιζόμενων ατμών, είσοδο και έξοδο του κυκλοφορούντος λαδιού και σύστημα ένδειξης της περιεκτικότητάς της - το οποίο είτε έχει πλωτήρα με ένδειξη επί της δεξαμενής ή ηλεκτρική στο πιλοτήριο είτε πρόκειται για ράβδο που εμβαπτίζεται στη δεξαμενή, και τέλος, άνοιγμα αποστράγγισης (στο κατώτερο μέρος της). Το στόμιο πλήρωσης πρέπει να τοποθετείται σε χαμηλότερο σημείο από το ψηλότερο σημείο της δεξαμενής, ώστε το λιπαντικό να διαστέλλεται λόγω υψηλής θερμοκρασίας αλλά και για να υπάρχει ελεύθερος χώρος για το σχηματισμό πιθανών ατμών. Στο ύψος του στομίου πλήρωσης τοποθετείται μία αποστράγγιση προς αποφυγή πιθανής υπερπλήρωσης. Η δεξαμενή επικοινωνεί με το στροφαλοθάλαμο μέσω σωληνώσεων οι οποίες επιτυγχάνουν τη διάσπαση των οποιωνδήποτε ατμών και εξασφαλίζουν ατμοσφαιρική πίεση στη δεξαμενή.

Το λάδι, αφού κυκλοφορήσει μέσω του δικτύου σωληνώσεων στον κινητήρα και στα παρελκόμενά του, επιστρέφει στην **κύρια κυστίδα ελαίου (ή δεξαμενή συγκέντρωσης - oil sump, Σχήμα 1.52)** - η σωλήνωση επιστρέφει στο άνω μέρος της δεξαμενής. Σε αρκετές περιπτώσεις, οι δεξαμενές λαδιού διαθέτουν και δεύτερη, βοηθητική, σωληνωτή δεξαμενή στο εσωτερικό τους, στην οποία καταλήγει το λάδι μετά την κυκλοφορία του και είναι έτοιμο προς χρήση ξανά. Στο κάτω μέρος της δεξαμενής αυτής υπάρχει πρόβλεψη αυτόματης πλήρωσης λαδιού για να αντιμετωπιστούν τυχόν απώλειες από εξάτμιση ή από διαρροές του συστήματος. Με το διαχωρισμό του λιπαντικού που κυκλοφορεί από το υπόλοιπο στην κύρια δεξαμενή, η κυκλοφορία λιπαντικού διευκολύνεται κατά την έναρξη της λειτουργίας του κινητήρα, όταν το λιπαντικό έχει χαμηλή θερμοκρασία. Και αυτό γιατί κυκλοφορεί μικρότερη ποσότητα λιπαντικού και η θερμοκρασία του αυξάνεται πιο γρήγορα.

Η αντλία πίεσης. Διοχετεύει το λάδι στον κινητήρα. Είναι **γρاناζωτή αντλία** (Σχήμα 1.53) το κινητήριο γρανάζι της οποίας παίρνει κίνηση από τον κινητήρα μέσω του κιβωτίου παρελκομένων.

Αμέσως μετά την κατάθλιψη της αντλίας, το λάδι περνά διαμέσου των φίλτρων. Εκεί, στην περίπτωση που ο κινητήρας είναι ακτινικός, υπάρχει μία **βαλβίδα ελέγχου (check valve)**, τύπου ελατηρίου, η οποία έχει σκοπό να εμποδίσει το λάδι, κατά τη στάση του κινητήρα, να φτάσει λόγω βαρύτητας στους κάτω κυλίνδρους. Επίσης, το κύκλωμα είναι εφοδιασμένο με μία **βαλβίδα παράκαμψης (by-pass valve)**, η οποία ενεργοποιείται όταν κλείσει - για οποιοδήποτε λόγο - η δίοδος του λαδιού από το φίλτρο. Έτσι, ο κινητήρας τροφοδοτείται με λάδι, έστω και ακάθαρμο. Τέλος, στο κύκλωμα υπάρχει και μία **ανακουφιστική βαλβίδα (relief valve)** που έχει σκοπό να θέσει την πίεση λειτουργίας του λαδιού σε μία συγκεκριμένη τιμή, η οποία καθορίζεται από τη δύναμη του ελατηρίου της βαλβίδας. Η πίεση λειτουργίας του λαδιού πρέπει να είναι υψηλή, ώστε να λιπαίνονται όλα τα μέρη του κινητήρα που χρειάζονται λίπανση, σε όλο το φάσμα της λειτουργίας του. Από την άλλη πλευρά, η πίεση λειτουργίας δεν πρέπει να υπερβεί κάποια ανώτατη τιμή, καθώς έτσι θα προκαλέσει διαρροές και ζημιές στο κύκλωμα λίπανσης.

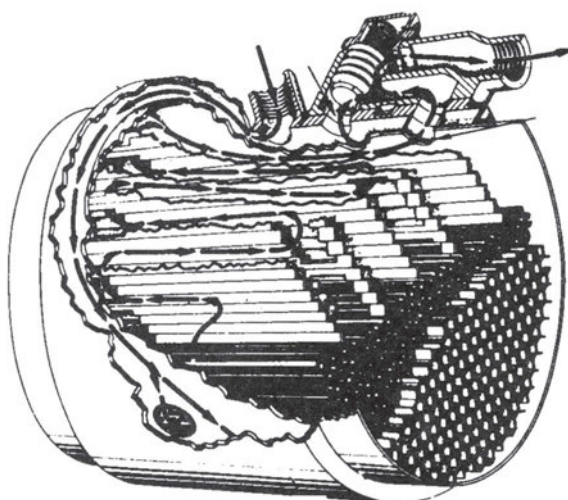


Σχήμα 1.53 Γρανάζωτη αντλία θετικής μετατόπισης

Αντλία επιστροφής. Είναι ίδιου τύπου με την αντλία πίεσης και, συνήθως, τα γρανάζια της βρίσκονται κάτω από αυτά της τελευταίας ώστε να περιστρέφονται στον ίδιο άξονα ανά δύο. Χρησιμοποιείται διότι όταν το λάδι εξέρχεται από τον κινητήρα έχει πολύ μικρή πίεση. Το λάδι επιστρέφει με τη βοήθεια της αντλίας μέσω φίλτρου και του ψυγείου λαδιού στη δεξαμενή. Σε μικρούς

κινητήρες, δε χρησιμοποιείται αντλία επιστροφής, καθότι το δίκτυο είναι μικρό και οι τριβές δεν είναι τόσο σημαντικές.

Τα φίλτρα. Χρησιμοποιούνται για τη συγκέντρωση των ακαθαρσιών που υπάρχουν στο λάδι και προέρχονται από τα διάφορα μέρη του κινητήρα που λιπαίνονται. Ο αριθμός τους εξαρτάται από το μέγεθος του κυκλώματος και το μέγεθός τους από το είδος και το μέγεθος των ακαθαρσιών που πρόκειται να παραλάβουν. Στους αεροπορικούς κινητήρες χρησιμοποιούνται μεταλλικοί σωλήνες εξομάλυνσης ροής (strainers) και δικτυωτά φίλτρα (screens). Τα πρώτα αποτελούνται από δίσκους στερεωμένους επί ενός άξονα που φέρουν μικρές τρύπες για τη συγκράτηση των ακαθαρσιών και είναι αυτοκαθαριζόμενα. Στα δεύτερα, οι οπές είναι επί δικτυωτού υλικού και πρέπει να καθαρίζονται με ειδικό υγρό ανά τακτά χρονικά διαστήματα.



Σχήμα 1.54 Ψυγείο λαδιού

Ψυγείο λαδιού. Το ψυγείο λαδιού (Σχήμα 1.54) αποτελείται από έναν πυρήνα που βρίσκεται σε ένα μεταλλικό περίβλημα και αποτελείται από μία σειρά παράλληλων, σωληνώσεων από αλουμίνιο ή χαλκό. Η διαδρομή του λαδιού περνά ενδιάμεσα από τις σωληνώσεις ενώ μέσα σε αυτές κυκλοφορεί αέρας - σε επίγειους κινητήρες μπορεί να διέρχεται και νερό. Τα δύο ρεύματα έχουν αντίθετη φορά για την επίτευξη καλύτερης μετάδοσης θερμότητας. Σε κάποιες περιπτώσεις, τα τοιχώματα του περιβλήματος του ψυγείου είναι διπλά και στον ενδιάμεσο χώρο κυκλοφορεί λάδι. Έτσι, αντιμετωπίζεται πιθανό εμπόδιο στην κανονική διαδρομή του λαδιού καθώς επίσης και η γρήγορη θέρμανση του λαδιού όταν ο κινητήρας είναι κρύος.

Διατάξεις ένδειξης πίεσης. Συνήθως τοποθετείται μανόμετρο στη θέση εισόδου του λιπαντικού στον κινητήρα. Μετράται η διαφορά της πίεσης του λιπαντικού και της ατμοσφαιρικής.

Διατάξεις μέτρησης θερμοκρασίας. Τοποθετούνται σε σημείο μεταξύ του ψυγείου και της εισόδου στον κινητήρα. Η ένδειξη μεταφέρεται ηλεκτρικά προς το όργανο από το βολβό λήψης. Όταν σημειώνεται υψηλή θερμοκρασία στο λάδι σημαίνει ότι το ψυγείο λαδιού δε λειτουργεί κανονικά ή ότι δεν κυκλοφορεί η απαραίτητη ποσότητα λαδιού στο κύκλωμα λίπανσης.

Ρυθμιστής θερμοκρασίας (θερμοστάτης). Αποτελείται από μία **θερμοστατική βαλβίδα** και ελέγχει την ποσότητα του λαδιού που περνά από το ψυγείο. Όταν η θερμοκρασία του λαδιού είναι χαμηλή, επιτρέπεται η διόδος του λαδιού στο διπλό περίβλημα του ψυγείου ώστε να θερμανθεί ο κινητήρας. Όταν η θερμοκρασία αυξηθεί, η παραπάνω διόδος κλείνει ώστε το λάδι να παραμείνει σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία για την αποφυγή της μείωσης της λιπαντικής του ικανότητας. Βέβαια, η θερμοκρασία του λαδιού μπορεί να ρυθμιστεί και με τη ροή του αέρα μέσα στο ψυγείο λαδιού. Ο έλεγχος της ροής πραγματοποιείται με το άνοιγμα και το κλείσιμο (μηχανικά ή ηλεκτρικά) ειδικών θυρίδων στην έξοδο του αέρα από το ψυγείο.

Βαλβίδα προστασίας ταλάντωσης. Στην περίπτωση που το λιπαντικό έχει χαμηλό ιξώδες, η αντλία επιστροφής, μπορεί να ανεβάσει υψηλή πίεση στη γραμμή επιστροφής. Για την αποφυγή ζημιών χρησιμοποιείται η βαλβίδα προστασίας ταλάντωσης. Αυτή είναι μία βαλβίδα ελατηρίου η οποία ανοίγει όταν η πίεση είναι υψηλή ενώ κλείνει η βαλβίδα εξόδου του ψυγείου. Με τον τρόπο αυτό, δε διέρχεται λάδι από το ψυγείο και δεν διέρχεται σε αυτό λάδι από την έξοδό του. Όταν η πίεση μειωθεί, τότε το ψυγείο λειτουργεί κανονικά και η ροή λαδιού σε αυτό κανονίζεται από το ρυθμιστή θερμοκρασίας.

Κύκλωμα λίπανσης. Το λάδι μετά την αντλία πίεσης και τα διάφορα φίλτρα, διαρρέει διάφορες σωληνώσεις που το μοιράζουν στα μέρη του κινητήρα που απαιτούν λίπανση. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Τα έδρανα του στροφαλοφόρου άξονα. Το λάδι διέρχεται από κατάλληλη οπή κατά μήκος του άξονα.
- Ο εκκεντροφόρος άξονας και ο μηχανισμός κίνησης των βαλβίδων.
- Τα έμβολα και τα χιτώνια. Το λάδι εκτοξεύεται από οπές του στροφαλοφόρου.
- Τα έδρανα όλων των βοηθητικών συστημάτων και παρελκομένων του κινητήρα.
- Τα συγκροτήματα όπου το λάδι χρησιμεύει ως κινητήριο ρευστό.

1.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ

1.5.1 Αναγκαιότητα

Η αρχή λειτουργίας του κινητήρα εσωτερικής καύσης στηρίζεται στη μετατροπή της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε μηχανική ενέργεια στον άξονα του κινητήρα, η οποία συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας. Ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας αυτής διοχετεύεται στο περιβάλλον. Το υπόλοιπο μέρος παραμένει σε διάφορα τμήματα του κινητήρα και πρέπει με κάποιο αποτελεσματικό τρόπο να απαχθεί. Και αυτό διότι ο κινητήρας στο σύνολό του είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί μέσα σε κάποια θερμοκρασιακά όρια. Στην περίπτωση που ένα τμήμα του υπερβεί την ανώτερη θερμοκρασία λειτουργίας, τότε υπάρχει κίνδυνος να παρουσιαστούν διάφορες δυσλειτουργίες - όπως προανάφλεξη του καυσίμου μείγματος, μείωση της λιπαντικής ικανότητας του λιπαντικού μέσου, ή μείωση της αντοχής κάποιων υλικών κατασκευής, ακόμη και αστοχίες μερών του κινητήρα.

Στους συνηθισμένους βενζινοκινητήρες από τη συνολική ενέργεια που παρέχει το καύσιμο, ένα ποσοστό της τάξης του 30% διατίθεται για ωφέλιμο προς τον κινητήρα έργο ενώ 50% της ενέργειας αποβάλλεται με τα παραγόμενα καυσαέρια, 10% παραλαμβάνεται από το λιπαντικά μέσο και 20% από το ψυκτικό μέσο. Το τελευταίο αποτελεί το ρευστό με την κυκλοφορία του οποίου, επιτυγχάνεται η απαγωγή της θερμότητας από τα διάφορα μέρη του κινητήρα, των οποίων η θερμοκρασία ανέρχεται κατά τη λειτουργία. Η απαγωγή αυτή της θερμότητας εξαρτάται από την έκταση της επιφάνειας η οποία έρχεται σε επαφή με το ψυκτικό μέσο αλλά και από την ταχύτητα ροής του τελευταίου.

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι αερόψυκτοι ή υγρόψυκτοι. Πιο συγκεκριμένα, οι εμβολοφόροι αεροπορικοί κινητήρες είναι, στη συντριπτική τους πλειοψηφία, αερόψυκτοι.

1.5.2 Αερόψυκτοι κινητήρες

Το σύστημα ψύξης των αερόψυκτων κινητήρων χαρακτηρίζεται από απλότητα, καθώς αποτελείται από πολύ λιγότερα τμήματα απ' ό,τι ένα αντίστοιχο υγρόψυκτου κινητήρα. Έτσι, παρουσιάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία κατά τη λειτουργία του και έχει μικρότερο βάρος.

Στους αερόψυκτους κινητήρες η ψύξη επιτυγχάνεται απ' ευθείας από τον ατμοσφαιρικό αέρα, χωρίς την κυκλοφορία ψυκτικού υγρού. Για το λόγο αυτό, οι κύλινδροι του κινητήρα διαθέτουν πτερύγια ψύξης στο πώμα και την πε-

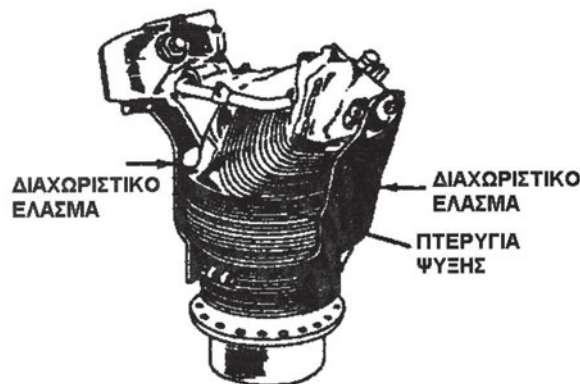
ριφέρειά τους. Η ροή του ατμοσφαιρικού αέρα κατά την πτήση του αεροσκάφους πρέπει να οδηγηθεί στα θερμά μέρη του κινητήρα. Για το λόγο αυτό, **οι μεγάλοι αεροπορικοί κινητήρες είναι ακτινικοί, ώστε οι κύλινδροι να έχουν την πιο αποδοτική διάταξη όσον αφορά την ψύξη τους.**

Οι επίγειοι αερόψυκτοι κινητήρες ψύχονται από τη ροή του αέρα που δημιουργεί ένας ανεμιστήρας, ο οποίος παίρνει κίνηση από τον ίδιο τον κινητήρα. Στους αερόψυκτους κινητήρες οχημάτων, η ροή του ατμοσφαιρικού αέρα κατά την κίνηση του οχήματος βοηθά σημαντικά στην ψύξη.

Γενικά, η ποσότητα της θερμότητας που απάγεται από τον αέρα ψύξης **εξαρτάται** από:

- **Τη συνολική επιφάνεια των πτερυγίων ψύξης** που πρέπει να είναι η μέγιστη δυνατή και καλά μοιρασμένη στην εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου,
- **Την ταχύτητα και την ποσότητα του αέρα που διαπερνά τα πτερύγια** και πρέπει να είναι οι μεγαλύτερες δυνατές, και
- **Τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα και των πτερυγίων.** Για καλύτερη ψύξη, η θερμοκρασία πρέπει να είναι χαμηλή.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να δώσουμε προσοχή στο γεγονός ότι η θερμοκρασία των κυλίνδρων και της κεφαλής τους δεν πρέπει να είναι πολύ χαμηλή, διότι θα επέλθει μείωση του βαθμού απόδοσης του κινητήρα.



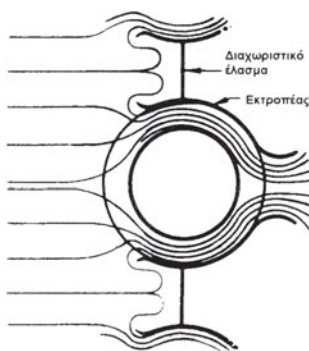
Σχήμα 1.55 Διαχωριστικά ελάσματα και πτερύγια ψύξης

1.5.2.1 Διατάξεις δημιουργίας ροής αέρα

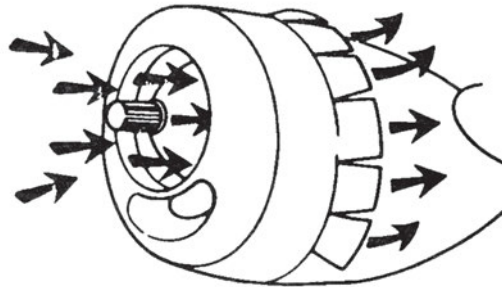
Οι παλαιότεροι αεροπορικοί κινητήρες είχαν τους κυλίνδρους εκτεθειμένους στη ροή του αέρα. Όμως, η πρακτική αυτή δεν ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματική

διότι η άμεση επαφή τους με το ρεύμα αέρα δεν ήταν μεγάλη, ενώ δεν πραγματοποιούνταν στο ίδιο ποσοστό για κάθε κύλινδρο. Οι οπίσθιοι κύλινδροι, για παράδειγμα, ελάμβαναν μικρή ποσότητα αέρα. Επιπρόσθετα, το σχήμα ψύξης αυτό διαμόρφωνε μεγάλο συντελεστή αντίστασης για το αεροσκάφος. Με το πέρασμα του χρόνου δημιουργήθηκαν κάποιες τεχνικές οι οποίες δημιουργούν κατάλληλη ροή αέρα για τη βέλτιστη ψύξη των κυλίνδρων ενώ, πλέον, ολόκληρος ο κινητήρας τοποθετείται μέσα σε κάλυμμα, επί του αεροσκάφους, με κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα.

Η βέλτιστη ψύξη των κυλίνδρων επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση διαχωριστικών **ελασμάτων (baffles)** και **οδηγών πτερυγίων (deflectors)** μεταξύ τους και πάνω από τις κεφαλές τους, στον εσωτερικό χώρο του αεροδυναμικού καλύμματος. Μία τέτοια διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 1.55 και στο Σχήμα 1.56. Παράλληλα, πάνω στο αεροδυναμικό κάλυμμα και στο οπίσθιο τμήμα του κινητήρα, τοποθετούνται **κινητές θυρίδες (cowl flaps)** για την έξοδο του αέρα ψύξης (Σχήμα 1.57). Αυτές κινούνται ηλεκτρικά, υδραυλικά ή μηχανικά. Σκοπός τους είναι να δημιουργήσουν μία περιοχή χαμηλής πίεσης στην έξοδο του αέρα ψύξης ώστε αυτός να επιταχύνεται εκεί και να πραγματοποιείται ομαλά η ροή του ανάμεσα στους κυλίνδρους. Μικρό άνοιγμα των θυρίδων επιφέρει θέρμανση του κινητήρα ενώ μεγάλο επιφέρει υπερβολική ψύξη και αύξηση του συντελεστή αντίστασης. **Κατά τη διάρκεια της πτήσης, το εύρος ανοίγματος των κινητών θυρίδων εξαρτάται από την ταχύτητα του αεροσκάφους.** Στις μικρές ταχύτητες, οι θυρίδες ανοίγουν περισσότερο ενώ στις μεγάλες ταχύτητες λιγότερο ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη για την ψύξη ροή αέρα. Κατά τη διάρκεια της απογείωσης, οι θυρίδες ανοίγουν ελάχιστα, ενώ όταν ο κινητήρας λειτουργεί με το αεροσκάφος στο έδαφος διατηρούνται εντελώς ανοιχτές.



Σχήμα 1.56 Διαχωριστικά ελάσματα και οδηγά πτερύγια



Σχήμα 1.57 Κινητές θυρίδες

Σε κάποιους αεροπορικούς κινητήρες χρησιμοποιείται μία διάταξη (augmentor) που εκμεταλλεύεται τη ροή των καυσαερίων ώστε να αυξηθεί ακόμη περισσότερο η ροή του αέρα ψύξης (Σχήμα 1.58).



Σχήμα 1.58 Διάταξη εκμετάλλευσης της ροής των καυσαερίων για την αύξηση της ροής του αέρα ψύξης

Η διάταξη αποτελείται από δύο σωλήνες, που ο ένας βρίσκεται μέσα στον άλλον. Στον εσωτερικό σωλήνα οδηγούνται καυσαέρια από τον κινητήρα ενώ στον εξωτερικό εισρέει ατμοσφαιρικός αέρας ψύξης. Πραγματοποιείται με τον τρόπο αυτό, μετάδοση θερμότητας από το θερμό ρεύμα των καυσαερίων στο

ψυχρότερο ρεύμα του αέρα και ο τελευταίος αποκτά υψηλή θερμοκρασία, μεγάλη ταχύτητα και χαμηλή πίεση. Έτσι, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εισροή αέρα για την ψύξη του κινητήρα. Επειδή δε, τα δύο ρεύματα δεν αναμειγνύονται, ο εισερχόμενος αέρας χρησιμοποιείται στα συστήματα κλιματισμού και αποπάγωσης του αεροσκάφους. Να σημειωθεί ότι και σε αυτή τη διάταξη χρησιμοποιούνται ειδικά κινητά πτερύγια για τη μείωση της ψύξης του κινητήρα ή την αύξηση της θέρμανσης του αέρα που οδηγείται στο αεροσκάφος.

Ένδειξη θερμοκρασίας κυλίνδρων. Η λήψη θερμοκρασίας από έναν κύλινδρο πραγματοποιείται από ένα θερμοζεύγος που είναι τοποθετημένο στην κεφαλή ή στα τοιχώματά του. Η ένδειξη της θερμοκρασίας φτάνει στο ενδεικτικό όργανο από το ζεύγος μέσω καλωδίου.

1.5.3 Υγρόψυκτοι κινητήρες

Οι κινητήρες αυτοί είναι εφοδιασμένοι με διόδους μεταξύ των κυλίνδρων και του κυρίου σώματος με σκοπό την κυκλοφορία ψυκτικού υγρού. Αυτό ψύχει τα θερμά τοιχώματα όταν έρχεται σε επαφή μαζί τους, απάγοντας έτσι ένα μέρος της αναπτυσσόμενης στο εσωτερικό του κυλίνδρου θερμότητας. Τα βασικά στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος είναι:

Η δεξαμενή. Έχει κατάλληλη χωρητικότητα, πώμα πλήρωσης, διάταξη εξαέρωσης, είσοδο και έξοδο για το υγρό ψύξης.

Η αντλία. Εξασφαλίζει την κυκλοφορία του υγρού ψύξης στα μέρη του κινητήρα που πρέπει να ψυχθούν, καθώς και την επιστροφή του στη δεξαμενή. Σε μικρούς κινητήρες δε χρησιμοποιείται αντλία. Το υγρό ψύξης κυκλοφορεί με φυσική ροή εκμεταλλευόμενο το μικρότερο ειδικό βάρος που αποκτά μετά τη θέρμανσή του για την επιστροφή του στη δεξαμενή. Κάποιοι κινητήρες εδάφους ψύχονται με συνεχή ροή, χωρίς αντλία, από εξωτερική πηγή. Αυτό ονομάζεται ανοικτό κύκλωμα ψύξης.

Το ψυγείο. Αποτελείται από σειρά σωληνώσεων μέσα στις οποίες κυκλοφορεί ψυκτικό υγρό, ενώ στον περιβάλλοντα χώρο τους διέρχεται αέρας ο οποίος πραγματοποιεί και την ψύξη του υγρού του ψυγείου. Η ροή του αέρα επιτυγχάνεται με τη λειτουργία ενός ανεμιστήρα που παίρνει κίνηση από τον κινητήρα, μέσω ιμάντα, είτε ηλεκτρικά. Σε όσους αεροπορικούς κινητήρες λειτουργούν με υγρόψυκτο σύστημα ψύξης, το ψυγείο ψύχεται με φυσική ροή αέρα.

Ο θερμοστάτης. Είναι μία βαλβίδα η οποία ρυθμίζει τη ροή του ψυκτικού υγρού μέσα στο ψυγείο. Ανοίγει μετά από ορισμένο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα,

όταν ανέλθει η θερμοκρασία του σε κάποια προκαθορισμένη τιμή, για να την επαναφέρει στην κανονική τιμή λειτουργίας της.

Ο ενδείκτης θερμοκρασίας. Είναι ένα όργανο το οποίο δείχνει τη θερμοκρασία του υγρού ψύξης πριν από την είσοδό του στο ψυγείο, ώστε να υπάρχει σαφής ένδειξη της θερμοκρασίας του κινητήρα. Το όργανο ένδειξης συνδέεται με το βολβό μέτρησης μηχανικά (σωλήνας με υδράργυρο) ή ηλεκτρικά. Η χρήση αποσταγμένου νερού στο κύκλωμα ψύξης επιτρέπει θερμοκρασίες λειτουργίας έως και τους 150°C. Αντίθετα, η χρήση πόσιμου νερού περιορίζει την ανώτερη θερμοκρασία λειτουργίας για την αποφυγή διάσπασης των αλάτων του νερού και εναπόθεσής τους στις σωληνώσεις του κυκλώματος ψύξης.

Το μανόμετρο. Τοποθετείται στην κατάθλιψη της αντλίας κυκλοφορίας του υγρού ψύξης για την ένδειξη της πίεσής του.

Οι πιο συχνές βλάβες που παρουσιάζει ένα υγρόψυκτο κύκλωμα ψύξης είναι: η διαρροή ψυκτικού υγρού που επιφέρει άνοδο της θερμοκρασίας του, η απόφραξη του κυκλώματος κυκλοφορίας που επιφέρει τοπικές υπερθερμάνσεις και, ίσως, θραύσεις, διαρροή υγρού προς τον κινητήρα με αποτέλεσμα το σβήσιμό του, εσφαλμένες ενδείξεις θερμοκρασίας και πίεσης, μειωμένη απόδοση του ανεμιστήρα, παγοποίηση σωληνώσεων που μπορεί να οδηγήσει σε θραύση. Για την αποφυγή του τελευταίου φαινομένου, μία συνήθης πρακτική είναι η προσθήκη στο νερό ψύξης - σε υδρόψυκτους κινητήρες - υγρών με χαμηλό σημείο πήξης όπως η αιθυλική γλυκόλη (-170°C). Επίσης, λόγω του υψηλού σημείο βρασμού της (197°C), η αιθυλική γλυκόλη χρησιμοποιείται και εξ ολοκλήρου ως ψυκτικό υγρό, με τη μόνη προσθήκη ειδικού αντιοξειδωτικού υγρού.

1.6 ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΜΕΙΚΤΗΡΩΝ ΑΕΡΑ - ΚΑΥΣΙΜΟΥ

1.6.1 Αεροπορικά καύσιμα

Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης προσφέρει μηχανική ενέργεια χρησιμοποιώντας καύσιμο. Γενικά, πρόκειται για ένα οργανικό προϊόν τα μόρια του οποίου αποτελούνται από πολλά άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Το καύσιμο, λοιπόν,

ανήκει στην οικογένεια των **υδρογονανθράκων**. Για να εξαχθεί η θερμική ενέργεια από έναν υδρογονάνθρακα πραγματοποιείται μία χημική αντίδραση, η γνωστή σε όλους μας καύση. Η καύση επιτυγχάνεται όταν ο καύσιμος υδρογονάνθρακας έρθει σε επαφή με πηγή οξυγόνου και η θερμοκρασία των δύο συστατικών ανέλθει σε διαφορετική, για κάθε μείγμα, τιμή. Τα προϊόντα καύσης της βενζίνης είναι, εκτός από την παραγωγή θερμότητας, διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), υδρατμοί, μονοξείδιο του άνθρακα (CO) λόγω ατελούς καύσης, μικρές ποσότητες λαδιού, καπνού, ενώσεις αζώτου, μολύβδου και άλλων πρόσθετων ουσιών στη βενζίνη.

Οι προδιαγραφές των αεροπορικών καυσίμων δημιουργήθηκαν από τις πετρελαϊκές εταιρείες και κρίθηκαν ή αναθεωρήθηκαν από τις αρμόδιες αεροπορικές αρχές. Το πιστοποιητικό καταλληλότητας κάθε αεροσκάφους φέρει μία λίστα με τα καύσιμα που αυτό μπορεί να χρησιμοποιήσει. Η χρήση άλλου καυσίμου από το εγκεκριμένο μπορεί να επιφέρει μείωση της απόδοσης του κινητήρα ή και διακοπή της λειτουργίας του, ενώ αποτελεί αιτία για την άρση της καταλληλότητας πτήσης του αεροσκάφους και της ασφάλισής του. Η βενζίνη που χρησιμοποιείται στους αεροπορικούς εμβολοφόρους κινητήρες (aviation gasoline - avgas) αποτελεί πολύ μικρό ποσοστό της παραγωγής ενός διυλιστηρίου - 0,25% περίπου! Η παραγωγή της προέρχεται από τη συμπύκνωση κλασμάτων αργού πετρελαίου με την προσθήκη κάποιων άλλων ουσιών οι οποίες της προσδίδουν κάποιες ιδιότητες που είναι σημαντικές για τη λειτουργία ενός αεροπορικού κινητήρα. Απαιτείται να έχει καλή θερμική απόδοση, υψηλό σημείο βρασμού, χαμηλό σημείο παγοποίησης και κατάλληλη πίεση ατμών ώστε να επιτυγχάνεται ανάφλεξη από το σπινθηριστή του κινητήρα. Επίσης, δεν πρέπει να περιέχει ακατάλληλες ουσίες, να φιλτράρεται και να αντλείται εύκολα σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Στην περίπτωση που η βενζίνη δεν είναι καλής ποιότητας εμφανίζεται η λεγόμενη **κρουστική καύση**. Μετά την ανάφλεξη και τη συμπίεση του καυσίμου μείγματος, ένα μέρος του αυταναφλέγεται. Αυτό συμβαίνει όταν η πίεση και η θερμοκρασία λειτουργίας στο θάλαμο καύσης παίρνουν υψηλότερες τιμές από αυτές που η βενζίνη μπορεί να φτάσει. Δημιουργούνται δύο μέτωπα φλόγας με αντίθετη κατεύθυνση τα οποία συγκρούονται. Το φαινόμενο γίνεται αντιληπτό με κτύπους, τα λεγόμενα “πειράκια”, και επιφέρει υπερθέρμανση του κινητήρα, πτώση της απόδοσής του, κόπωση του πείρου, του διωστήρα

και του στροφαλοφόρου άξονα. Η συνεχής λειτουργία με αυτές τις συνθήκες μπορεί να προκαλέσει καταστροφή εμβόλου. Οι κυριότεροι παράγοντες που προκαλούν το φαινόμενο είναι η αυξημένη συμπίεση, η αύξηση του φορτίου, η αύξηση της προπορείας και η ελάττωση των στροφών του κινητήρα. Κυρίως, όμως, οφείλεται στο καύσιμο και, συγκεκριμένα, στην εκρηκτικότητά του, που είναι η τάση που αυτό παρουσιάζει προς αυτανάφλεξη, η οποία και εκδηλώνεται με την κρουστική καύση.

Ένα μέτρο κατάταξης του καυσίμου, λοιπόν, στηρίζεται στην **αντιεκρηκτικότητα (antiknock value)** που παρουσιάζει και εκφράζεται με τον **αριθμό οκτανίου**. Ο προσδιορισμός του γίνεται με τη σύγκριση της βενζίνης με ένα πρότυπο μείγμα. Αυτό αποτελείται από κανονικό επτάνιο, με πολύ μικρή αντοχή σε κρουστική καύση (την οποία θα αναλύσομε παρακάτω) και από ισο-οκτάνιο που είναι πολύ ανθεκτικό. Η σύγκριση πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικού δοκιμαστικού κινητήρα. Σε αυτόν, μεταβάλλουμε τη συμπίεση κατά τη λειτουργία με το παραπάνω μείγμα μέχρι να εμφανιστεί κρουστική καύση. Έτσι, λέμε ότι μία βενζίνη έχει βαθμό οκτανίου 88 όταν κατά τον παραπάνω έλεγχο παρουσιάσει την ίδια εκρηκτικότητα με μείγμα που περιέχει 88%, κατά όγκο, ισο-οκτάνιο. Το καύσιμο των εμβολοφόρων αεροπορικών κινητήρων είναι 100 οκτανίων (η παλαιότερη ονομασία του ήταν 100/130) και έχει πράσινο χρώμα.

1.6.2 Συστήματα ανάμειξης αέρα - καυσίμου

1.6.2.1 Γενικά - Αναλογία αέρα καυσίμου

Η μετατροπή της χημικής ενέργειας που περιέχει το καύσιμο του κινητήρα σε μηχανική ενέργεια που αποδίδεται στο στροφαλοφόρο άξονα του, προέρχεται από την καύση της κατάλληλης ποσότητας του μείγματος αέρα - καυσίμου στους κυλίνδρους. Για το λόγο αυτό, οι κινητήρες είναι εφοδιασμένοι με σύστημα δημιουργίας και εισαγωγής του παραπάνω μείγματος. Το σύστημα αυτό διαφοροποιείται σε κάθε κινητήρα ανάλογα με το μέγεθός του και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτουργεί. Τα βασικά του τμήματα, ανεξάρτητα από άλλες διαφοροποιήσεις, είναι:

- **Οι αγωγοί εισαγωγής του ατμοσφαιρικού αέρα**, που ουσιαστικά αποτελούν μέρος του αεροσκάφους. Ξεκινούν από την εξωτερική επικάλυψη του αεροσκάφους, ώστε να εκμεταλλεύονται την κίνησή του, και φτάνουν μέχρι

τον αναμεικτήρα του κινητήρα. Η είσοδος του αέρα ελέγχεται από ειδική θυρίδα που ελέγχεται από το χειριστή.

- **Η αντλία καυσίμου, ο αναμεικτήρας (carburetor)** και τα λοιπά εξαρτήματα για την κανονική λειτουργία του συστήματος, και
- **Οι αγωγοί εισαγωγής του μείγματος αέρα - καυσίμου** από τον αναμεικτήρα προς τους κυλίνδρους.

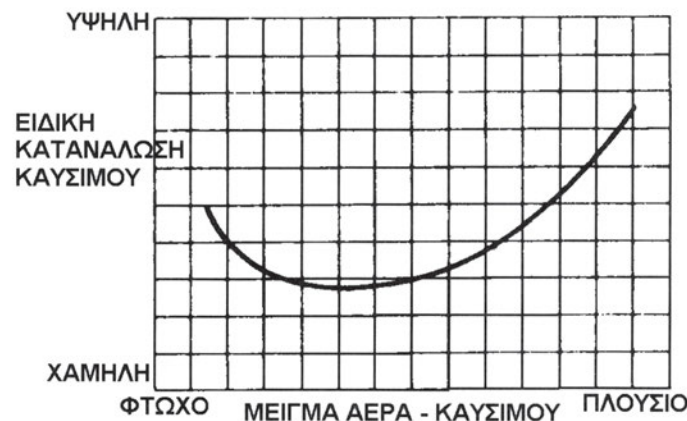
Στους αεραγωγούς τοποθετείται **φίλτρο συγκράτησης της σκόνης**, η οποία μπορεί να προκαλέσει ζημιές στα συστήματα ρύθμισης του καυσίμου μείγματος ή και να φτάσει μέχρι τους κυλίνδρους. Επίσης, τοποθετείται **σύστημα θέρμανσής τους** με τη λήψη θερμού αέρα από το θερμό τμήμα του κινητήρα, ώστε να αποφεύγεται ενδεχόμενη παγοποίηση (στους αεραγωγούς ή στον αναμεικτήρα). Τέλος, στην είσοδο του αναμεικτήρα τοποθετείται **αισθητήρας μέτρησης της θερμοκρασίας** για τον έλεγχο της και να λαμβάνονται μέτρα στην περίπτωση που ξεπεράσει κάποιο κατώτατο όριο (αναρρόφηση θερμού αέρα από τον κινητήρα).

Για να πραγματοποιηθεί τέλεια - ή πλήρης - καύση της βενζίνης σε ένα βενζινοκινητήρα εσωτερικής καύσης, απαιτείται η εξαέρωση και η ανάμειξή της με μία ποσότητα αέρα ώστε να σχηματιστεί το κατάλληλο καύσιμο μείγμα. Αυτό, στην κατά βάρος σύνθεσή του, αποτελείται από **15 μέρη αέρα (14,7 για την ακρίβεια) και ένα μέρος καυσίμου (βενζίνης)** και αποτελεί τη **στοιχειομετρική αναλογία**. Η αναλογία αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Η μεταβολή της, βέβαια, δεν υπερβαίνει τα όρια, έξω από τα οποία η καύση του μείγματος είτε δεν αποδίδει ενέργεια προς ωφέλιμη χρήση είτε είναι αδύνατη. Τα όρια αυτά είναι **8:1** και **20:1** κατά βάρος, αντίστοιχα. Το μείγμα βενζίνης - αέρα ονομάζεται **πλούσιο (rich mixture)** όταν βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 8:1 και 15:1, περιέχει δηλαδή περισσότερη βενζίνη από τη στοιχειομετρική αναλογία. Αντίθετα, το μείγμα ονομάζεται **φτωχό (lean mixture)** όταν περιέχει λιγότερη βενζίνη από τη στοιχειομετρική αναλογία, οπότε και βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ **15:1** και **20:1**.

Μία σημαντική παρατήρηση που πρέπει να γίνει στο σημείο αυτό είναι ότι στις διάφορες φάσεις της λειτουργίας του κινητήρα το μείγμα αέρα - καυσίμου δεν έχει πάντα τη σωστή τιμή, από την άποψη της στοιχειομετρικής ανάλυσης.

Παίρνοντας ως δεδομένο ότι η λειτουργία του κινητήρα πρέπει να χαρακτηρίζεται από την παροχή της μέγιστης ισχύος για την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα σε συνδυασμό με τη μέγιστη δυνατή οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου, ας εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο η λειτουργία εκτός στοιχειομετρικού λόγου - πάντοτε, όμως, εντός ορισμένων ορίων - βοηθά την εκπλήρωση αυτών των δύο προϋποθέσεων.

Στην περίπτωση που εισάγεται περισσότερη ποσότητα καυσίμου, με την ποσότητα του εισαγόμενου αέρα να διατηρείται σταθερή (ο λόγος αέρα - καυσίμου μειώνεται), επιτυγχάνεται μείωση της τελικής θερμοκρασίας της καύσης, λόγω της απορρόφησης της θερμικής ενέργειας στο θάλαμο καύσης από την περίσσεια καυσίμου που εξαερώνεται. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργούνται ατμοί καυσίμου που αυξάνουν τη μάζα του εργαζόμενου ρευστού, το οποίο εκτονώνεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας κατά το συγκεκριμένο θερμοδυναμικό κύκλο. Επιτυγχάνεται, έτσι, αύξηση της παραγόμενης ισχύος. Η περιοχή του λόγου που επιτυγχάνεται η **βέλτιστη ισχύς** θεωρείται από **12,5:1** έως **14:1**.

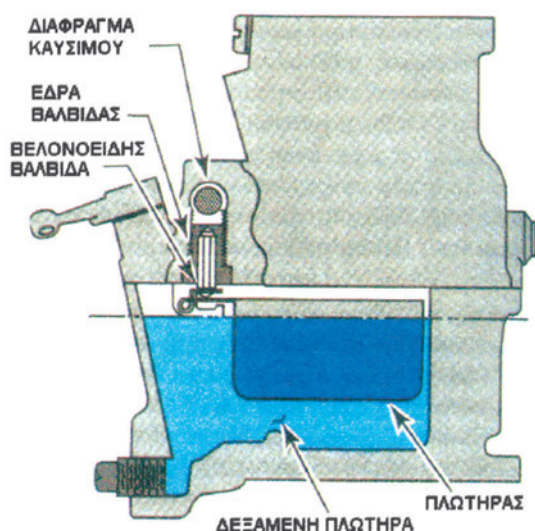


Σχήμα 1.59 Ειδική κατανάλωση και μείγμα αέρα-καυσίμου

Η μέγιστη δυνατή οικονομία μπορεί να επιτευχθεί όταν παράγεται μία δεδομένη τιμή ισχύος με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου. Ως μέτρο της οικονομικής λειτουργίας του κινητήρα - και της απόδοσής του - έχει καθιερωθεί η ειδική κατανάλωση καυσίμου (specific fuel consumption, sfc). Αυτή αποτελεί, αναλύοντας τον ορισμό που δόθηκε στην παράγραφο 1.1.5, τον αριθμό των kg καυσίμου που καίγονται στη μονάδα του χρόνου (hr) για την παραγωγή κάθε μονάδας ισχύος (hp). Για την επίτευξη της βέλτιστης τιμής της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου απαιτείται συνήθως λόγος αέρα - καυσί-

μου της τάξης του 16:1. Βέβαια, αρκετοί παράγοντες επηρεάζουν τη βέλτιστη αυτή τιμή, όπως ο λόγος συμπίεσης, ο αριθμός των στροφών και η προπορεία στην ανάφλεξη. Στο Σχήμα 1.59 φαίνεται η μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τη τιμή του λόγου αέρα - καυσίμου.

Εκτός από την απαίτηση για την παροχή μέγιστης ισχύος και οικονομίας στο καύσιμο, ένας αεροπορικός κινητήρας πρέπει να πληροί και άλλες προϋποθέσεις κατά τη λειτουργία του. Αυτές παίζουν το δικό τους, ξεχωριστό ρόλο στη διαμόρφωση του λόγου αέρα - καυσίμου. Γενικά, μπορεί κάποιος να πει ότι κατά την εκκίνηση και τη βραδεία λειτουργία (ρελαντί) του κινητήρα το μείγμα πρέπει να είναι πλούσιο ενώ κατά την κανονική λειτουργία πρέπει να λαμβάνει τιμές ελάχιστης κατανάλωσης. Στη συνέχεια, κατά την επιτάχυνση, το μείγμα πρέπει να γίνεται προοδευτικά πλούσιο και, τέλος, κατά την απόδοση της μέγιστης ισχύος να είναι πλούσιο. Στην περίπτωση που η αναλογία του μείγματος δεν είναι η σωστή, για τις συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, είναι δυνατή η υπερθέρμανσή του, η μείωση του αριθμού των στροφών, ακόμη και η διακοπή της λειτουργίας του.



Σχήμα 1.60 Αναμεικτήρας με πλωτήρα

1.6.2.2 Είδη συστημάτων εισαγωγής αέρα - καυσίμου

Τα συστήματα εισαγωγής αέρα - καυσίμου έχουν ως σκοπό να “υπολογίσουν” την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα και να προσθέσουν σε αυτήν μία αντίστοιχη ποσότητα καυσίμου ώστε να δημιουργηθεί ο κατάλληλος λόγος αέρα - καυσίμου. Τα περισσότερα από τα συστήματα αυτά χρησιμοποι-

ούν τη ροή του εισερχόμενου αέρα για τη δημιουργία μίας ανάλογης διαφοράς πίεσης, η οποία, τελικά, υπολογίζει τη σωστή ποσότητα καυσίμου που θα αναμειχθεί με την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα. Τα συστήματα εισαγωγής αέρα - καυσίμου διακρίνονται σε:

1. Συστήματα έμμεσης έγχυσης καυσίμου ή αναμεικτήρες (carburetors).

Το καύσιμο αναρροφάται λόγω της υποπίεσης που δημιουργείται στη ροή του εισερχόμενου αέρα. Οι αναμεικτήρες μπορεί να είναι:

- **Αναμεικτήρες με πλωτήρα (float - type carburetors):** Χρησιμοποιούνται σε αεροπορικούς κινητήρες μικρού μεγέθους.
- **Αναμεικτήρες πίεσης (pressure injection carburetors):** Χρησιμοποιούνται σε αεροπορικούς κινητήρες μεγάλου μεγέθους ή σε κινητήρες που λειτουργούν είτε σε μεγάλα ύψη είτε κάτω από ειδικές συνθήκες.

Οι αναμεικτήρες επίσης διακρίνονται ανάλογα με τη φορά της ροής του αέρα στο εσωτερικό τους, σε **ανοδικούς (updraft carburetors)** και σε **καθοδικούς αναμεικτήρες (downdraft carburetors)**.

2. Συστήματα άμεσης έγχυσης καυσίμου (fuel injection systems), όπου το καύσιμο ψεκάζεται με τη βοήθεια αντλίας πίεσης στη ροή του εισερχόμενου αέρα ή απ' ευθείας μέσα στον κύλινδρο.

Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε αναλυτικά τα χαρακτηριστικά μέρη και τις αρχές λειτουργίας των συστημάτων έμμεσης και άμεσης έγχυσης καυσίμου.

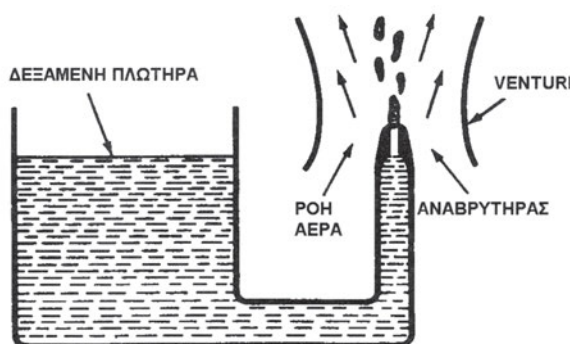
1.6.2.2.1 Αναμεικτήρες με πλωτήρα

Ένας χαρακτηριστικός αναμεικτήρας με πλωτήρα φαίνεται στο Σχήμα 1.60. Τα βασικά του εξαρτήματα και οι αρχές λειτουργίας τους έχουν ως εξής:

1. **Χοάνη αναρρόφησης του αέρα.** Είναι ένας κυλινδρικός σωλήνας που τοποθετείται μεταξύ του αγωγού εισαγωγής και των αγωγών διανομής του καυσίμου μείγματος στους κυλίνδρους. Σε ένα σημείο της διατομής της φέρει μία στένωση. Εκεί, η γεωμετρία έχει τη μορφή του **σωλήνα Venturi** (Σχήμα 1.61).

Στο σημείο αυτό τοποθετείται ο **αναβρυτήρας (discharge nozzle, Σχήμα 1.63)** ή **ζιγκλέρ**, ο οποίος παρέχει την ποσότητα του καυσίμου που απαιτείται στο χώρο της χοάνης. Η ατμοσφαιρική πίεση που επικρατεί στη δεξαμενή καυσίμου οδηγεί το καύσιμο να εξέλθει από τον αναβρυτήρα καθώς επικρατεί υποπίεση στην περιοχή Venturi. Κατά τη φάση εισαγωγής μειώνεται η πίεση στον κύλινδρο του κινητήρα και εξαναγκάζεται η εισαγωγή αέρα σε αυτόν.

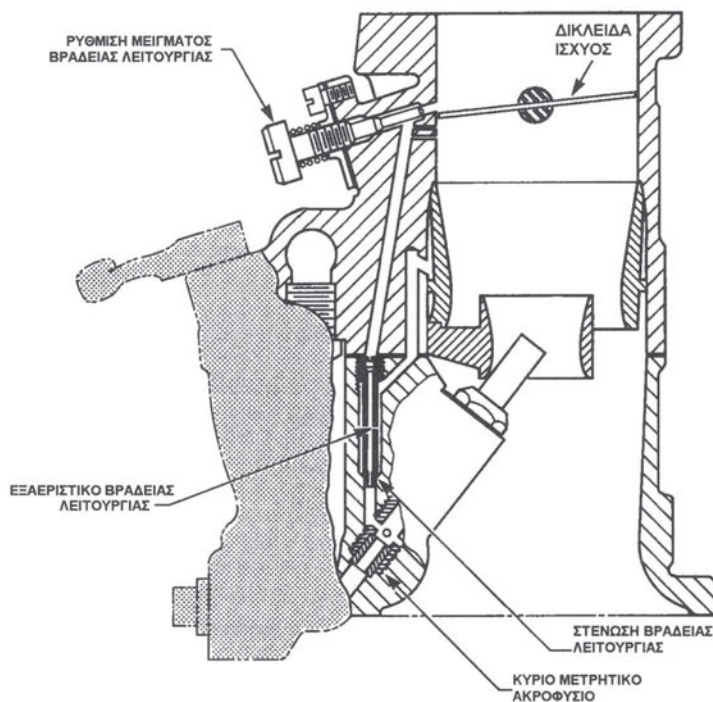
Αυτή η ροή αέρα περνά από την περιοχή Venturi, μειώνει την πίεση και, στη συνέχεια, εξαναγκάζει την ροή καυσίμου από τον αναβρυτήρα. Η ταχύτητα του εισερχόμενου αέρα στην περιοχή του Venturi είναι ανάλογη της δύναμης που θα ασκηθεί στην ποσότητα του καυσίμου. Η λειτουργία του αναβρυτήρα στηρίζεται στη διαφορά μεταξύ της ατμοσφαιρικής πίεσης που επικρατεί στην δεξαμενή με τον πλωτήρα και της υποπίεσης στην περιοχή της στένωσης. Η αύξηση της ταχύτητας του ρεύματος του εισερχόμενου αέρα επιφέρει, ως συνέπεια του **νόμου Bernoulli**, πτώση της πίεσής του. Η υποπίεση αυτή είναι που διατηρεί την εισροή καυσίμου στους κυλίνδρους και χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της ποσότητας του καυσίμου που θα αναμειχθεί με τον εισερχόμενο αέρα. Μετά τη στένωση, υπάρχει η **δικλείδα ισχύος (throttle valve, Σχήμα 1.63)**. Είναι ένας μεταλλικός δίσκος που ελέγχεται από το χειριστή και περιστρέφεται μεταξύ δύο ακραίων θέσεων (ανοιχτή - κλειστή). Η θέση της επηρεάζει την τιμή της υποπίεσης στη στένωση, η οποία επιτρέπει την αναρρόφηση ποσότητας αέρα, την ανάμειξή της με ανάλογη ποσότητα καυσίμου και την παραγωγή ανάλογης ισχύος μετά την καύση του σχηματιζόμενου μείγματος. Στη δίοδο από τη δεξαμενή προς τον αναβρυτήρα παρεμβάλλεται μία στένωση, το κύριο **ακροφύσιο (main metering jet, Σχήμα 1.63)**. Σκοπό έχει να περιορίσει τη ροή καυσίμου προς τον αναβρυτήρα όταν η δικλείδα ισχύος είναι εντελώς ανοιχτή. Ένα εξάρτημα που συνδέεται στον αναβρυτήρα είναι ο **σωλήνας αποτόνωσης αέρα (air bleed valve, Σχήμα 1.63)**. Η σύνδεσή του με τον αναβρυτήρα γίνεται σε σημείο κάτω από τη στάθμη του καυσίμου σε αυτόν. Καθώς στο ελεύθερο άκρο του επικρατεί η υποπίεση της στένωσης, δημιουργείται αναρρόφηση αέρα από αυτόν. Έτσι, διευκολύνεται η έξοδος του καυσίμου από τον αναβρυτήρα και μάλιστα στη μορφή λεπτών σταγονιδίων.



Σχήμα 1.61 Γεωμετρία σωλήνα Venturi σε εγχυτήρα

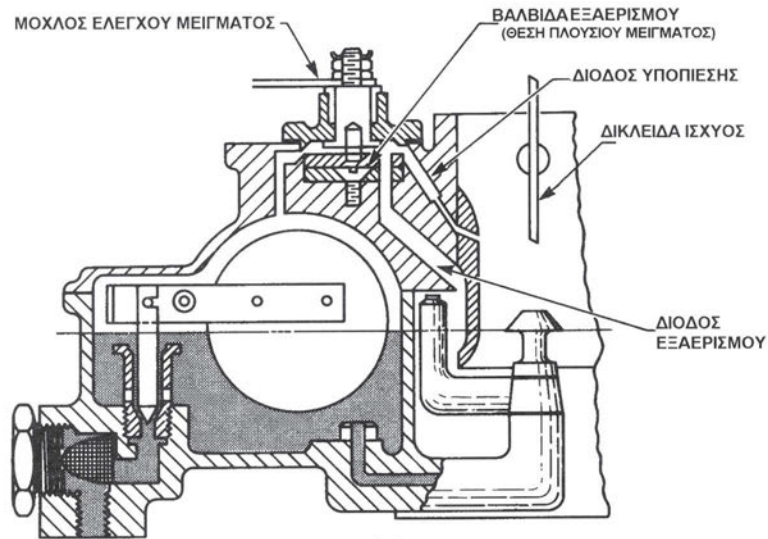
2. **Δεξαμενή με πλωτήρα.** Ονομάζεται και βοηθητική. Η πλήρωση της με καύσιμο επιτυγχάνεται μέσω της αντλίας καυσίμου του κινητήρα από την κύρια δεξαμενή καυσίμου. Βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση και φέρει οπή εξαερισμού. Ο πλωτήρας τοποθετείται μέσω άρθρωσης στη μία πλευρά της δεξαμενής. Διατηρεί τη στάθμη του καυσίμου στη δεξαμενή λίγο παρακάτω από το επίπεδο εξαγωγής του αναβρυτήρα. Φέρει μία **βαλβίδα ελέγχου ροής καυσίμου (needle valve, Σχήμα 1.60)** σε τέτοια θέση ώστε να επιτρέπεται η εισαγωγή ποσότητας καυσίμου στη δεξαμενή ίσης με την ποσότητα που κατευθύνεται προς τον αναβρυτήρα.

3. **Σύστημα βραδείας λειτουργίας (Idling System).** Η αναγκαιότητά του προκύπτει από το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα σε στροφές λειτουργίας κάτω από τις 1000rpm, η δικλείδα ισχύος είναι σχεδόν κλειστή και η ροή αέρα μέσω της στένωσης Venturi δεν είναι αρκετή ώστε να προκαλέσει υποπίεση τέτοιου μεγέθους που θα οδηγήσει σε παροχή καυσίμου από τη δεξαμενή. Ο αέρας περνά από το άκρο της δικλείδας ισχύος έχοντας υψηλή ταχύτητα και χαμηλή πίεση. Στο σώμα της χοάνης αναρρόφησης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.62, υπάρχουν **δύο ή τρεις οπές (idle discharge ports)**. Αυτές συνδέονται μέσω μίας διόδου σε μία παροχή καυσίμου μεταξύ της δεξαμενής και του αναβρυτήρα. Στην κάτω άκρη της διόδου βρίσκεται ο **σωλήνας αποτόνωσης αέρα βραδείας λειτουργίας (idle air bleed)** που φέρει τη **στένωση βραδείας λειτουργίας (idle metering jet)**. Το καύσιμο μεταφέρεται από τη δεξαμενή προς τις οπές λόγω της υποπίεσης που επικρατεί στο άνω σημείο της δικλείδας ισχύος. Η ποσότητά του καθορίζεται από μία βαλβίδα (**idle needle valve**) η οποία προσαρμόζεται στην πρώτη οπή. Όταν η δικλείδα ισχύος ανοίξει, η βαλβίδα μετακινείται στις άλλες οπές επιτρέποντας παροχή καυσίμου πέρα από τα όρια της βραδείας λειτουργίας, αλλά χωρίς τη λειτουργία του αναβρυτήρα. Με την αύξηση των στροφών λειτουργίας του κινητήρα, η δικλείδα ισχύος έχει ανοίξει, δεν επικρατεί υποπίεση στο άνω σημείο της, με αποτέλεσμα να κυκλοφορεί αέρας στις οπές βραδείας λειτουργίας οι οποίες, σε αυτήν την περίπτωση, λειτουργούν ως επιπρόσθετο σύστημα απαέρωσης, βοηθώντας την εξαέρωση του καυσίμου.

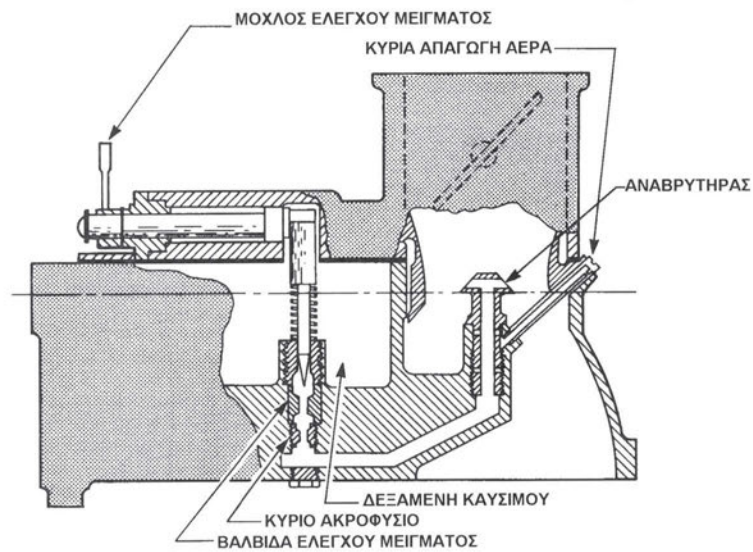


Σχήμα 1.62 Σύστημα βραδείας λειτουργίας

4. Σύστημα ελέγχου καύσιμου μείγματος (Mixture Control System). Ελέγχει τη σωστή ποσότητα του καυσίμου που διοχετεύεται στον αναβρυτήρα. Ο έλεγχος γίνεται με **δύο τρόπους: μεταβάλλοντας την πτώση πίεσης στο κύριο ακροφύσιο και μεταβάλλοντας τη διάμετρο του κύριου ακροφυσίου** διατηρώντας σταθερή τη διαφορά πίεσης στην περιοχή του. Η **πρώτη μεθοδολογία φαίνεται στο Σχήμα 1.63α**. Χρησιμοποιείται μία **βαλβίδα ελέγχου (control valve)** που βρίσκεται στην **εξαεριστική δίοδο (vent line)** της δεξαμενής. Στην ανοιχτή θέση της βαλβίδας, η πίεση στη δεξαμενή είναι ατμοσφαιρική και η διαφορά της από την πίεση στο κύριο ακροφύσιο προκαλεί τη ροή του καυσίμου προς τον αναβρυτήρα. Όταν κλείνει η βαλβίδα, επικρατεί υποπίεση στη δεξαμενή λόγω της επικοινωνίας της με την περιοχή Venturi μέσω μίας **δίοδου υποπίεσης (back-suction channel)**. Η εξίσωση αυτή των πιέσεων σταματά τη ροή καυσίμου προς τον αναβρυτήρα. **Στο Σχήμα 1.63β παρουσιάζεται η δεύτερη μεθοδολογία**. Χρησιμοποιείται μία βαλβίδα (**needle valve**) στο κύριο ακροφύσιο. Στην κλειστή της θέση διακόπτει τελείως τη ροή καυσίμου προς τον αναβρυτήρα (**idle cut-off position**). Όταν η βαλβίδα αρχίσει να ανοίγει, επιτρέπει τη δίοδο καυσίμου προς τον αναβρυτήρα.



(α)



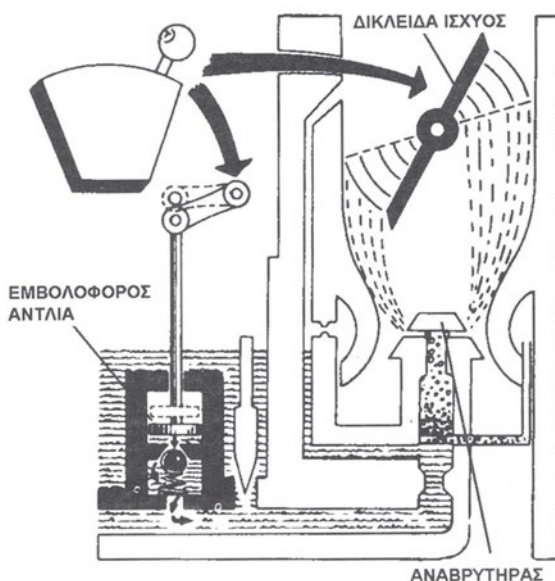
(β)

Σχήμα 1.63 Συστήματα ελέγχου καυσίμου μείγματος

Οι θέσεις του συστήματος ελέγχου καυσίμου μείγματος ελέγχονται από το χειριστή με κατάλληλη συνδεσμολογία μοχλών.

5. Σύστημα επιτάχυνσης (Acceleration System). Η επιτάχυνση του κινητήρα επιτυγχάνεται ανοίγοντας γρήγορα τη δικλείδα ισχύος. Το σύστημα παροχής καυσίμου χρειάζεται κάποιο χρόνο για να ανταποκριθεί (flat spot), με κίνδυνο το καύσιμο μείγμα να γίνει φτωχό. Για την αποφυγή αυτής της κατάστασης χρησιμοποιείται το σύστημα επιτάχυνσης. Αυτό χρησιμοποιεί μία

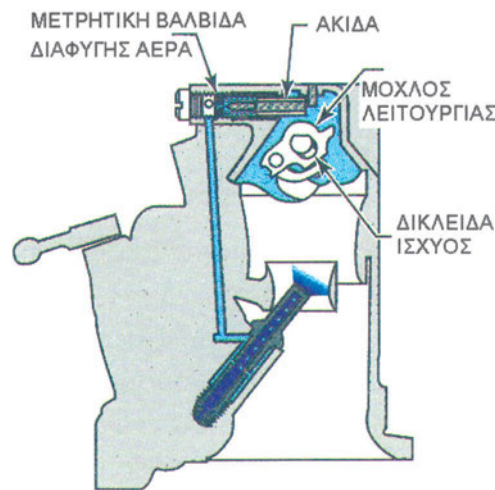
εμβολοφόρο αντλία (piston pump) η οποία παρέχει καύσιμο από τη δεξαμενή στον αναβρυτήρα (Σχήμα 1.64). Η λειτουργία της καθορίζεται από τη θέση της δικλείδας ισχύος. Σε περίπτωση απότομης επιτάχυνσης, το έμβολο της αντλίας συμπιέζει το καύσιμο προς τον αναβρυτήρα ενώ όταν η δικλείδα κινείται κανονικά, το έμβολο δεν κινείται, η αντλία δεν αναρροφά καύσιμο και αυτό οδηγείται στον αναβρυτήρα ακολουθώντας τη συνηθισμένη διαδικασία.



Σχήμα 1.64 Σύστημα επιτάχυνσης

6. **Σύστημα εμπλουτισμού (Power Enrichment System)**. Ουσιαστικά είναι μία βαλβίδα, η οποία παραμένει κλειστή στις χαμηλές και μεσαίες στροφές και ανοίγει στις υψηλές στροφές ώστε να επιτευχθεί πλούσιο καύσιμο μείγμα με σκοπό την ελάττωση της θερμοκρασίας καύσης και την αποφυγή κρουστικής καύσης. Με άλλα λόγια, το σύστημα αυτό επιτρέπει την αύξηση της ποσότητας καυσίμου που απαιτείται για τις υψηλές ταχύτητες ή, σε άλλες περιπτώσεις, τη μείωση του αέρα διαφυγής (Σχήμα 1.65). Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το σύστημα πρέπει να διατηρείται ανενεργό στις χαμηλές και μεσαίες στροφές για την αποφυγή της άσκοπης κατανάλωσης καυσίμου και την επίτευξη οικονομικής λειτουργίας του κινητήρα. Για το λόγο αυτό καλείται και **σύστημα οικονομίας (Economizer system)**. Τέτοια συστήματα λειτουργούν και χωρίς τη χρήση βαλβίδων (συστήματα πίεσης που χρησιμοποιούν την υποπίεση πίσω από τη δικλείδα ισχύος για να καθορίσουν τη ροή καυσίμου από τη δεξαμενή).

Παγοποίηση αναμεικτῆρων. Είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να συμβεί όταν το αεροσκάφος πετά σε μεγάλο ύψος οπότε επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες ή όταν υπάρχουν υδρατμοί στην ατμόσφαιρα. Πέρα από τις φυσικές αιτίες, παγοποίηση μπορεί να επέλθει και λόγω τεχνικών προβλημάτων. Ένα από αυτά είναι και η πτώση της θερμοκρασίας που επιφέρει η εξαέρωση του καυσίμου. Εμφανίζεται στους αναμεικτῆρες με πλωτήρα που η έγχυση του καυσίμου γίνεται πριν από δικλείδα ισχύος. Ο πάγος σχηματίζεται στην περιοχή του αναβρυτήρα και, εμποδίζοντας τη ροή του καυσίμου αλλά και του εισερχόμενου αέρα, αλλοιώνει την αναλογία του καυσίμου μείγματος. Επίσης, παγοποίηση εμφανίζεται και κατά τη λειτουργία της δικλείδας ισχύος σε ενδιάμεση θέση. Η υποπίεση που επικρατεί στο άνω μέρος της δικλείδας έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας και τη συμπύκνωση πιθανών υδρατμών. Ο σχηματιζόμενος πάγος μπορεί να προκαλέσει την ακινητοποίηση της δικλείδας σε μία ορισμένη θέση. Ένα τέτοιο φαινόμενο μπορεί να συμβεί σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος της τάξης των 5°C.



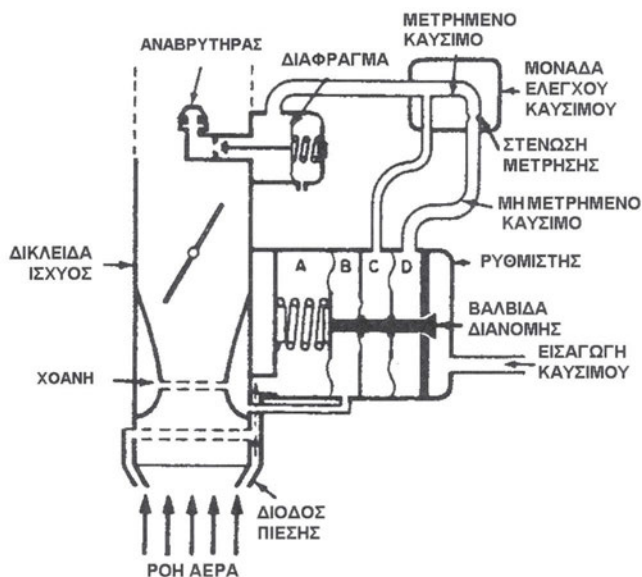
Σχήμα 1.65 Σύστημα εμπλουτισμού

Για να προληφθεί η εμφάνιση παγοποίησης, όταν επικρατούν οι κατάλληλες συνθήκες, ενεργοποιείται το σύστημα εισαγωγής θερμού αέρα, το οποίο μεταφέρει στον αναμεικτῆρα θερμό αέρα από την εξάτμιση του κινητήρα. Στην περίπτωση που η παγοποίηση έχει πλέον εμφανιστεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το σύστημα έγχυσης οιοπνεύματος, αν υπάρχει, και το οποίο βοηθά στην τήξη των πάγων χρησιμοποιώντας την πτητικότητα του οιοπνεύματος.

Κλείνοντας το κεφάλαιο των αναμεικτών με πλωτήρα, θα αναφέρουμε τα δύο βασικά τους μειονεκτήματα: **1) Είναι επιρρεπείς στις κινήσεις του αεροσκάφους καθώς είναι δυνατή η μετατόπιση του πλωτήρα**, με συνέπεια την προβληματική τροφοδοσία με καύσιμο του αναβρυτήρα που μπορεί να επιφέρει ακόμη και τη διακοπή της λειτουργίας του κινητήρα. **2) Είναι ευάλωτοι στην παγοποίηση** η οποία παίρνει επικίνδυνες διαστάσεις στη δικλείδα ισχύος.

1.6.2.2 Αναμεικτές πίεσης

Οι αναμεικτές πίεσης παρουσιάζουν μία εντελώς διαφορετική φιλοσοφία σχεδίασης από τους αναμεικτές με πλωτήρα. Χρησιμοποιούν σταθερά ακροφύσια για την τροφοδοσία του καυσίμου σύμφωνα με την αρχή του Venturi ενώ η εξαέρωση του καυσίμου επιτυγχάνεται με τη χρήση αντλίας θετικής εκτόπισης. Οι αναμεικτές πίεσης δε χρησιμοποιούνται σε σύγχρονα αεροσκάφη, όμως μπορούν να βρεθούν σε αρκετά παλαιότερα. Ένα βασικό τους πλεονέκτημα ως προς τους αναμεικτές με πλωτήρα είναι ότι **η καλή λειτουργία τους δεν εξαρτάται από τις κινήσεις κατά την πτήση του αεροσκάφους**, ενώ **δεν παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα παγοποίησης** διότι η έγχυση του καυσίμου γίνεται μετά τη δικλείδα ισχύος όπου επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες λόγω της γειννίασης με τους κυλίνδρους.



Σχήμα 1.66 Αναμεικτήρας πίεσης

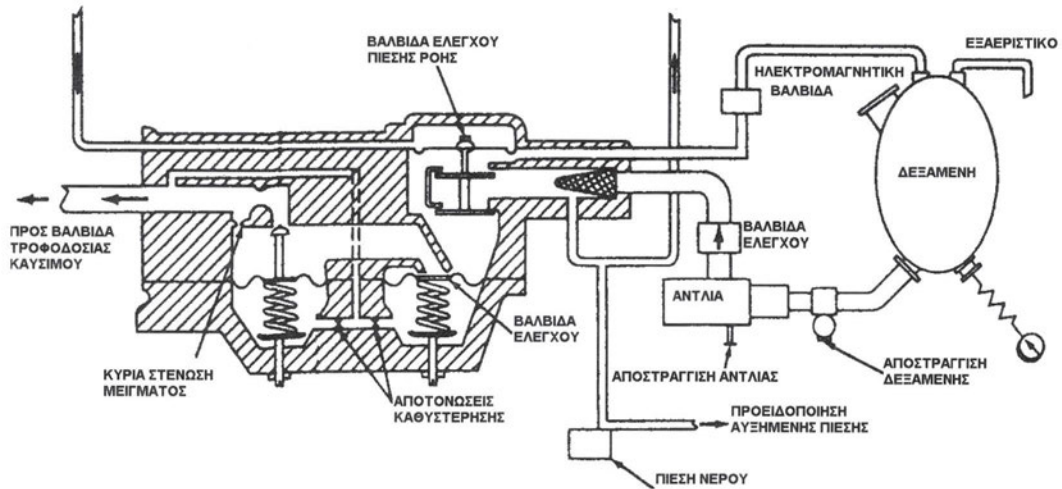
Αρχές λειτουργίας. Η βασική αρχή λειτουργίας ενός αναμεικτήρα πίεσης φαίνεται στο Σχήμα 1.66. Η λειτουργία του στηρίζεται στην αρχή ότι μία μάζα εισαγόμενου αέρα χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πίεσης του καυσίμου σε ένα σύστημα έγχυσης το οποίο είναι αυτό που, με τη σειρά του, καθορίζει τη ροή καυσίμου. Ο αναμεικτήρας, λοιπόν, αυξάνει την παροχή καυσίμου ανάλογα με τη μάζα του εισαγόμενου αέρα και προσδιορίζει με ακρίβεια το λόγο αέρα - καυσίμου σύμφωνα με τη θέση που έχουν η δικλείδα και κάποια άλλα εξαρτήματά του. Βασικά εξαρτήματα είναι: **1) η χοάνη, 2) η δικλείδα ισχύος (throttle valve), 3) ο αναβρυτήρας (fuel nozzle), 4) ο ρυθμιστής (regulator) και 5) η μονάδα ελέγχου του καυσίμου (Fuel Control Unit).** Κατά τη λειτουργία του αναμεικτήρα πίεσης, ο εισερχόμενος αέρας διέρχεται από τη δικλείδα ισχύος σε ποσότητα ανάλογη με τη θέση της τελευταίας. Στην είσοδο του αέρα υπάρχουν **δίοδοι πίεσης (impact tubes)** που δημιουργούν πίεση ανάλογη με την ταχύτητα του ρεύματος αέρα και η οποία εφαρμόζεται στο θάλαμο Α του ρυθμιστή. Καθώς ο αέρας διέρχεται από την περιοχή Venturi, διαμορφώνεται υποπίεση ανάλογη της ταχύτητάς του η οποία εφαρμόζεται στο θάλαμο Β του ρυθμιστή. Η διαφορά πίεσης στους θαλάμους Α και Β αποτελεί τη δύναμη λειτουργίας αέρα (**air metering force**) και καθώς μεγαλώνει, ανοίγει τη **βαλβίδα διανομής (poppet valve)** και επιτρέπει, τη ροή καυσίμου, μέσω της αντλίας, στο θάλαμο D. Το καύσιμο αυτό (το οποίο είναι ακόμη εκτός αναλογίας) ασκεί δύναμη στο διάφραγμα μεταξύ των θαλάμων C και D, ωθώντας τη βαλβίδα διανομής να κλείσει. Το καύσιμο, στη συνέχεια, ρέει σε μία ή περισσότερες διόδους πίεσης της μονάδας ελέγχου καυσίμου και, τελικά, στον αναβρυτήρα. Η σύνδεση που υπάρχει μεταξύ του θαλάμου C και της εξόδου της μονάδας ελέγχου, έχει ως σκοπό να ασκήσει δύναμη μέσω παροχής καυσίμου - που πλέον έχει τη σωστή αναλογία - στο διάφραγμα των θαλάμων C και D. Με τον τρόπο αυτό, καύσιμο εκτός αναλογίας πιέζει το διάφραγμα από το θάλαμο D ενώ καύσιμο με τη σωστή αναλογία πιέζει από το θάλαμο C. Η διαφορά στις δύο αυτές πιέσεις αποτελεί τη **δύναμη λειτουργίας καυσίμου (fuel metering force)**. Η πίεση στο θάλαμο C έχει τιμή περίπου 5psi και ρυθμίζεται από μία βαλβίδα που φέρει ο αναβρυτήρας, η λειτουργία της οποίας καθορίζεται από ένα ελατήριο και εμποδίζει τυχούσα διαρροή από τον αναβρυτήρα όταν ο κινητήρας βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Στην περίπτωση που η δικλείδα ισχύος κλείνει, η δύναμη λειτουργίας αέρα μειώνεται με αποτέλεσμα η δύναμη λειτουργίας καυσίμου να κλείνει προοδευτικά τη βαλβίδα διανομής και να μειώνεται έως την εξίσωσή της με τη δύναμη λειτουργίας αέρα.

Όπως στους αναμεικτères με πλωτήρα έτσι και στους αναμεικτères πίεσης υπάρχουν τα συστήματα τα οποία κανονίζουν τη λειτουργία του αναμεικτères ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας στην οποία βρίσκεται ο κινητήρας και παίρνουν κίνηση ανάλογα με τη θέση της δικλείδας ισχύος. Αυτά είναι:

- **Το σύστημα βραδείας λειτουργίας (Idling System).** Χρησιμοποιείται διότι στις πολύ χαμηλές στροφές η διαμόρφωση της περιοχής Venturi και οι δίοδοι πίεσης δεν εξασφαλίζουν ικανοποιητική πίεση καυσίμου με κίνδυνο η βαλβίδα διανομής καυσίμου να κλείσει τελείως.
- **Το σύστημα επιτάχυνσης (Acceleration System).** Αυξάνει την ποσότητα του καυσίμου που εισέρχεται στον κινητήρα, μέσω της αντλίας επιτάχυνσης, ώστε ο τελευταίος να αντεπεξέλθει σε γρήγορες μεταβολές της ταχύτητας πτήσης.
- **Το σύστημα ελέγχου μείγματος (Mixture Control System).** Ελέγχει το άνοιγμα της βαλβίδας του ρυθμιστή καυσίμου ώστε σε περιπτώσεις, όπως η πτήση σε μεγάλα ύψη ή η αύξηση της θερμοκρασίας, που η πυκνότητα του εισερχόμενου αέρα μειώνεται, να μειώνεται παράλληλα και η παροχή καυσίμου και να διατηρείται κανονική η αναλογία του καυσίμου μείγματος.
- **Το σύστημα εμπλουτισμού ισχύος (Power Enrichment System).** Εξασφαλίζει, μέσω της δίοδου και της βαλβίδας εμπλουτισμού, τη ροή μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου στο ρυθμιστή καυσίμου η οποία απαιτείται σε λειτουργία με υψηλές στροφές.

1.6.2.3 Σύστημα έγχυσης νερού

Η έγχυση νερού πραγματοποιείται στο μείγμα αέρα - καυσίμου ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του μείγματος και των κυλίνδρων με σκοπό να παραχθεί μεγαλύτερη ισχύς από τον κινητήρα χωρίς τον κίνδυνο εμφάνισης αυτεκρήξεων. Βέβαια, δε χρησιμοποιείται καθαρό νερό αλλά ένα μείγμα νερού και μεθανόλης, η οποία εμποδίζει το σχηματισμό πάγου σε μεγάλα ύψη αλλά και τις κρύες ημέρες. Επίσης, εμπεριέχεται και μικρή ποσότητα υδατοδιαλυτού λαδιού με σκοπό την αποφυγή εμφάνισης διάβρωσης από την κυκλοφορία του παραπάνω μείγματος.



Σχήμα 1.67 Σύστημα έγχυσης νερού - μεθανόλης

Η χρήση του συστήματος έγχυσης νερού προήλθε από την ανάγκη λειτουργίας ενός κινητήρα σε πλήρη ισχύ (π.χ. κατά την απογείωση). Χωρίς αυτό, η λειτουργία σε τέτοιες συνθήκες απαιτεί ένα πλούσιο μείγμα της τάξης του 10:1 και ενέχει τον κίνδυνο εμφάνισης αυτεκρήξεων. Ένα μέρος του μείγματος δεν καίγεται και παρέχει ψύξη στον κύλινδρο και το υπόλοιπο μείγμα. Όταν εγχύεται το προαναφερόμενο μείγμα νερού και μεθανόλης, το νερό ψύχει το καύσιμο μείγμα επιτρέποντας μεγαλύτερες πιέσεις λειτουργίας. Επιπρόσθετα, ο λόγος αέρα-καυσίμου προσεγγίζει την τιμή (12:1 περίπου) όπου επιτυγχάνεται η απόδοση μεγαλύτερης ισχύος σχετικά με την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται. Η εμπειρία έχει δείξει ότι η χρήση του μείγματος νερού - μεθανόλης επιφέρει μία αύξηση της τάξης 8% έως 15% στη χρήση ισχύος κατά την απογείωση.

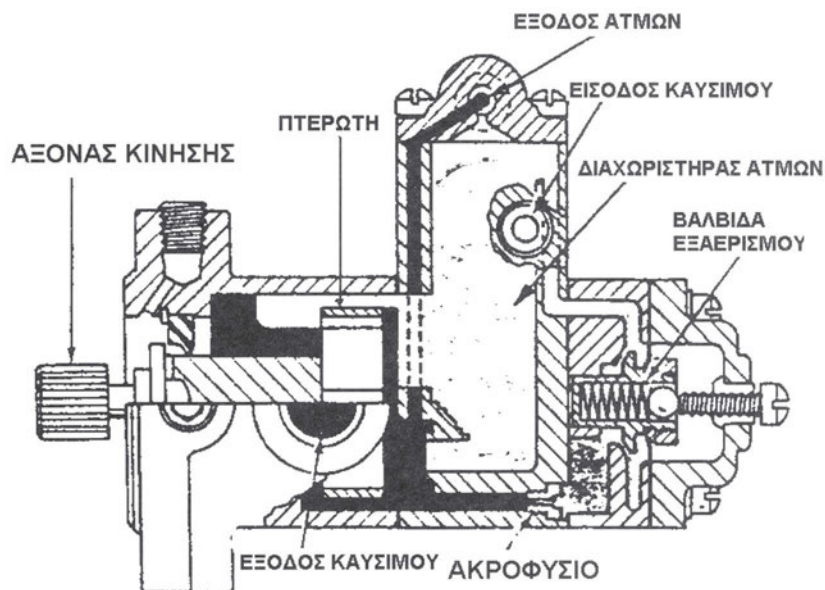
Ένα σύστημα έγχυσης νερού - μεθανόλης φαίνεται στο Σχήμα 1.67 και περιλαμβάνει μία δεξαμενή αποθήκευσης, μία αντλία κυκλοφορίας, ένα ρυθμιστή, μία βαλβίδα ρύθμισης της παροχής και τις απαραίτητες σωληνώσεις και κυκλώματα ελέγχου.

1.6.2.4 Συστήματα άμεσης έγχυσης καυσίμου (fuel injection systems)

Ένα σύστημα άμεσης έγχυσης καυσίμου εγχύει το καύσιμο αμέσως πριν τη βαλβίδα εισαγωγής του κυλίνδρου ή, σε κάποιους κινητήρες, κατευθείαν μέσα στο θάλαμο καύσης του κυλίνδρου. Η άμεση έγχυση του καυσίμου δεν εκμεταλλεύεται τη διαφορά πίεσης που δημιουργεί η ροή του εισερ-

χόμενου αέρα από μία περιοχή Venturi, όπως γίνεται στους αναμεικτήρες. Ως πηγή πίεσης χρησιμοποιείται μία αντλία έγχυσης. Τα **πλεονεκτήματα** που παρουσιάζει η χρήση ενός τέτοιου συστήματος είναι σημαντικά:

- **Μικρός κίνδυνος εμφάνισης παγοποίησης**, αφού η έγχυση του καυσίμου και η ανάμιξη του μείγματος γίνονται πολύ κοντά στην εισαγωγή του κυλίνδρου.
- **Πολύ καλή ανάμιξη και αποτελεσματικός έλεγχος του καυσίμου μείγματος**, λόγω του τρόπου επίτευξης της απαιτούμενης πίεσης λειτουργίας.
- **Εγγυημένη και άμεση επιτάχυνση** του κινητήρα από τη βραδεία λειτουργία.
- **Αυξημένη απόδοση του κινητήρα** λόγω της μείωσης της κατανάλωσης και της υπερθέρμανσης των κυλίνδρων.



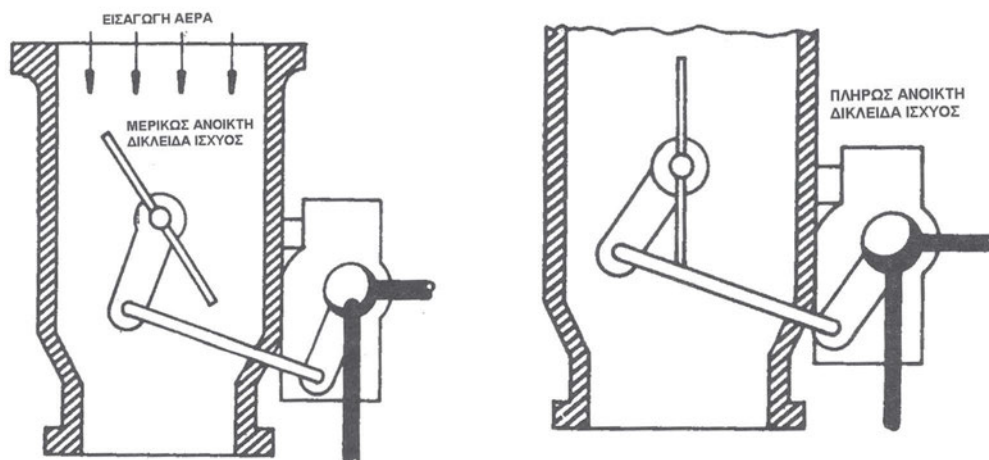
Σχήμα 1.68 Αντλία έγχυσης καυσίμου

Τα συστήματα άμεσης έγχυσης χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολιτικά και στρατιωτικά αεροσκάφη καθώς και σε ελικόπτερα. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε πιο αναλυτικά δύο τύπους αυτών των συστημάτων.

1.6.2.5 Συστήματα άμεσης έγχυσης τύπου Continental

Το σύστημα αυτό χαρακτηρίζεται ως **πολλαπλής έγχυσης (multi-nozzle)** και είναι συνεχούς ροής. Το καύσιμο εγχύεται μόλις πριν την είσοδο κάθε κυλίνδρου. Κάθε αλλαγή στη δικλείδα ισχύος ή / και στην ταχύτητα του αεροσκάφους επιφέρει αλλαγή στη ροή καυσίμου ώστε αυτή να παραμένει στη σωστή αναλογία με την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα. Το σύστημα ελέγχου μείγματος - που ελέγχεται από το χειριστή - και ένα μανόμετρο ένδειξης της πίεσης της στοιχειομετρικής ποσότητας καυσίμου βοηθούν τον έλεγχο του καυσίμου μείγματος σε οποιοδήποτε συνδυασμό ύψους πτήσης και παραγόμενης ισχύος. Η κατανάλωση καυσίμου μπορεί να καθοριστεί εκ των προτέρων, καθώς η παροχή καυσίμου είναι ανάλογη με την πίεση του στοιχειομετρικού καυσίμου. Τέσσερις είναι οι βασικές μονάδες του συστήματος:

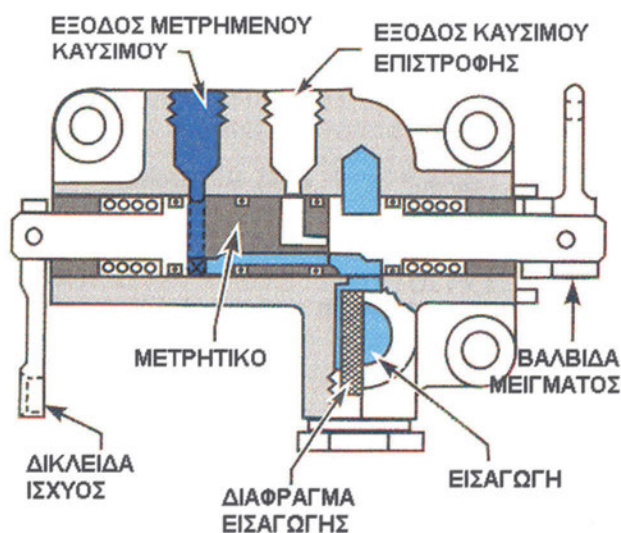
1. **Η αντλία έγχυσης καυσίμου (Fuel Injection Pump, Σχήμα 1.68)**. Κινείται από τον κινητήρα και είναι θετικής εκτόπισης με πτερωτή. Η παροχή του καυσίμου εξαρτάται από τις στροφές του κινητήρα. Το καύσιμο εισέρχεται στην αντλία μέσω ενός διαχωριστήρα ατμών ώστε να απομονωθούν τυχόν συμπυκνώματα. Χρησιμοποιείται κύκλωμα ανακυκλοφορίας καυσίμου λόγω της μεγαλύτερης παροχής από την απαιτούμενη. Η ρύθμιση της πίεσης επιτυγχάνεται από μία βαλβίδα ελατηρίου, η οποία ενεργεί και ως **ανακουφιστική (relief valve)**, σε συνεργασία με κατάλληλο ακροφύσιο οπότε επιτυγχάνεται η αναλογία της πίεσης με τις στροφές του κινητήρα. Η όλη συνδεσμολογία εξασφαλίζει την παροχή καυσίμου σε όλο το εύρος των στροφών του κινητήρα.



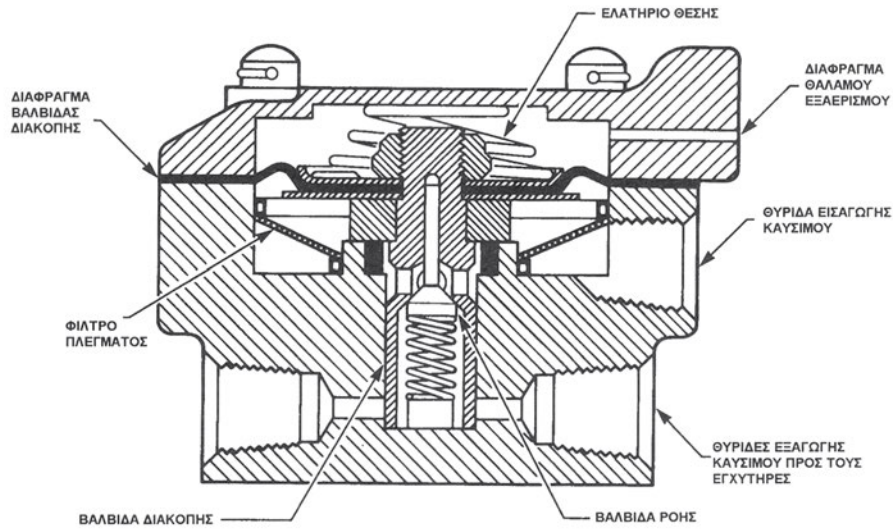
Σχήμα 1.69 Μονάδα ελέγχου αέρα - καυσίμου

2. **Μονάδα ελέγχου αέρα - καυσίμου (Air - Fuel Control Unit, Σχήμα 1.69).** Αντικαθιστά τον αναμεικτήρα στην είσοδο της πολλαπλής σωλήνωσης εισαγωγής. Ελέγχει τη ροή του εισερχόμενου αέρα, με ένα στοιχείο ελέγχου στη δικλείδα ισχύος, ώστε να αναμειχτεί με αυτόν η κατάλληλη ποσότητα καυσίμου, που καθορίζεται από δύο στοιχεία ελέγχου του **ρυθμιστή καυσίμου**. Η δικλείδα ισχύος είναι κατασκευασμένη από χυτό αλουμίνιο. Ο ρυθμιστής καυσίμου (Σχήμα 1.70) κατασκευάζεται από ορείχαλκο ενώ οι βαλβίδες ρύθμισης και ελέγχου μείγματος από ανοξείδωτο χάλυβα. Η βαλβίδα ελέγχου του μείγματος καθορίζει αν το μείγμα θα είναι πλούσιο ή φτωχό και η βαλβίδα ρύθμισης οδηγεί την κατάλληλη ποσότητα καυσίμου προς τους εγχυτήρες και την υπόλοιπη προς την αντλία για ανακυκλοφορία.

3. **Βαλβίδα πολλαπλής σωλήνωσης καυσίμου (Fuel Manifold Valve, Σχήμα 1.71).** Αποτελείται από την εισαγωγή καυσίμου, ένα θάλαμο με ελατηριοειδές διάφραγμα, μία βαλβίδα ροής και τις εξόδους του καυσίμου προς τους εγχυτήρες. Το διάφραγμα, μέσω της πίεσης του καυσίμου, ανοίγει και κλείνει τη βαλβίδα ώστε να επέλθει ροή του καυσίμου προς τις εξόδους. Προσοχή πρέπει να δίνεται στον καθαρισμό του φίλτρου κατακράτησης σωματιδίων του διαφράγματος, κατά τις εργασίες συντήρησης.



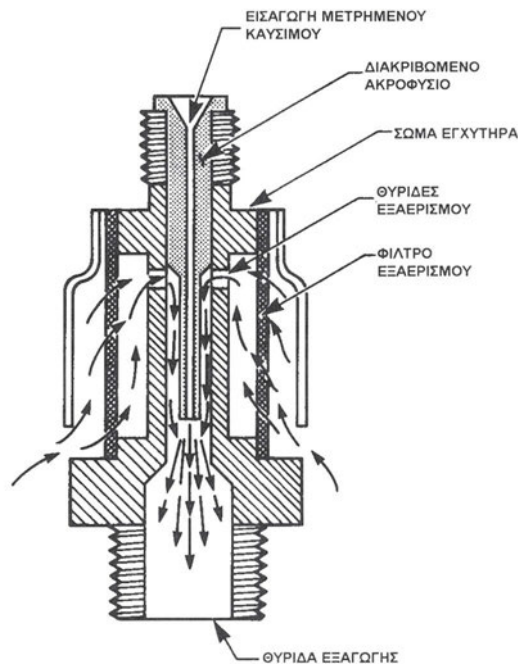
Σχήμα 1.70 Ρυθμιστής καυσίμου



Σχήμα 1.71 Βαλβίδα πολλαπλής σωλήνωσης καυσίμου

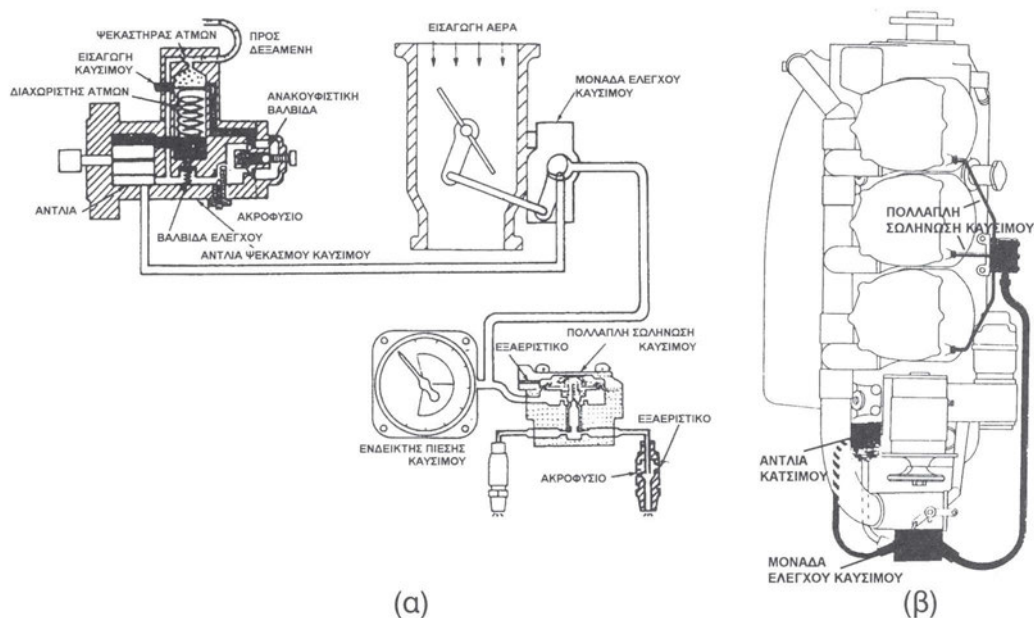
4. Εκχυτήρες καυσίμου (Fuel Discharge Nozzles, Σχήμα 1.72). Τοποθετούνται στην κεφαλή των κυλίνδρων και ψεκάζουν κατευθείαν προς την είσοδο της βαλβίδας εισαγωγής τους.

Στο Σχήμα 1.73α παρουσιάζεται το διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος Continental και στο Σχήμα 1.73β φαίνεται η θέση του πάνω στον κινητήρα.



Σχήμα 1.72 Εκχυτήρες καυσίμου

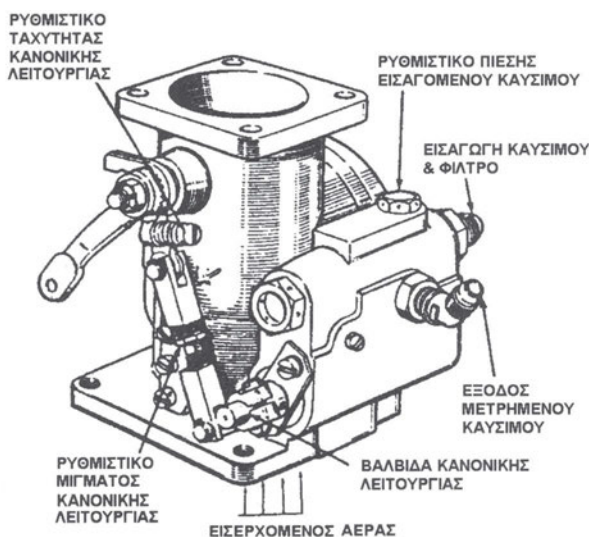
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι



Σχήμα 1.73 Σύστημα Continental

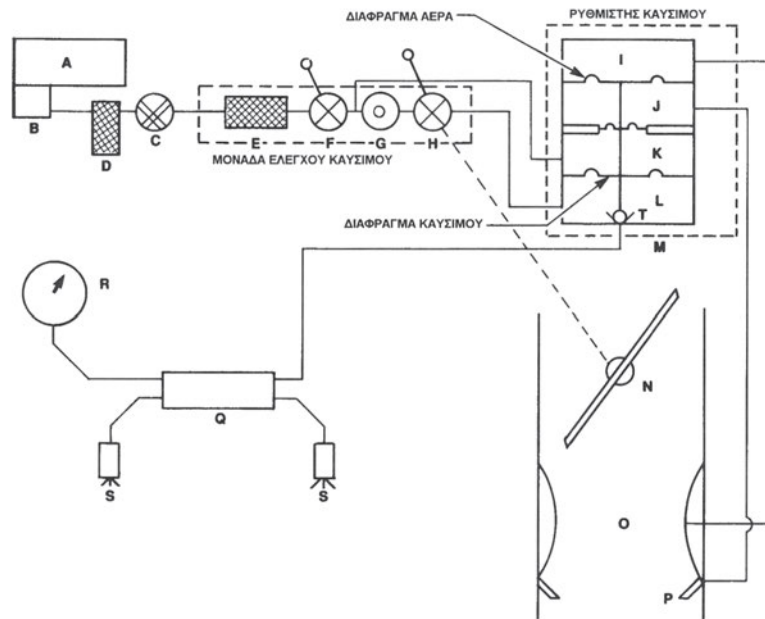
1.6.2.6 Συστήματα άμεσης έγχυσης τύπου Bendix

Το σύστημα Bendix (Σχήμα 1.74) είναι συνεχούς ροής αλλά έχει όμοια αρχή λειτουργίας με τους αναμεικτères πίεσης - υπολογίζει τη ροή του εισερχόμενου αέρα και, χρησιμοποιώντας υποπίεση αέρα, παρέχει την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου στους κυλίνδρους.



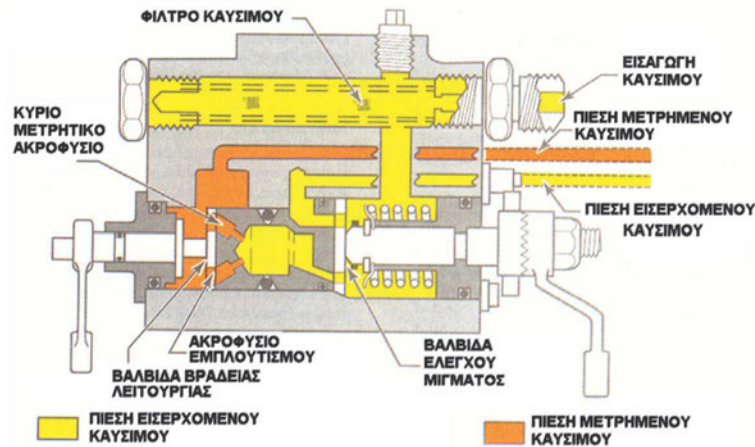
Σχήμα 1.74 Συστήματα άμεσης έγχυσης τύπου Bendix

Στο Σχήμα 1.75 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της λειτουργίας του.



Σχήμα 1.75 Διάγραμμα λειτουργίας συστήματος Bendix

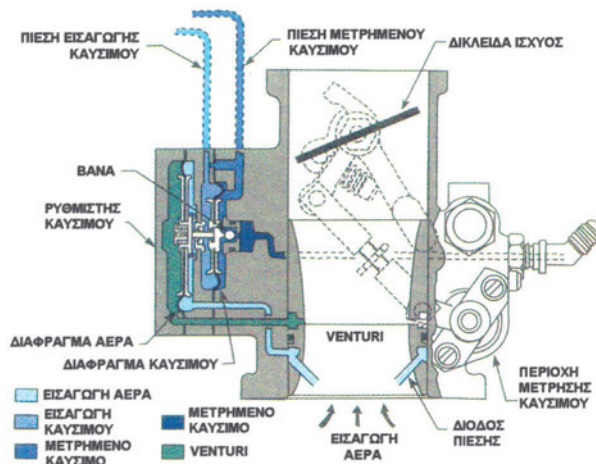
Οι δίοδοι πίεσης P μετρούν την ολική (άθροισμα δυναμική και στατικής) πίεση και η περιοχή Venturi (O) την ταχύτητα του εισερχόμενου αέρα. Αυτές οι δύο μορφές δυνάμεων δρουν ως μία συνισταμένη δύναμη και κινούν το διάφραγμα αέρα (μεταξύ των θαλάμων I και J) σε αναλογία με την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα. Η αντλία καυσίμου C παρέχει καύσιμο στη **μονάδα ελέγχου καυσίμου (Fuel Control Unit, Σχήμα 1.76)** μέσω του φίλτρου E και της ρυθμιστικής βαλβίδας F.



Σχήμα 1.76 Μονάδα ελέγχου καυσίμου

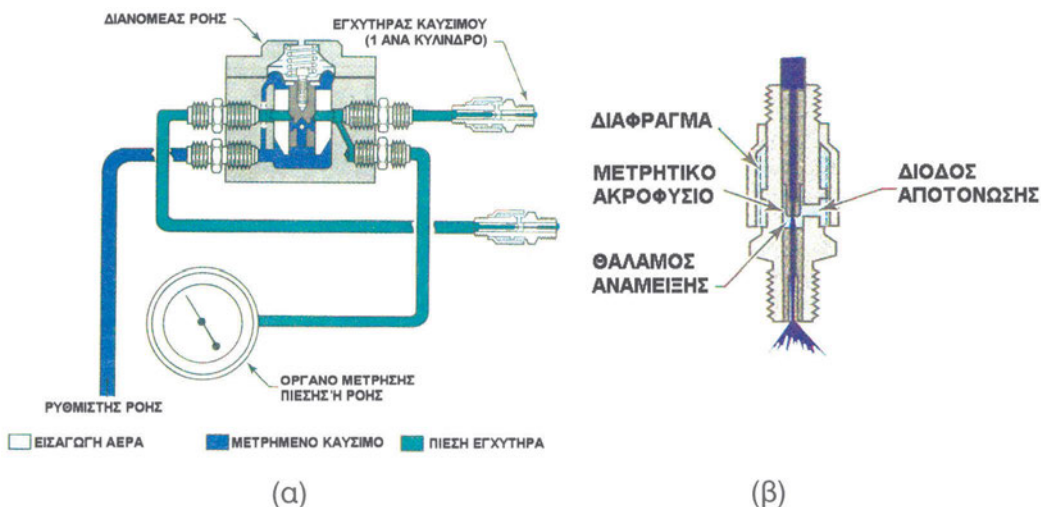
Η πίεση του καυσίμου αναγκάζει τη **σφαιρική βαλβίδα (ball valve) T** να κλείσει. Η **κύρια δίοδος ελέγχου (main metering jet) G** και η βαλβίδα καυσίμου H παρέχουν καύσιμο στο θάλαμο L του ρυθμιστή καυσίμου M (fuel regulator,

Σχήμα 1.77). Το ρυθμισμένο αυτό καύσιμο ανοίγει τη βαλβίδα T.



Σχήμα 1.77 Ρυθμιστής καυσίμου

Στη συνέχεια, το καύσιμο διέρχεται στο **διανομέα (flow divider, Σχήμα 1.78α)** μέσω εύκαμπτου σωλήνα. Ο διανομέας διατηρεί το καύσιμο υπό πίεση, το διανέμει σε όλες τις στροφές λειτουργίας και διακόπτει την παροχή του όταν η, ελεγχόμενη από το χειριστή, **βαλβίδα ελέγχου μείγματος (mixture control valve)** τεθεί στη θέση διακοπής παροχής καυσίμου. Τέλος, το καύσιμο φτάνει στους **εγχυτήρες (injection nozzles, Σχήμα 1.78β)**, οι οποίοι είναι τύπου ανάμιξης αέρα (**air bleed type**) και συνδέονται στο διανομέα με ανοξειδωτη σωλήνωση. Υπάρχει ένας εγχυτήρας για κάθε κύλινδρο του κινητήρα, είναι τοποθετημένος στην κεφαλή του κυλίνδρου και η έξοδός του έχει κατεύθυνση προς την εισαγωγή του κυλίνδρου. Το καύσιμο που εγχύεται αναμειγνύεται με αέρα πριν την έγχυση του ώστε να είναι πιο εύκολη η εξάερωσή του.



Σχήμα 1.78 (α) Διανομέας καυσίμου και (β) εγχυτήρας

1.7 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

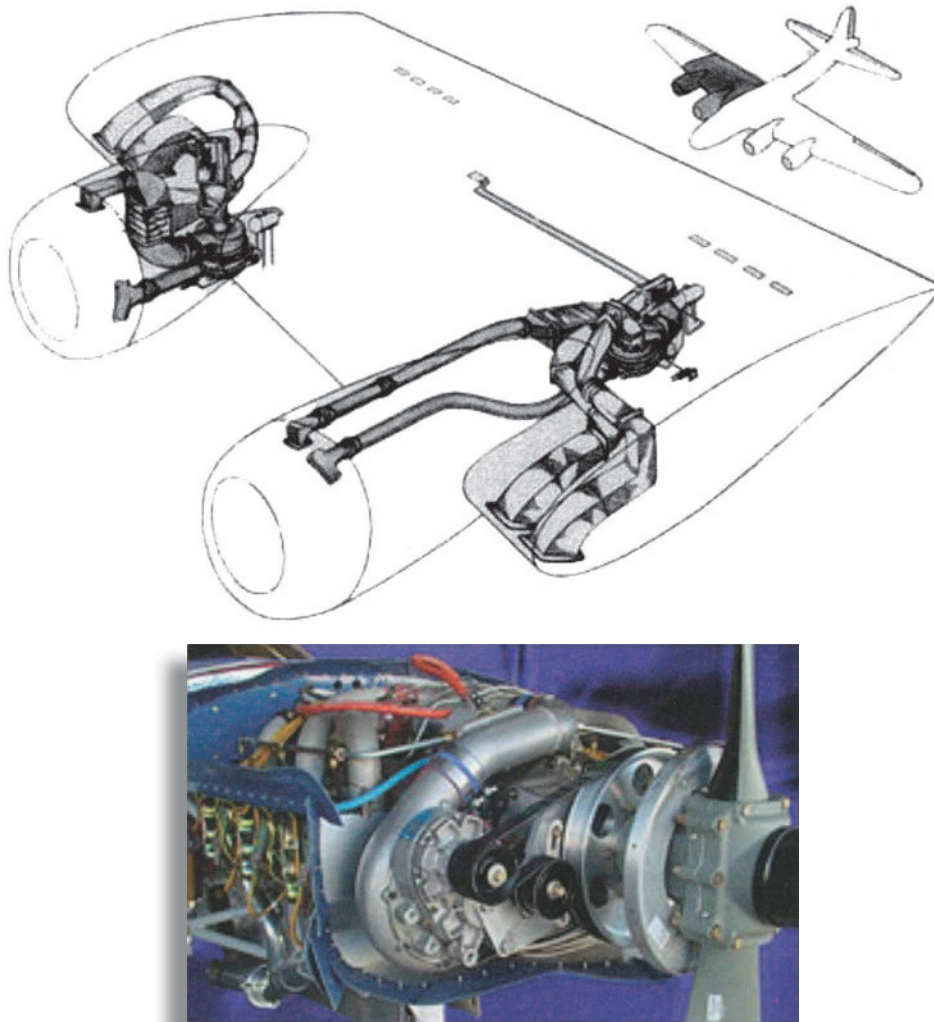
1.7.1 Γενικά

Ο πιο εύκολος τρόπος για την αύξηση της ισχύος ενός κινητήρα, με δεδομένη την καλύτερη δυνατή επιλογή για τη σχέση συμπίεσης και το μέγιστο αριθμό στροφών, είναι η αύξηση της χωρητικότητας των κυλίνδρων του, η οποία όμως έχει σαν αποτέλεσμα και τη μεγέθυνση των διαστάσεων του κινητήρα. Ένας διαφορετικός τρόπος αύξησης της ισχύος είναι η βελτίωση της “αναπνοής” του κινητήρα, η εισαγωγή δηλαδή μεγαλύτερης ποσότητας αέρα για την ίδια χωρητικότητα κυλίνδρων. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η αύξηση της ισχύος με περιορισμό της αύξησης της κατανάλωσης, αφού η διατήρηση της ίδιας χωρητικότητας δεν επιφέρει περισσότερες τριβές και θερμικές απώλειες. Για την εισαγωγή μεγάλης ποσότητας αέρα στους κυλίνδρους, δεν επαρκεί η ώθηση που του δίνεται από την ατμοσφαιρική πίεση - επειδή αυτή είναι σταθερή και δε μπορεί να ωθήσει, παρά μέχρι κάποιο όριο, τον αέρα μέσα στον κύλινδρο. Χρειάζεται, πλέον, ο εξαναγκασμός του αέρα, μία επιπρόσθετη αύξηση της πίεσής του με μηχανικά μέσα. Αυτήν την ανάγκη έρχονται να καλύψουν τα συστήματα υπερσυμπίεσης ή υπετροφοδοσίας (supercharging), διατάξεις που τοποθετούνται στην εισαγωγή του κινητήρα και συμπιέζουν τον αέρα, αυξάνοντας έτσι την παροχή του.

Πιο αυστηρά, υπερσυμπίεση ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης ονομάζεται η διαδικασία της εισαγωγής στους κυλίνδρους μεγαλύτερης ποσότητας (περισσότερων γραμμαρίων ανά δευτερόλεπτο) μείγματος ατμοσφαιρικού αέρα και καυσίμου, από την ποσότητα που θα αναρροφούσε ο ίδιος κινητήρας, χρησιμοποιώντας μόνο την κίνηση των εμβόλων του και κανέναν άλλο βοηθητικό μηχανισμό. Στο Σχήμα 1.79 φαίνονται χαρακτηριστικοί τρόποι τοποθέτησης συστημάτων υπερσυμπίεσης επί του αεροσκάφους.

Η λειτουργία των αεροπορικών κινητήρων σε περιβάλλον μειωμένης πυκνότητας αέρα κάνει απαραίτητη τη χρήση συστημάτων υπερσυμπίεσης για την ανάκτηση της αποδιδόμενης ισχύος (σε σύγκριση με τη λειτουργία σε συνθήκες “κανονικής” πυκνότητας αέρα¹).

¹ Ως “κανονική” εννοούμε την πυκνότητα του αέρα στο επίπεδο της θάλασσας.



Σχήμα 1.79 Συστήματα υπερσυμπίεσης επί του αεροσκάφους

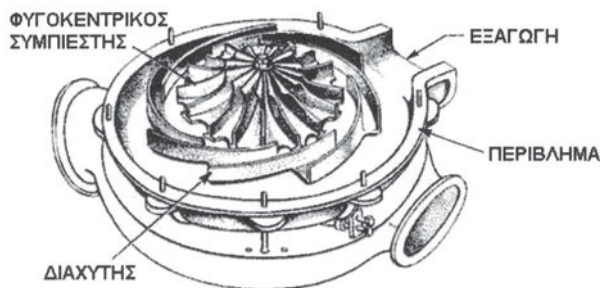
Στο σημείο αυτό, θα μπορούσε κάποιος να αντιπαραθέσει την άποψη ότι η αύξηση της ισχύος μπορεί να προέλθει και από την αύξηση του βαθμού συμπίεσης του κινητήρα, αφού και αυτή θα επιφέρει αύξηση της μέσης πίεσης με δεδομένο το μέγιστο αριθμό στροφών. Όμως, η υψηλή συμπίεση αυξάνει τόσο τη μέγιστη πίεση ανάφλεξης όσο και τη θερμοκρασία του κυλίνδρου.

1.7.2 Τα διάφορα συστήματα υπερσυμπίεσης

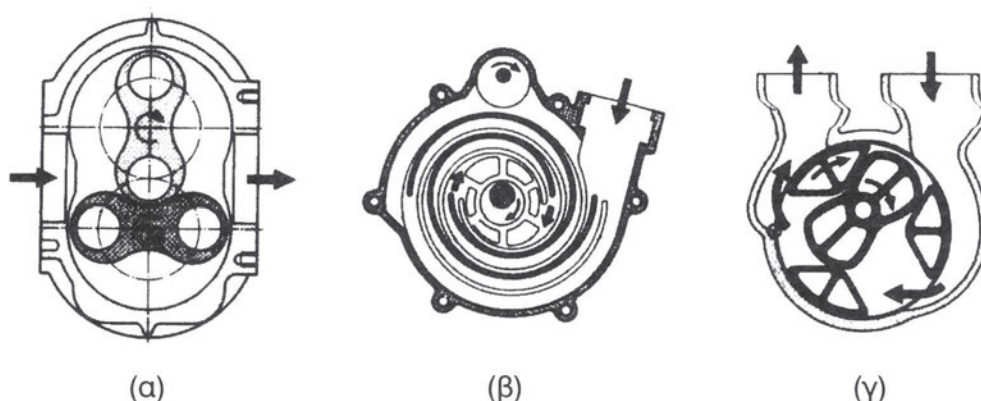
Τα διάφορα συστήματα υπερσυμπίεσης διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο κίνησής τους, τη θέση τους στην εισαγωγή του κινητήρα, τις βαθμίδες συμπίεσης που φέρουν και την ταχύτητα περιστροφής του κινητού τους μέρους. Ως προς τον τρόπο κίνησης, οι υπερσυμπιεστές διακρίνονται σε **άμεσης και έμμεσης μετάδοσης της κίνησης**. Ως προς τη θέση, οι υπερσυμπιεστές διακρίνονται σε αυτούς που τοποθετούνται **πριν από τον αναμεικτήρα** και σε αυτούς που τοποθετούνται **μεταξύ του αναμεικτήρα και του κινητήρα**. Αναφορικά με τις βαθμίδες συμπίεσης, οι οποίες αποτελούν κάθε μεμονωμένη αύξηση της συμπίεσης, οι υπερσυμπιεστές διακρίνονται σε **απλής, διπλής ή πολλαπλής βαθμίδας**. Τέλος, όσον αφορά την ταχύτητα περιστροφής, οι υπερσυμπιεστές μπορούν να κινούνται **με μία σταθερή ή με δύο ταχύτητες ή, ακόμη, και με μεταβλητή ταχύτητα**.

1.7.2.1 Μηχανικοί υπερσυμπιεστές - άμεση μετάδοση της κίνησης.

Οι μηχανικοί υπερσυμπιεστές παίρνουν κίνηση απευθείας από το στροφαλοφόρο άξονα κάτω από μία σταθερή σχέση μετάδοσης. Για την εναλλαγή των συνθηκών της κατάστασης λειτουργίας του υπερσυμπιεστή χρησιμοποιούνται μηχανικοί ή ηλεκτρομαγνητικοί συμπλέκτες. Τα είδη των συμπιεστών που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι: α) **Φυγοκεντρικός** συμπιεστής (Σχήμα 1.80), β) Συμπιεστής **Roots** (Σχήμα 1.81α), όπου τα κινητά στοιχεία είναι λοβοειδή - έχουν μορφή "8" - δεν εφάπτονται μεταξύ τους και κινούνται από ένα ζεύγος γραναζιών, γ) **Ελικοειδής** συμπιεστής (Σχήμα 1.81β) και δ) Συμπιεστής **με περιστρεφόμενα έμβολα** (Σχήμα 1.81γ).



Σχήμα 1.80 Φυγοκεντρικός συμπιεστής σε υπερσυμπιεστή



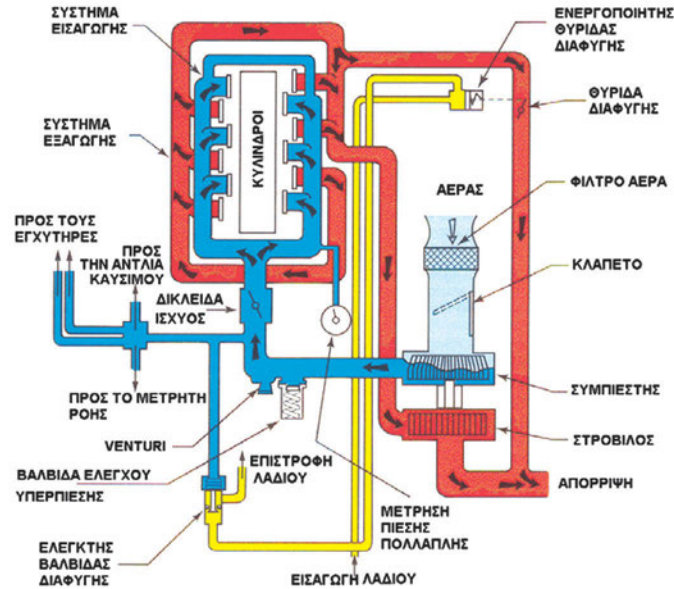
Σχήμα 1.81 (α) Συμπιεστής Roots, (β) Ελικοειδής συμπιεστής, (γ) Συμπιεστής με περιστρεφόμενα έμβολα.

Η ταχύτητα περιστροφής του συμπιεστή είναι 6 έως 14 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα του κινητήρα. Τα στροφεία κατασκευάζονται, συνήθως, από ειδικούς χάλυβες ή ντουραλουμίνιο. Υπόκεινται σε μεγάλες φυγοκεντρικές δυνάμεις. Ειδικά κατά τις απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις αναπτύσσονται υψηλές αδρανειακές δυνάμεις πάνω σε όλη την κατασκευή του υπερσυμπιεστή.

Τα **πλεονεκτήματα** των μηχανικών υπερσυμπιεστών είναι ότι παρουσιάζουν **σταθερή σχέση πιέσεων σε χαμηλές και υψηλές στροφές, εξασφαλίζουν υψηλή ροπή στον κινητήρα** ακόμη και στις χαμηλές στροφές, **παρέχουν άμεσα την απαιτούμενη πίεση και ισχύ και παρέχουν ποσότητα αέρα ανεξάρτητη από την πίεση και ανάλογη με τον αριθμό των στροφών. Ως μειονεκτήματά** τους αναφέρουμε **το μεγάλο βάρος και όγκο** που παρουσιάζουν σε σχέση με τους υπερσυμπιεστές έμμεσης μετάδοσης κίνησης και την **κατανάλωση μεγάλης ισχύος** για την κίνησή τους (της τάξης των 50hp για έναν κινητήρα 500hp με ολική αύξηση ισχύος 200hp).

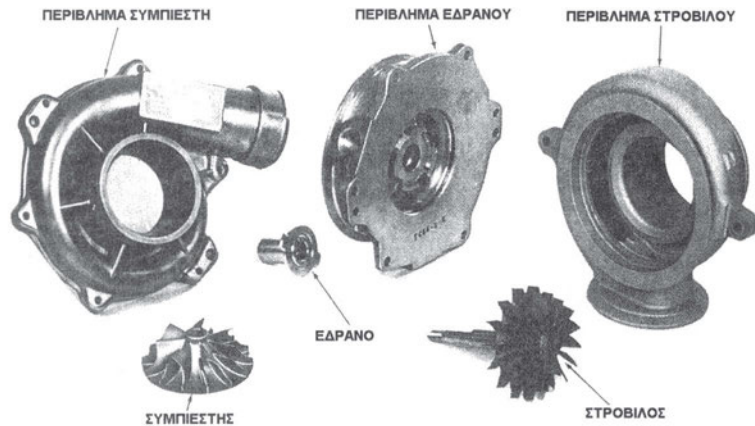
1.7.2.2 Στρόβιλο-υπερπληρωτές - έμμεση μετάδοση της κίνησης

Οφείλουν την ονομασία τους στα δύο βασικά μέρη από τα οποία αποτελούνται, το συμπιεστή και το στρόβιλο (τουρμπίνα) που συνδέονται με έναν κοινό άξονα. Η τοποθέτηση ενός **στρόβιλο-υπερπληρωτή (turbo-supercharger)** στον κινητήρα γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε ο στρόβιλος να παρεμβάλλεται στο σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων και ο συμπιεστής στο σύστημα εισαγωγής του αέρα (Σχήμα 1.82).



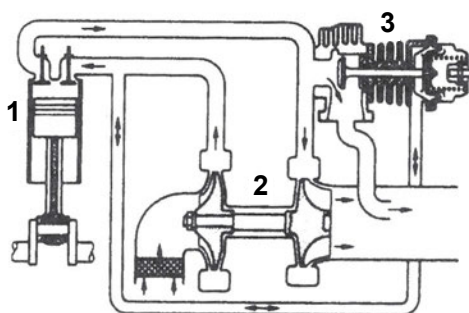
Σχήμα 1.82 Απεικόνιση τοποθέτησης στρόβιλο-υπερπληρωτή στο σύστημα εισαγωγής αέρα του εμβολοφόρου κινητήρα

Μετά το άνοιγμα των βαλβίδων εξαγωγής και την έξοδο των καυσαερίων από τον κύλινδρο, αυτά συναντούν το στρόβιλο και τον εξαναγκάζουν σε περιστροφή, χάνοντας μέρος της ενέργειάς τους. Η κίνηση αυτή του στρόβιλου μεταδίδεται, μέσω του κοινού άξονα, στο συμπιεστή, ο οποίος συμπιέζει έτσι τον αέρα εισαγωγής, αυξάνοντας την πυκνότητά του και, επακόλουθα, τη συνολική μάζα του που εισάγεται στους κυλίνδρους. Με τον τρόπο αυτόν, αυξάνεται η ισχύς του κινητήρα, χωρίς παράλληλη αύξηση της χωρητικότητας του ή του αριθμού των στροφών του. Στο Σχήμα 1.83 φαίνονται τα μέρη που συνθέτουν το στρόβιλο-υπερπληρωτή.



Σχήμα 1.83 Τα μέρη του στρόβιλο-υπερπληρωτή

Για την αποφυγή της υπερβολικής αύξησης της πίεσης στους κυλίνδρους, ο στρόβιλος πρέπει να έχει τέτοια ρύθμιση ώστε να αποδίδει την επιθυμητή πίεση στο μέγιστο στροφών του. Αυτό όμως θα προκαλούσε προβλήματα στη ροπή του κινητήρα στις χαμηλές και τις μεσαίες στροφές. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται η **βαλβίδα ελέγχου της πίεσης (βαλβίδα εκτόνωσης - Booster)** που περιορίζει την πίεση του στρόβιλο-υπερπληρωτή στις υψηλές στροφές λειτουργίας του. Ρυθμίζεται από ένα έμβολο που ενεργοποιείται από την πίεση στην πολλαπλή σωλήνωση της εισαγωγής. Όταν η πίεση ξεπεράσει μία προκαθορισμένη τιμή, η βαλβίδα ανοίγει μία δίοδο για τα καυσαέρια προς την εξαγωγή. Με τον τρόπο αυτόν, ο στρόβιλος λειτουργεί με περιορισμένη παροχή και η πίεση μειώνεται στα επιθυμητά επίπεδα (Σχήμα 1.84). Η λειτουργία της βαλβίδας ελέγχεται είτε από το χειριστή του αεροσκάφους είτε από ένα ρυθμιστή πυκνότητας και ένα ρυθμιστή διαφορικής πίεσης. Ο τελευταίος ενεργοποιείται από τη διαφορά πίεσης πριν και μετά τη δικλείδα ισχύος. Όταν αυτή είναι εντελώς ανοικτή και δεν υπάρχει διαφορά πίεσης, τότε ενεργοποιείται ο ρυθμιστής πυκνότητας που ελέγχει την πυκνότητα του εισερχόμενου αέρα και για κάθε μεταβολή της θερμοκρασίας του, προκαλεί μία αντίστοιχη μεταβολή της πίεσης ώστε η πυκνότητα να διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα.



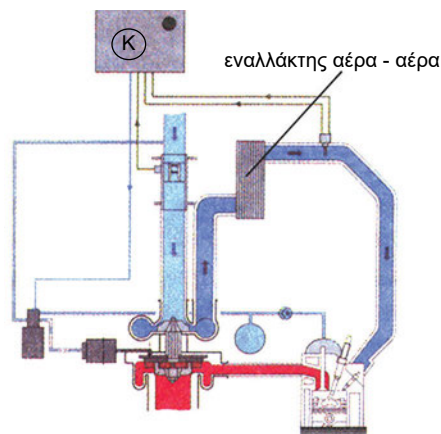
Σχήμα 1.84 (1) Κύλινδρος, (2) στρόβιλο-υπερπληρωτή και (3) βαλβίδα εκτόνωσης

Ως **πλεονεκτήματα** των στρόβιλο-υπερπληρωτών θεωρεί κανείς ότι για την κίνησή τους **απαιτούν αμελητέα ισχύ του κινητήρα, παρουσιάζουν μικρό βάρος και μικρό μέγεθος** - σχετικά με άλλου είδους υπερσυμπιεστές καθώς επίσης και το γεγονός ότι **δεν απαιτούν γρανάζια ή τροχαλίες και ιμάντες μετάδοσης κίνησης**. Στα **μειονεκτήματά** τους συγκαταλέγονται ότι **ενεργοποιούνται στις μεσαίες και υψηλές στροφές ενώ παρουσιάζουν καθυστερημένη ανταπόκριση σε γρήγορες αλλαγές των στροφών του κινητήρα**.

1.7.3 Ψύξη του παρεχόμενου αέρα (intercooler)

Ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα της χρήσης υπερσυμπιεστή (που επηρεάζει τους βενζινοκινητήρες και όχι τους πετρελαιοκινητήρες) είναι η μεγάλη αύξηση των θερμοκρασιών στο εσωτερικό του κινητήρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη διαδικασία της συμπίεσης ο αέρας θερμαίνεται και έχει ως συνέπεια τη **σημαντική αύξηση της πιθανότητας αυτανάφλεξης του καυσίμου** (τα λεγόμενα “πειράκια”) που, εκτός από τη σημαντική μείωση της απόδοσης του κινητήρα, μπορεί ακόμη και να προκαλέσει την καταστροφή του. Η λύση που χρησιμοποιείται στους υπερτροφοδοτούμενους βενζινοκινητήρες είναι **η μείωση της σχέσης συμπίεσής τους**, που βέβαια μειώνει της τελική ισχύ τους καθώς και το βαθμό απόδοσής τους.

Για την αποφυγή των φαινομένων που προαναφέρθηκαν, χρησιμοποιείται και η λύση της τοποθέτησης ενός **εναλλάκτη θερμότητας (intercooler - ψυγείο αέρα)**, σε θέση μετά το συμπιεστή, ο οποίος θα ψύχει τον συμπιεσμένο αέρα εισαγωγής. Με τον τρόπο αυτό, η θερμοκρασία του τελευταίου, κατά την είσοδό του στους κυλίνδρους, περιορίζεται στους 40°C περίπου. Στο Σχήμα 1.85 φαίνεται ένας υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας ο οποίος χρησιμοποιεί ψυγείο για την ψύξη του συμπιεσμένου αέρα εισαγωγής.



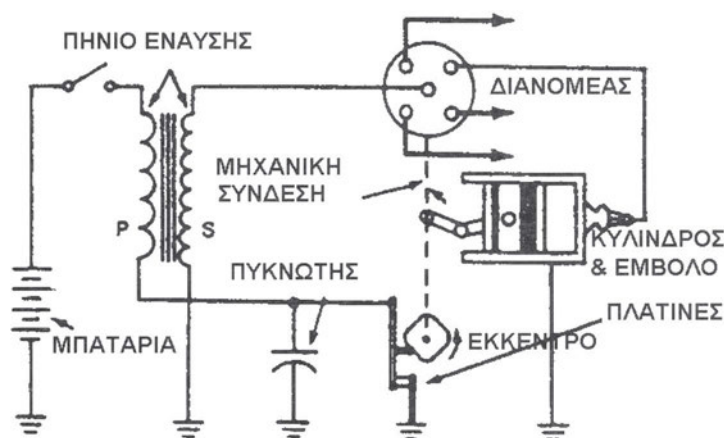
Σχήμα 1.85 Ψύξη του αέρα εισαγωγής

1.8 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ

1.8.1 Γενικά

Κατά τη διάρκεια του 3ου χρόνου του κύκλου λειτουργίας του τετράχρονου βενζινοκινητήρα, καθώς το έμβολο πλησιάζει το ΑΝΣ του κυλίνδρου, οι **σπινθηριστές (μπουζί - spark plugs)** παρέχουν ηλεκτρικό σπινθήρα ώστε το συμπιεσμένο καύσιμο μείγμα να αναφλεγεί. Οι σπινθηριστές αποτελούν τμήμα του συστήματος ανάφλεξης του κινητήρα και παρέχουν σπινθήρα περιοδικά σε κάθε κύλινδρο σε μία συγκεκριμένη θέση του εμβόλου και των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Τα συστήματα ανάφλεξης διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν **μπαταρία** και σε αυτά που χρησιμοποιούν **μανιατό (σπινθηροπαγωγός - magneto)**.

1.8.2 Συστήματα ανάφλεξης με μπαταρία



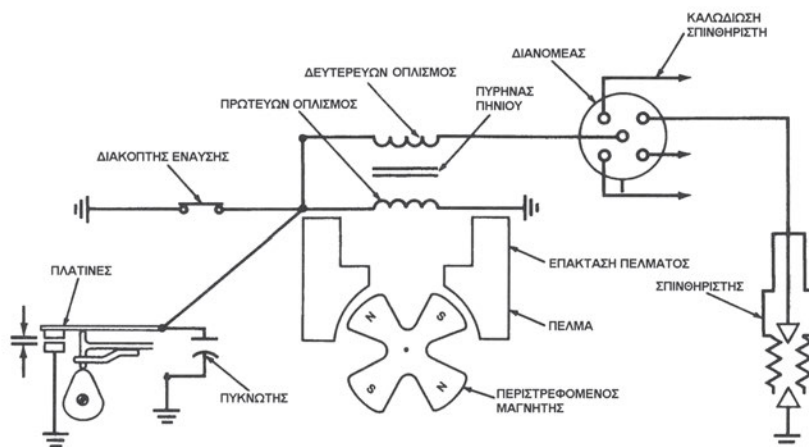
Σχήμα 1.86 Σύστημα ανάφλεξης με μπαταρία

Χρησιμοποιούνται από ελάχιστα αεροπλάνα, πλέον, και είναι σχεδόν όμοια με αυτά που χρησιμοποιούν τα αυτοκίνητα. Η πηγή της ενέργειας είναι μία μπαταρία. Χρησιμοποιείται ένα **πηνίο ανάφλεξης (ignition coil)** το οποίο, ουσιαστικά, είναι ένας συνδυασμός πηνίων, του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος (Σχήμα 1.86). Η περιέλιξη του πρώτου είναι συνδεδεμένη με τη μπαταρία, φέρει σύρμα μεγάλης διατομής και μεταφέρει ρεύμα του οποίου η κίνηση δημιουργεί μαγνητικό πεδίο. Η δεύτερη περιέλιξη έχει λεπτό σύρμα,

είναι τυλιγμένη γύρω από το πρωτεύον πηνίο χωρίς να υπάρχει καμία επαφή μεταξύ τους (στην πραγματικότητα είναι μονωμένες). Στο κύκλωμα τοποθετείται ένας διακόπτης, οι **πλατίνες (breaker contact points)**. Ένα έκκεντρο (cam), που παίρνει κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα, ανοίγει τις πλατίνες και διακόπτεται η ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο πρωτεύον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μηδενιστεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου - που εμφανίζεται με τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος στις σπείρες του πρωτεύοντος - και να αναπτυχθεί υψηλή τάση στο δευτερεύον πηνίο. Αυτή οδηγείται μέσω του **διανομέα (distributor)** στους σπινθηριστές του κυλίνδρου που έχει σειρά να πραγματοποιήσει διεργασία έναυσης.

1.8.3 Συστήματα ανάφλεξης με μανιατό

Το **μανιατό (magneto)** είναι μία γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος (**alternate current - ac**) η οποία παράγει ηλεκτρικούς παλμούς υψηλής τάσης για την επίτευξη της ανάφλεξης ενός αεροπορικού κινητήρα. Η ανάφλεξη με τη χρήση του μανιατό υπερτερεί από αυτή με μπαταρία διότι στις υψηλές ταχύτητες του κινητήρα παράγεται πιο δυνατός σπινθήρας. Επιπρόσθετα, το μανιατό είναι μία αυτόνομη μονάδα, εντελώς ανεξάρτητη από οποιαδήποτε άλλη ηλεκτρική πηγή. Στο Σχήμα 1.87 φαίνεται η βασική διάταξη των κυκλωμάτων του μανιατό.

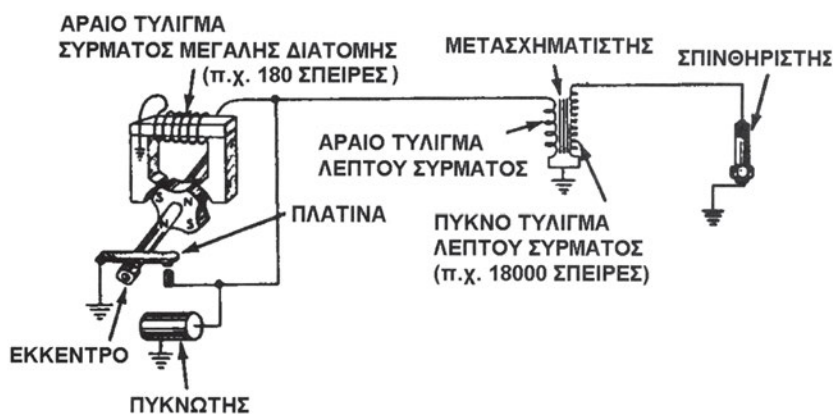


Σχήμα 1.87 Βασική διάταξη κυκλωμάτων μανιατό

1.8.3.1 Τύποι συστημάτων μανιατό

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να διακρίνει κάποιος τα συστήματα ανάφλεξης με μανιατό. (1) Υψηλής ή χαμηλής τάσης. Τα μανιατό **υψηλής τάσης (High voltage magneto)** δίνουν ρεύμα υψηλής τάσης στους **σπινθηριστές**

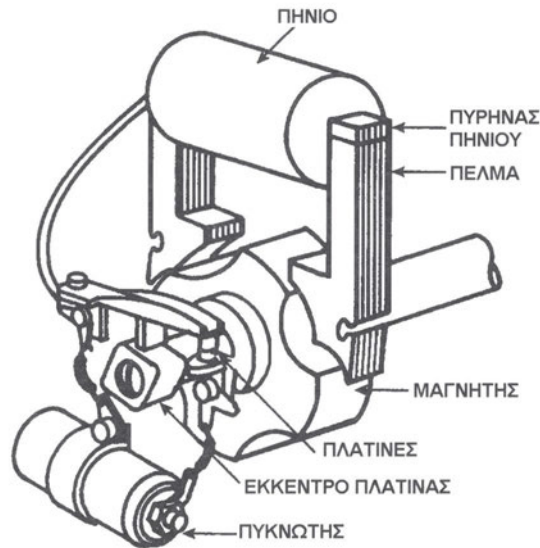
και έχουν **πρωτεύοντα και δευτερεύοντα οπλισμό (περιέλιξη)**, οπότε και δεν είναι απαραίτητη η παρουσία ενός εξωτερικού επαγωγικού πηνίου. Με τη διακοπή ρεύματος στο πρωτεύον κύκλωμα παράγεται χαμηλή τάση στον πρωτεύοντα οπλισμό με επακόλουθη ανάπτυξη ρεύματος υψηλής τάσης από επαγωγή στο δευτερεύοντα οπλισμό. Το μεγάλο **μειονέκτημα** στη χρήση του μανιατό υψηλής τάσης είναι ότι **οι καλωδιώσεις και ο διανομέας δεν μπορούν να μεταφέρουν ρεύμα υψηλής τάσης στις συνθήκες μειωμένης πυκνότητας αέρα κατά τις πτήσεις σε μεγάλα ύψη**. Αυτό γίνεται λόγω της μείωσης της μονωτικής ικανότητας του αέρα όσο μειώνεται η πυκνότητά του. Το αποτέλεσμα είναι να παρουσιάζεται διαρροή ρεύματος στο διανομέα αλλά και, κάποιες φορές, διακοπή της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα του μανιατό. Λύσεις στο πρόβλημα αυτό είναι **η χρήση μεγαλύτερου σε διαστάσεις διανομέα** - ώστε να ελαχιστοποιούνται οι διαρροές και η συμπίεση του μανιατό, του διανομέα και της καλωδίωσης ώστε να αυξηθεί η αντοχή τους σε μπλακ-άουτ. Η καλύτερη, όμως, λύση είναι η χρήση ενός **μανιατό χαμηλής τάσης (Low voltage magneto)**. Αυτό έχει **πηνίο μόνο με πρωτεύοντα οπλισμό** του οποίου η έξοδος οδηγείται σε διανομέα με **ψήκτρες**. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται είναι χαμηλής τάσης και περνά από ένα μετασχηματιστή πριν τους σπινθηριστές όπου και μετατρέπεται σε ρεύμα υψηλής τάσης (200V έως 350V, Σχήμα 1.88). Τα προβλήματα, βέβαια, παραμένουν στο τμήμα του συστήματος μετά το μετασχηματιστή που λειτουργεί υπό υψηλή τάση.



Σχήμα 1.88 Παραγωγή ρεύματος υψηλής τάσης

(2) Περιστρεφόμενου μαγνήτη ή επαγωγικού στροφέα. Το **μανιατό περιστρεφόμενου μαγνήτη (Rotating magnet magneto)** είναι το πιο διαδεδομένο στις αεροπορικές χρήσεις. Σε αυτό, υπάρχουν σταθερά πηνία και περιστρε-

φόμενοι μαγνήτες. Ο πρωτεύων και ο δευτερεύων σπλισμός του πηνίου μοιράζονται τον ίδιο πυρήνα. Ο τελευταίος βρίσκεται μεταξύ δύο πόλων ή επαγωγέων οι οποίοι βρίσκονται στην επέκταση δύο πελμάτων, σε κάθε πλευρά του μαγνήτη. Συνήθως, ο μαγνήτης έχει τέσσερις πόλους, με το βόρειο και το νότιο πόλο να εναλλάσσονται (Σχήμα 1.89).



Σχήμα 1.89 Μανιατό περιστρεφόμενου μαγνήτη

Το **μανιατό επαγωγικού στροφέα (Inductor rotor magneto)** έχει και αυτό ένα πηνίο αλλά η διαφορά έγκειται στον τρόπο που δημιουργείται η **μαγνητική ροή (magnetic flux)** στον πυρήνα του πηνίου. Το μανιατό αυτό έχει σταθερό ή σταθερούς μαγνήτες. Καθώς ο στροφέας περιστρέφεται, η μαγνητική ροή μεταφέρεται από τους μαγνήτες στα πέλματα και τους πόλους.

(3) Απλού ή διπλού συστήματος. Το **απλό μανιατό (Single type magneto)** είναι ουσιαστικά ένα και μοναδικό μανιατό που παρέχει την ανάφλεξη του κινητήρα. Το **διπλό μανιατό (Double type magneto)** αποτελείται από δύο μανιατό που μοιράζονται έναν κοινό περιστρεφόμενο μαγνήτη. Περιλαμβάνει δύο ζεύγη από πλατίνες και η υψηλή τάση διοχετεύεται μέσω είτε του διανομέα του μανιατό είτε διανομέων που βρίσκονται σε άλλο σημείο του κινητήρα. Τα ζεύγη των πλατινών παράγουν αντίστοιχο αριθμό σπινθήρων σε κάθε περιστροφή του μαγνήτη.

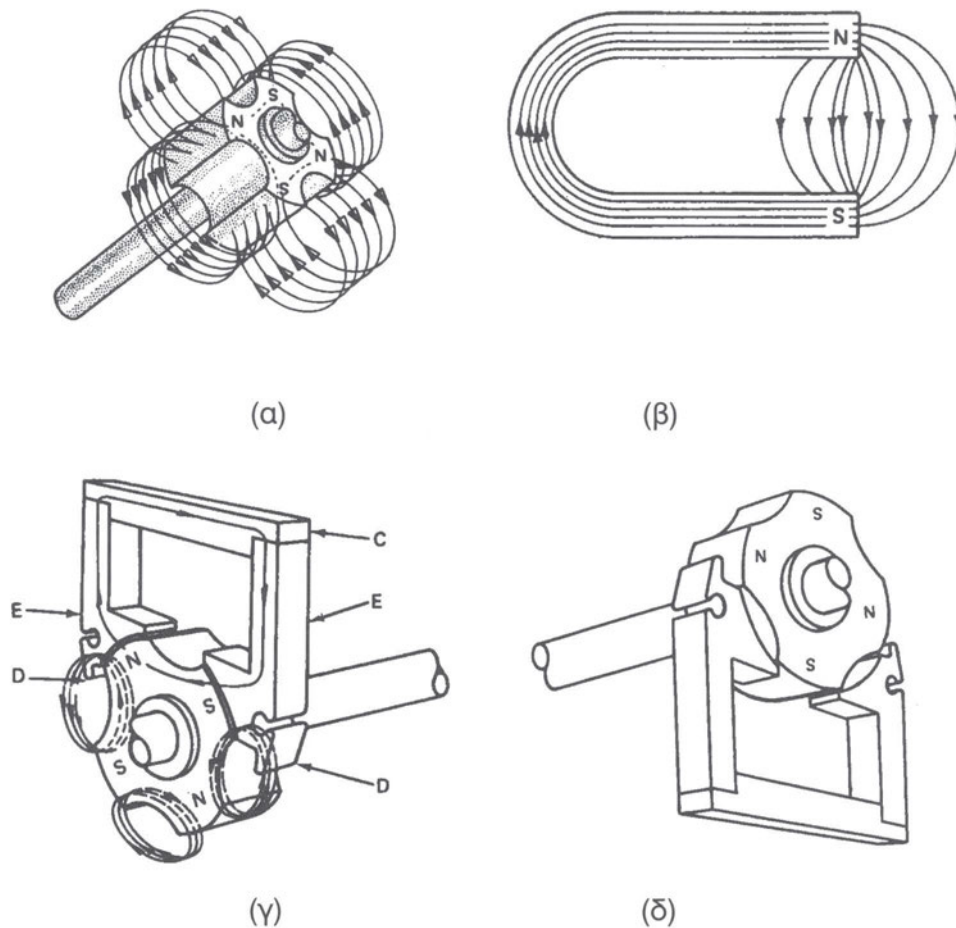
(4) Φλαντζωτά ή εδραζόμενα. Το **φλαντζωτό μανιατό (Flange - type magneto)** χρησιμοποιείται σε πολιτικά αεροσκάφη και συνδέεται με τον κινητήρα μέσω μίας φλάντζας που βρίσκεται στο άκρο του μανιατό. Το **εδραζόμενο μανιατό (Base - mounted magneto)** στηρίζεται μέσω βάσης στον κινητήρα.

1.8.4 Ανάλυση κυκλώματος και λειτουργίας μανιατό

Τρία κυκλώματα αποτελούν το μανιατό: το **μαγνητικό**, το **πρωτεύον** και το **δευτερεύον**. Το μαγνητικό κύκλωμα περιλαμβάνει, γενικά, το **μόνιμο μαγνήτη**, τον **πυρήνα του πηνίου**, τα **πέταλα των πόλων** και τις **επεκτάσεις** τους. Το πρωτεύον κύκλωμα αποτελείται από τον **πρωτεύοντα σπλισμό του πηνίου**, τις **επαφές ή πλατίνες** και τον **πυκνωτή**. Τέλος, το δευτερεύον κύκλωμα αποτελείται από το **δευτερεύοντα σπλισμό του πηνίου**, το **διανομέα**, το **ρότορα του μαγνήτη**, τις **καλωδιώσεις** και τους **σπινθηριστές**. Η λειτουργία αυτών των κυκλωμάτων θα αναλυθεί στη συνέχεια.

1.8.4.1 Το μαγνητικό κύκλωμα

Το Σχήμα 1.90α δείχνει έναν **τετράπολο περιστρεφόμενο** μαγνήτη ενός μανιατό. Όταν αυτός δεν είναι συνδεδεμένος με το μανιατό, παρουσιάζει μαγνητική ροή, οι γραμμές της οποίας περνούν από το βόρειο μαγνητικό πόλο στο νότιο μέσω του υπάρχοντος διαθέσιμου χώρου, όπως ακριβώς συμβαίνει σε έναν πεταλοειδή μαγνήτη (Σχήμα 1.90β). Με την τοποθέτηση του μαγνήτη στο μανιατό δημιουργείται η διάταξη που απεικονίζεται στο Σχήμα 1.90γ (για λόγους απλότητας δεν εμφανίζονται οι σπείρες των σπλισμών). Τα πέταλα, D, και οι προεκτάσεις τους, E, κατασκευάζονται από ελάσματα μαλακού σιδήρου και προσαρμόζονται στο **περίβλημα (housing)** του μανιατό. Στην κορυφή αυτών βρίσκεται ο πυρήνας του πηνίου, C, που κατασκευάζεται από το ίδιο υλικό. Σημειώνεται ότι ο μαλακός σίδηρος επιτρέπει τη μαγνητική ροή αλλά δεν μαγνητίζεται. Το περίβλημα του μανιατό κατασκευάζεται από μη μαγνητικό κράμα, ώστε να μην επηρεάζει τη λειτουργία του μαγνητικού κυκλώματος.

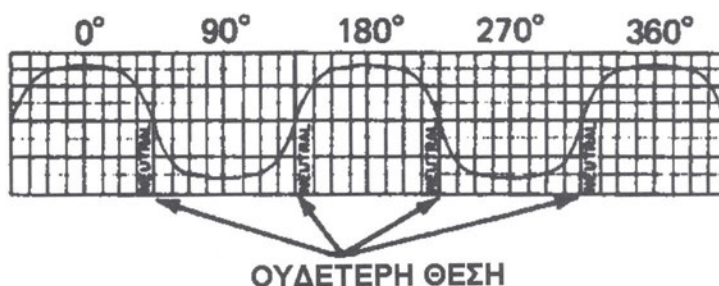


Σχήμα 1.90 (α) Τετράπολος μαγνήτης μανιατό, (β) Μαγνητικές ροές πεταλοειδούς μαγνήτη, (γ) Μαγνήτης τοποθετημένος σε μανιατό, (δ) Μαγνήτης μετά από περιστροφή 90°

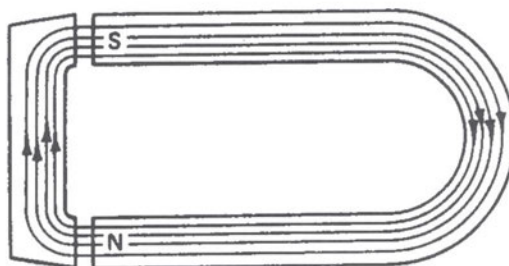
Τα πέλματα και οι προεκτάσεις τους, μαζί με τον πυρήνα του πηνίου, δημιουργούν μία **μαγνητική ροή** παρόμοια με αυτή που δημιουργεί μία σιδερένια ράβδος σε πεταλοειδή μαγνήτη (Σχήμα 1.92). Με το μαγνήτη τοποθετημένο όπως στο Σχήμα 1.90γ δημιουργείται μαγνητική ροή στον πυρήνα του πηνίου. Στο Σχήμα 1.90δ ο μαγνήτης έχει περιστραφεί κατά 90° και βρίσκεται στην **ουδέτερη θέση (neutral position)**¹. Στη θέση αυτή δεν παρουσιάζεται μαγνητική ροή στον πυρήνα. Η μεταβολή της πυκνότητας της ροής των μαγνητικών γραμμών στον πυρήνα του πηνίου σε σχέση με την περιστροφή του

¹ Ο όρος ουδέτερη θέση δηλώνει τη θέση του περιστρεφόμενου μαγνήτη, του οποίου ένας από τους πόλους βρίσκεται στο μέσο της απόστασης των δύο πελμάτων του περιβλήματος του μανιατό.

μαγνήτη παριστάνεται στο Σχήμα 1.91. Η καμπύλη παρουσιάζει τη στάσιμη κατάσταση του μαγνητικού κυκλώματος του μανιατό. Όταν ο μαγνήτης ξεκινά την περιστροφή του (πάντα χωρίς τους σπλισμούς) θα υπάρξει μαγνητική ροή, σύμφωνα με τη μορφή της καμπύλης. Όταν αυτή βρίσκεται πάνω από τον οριζόντιο άξονα τότε η μαγνητική ροή περνά από τον πυρήνα του μαγνήτη προς τη μία κατεύθυνση. Η θέση της καμπύλης κάτω από τον οριζόντιο άξονα υποδηλώνει μαγνητική ροή προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η πυκνότητα των γραμμών της μαγνητικής ροής - **η ένταση της μαγνητικής ροής** - υποδηλώνεται από τις τιμές που καταλαμβάνει η τελευταία στον κατακόρυφο άξονα. Όταν ο μαγνήτης περάσει από την ουδέτερη θέση τότε η μαγνητική ροή μηδενίζεται. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μαγνητών είναι κράματα όπως το Alnico και το Permalloy, τα οποία έχουν αποδειχτεί πολύ πιο ανθεκτικά από το σίδηρο που έχει υποστεί σκλήρυνση.



Σχήμα 1.91 Μεταβολή του μαγνητικού πεδίου

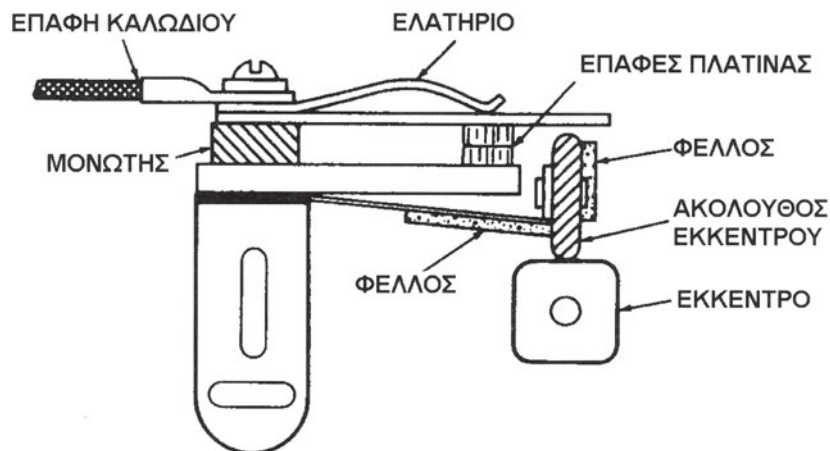


Σχήμα 1.92 Επίδραση σιδερένιας ράβδου σε πεταλοειδή μαγνήτη

1.8.4.2 Πρωτεύων και δευτερεύων ηλεκτρικό κύκλωμα

Το **πρωτεύων** ηλεκτρικό κύκλωμα φαίνεται στο Σχήμα 1.89. Ο πρωτεύων σπλισμός του πυρήνα του πηνίου είναι **λίγες σπείρες μονωμένου χάλκινου καλωδίου** ενώ ο **δευτερεύων** σπλισμός αποτελείται από **μερικές χιλιάδες σπείρες λεπτού καλωδίου**. Το πηνίο καλύπτεται από μία θήκη σκληρού ελα-

στομερούς, βακελίτη ή πλαστικού - ανάλογα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Ο πυκνωτής του πηνίου μπορεί να τοποθετηθεί και στο εξωτερικό κύκλωμα. Τα άκρα του πυρήνα του πηνίου εξέχουν από τις δύο πλευρές και ασφαλίζουν στα πέταλα των πελμάτων. Το ένα άκρο του πρωτεύοντος οπλισμού γειώνεται στον πυρήνα ενώ το άλλο άκρο συνδέεται με το μαγνήτη στις πλατίνες. Στο δευτερεύοντα οπλισμό, το ένα άκρο του γειώνεται μέσα στο πηνίο ενώ το άλλο προσφέρει την επαφή με την οποία το ρεύμα υψηλής τάσης, που παράγεται κατά την περιστροφή του μαγνήτη, διατίθεται στο δίασμα. Όταν το πρωτεύον κύκλωμα κλείσει, οι γραμμές του παραγόμενου μαγνητικού πεδίου διαπερνούν τις σπείρες του δευτερεύοντος οπλισμού και δημιουργούν τη λεγόμενη **ηλεκτρεργετική δύναμη**. Όταν ανοίξει το κύκλωμα, διακόπτεται το ρεύμα στον πρωτεύοντα οπλισμό και το μαγνητικό του πεδίο χάνεται, με αποτέλεσμα να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα υψηλής τάσης (της τάξης των 20000 Volt) στις σπείρες του δευτερεύοντος οπλισμού. Η τάση αυτή διανέμεται για την παραγωγή του σπινθήρα.

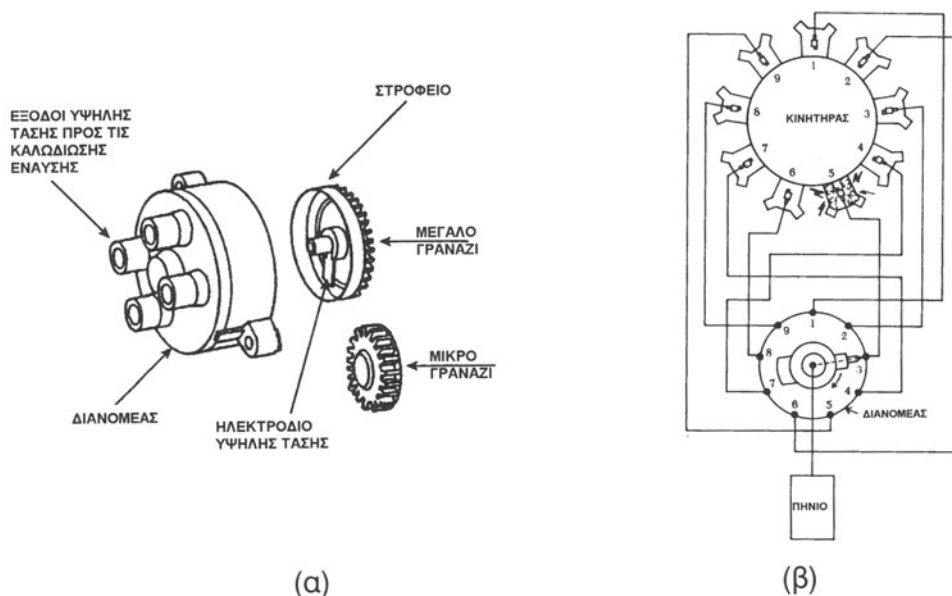


Σχήμα 1.93 Πλάτινες μανιατό

Οι **πλατίνες** του μανιατό αποτελούν σημεία επαφής και συνδέονται με το πρωτεύον πηνίο (Σχήμα 1.93). Ενεργοποιούνται από ένα **περιστρεφόμενο έκκεντρο** που παίρνει κίνηση είτε από τον άξονα του μανιατό είτε από το στροφαλοφόρο άξονα μέσω οδοντωτών τροχών - **στους μεγάλους ακτινικούς κινητήρες το έκκεντρο φέρει τόσους λοβούς όσοι και οι κύλινδροι**. Ρόλος τους είναι να κλείνουν και να ανοίγουν το κύκλωμα του πρωτεύοντος οπλισμού του πηνίου ώστε να επιτυγχάνεται η δημιουργία και η κατάρρευση του μαγνητικού πεδίου, αντίστοιχα. Οι πλατίνες ρυθμίζονται ώστε να κλείνουν

στη θέση όπου η μαγνητική ροή στον πυρήνα του πηνίου είναι μέγιστη (όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.91). Το υλικό κατασκευής τους είναι συνήθως ένα κράμα πλατίνας και ιριδίου ενώ χρησιμοποιούνται, κατά περίπτωση, και κάποια άλλα υλικά, ανθεκτικά στη θερμότητα και τη διάβρωση.

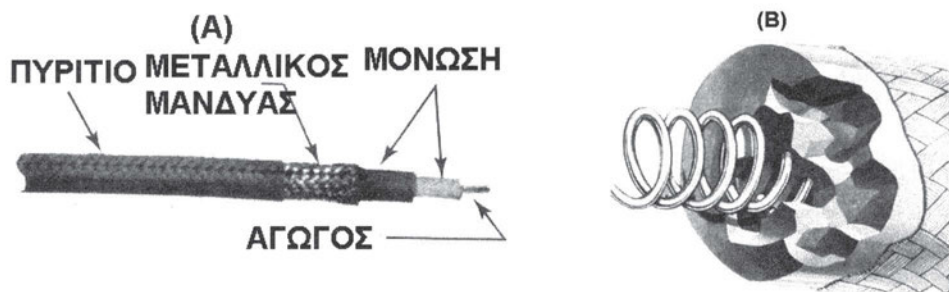
Τη χρονική στιγμή που ανοίγουν οι επαφές των πλατινών είναι πιθανή η εμφάνιση **ηλεκτρικού τόξου** μεταξύ τους. Το φαινόμενο αυτό επιφέρει μείωση της έντασης του ηλεκτρικού σπινθήρα που παρέχεται από το σπινθηριστή, λόγω καταστροφής των πλατινών και επακόλουθης μείωσης της έντασης του φαινομένου κατάρρευσης του μαγνητικού πεδίου του πρωτεύοντος πηνίου. Η αποφυγή του φαινομένου επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός **πυκνωτή (primary capacitor)** ο οποίος συνδέεται παράλληλα στις επαφές. Ο πυκνωτής χρησιμοποιείται ως αποθήκη της απότομης μεγάλης αύξησης της τάσης στο πρωτεύον πηνίο που εμφανίζεται όταν οι πλατίνες ανοίγουν. Ουσιαστικά, απορροφά το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από **αυτεπαγωγή (self-induced current)** στον πρωτεύοντα σπλισμό του πηνίου. Το σχήμα του πυκνωτή ποικίλλει ανάλογα με το είδος του μανιατό. Σημαντική, ωστόσο, είναι η σωστή επιλογή της **χωρητικότητάς (capacitance)** του. Αν είναι μικρή δε θα μπορέσει να εμποδίσει το σχηματισμό του ηλεκτρικού τόξου στις πλατίνες, ενώ αν είναι μεγάλη θα μειώσει το μέγεθος της σχηματιζόμενης ηλεκτρικής τάσης και, ως επακόλουθο, την ισχύ του παραγόμενου ηλεκτρικού σπινθήρα.



Σχήμα 1.94 (α) Εξαρτήματα διανομέα, (β) Σύνδεση διανομέα-κινητήρα.

Η **υψηλή τάση** που παράγεται στο **δευτερεύον** πηνίο κατευθύνεται στο **διανομέα** που τη διανέμει στους κυλίνδρους του κινητήρα μέσω των **σπινθηριστών**. Το τμήμα από το δευτερεύον πηνίο έως τους σπινθηριστές αποτελεί το δευτερεύον ηλεκτρικό κύκλωμα. Ο διανομέας αποτελείται από ένα σταθερό και ένα περιστρεφόμενο τμήμα (Σχήμα 1.94α). Το πρώτο κατασκευάζεται από μονωτικό υλικό ενώ φέρει αγωγίμα σημεία για την σύνδεση με τις καλωδιώσεις διανομής ηλεκτρικού ρεύματος στους σπινθηριστές. Το περιστρεφόμενο τμήμα έχει δύο γρανάζια που κινούνται από τον περιστρεφόμενο μαγνήτη του μανιατό (στα περισσότερα είδη μανιατό) και έχουν λόγο μετάδοσης τέτοιο ώστε να επιτυγχάνεται κίνηση του ηλεκτροδίου του διανομέα κατά το ήμισυ των στροφών του στροφαλοφόρου άξονα του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό, σε δύο πλήρεις στροφές του στροφαλοφόρου άξονα του τετράχρονου βενζινοκινητήρα συμπληρώνεται ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας σε κάθε έναν από τους κυλίνδρους (συμπεριλαμβανομένης και της ανάφλεξης). Ο ρότορας κατασκευάζεται από μονωτικό υλικό, Formica ή βακελίτη, και αλείφεται με ειδικό κερί για την αποφυγή απώλειας τάσης και απορρόφησης υγρασίας. Στο δίσκο του διανομέα υπάρχουν τόσα **ηλεκτρόδια** όσα και οι κύλινδροι του κινητήρα, τοποθετημένα ώστε να βρίσκονται ακριβώς πάνω από το ηλεκτρόδιο του κυλίνδρου τη χρονική στιγμή της ανάφλεξης. **Είναι αριθμημένα ανάλογα με τη σειρά της ανάφλεξης των κυλίνδρων** όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.94β. Σε έναν ακτινικά κινητήρα μονής σειράς, το ηλεκτρόδιο No 3 δίνει τάση στους σπινθηριστές του κυλίνδρου No 5, ο οποίος αναφλέγεται τρίτος κατά σειρά.

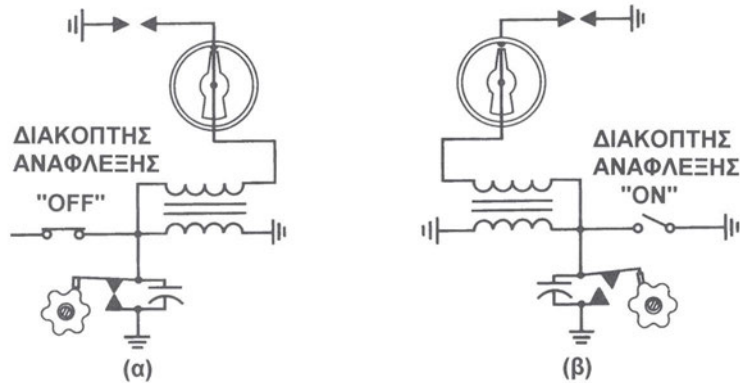
Τα **καλώδια (ignition leads)** που μεταφέρουν την τάση στους σπινθηριστές έχουν διάμετρο 5mm ή 7mm, με τα δεύτερα να είναι τα περισσότερο διαδεδομένα για την κατασκευή καλωδιώσεων στις μέρες μας. Κατασκευάζονται από πολύκλωνο χάλκινο ή ανοξείδωτο σύρμα με μονωτικό υλικό από ελαστομερές ή σιλικόνη (Σχήμα 1.95).



Σχήμα 1.95 Δομή καλωδίων

Επιπρόσθετα, τοποθετείται πλεκτός, μεταλλικός μανδύας περιμετρικά της μόνωσης, που φέρει σκληρή, πλαστική ένδυση για να προστατεύεται από τη διάβρωση. Η χρήση του μεταλλικού μανδύα κρίνεται απαραίτητη διότι παραλαμβάνει και γειώνει την ενέργεια που εκπέμπεται μέσω ακτινοβολίας (radiated energy) από τους σπινθηριστές. Η ενέργεια αυτή ενεργεί ως μη ελεγχόμενο ράδιο-κύμα που επιφέρει **θόρυβο (noise)** και είναι σε θέση να επηρεάσει τη λήψη των ραδιοφωνικών κυμάτων στον ασύρματο του αεροσκάφους καθώς και τη λειτουργία άλλων ηλεκτρονικών ράδιο-βοηθημάτων.

Όλα τα τμήματα του συστήματος ανάφλεξης που περιγράψαμε παραπάνω ελέγχονται από το **διακόπτη ανάφλεξης (ignition switch)** που ελέγχεται από το χειριστή του αεροσκάφους. Ο τύπος του διακόπτη αυτού διαφοροποιείται ανάλογα με τον αριθμό των κινητήρων του αεροσκάφους και το είδος του μανιατό που χρησιμοποιείται για την ανάφλεξη. Όλοι οι τύποι, ωστόσο, ελέγχουν την κατάσταση του συστήματος με τον ίδιο τρόπο. Ο διακόπτης είναι κλειστός όταν βρίσκεται στη θέση **OFF** - σε αντίθεση με τους κοινούς διακόπτες ηλεκτρικών κυκλωμάτων που κλείνουν όταν βρίσκονται στη θέση **ON**. Ο λόγος για αυτήν τη διαφοροποίηση είναι ότι ο σκοπός του διακόπτη είναι να βραχυκυκλώσει τις πλατίνες του μανιατό και να μην επιτρέψει την κατάρρευση του πρωτεύοντος κυκλώματος που απαιτείται για την παραγωγή σπινθήρα. Το ένα άκρο του διακόπτη ανάφλεξης συνδέεται στο πρωτεύον ηλεκτρικό κύκλωμα, μεταξύ του πηνίου και των πλατινών. Το άλλο άκρο γειώνεται (στο σκελετό του αεροσκάφους). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.96 υπάρχουν δύο τρόποι για να κλείσει το πρωτεύον κύκλωμα: μέσω των κλειστών επαφών των πλατινών ή μέσω του κλειστού διακόπτη με τη γείωση. Το Σχήμα 1.96α δείχνει ότι το πρωτεύον κύκλωμα δε θα διακοπεί όταν ανοίξουν οι επαφές των πλατινών, με την προϋπόθεση ότι ο διακόπτης ανάφλεξης είναι κλειστός και προσφέρει γείωση. Έτσι, δε θα υπάρξει απότομη κατάρρευση της μαγνητικής ροής του πεδίου στο πρωτεύον πηνίο και δε παραχθεί η υψηλή τάση, που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία σπινθήρα, στο δευτερεύον πηνίο. Όταν ο διακόπτης ανάφλεξης είναι ανοικτός (Σχήμα 1.96β), το πρωτεύον και το δευτερεύον ηλεκτρικό κύκλωμα λειτουργούν κανονικά για την παραγωγή ηλεκτρικού σπινθήρα.



Σχήμα 1.96 Θέση (α) κλειστού και (β) ανοικτού διακόπτη ανάφλεξης

Σε αεροσκάφη με περισσότερους από δύο κινητήρες υπάρχει και ο αντίστοιχος αριθμός διακοπών. Βέβαια, δεν παραλείπεται και η ύπαρξη ενός κεντρικού διακόπτη που, σε περίπτωση ανάγκης, γειώνει όλα τα μανιατό ταυτόχρονα.

1.8.5 Βοηθητικά συστήματα ανάφλεξης

Κατά την εκκίνηση του κινητήρα, το μανιατό δε λαμβάνει από το στροφαλοφόρο άξονα την απαραίτητη ταχύτητα περιστροφής που χρειάζεται για την περιστροφή του μαγνήτη και την παροχή σπινθήρα υψηλής τάσης. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται διάφορες άλλες εξωτερικές πηγές παροχής υψηλής τάσης που ενεργοποιούνται από μπαταρία και συνδέονται είτε στο μανιατό είτε στο διανομέα, όπως οι παρακάτω:

Ωστικός εμπλοκέας (impulse coupling). Χρησιμοποιείται σε κινητήρες με μικρό αριθμό κυλίνδρων. Συνδέεται στον άξονα περιστροφής του μανιατό και του παρέχει μία στιγμιαία, υψηλή ταχύτητα περιστροφής, ικανή να παράγει την απαιτούμενη υψηλή τάση για την παραγωγή σπινθήρα εκκίνησης του κινητήρα. Αποτελείται από ένα **περίβλημα (body)**, ένα **ελατήριο (spring)** και μία **πλήμνη (hub)** ή **έκκεντρο** που φέρει **κατάλληλα αντίβαρα**, Σχήμα 1.97.

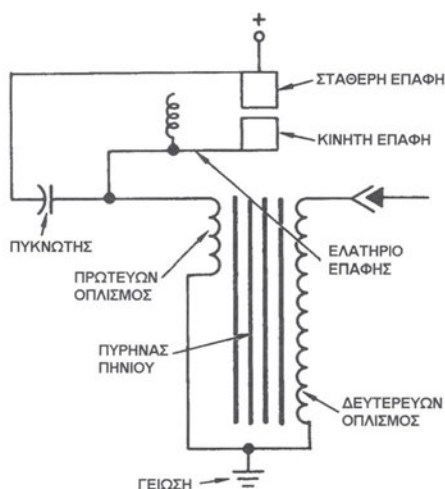


Σχήμα 1.97 Ωστικός εμπλοκέας

Κατά την εκκίνηση, το ελατήριο είναι συμπιεσμένο και συγκρατεί το μανιατό ενώ ο άξονας περιστρέφεται μέχρι το έμβολο να φτάσει στο ΑΝΣ. Τότε, το ελατήριο επιστρέφει στην θέση ισορροπίας, το μανιατό απελευθερώνεται και ο μαγνήτης πραγματοποιεί περιστροφή με υψηλή ταχύτητα. Παράγεται, έτσι, η απαιτούμενη για το σπινθηρισμό υψηλή τάση. Όταν ο κινητήρας εκκινήσει και η παραγόμενη από το μανιατό υψηλή τάση επαρκεί για τη δημιουργία σπινθήρα, τα περιστρεφόμενα αντίβαρα της πλήμνης κινούνται προς την περιφέρειά της, λόγω φυγόκεντρης δύναμης, και επιτυγχάνουν την εμπλοκή του μανιατού με τον άξονα. Από το σημείο αυτό, το μανιατό επιστρέφει στην κανονική του λειτουργία.

Η χρήση του ωστικού εμπλοκέα επιβαρύνει το μανιατό με κρουστικές δυνάμεις ενώ έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις μαγνητισμού των αντίβαρων με αποτέλεσμα την μη κανονική λειτουργία τους.

Ενισχυτικό πηνίο (booster coil). Χρησιμοποιείται σε παλαιότερου τύπου κινητήρες. Αποτελείται από ένα πηνίο, έναν πυκνωτή για την αποθήκευση υψηλής τάσης και τις επαφές λειτουργίας - σταθερή και κινητή (Σχήμα 1.98).

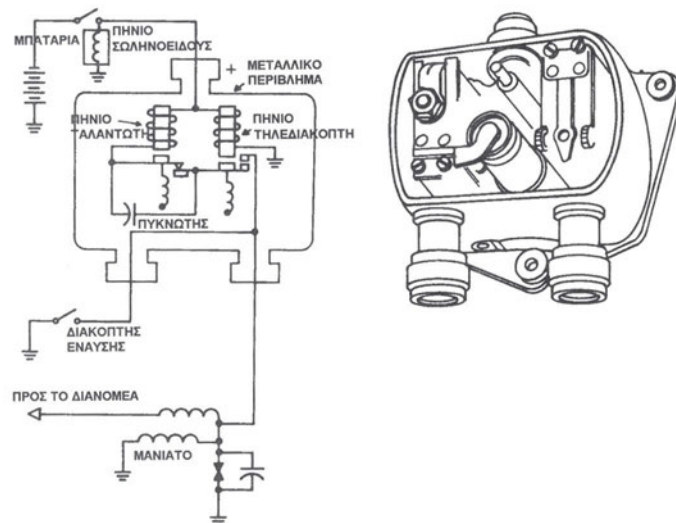


Σχήμα 1.98 Ενισχυτικό πηνίο

Παρέχει αλληπάλληλους σπινθηρισμούς μέχρι το μανιατό να λειτουργήσει κανονικά. Συνδέεται συνήθως στο **διακόπτη εκκίνησης (starter switch)**. Οι επαφές κρατούνται κλειστές από το ελατήριο. Όταν διοχετεύεται τάση από μία μπαταρία, δημιουργείται μαγνητικό πεδίο στο πρωτεύον πηνίο, μαγνητίζεται ο πυρήνας και ανοίγουν οι επαφές. Τότε, καταρρέει το μαγνητικό πεδίο του πηνίου, το ελατήριο κλείνει τις επαφές. Η διαδικασία ξεκινά από την αρχή με αποτέλεσμα οι επαφές να ανοιγοκλείνουν ταχύτατα, να δημιουργείται και να

καταρρέει συνεχώς το μαγνητικό πεδίο και να διοχετεύεται υψηλή τάση στο δευτερεύον σπείρωμα του πηνίου. Έτσι, επιτυγχάνεται σπινθηρισμός.

Επαγωγικός ταλαντωτής (induction vibrator). Παρέχει διακοπτόμενη χαμηλή τάση στον πρωτεύοντα οπλισμό του μανιατό με αποτέλεσμα την δημιουργία υψηλής τάσης από αυτεπαγωγή στο δευτερεύοντα οπλισμό και την παραγωγή σπινθήρα. Το διάγραμμα λειτουργίας του φαίνεται στο Σχήμα 1.99. Όταν ο διακόπτης εκκίνησης είναι κλειστός διαβιβάζεται τάση από μία μπαταρία στο πηνίο του ταλαντωτή, μέσω των επαφών του, και στο μανιατό μέσω των πλατινών. Με την ενεργοποίηση του πηνίου, οι επαφές ανοίγουν και η ροή ηλεκτρικού ρεύματος διακόπτεται, απενεργοποιώντας το πηνίο. Οι επαφές κλείνουν με την ενεργοποίηση ενός ελατηρίου, ενεργοποιώντας το πηνίο. Στη συνέχεια, οι επαφές ανοίγουν και το φαινόμενο επαναλαμβάνεται. Οι επαφές ανοιγοκλείνουν πολλές φορές και στέλνουν μία διακοπτόμενη τάση στο μανιατό. Αν οι πλατίνες του μανιατό είναι κλειστές, η τάση αυτή οδηγείται στη γείωση.



Σχήμα 1.99 Επαγωγικός ταλαντωτής

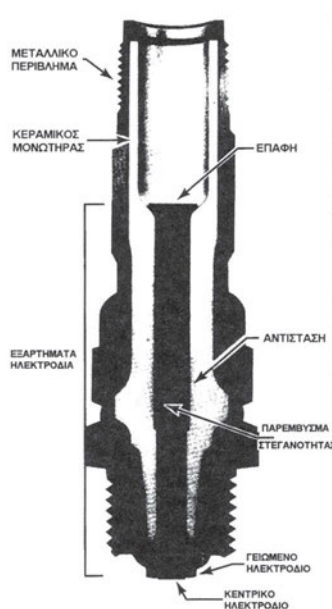
Κατά την εκκίνηση, ο διακόπτης ανάφλεξης πρέπει να παραμείνει κλειστός (**OFF**) μέχρι ο έλικας εκτελέσει μία περιστροφή από τον κινητήρα. Στην αντίθετη περίπτωση, υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας τάσης αντίστροφης περιστροφής του κινητήρα που προκαλείται από ανάφλεξη πριν το ΑΝΣ και χαμηλή ταχύτητα περιστροφής.

1.8.6 Σπινθηριστές (μπουζί)

Γενικά, οι σπινθηριστές (**spark plugs**) αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά μέρη ενός αεροπορικού κινητήρα. Αποτελούν το τμήμα του συστήματος ανά-

φλεξης όπου η ηλεκτρική ενέργεια του ρεύματος υψηλής τάσης, που παράγεται στο μανιατό, μετατρέπεται στη θερμική ενέργεια που είναι απαραίτητη για την ανάφλεξη του μείγματος αέρα - καυσίμου, μέσα στους κυλίνδρους. Οι σπινθηριστές παρέχουν το διάκενο αέρα κατά μήκος του οποίου η υψηλή τάση παράγει σπινθήρα για την ανάφλεξη του καυσίμου μείγματος.

Οι σπινθηριστές των αεροπορικών κινητήρων αποτελούνται, βασικά, από τρία κύρια τμήματα (Σχήμα 1.100): τα **ηλεκτρόδια**, το **μονωτήρα** και το **κέλυφος** (ή **σώμα**).



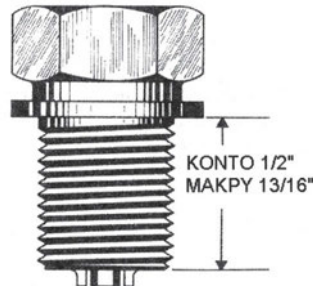
Σχήμα 1.100 Τα μέρη του σπινθηριστή

Τα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται, συνήθως, από ειδικό κράμα νικελίου - χαλκού και ο μονωτήρας από κεραμικό υλικό.

Το κέλυφος φέρει κατάλληλο σπείρωμα και βιδώνεται στον κύλινδρο. Κατασκευάζεται από επιμεταλλωμένο χάλυβα ώστε να παρουσιάζει αντοχή στα διαβρωτικά καυσαέρια. Τα σπειρώματά του εξασφαλίζουν με τις πολύ μικρές κατασκευαστικές ανοχές τους την αποφυγή διαρροής καυσαερίων από τον κύλινδρο μέσω του σπινθηριστή. Σε αυτό συνεισφέρει και η τοποθέτηση παρεμβυσμάτων μεταξύ κελύφους - μονωτήρα και μονωτήρα - κεντρικού ηλεκτροδίου. Το κέλυφος περιέχει κάλυμμα προστασίας από τα ραδιοκύματα. Φέρει σπείρες και στα δύο του άκρα. Στο ένα συνδέεται με το μεταλλικό μανδύα της καλωδίωσης και στο άλλο βιδώνεται στην κεφαλή του κυλίνδρου.

Οι σπινθηριστές διακρίνονται σε διάφορους τύπους, ανάλογα με τις απαιτήσεις που πρέπει να καλύψουν σε αεροσκάφη διαφορετικών χρήσεων. Ενδεικτικά αναφέρονται: α) οι **σπινθηριστές αντίστασης (resistor-type spark plugs)** που μειώνουν τα επίπεδα διάβρωσης και υπερθέρμανσης των ηλεκτροδίων, β) οι σπινθηριστές **με άκρα από κράμα ιριδίου** που εξασφαλίζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, γ) οι σπινθηριστές **λεπτού σύρματος (Inewire)** με κεντρικό ηλεκτρόδιο από πλατίνα και περιφερειακά ηλεκτρόδια από πλατίνα ή ιρίδιο, που εξασφαλίζουν μέγιστη αγωγιμότητα και μεγάλη αντοχή στη διάβρωση, και δ) οι σπινθηριστές με προεκτεταμένο πυρήνα ηλεκτροδίου. Χρησιμοποιούνται σε κινητήρες όπου παρουσιάζονται συχνά κατακαθίσεις μολύβδου στα μπουζί και έχουν την ικανότητα να παρέχουν ισχυρό σπινθήρα στις συνθήκες αυτές.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των σπινθηριστών αποτελεί το **μήκος (reach)** που εκτείνεται από τη βάση του παρεμβύσματος του κελύφους έως και την τελευταία σπείρα του άκρου που προσαρμόζεται στον κύλινδρο (Σχήμα 1.101). Η σωστή εκλογή του εξασφαλίζει ότι η θέση των ηλεκτροδίων θα έχει το κατάλληλο βάθος μέσα στο θάλαμο καύσης για την επίτευξη επιτυχούς ανάφλεξης.



Σχήμα 1.101 Μήκος σπινθηριστή

Η ικανότητα μεταφοράς θερμότητας (heat range) των σπινθηριστών προς τους κυλίνδρους αποτελεί βασικό παράγοντα της απόδοσης του κινητήρα κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Ένας σπινθηριστής πρέπει να είναι τόσο θερμός ώστε να λειτουργεί κανονικά ακόμα και όταν στον κύλινδρο υπάρχουν κατακαθίσεις, ενώ πρέπει να είναι τόσο ψυχρός ώστε να μη δημιουργεί συνθήκες αυτανάφλεξης. Η ικανότητα μεταφοράς θερμότητας ενός σπινθηριστή εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από το είδος του μονωτικού υλικού του μονωτή και του ηλεκτροδίου και, από την απόσταση μεταξύ του χάλκινου μανδύα του μονωτή και του άκρου του. Από πλευράς λειτουργίας, ένας συγκεκριμένος τύπος σπινθηριστή πρέπει να είναι σχεδιασμένος ώστε να λειτουργεί όσο γίνεται θερμός σε χαμηλές ταχύτητες και με μικρά φορτία του κινητήρα

και όσο γίνεται ψυχρός κατά την πτήση (cruising) και την απογείωση. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε κατά την αντικατάσταση σπινθηριστών να τοποθετούνται καινούριοι με την ίδια ικανότητα μεταφοράς θερμότητας.

1.9 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ

Σκοπός του συστήματος εκκίνησης είναι ακριβώς αυτό που δηλώνει το όνομά του, να εκκινήσει τον κινητήρα. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, πρέπει σε έναν ή και περισσότερους κυλίνδρους του κινητήρα να πραγματοποιηθεί ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας. Τότε, η παραγόμενη ενέργεια είναι αρκετή ώστε να υποστηρίξει τη έναρξη της λειτουργίας των υπόλοιπων κυλίνδρων με αποτέλεσμα ο κινητήρας να λάβει τις στροφές της βραδείας λειτουργίας (idle). Όσο βρίσκεται σε λειτουργία το σύστημα εκκίνησης, λειτουργεί παράλληλα και το σύστημα ανάφλεξης.

Για την εκκίνηση των εμβολοφόρων κινητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετά είδη συστημάτων εκκίνησης, όμως κάποια από αυτά πλέον έχουν εγκαταλειφθεί. Δύο είναι οι κυριότεροι παράγοντες που καθορίζουν τον τύπο του συστήματος εκκίνησης σε έναν κινητήρα: το μέγεθος και το είδος χρήσης του κινητήρα. Ας δούμε πιο αναλυτικά τα είδη των συστημάτων εκκίνησης.

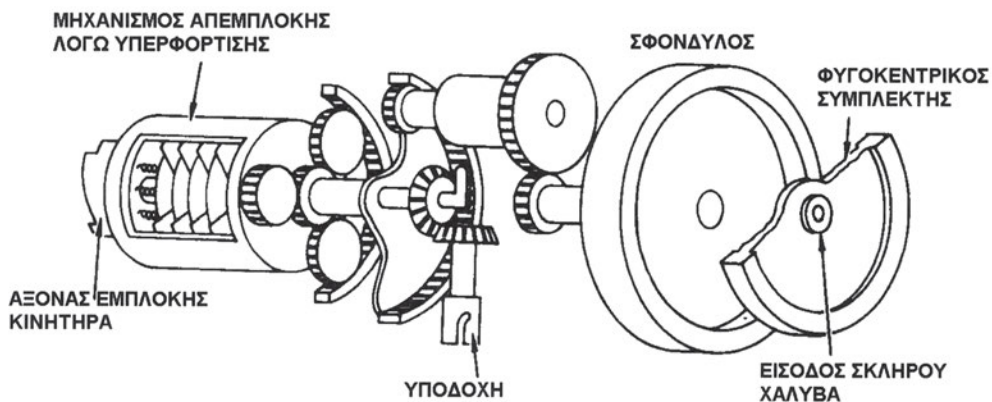
Χειροκίνητο σύστημα εκκίνησης. Στις μέρες μας τείνει, πλέον, να εγκαταλειφθεί. Είναι το πιο απλό αλλά και το παλαιότερο σύστημα εκκίνησης και στους αεροπορικούς κινητήρες στηρίζεται στην περιστροφή του έλικα μέχρι κάποιος από τους κυλίνδρους να ξεκινήσει τη λειτουργία του. Χρησιμοποιείται μόνο σε μικρού μεγέθους κινητήρες.

Σύστημα εκκίνησης με φυσίγγιο. Εξασφαλίζει σίγουρη εκκίνηση. Χρησιμοποιήθηκε ευρέως σε παλαιότερα πολεμικά αεροσκάφη. Η λειτουργία του στηρίζεται σε ένα φυσίγγιο που περιέχει αέρα με καύσιμη ύλη, το οποίο τοποθετείται σε κατάλληλη θήκη στον κινητήρα και αναφλέγεται ηλεκτρικά. Το σύστημα περιλαμβάνει, επίσης, σωληνώσεις εισαγωγής - εξαγωγής και έναν κύλινδρο με έμβολο το οποίο συνδέεται με τον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα με ένα σύστημα εμπλοκής - απεμπλοκής. Όταν το περιεχόμενο του φυσιγγίου αναφλέγεται, τα καυσαέρια κινούν το παραπάνω έμβολο, εμπλέκεται, περιστρέφεται και εκκινεί ο κινητήρας και τα καυσαέρια εξέρχονται στην ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια, η τάση ενός συμπιεσμένου ελατηρίου επαναφέρει το έμβολο στην αρχική του θέση και ελευθερώνει το σύστημα εκκίνησης από τον κινητήρα.

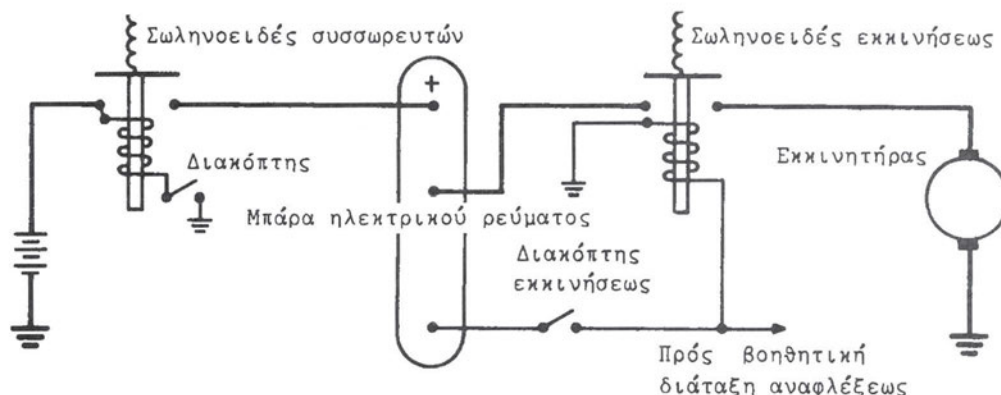
Αδρανειακά συστήματα εκκίνησης. Το κύριο στοιχείο των συστημάτων αυτών είναι ο σφόνδυλος, ο οποίος έχει μεγάλη ροπή αδράνειας, συνδέεται με τον κινητήρα με σύστημα εμπλοκής - απεμπλοκής ενώ παρεμβάλλεται και σύστημα μειωτήρα στροφών. Περιστρέφεται είτε χειροκίνητα είτε ηλεκτρικά. Αρχικά, δεν εμπλέκεται με τον κινητήρα, παρά μόνον όταν αποκτήσει μία μεγάλη τιμή γωνιακής ταχύτητας. Η εμπλοκή πραγματοποιείται χειροκίνητα - μέσω συρματόσχοινου και συμπλέκτη - είτε ηλεκτρικά με τη βοήθεια σωληνοειδούς βαλβίδας και τότε, η ορμή που έχει αποκτήσει ο σφόνδυλος καταναλώνεται ώστε ένας, ή περισσότεροι, κύλινδροι να πραγματοποιήσουν έναν πλήρη κύκλο λειτουργίας. Η ταχύτητα περιστροφής του σφονδύλου κυμαίνεται από 8000rpm έως 20000rpm ενώ η σχέση μετάδοσης της κίνησης προς το στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα είναι της τάξης του 100:1.

Τα χειροκίνητα αδρανειακά συστήματα δε χρησιμοποιούνται πλέον. Στα ηλεκτρικά αδρανειακά συστήματα η περιστροφή πραγματοποιείται με ηλεκτροκινητήρα και η λειτουργία του συστήματος ελέγχεται ηλεκτρικά από το πιλοτήριο, με διακόπτες. Με την έναρξη της λειτουργίας του συστήματος, ο ηλεκτροκινητήρας θέτει σε περιστροφή το σφόνδυλο, ώστε αυτός να αποκτήσει μία προκαθορισμένη ταχύτητα. Τότε, ο κατάλληλος διακόπτης, σταματά τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα και επέρχεται η εμπλοκή του σφονδύλου με τον κινητήρα. Στην περίπτωση υπερφόρτισης του συστήματος εκκίνησης ενεργεί ο μηχανισμός απεμπλοκής του σφονδύλου από τον κινητήρα.

Πολλά ηλεκτρικά αδρανειακά συστήματα εκκίνησης διαθέτουν υποδοχή για χειροκίνητη εκκίνηση, ώστε να αντιμετωπιστεί η περίπτωση βλάβης του ηλεκτρικού κυκλώματος. Ένα τέτοιο σύστημα ονομάζεται μεικτό και φαίνεται στο Σχήμα 1.102.



Σχήμα 1.102 Μεικτό σύστημα εκκίνησης



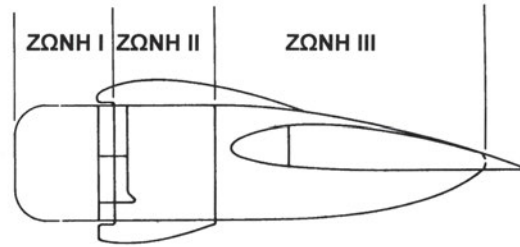
Σχήμα 1.103 Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρικού συστήματος άμεσης περιστροφής

Τέλος, ας δούμε τον τύπο του συστήματος εκκίνησης που επικρατεί στις μέρες μας τόσο για τους επίγειους όσο και για τους αεροπορικούς κινητήρες. Ονομάζεται **ηλεκτρικό σύστημα άμεσης περιστροφής** και στο Σχήμα 1.103 φαίνεται το ηλεκτρικό διάγραμμα της λειτουργίας του. Ο ηλεκτροκινητήρας του λαμβάνει ισχύ από το συσσωρευτή (ή από κάποια εξωτερική πηγή ενέργειας) μέσω διακόπτη εκκίνησης, εκκινεί και εμπλέκεται με τον κινητήρα. Όταν ο κινητήρας εκκινήσει, ο διακόπτης κλείνει, ο ηλεκτροκινητήρας σταματά να λειτουργεί και ελευθερώνεται από τον κινητήρα. Χρησιμοποιείται **σύστημα υποπολλαπλασιασμού των στροφών** του ηλεκτροκινητήρα.

1.10 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΥΡΟΣΒΕΣΗΣ

Σε ένα αεροσκάφος υπάρχουν δύο ξεχωριστά μεταξύ τους συστήματα καταπολέμησης μίας πυρκαγιάς, ανάλογα με το σημείο που αυτή θα εκδηλωθεί. Ένα σύστημα είναι αφιερωμένο αποκλειστικά στην πυροπροστασία του ή των κινητήρων - εμβολοφόρων στην προκειμένη περίπτωση - ενώ ένα άλλο προδιαγράφεται για την πυροπροστασία του υπόλοιπου αεροσκάφους. Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τα συστήματα πυρόσβεσης των κινητήρων.

Ζώνες πυρκαγιάς. Ο κινητήρας του αεροσκάφους - ή κάθε ένας από τους κινητήρες - διαιρούνται σε **τρεις ζώνες πυρκαγιάς (fire zones)**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.104. Η ζώνη I αντιστοιχεί στο **τμήμα του κινητήρα μέχρι τις κινητές θυρίδες ψύξης και τους εσωτερικούς δακτυλιοειδείς εκτροπείς αέρα**. Η ζώνη II περιλαμβάνει **το συγκρότημα παρελκομένων μέχρι το λεγόμενο αντιπυρικό διάφραγμα** και, τέλος, η ζώνη III στο **υπόλοιπο τμήμα του κινητήρα**.



Σχήμα 1.104 Ζώνες πυρκαγιάς

Ένα σύστημα πυρόσβεσης συνεργάζεται με το σύστημα **πυρανίχνευσης**, το οποίο έχει τον κατάλληλο σχεδιασμό και τα κατάλληλα συστήματα ώστε με την έναρξη μίας πυρκαγιάς προειδοποιεί για αυτήν και εκκινεί το σύστημα πυρόσβεσης. Παρακάτω θα εξετάσουμε πιο αναλυτικά τα συστήματα πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης.

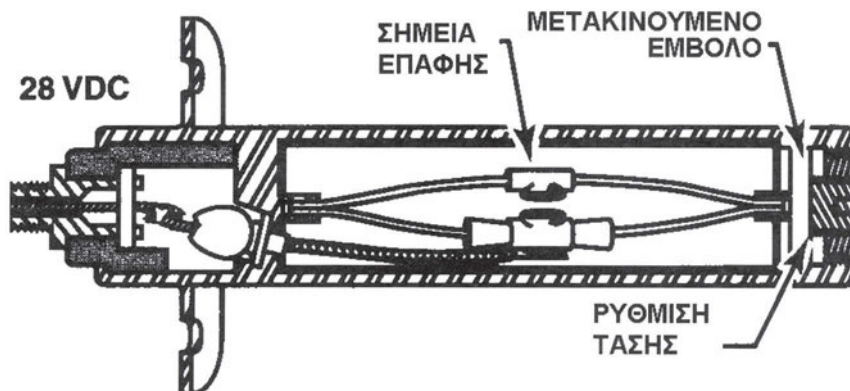
1.10.1 Το σύστημα πυρανίχνευσης του κινητήρα

Για κάθε κινητήρα προβλέπεται ένα ξεχωριστό σύστημα πυρανίχνευσης το οποίο, σε περίπτωση ανίχνευσης πυρκαγιάς δίνει οπτικό σήμα στο πιλοτήριο καθώς και ηχητικό συναγερμό. Κάθε σύστημα πυρανίχνευσης είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση για την πυρκαγιά με σαφή προσδιορισμό της εστίας της, ενώ δεν πρέπει να επηρεάζεται από **λανθασμένη ένδειξη πυρκαγιάς (false alarm)**. Ακόμη, θα πρέπει να παρέχει ένδειξη καθόλη τη διάρκεια της πυρκαγιάς ενώ απαραίτητη είναι τόσο η ένδειξη κατάσβεσης όσο και η ένδειξη αναζωπύρωσης της πυρκαγιάς. Ένα σύστημα πυρανίχνευσης είναι ιδιαίτερα **ανθεκτικό σε κραδασμούς, υψηλές θερμοκρασίες, επαφή με νερό, καύσιμο ή λιπαντικό**. Λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα. Η απαίτησή του σε ηλεκτρική ισχύ είναι πολύ μικρή και στο ηλεκτρικό του κύκλωμα δεν πρέπει να παρεμβάλλονται ανορθωτές.

Στη συνέχεια, θα δούμε μία συνοπτική παρουσίαση των συστημάτων πυρανίχνευσης που χρησιμοποιούνται σε αεροπορικούς εμβολοφόρους κινητήρες.

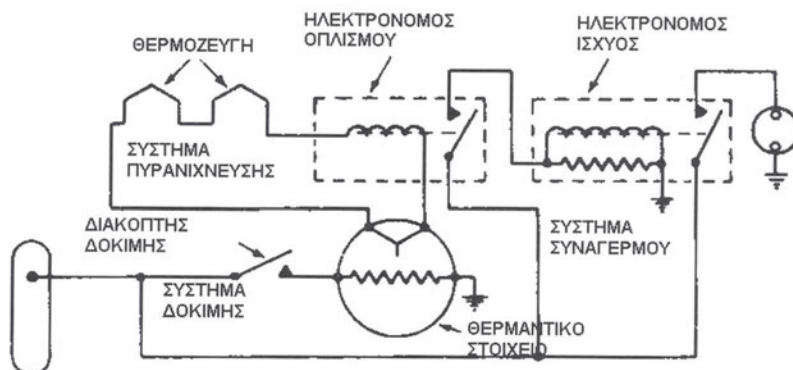
Σύστημα θερμικών διακοπών (thermal switch system). Αποτελείται από θερμικούς διακόπτες (παράλληλα συνδεδεμένους μεταξύ τους) οι οποίοι συνδέονται, μέσω ηλεκτρικού κυκλώματος, με λαμπτήρες ένδειξης (εν σειρά συνδεδεμένους μεταξύ τους) που βρίσκονται στο πιλοτήριο του αεροσκάφους. Οι διακόπτες είναι τοποθετημένοι σε χώρους που πρέπει να ελέγχονται για την πιθανή έναυση πυρκαγιάς. Όταν η θερμοκρασία σε έναν τέτοιο χώρο υπερβεί μία προκαθορισμένη τιμή, ο διακόπτης του χώρου κλείνει και ο αντίστοιχος λαμπτήρας ανάβει. Έλεγχος καλής λειτουργίας του συστήματος αποτελεί η

χρήση λαμπτήρων τύπου “push to test”. Όταν πιεστεί ο λαμπτήρας, το κύκλωμα κλείνει και ο λαμπτήρας ανάβει (Σχήμα 1.105).



Σχήμα 1.105 Θερμικός διακόπτης

Σύστημα θερμοζευγών (*Thermocouple system*). Μετρά το ρυθμό ανόδου της θερμοκρασίας της περιοχής που ελέγχει και όχι την τιμή της θερμοκρασίας της. Αποτελείται από **τηλεδιακόπτες**, **λαμπτήρες ένδειξης** και τα **θερμοζεύγη** και διαιρείται στα κυκλώματα πυρανίχνευσης, συναγερμού και δοκιμής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.106. Οι τηλεδιακόπτες λειτουργούν ανά ζεύγος, ένας ευαισθησίας και ένας αντίληψης, ελέγχονται από τα θερμοζεύγη και ελέγχουν τους λαμπτήρες ένδειξης. Το πλήθος τους είναι ανάλογο του αριθμού των ζωνών πυρανίχνευσης - ή πυρκαγιάς.



Σχήμα 1.106 Σύστημα πυρανίχνευσης με θερμοζεύγη

Τα θερμοζεύγη συνδέονται εν σειρά μεταξύ τους και με το διακόπτη αντίληψης. Βρίσκονται σε μεταλλικό προστατευτικό περίβλημα και αποτελούνται

από δύο διαφορετικούς μεταλλικούς αγωγούς με συγκολλημένα άκρα. Το ένα άκρο εκτίθεται στην ελεγχόμενη περιοχή ενώ το άλλο αποτελεί άκρο αναφοράς και τοποθετείται σε κλειστό, προστατευόμενο χώρο.

Στην περίπτωση που η θερμοκρασία σε μία ζώνη πυρανίχνευσης παρουσιάζει απότομη αύξηση, το θερμοζεύγος αναπτύσσει διαφορά τάσης στα άκρα του. Όταν η ένταση του ρεύματος γίνει μεγαλύτερη των 0,004A, ο τηλεδιακόπτης αντίληψης κλείνει, το ρεύμα φτάνει στον εξαρτημένο τηλεδιακόπτη ο οποίος κλείνει επίσης και με τον τρόπο αυτόν ενεργοποιείται ο ενδεικτικός λαμπτήρας για την αντίστοιχη ζώνη.

Ο αριθμός των θερμοζευγών που χρησιμοποιούνται σε κάθε ζώνη πυρανίχνευσης εξαρτάται από το μέγεθός της.

Σύστημα συνεχούς βρόγχου (continuous-loop detection system). Ενεργοποιείται στην περίπτωση που η θερμοκρασία στο χώρο που ελέγχει, υπερβεί κάποια προκαθορισμένη τιμή. Τοποθετούνται δύο τύποι τέτοιων συστημάτων, τα οποία παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες, ο **τύπος Κιντλ** και ο **τύπος Φένγουωλ**. Στον πρώτο τύπο, το σύστημα αποτελείται από έναν αγωγό από κράμα Ίνκουελ με ειδικό κεραμικό πυρήνα μέσα από τον οποίο διέρχονται δύο μεταλλικοί αγωγοί. Ο ένας από αυτούς συγκολλείται στα άκρα του με τον εξωτερικό σωλήνα που περιβάλλει τον αγωγό και γειώνεται. Ο άλλος λαμβάνει ρεύμα από το αεροσκάφος. Όταν η θερμοκρασία του χώρου ανέβει, η αντίσταση του πυρήνα μεταξύ των καλωδίων μειώνεται και μετά από κάποιο προκαθορισμένο σημείο παρατηρείται ροή ρεύματος η οποία ενεργοποιεί τον αντίστοιχο διακόπτη ένδειξης.

Στο σύστημα Φένγουωλ διέρχεται ένας μόνο συρμάτινος αγωγός από τον ειδικό κεραμικό πυρήνα. Κατά τα υπόλοιπα, η αρχή λειτουργίας είναι η ίδια με αυτή του τύπου Κιντλ.

Σύστημα σημειακής πυρανίχνευσης. Διαθέτει **διμεταλλικούς θερμικούς διακόπτες** (όπως αυτός που φαίνεται στο Σχήμα 1.105) οι οποίοι όταν το ύψος της θερμοκρασίας σε κάποια επικίνδυνα σημεία του κινητήρα υπερβεί μία προκαθορισμένη, ενεργοποιούν φωτεινό και ηχητικό σήμα προειδοποίησης. Η ενεργοποίηση πραγματοποιείται όταν κλείνει κατάλληλο ηλεκτρικό κύκλωμα μέσω διακόπτη.

1.10.2 Το σύστημα πυρόσβεσης του κινητήρα

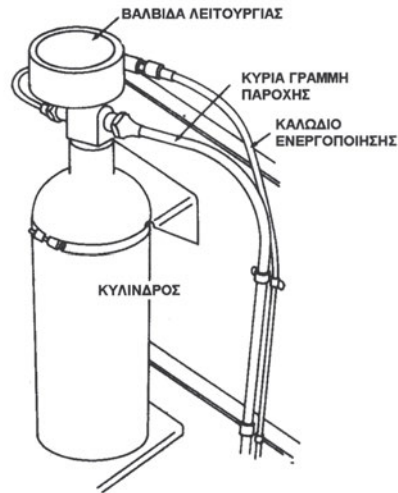
Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν αδρανή υλικά τα οποία κατακλύουν τον προστατευόμενο χώρο σε περίπτωση πυρκαγιάς, απομονώνουν τα εύφλεκτα

υλικά από το οξυγόνο του αέρα και σταματούν την καύση. Η κατάκλυση του χώρου πραγματοποιείται από ειδικά ακροφύσια ή σωληνώσεις με κατάλληλης διατομής οπές. Τα **υλικά πυρόσβεσης** πρέπει να έχουν διεισδυτικότητα, να μην είναι ηλεκτρικά αγώγιμα και να έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν το οξυγόνο του αέρα στο χώρο πυρόσβεσης ώστε να σταματούν την καύση. Τα κυριότερα υλικά πυρόσβεσης τα οποία χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη είναι:

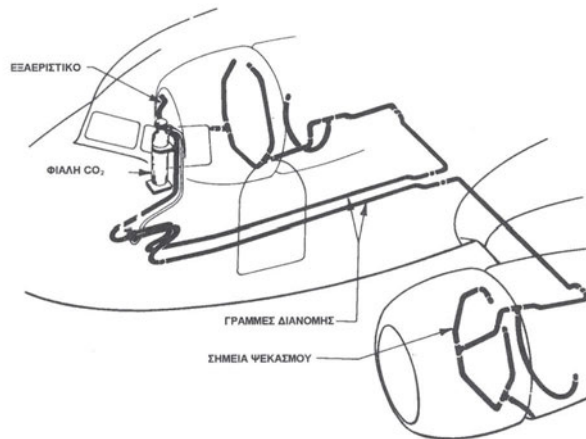
- **Διοξείδιο του άνθρακα** (CO_2). Στη συγκέντρωση που χρησιμοποιείται για την κατάσβεση πυρκαγιών σε κινητήρες, δεν προκαλεί τα προβλήματα για τις ανθρώπινες ζωές που είναι σε θέση να δημιουργήσει γενικά. Εξαιτίας της μεταβολής της πίεσης των ατμών του με την αύξηση της θερμοκρασίας πρέπει να αποθηκεύεται σε ειδικά δοχεία.
- **Μεθυλό-Βρωμίδιο** (CH_3Br). Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό αλλά λόγω της μεγάλης του τοξικότητας δε χρησιμοποιείται όταν υπάρχει περίπτωση να διαφύγει από το χώρο πυρόσβεσης προς χώρους συγκέντρωσης επιβατών και πληρώματος.
- **Χλώριο-Βρώμιο-Μεθάνιο** (CH_2ClBr). Είναι ευρύτερα γνωστό ως CB. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό, λιγότερο τοξικό από τα άλλα πυροσβεστικά υλικά, αλλά έχει το μειονέκτημα να διαβρώνει το αλουμίνιο, το μαγνήσιο, το χαλκό και τον ορείχαλκο.
- **Διβρωμιο-διφθοριο-μεθάνιο** (CBr_2F_2). Είναι αρκετά αποτελεσματικό, λιγότερο τοξικό από το διοξείδιο του άνθρακα και όχι διαβρωτικό.
- **Τρι-φθοριο-βρωμιο-μεθάνιο** (CF_3Br). Είναι μη τοξικό, πολύ αποτελεσματικό αλλά η τιμή του είναι ιδιαίτερα ακριβή.

Γενικά, ένα σύστημα πυρόσβεσης αποτελείται από μία ή περισσότερες **φιάλες αποθήκευσης** του πυροσβεστικού υλικού (συνήθως αυτό αποθηκεύεται σε αυτές σε υγρή κατάσταση υπό πίεση) και ένα **σύστημα τηλεχειριζόμενης βαλβίδας ελέγχου** στο πιλοτήριο. Οι φιάλες έχουν βαλβίδες ελέγχου. Μέσω σωληνώσεων το υγρό υπό πίεση που περιέχουν καταλήγει σε ακροφύσια για τη διασπορά του στον προστατευόμενο χώρο. Στο πιλοτήριο τοποθετείται μία βαλβίδα επιλογής του κινητήρα στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η πυρόσβεση. Μετά την επιλογή, ο χρήστης τραβά μία λαβή η οποία ανοίγει, μέσω σύρματος, τη βαλβίδα της φιάλης. Τότε, το πυροσβεστικό υγρό κατευθύνεται μέσω των σωληνώσεων στα ακροφύσια εκτόξευσης του επιλεγόμενου κινητήρα. Σε μεγάλα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται συστοιχίες φιαλών πυροσβεστικού υλικού, οι οποίες αποθηκεύονται με τις βαλβίδες τους ανοιχτές ενώ η κεντρική βαλβίδα του συστήματος παραμένει κλειστή και ελέγχεται είτε μηχανικά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είτε ηλεκτρικά με την τοποθέτηση ειδικής

σωληνοειδούς βαλβίδας (solenoid valve). Στο Σχήμα 1.107 φαίνεται μία φιάλη αποθήκευσης πυροσβεστικού υγρού και στο Σχήμα 1.108 ένα σύστημα πυρόσβεσης σε δίκινητήριο αεροσκάφος.



Σχήμα 1.107 Φιάλη αποθήκευσης πυροσβεστικού υγρού



Σχήμα 1.108 Σύστημα πυρόσβεσης σε αεροσκάφος

Ανακεφαλαίωση

- Ο πρώτος τετράχρονος κινητήρας κατασκευάστηκε από τους Γερμανούς August Otto και Eugen Langen το 1876.

Ο πρώτος βενζινοκινητήρας που λειτουργούσε σύμφωνα με τον κύκλο των τεσσάρων χρόνων αναπτύχθηκε από τους Γερμανούς Gottlieb Daimler και Karl Benz ξεχωριστά, το 1885.

Το 1892, ο Γερμανός Rudolph Diesel κατασκεύασε έναν κινητήρα στον οποίο πραγματοποιούνταν αυτανάφλεξη του μίγματος αέρα - καυσίμου.

- Οι εμβολοφόροι κινητήρες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, στους ακόλουθους τύπους:

Κατηγορία κινητήρα	Κατασκευαστικά / λειτουργικά κριτήρια
Κινητήρες Otto και Diesel	Τρόπος έναυσης μίγματος αέρα/καυσίμου
Δίχρονοι/ Τετράχρονοι	Χρόνοι λειτουργίας
Υγρόψυκτοι / Αερόψυκτοι	Τρόπο ψύξης
Μονοκύλινδροι/ Πολυκύλινδροι	Αριθμός κυλίνδρων
Εν σειρά Ακτινικοί Αντιτιθέμενων κυλίνδρων Τύπων H, V, W ή X Αστεροειδείς Πολυγωνικού Διπλών εμβόλων Βάνκελ	Διάταξη των κυλίνδρων
Ολιγόστροφοι Μέσης ταχύτητας Πολύστροφοι	Ταχύτητα περιστροφής
Ατμοσφαιρικοί Υπερπληρούμενοι	Πίεση αέρα εισαγωγής

- Τα βασικά λειτουργικά μέρη ενός εμβολοφόρου κινητήρα είναι τα ακόλουθα:

- Στροφαλοθάλαμος (Crankcase)
- Έδρανο ή Τριβέας (Bearing)
- Στροφαλοφόρος άξονας ή στρόφαλος (Crankshaft)
- Διωστήρας (Connecting Rod)
- Έμβολο (Piston)
- Κύλινδρος (Cylinder)
- Βαλβίδες (Valves)
- Οι βασικοί χρόνοι λειτουργίας των εμβολοφόρων κινητήρων είναι οι ακόλουθοι: Εισαγωγή - Συμπύεση - Καύση - Εκτόνωση - Εξαγωγή.
- Τα έδρανα που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες εσωτερικής καύσης διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:
 - Στα έδρανα **ολίσθησης** (ή κουζινέτα) τα οποία χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:
 - Ολόσωμα και διαιρούμενα
 - Σταθερά και αυτορρυθμιζόμενα
 - Εγκάρσια (ή ακτινικά) και αξονικά
 - Έδρανα νερού, λαδιού, γράσου, αέρα και αυτολίπαντα έδρανα.
 - Έδρανα **κύλισης** (ή ρουλεμάν) τα οποία χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:
 - Ακτινικά σταθερά τα οποία είναι τα ακόλουθα:
 - Μονόσφαιρα με βαθύ αυλάκι
 - Δίσφαιρα με βαθύ αυλάκι
 - Μονόσφαιρα γωνιακής επαφής
 - Μονοκύλινδρα
 - Κωνικά
 - Βελονοειδή

- Ακτινικά αυτορρυθμιζόμενα
- Αξονικά σταθερά
- Αξονικά αυτορρυθμιζόμενα
- Τα **λιπαντικά** διακρίνονται στα **ορυκτά**, όπου η πρώτη ύλη είναι το αργό πετρέλαιο και στα **συνθετικά** τα οποία παρασκευάζονται χημικά. Το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι το ιξώδες το οποίο αλλάζει με τη θερμοκρασία. Τα **γράσα** είναι στερεά λιπαντικά που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ρευστά λιπαντικά.
- Τα συστήματα λίπανσης διακρίνονται στα: **μηχανικά, εξαναγκασμένης ροής** και τα **μεικτά**. Οι αεροπορικοί κινητήρες λιπαίνονται με τα δύο τελευταία.
- Τα βασικά τμήματα ενός συστήματος λίπανσης ξηρής κυστίδος είναι η δεξαμενή λαδιού, η αντλία πίεσης, η αντλία επιστροφής, τα φίλτρα, οι διατάξεις ένδειξης πίεσης και θερμοκρασίας λειτουργίας του λαδιού, το ψυγείο λαδιού και ο ρυθμιστής θερμοκρασίας
- Οι εμβολοφόροι **αεροπορικοί κινητήρες** είναι στη συντριπτική τους πλειοψηφία, αερόψυκτοι.
- Η ποιότητα του καυσίμου και ειδικότερα ο **αριθμός οκτανίου** παίζει σημαντικό ρόλο σε έναν αεροπορικό κινητήρα. Κακής ποιότητα καύσιμο προκαλεί **κρουστική καύση** η οποία συνεπάγεται υπερθέρμανση του κινητήρα, πτώση της απόδοσής του, καταπόνηση στα περιστρεφόμενα μέρη του και καταστροφή του εμβόλου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός οκτανίου ενός καυσίμου, τόσο πιο αποδοτική και ομαλή είναι η λειτουργία του.
- Το σύστημα ανάμειξης καυσίμου προετοιμάζει το μείγμα αέρα καυσίμου που εισάγεται για καύση στον κινητήρα. Τα βασικά τμήματά του είναι τα ακόλουθα : Ο αγωγός εισαγωγής αέρα, το φίλτρο εισαγωγής, η αντλία καυσίμου και οι αγωγοί εισαγωγής του μείγματος αέρα - καυσίμου στους κυλίνδρους. Ένα μείγμα αέρα καυσίμου της τάξης του 8:1 έως 15:1 χαρακτηρίζεται ως **πλούσιο** (rich), ενώ σε αναλογία 15:1 έως 20:1 ονομάζεται **φτωχό** (lean).
- Ειδική κατανάλωση καυσίμου ορίζεται σαν η μάζα του καυσίμου που καταναλώνεται στη μονάδα του χρόνου για την παραγωγή μιας μονάδας ισχύος.

- Τα συστήματα εισαγωγής αέρα - καυσίμου διακρίνονται στα ακόλουθα είδη:
 1. Συστήματα έμμεσης έγχυσης καυσίμου ή αναμεικτήρες (carburetors)
 2. Συστήματα άμεσης έγχυσης καυσίμου (fuel injection systems)
- Τα συστήματα υπερσυμπίεσης χρησιμοποιούνται για την αύξηση της ισχύος του κινητήρα η οποία επιτυγχάνεται με την αύξηση της ποσότητας του μείγματος. Οι υπερσυμπιεστές χωρίζονται στους **μηχανικούς** ή άμεσης μετάδοσης κίνησης και τους **στροβίλους υπερπλήρωσης** ή έμμεσης μετάδοσης κίνησης.
- Το σύστημα ανάφλεξης παρέχει το ηλεκτρικό ρεύμα και ρυθμίζει το χρονισμό στους σπινθηριστές ενός εμβολοφόρου κινητήρα. Τα συστήματα ανάφλεξης διακρίνονται σε αυτά που λειτουργούν με **μπαταρία** και σε αυτά που λειτουργούν με **μανιατό**. Τα συστήματα με μανιατό διακρίνονται στα συστήματα **διανομής υψηλής και χαμηλής τάσης** και στα συστήματα **περιστρεφόμενου μαγνήτη**.
- Οι σπινθηριστές είναι τα εξαρτήματα που παράγουν το σπινθήρα για την ανάφλεξη του μείγματος αέρα - καυσίμου στον κύλινδρο. Αποτελούνται από τα **ηλεκτρόδια**, το **μονωτήρα** και το **κέλυφος**.
- Τα συστήματα εκκίνησης κινητήρα διακρίνονται στα ακόλουθα: το **χειροκίνητο σύστημα εκκίνησης**, το **σύστημα εκκίνησης με φυσίγγιο**, τα **αδρανειακά συστήματα εκκίνησης** και το **ηλεκτρικό σύστημα άμεσης περιστροφής**.
- Τα συστήματα πυροπροστασίας κινητήρα διακρίνονται στα **συστήματα πυρανίχνευσης** και στα **συστήματα πυρόσβεσης**. Τα συστήματα πυρανίχνευσης διακρίνονται στα **συστήματα θερμικών διακοπών**, τα **συστήματα θερμοζευγών**, τα **συστήματα συνεχούς βρόγχου** και τα **συστήματα σημειακής πυρανίχνευσης**.
- Τα συστήματα πυρόσβεσης χρησιμοποιούν αδρανή υλικά, τα οποία σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς απομονώνουν τα εύφλεκτα υλικά από το οξυγόνο του αέρα και σταματούν την καύση καθώς διασκορπίζονται στο χώρο που έχει εκδηλωθεί η πυρκαγιά.

Ερωτήσεις

(1.1 Ιστορική εξέλιξη κινητήρων - είδη κινητήρων)

1. Πώς ορίζεται η Μηχανή Εσωτερικής Καύσης; Δώστε παραδείγματα μηχανών εσωτερικής και εξωτερικής καύσης.
2. Ποιο από τα παρακάτω αποτελεί Μηχανή Εσωτερικής Καύσης;
 - A) πυρηνικός αντιδραστήρας.
 - B) ατμομηχανή τραίνου.
 - Γ) κινητήρας Βάνκελ.
 - Δ) ατμολέβητας.
3. Σε τι διαφέρουν οι εμβολοφόροι κινητήρες από τους περιστροφικούς;
4. Ποια είναι τα κριτήρια ταξινόμησης των εμβολοφόρων κινητήρων;
5. Ένας εμβολοφόρος κινητήρας χαρακτηρίζεται ακτινικός (radial) με βάση:
 - A) τον αριθμό των κυλίνδρων του.
 - B) τη διάταξη των κυλίνδρων του.
 - Γ) τον τρόπο ψύξης του.
 - Δ) τον αριθμό των χρόνων λειτουργίας του.
6. Αναγνωρίστε στο Σχήμα 1.8 τα είδη των κινητήρων (από 1 έως 12) με βάση τη διάταξη των κυλίνδρων τους.
7. Πότε ένα αέριο βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας;
8. Ποια είναι η έννοια της θερμότητας;
9. Ισοβαρής ονομάζεται η μεταβολή κατά την οποία:
 - A) παραμένει σταθερή η πίεση.
 - B) παραμένει σταθερός ο όγκος.
 - Γ) δεν πραγματοποιείται ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον.
 - Δ) παραμένουν σταθερά τα μεγέθη του όγκου και της θερμοκρασίας.

10. Ισόχωρη ονομάζεται η μεταβολή της κατάστασης μίας ποσότητας ιδανικού αερίου με την πίεσή του να παραμένει σταθερή.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

(1.2 Βενζινοκινητήρες - Πετρελαιοκινητήρες)

1. Καθορίστε την αρχή λειτουργίας των εμβολοφόρων κινητήρων.
2. Πώς ορίζεται ο όγκος εμβολισμού;
3. Τι καλείται χρόνος ενός κινητήρα;
4. Στην αρχή του 3ου χρόνου του θεωρητικού κύκλου λειτουργίας του τετράχρονου βενζινοκινητήρα:
 - A) οι βαλβίδες εισαγωγής είναι κλειστές.
 - B) οι βαλβίδες εξαγωγής είναι ανοιχτές.
 - Γ) οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι κλειστές.
 - Δ) οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι ανοιχτές.
5. Στους τετράχρονους βενζινοκινητήρες παρατηρείται:
 - A) προπορεία στη σπινθηροδότηση.
 - B) αργοπορεία στο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής.
 - Γ) προπορεία στο κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής.
 - Δ) αργοπορεία στο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής.
6. Ποιες είναι οι συνέπειες από την απόκλιση που παρουσιάζεται μεταξύ του θεωρητικού και του πραγματικού κύκλου Otto;
7. Να αναφερθούν οι κυριότερες διαφορές μεταξύ των κύκλων Otto και Diesel.
8. Ποια είναι τα στοιχειώδη μέρη των δίχρονων κινητήρων;
9. Για την ολοκλήρωση του θερμοδυναμικού κύκλου ενός δίχρονου κινητήρα ο στροφαλοφόρος άξονας πραγματοποιεί στροφή:
 - A) 180° - B) 360° - Γ) 540° - Δ) 720°.

10. Σε ένα δίχρονο βενζινοκινητήρα μόνο ο χρόνος της εκτόνωσης παράγει μηχανικό έργο.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

11. Ο βαθμός συμπίεσης του τετράχρονου βενζινοκινητήρα είναι μεγαλύτερος από αυτόν ενός δίχρονου.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

12. Ποια είναι η θυρίδα που ανοίγει πρώτη κατά τη διάρκεια της εκτόνωσης στον κύκλο λειτουργίας του δίχρονου πετρελαιοκινητήρα;

13. Χρησιμοποιούνται σπινθηριστές για την ανάφλεξη του καύσιμου μίγματος στους πετρελαιοκινητήρες; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

(1.3 Περιγραφή - λειτουργία τμημάτων - εξαρτημάτων τετράχρονων βενζινοκινητήρων)

1. Ποιες είναι οι κύριες λειτουργίες του στροφαλοθάλαμου;

2. Ποιες είναι οι κατηγορίες των εδράνων και τι φορτία παραλαμβάνουν;

3. Σε ποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τα αυτορυθμιζόμενα έδρανα;

4. Τα έδρανα κύλισης δεν παρουσιάζουν απώλειες από τριβές κατά τη λειτουργία τους.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

5. Τα έδρανα ολίσθησης στην κανονική τους λειτουργία καταναλώνουν μεγαλύτερες ποσότητες λιπαντικού σε σχέση με τα έδρανα κύλισης. Αυτό συμβαίνει διότι:

A) παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση τριβής.

B) έχουν μεγάλο όγκο.

Γ) απαιτούν ροντάρισμα.

Δ) είναι επιρρεπή σε διαρροές.

6. Τι είναι ο στροφαλοφόρος άξονας; Τι υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του;
7. Σε ποιο εξάρτημα του κινητήρα εσωτερικής καύσης αποδίδεται τελικά η ισχύς του;
 - A) στο έμβολο.
 - B) στο διωστήρα.
 - Γ) στο στροφαλοφόρο άξονα.
 - Δ) στις βαλβίδες εισαγωγής.
8. Ποιος είναι ο ρόλος των αντίβαρων στον στροφαλοφόρο άξονα των εμβολοφόρων κινητήρων;

(1.4 Λίπανση - Συστήματα Λίπανσης)

1. Αναφέρατε τους λόγους που χρησιμοποιούμε τα λιπαντικά στους εμβολοφόρους κινητήρες και τα βασικά χαρακτηριστικά ενός λιπαντικού.
2. Τι αντιπροσωπεύει ο αριθμός SAE που αναφέρεται στη συσκευασία ενός λιπαντικού; Αναφέρατε ενδεικτικούς αριθμούς SAE των λιπαντικών που χρησιμοποιούνται σε αεροπορικούς κινητήρες.
3. Για ποιους λόγους χρησιμοποιούνται τα πρόσθετα λιπαντικών;
4. Τα λιπαντικά διακρίνονται ως προς τον τρόπο παρασκευής τους σε ορυκτά και συνθετικά.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

5. Αναφέρατε τα είδη των συστημάτων λίπανσης των αεροπορικών κινητήρων.
6. Το μειονέκτημα των κινητήρων που χρησιμοποιούν σύστημα λίπανσης υγρής κυστίδος είναι:
 - A) Έχουν μεγάλη χωρητικότητα λιπαντικού και άρα αυξάνουν το βάρος του αεροσκάφους.

- B) Δεν μπορούν να εκτελέσουν ανάστροφη πτήση.
- Γ) Έχουν μεγάλη κατανάλωση λιπαντικού.
7. Αναφέρατε τα βασικά μέρη ενός συστήματος λίπανσης ξηρής κυστίδας.
8. Ποιος είναι ο σκοπός της ύπαρξης του ρυθμιστή θερμοκρασίας σε ένα κύκλωμα λίπανσης κινητήρα;
9. Οι διατάξεις μέτρησης θερμοκρασίας που υπάρχουν σε ένα κύκλωμα λίπανσης έχουν ως σκοπό:
- A) Να ρυθμίσουν τη ροή του λιπαντικού μέσα στο σύστημα.
- B) Να δείχνουν το ιξώδες του λιπαντικού σε σχέση με τη θερμοκρασία του κινητήρα.
- Γ) Να δείχνουν τη θερμοκρασία του λιπαντικού στον κινητήρα.
10. Ποιος είναι ο λόγος που χρησιμοποιούμε αντλία επιστροφής σε ένα σύστημα λίπανσης;

(1.5 Συστήματα ψύξης)

1. Αναφέρατε τους λόγους για τους οποίους χρησιμοποιούνται τα συστήματα ψύξης στους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Με ποιόν τρόπο απάγεται η θερμότητα από τον κινητήρα;
2. Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο ψύξης τους σε:
- A) Εσωτερικής και εξωτερικής ψύξης.
- B) Αερόψυκτους και υγρόψυκτους.
- Γ) Ψυχρούς και θερμούς.
- Δ) Περιστροφικούς και παλινδρομικούς.

3. Τα προβλήματα που μπορούν να παρουσιάσουν οι κινητήρες εσωτερικής καύσης όταν δεν ψύχονται επαρκώς είναι τα ακόλουθα:
- A) Αλλοίωση των χαρακτηριστικών του λιπαντικού που χρησιμοποιούν.
 - B) Προανάφλεξη του μείγματος αέρα καυσίμου.
 - Γ) Αστοχίες των εξαρτημάτων του κινητήρα.
 - Δ) Όλα τα παραπάνω.
4. Με ποιο μηχανισμό απάγεται η θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε έναν υδρόψυκτο εμβολοφόρο κινητήρα; Αναφέρατε με ποιο από τα εξαρτήματα του μεταφέρεται η θερμότητα στο περιβάλλον, κατά το μεγαλύτερο ποσοστό.
5. Αναφέρατε τα πλεονεκτήματα των αερόψυκτων εμβολοφόρων κινητήρων; Ποια είναι η βασική προϋπόθεση για την ικανοποιητική λειτουργία ενός αερόψυκτου κινητήρα.
6. Για ποιο λόγο τοποθετούνται οι κινητές θυρίδες αέρα στα αεροδυναμικά καλύμματα των εμβολοφόρων κινητήρων;
7. Ο θερμοστάτης σε ένα σύστημα ψύξης υγρόψυκτου κινητήρα χρησιμοποιείται για τον ακόλουθο λόγο:
- A) Την επιτάχυνση της ροής του ψυκτικού για την αποτελεσματικότερη ψύξη του.
 - B) Τη διακοπή της ροής του ψυκτικού από το χειριστή για τη ρύθμιση της απόδοσης του κινητήρα.
 - Γ) Τη διακοπή της ροής του ψυκτικού μέχρι να ανέλθει η θερμοκρασία του σε προκαθορισμένη τιμή.
 - Δ) Κανένα από παραπάνω.
8. Μια από τις πιο συχνές βλάβες που παρατηρούνται σε ένα υγρόψυκτο σύστημα είναι η απόφραξη της αντλίας του ψυκτικού.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

9. Ποιος είναι ο λόγος που προσθέτουμε αιθυλική γλυκόλη στο νερό ψύξης ενός συστήματος ψύξης;

(1.6 Καύσιμα και συστήματα αναμεικτών αέρα - καυσίμου)

1. Τα προϊόντα καύσης των υδρογονανθράκων περιέχουν ενώσεις του άνθρακα όπως μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

2. Ποια είναι τα φαινόμενα που παρατηρούνται σε ένα κινητήρα κατά τη διάρκεια κρουστικής καύσης και πού οφείλονται;
3. Αναφέρατε τα βασικά τμήματα ενός συστήματος ανάμειξης αέρα καυσίμου.
4. Το μείγμα αέρα-καυσίμου ονομάζεται πλούσιο όταν ισχύει κάποιο από τα παρακάτω:
- A) Η αναλογία του μείγματος αέρα-καυσίμου βρίσκεται μεταξύ 8:1 και 15:1
- B) Η αναλογία του μείγματος αέρα-καυσίμου βρίσκεται μεταξύ 15:1 και 20:1.
- Γ) Το καύσιμο στο μείγμα περιέχει περισσότερα από 110 οκτάνια.
- Δ) Κανένα από τα παραπάνω.
5. Πώς ορίζεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου και ποιες είναι οι μονάδες που χρησιμοποιούμε;
6. Αναφέρατε το σκοπό των συστημάτων εισαγωγής αέρα-καυσίμου και τα είδη τους. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με τα οποία διαφοροποιούμε τα είδη των συστημάτων εισαγωγής;
7. Η υποπίεση που προκαλεί την εισροή του μείγματος αέρα καυσίμου στους κυλίνδρους ενός εμβολοφόρου κινητήρα προκαλείται από:
- A) Τη διαμόρφωση Ventouri του αναμεικτήρα.
- B) Την πίεση της δεξαμενής του καυσίμου.

- Γ) Τη στένωση Bernoulli του αναμεικτήρα.
 - Δ) Την πτώση της πίεσης που δημιουργούν τα έμβολα του κινητήρα διαδοχικά κατά την φάση της εισαγωγής.
8. Για ποιον λόγο χρησιμοποιείται το σύστημα βραδείας λειτουργίας ενός αναμεικτήρα με πλωτήρα και σε ποια φάση της λειτουργίας του;
 9. Για ποιους λόγους χρησιμοποιείται έγχυση μείγματος νερού μεθανόλης στο μείγμα αέρα καυσίμου ενός αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα;
 10. Αναφέρατε τα πλεονεκτήματα των συστημάτων άμεσης έγχυσης καυσίμου.

(1.7 Συστήματα υπερσυμπίεσης)

1. Για ποιον λόγο χρησιμοποιούμε σε έναν εμβολοφόρο κινητήρα το σύστημα υπερσυμπίεσης;
 - A) Για να αυξήσουμε την ισχύ του κινητήρα.
 - B) Για να αυξήσουμε το υψόμετρο που μπορεί να επιχειρεί το αεροσκάφος.
 - Γ) Για να αυξήσουμε την ποσότητα μίγματος που εισέρχεται στους κυλίνδρους του.
 - Δ) Για όλους τους παραπάνω λόγους.
2. Αναφέρατε τα είδη των υπερσυμπιεστών που χρησιμοποιούμε στους εμβολοφόρους κινητήρες και δώστε τον ορισμό της υπερσυμπίεσης.
3. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των μηχανικών υπερσυμπιεστών σε σχέση με τους υπερσυμπιεστές έμμεσης μετάδοσης κίνησης;
4. Περιγράψτε τα βασικά μέρη ενός στρόβιλο-υπερπληρωτή.
5. Αναφέρατε τα μειονεκτήματα των στρόβιλο-υπερπληρωτών.
6. Το μείγμα αέρα καυσίμου που συμπιέζει ένας υπερσυμπιεστής χρειάζεται ψύξη για τον ακόλουθο λόγο:
 - A) Για την μείωση της πιθανότητας υπερθέρμανσης του κινητήρα.

- Β) Για την ψύξη του λιπαντικού του κινητήρα.
- Γ) Για τη μείωση του φαινομένου αυταναφλέξεων στον κινητήρα.
- Δ) Κανένα από τα παραπάνω.
7. Σε ποια θέση συναντάμε συνήθως τους υπερσυμπιεστές άμεσης μετάδοσης κίνησης σε αστεροειδείς εμβολοφόρους κινητήρες και γιατί;
8. Ποιος από τους τύπους υπερσυμπιεστών δημιουργεί την μικρότερη απώλεια ισχύος σε έναν κινητήρα και γιατί;
9. Ο εναλλάκτης του συστήματος εισαγωγής του κινητήρα τοποθετείται στο ρεύμα αέρα του σκάφους για την αποτελεσματικότερη λειτουργία του.
- ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ
10. Ποιος είναι ο ρόλος της βαλβίδας ελέγχου πίεσης του υπερσυμπιεστή;

(1.8 Συστήματα ανάφλεξης)

1. Ποιες είναι οι κατηγορίες που διακρίνονται τα συστήματα ανάφλεξης;
2. Ποιο από τα συστήματα ανάφλεξης δεν χρησιμοποιεί πηγή συνεχούς ρεύματος για τη λειτουργία του;
3. Τα συστήματα ανάφλεξης που χρησιμοποιούν γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος για τη λειτουργία τους υπερτερούν σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούν μπαταρία για τη λειτουργία τους.
- ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ
4. Το πλεονέκτημα ενός μανιατό χαμηλής τάσης έναντι ενός μανιατό υψηλής τάσης είναι:
- A) Η χαμηλή κατανάλωση ρεύματος και άρα η οικονομία στο καύσιμο.
- B) Η υψηλή κατανάλωση ρεύματος και άρα η καλύτερη απόδοσή του.
- Γ) Δεν παρουσιάζει διαρροές ρεύματος στο διανομέα.
- Δ) Δεν παρουσιάζει διαρροές ρεύματος στην μπαταρία του συστήματος.

5. Θεωρείτε μειονέκτημα το γεγονός ότι ένα μανιατό χαμηλής τάσης απαιτεί τη χρήση μετασχηματιστή για κάθε κύλινδρο και αν ναι για ποιο λόγο;
6. Ποιος τύπος μανιατό είναι ο πιο διαδεδομένος στους αεροπορικούς κινητήρες;
7. Ποιος είναι ο λόγος ύπαρξης των πλατινών σε ένα σύστημα ανάφλεξης;
8. Αναφέρατε τους τύπους των σπινθηριστών και τα βασικά μέρη, από τα οποία αυτοί αποτελούνται.
9. Η σωστή επιλογή του τύπου ενός σπινθηριστή συμβάλλει στη μείωση των αυταναφλέξεων μέσα στον κύλινδρο.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

10. Οι μικρές κατασκευαστικές ανοχές των σπειρωμάτων των σπινθηριστών έχουν σαν σκοπό:
 - A) Την αποφυγή της διαρροής μείγματος αέρα καυσίμου.
 - B) Την αυξημένη απαγωγή θερμότητας από την κεφαλή του κυλίνδρου προς το περιβάλλον.
 - Γ) Την αποφυγή διαρροής καυσαερίων από τον κύλινδρο στο περιβάλλον.
 - Δ) Την αυξημένη αγωγιμότητα του σπινθηριστή με το σύστημα ανάφλεξης.

(1.9 Συστήματα εκκίνησης)

1. Ποιος παράγοντας καθορίζει τον τύπο του συστήματος εκκίνησης για έναν κινητήρα;
2. Αναφέρατε τους τύπους των συστημάτων εκκίνησης εμβολοφόρων κινητήρων και τα χαρακτηριστικά που τους κάνουν να διαφέρουν μεταξύ τους.
3. Ποια είναι η βασική προϋπόθεση για να λειτουργήσει ένα σύστημα εκκίνησης που χρησιμοποιεί σφόνδυλο;
4. Ποια από τις ακόλουθες είναι βασική προϋπόθεση για να εκκινήσει ένας

εμβολοφόρος κινητήρας;

A) Η πραγματοποίηση ενός πλήρους κύκλου όλων των εμβόλων του.

B) Η μία πλήρης περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονά του.

Γ) Η παροχή μείγματος αέρα καυσίμου σε έναν από τους κυλίνδρους του.

Δ) Καμιά από τις παραπάνω.

5. Στο σύστημα εκκίνησης με φυσίγγιο χρησιμοποιούμε την πίεση των καυσαερίων που αποθηκεύεται σε ειδικό δοχείο κατά τη λειτουργία του κινητήρα για την εκκίνησή του.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

6. Ποιο από τα συστήματα εκκίνησης που γνωρίζετε θα χρησιμοποιούσατε για την εκκίνηση ενός τετρακύλινδρου κινητήρα αντιτιθέμενων εμβόλων; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

7. Ποιο είναι το βασικό μειονέκτημα του συστήματος εκκίνησης που χρησιμοποιεί σφόνδυλο για τη λειτουργία του;

A) Είναι πολύπλοκο σαν σύστημα και απαιτεί ιδιαίτερες τεχνικές συντήρησης.

B) Αυξάνει το βάρος του αεροσκάφους λόγω της μεγάλης μάζας του.

Γ) Απαιτεί αυξημένο χρόνο εκκίνησης του κινητήρα σε σχέση με τα άλλα συστήματα.

Δ) Έχει ιδιαίτερα αυξημένη κατανάλωση καυσίμου.

8. Η ταχύτητα περιστροφής του σφονδύλου ενός συστήματος εκκίνησης που χρησιμοποιεί σφόνδυλο κυμαίνεται από 8000rpm έως 20000rpm ενώ η σχέση μετάδοσης της κίνησης προς το στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα είναι της τάξης του 100:1.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

9. Το ηλεκτρικό σύστημα άμεσης περιστροφής λαμβάνει ισχύ από:

A) Το συσσωρευτή του αεροσκάφους.

B) Από κάποια εξωτερική πηγή ρεύματος μόνο όταν το αεροσκάφος βρίσκεται στο έδαφος.

Γ) Όλα τα παραπάνω.

10. Τα αδρανειακά συστήματα εκκίνησης διακρίνονται σε χειροκίνητα, ηλεκτρικά και μεικτά.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

(1.10 Συστήματα πυρόσβεσης)

1. Σε πόσες και ποιες ζώνες πυρκαγιάς χωρίζουμε έναν εμβολοφόρο κινητήρα και για ποιο λόγο;
2. Ποιος είναι ο σκοπός χρήσης ενός συστήματος πυρανίχνευσης στον κινητήρα;
3. Αναφέρατε τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος πυρανίχνευσης.
4. Ο αριθμός των θερμοζευγών που χρησιμοποιείται σε κάθε ζώνη πυρανίχνευσης εξαρτάται από:
 - A) Τη μέγιστη αναμενόμενη θερμοκρασία στην περιοχή κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς.
 - B) Το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος του συστήματος πυρανίχνευσης.
 - Γ) Τη μέγιστη ένταση ρεύματος που διαθέτει η μπαταρία του αεροσκάφους.
 - Δ) Την έκταση της περιοχής που θέλουμε να εξασφαλίσουμε πυρανίχνευση.
5. Αναφέρατε τα βασικά χαρακτηριστικά ενός υλικού κατάλληλου για πυρόσβεση.

6. Η εντολή ενεργοποίησης ενός συστήματος πυρόσβεσης δίνεται από το χειριστή του αεροσκάφους.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

7. Ποιο από τα παρακάτω υλικά είναι ακατάλληλο για κατάσβεση;

A) Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2).

B) Μείγμα νερού και αλκοόλης.

Γ) Χλώριο-Βρώμιο-Μεθάνιο (CH_2ClBr).

Δ) HALON.

8. Ποιος είναι ο τρόπος που δρα ένα πυροσβεστικό υλικό για να κατασβέσει μια πυρκαγιά;

9. Το υγρό υπό πίεση που περιέχουν οι φιάλες ενός πυροσβεστικού συστήματος καταλήγει σε ακροφύσια για την διασπορά του στον προστατευόμενο χώρο.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

Εργασίες - Δραστηριότητες

1. Επισκεφθείτε συνεργεία αυτοκινήτων. Αναγνωρίστε τα βασικά μέρη των κινητήρων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα, σε αντιστοιχία με αυτά που αναφέρθηκαν για τους αεροπορικούς εμβολοφόρους κινητήρες.
2. Επισκεφθείτε την ΕΑΒ. Ενημερωθείτε για τους εμβολοφόρους κινητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σήμερα σε αεροσκάφη της Πολεμικής Αεροπορίας.
3. Συγκεντρώστε πληροφορίες από βιβλιοθήκες, internet, κ.ά. σχετικά με την εξέλιξη των υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται σε εμβολοφόρους αεροπορικούς κινητήρες.
4. Ετοιμάστε έκθεση αναφορικά με τους τύπους των καυσίμων, τα οποία χρησιμοποιούνται στους αεροπορικούς εμβολοφόρους κινητήρες. Περιλάβετε στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη των καυσίμων, τα βασικά χαρακτηριστικά τους και την πιθανή εναλλαξιμότητά τους.

Εργαστήρια

Εργαστηριακή άσκηση 1.1:

Αναγνώριση εξαρτημάτων

1. Σκοπός:

- Η αναγνώριση των επιμέρους μερών και βασικών παρελκομένων ενός αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα από τους μαθητές με οπτική επιθεώρηση.
- Επισήμανση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών των επιμέρους μερών και παρελκομένων του κινητήρα που βοηθούν στην αναγνώρισή τους και αιτιολόγηση των απαντήσεων.
- Τήρηση των απαιτούμενων μέτρων ασφαλείας κατά τη διάρκεια των εργασιών πάνω στον κινητήρα.

2. Μέτρα ασφαλείας κατά τη διάρκεια εργασιών στον κινητήρα:

- Βεβαιωθείτε ότι δεν έχει παρέλθει η ημερομηνία επιθεώρησης για την ασφαλή κατάσταση της κλίνης στην οποία βρίσκεται τοποθετημένος ο κινητήρας για να πραγματοποιηθούν οι αρχικές εργασίες επιθεώρησης ή / και συντήρησής του. Η ημερομηνία της τελευταίας και επόμενης επιθεώρησης αναγράφεται σε ειδικό ταμπελάκι επικολλημένο πάνω στην κλίνη.
- Βεβαιωθείτε ότι ο κινητήρας είναι σωστά τοποθετημένος στην κλίνη ελέγχοντας τα σημεία στήριξης και ότι οι ασφάλειες είναι σωστά τοποθετημένες, προτού πραγματοποιήσετε οποιαδήποτε εργασία πάνω στον κινητήρα.
- Ο χώρος εργασίας γύρω και πάνω στην κλίνη θα πρέπει να είναι καθαρός από λάδια, καύσιμο, εργαλεία και εξαρτήματα του κινητήρα.

3. Απαιτούμενος εξοπλισμός:

- Ένας αεροπορικός εμβολοφόρος κινητήρας με τα παρελκόμενά του πάνω στον κινητήρα.

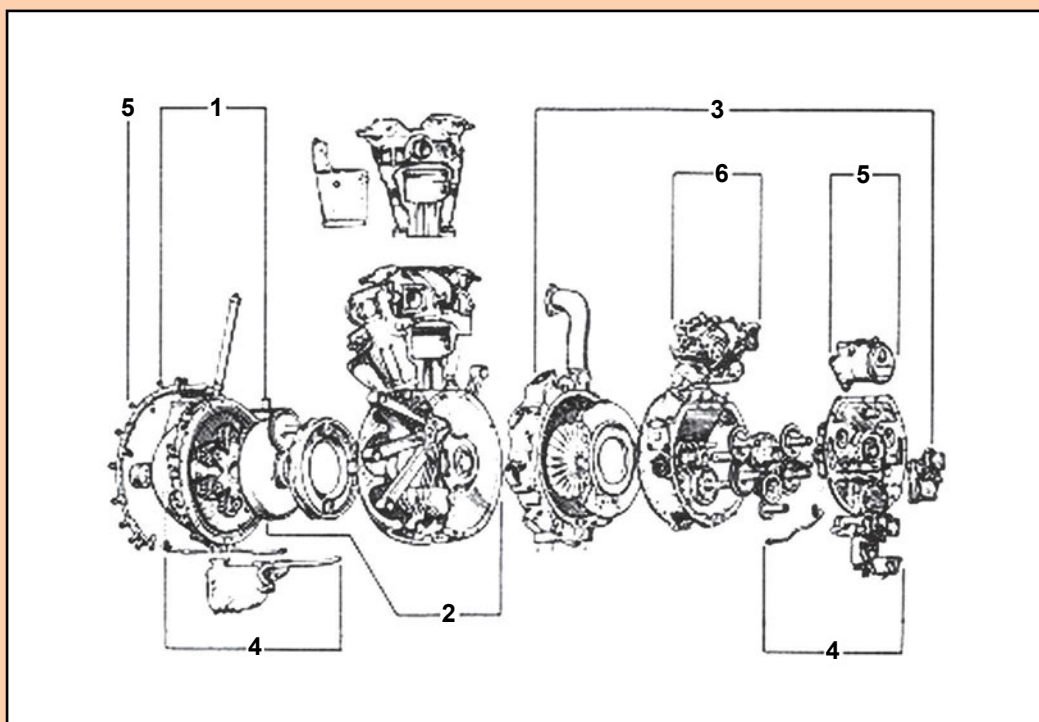
- Ένας αποσυναρμολογημένος κύλινδρος από τον παραπάνω κινητήρα.
- Ένα πιστόνι με τα ελατήριά του.

4. Διαδικασία

- 1) Αναγνωρίστε το τύπο του κινητήρα που θα χρησιμοποιήσετε επιθεωρώντας τον οπτικά και αιτιολογήστε τις απαντήσεις σας. Εντοπίστε την πινακίδα του κινητήρα με τα στοιχεία του κατασκευαστή και του κινητήρα.
- 2) Αναγνωρίστε και περιγράψτε τα κύρια λειτουργικά συκροτήματα του κινητήρα:
 - (i) Συγκρότημα μετάδοσης ισχύος
 - (ii) Συγκρότημα στροφαλοθάλαμου
 - (iii) Συγκρότημα υπερσυμπιεστή ή υπετροφοδότη
 - (iv) Συγκρότημα παρελκομένων
 - (v) Σύστημα ανάφλεξης
 - (vi) Σύστημα καυσίμου
- 3) Αναγνωρίστε τα παρακάτω παρελκόμενα. Περιγράψτε συνοπτικά τη λειτουργία τους.
 - (i) Μανιατό
 - (ii) Αναμεικτήρα καυσίμου (καρμπυρατέρ)
 - (iii) Υπερσυμπιεστή
 - (iv) Εκκινητήρα
 - (v) Αντλία ελαίου λίπανσης
 - (vi) Ψυγείο ελαίου
- 4) Αναγνωρίστε σε ένα αποσυναρμολογημένο κύλινδρο και έμβολο τα παρακάτω κατασκευαστικά χαρακτηριστικά αιτιολογώντας τη χρήση τους και περιγράψτε τυχόν ενδείξεις φθοράς που παρατηρείτε.
 - (i) Θέση βαλβίδας εισαγωγής πάνω στον κύλινδρο
 - (ii) Θέση βαλβίδας εξαγωγής πάνω στον κύλινδρο
 - (iii) Χιτώνιο κυλίνδρου

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

- (iv) Διαδρομή εμβόλου και κατάσταση της εσωτερικής επιφάνειας του κυλίνδρου
 - (v) Πτερύγια στο εσωτερικό της κεφαλής του πιστονιού. Τι συμπεραίνετε από την κατανομή του χρώματος στην εσωτερική επιφάνεια της κεφαλής του πιστονιού;
 - (vi) Αφαιρέστε τα ελατήρια του εμβόλου και παρατηρήστε τα χαρακτηριστικά των σημείων έδρασής τους
- 5) Συμπληρώστε τα κενά στην λίστα με τα βασικά μέρη και συστήματα για τον εμβολοφόρο αστεροειδή κινητήρα του σχήματος.



- 1)
- 2)
- 3)
- 4)
- 5)
- 6)

Εργαστηριακή άσκηση 1.2:

Αναγνώριση και χρήση γενικών εργαλείων

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση της άσκησης αυτής, θα είστε ικανοί:

- Να αναγνωρίζετε τα γενικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται κατά την αποσυναρμολόγηση και τη συναρμολόγηση ενός εμβολοφόρου κινητήρα αεροπορικού τύπου.
- Να χειρίζεστε τα γενικά εργαλεία και να γνωρίζετε τον τρόπο λειτουργίας των ειδικών εργαλείων.
- Να επιλέγετε το κατάλληλο εργαλείο, για την κάθε περίπτωση.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Κατά τη διάρκεια των εργασιών αποσυναρμολόγησης και συναρμολόγησης, καθώς και κατά την επιθεώρηση των εξαρτημάτων, ενός εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα, ο τεχνίτης, πρέπει να χρησιμοποιήσει διάφορα, εργαλεία ή / και μηχανήματα. Ο χρόνος που θα απαιτηθεί για την ολοκλήρωση μιας συγκεκριμένης εργασίας, αλλά και η ποιότητα του τελικού αποτελέσματος, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό, από το είδος των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν και από τη δεξιότητα του τεχνίτη στο χειρισμό τους.

Τα εργαλεία αυτά είναι πολλά και διαφόρων μεγεθών όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 1.109 Συλλογή γενικών εργαλείων

Ο τεχνίτης, λοιπόν, πρέπει να επιλέξει το κατάλληλο είδος του εργαλείου που θα χρειασθεί για να εκτελέσει μια εργασία, και στο κατάλληλο μέγεθος. Πρέπει, δηλαδή, να είναι σε θέση να γνωρίζει τη γκάμα των εργαλείων που απαιτούνται για μία συγκεκριμένη εργασία (στη συγκεκριμένη περίπτωση αυτήν της αποσυναρμολόγησης - συναρμολόγησης) και να επιλέγει το πιο κατάλληλο.

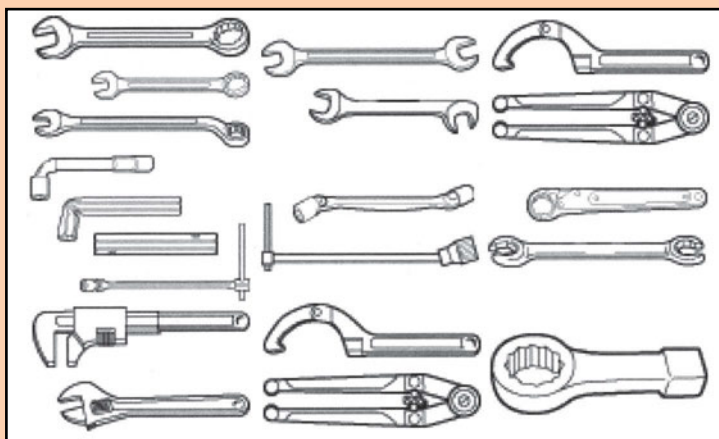
Τα εργαλεία που απαιτούνται για τις προαναφερόμενες εργασίες διακρίνονται σε **γενικά** και **ειδικά**. Τα εργαλεία γενικής χρήσης είναι εργαλεία με τα οποία είναι εξοπλισμένο ένα συνεργείο συντήρησης και επισκευών αεροπορικών κινητήρων. Τα ειδικά εργαλεία σχεδιάζονται, κατασκευάζονται και προμηθεύονται από την κατασκευάστρια εταιρεία του κάθε κινητήρα ώστε να ικανοποιούν τις ιδιαίτερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται κατά τις εργασίες συντήρησης / επισκευής του κινητήρα.

Τα γενικά εργαλεία μπορούν να διακριθούν σε **εργαλεία χειρός** και σε **σύνθετα εργαλεία**. Τα τελευταία αποτελούνται από μηχανικά συστήματα (χειροκίνητα, ηλεκτρικά, υδραυλικά, πνευματικά).

Στην εργαστηριακή αυτή άσκηση θα εστιάσουμε στα γενικά εργαλεία. Οι κατηγορίες στις οποίες αυτά διακρίνονται, είναι οι ακόλουθες:

1. Κλειδιά σταθερού και ρυθμιζόμενου ανοίγματος.

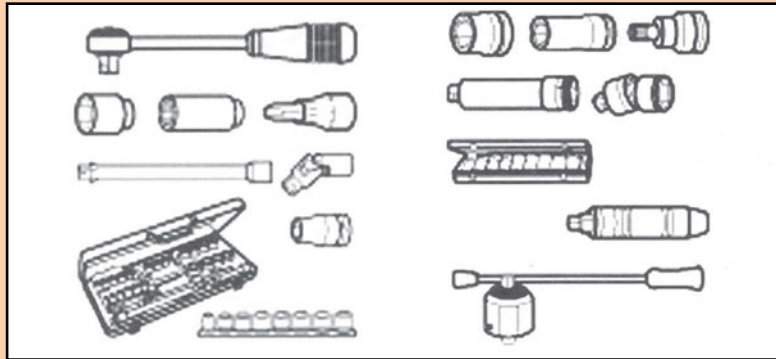
Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα γερμανικά κλειδιά, τα γερμανοπολύγωνα κλειδιά, τα πολύγωνα κλειδιά, τα κλειδιά πίπας, τα κλειδιά με καρυδάκια, τα ρακορόκλειδα, τα κλειδιά ρυθμιζόμενου ανοίγματος, γαντζόκλειδα, τα κλειδιά βαριάς.



Σχήμα 1.110 Κλειδιά σταθερού και ρυθμιζόμενου ανοίγματος

2. Καστάνιες, καρυδάκια.

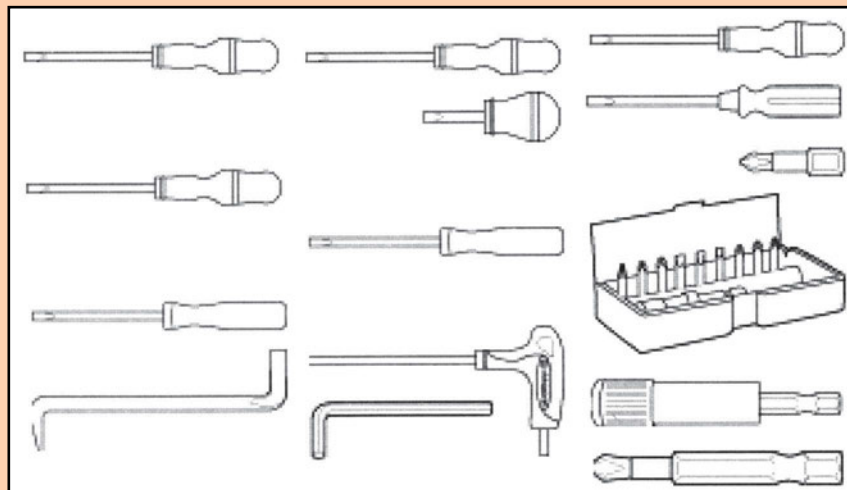
Η κατηγορία αυτή, εκτός από τις καστάνιες και τα καρυδάκια περιλαμβάνει τα χτυπητά κατσαβίδια και κρουστικά κλειδιά χειρός.



Σχήμα 1.111 Καστάνιες, καρυδάκια

3. Κατσαβίδια, κλειδιά άλλεν, μύτες βιδώματος.

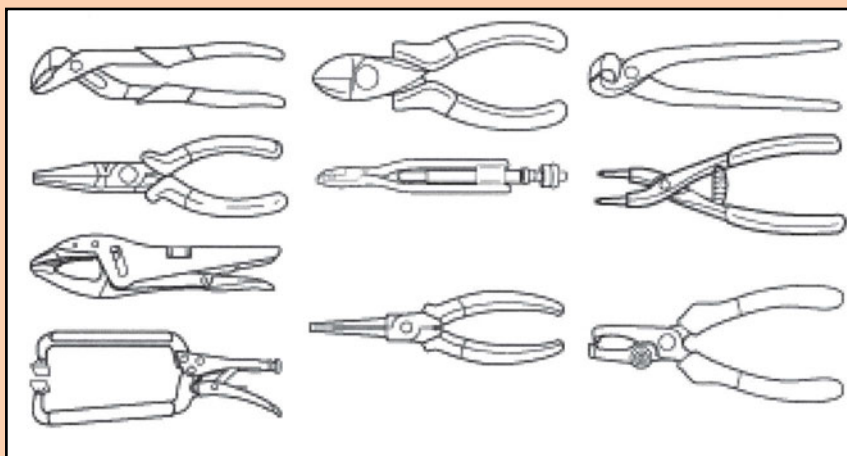
Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει διάφορα είδη από κατσαβίδια και κλειδιά άλλεν καθώς και μύτες διαφόρων διαστάσεων και σχημάτων.



Σχήμα 1.112 Κατσαβίδια

4. Πένσες, τσιμπίδες ασφαλειών, πένσες γκριπ.

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται πένσες, τανάλιες, κόφτες, μυτοσίμπιδα και ειδικές πένσες τύπου γκριπ, πένσες συρματασφάλισης.



Σχήμα 1.113 Πένσες

5. Εργαλεία μέτρησης και χάραξης (Σχήμα 1.114).

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται μέτρα και ρολά, μετροταινίες, κανόνες, εργαλεία χάραξης, εργαλεία ελέγχου (παχύμετρα, μικρόμετρα, γωνιές, αλφάδια, φίλλερ - καλίμπρες).

6. Σφυριά, εργαλεία χτυπήματος (Σχήμα 1.115).

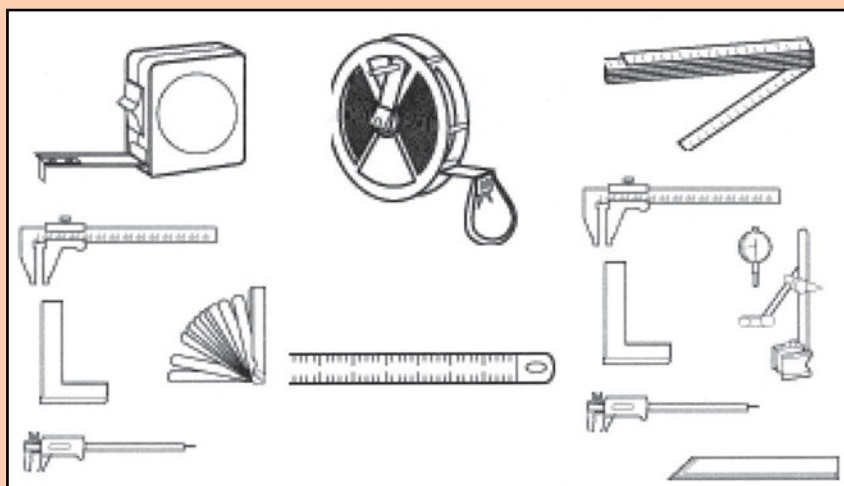
Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται εργαλεία όπως σφυριά, βαριοπούλες, ματσόλες, ζουμπάδες, πόντες, καλέμια και κοπίδια.

7. Εργαλεία για πριόνισμα, κοπή, τρύπημα (Σχήμα 1.116).

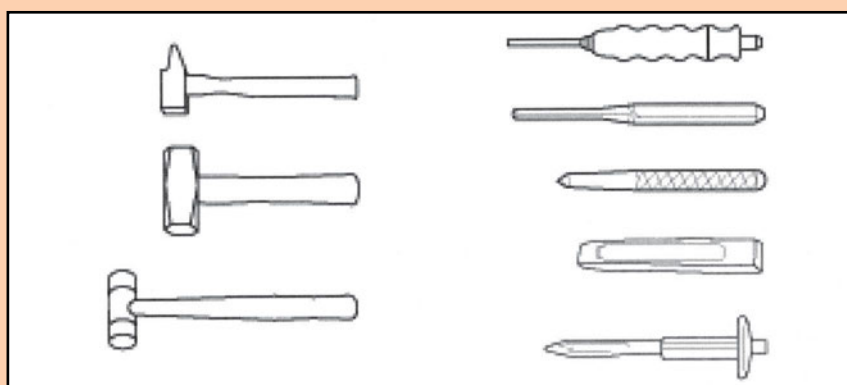
Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται λάμες, διάφορα είδη τρυπανιών, εργαλεία σπειρωμάτων, λίμες, διάφορα είδη ψαλιδιών, διάφορα είδη κοφτών.

8. Διάφορα εργαλεία (Σχήμα 1.117).

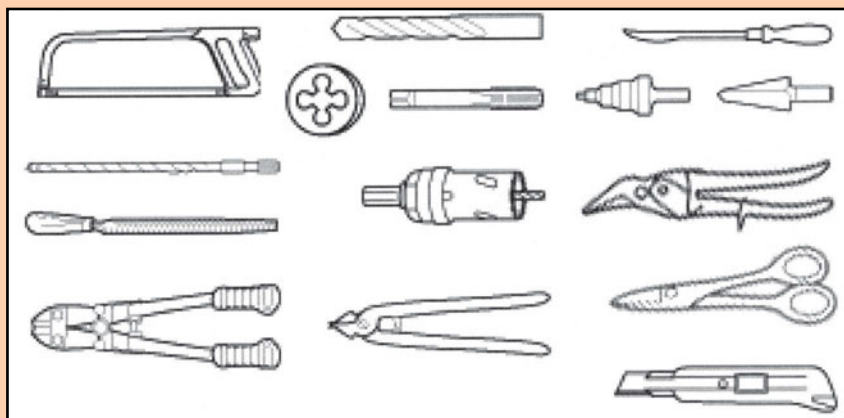
Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνουμε τα διάφορα εργαλεία λίπανσης (λαδικά, γρασαδόροι), τις μέγγενες και τους σφιγκτήρες, τους πριτσίναδόρους, τους λεβιέδες, τους κολλιέδες, τις βούρτσες και διάφορα άλλα.



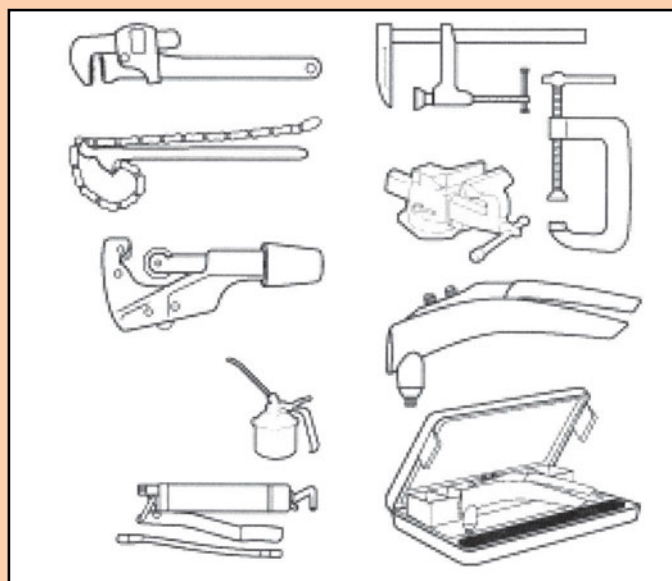
Σχήμα 1.114 Εργαλεία μέτρησης και χάραξης



Σχήμα 1.115 Σφυριά και εργαλεία χτυπήματος



Σχήμα 1.116 Εργαλεία πριονίσματος, κοπής και τρυπήματος

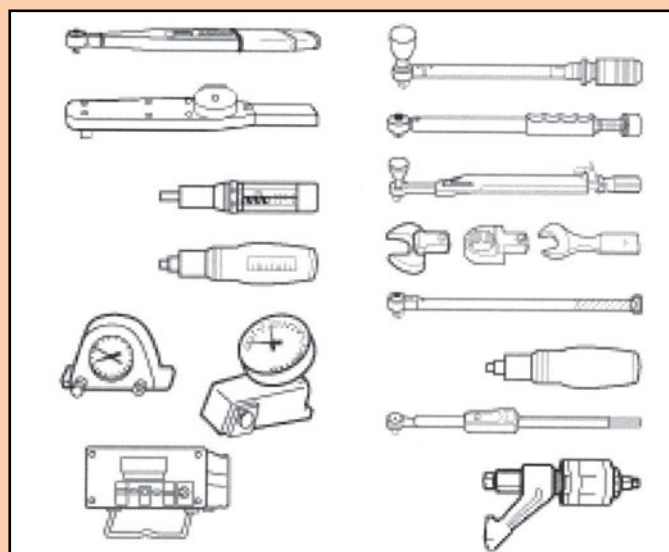


Σχήμα 1.117 Εργαλεία για διάφορες εργασίες

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα εργαλεία που είναι περισσότερο εξειδικευμένα από τα εργαλεία γενικής χρήσης.

1. Εργαλεία ελεγχόμενου σφιξίματος (Σχήμα 1.118)

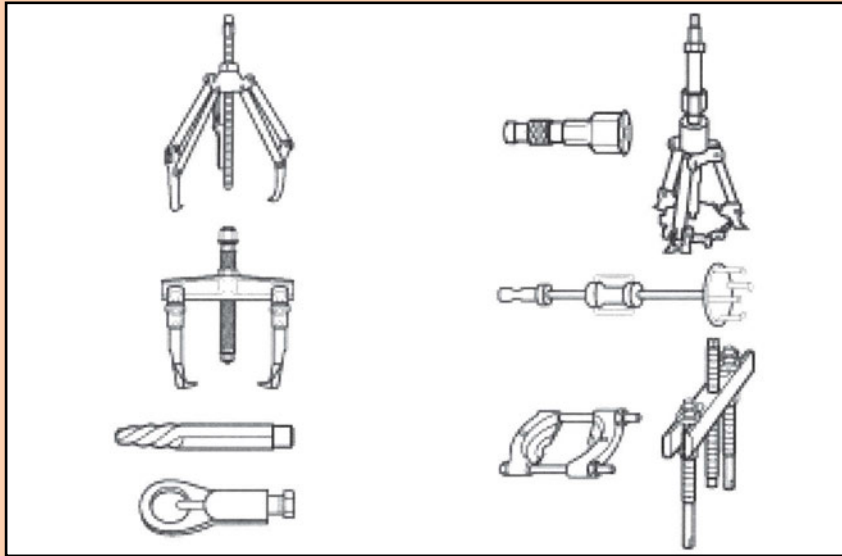
Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα ηλεκτρονικά και τα μηχανικά κλειδιά, τα κατσαβίδια με βερνιέρο, τα όργανα ελέγχου ροπής, οι πολλαπλασιαστές ροπής.



Σχήμα 1.118 Εργαλεία ελεγχόμενου σφιξίματος

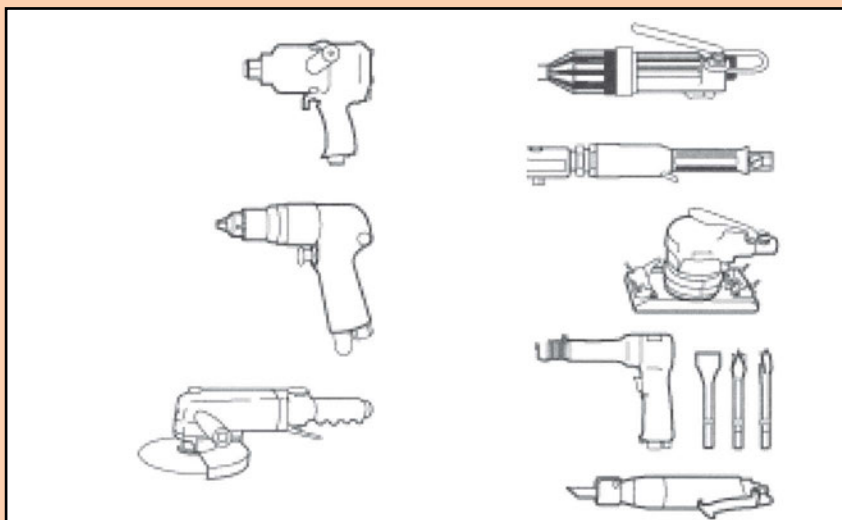
2. Γενικοί εξωλκείς (Σχήμα 1.119)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν διάφοροι τύποι εξωλκίων. Σε επόμενη παράγραφο, θα δούμε αρκετούς εξωλκείς ως ειδικά εργαλεία, που παρέχονται από τον κατασκευαστή του κινητήρα που επισκευάζεται / συντηρείται, που χρησιμοποιούνται για την αποσυναρμολόγηση εξαρτημάτων του κινητήρα.



Σχήμα 1.119 Διάφορα είδη εξωλκίων

Τέλος, στα εργαλεία γενικής χρήσης κατατάσσονται, επίσης, τα **εργαλεία αέρα** και τα **ηλεκτρικά εργαλεία** (Σχήμα 1.120). Τέτοια είναι τα κρουστικά αερόκλειδα, τα κρουστικά κατσαβίδια, τα δράπανα, τα τριβεία, οι τροχοί και διάφορα άλλα.



Σχήμα 1.120 Εργαλεία που λειτουργούν με αέρα και ηλεκτρικά εργαλεία

Μέτρα ασφάλειας

Κατά τη χρήση των βασικών και ειδικών εργαλείων θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη λήψη των απαραίτητων μέτρων ασφάλειας και στη σωστή χρήση των εργαλείων, ώστε να εξαλειφθεί η οποιαδήποτε πιθανότητα τραυματισμού. Επιπρόσθετα, η αποφυγή καταστροφής εξαρτημάτων του κινητήρα θεωρείται αυτονόητη. Βασικά μέτρα ασφαλείας (συνοδευόμενα από κάποιες γενικές οδηγίες σωστής χρήσης) για κάθε κατηγορία εργασίας και βασικών εργαλείων, θεωρούνται τα ακόλουθα:

1. Τακτοποίηση και διαρρύθμιση εργαστηρίου

Εργαλειοφορείς:

- Μην ανοίγετε πολλά συρτάρια κάθε φορά, υπάρχει κίνδυνος να αναποδογυρίσει ο εργαλειοφορέας. Κλείνετε τα συρτάρια κατά τις μετακινήσεις και μην αφήνετε ελεύθερα αντικείμενα στην άνω ελεύθερη επιφάνεια.
- Χρησιμοποιείτε το φρένο κατά τη στάση. Μην αναπτύσσετε μεγάλες ταχύτητες κατά τις μετακινήσεις.
- Μην τοποθετείτε κοφτερά ή μυτερά αντικείμενα στον εργαλειοφορέα χωρίς προστασία.

2. Χρήση γενικών εργαλείων:

Όταν χρησιμοποιείτε τα εργαλεία να φοράτε γάντια και γυαλιά εργασίας. Ελέγξτε την κατάσταση των εργαλείων και των αντικειμένων πριν από τη χρήση τους. Μη χρησιμοποιείτε εργαλεία που παρουσιάζουν ελαττώματα, υπερβολική φθορά, ραγίσματα.

Κλειδιά:

- Εξασφαλίστε την ισορροπία σας. Τραβήξτε το κλειδί προς την πλευρά σας, μην το σπρώχνετε και μην ξεπερνάτε τις δυνατότητές του.
- Μην τροχίζετε, κολλάτε ή θερμαίνετε το κλειδί. Θα γίνει εύθραυστο.
- Για τα σφιξίματα, στα οποία απαιτείται μεγάλη ροπή, χρησιμοποιήστε πολύγωνο κλειδί.

Καρυδάκια:

- Εξασφαλίστε την ισορροπία σας. Τραβήξτε το εργαλείο προς την πλευρά σας, μην το σπρώχνετε και μην ξεπερνάτε τις δυνατότητές του.
- Κλειδώνετε πάντοτε το καρυδάκι στο εργαλείο με τον πείρο και το δακτύλιο. Μην κρατάτε ποτέ το καρυδάκι όταν γυρίζει ο άξονας.
- Μην υπερφορτώνετε τα εργαλεία. Χρησιμοποιείτε μόνο τις προβλεπόμενες προεκτάσεις.
- Για τις φθαρμένες ή στρογγυλεμένες βίδες χρησιμοποιήστε εξάγωνα καρυδάκια. Για τις κολλημένες βίδες, προτιμήστε μία ολισθαίνουσα μανέλα. Επιβεβαιώστε ότι η κασάνια “πιάνει” καλά.

Κατσαβίδια:

- Οι πλαστικές λαβές των κατσαβιδιών δεν είναι μονωτικές.
- Μην χρησιμοποιείτε το κατσαβίδι σαν καλέμι, λοστό ή κοπίδι.
- Μην αφήνετε το χέρι στο πλαϊνό μέρος του κατσαβιδιού κατά τη διάρκεια του βιδώματος: η λάμα ίσως γλιστρήσει.
- Μην τροποποιείτε ή θερμαίνετε τις λάμες. Οι επιδόσεις τους θα αλλοιωθούν. Χρησιμοποιείτε τη σωστή εγκοπή και τη σωστή διάσταση για να μην καταστρέψετε ούτε τη λάμα ούτε τη βίδα.
- Για ισχυρά βιδώματα και ξεβιδώματα επιλέξτε κατσαβίδια με εξαγωνικό παξιμάδι που επιτρέπει τη χρήση γερμανικού κλειδιού. Μην χρησιμοποιείτε πένσα.

Πένσες:

- Οι επενδύσεις στις λάμες δεν είναι μονωτικές.
- Μην υπερβαίνετε τις δυνατότητες των κοφτών (διάμετρο και σκληρότητα σύρματος).
- Μην τροποποιείτε ή θερμαίνετε τα ράμφη. Θα αλλοιωθούν τα χαρακτηριστικά τους.

Σφυριά - εργαλεία κρούσης:

- Μην χτυπάτε με το σφυρί αντικείμενα που υπερβαίνουν το όριο αντοχής

του σε σκληρότητα. Προτιμήστε μία ματσόλα.

- Τα σφυριά ίσως προκαλέσουν σπίθες. Μην τα χρησιμοποιείτε σε εύφλεκτο περιβάλλον.
- Προτιμήστε κοπίδια και πόντες με προστατευτική λαβή. Προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια και άνεση εργασίας.
- Μην χρησιμοποιείτε τους ζουμπάδες ως λεβιέδες.
- Η διάμετρος της επιφάνειας κρούσης πρέπει να είναι περίπου 10 mm μεγαλύτερη από αυτήν της επιφάνειας που τη δέχεται. Μην χτυπάτε με τις άκρες της κεφαλής.

Κοπή, πριόνισμα, τρύπημα:

- Δώστε ιδιαίτερη προσοχή κατά την εργασία διότι παράγονται γρέζια. Η χρήση προστατευτικών γυαλιών και γαντιών αποκτά ιδιαίτερη σημασία.
- Μην τοποθετείτε το χέρι σας στον άξονα της κοπής.
- Μην χρησιμοποιείτε ψαλίδια λαμαρίνας για την κοπή σύρματος.

Σφιγκτήρες και πένσες - γκριπ:

- Αποφύγετε τη χρήση σφιγκτήρων σε εξαρτήματα που υφίστανται κραδασμούς ή χτυπήματα. Η συναρμολόγηση μπορεί να χαλαρώσει.
- Μην χρησιμοποιείτε τα εργαλεία αυτά για την ανύψωση αντικειμένων.
- Μην χρησιμοποιείτε προεκτάσεις για να αυξήσετε τη δύναμη σφιξίματος.

Μέγγενες:

- Στερεώστε σταθερά τη μέγγενη σε βάση κατάλληλης διάστασης.
- Μην χρησιμοποιείτε προέκταση ή σφυρί για να αυξήσετε τη δύναμη σφιξίματος. Μην κάνετε ισχυρά σφιξίματα στα άκρα των μάγουλων.
- Μην τροποποιείτε και μην επισκευάζετε μία μέγγενη.
- Προτιμήστε μία μέγγενη με περιστρεφόμενη βάση που σας επιτρέπει να διατηρείτε τη σωστή θέση κατά την εργασία.

Ελεγχόμενο σφίξιμο - δυναμομετρικά εργαλεία:

- Μελετήστε τις οδηγίες χρήσης των δυναμομετρικών εργαλείων πριν από τη

χρήση. Μην αμελείτε να ελέγχετε συστηματικά την ακρίβειά τους σε πιστοποιημένο από τον κατασκευαστή εργαστήριο.

- Μην υπερβαίνετε τις δυνατότητες των δυναμομετρικών εργαλείων. Μη χρησιμοποιείτε προεκτάσεις. Κάτι τέτοιο τροποποιεί το βραχίονα και αλλοιώνει την εξασκούμενη ροπή.
- Μη χρησιμοποιείτε αερόκλειδο σε πολλαπλασιαστές ροπής. Προτιμήστε απλή κασάνια ή δυναμομετρικό κλειδί.
- Μετά τη χρήση καθαρίστε το δυναμομετρικό κλειδί και τοποθετήστε το στην ειδική θήκη του.

Εξώλκευση:

- Δώστε ιδιαίτερη προσοχή κατά την εργασία. Ο εξωλκέας αποθηκεύει μεγάλη δύναμη κατά τη λειτουργία του. Μη στέκεστε στον άξονα εξώλκευσης και περιορίστε στο ελάχιστο δυνατό τα άτομα που βρίσκονται στο σημείο εκείνο.
- Προσέξτε ιδιαίτερα κατά την τοποθέτησή του: πρέπει να είναι καλά κεντραρισμένος, με καλό “πιάσιμο” για το κάθε πόδι του. Η ακινητοποίηση της περιστροφής είναι απαραίτητη, ώστε να μη περιστρέφεται ο εξωλκέας κατά το σφίξιμο. Προτιμήστε έναν τρίποδο από ένα δίποδο εξωλκέα όπου είναι δυνατόν. Χρησιμοποιήστε όσο το δυνατόν κοντύτερα πόδια.
- Γρασάρετε την κεντρική βίδα. Στην περίπτωση που τα πόδια παρουσιάζουν φθορές, ραγίσματα ή άλλα σημάδια κόπωσης, αλλάξτε τα (κατά προτίμηση όλα).
- Μη θερμαίνετε ή τροποποιείτε τα πόδια. Θα μεταβληθούν τα χαρακτηριστικά τους και θα γίνουν εύθραυστα.
- Μην υπερβαίνετε τη μέγιστη ικανότητα ενός εξωλκέα. Μη χρησιμοποιείτε αερόκλειδο. Εάν χρειάζεστε συμπληρωματική δύναμη, χτυπήστε με μία ματσόλα τη βίδα για να ξεκολλήσετε το αντικείμενο.

3. *Εργαλεία αέρα και ηλεκτρικά εργαλεία*

- Διαβάστε τις οδηγίες χρήσης του κατασκευαστή πριν από τη χρήση.
- Να φοράτε πάντοτε γάντια και γυαλιά προστασίας. Ειδικά σε εργασίες λεί-

- ανσης να χρησιμοποιείτε μάσκα προστασίας από τη σκόνη.
- Σε περίπτωση θορυβώδους εργασίας, να φοράτε ακουστικά προστασίας.
 - Λάβετε υπόψη την προστασία των εργαζομένων τριγύρω σας.
 - Πάντοτε να αφαιρείτε το εργαλείο από τον αέρα ή το ρεύμα πριν αλλάξετε τρυπάνι, δίσκο, καρυδάκι κλπ.
 - Μην υπερβαίνετε τις διαμέτρους και τις ταχύτητες περιστροφής του κάθε εξαρτήματος.
 - Διατηρήστε τις αρχικές προστασίες (καπάκι, λαβές κλπ).
 - Στα αερόκλειδα, βεβαιωθείτε ότι ασφαλίσατε τα καρυδάκια πριν τη χρήση.

Πορεία εργασίας

Θα πρέπει να ακολουθήσετε, με κάθε επιμέλεια, τα παρακάτω, κατά σειρά, βήματα :

- Αναγνώριση και καταγραφή της ονομασίας κάθε εργαλείου ή μηχανισμού.
- Εξέταση κάθε εργαλείου που υπάρχει και εκμάθηση του τρόπου λειτουργίας και χρήσης του καθενός απ' αυτά.
- Σημείωση της ονομασίας, του κάθε εργαλείου, της ομάδας στην οποία ανήκει, και των εργασιών στις οποίες μπορεί αυτό να χρησιμοποιηθεί.

Εργαστηριακή άσκηση 1.3:

Σύσφιξη κοχλιών με δεδομένη ροπή (ροπομέτρηση) και ασφάλιση αυτών με τη μέθοδο της συρματασφάλισης

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- Να πραγματοποιείτε ροπομετρήσεις και ασφαλίσεις κοχλιών.
- Να επιλέγετε τον κατάλληλο τύπο δυναμόμετρου να το ρυθμίζει στην επιθυμητή τιμή ροπής σύσφιξης και να εκτελεί ροπομετρήσεις κοχλιών και περικοχλίων.
- Να επιλέγετε τον κατάλληλο τύπο συρματασφαλιστή και τον σωστό τύπο και διάμετρο σύρματος και να πραγματοποιεί συρματασφαλίσεις κοχλιών και περικοχλίων.

Εισαγωγικές πληροφορίες

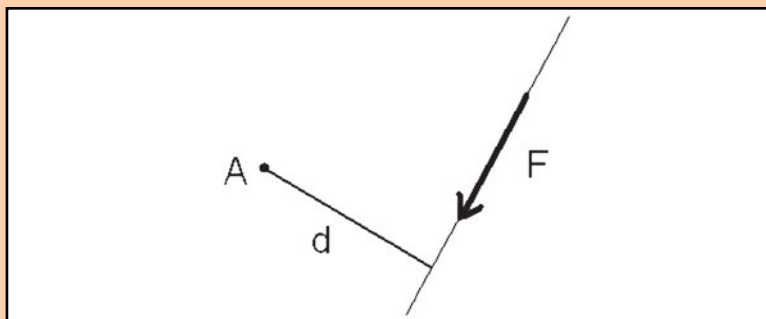
Μια από τις πιο σημαντικές εργασίες κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης ενός αεροπορικού κινητήρα είναι η σωστή σύσφιξη και στη συνέχεια η ασφάλιση των κοχλιών και των περικοχλίων των εξαρτημάτων του. Η σωστή σύσφιξη των κοχλιών είναι απαραίτητη για τους ακόλουθους λόγους:

- Για να εξασφαλίσουμε την απαραίτητη δύναμη συγκράτησης των εξαρτημάτων του. **Μικρότερη ροπή** σύσφιξης ενέχει τον κίνδυνο σχετικής χαλάρωσης και μετακίνησης μεταξύ των εξαρτημάτων και συνεπώς φθορών από τη μεταξύ τους τριβή. **Μεγαλύτερη ροπή** μπορεί να δημιουργήσει θραύση των σπειρών του κοχλία και του περικοχλίου αλλά και του κορμού του κατά τη διάρκεια της σύσφιξης, ή ακόμη χειρότερα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα.
- Για να εξασφαλίσουμε την απαιτούμενη πίεση στο παρέμβυσμα όταν σε μια συναρμογή έχουμε στεγανοποιητικά παρεμβύσματα. Σε αυτή την περίπτωση εκτός από τη δύναμη που απαιτείται για τη συγκράτηση των δύο εξαρτημάτων απαιτείται συγκεκριμένη ροπή σύσφιξης η οποία δημιουργεί την κατάλληλη πίεση στο παρέμβυσμα για την αποφυγή διαρροών. Η ροπή σύσφιξης θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η πίεση που δημιουργείται στο παρέμβυσμα να είναι μεγαλύτερη από την πίεση του λιπαντικού, του καυσίμου ή του υδραυλικού υγρού, για την αποφυγή διαρροής.

Δυναμομέτρηση

Προτού αναφερθούμε στον τρόπο που λειτουργεί η ροπή σύσφιξης που εφαρμόζουμε σε έναν κοχλία, ας δούμε τι είναι η ροπή και ποιες είναι οι μονάδες μέτρησής της. Στη φυσική, **Ροπή** μιας δυνάμεως F , ως προς ένα σημείο A ,

ονομάζεται το γινόμενο της δύναμης και της κάθετης απόστασης d , του σημείου A από τον φορέα της δύναμης (Σχήμα 1.121).



Σχήμα 1.121 Ορισμός της ροπής M , μιας δύναμης F , ως προς σημείο A

Η απόσταση d , ονομάζεται και μοχλοβραχίονας της δύναμης ως προς το σημείο. Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται η ροπή μιας δύναμης ως προς ένα σημείο είναι η ακόλουθη,

$$M = F \times d$$

Όπου: F η δύναμη που εφαρμόζεται στον μοχλοβραχίονα σε νιούτον (N) στο σύστημα μονάδων S.I., ή λίβρες δύναμης (lb) στο αγγλοσαξονικό σύστημα μονάδων,

d , ο μοχλοβραχίονας σε μέτρα (m) στο σύστημα S.I., ή ίντσες (in) στο αγγλοσαξονικό σύστημα.

και M η ροπή σε **Nm** ή **in lbf¹** (ιντσόλιμπρες όπως ονομάζεται κοινώς).

Η μονάδα ροπής που χρησιμοποιείται ευρέως στον αεροπορικό χώρο είναι η in lb (ή lb in).

Η ροπή που εφαρμόζουμε κατά τη διάρκεια της σύσφιξης ενός κοχλία ή περικολιού έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσεων εφελκυσμού (ή προφόρτισης) στον κοχλία καθώς βιδώνει το περικόχλιο, η οποία αποτελεί τη δύναμη που συγκρατεί τα δύο εξαρτήματα στη θέση τους. Η ροπή αυτή θα πρέπει να είναι τέτοιου μεγέθους, ώστε:

- η τριβή που δημιουργείται μεταξύ των δύο εξαρτημάτων να μην επι-

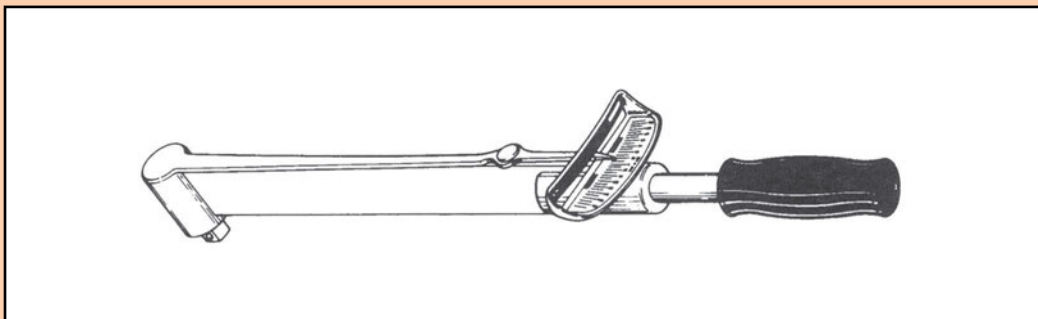
¹ 1 Newton = 4.4482lbf

τρέπεται τη σχετική κίνησή τους, λόγω των κραδασμών που δέχεται η συναρμογή.

- η δύναμη εφελκυσμού που δημιουργείται στον κοχλία, και μεταδίδεται στα δύο εμπλεκόμενα εξαρτήματα, να είναι μεγαλύτερη από τις δυνάμεις που ασκούνται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα στα δύο εξαρτήματα.

Όπως προκύπτει από τον ορισμό της ροπής σύσφιξης, το μέγεθος της ροπής που εφαρμόζεται εξαρτάται από την απόσταση της δύναμης από το σημείο που εφαρμόζεται αυτή και από το μέγεθος της δύναμης. Δηλαδή για να πετύχουμε μια δεδομένη ροπή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μεγάλη δύναμη με μικρό μοχλοβραχίονα ή μεγάλο μοχλοβραχίονα με μικρή δύναμη. Σε κάθε περίπτωση η μέγιστη ροπή που μπορούμε να ασκήσουμε κατά τη σύσφιξη κοχλιών περιορίζεται από τη δύναμη που διαθέτει ο μέσος άνθρωπος και από τον παράγοντα κόπωσης που συνεπάγεται μια τέτοια διαδικασία σε καθημερινή βάση. Γι' αυτό το λόγο φροντίζουμε να χρησιμοποιούμε τον κατάλληλο μοχλοβραχίονα ή μήκος εργαλείου για τη ροπή που θέλουμε να ασκήσουμε. Για παράδειγμα είναι εμφανής η δυσκολία που συναντάει κάποιος που θέλει να ξεβιδώσει τους κοχλίες (μπουλόνια) από τους τροχούς ενός αυτοκινήτου με το εργαλείο που δίνει ο κατασκευαστής. Το ξεβίδωμά τους όμως γίνεται αρκετά πιο εύκολο, όταν χρησιμοποιήσουμε μια μεταλλική σωλήνα σαν προέκταση.

Στην πράξη τώρα, η ροπή εφαρμόζεται σε έναν κοχλία με τη βοήθεια του **δυναμόμετρου** ή δυναμόκλειδου ή ροπόκλειδου (torque wrench, Σχήμα 1.123). Τα δυναμόμετρα παράγονται σε διάφορα μήκη για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω και σε διάφορους τύπους όπως τα απλά δυναμόκλειδα καμπτόμενης ράβδου (bending beam dynamometer, Σχήμα 1.122), τα μηχανικώς ρυθμιζόμενα (Σχήμα 1.123) και τα ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενα (Σχήμα 1.124).



Σχήμα 1.122 Δυναμόκλειδο τύπου καμπτόμενης ράβδου



Σχήμα 1.123 Μηχανικά ρυθμιζόμενο δυναμόμετρο



Σχήμα 1.124 Ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο δυναμόκλειδο

Η ροπή που θέλουμε να εφαρμόσουμε ρυθμίζεται από:

1. Τη θέση της βελόνας σε σχέση με την κλίμακα ροπής στην περίπτωση του απλού δυναμόμετρου καμπτόμενης ράβδου.
2. Ρυθμίζοντας τον ρυθμιστικό κοχλία, που βρίσκεται στο άκρο του δυναμόκλειδου, στην επιθυμητή ροπή στην κλίμακα που βρίσκεται στον μοχλοβραχίονα. Καθώς γυρίζουμε το δυναμόκλειδο όταν φτάσουμε στην ροπή

που ρυθμίσαμε, κάμπτεται ελαφρά (“σπάει”) ο βραχίονάς του στο σημείο της βάσης και ταυτόχρονα ακούγεται ένα χαρακτηριστικό “κλικ”. Η εφαρμογή της δύναμης θα πρέπει να σταματάει αμέσως μετά το ‘σπάσιμο’ του δυναμόκλειδου, αλλιώς θα αυξηθεί η ροπή που θα εφαρμόσουμε.

3. Ρυθμίζοντας την επιθυμητή ροπή στην οθόνη του ηλεκτρονικού δυναμόμετρου.

Τα δυναμόμετρα είναι εργαλεία μεγάλης ακρίβειας στην ένδειξή τους, καθώς απαιτείται ακρίβεια στην ροπή σύσφιξης στους αεροπορικούς κοχλίες. Για την εξασφάλιση της σωστής ροπής σύσφιξης είναι απαραίτητο να διακριβώνονται¹ περιοδικά (Σχήμα 1.125). Το διάστημα για το οποίο είναι διακριβωμένο ένα δυναμόκλειδο αναγράφεται σε ειδικό ταμπελάκι που φέρει και δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται μετά το πέρας της ημερομηνίας αυτής.



Σχήμα 1.125 Συσσκευή διακρίβωσης δυναμόκλειδου

Στην περίπτωση που θέλουμε να συσφίξουμε ένα κοχλία σε μια ροπή μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να ρυθμιστεί το δυναμόμετρο που διαθέτουμε, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κατάλληλη προέκταση (Σχήμα 1.126). Σε αυτή την περίπτωση η ασκούμενη ροπή στον κοχλία T_A υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$T_A = \frac{T_w(L+A)}{L}$$

όπου: T_w η ροπή που διαβάζουμε στο δυναμόκλειδο.

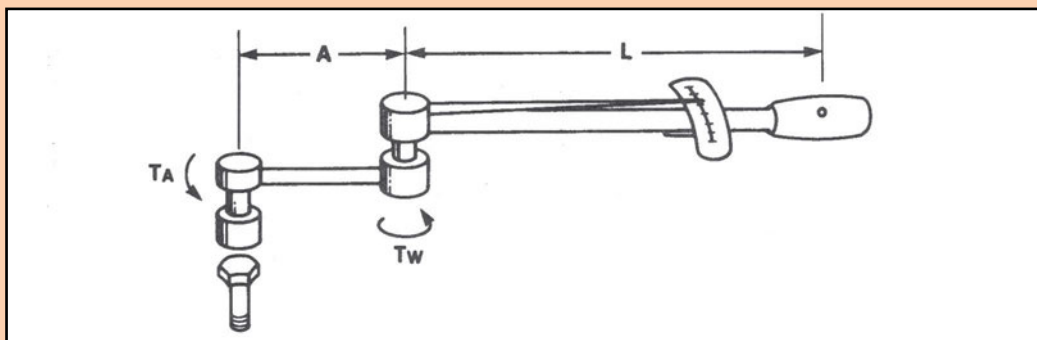
L το μήκος του δυναμόκλειδου.

A το μήκος της προέκτασης του δυναμόκλειδου.

¹ 1 Newton = 4.4482lbf

Πρακτικές που πρέπει να ακολουθούνται για την πραγματοποίηση μιας σωστής δυναμομέτρησης περιγράφονται στη συνέχεια:

1. Εκτός από τη σωστή ρύθμιση της τιμής της ροπής σε ένα δυναμόκλειδο, για να πραγματοποιηθεί σωστά η δυναμομέτρηση ενός κοχλία θα πρέπει να γίνεται σωστά και ο χειρισμός του. Κατά τη διάρκεια της δυναμομέτρησης ο προσαρμογέας του δυναμόμετρου θα πρέπει να είναι παράλληλος με τον άξονα του κοχλία προς αποφυγή φθοράς του περικοχλίου από το καρυδάκι.
2. Επίσης το δυναμόκλειδο θα πρέπει να συγκρατείται από τη χειρολαβή του με το ένα χέρι και με το άλλο να υποστηρίζεται στον άξονα περιστροφής του. Η χρήση του δυναμόκλειδου με το ένα χέρι δεν αποτελεί σωστό τρόπο δυναμομέτρησης και ενέχει τον κίνδυνο ατυχήματος και φθοράς στον κινητήρα κατά τη διάρκεια της περιστροφής του.
3. Αν για κάποιο λόγο ξεπεραστεί το όριο σύσφιξης ενός κοχλία αυτός θα πρέπει να χαλαρωθεί και να συσφιχθεί με τη σωστή τιμή ροπής. Ποτέ δεν πρέπει να χαλαρώνεται ένας κοχλίας και κατόπιν να μην δυναμομετρείται στην περίπτωση που υπερβούμε το όριο της προβλεπόμενης ροπής.
4. Η περιστροφή του δυναμόμετρου θα πρέπει να γίνεται ομαλά και με ήπιο τρόπο χωρίς απότομη περιστροφή για να αποφευχθεί η σύσφιξη του κοχλία πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια.



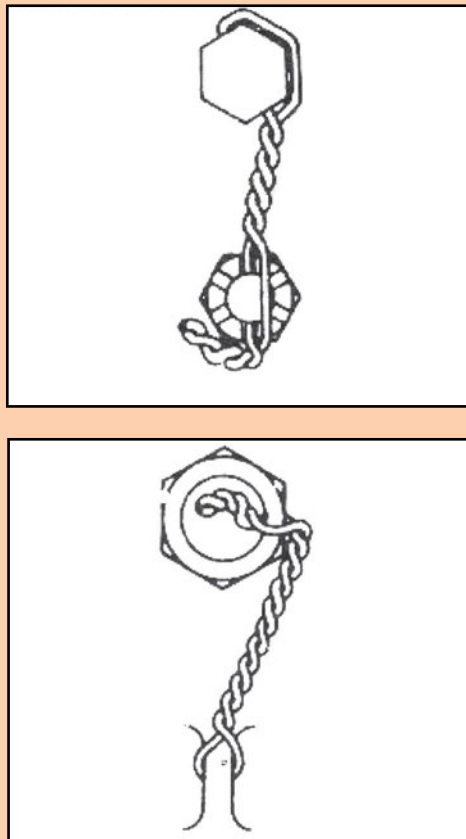
Σχήμα 1.126 Χρησιμοποιώντας προέκταση για την αύξηση της δυνατότητας σύσφιξης ενός δυναμόμετρου

Συρματασφάλιση

Με τη σωστή σύσφιξη, και συνεπώς προφόρτιση, ενός κοχλία σε έναν αεροκινητήρα δεν μπορούμε να πούμε ότι αυτός έχει ασφαλιστεί στη θέση του κατά

100%. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός κινητήρα μπορεί να υπάρξουν τέτοιες συνθήκες, όπως κραδασμοί και θερμοκρασιακές διαφορές, που να δημιουργήσουν δυνάμεις στα δύο εξαρτήματα, μεγαλύτερες από τη δύναμη προφόρτισης του κοχλίου. Σε αυτή την περίπτωση ο κοχλίας βρίσκεται χωρίς φορτίο και η χαλάρωσή του είναι θέμα χρόνου. Αυτό δε συμβαίνει στην περίπτωση των **αυτασφαλιζόμενων περικοχλιών** τα οποία, λόγω της κατασκευής τους, ασφαλίζουν στο σπείρωμα μετά τη ροπομέτρησή τους.

Ένας τρόπος για να εξασφαλίσουμε ότι ένας κοχλίας θα παραμείνει στη θέση του είναι ασφαρίζοντάς τον με σύρμα. Η ασφάλιση αυτή πραγματοποιείται περνώντας από την ή τις τρύπες, της κατάλληλα διαμορφωμένης κεφαλής του κοχλίου, ένα σύρμα και δένοντάς το με έναν άλλο κοχλίο ή κάποιο σταθερό σημείο του κινητήρα (Σχήμα 1.127).



Σχήμα 1.127 Συρματασφάλιση κοχλιών

Η ασφάλιση αυτή δεν συνεπάγεται απλά το δέσιμο του κοχλίου για να μην περιστραφεί και ξεβιδώσει. Η συρματασφάλιση γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η τάση που έχει ο κοχλίας να περιστραφεί, εξισορροπείται και αντισταθμίζεται από την εφελκυστική τάση που δημιουργείται στο σύρμα κατά τη διάρκεια της συρματασφάλισης. Ο τύπος του σύρματος, δηλαδή το υλικό και το πάχος που χρησιμοποιείται για μια συρματασφάλιση καθορίζεται για κάθε τύπο κοχλίου και για το σημείο του κινητήρα στο οποίο αυτός τοποθετείται, από τον κατασκευαστή και αναφέρεται στη βιβλιογραφία του κινητήρα.

Το σύρμα που χρησιμοποιείται κατ' εξοχήν σε αεροπορικούς κινητήρες είναι από μαλακό ανοξείδωτο ατσάλι. Σε μερικές περιπτώσεις και για περιοχές που δεν υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιείται και σύρμα από ορείχαλκο. Η διάμετρος του σύρματος εξαρτάται από το μέγεθος του κοχλίου που ασφαρίζεται και συνεπώς από τη ροπή σύσφιξης που ασκούμε, η οποία μεταφράζεται και σε απαιτούμενη εφελκυστική τάση που πρέπει να ασκεί το σύρμα στον κοχλίο. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τάση, τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι το πάχος του σύρματος.

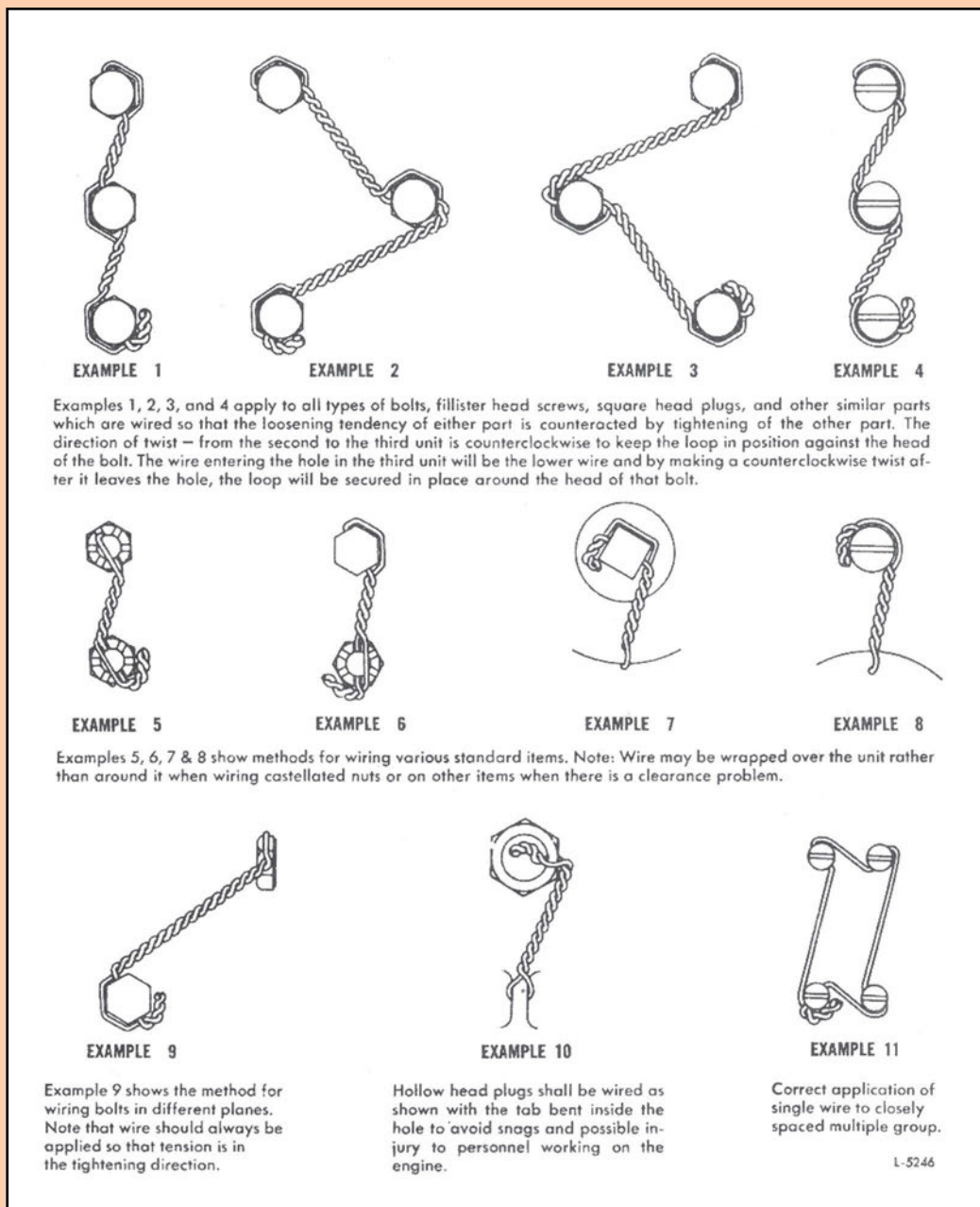
Το εργαλείο που χρησιμοποιείται για να ασφαλίζουμε κοχλίες με σύρμα ονομάζεται **συρματασφαλιστής**. Είναι ένα είδος τανάλιας, το οποίο έχει τη δυνατότητα με ένα μηχανισμό που διαθέτει, να “κλειδώνει” στην κλειστή θέση των σιαγόνων του κρατώντας το σύρμα χωρίς να χρειάζεται να ασκούμε συνέχεια πίεση για να συγκρατούμε το σύρμα. Ένας δεύτερος μηχανισμός, με τον κοχλίο που διαθέτει, του επιτρέπει να περιστρέφεται, καθώς βρίσκεται σε κλειστή θέση με το σύρμα στις σιαγόνες του, στρίβοντας με αυτό τον τρόπο το σύρμα. Αντιπροσωπευτικοί τύποι συρματασφαλιστών φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1.128). Οι συρματασφαλιστές κατασκευάζονται σε διάφορα μήκη για εφαρμογές ανάλογα με την ευκολία πρόσβασης σε διάφορα μέρη του κινητήρα.



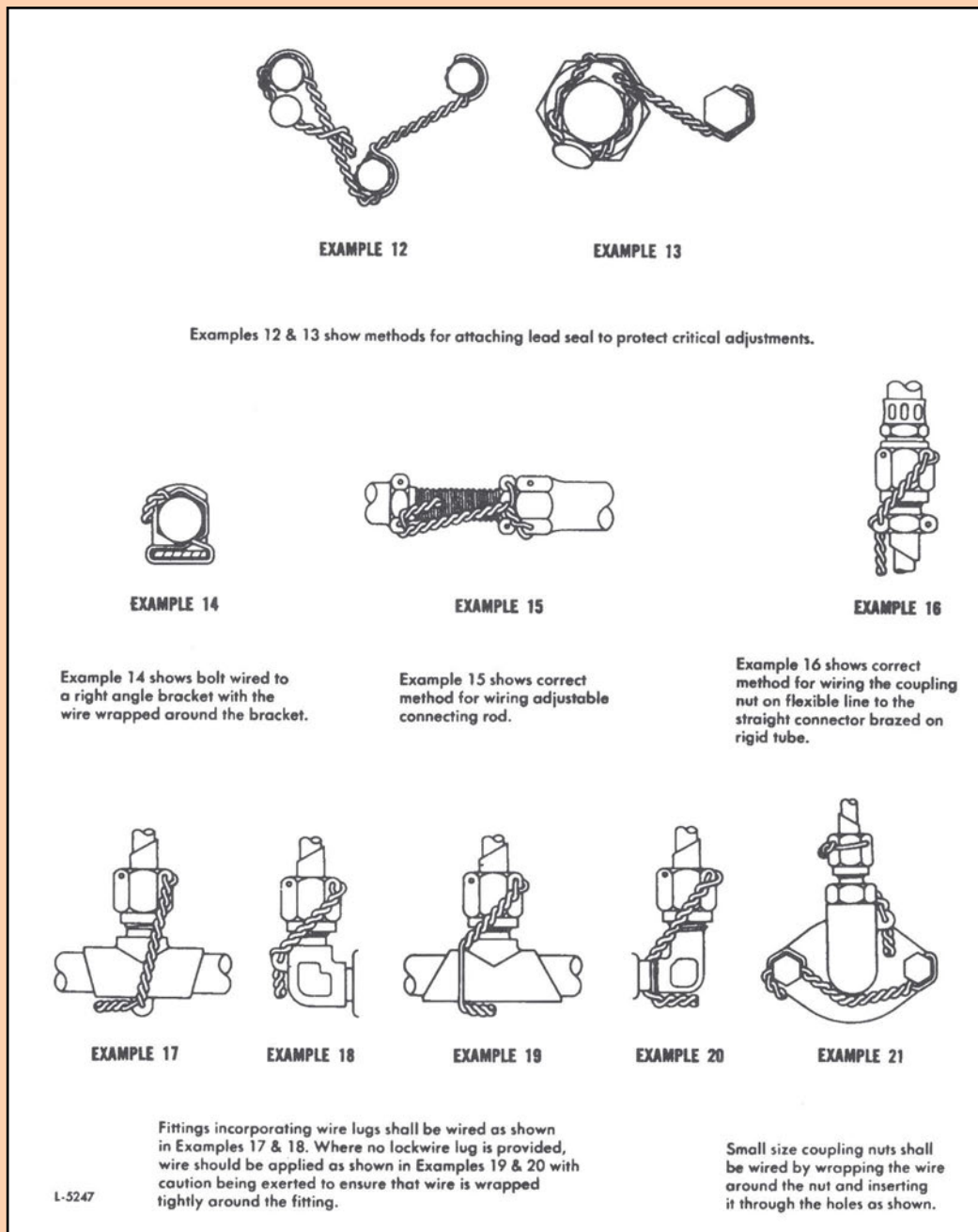
Σχήμα 1.128 Συρματασφαλιστές

Πρακτικές που πρέπει να ακολουθούνται για την πραγματοποίηση μιας σωστής συρματασφάλισης περιγράφονται στη συνέχεια:

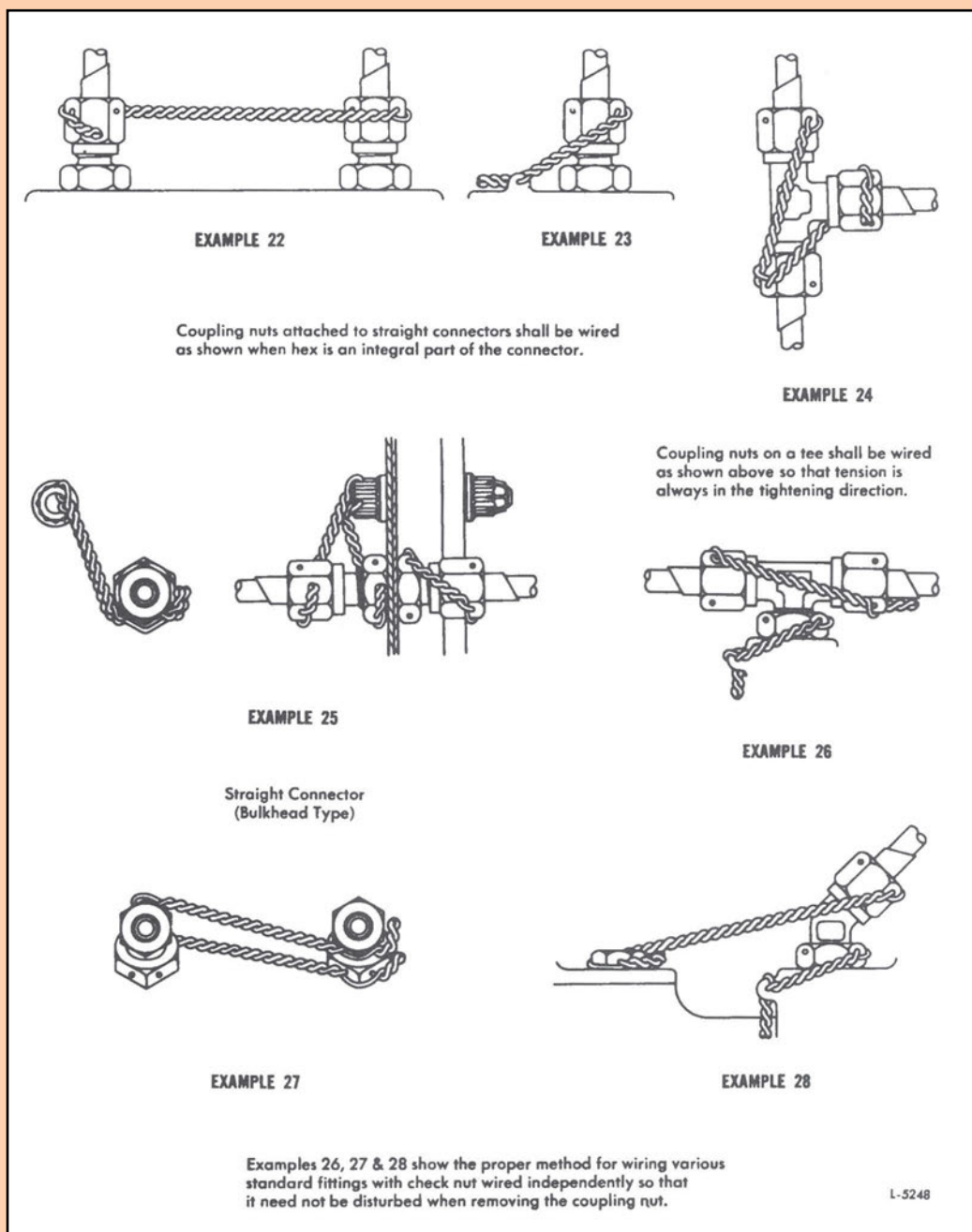
1. Το σύρμα θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να έχει την τάση να βιδώνει τον κοχλία. Το σύρμα θα πρέπει να έχει τέτοια θέση ώστε πάντα να αντιτίθεται στην τάση του κοχλία να χαλαρώσει.
2. Το σύρμα που χρησιμοποιείται για συρματασφάλιση δεν επαναχρησιμοποιείται. Πάντοτε θα πρέπει να χρησιμοποιείται καινούργιο σύρμα.
3. Το σύρμα δεν θα πρέπει να είναι υπερβολικά τεντωμένο. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τη διάρκεια του στριψίματος των δύο άκρων του σύρματος, έτσι ώστε να είναι μεν στριμμένα σφιχτά αλλά όχι υπερβολικά, σε σημείο που να κοπεί το σύρμα με μικρή κάμψη του ή με το παραμικρό φορτίο. Το σωστό στρίψιμο του σύρματος σε μια συρματασφάλιση είναι μια δεξιότητα που αποκτάται με την εμπειρία. Ένας πρακτικός κανόνας για μια σωστή συρματασφάλιση και για το μέγεθος των κοχλιών που χρησιμοποιούνται σε αεροπορικές εφαρμογές, είναι ότι ο αριθμός των στροφών μιας συρματασφάλισης θα πρέπει να κυμαίνεται από 8 έως 10 στρόφες ανά ίντσα μήκους σύρματος.
4. Το σύρμα μετά το πέρας της συρματασφάλισης θα πρέπει να είναι καλά τεντωμένο. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται ταλάντωση του σύρματος και θραύση του από κόπωσή του καθώς επίσης και τριβή του με παρακείμενα μέρη του κινητήρα.
5. Οι άκρες του σύρματος μετά το πέρας της συρματασφάλισης θα πρέπει να γυρίζονται προς τον κινητήρα. Αυτή η πρακτική θα πρέπει να ακολουθείται για λόγους πρόληψης τραυματισμών των τεχνικών που εργάζονται στον κινητήρα. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται παραδείγματα από τυπικές εφαρμογές συρματασφάλισης.



Σχήμα 1.129 Παραδείγματα συρματασφάλισης κοχλιών- 1 έως 4: Η συρματασφάλιση γίνεται έτσι ώστε η χαλάρωση στο σφίξιμο ενός εξαρτήματος να προκαλεί το σφίξιμο του άλλου, 5 έως 8: Μέθοδοι συρματασφάλισης τυπικών εξαρτημάτων, 9: Συρματασφάλιση κοχλιών που βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα, 10: Συρματασφάλιση τάπας με πατούρα, 11: Συρματασφάλιση μονού σύρματος πολλών γειτνιαζόντων εξαρτημάτων.



Σχήμα 1.130 Παραδείγματα συρματασφάλισης εξαρτημάτων σωληνώσεων - 12 & 13: Προστασία κρίσιμων ρυθμίσεων, 14: Συρματασφάλιση κοχλία σε άγκιστρο, 15: Συρματασφάλιση ρυθμιστικής ράβδου, 16: Συρματασφάλιση περικοχλίου εμπλοκής, 17 έως 21: Συρματασφάλιση ρακόρ.



Σχήμα 1.131 Παραδείγματα συρματαςφάλισης εξαρτημάτων σωληνώσεων - 22 & 23: Συρματαςφάλιση περικοχλιών εμπλοκής και ευθέων συνδέσεων, 24: Συρματαςφάλιση περικοχλίου εμπλοκής σε "Τ", 25: Ευθύς σύνδεσμος, 26 έως 28: Συρματαςφάλιση ρακόρ.

Απαιτούμενα μέσα

Η παρούσα άσκηση παρέχει γενικές οδηγίες για την δυναμομέτρηση και στη συνέχεια συρματασφάλιση κοχλιών σε αεροπορικούς κινητήρες. Τα μέσα που απαιτούνται για την πραγματοποίηση της παρούσας άσκησης είναι τα ακόλουθα:

- Ένας αεροπορικός κινητήρας πάνω στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η άσκηση.
- Ικανή ποσότητα σύρματος από ανοξείδωτο χάλυβα διαμέτρου 0,51mm ή 0,81mm.
- Ένα ματκάπι με το ανάλογο καρυδάκι για τον κοχλία που θα δυναμομετρηθεί.
- Ένα δυναμόκλειδο με δυνατότητα ρύθμισης σε ροπή ανάλογη με τον κοχλία στον οποίο θα γίνει η δυναμομέτρηση. Για την επιλογή τύπου δυναμόκλειδου και της ροπής σύσφιξης του κοχλία που επιλέξατε για συρματασφάλιση αναφερθείτε στο Σχήμα 1.132 και στο Σχήμα 1.133.
- Ένας συρματασφαλιστής.

TORQUE WRENCH SIZE (Μέγεθος δυναμόκλειδου)	TORQUE LIMITS (Όρια ροπής)
30 lb in. (3,39 N.m)	0-25 lb in. (0,000-2,82 N.m)
150 lb in. (16,94 N.m)	26-140 lb in. (2,93-15,82 N.m)
600 lb in. (67,79 N.m)	141-550 lb in. (15,83-62,14 N.m)
1800 lb in. (203,37 N.m)	360-1680 lb in. (40,87-189,81 N.m)
3000 lb in. (338,95 N.m)	1692-2880 lb in. (189,82-325,39 N.m)
12000 lb in. (1355,81 N.m)	2892-12000 lb in. (325,40-1355,00 N.m)

Σχήμα 1.132 Τυπικά μεγέθη δυναμόκλειδων

Μέτρα ασφαλείας

Κατά τη διάρκεια των εργασιών της ροπομέτρησης και συρματασφάλισης θα πρέπει να επιστήσετε την προσοχή σας στα ακόλουθα σημεία:

- Η περιστροφή του δυναμόμετρου θα πρέπει να γίνεται προσεκτικά προς αποφυγή τραυματισμών και ζημιών σε κοντινά εξαρτήματα του κινητήρα.
- Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί κατά τον χειρισμό του σύρματος προς αποφυγή τραυματισμών.

Διάμετρος σπειρώματος (in)	Αριθμός σπειρών ανά in	Όρια ροπής	
		lb in.	Nm
3/8	16	160 - 210	18.080 - 23.730
		24	190 - 230
7/16	14	250 - 320	28.250 - 36.160
		20	300 - 360
1/2	13	420 - 510	47.460 - 57.630
		20	480 - 570
9/16	12	575 - 685	64.975 - 77.405
		18	660 - 780
5/8	11	840 - 960	94.920 - 108.480
		18	82 - 95
3/4	10	1620 - 1800	183.060 - 203.400
		16	150 - 165
7/8	9	2460 - 2750	277.980 - 311.880
		14	235 - 265
1.000	8	3600 - 4080	406.800 - 461.040
		14	350 - 400
1-1/8	7	5000 - 5720	565.000 - 646.360
		12	485 - 565
1-1/4	7	7200 - 8400	813.600 - 949.200
		12	690 - 800
1-3/8	6	9600 - 11100	1084.800 - 1254.300
		12	900 - 1060
1-1/2	6	12000 - 14400	1356.000 - 1627.200
		12	1200 - 1400

Σχήμα 1.133 Τιμές δυναμομέτρησης κοχλιών σε lb in και Nm σε συνάρτηση με το μέγεθός τους

Πορεία εργασίας

Δυναμομέτρηση

Για την πραγματοποίηση σωστής δυναμομέτρησης θα πρέπει αρχικά να **επιλεγεί το κατάλληλο μέγεθος δυναμόμετρου** για το μέγεθος του κοχλία που πρόκειται να δυναμομετρηθεί. Για κοχλίες μικρού και μεσαίου μεγέθους, δηλαδή σε διάμετρο που δεν ξεπερνάει τα 3/4in χρησιμοποιούνται δυναμόμετρα βαθμονομημένα σε in lb. Από αυτό το μέγεθος και πάνω χρησιμοποιούνται δυναμόμετρα βαθμονομημένα σε ft lb.

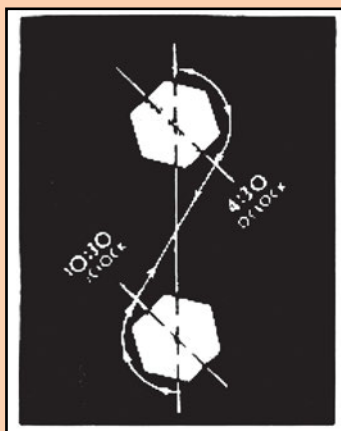
Διαδικασία δυναμομέτρησης

1. Επιλέξατε αρχικά τον ή τους κοχλίες που θέλετε να δυναμομετρήσετε και προμηθευτείτε με τα αντίστοιχα για το μέγεθός τους, καρυδάκια. Σε περίπτωση που οι κοχλίες δεν είναι βιδωμένοι στη θέση τους, χρησιμοποιήστε το ματικάπτι για να τους βιδώσετε μέχρι να τερματίσει το σπείρωμα.
2. Συμβουλευτείτε την βιβλιογραφία του κατασκευαστή για το μέγεθος της ροπής που πρέπει να δυναμομετρηθούν οι επιλεχθέντες κοχλίες. Η πλειοψηφία των κοχλιών στους κινητήρες δυναμομετρείται με μια συγκεκριμένη ροπή για το μέγεθος του κοχλία η οποία αναγράφεται σε πίνακες στην βιβλιογραφία παρόμοιους με αυτόν που παρουσιάζεται στο (Σχήμα 1.133). Αν πρόκειται για ειδικούς τύπους κοχλία η ροπή σύσφιξης αυτών αναφέρεται επίσης στην βιβλιογραφία.
3. Ρυθμίστε το δυναμόκλειδο στην ενδειγμένη ροπή περιστρέφοντας το ρυθμιστικό κοχλία που διαθέτει στο άκρο του, δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα, μέχρι η ένδειξη της ροπής που θέλετε να αποκαλυφθεί στο σταθερό μέρος του δυναμόκλειδου, το οποίο βρίσκεται κάτω από το κινητό. Περιστρέφοντας δεξιόστροφα το ρυθμιστικό κοχλία αυξάνεται η τιμή της ροπής ενώ αντίθετα μειώνεται καθώς τον περιστρέφουμε αριστερόστροφα. Σε περίπτωση που διαθέτετε δυναμόμετρο καμπύμενης ράβδου τότε καθώς σφίγγετε τον κοχλία η εφαρμοζόμενη ροπή φαίνεται από την βελόνα στην κλίμακα που διαθέτει το δυναμόμετρο.
4. Αφού ρυθμίσετε το δυναμόκλειδο στην ενδεικνυόμενη ροπή περιστρέψτε τον κοχλία ομαλά μέχρι να “σπάσει” το δυναμόμετρο ή στην περίπτωση που χρησιμοποιείτε δυναμόμετρο καμπύμενης ράβδου, μέχρι να φθάσει η βελόνα του δυναμόμετρου στην ένδειξη της επιθυμητής ροπής.

Συρματασφάλιση

Διαδικασία συρματασφάλισης

1. Βεβαιωθείτε ότι οι κοχλίες που θα συρματασφαλίσετε έχουν εκ των προτέρων δυναμομετρηθεί με την ενδεικνυόμενη από τον κατασκευαστή ροπή και ότι οι τρύπες στις κεφαλές τους είναι στην κατάλληλη θέση. Όταν η ασφάλιση γίνεται σε δύο τρύπες θα πρέπει η τρύπα του πρώτου κοχλία να είναι τοποθετημένη μεταξύ της 3ης και 6ης ώρας και η τρύπα του δεύτερου μεταξύ της 9ης και 12ης ώρας (Σχήμα 1.134).



Σχήμα 1.134 Οριοθέτηση κοχλιών για συρματασφάλιση

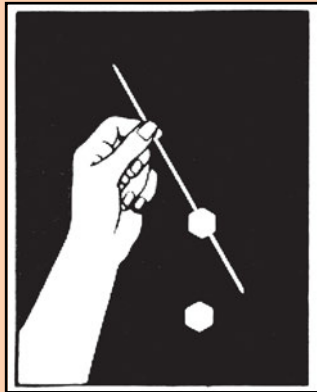
Οριοθετώντας τις τρύπες των κοχλιών με τον παραπάνω τρόπο εξασφαλίζει ότι το σύρμα θα έχει πάντα την τάση να συσφίγγει και τους δύο κοχλίες.

ΠΡΟΣΟΧΗ : Δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να σφίγγονται ή να χαλαρώνονται κοχλίες με σκοπό να φέρουμε τις τρύπες στην κατάλληλη θέση. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αντικαθίσταται ο κοχλίας αυτός με άλλον με τον οποίο είναι δυνατή η σωστή οριοθέτηση των τρυπών.

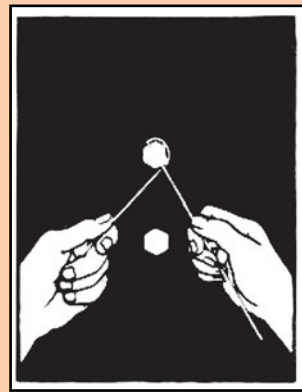
2. Περάστε το σύρμα από την τρύπα στην κεφαλή του κοχλία που βρίσκεται μεταξύ της 3ης και της 6ης ώρας (Σχήμα 1.135).
3. Συγκρατήστε την αριστερή άκρη του σύρματος σταθερή και λυγιστέ την άλλη άκρη **δεξιόστροφα** γύρω από την κεφαλή του κοχλία και κάτω από αριστερή άκρη. Τραβήξτε το βρόγχο πολύ σφιχτά γύρω από την κεφαλή του κοχλία με το συρματασφαλιστή. Σε αυτό το σημείο πρέπει να δώσετε ιδιαίτερη προσοχή συγκρατώντας το σύρμα με το συρματασφαλιστή από την άκρη του για να αποφύγετε να σημαδέψετε το σύρ-

μα σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο γεγονός που μπορεί να προκαλέσει θραύση του στη φάση της συστροφής του σύρματος (Σχήμα 1.136).

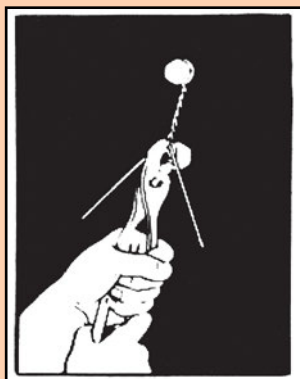
4. Κρατώντας τις άκρες του σύρματος σε απόσταση και ταυτόχρονα τραβώντας το σύρμα σφιχτά γύρω από την κεφαλή του κοχλία, στρέψατε με το χέρι τις δύο άκρες του σύρματος δεξιόστροφα σε όλη την απόσταση που υπολείπεται μέχρι την τρύπα του επόμενου κοχλία που βρίσκεται μεταξύ της 9ης και 12ης ώρας ή το σταθερό σημείο του κινητήρα (Σχήμα 1.137).
5. Βεβαιωθείτε ότι ο βρόγχος γύρω από την κεφαλή του πρώτου κοχλία δεν έχει χαλαρώσει και ότι δεν έχει φύγει από τη θέση του. Στη συνέχεια πιάστε τις δύο άκρες του σύρματος με τις σιαγόνες του συρματοσφαιλιστή πίσω από το σημείο που τελειώνει το τυλιγμένο μέρος του σύρματος (από το προηγούμενο βήμα) και με το σύρμα τεντωμένο στρίψτε δεξιόστροφα το σύρμα μέχρι αυτό να γίνει άκαμπτο, σχηματίζοντας ένα αριθμό 8-10 στροφών ανά ίντσα μήκους σύρματος.



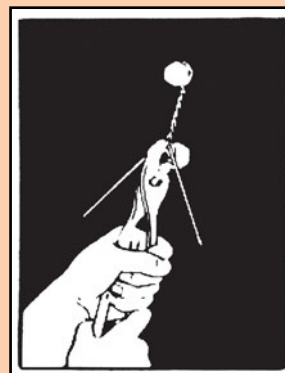
Σχήμα 1.135



Σχήμα 1.136

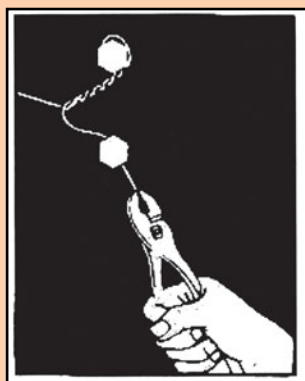


Σχήμα 1.137

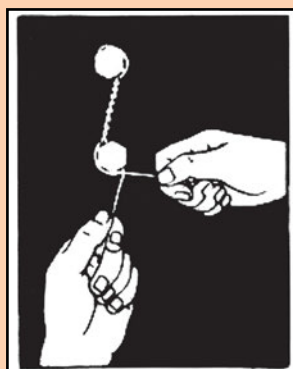


Σχήμα 1.138

6. Βεβαιωθείτε ότι το τυλιγμένο μήκος του σύρματος δεν είναι πιο μακρύ από την απόσταση μεταξύ των δύο κοχλιών, έτσι ώστε να μην μπορεί να τεντωθεί στη μεταξύ τους απόσταση. Περάστε τη μία άκρη του σύρματος από την τρύπα που βρίσκεται μεταξύ της 9ης και της 12ης ώρας του δεύτερου κοχλία και συγκροτώντας το με το συρματασφαιστή τραβήξτε το για να τεντώσει μεταξύ των δύο κοχλιών (Σχήμα 1.139).

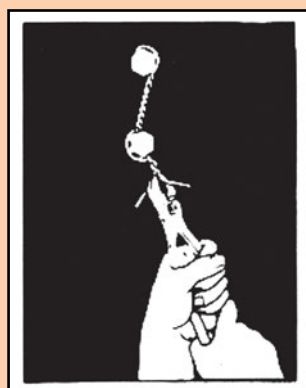


Σχήμα 1.139



Σχήμα 1.140

7. Περάστε το άλλο άκρο του σύρματος αριστερόστροφα από την κεφαλή του δεύτερου κοχλία και κάτω από το καλώδιο που εξέρχει από την τρύπα του κοχλία. Σφίξτε τον βρόγχο που σχηματίζεται με το συρματασφαιστή και για να συγκρατήσετε το σύρμα στη θέση του γύρω από την κεφαλή του δεύτερου κοχλία, τυλίξτε αριστερόστροφα τα δύο άκρα μαζί (Σχήμα 1.140).
8. Συγκρατήστε τις δύο άκρες του σύρματος με το συρματασφαιστή στο τέλος του μήκους που τυλίξατε στο προηγούμενο βήμα και στρίψτε το αριστερόστροφα ενώ ταυτόχρονα το κρατάτε τεντωμένο μέχρι να γίνει άκαμπτο (Σχήμα 1.141).



Σχήμα 1.141



Σχήμα 1.142

9. Με την τελευταία κίνηση στρέψης του συρματασφαλιστή, λυγίστε το τέλος του στριμμένου σύρματος αριστερόστροφα γύρω από την κεφαλή του δεύτερου κοχλία (Σχήμα 1.142).
10. Κόψτε το μήκος του σύρματος που περισσεύει με το συρματασφαλιστή, αφήνοντας τουλάχιστον 3 πλήρεις στροφές και αποφύγετε αιχμηρές άκρες που προεξέχουν (Σχήμα 1.143) γυρίζοντας το μήκος του σύρματος που περισσεύει προς το εσωτερικό του κινητήρα για την αποφυγή τραυματισμών.



Σχήμα 1.143

Εργαστηριακή άσκηση 1.4:

Φθαρμένα και κατεστραμμένα σπειρώματα

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να γνωρίζετε και να εφαρμόζετε τις μεθόδους επισκευής εσωτερικών σπειρωμάτων που έχουν ζημιωθεί.
- β) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Η τοποθέτηση ή η αντικατάσταση των κοχλιών (bolts) είναι ευκολότερη από αυτή των μπουζονιών (studs). Οι κεφαλές των κοχλιών και τα παξιμάδια κόβονται ενώ τοποθετούνται σε εσωτερικές σπείρες ενός χυτού εξαρτήματος. Οι κατεστραμμένες σπείρες στους κοχλίες και τα παξιμάδια είναι εμφανή και απαιτούν την αντικατάσταση του ζημιωμένου τμήματος. Στην περίπτωση, όμως, φθοράς των εσωτερικών σπειρωμάτων ενός εξαρτήματος, υπάρχουν δύο εναλλακτικές λύσεις: η αντικατάσταση του εξαρτήματος και η αντικατάσταση ή η επισκευή του εσωτερικού σπειρώματος. Συνήθως, η επισκευή του εσωτερικού σπειρώματος εμφανίζεται ως φθηνή και αξιόπιστη επιλογή. Διακρίνονται δύο είδη επισκευής: η τοποθέτηση **δακτυλίου (bushing)** ή η τοποθέτηση ενός εξαρτήματος που είναι γνωστό με την ονομασία **Heli-coil**.

Οι δακτύλιοι κατασκευάζονται, συνήθως, από σίδηρο ή ορείχαλκο. Βέβαια, σε περιπτώσεις όπου το περιβάλλον λειτουργίας του εξαρτήματος είναι ιδιαίτερο, χρησιμοποιούνται υλικά τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερη αντοχή σε αυτό. Με την τοποθέτηση του δακτυλίου τοποθετείται μία ειδική ουσία για την καλή συναρμογή του στην οπή. Σε πολλές εφαρμογές, ο δακτύλιος φέρει αριστερόστροφο σπείρωμα στην εξωτερική του περιφέρεια και δεξιόστροφο στην εσωτερική του. Με αυτήν την κατασκευή εξασφαλίζεται καλή συναρμογή του δακτυλίου κατά την αφαίρεση του κοχλία ή του μπουζονιού. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, πριν την συναρμογή πραγματοποιείται θέρμανση του εξαρτήματος και ψύξη του δακτυλίου.

Τα Heli-coils είναι σπειρώματα βίδας εξαιρετικής ακρίβειας. Το υλικό κατασκευής τους είναι ανοξειδωτο σύρμα, του οποίου η τομή έχει μορφή διαμαντιού, Σχήμα 1.144.



Σχήμα 1.144 Το εξάρτημα Helicoil

Το Heli-coil έχει αρσενικά σπειρώματα. Επίσης, φέρει μία οδηγό - γλώσσα με εγκοπή για την αφαίρεσή της μετά την εγκατάστασή του.

Το Heli-coil χρησιμοποιείται, ουσιαστικά, ως δακτύλιος. Εκτός από τη χρήση του σε ζημιωμένα σπειρώματα, το Heli-coil τοποθετείται και κατά την αρχική κατασκευή εξαρτημάτων αεροπορικών κινητήρων για την προστασία και τη βελτίωση της αντοχής σπειρωμάτων από ελαφρά υλικά, μέταλλα και πλαστικά (ιδιαίτερα σε εξαρτήματα τα οποία αφαιρούνται και συναρμολογούνται συχνά).

Απαιτούμενα μέσα

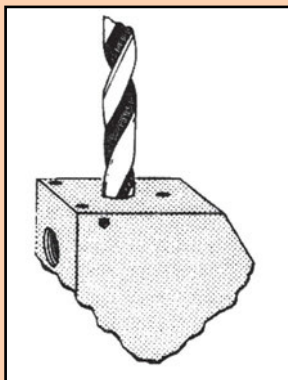
Για την πραγματοποίηση της παρούσας άσκησης απαιτούνται πάγκος εργασίας, γενικά εργαλεία, κολαούζο, εξωλκέας, εξάρτημα Heli-coil και τα υλικά που το συνοδεύουν καθώς και το εγχειρίδιο Γενικής Επισκευής ή Συντήρησης του κινητήρα σε μέρος του οποίου πρόκειται να εκτελεστεί η εργασία.

Μέτρα ασφάλειας

Κατά τη διάρκεια της εργασίας τοποθέτησης του Heli-coil θα πρέπει να τηρούνται τα βασικά μέτρα ασφαλείας τα οποία απαιτούνται για την εκτέλεση εργασιών με γενικά εργαλεία.

Πορεία εργασίας

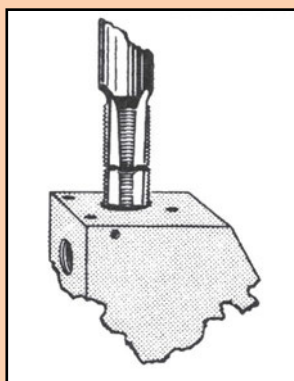
1. Καθαρίστε τον πάγκο εργασίας.
2. Καλύψτε τον πάγκο με λευκό απορροφητικό χαρτί.
3. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες που παρέχονται από τον κατασκευαστή του κινητήρα για την εκτέλεση εφαρμογής του εξαρτήματος Heli-coil.
4. Εντοπίστε το σπείρωμα το οποίο έχει υποστεί φθορά.
5. Τρυπήστε με τρυπάνι το κατεστραμμένο σπείρωμα μέχρι το ελάχιστο καθορισμένο βάθος, Σχήμα 1.145.



Σχήμα 1.145 Τρύπημα του κατεστραμμένου σπειρώματος

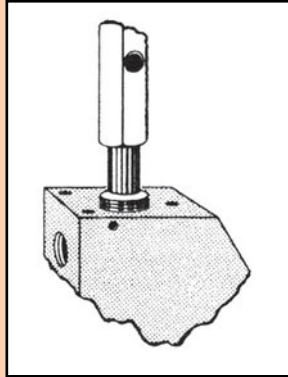
Στην περίπτωση που θα αντικαταστήσετε φθαρμένο Heli-coil, χρησιμοποιήστε τον κατάλληλο εξωλκέα. Τοποθετήστε τον σε γωνία 90° σε σχέση με την άκρη του φθαρμένου Heli-coil. Χτυπήστε με σφυρί τον εξωλκέα για να “καθήσει” σε αυτήν τη θέση. Στρίψτε τον εξωλκέα μέχρι το φθαρμένο Heli-coil να εξέλθει.

6. Χρησιμοποιήστε κολαούζο (Σχήμα 1.146) με την απαιτούμενη διάσταση. Το μήκος του κολαούζου πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από αυτό της οπής με το κατεστραμμένο σπείρωμα.



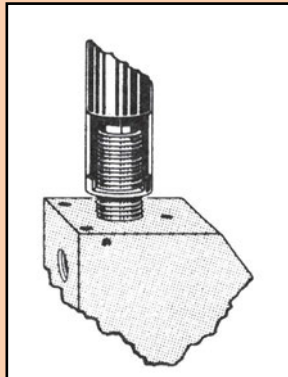
Σχήμα 1.146 Εφαρμογή κολαούζου

7. Αφαιρέστε το κολαούζο από την οπή και ελέγξτε τις σπείρες με το ειδικό εργαλείο ελέγχου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.147.



Σχήμα 1.147 Έλεγχος των σπειρών

8. Εισάγετε το Heli-coil χρησιμοποιώντας το κατάλληλο εργαλείο που το συνοδεύει (Σχήμα 1.148). Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για την ακριβή θέση που το Heli-coil θα καταλάβει κατά μήκος της οπής.



Σχήμα 1.148 Εισαγωγή Heli-coil

9. Σπάστε τη γλώσσα - οδηγό του Heli-coil, χρησιμοποιώντας κατάλληλο εργαλείο.

Εργαστηριακή άσκηση 1.5:

Αφαίρεση αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα από αεροσκάφος

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αφαιρείτε από αεροσκάφος αεροπορικό εμβολοφόρο κινητήρα, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο σχετικό εγχειρίδιο.
- β) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

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. Δεν υπάρχει συνεπώς μία συγκεκριμένη ακολουθία οδηγιών, η οποία να μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλες τις περιπτώσεις. 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.

Συνήθεις αιτίες αφαίρεσης του κινητήρα από το αεροσκάφος είναι οι ακόλουθες:

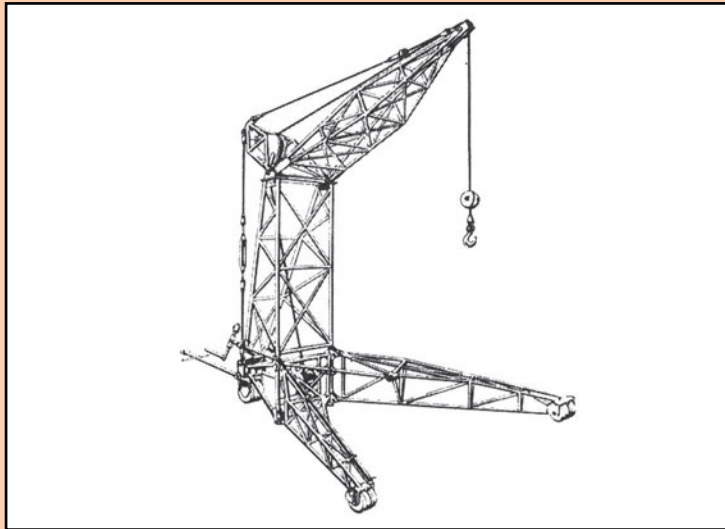
- Συμπλήρωση των προβλεπομένων ωρών λειτουργίας για τη γενική επισκευή.
- Ενδείξεις κραδασμών, πάνω από τα επιτρεπτά όρια.
- Ανάφλεξη μείγματος στο σύστημα εισαγωγής (back firing).
- Σβήσιμο κατά τη διάρκεια της πτήσης.
- Χαμηλή ισχύς (πτώση της απόδοσης).
- Εντοπισμός μεγάλης ποσότητας μεταλλικών ρινισμάτων στον ανιχνευτή (chip detector).
- Απότομο σταμάτημα του κινητήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.

Η αφαίρεση του κινητήρα από το αεροσκάφος γίνεται βάσει των διαδικασιών που αναγράφονται σε αντίστοιχο πλάνο εργασίας. Οι αναλυτικές πληροφορίες αναγράφονται στο σχετικό τεχνικό εγχειρίδιο του αεροσκάφους. Στη συνέχεια, παρέχονται γενικές οδηγίες για την αφαίρεση και τοποθέτηση εμβολοφό-

ρου κινητήρα σε αεροσκάφος. Κατά την εκτέλεση της άσκησης θα πρέπει να συμβουλευθείτε τη βιβλιογραφία του εργαστηρίου σας.

Απαιτούμενα μέσα

- Αεροσκάφος με εμβολοφόρο κινητήρα.
- Τεχνικά εγχειρίδια περιγραφής των διαδικασιών αφαίρεσης και τοποθέτησης.
- Κατάλληλος γερανός για την ανάρτηση και μετακίνηση του κινητήρα (π.χ. Σχήμα 1.149).
- Κλίμακες και υποστηλώματα.
- Γενικά και ειδικά εργαλεία (συγκράτησης, κλπ.).



Σχήμα 1.149 Φορητός γερανός

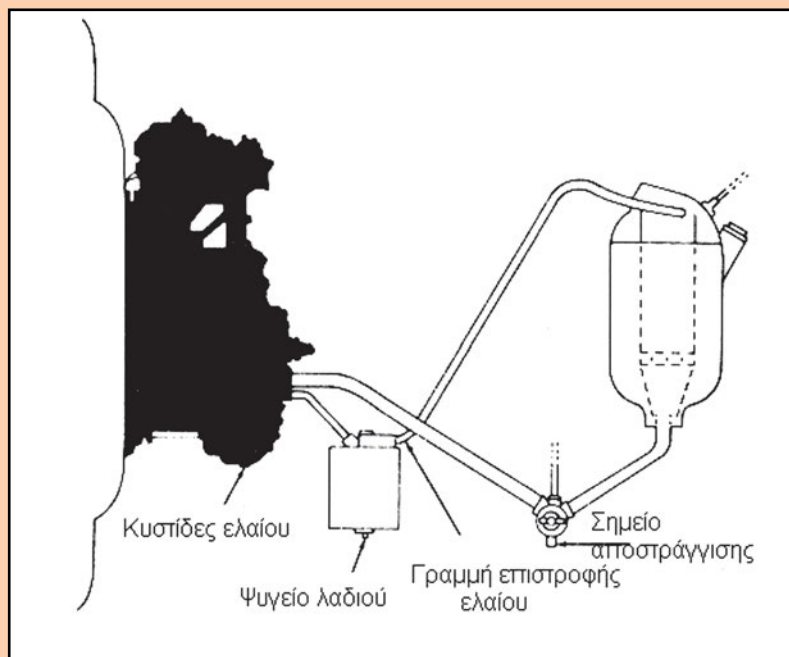
Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

Πορεία εργασίας

1. Βεβαιωθείτε ότι το αεροσκάφος είναι συνδεδεμένο με τα κατάλληλα σημεία γείωσης που βρίσκονται στο δάπεδο του υποστέγου.

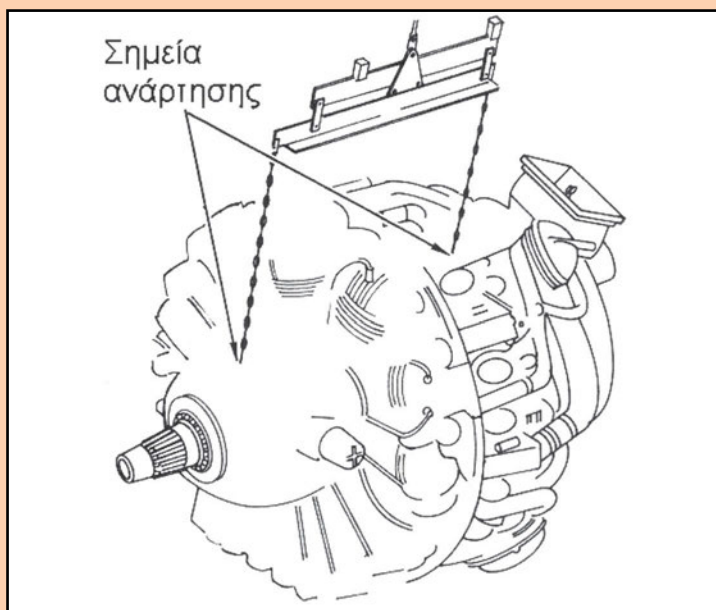
2. Εξασφαλίστε την κατάλληλη στήριξη του ουραίου τμήματος του αεροσκάφους, εάν αυτό απαιτείται, για την αποφυγή ανατροπής του μετά την αφαίρεση του κινητήρα.
3. Τοποθετήστε το διακόπτη του συστήματος ανάφλεξης στη θέση OFF (κλειστό).
4. Κλείστε τη βαλβίδα επιλογής καυσίμου (selector valve).
5. Αποσυνδέστε τις μπαταρίες του σκάφους.
6. Αφαιρέστε τα αεροδυναμικά καλύμματα.
7. Αποστραγγίστε τα συστήματα καυσίμου και λίπανσης (Σχήμα 1.150), αφού προηγουμένως βεβαιωθείτε για τον επαρκή αερισμό του χώρου και τη διαθεσιμότητα πυροσβεστήρα.



Σχήμα 1.150 Σημεία αποστράγγισης συστήματος λίπανσης

8. Αφαιρέστε τον έλικα.
9. Αποσυνδέστε τις σωληνώσεις των συστημάτων λίπανσης, καυσίμου και υδραυλικού.

10. Αποσυνδέστε τη σωλήνα αναθυμιάσεων καυσίμου.
11. Αποσυνδέστε τα σημεία ανάρτησης του κινητήρα στο αεροσκάφος.
12. Αποσυνδέστε τη σωλήνωση του συστήματος πυρόσβεσης.
13. Αποσυνδέστε τη γραμμή ένδειξη πίεσης εισαγωγής καυσίμου (manifold pressure).
14. Αποσυνδέστε τη γραμμή ένδειξης πίεσης ελαίου.
15. Αποσυνδέστε τη γραμμή παροχής καυσίμου στο θερμαντήρα καυσίμου.
16. Αποσυνδέστε τη γραμμή ένδειξης πίεσης καυσίμου.
17. Αποσυνδέστε τη γραμμή ένδειξης θερμοκρασίας κεφαλής κυλίνδρου.
18. Αποσυνδέστε τη σωλήνα παροχής καυσίμου.
19. Αποσυνδέστε το σύνδεσμο του συστήματος ανάφλεξης.
20. Αποσυνδέστε τη γραμμή συστήματος αποπαγοποίησης (de-icing).
21. Αποσυνδέστε τη γραμμή αναθυμιάσεων στροφαλοθαλάμου.
22. Αποσυνδέστε τη ράβδο ελέγχου υπερσυμπιεστή.
23. Αποσυνδέστε τις ράβδους της μανέτας (throttle) και ελέγχου μείγματος.
24. Αποσυνδέστε τους αγωγούς του συστήματος εισαγωγής και εξαγωγής του κινητήρα.
25. Προσαρμόστε τον εξοπλισμό ανάρτησης (engine sling) στα σημεία ανάρτησης του κινητήρα.
26. Προσαρμόστε το βραχίονα ανάρτησης στον κινητήρα.
27. Ανυψώστε τον κινητήρα με το γερανό (Σχήμα 1.151).



Σχήμα 1.151 Ανάρτηση εμβολοφόρου κινητήρα πριν την αφαίρεσή του

Εργαστηριακή άσκηση 1.6:

Αποσυναρμολόγηση αεροπορικού εμβολοφόρου κινητήρα

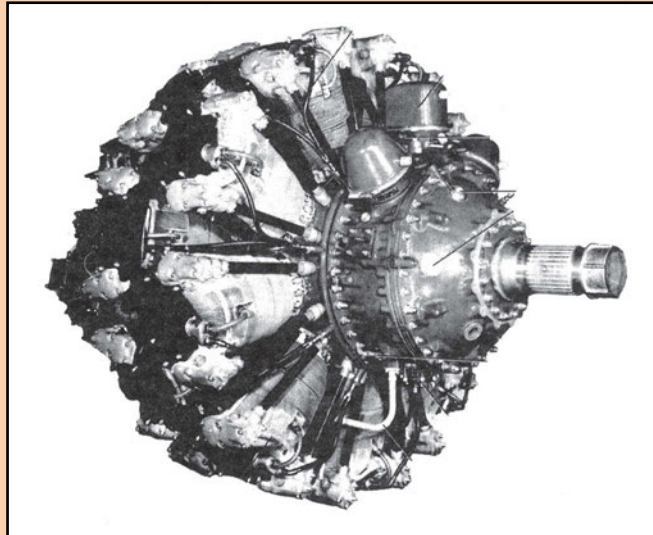
Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

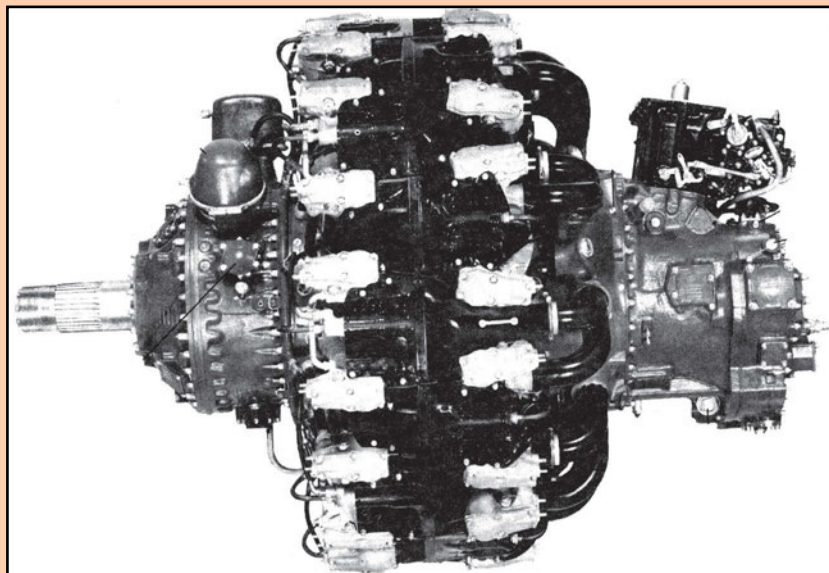
- α) Να αποσυναρμολογείτε έναν αεροπορικό, τετράχρονο βενζινοκινητήρα, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κατασκευαστή.
- β) Να εφαρμόζετε τις διαδικασίες ελέγχου των επιμέρους τμημάτων του κινητήρα πριν αυτά οδηγηθούν στον ειδικό χώρο αποσυναρμολόγησής τους.
- γ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Η διαδικασία αποσυναρμολόγησης βασίζεται στον κινητήρα PW R-2800, (Σχήμα 1.152 και Σχήμα 1.153). Είναι εμβολοφόρος, αστεροειδής, διπλής σειράς, αερόψυκτος. Φέρει 18 κυλίνδρους και λειτουργεί με σύστημα υπερπλήρωσης. Έχει ιπποδύναμη 2300hp και χωρητικότητα κυλίνδρων 46lt.

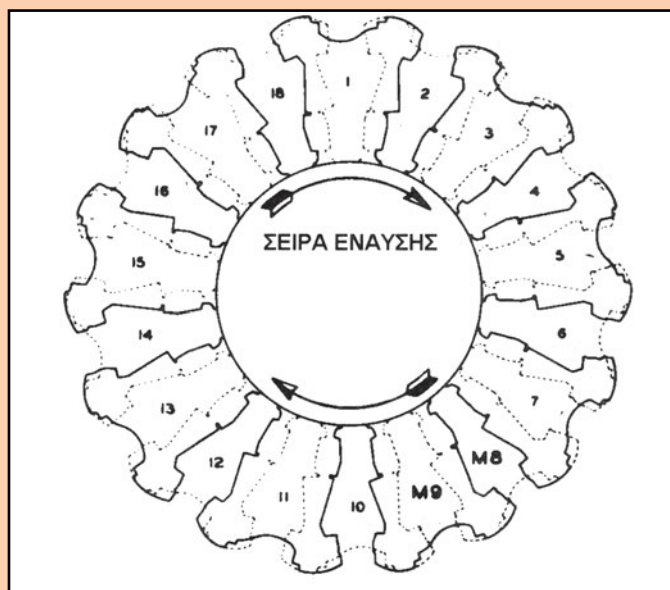


Σχήμα 1.152 Εμπρόσθια δεξιά όψη του κινητήρα R-2800



Σχήμα 1.153 Αριστερή όψη του κινητήρα R-2800

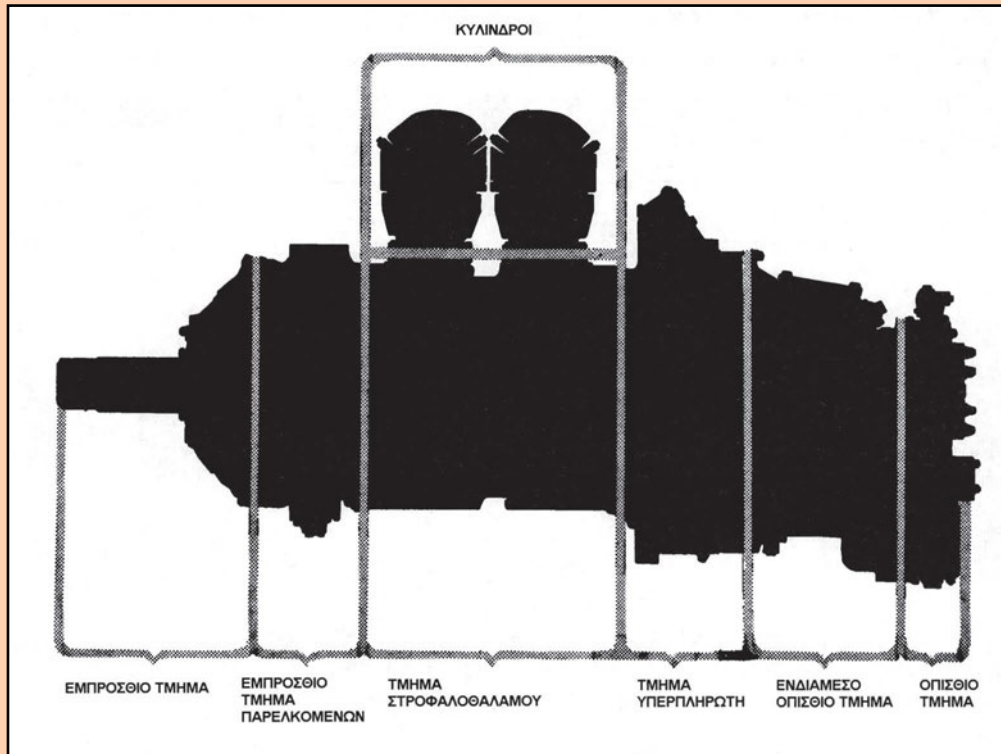
Η σειρά ανάφλεξης είναι: 1-12-5-16-9-2-13-6-17-10-3-14-7-18-11-4-15-8. Στο Σχήμα 1.154, η παραπάνω σειρά υπολογίζεται κοιτώντας το οπίσθιο μέρος του κινητήρα, ενώ οι διακεκομμένες γραμμές δηλώνουν την εμπρόσθια σειρά κυλίνδρων και το γράμμα M τους δύο βασικούς κυλίνδρους.



Σχήμα 1.154 Σειρά έναυσης κυλίνδρων

Τα βασικά τμήματα στα οποία είναι δομημένος ο κινητήρας είναι τα ακόλουθα (όπως παρουσιάζονται και στο Σχήμα 1.155):

- Εμπρόσθιο τμήμα (front section)
- Εμπρόσθιο τμήμα παρελκομένων (front accessory section) και εμπρόσθια πλάκα -στήριξης - διάφραγμα (front support plate)
- Τμήμα στροφαλοθαλάμου (crankcase section)
- Κύλινδροι και έμβολα (cylinders & Pistons)
- Τμήμα υπερπληρωτή (supercharger collector section)
- Ενδιάμεσο οπίσθιο τμήμα (intermediate rear section)
- Οπίσθιο τμήμα (rear section)



Σχήμα 1.155 Τα βασικά τμήματα του κινητήρα R-2800

Απαιτούμενα μέσα

Κινητήρας του προαναφερόμενου τύπου, περιστρεφόμενη κλίση για την τοποθέτησή του, εγχειρίδιο γενικής επισκευής από την κατασκευάστρια εταιρεία, μία σειρά των απαραίτητων ειδικών εργαλείων για την διαδικασία της αποσυναρμολόγησης, γενικά εργαλεία (συγκράτησης, μέτρησης, χάραξης, κοπής, κρούσης), μικρός γερανός με σχοινιά ανάρτησης (“σαμπάνια”) ή αλυσίδες ή ιμάντες βαρούλκων, κηροζίνη ή άλλο κατάλληλο καθαριστικό διάλυμα.

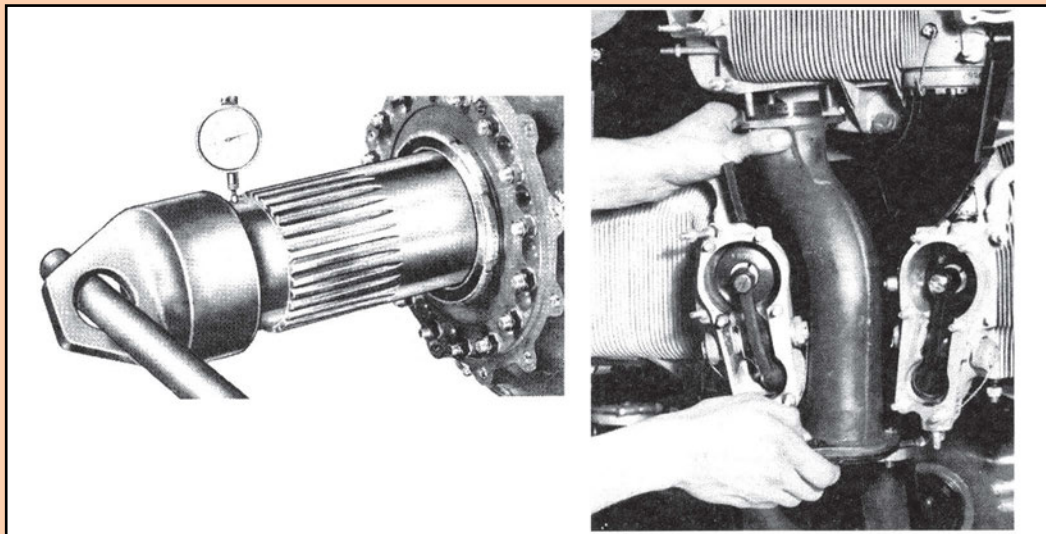
Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

Πορεία εργασίας

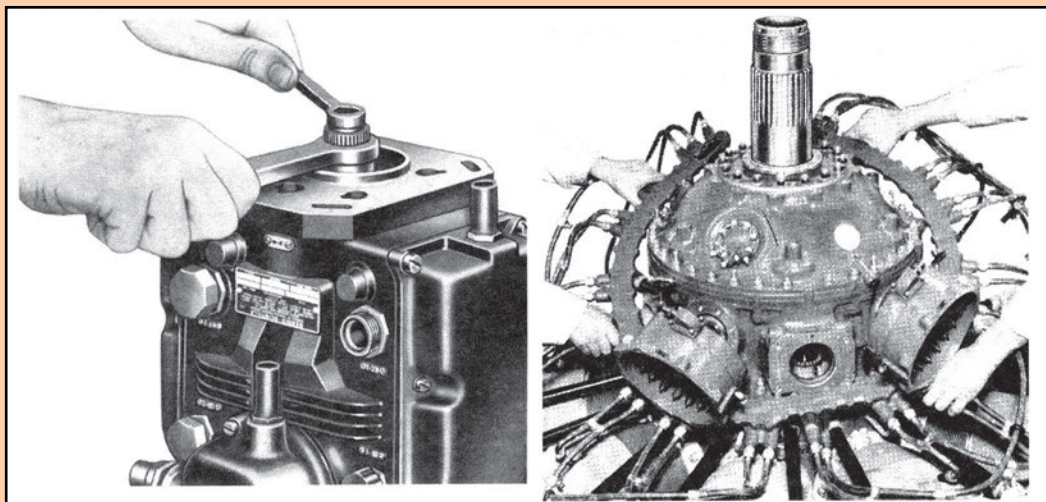
Αρχικά, πριν τα κύρια μέρη του κινητήρα, θα πραγματοποιηθούν εργασίες σε περιφερειακά εξαρτήματά του.

1. Καθαρίστε τις εξωτερικές επιφάνειες του κινητήρα από βρωμιές, λάδια, γράσα χρησιμοποιώντας το προβλεπόμενο από τον κατασκευαστή καθαριστικό διάλυμα. Προσέξτε να μην εισέλθει στην πολλαπλή σωλήνωση εισαγωγής και στο μανιατό.
2. Τοποθετήστε τον κινητήρα σε οριζόντια θέση, επί της κλίνης.
3. Μελετήστε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής. Προδιαγράψτε τη σειρά των εργασιών αποσυναρμολόγησης και συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που θα απαιτηθούν για την απρόσκοπτη διεξαγωγή τους.
4. Εξασφαλίστε ικανούς πάγκους εργασίας, χωρίς αντικείμενα στην επιφάνειά τους.
5. Τοποθετήστε στο πάτωμα κατάλληλο δοχείο για τη συλλογή του λαδιού που θα αφαιρεθεί από τον κινητήρα. Αφαιρέστε όλες τις προστατευτικές τάπες και τα πλέγματα (screens) και εξετάστε τα, αμέσως, προσεκτικά για την ύπαρξη πιθανών ξένων σωματιδίων ή μεταλλικών ρινισμάτων. Αυτά αποτελούν ενδείξεις φθοράς ή κακής λειτουργίας κάποιου εξαρτήματος. Προκαλέστε αποστράγγιση του λαδιού λίπανσης αφαιρώντας τις προστατευτικές τάπες και τα πλέγματα των σωληνώσεων κυκλοφορίας λαδιού. Αφαιρέστε εξαρτήματα όπως σωληνώσεις εξαγωγής (Σχήμα 1.156β), μανιατό (Σχήμα 1.156γ), καλωδιώσεις ανάφλεξης (Σχήμα 1.156δ), σπινθηριστές, σύμφωνα με το εγχειρίδιο γενικής επισκευής. Πραγματοποιήστε τις μετρήσεις που απαιτούνται κατά το στάδιο της αποσυναρμολόγησης (π.χ. οριζόντια απόκλιση άξονα έλικα - propeller shaft runout, Σχήμα 1.156α).



(α)

(β)

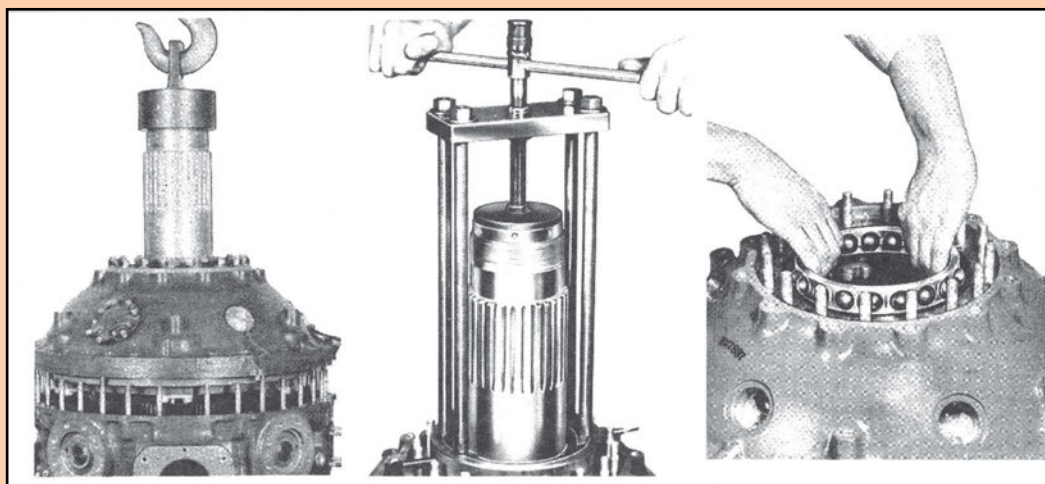


(γ)

(δ)

Σχήμα 1.156 Αποσυναρμολόγηση περιφερειακών εξαρτημάτων

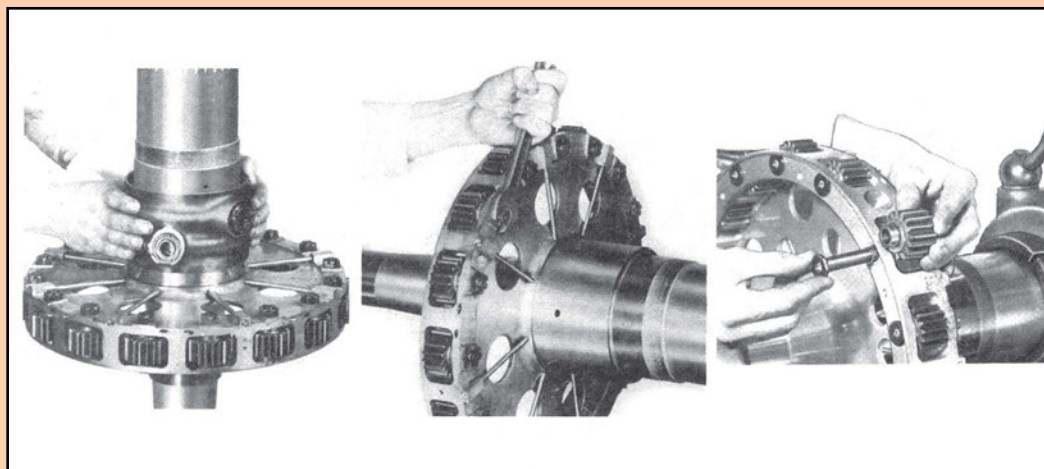
6. ΕΜΠΡΟΣΘΙΟ ΤΜΗΜΑ. Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού (όπως αυτά που φαίνονται στο Σχήμα 1.157 (α) και (β)). Αφαιρέστε τις σωληνώσεις κυκλοφορίας λαδιού που στηρίζονται σε αυτό το τμήμα. Τα παρεμβύσματα τους δεν ξαναχρησιμοποιούνται. Αφαιρέστε το έδρανο του άξονα του έλικα (Σχήμα 1.157 (γ) και (δ)) και τα πλανητικά γρανάζια (Σχήμα 1.157 (ε) και (στ)). Αφαιρέστε τους άξονες και τα γρανάζια που βρίσκονται στο τμήμα αυτό.



(α)

(β)

(γ)



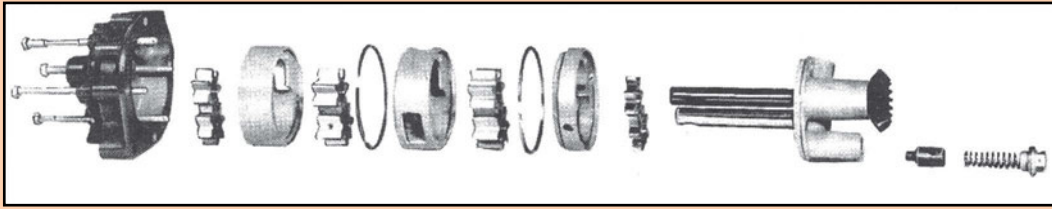
(δ)

(ε)

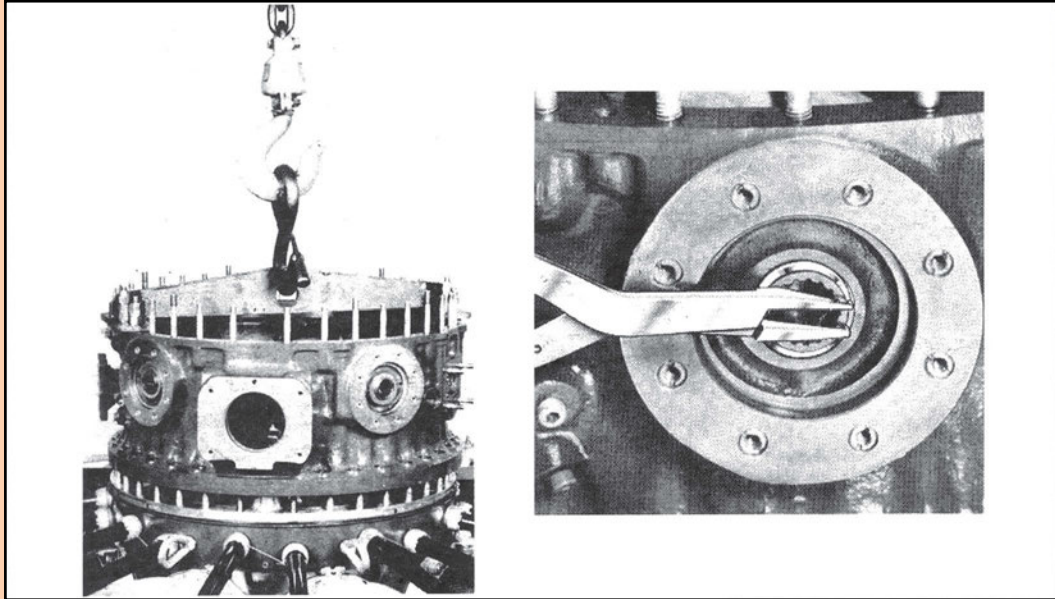
(στ)

Σχήμα 1.157 Αποσυναρμολόγηση του εμπρόσθιου τμήματος

7. ΕΜΠΡΟΣΘΙΟ ΤΜΗΜΑ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ. Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού. Αφαιρέστε την εμπρόσθια αντλία τροφοδοσίας και ανακυκλοφορίας λαδιού (front scavenge oil and booster pump) και τη βαλβίδα παράκαμψης ροής (bypass valve), Σχήμα 1.158α. Αφαιρέστε τις σωληνώσεις του τμήματος αυτού. Αφαιρέστε το περίβλημα των παρελκομένων (front accessory case), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.158β και τα γρανάζια του διανομέα και του ρυθμιστή (Σχήμα 1.158γ).



(α)



(β)

(γ)

Σχήμα 1.158 Αποσυναρμολόγηση του εμπρόσθιου τμήματος παρελκομένων

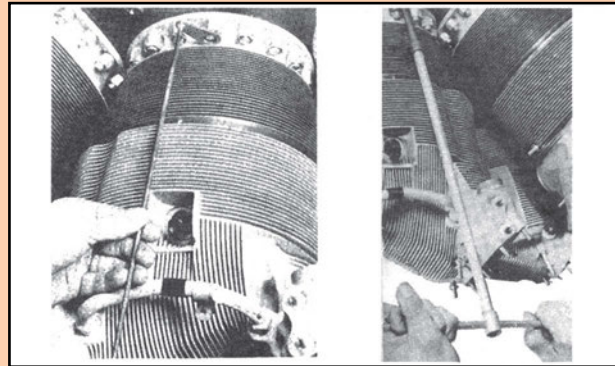
8. ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ, ΕΜΒΟΛΑ ΚΑΙ ΔΟΧΕΙΟ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ ΛΑΔΙΟΥ. Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού. Αφαιρέστε την πολλαπλή σωλήνωση εισαγωγής αέρα (Σχήμα 1.159 (α) και (β)) και το δοχείο απόρριψης λαδιού. Αφαιρέστε καλύμματα και τις ωστήριες ράβδους των βαλβίδων (Σχήμα 1.159γ). Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τη σειρά και τη μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθήσετε κατά την αποσυναρμολόγηση των κυλίνδρων και των εμβόλων. Προχωρήστε στην αποσυναρμολόγησή τους (Σχήμα 1.159 (δ) έως (ζ)). Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο εργαλείο αφαιρέστε τα ελατήρια των εμβόλων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.159η. Αφαιρέστε τις βαλβίδες και τους ζυγούς (Σχήμα 1.159θ).



(α)

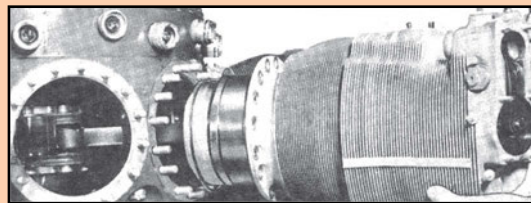
(β)

(γ)

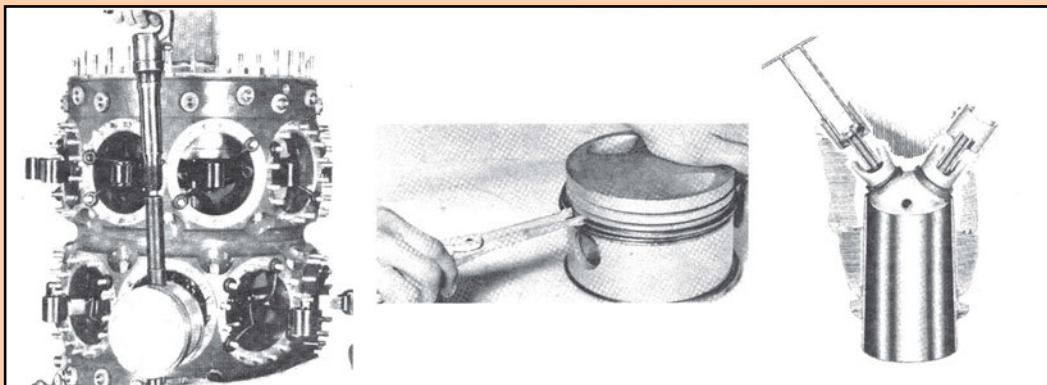


(δ)

(ε)



(στ)



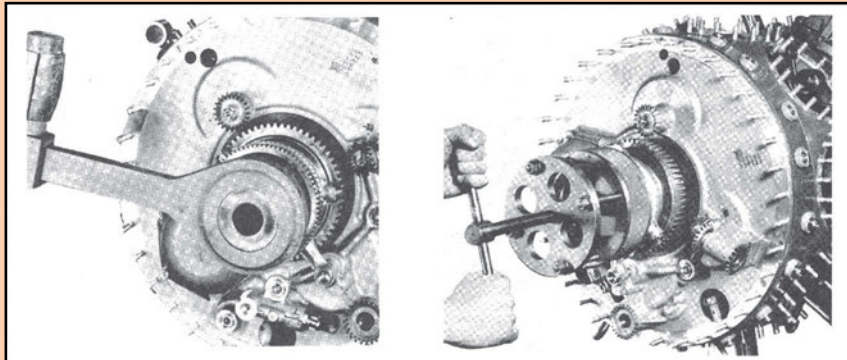
(ζ)

(η)

(θ)

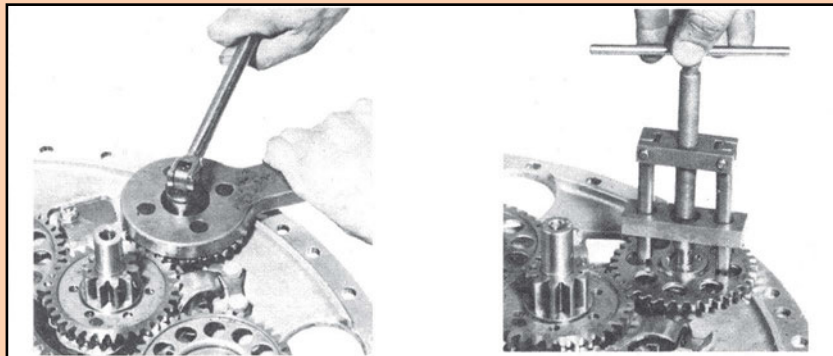
Σχήμα 1.159 Αποσυναρμολόγηση κυλίνδρων και εμβόλων

9. ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΠΛΑΚΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ. Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού. Αφαιρέστε το στροφαλοθάλαμο από το περίβλημα του υπερπληρωτή. Αφαιρέστε τους διάφορους μηχανισμούς κίνησης των συστημάτων λίπανσης και έναυσης που βρίσκονται στο τμήμα αυτό (Σχήμα 1.160 (α) έως (δ)).



(α)

(β)

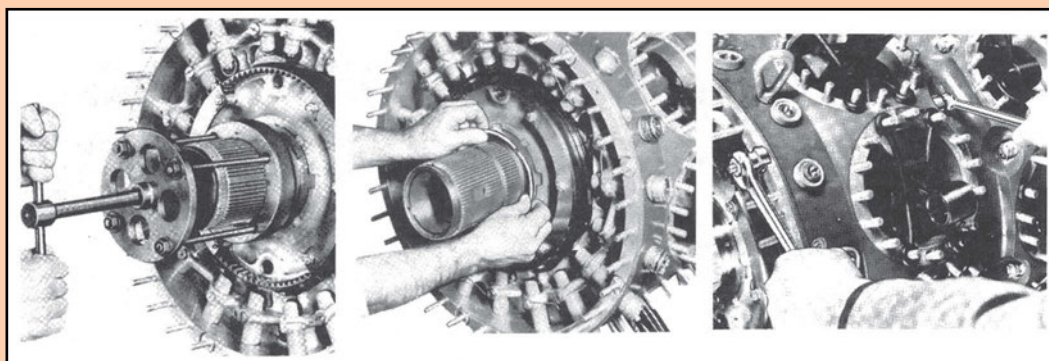


(γ)

(δ)

Σχήμα 1.160 Αποσυναρμολόγηση της εμπρόσθιας πλάκας στήριξης

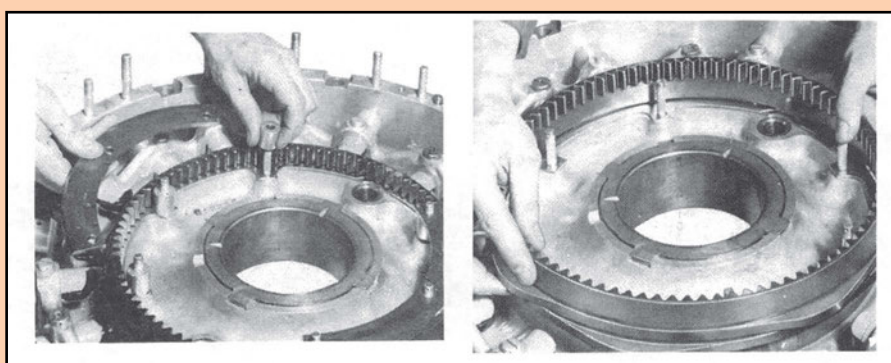
10. ΕΜΠΡΟΣΘΙΟ ΤΜΗΜΑ ΣΤΡΟΦΑΛΟΘΑΛΑΜΟΥ. Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού. Αφαιρέστε το εμπρόσθιο γράναζι στροφαλοφόρου άξονα (crankshaft front gear) και το δακτύλιό του, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.161. Στη συνέχεια, αφού αφαιρέσετε τους κοχλίες ασφάλειας (Σχήμα 1.161 (δ) και (ε)), αφαιρέστε το εμπρόσθιο τμήμα του στροφαλοθαλάμου. Αφαιρέστε διάφορα άλλα εξαρτήματα - σύμφωνα με το εγχειρίδιο - καταλήγοντας στα λοιπά εξαρτήματα του μηχανισμού κίνησης των βαλβίδων (ανυψωτικές ράβδοι, τροχοί και πείροι).



(α)

(β)

(γ)

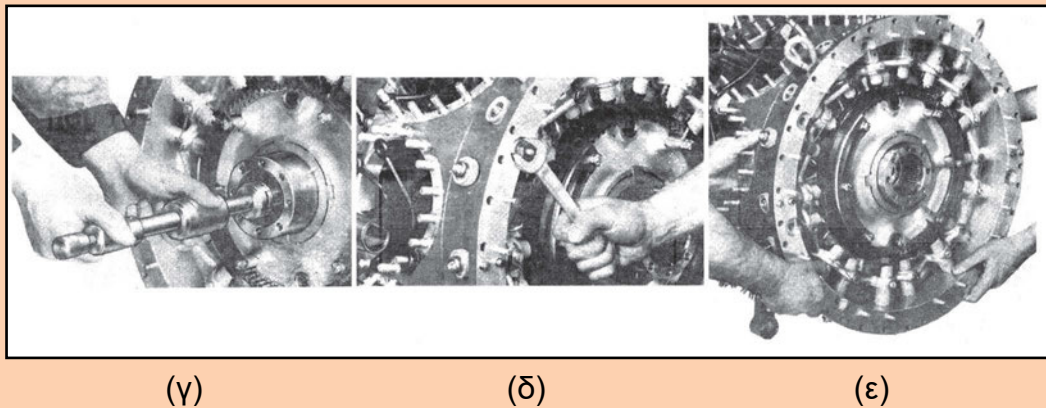
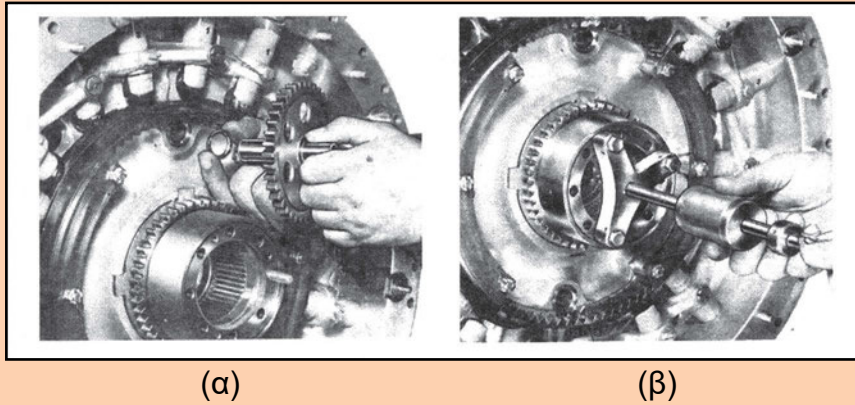


(δ)

(ε)

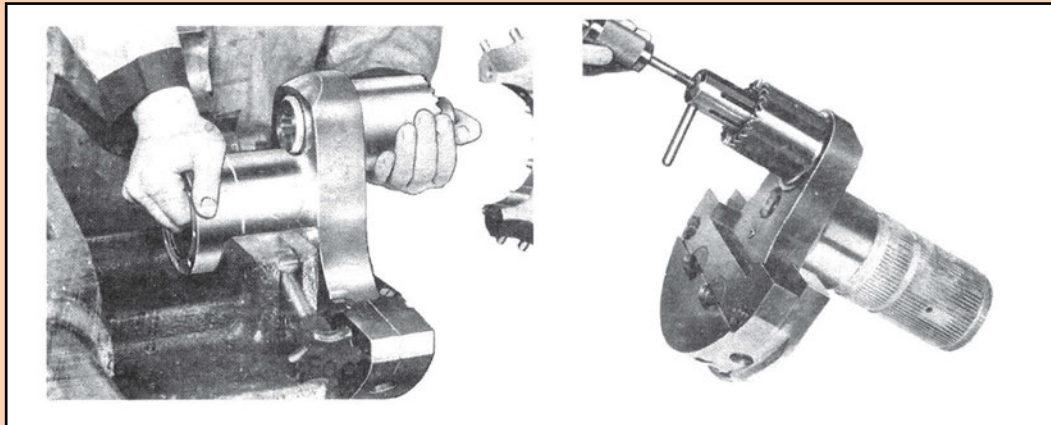
Σχήμα 1.161 Αποσυναρμολόγηση του εμπρόσθιου τμήματος στροφαλοθαλάμου

11. ΟΠΙΣΘΙΑ ΠΛΑΚΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ. Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού. Αφαιρέστε αρχικά τα εξαρτήματα που περιγράφονται στο εγχειρίδιο της γενικής επισκευής. Στη συνέχεια, αφαιρέστε την ίδια την οπίσθια πλάκα στήριξης.
12. ΟΠΙΣΘΙΟ ΤΜΗΜΑ ΣΤΡΟΦΑΛΟΘΑΛΑΜΟΥ. Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού. Αφαιρέστε τα γράναζια και τους δακτυλίους, σύμφωνα με το εγχειρίδιο γενικής επισκευής (Σχήμα 1.162 (α) έως (γ)), και στη συνέχεια αποσυναρμολογήστε το οπίσθιο τμήμα του στροφαλοθαλάμου (Σχήμα 1.162 (δ) και (ε)).



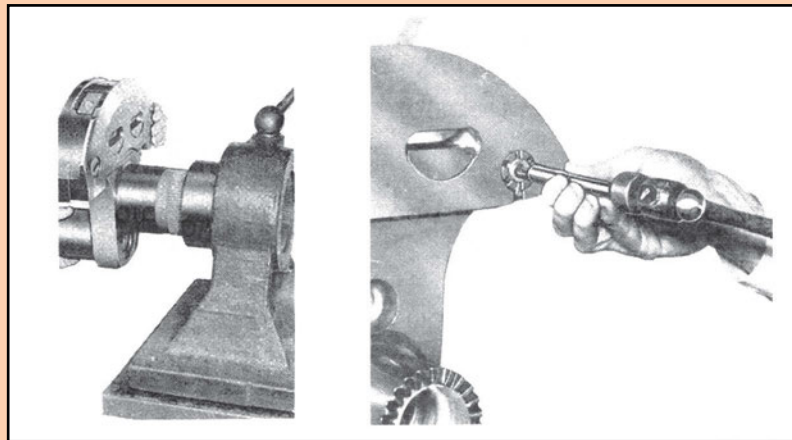
**Σχήμα 1.162 Αποσυναρμολόγηση του οπίσθιου τμήματος
στροφαλοθαλάμου**

13.ΣΤΡΟΦΑΛΟΦΟΡΟΣ ΑΞΟΝΑΣ. Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού. Αφαιρέστε βίδες, παξιμάδια, δακτύλιους, και αποσυναρμολογήστε με τη σειρά που αναφέρονται το οπίσθιο και το εμπρόσθιο τμήμα του στροφαλοφόρου άξονα. Στη συνέχεια, συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τη μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθήσετε για να αφαιρέσετε το κεντρικό τμήμα του στροφαλοθαλάμου και το κεντρικό τμήμα του στροφαλοφόρου άξονα. Τοποθετήστε το τελευταίο στην ειδική μέγγενη που αναφέρει το εγχειρίδιο γενικής επισκευής και αφαιρέστε τα αντίβάρά του (Σχήμα 1.163 (α) έως (ζ)). Τέλος, αφαιρέστε τα συγκροτήματα που αποτελούν τον κύριο διωστήρα και τοποθετήστε τα εξαρτήματά τους σε ξεχωριστό κουτί, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.164.



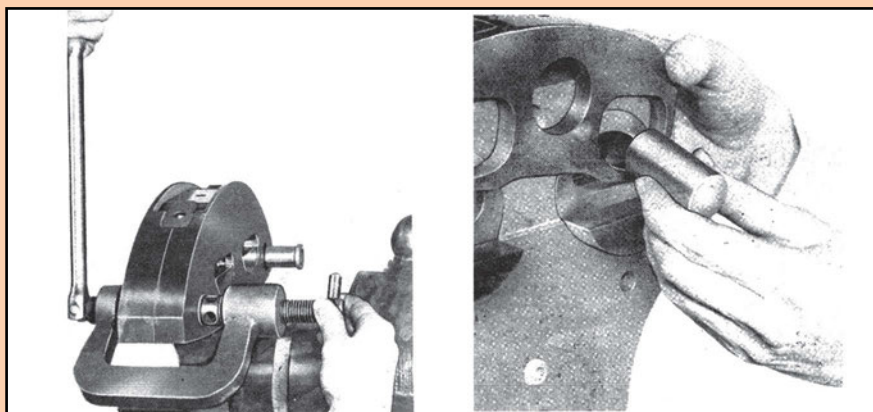
(α)

(β)



(γ)

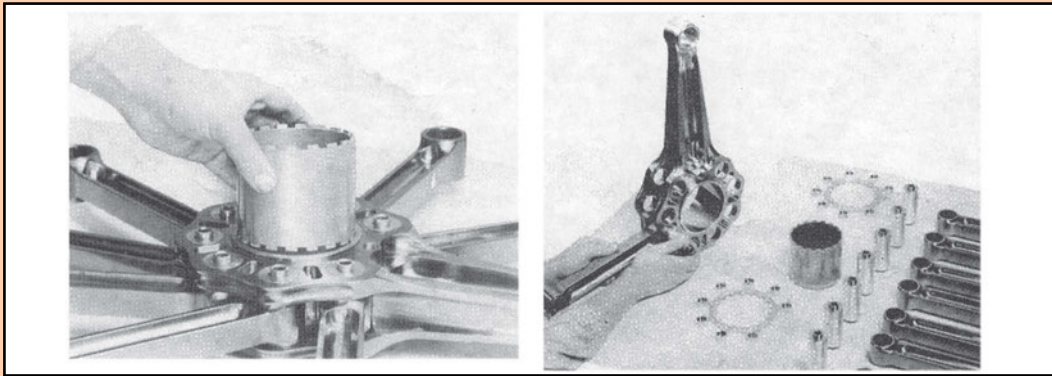
(δ)



(στ)

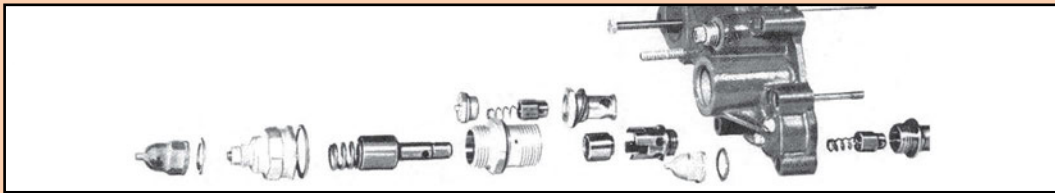
(ζ)

Σχήμα 1.163 Αποσυναρμολόγηση του στροφαλοφόρου άξονα

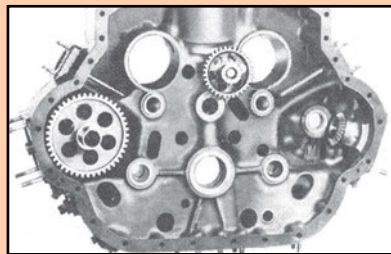


Σχήμα 1.164 Τακτοποίηση των εξαρτημάτων

14. ΟΠΙΣΘΙΟ ΤΜΗΜΑ. Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού. Αφαιρέστε βίδες, παξιμάδια, δακτύλιους, και αποσυναρμολογήστε με τη σειρά που αναφέρονται την αντλία κυκλοφορίας λαδιού (pressure oil pump), τις ανακουφιστικές βαλβίδες (Σχήμα 1.165α), τη βαλβίδα παράκαμψης της ροής λαδιού (bypass valve) και την αντλία επιστροφής λαδιού (scavenge oil pump). Στη συνέχεια, αφαιρέστε το οπίσθιο τμήμα του κινητήρα (Σχήμα 1.165β) και τα γρανάζια που βρίσκονται σε αυτό.



(α)

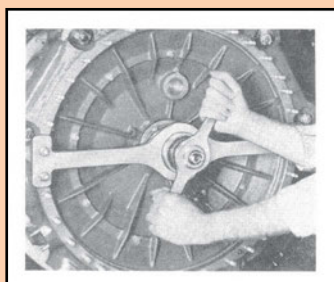


(β)

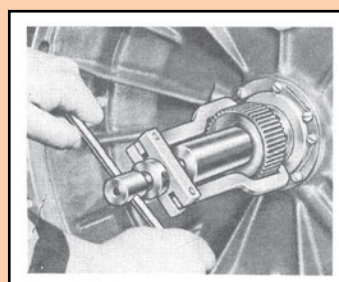
Σχήμα 1.165 Αποσυναρμολόγηση του οπίσθιου τμήματος

15. ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΟΠΙΣΘΙΟ ΤΜΗΜΑ. Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.

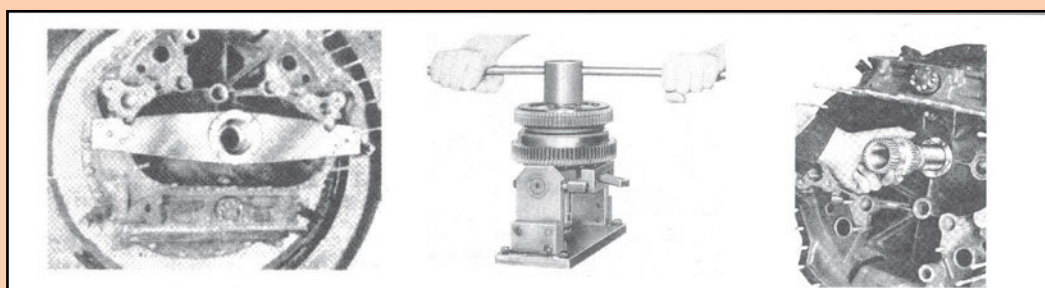
Σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής αφαιρέστε τους άξονες και τα οδηγά γρανάζια των συστημάτων του κινητήρα (Σχήμα 1.166 (α) και (β)). Στη συνέχεια, αφαιρέστε το συγκρότημα του συμπιεστή του συστήματος υπερπλήρωσης, το διαχύτη, την εισαγωγή του διαχύτη (Σχήμα 1.166 (γ) έως (ζ)) και τις βαλβίδες παροχής και αποστράγγισης καυσίμου.



(α)



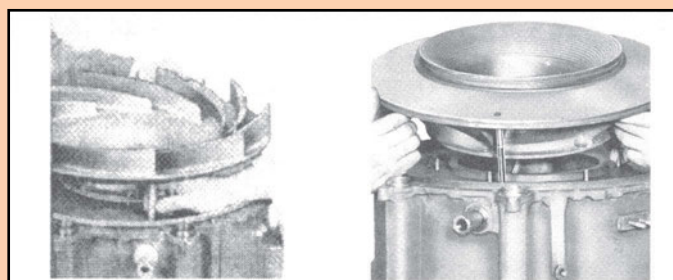
(β)



(γ)

(δ)

(ε)



(στ)

(ζ)

Σχήμα 1.166 Αποσυναρμολόγηση του ενδιάμεσου οπίσθιου τμήματος

16. ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗ. Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού. Αφαιρέστε τα εξαρτήματα του τμήματος αυτού, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.

Εργαστηριακή άσκηση 1.7:

Αφαίρεση, επιθεώρηση και συναρμολόγηση εξαρτημάτων συστήματος λίπανσης

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να γνωρίζετε τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης εξαρτημάτων του συστήματος λίπανσης ενός αεροπορικού εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κατασκευαστή.
- β) Να εφαρμόζετε τις απαιτούμενες διαδικασίες επιθεώρησης στα επιμέρους εξαρτήματα που αποσυναρμολογείτε, πριν από τη συναρμολόγηση και δοκιμή του συστήματος λίπανσης.
- γ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Η λίπανση ενός κινητήρα είναι απαραίτητη ώστε να ελαττωθούν οι τριβές που αναπτύσσονται στα τριβόμενα μέρη του κατά τη λειτουργία του. Επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία λιπαντικού μέσου με συγκεκριμένες ιδιότητες, ανάλογα με το είδος του κινητήρα και τις συνθήκες λειτουργίας του, μέσω του συστήματος λίπανσης. Ανάλογα με το είδος του εξαρτήματος το οποίο θα λιπανθεί, χρησιμοποιούνται διαφορετικά λιπαντικά μέσα: τα λιπαντικά λάδια, τα συνθετικά λιπαντικά και τα λιπαντικά γράσα.

Απαιτούμενα μέσα

Για την πραγματοποίηση της παρούσας άσκησης απαιτείται κινητήρας του προαναφερόμενου τύπου, περιστρεφόμενη κλίνη για την τοποθέτησή του, εγχειρίδιο Συντήρησης ή γενικής επισκευής, καθώς και τα ακόλουθα έγγραφα, μέσα και εργαλεία:

- εγχειρίδιο οδηγιών γενικής επισκευής και συντήρησης των επιμέρους εξαρτημάτων του συστήματος λίπανσης από την κατασκευάστρια εταιρεία τους,

- γενικά (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

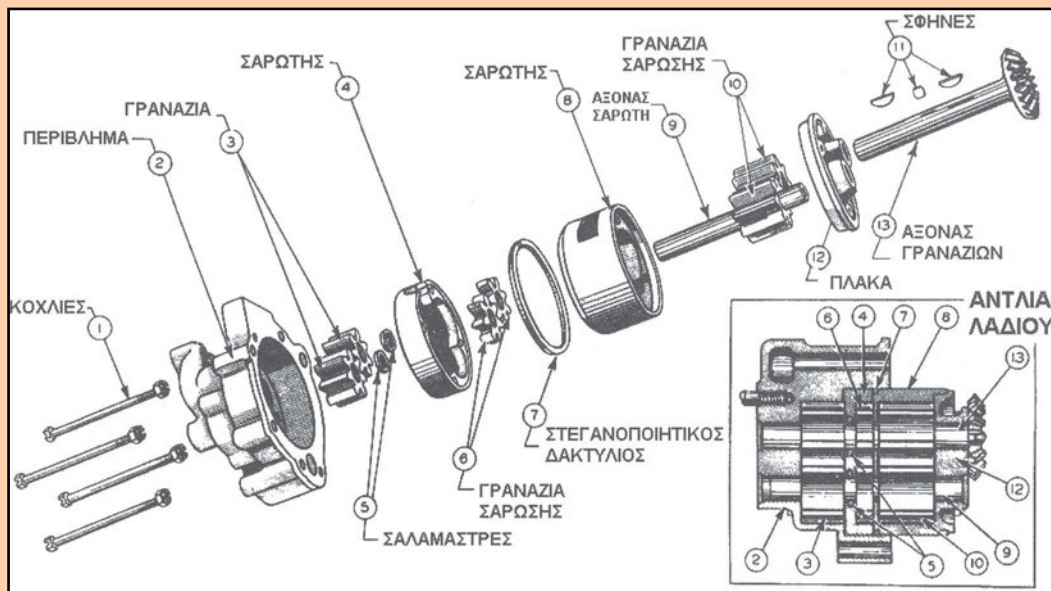
Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

Πορεία εργασίας

1. Καθαρίστε προσεκτικά τον πάγκο εργασίας.
2. Καλύψτε τον πάγκο με λευκό απορροφητικό χαρτί.
3. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες αποσυναρμολόγησης των κυρίων εξαρτημάτων του συστήματος λίπανσης, που παρέχονται από τον κατασκευαστή.
4. Αναγνωρίστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία, τα οποία απαιτούνται και βεβαιωθείτε ότι είναι διαθέσιμα.
5. Αρχικά, εντοπίστε της θέση της ανακουφιστικής βαλβίδας λαδιού (oil pressure relief valve) στον κινητήρα. Λειτουργεί με έμβολο.
6. Αφαιρέστε το κάλυμμα και μετακινήστε το σώμα της ανακουφιστικής βαλβίδας. Στη συνέχεια, αφαιρέστε το ελατήριο και το έμβολό της. Χρησιμοποιώντας κατάλληλο κλειδί, αφαιρέστε τη βάση της βαλβίδας από το οπίσθιο περίβλημα (rear case) του κινητήρα.
7. Ελέγξτε την κατάσταση του ελατηρίου της βαλβίδας. Επιθεωρήστε την κατάσταση της βάσης της βαλβίδας και των οδηγών της. Χρησιμοποιήστε λάδι καθαρισμού και πανί σε καλή κατάσταση (χωρίς ίνες που εξέχουν) για τον καθαρισμό των επιφανειών.
8. Επανατοποθετήστε τη βάση της βαλβίδας στο οπίσθιο περίβλημα του κινητήρα. Εισάγετε το έμβολο και το ελατήριο στο σώμα της. Χρησιμοποιή-

στε καινούριο παρέμβυσμα στη φλάντζα του σώματος της βαλβίδας. Βιδώστε το σώμα στη βάση της βαλβίδας.

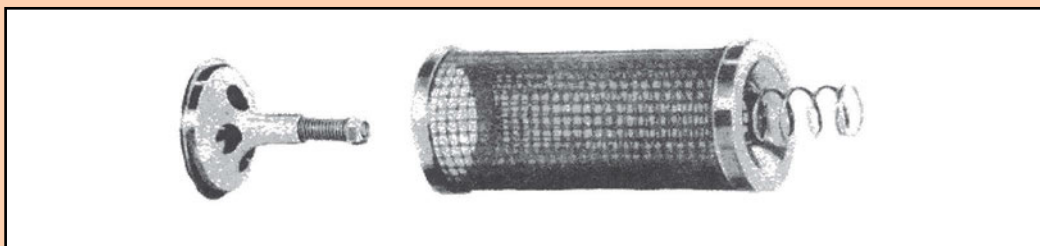
9. Ρυθμίστε την πίεση του λαδιού. Βιδώστε ή ξεβιδώστε τη βίδα ελέγχου της πίεσης.
10. Τοποθετήστε το κάλυμμα της βαλβίδας και συρματασφαλίστε το.
11. Στη συνέχεια, εντοπίστε τη θέση της αντλίας λαδιού στον κινητήρα. Στο Σχήμα 1.167 φαίνεται η επιμέρους κατασκευή της.



Σχήμα 1.167 Τα εξαρτήματα που αποτελούν την αντλία λαδιού

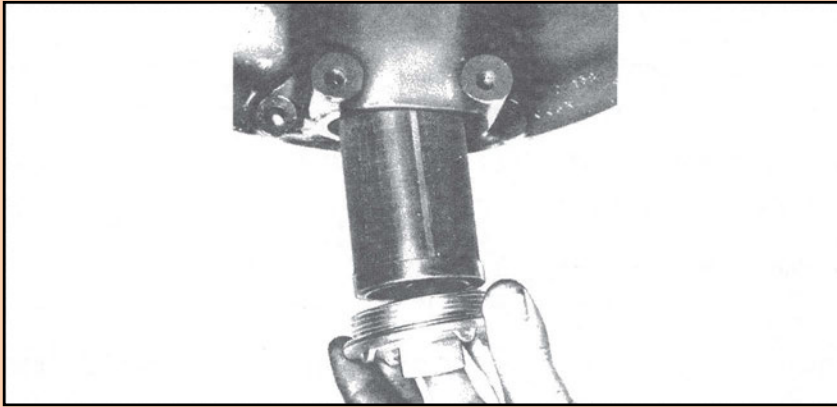
12. Χρησιμοποιώντας ειδικό εξωλκέα, αφαιρέστε την αντλία από το οπίσθιο περίβλημα του κινητήρα.
13. Επιθεωρήστε την αντλία πριν από την αποσυναρμολόγηση. Εντοπίστε πιθανές διαρροές λαδιού ή σημεία κακής συναρμογής (μοχλούς, άξονες κλπ.). Δοκιμάστε να περιστρέψετε την αντλία. Τα γρανάζια πρέπει να γυρνούν χωρίς αντίσταση, χωρίς να χτυπούν στο περίβλημα της αντλίας.
14. Προχωρήστε στην αποσυναρμολόγηση σύμφωνα με τις οδηγίες και με τη σειρά, που αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο συντήρησης.

15. Ελέγξτε το εσωτερικό του περιβλήματος. Δεν πρέπει να υπάρχουν ίχνη αυλακών από την περιστροφή των γριναζιών. Επίσης, ελέγξτε την ύπαρξη ρωγμών (cracks), εγχοπών (scoring) καθώς και την κατάσταση της επικαλυπτικής μπογιάς.
16. Επιθεωρήστε τα δόντια των γριναζιών για ίχνη αυλακών διάβρωσης (pitting) και σπασίματα από κακή επαφή μεταξύ τους.
17. Βεβαιωθείτε ότι όλες οι δίοδοι λαδιού είναι καθαρές και ελέγξτε την καλή κατάσταση των δακτυλίων στεγανότητας (oil seal rings).
18. Χρησιμοποιήστε καινούργια στεγανοποιητικά παρεμβύσματα κατά τη διαδικασία της επανασυναρμολόγησης της αντλίας.
19. Τοποθετήστε την αντλία στο οπίσθιο περίβλημα του κινητήρα, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου της Συντήρησης. Προσαρμόστε το οδηγό της γριναζί με το οδηγό γριναζί του συστήματος παρελκομένων.
20. Στη συνέχεια, εντοπίστε τη θέση του πλέγματος λαδιού (pressure oil screen, Σχήμα 1.168) στον κινητήρα.



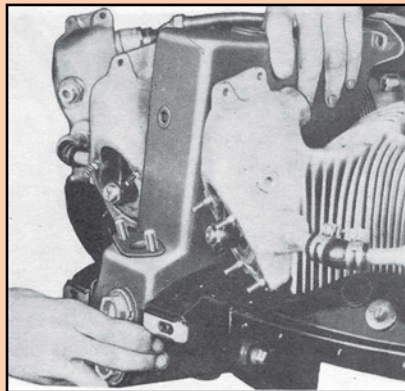
Σχήμα 1.168 Πλέγμα λαδιού

21. Χρησιμοποιώντας κατάλληλο κλειδί, αφαιρέστε το παξιμάδι του και αποσυναρμολογήστε (Σχήμα 1.169) το κάλυμμα, το ελατήριο, το πλέγμα λαδιού και τη βαλβίδα ελέγχου (check valve).

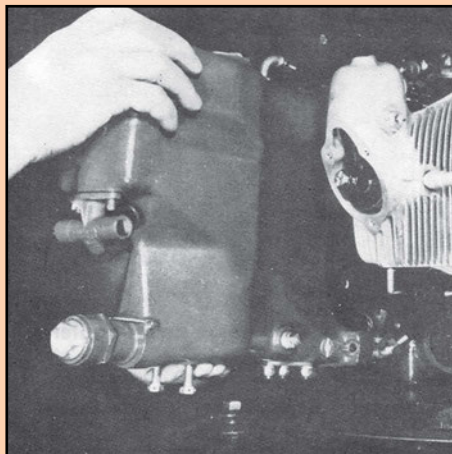


Σχήμα 1.169 Αποσυναρμολόγηση επιμέρους εξαρτημάτων

22. Επιθεωρήστε προσεκτικά το πλέγμα για την ύπαρξη μεταλλικών γρεζιών ή άλλων ξένων σωματιδίων. Ένα τέτοιο εύρημα αποτελεί ένδειξη κακής λειτουργίας ή / και αστοχίας κάποιου εξαρτήματος του κινητήρα. Ελέγξτε την καλή συναρμογή του πλέγματος.
23. Ελέγξτε την καλή εφαρμογή της βαλβίδας ελέγχου και την καλή κατάσταση του ελατηρίου και του καλύμματος.
24. Επανατοποθετήστε τα εξαρτήματα του πλέγματος στο θάλαμό τους, στο οπίσθιο περίβλημα του κινητήρα. Χρησιμοποιήστε καινούριο παρέμβυσμα στεγανότητας. Βιδώστε με ειδικό κλειδί το κάλυμμα του πλέγματος. Συρματασφαλίστε.
25. Τέλος, εντοπίστε την ελαιολεκάνη (oil sumpr, Σχήμα 1.170) του συστήματος λίπανσης. Αφαιρέστε τη με τη βοήθεια των οδηγιών του εγχειριδίου Συντήρησης (Σχήμα 1.171). Δώστε ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην τραυματίσετε τους σωλήνες λαδιού που καταλήγουν σε αυτήν.

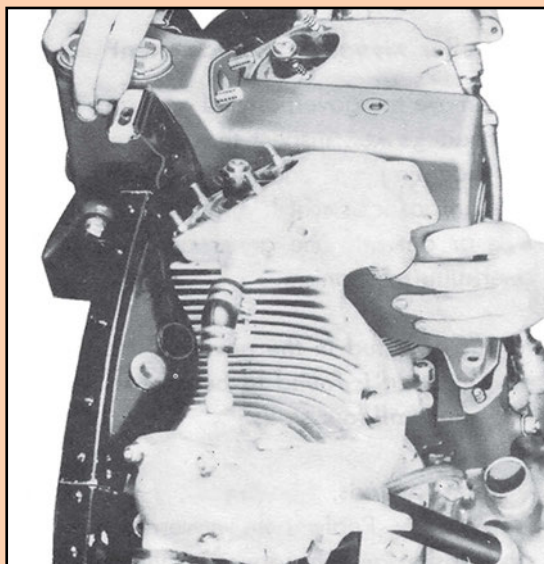


Σχήμα 1.170 Θέση ελαιολεκάνης



Σχήμα 1.171 Αφαίρεση ελαιολεκάνης

26. Επιθεωρήστε την ελαιολεκάνη για την ύπαρξη ρωγμών. Ελέγξτε το πλέγμα επιστροφής λαδιού. Η συναρμογή του πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση. Καθαρίστε το πλέγμα σχολαστικά.
27. Επανατοποθετήστε την ελαιολεκάνη σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου Συντήρησης (Σχήμα 1.172). Χρησιμοποιήστε καινούρια στεγανοποιητικά παρεμβύσματα όπου αυτά υπάρχουν. Η σύσφιξη των κοχλιών θα πρέπει να ροπομετρείται, σύμφωνα με τα όρια των οδηγιών του εγχειριδίου.



Σχήμα 1.172 Επανατοποθέτηση ελαιολεκάνης

28. Στην περίπτωση που πραγματοποιήσετε πρώτα τις εργασίες αποσυναρμολόγησης όλων των παραπάνω εξαρτημάτων, βεβαιωθείτε ότι τα μέρη κάθε εξαρτήματος τοποθετούνται μαζί, για την αποφυγή απωλειών και πιθανών συγχύσεων κατά τη φάση της επανασυναρμολόγησης.

Εργαστηριακή άσκηση 1.8:

Αφαίρεση, επιθεώρηση και συναρμολόγηση αντλίας καυσίμου αεροπορικού εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να πραγματοποιείτε τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης και συναρμολόγησης της αντλίας καυσίμου αεροπορικού εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κατασκευαστή.
- β) Να εφαρμόζετε τις απαιτούμενες διαδικασίες επιθεώρησης στα επιμέρους εξαρτήματα που αποσυναρμολογείτε, πριν από τη συναρμολόγηση και δοκιμή του συστήματος καυσίμου.
- γ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Τα βασικά μέρη που αποτελούν το σύστημα καυσίμου ενός αεροπορικού, εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα είναι οι δεξαμενές καυσίμου, οι αντλίες **πίεσης (booster pump)** και **κυκλοφορίας (engine driven pump)** καυσίμου, οι **βαλβίδες επιλογής (selector valves)**, τα φίλτρα και οι σωλήνες εξομάλυνσης της ροής (strainers) του καυσίμου, οι σωληνώσεις και τα όργανα μέτρησης.

Γενικά, υπάρχουν περισσότερες από μία δεξαμενές καυσίμου για την τροφοδότηση του συστήματος. Από κάθε μία ξεκινά μία σωλήνωση καυσίμου που αρχικά καταλήγει σε μία βαλβίδα επιλογής. Με αυτήν, ο χειριστής είναι σε θέση να διαλέξει ποια από τις δεξαμενές καυσίμου θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά. Η αντλία πίεσης δημιουργεί την κυκλοφορία του καυσίμου από τη βαλβίδα επιλογής προς το σωλήνα εξομάλυνσης της ροής. Αυτός τοποθετείται στο κατώτερο σημείο του συστήματος καυσίμου και λειτουργεί ουσιαστικά ως φίλτρο. Έτσι, απομακρύνονται οι ακαθαρσίες από το καύσιμο και η όποια ποσότητα νερού μπορεί αυτό να περιέχει. Κατά τη διαδικασία της εκκίνησης του κινητήρα, η αντλία πίεσης οδηγεί το καύσιμο, μέσω μίας βαλβίδας παράκαμ-

ψης (by-pass valve) στην αντλία κυκλοφορίας του καυσίμου. Από εκεί, το καύσιμο οδηγείται στο σύστημα ανάμειξης και στη συνέχεια, στο θάλαμο καύσης.

Απαιτούμενα μέσα

Για την πραγματοποίηση της παρούσας άσκησης απαιτείται κινητήρας του προαναφερόμενου τύπου, περιστρεφόμενη κλίνη για την τοποθέτησή του, εγχειρίδιο συντήρησης ή γενικής επισκευής, συσκευή ελέγχου πίεσης, μηχάνημα καθαρισμού από επικαθίσεις, φούρνος, καθώς και τα ακόλουθα έγγραφα, μέσα και εργαλεία:

- εγχειρίδιο οδηγιών γενικής επισκευής και συντήρησης των επιμέρους εξαρτημάτων του συστήματος καυσίμου από την κατασκευάστρια εταιρεία τους,
- γενικά (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.

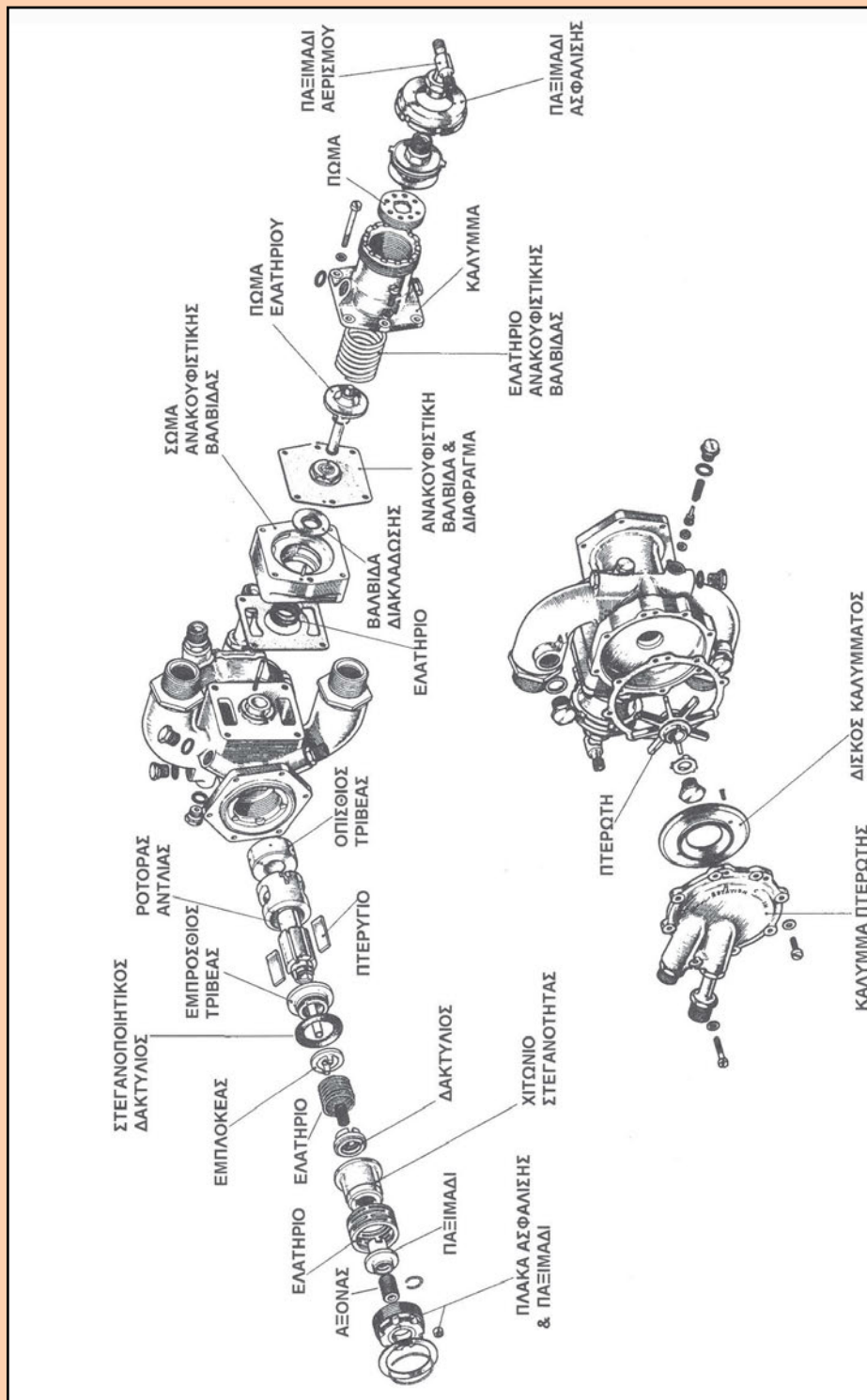
Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

Πορεία εργασίας

1. Καθαρίστε προσεκτικά τον πάγκο εργασίας.
2. Καλύψτε τον πάγκο με λευκό απορροφητικό χαρτί.
3. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες αποσυναρμολόγησης των κυρίων εξαρτημάτων του συστήματος καυσίμου, που παρέχονται από τον κατασκευαστή.
4. Αναγνωρίστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία, τα οποία απαιτούνται και βεβαιωθείτε ότι είναι διαθέσιμα.
5. Εντοπίστε τη θέση της αντλίας κυκλοφορίας καυσίμου στον κινητήρα.
Αποσυναρμολογήστε την από τη θέση της και τοποθετήστε τη στον πάγκο.

6. Κόψτε τη συρματασφάλιση του παξιμαδιού αερισμού (vent nut), του παξιμαδιού ασφάλισης (lock nut) και του καλύμματος της ανακουφιστικής βαλβίδας, Σχήμα 1.173.
7. Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο κλειδί, αφαιρέστε το παξιμάδι ασφάλισης.
8. Αφαιρέστε το πώμα από το περίβλημα της ανακουφιστικής βαλβίδας και στη συνέχεια το περίβλημα και το διάφραγμα της βαλβίδας. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην παραπέσουν η βαλβίδα παράκαμψης και το ελατήριο της.
9. Αφαιρέστε το πώμα, ελατήριο και τον άξονα της βαλβίδας παράκαμψης από το διάφραγμα.
10. Στη συνέχεια, τοποθετήστε την αντλία με το κάλυμμα της πτερωτής προς τα πάνω.
11. Αφαιρέστε το κάλυμμα της πτερωτής και το παρέμβυσμα στεγανότητας. Το τελευταίο δεν ξαναχρησιμοποιείται.
12. Αφαιρέστε το δακτύλιο και το περικόχλιο ασφάλισης και, στη συνέχεια την πτερωτή.
13. Αντιστρέψτε τη θέση της αντλίας.
14. Αφαιρέστε τον άξονα της πτερωτής. Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο κλειδί αφαιρέστε το παξιμάδι ασφάλισης.
15. Στη συνέχεια, αφαιρέστε τα παρελκόμενα εξαρτήματα όπως δακτύλιους, στυπιοθλίπτες και ελατήρια.
16. Θερμάνετε το σώμα της αντλίας σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου που χρησιμοποιείτε.
17. Χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο εξωλκέα, αφαιρέστε τον εμπρόσθιο τριβέα του άξονα.
18. Αφαιρέστε το ρότορα, τα πτερύγια του άξονα και τα διάφορα παρελκόμενα εξαρτήματα.
19. Τέλος, αφαιρέστε τον οπίσθιο τριβέα του άξονα, χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο εξωλκέα.



Σχήμα 1.173 Τα εξαρτήματα που αποτελούν την αντλία κυκλοφορίας καυσίμου

20. Αφού αποσυναρμολογήσετε την αντλία στα εξαρτήματα που την απαρτίζουν, θα πρέπει να πραγματοποιήσετε την επιθεώρησή τους. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για τα όρια και τις ανοχές που επιτρέπονται σε κάθε εξάρτημα.
21. Επιθεωρήστε το στυπιοθλίπτη και όλα τα στεγανοποιητικά μέσα. Δεν επιτρέπονται φθορές.
22. Επιθεωρήστε την κατάσταση των ελατηρίων. Μετρήστε την επιπεδότητα (flatness) των επιφανειών των άκρων τους.
23. Επιθεωρήστε τον άξονα και τους συνδέσμους του.
24. Επιθεωρήστε τη βαλβίδα παράκαμψης και τη βαλβίδα ανακούφισης, καθώς και τα “καθίσματά” τους. Μόνο ορισμένα είδη φθορών επιτρέπονται.
25. Επιθεωρήστε τα πτερύγια του ρότορα του άξονα και της πτερωτής. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή στα χείλη προσβολής και τα ακροπτερύγια.
26. Επιθεωρήστε το διάφραγμα της ανακουφιστικής βαλβίδας. Δεν επιτρέπονται φθορές.
27. Επιθεωρήστε το σώμα της αντλίας για την πιθανή ύπαρξη ρωγμών.
28. Βεβαιωθείτε ότι οι δίοδοι καυσίμου είναι καθαρές. Δεν επιτρέπονται οι οποιοσδήποτε επικαθήσεις.
29. Χρησιμοποιήστε τις οδηγίες του εγχειριδίου για τη σωστή αντιμετώπιση των πιθανών φθορών που εντοπίσατε κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης των εξαρτημάτων της αντλίας καυσίμου.
30. Μετά τις διεργασίες επισκευής, εάν απαιτηθούν, προχωρήστε στην επανασυναρμολόγηση των εξαρτημάτων της αντλίας.
31. Τοποθετήστε το σώμα της αντλίας στο φούρνο, ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου για τη διάρκεια και την ένταση της θέρμανσης.
32. Τοποθετήστε τον οπίσθιο τριβέα και τα υπόλοιπα εξαρτήματα του ρότορα.

33. Στην περίπτωση που το σώμα της αντλίας έχει αντικατασταθεί, πραγματοποιήστε δοκιμή πίεσης σε αυτό το στάδιο. Χρησιμοποιήστε το ειδικό μηχάνημα. Δεν επιτρέπονται διαρροές.
34. Στη συνέχεια, τοποθετήστε τον άξονα και τα υπόλοιπα εξαρτήματα.
35. Ελέγξτε την ελεύθερη περιστροφή του χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο και ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου. Στην περίπτωση που διαπιστώσετε δυσκολία κατά την περιστροφή ή ακούσετε θόρυβο, αποσυναρμολογήστε την πτερωτή και πραγματοποιήστε επιθεώρηση του συγκροτήματος.
36. Τοποθετήστε την πτερωτή. Μετρήστε το διάκενο μεταξύ των ακροπτερυγίων της και του σώματος της αντλίας, χρησιμοποιώντας το ανάλογο filler. Επίσης, μετρήστε το διάκενο μεταξύ της πτερωτής και του περιβλήματός της (cover disc).
37. Επανασυναρμολογήστε τη βαλβίδα παράκαμψης και την ανακουφιστική βαλβίδα.
38. Μη συρματασφάλισετε πριν τη διενέργεια των τελικών δοκιμών της αντλίας.
39. Τοποθετήστε την αντλία στο ειδικό μηχάνημα ελέγχου της πίεσης.
40. Τοποθετήστε τάπες σε όλες τις παροχές της αντλίας εκτός από την οπή εισόδου του καυσίμου και την οπή αποστράγγισης.
41. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο που περιγράφεται στο εγχειρίδιο, εφαρμόστε ροή υγρού υπό πίεση στην αντλία. Δεν επιτρέπονται διαρροές παρά μόνο στην οπή αποστράγγισης και υπό ορισμένα όρια.
42. Στη συνέχεια, τοποθετήστε την αντλία στο μηχάνημα ροής για τη διαδικασία καθαρισμού των διόδων της από πιθανές επικαθίσεις.
43. Τέλος, πραγματοποιήστε λειτουργία της αντλίας και έλεγχο της πίεσης και της παροχής της. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για τις τιμές κανονικής λειτουργίας και τα όρια των επιτρεπόμενων αποκλίσεων από αυτές.

Εργαστηριακή άσκηση 1.9:

Πληροφορίες για τη σωστή διαχείριση των εδράνων κύλισης κατά τη διαδικασία συντήρησής τους

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να γνωρίζετε τις πρακτικές που ακολουθούνται κατά τη διαδικασία συντήρησης των εδράνων κύλισης. Οι πρακτικές αυτές περιλαμβάνουν τεχνικές πληροφορίες αλλά και οδηγίες για την αποτελεσματική προφύλαξη των εδράνων κατά τη διάρκεια της αποσυναρμολόγησης και της επιθεώρησής τους. Επίσης, αναφέρονται οδηγίες για τη σωστή αποθήκευσή τους σε περίπτωση μακράς παραμονής τους εκτός λειτουργίας.
- β) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιούν όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Στη συγκεκριμένη εργαστηριακή άσκηση θα μας απασχολήσουν τα έδρανα κύλισης (ρουλεμάν). Σε αυτά επιτυγχάνεται περιστροφή του τροφέα (του άξονα του οποίου υποστηρίζεται η περιστροφική κίνηση) ως προς το εξωτερικό μέρος του εδράνου. Αυτή πραγματοποιείται με την κύλιση των **στοιχείων κύλισης**. Κατά την κύλιση των στοιχείων αναπτύσσεται τριβή κύλισης.

Τα έδρανα κύλισης αποτελούνται από: το εξωτερικό δακτυλίδι, το εσωτερικό δακτυλίδι, τα στοιχεία κύλισης, τον κλωβό, τα καλύμματα των στοιχείων κύλισης (Σχήμα 1.33). Γενικά, ως κυλιόμενα στοιχεία χρησιμοποιούνται σφαίρες, κύλινδροι, κώνοι, βαρελοειδή και βελόνες (Σχήμα 1.34). Η θήκη (φωλιά) στην οποία τοποθετούνται τα ρουλεμάν μπορεί να είναι ολόσωμη ή διαιρούμενη. Γενικά, διακρίνονται σε ακτινικά και αξονικά καθώς και σε σταθερά (τα οποία απαιτούν καλή ευθυγράμμιση με τον άξονα) και αυτορυθμιζόμενα (χρησιμοποιούνται όταν οι γεωμετρικοί άξονες εδράνου και άξονα δε συμπίπτουν).

Η εφαρμογή των εδράνων κύλισης (Σχήμα 1.174) στην αεροπορική βιομηχανία είναι εκτεταμένη. Έχουν μικρό βάρος καθώς και μικρές διαστάσεις αξονικά. Παραλαμβάνουν σημαντικό φορτίο ανά μονάδα πλάτους. Επίσης, παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό απόδοσης λόγω χαμηλών απωλειών από τριβές και χαμηλή κατανάλωση λιπαντικού, η λειτουργία τους δεν εξαρτάται από το υλικό του άξονα που στηρίζουν και κατασκευάζονται σε τυποποιημένες διαστάσεις.

Δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι το μεγάλο κόστος αγοράς - στις αεροπορικές εφαρμογές, ο αυξημένος θόρυβος λειτουργίας και η αδυναμία να παραλάβουν κρουστικά φορτία. Ακόμη, τα έδρανα κύλισης δεν επισκευάζονται, δεν μπορούν να τοποθετηθούν σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος ακτινικά και απαιτούν πολύ προσεκτική τοποθέτηση, ώστε να μην καταστραφούν από τυχόν σφιχτή εφαρμογή τους.



Σχήμα 1.174 Ορισμένες κατηγορίες εδράνων κύλισης

Κατά την επιθεώρηση, τα ευρήματα που αιτιολογούν την απόρριψη των εδράνων κύλισης είναι τα ακόλουθα:

- Τμήματα σπασμένα, με ρωγμές (cracks), με παρουσία νιφάδων υλικού (flakes).
- Λυγισμένοι ή απανθρακωμένοι κλωβοί (cages) ή αύλακες (retainers).
- Μανδύες (shields) με οδοντώσεις (dents) σε μέγεθος που εμποδίζουν την κανονική περιστροφή ή επιτρέπουν την επικάθιση ξένων σωματιδίων.
- Καταπονήσεις που προξενούν εμφανείς μεταβολές στις αρχικές διαστάσεις των εδράνων.

Στις παρακάτω περιπτώσεις επιτρέπεται η επισκευή των εδράνων:

- Σημάδια σκουριάς σε εύκολα προσβάσιμες επιφάνειες.
- Επικαθίσεις βρωμιάς ή / και ξένων σωματιδίων.
- Μανδύες προστασίας ή δακτύλιοι στεγανότητας οι οποίοι είναι χαλαροί.

Απαιτούμενα μέσα

Για την πραγματοποίηση της παρούσας άσκησης απαιτούνται έδρανα κύλισης, εγχειρίδιο οδηγιών συντήρησης από την κατασκευάστρια εταιρεία, πά-

γκος εργασίας, γάντια χειρός. Καθώς ο σκοπός της άσκησης είναι να δώσει στο μαθητή την εικόνα των διαδικασιών που ακολουθούνται κατά τη συντήρηση των εδράνων κύλισης, δεν κρίνεται απαραίτητη η χρήση άλλων μέσων και εργαλείων.

Μέτρα ασφάλειας

Ακουλουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α. Μεριμνήστε ώστε να χρησιμοποιείτε πάντοτε τα προστατευτικά γάντια κατά την επαφή σας με τα έδρανα.

Πορεία εργασίας

Η πορεία εργασίας είναι αυτή που ακολουθείται γενικά σε επισκευαστικά κέντρα εδράνων κύλισης. Αναφέρονται, λοιπόν, οι διαδικασίες και οι εργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν σύμφωνα με τους κανονισμούς και τις πρακτικές που είναι διεθνώς αναγνωρισμένες. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τον προσδιορισμό της προδιαγραφής οποιοδήποτε μέσου απαιτηθεί στην πορεία εργασίας.

1. Τα έδρανα που θα ακολουθήσουν τις διαδικασίες της γενικής επισκευής, περνούν από μία προκαταρκτική επιθεώρηση και κατηγοριοποιούνται ως εξής:
 - A. Αυτά που φέρουν εμφανείς ζημιές και είναι πέραν από κάθε επισκευή.
 - B. Αυτά που η κατάστασή τους επιβάλλει επισκευή.
 - Γ. Αυτά που η κατάστασή τους επιβάλλει περαιτέρω επιθεώρηση, και
 - Δ. Αυτά που απαιτούν μόνο καθαρισμό.
2. Τα έδρανα πρέπει να τυγχάνουν ιδιαίτερα προσεκτικής μεταχείρισης σε όλα τα στάδια της γενικής επισκευής. Για την αφαίρεσή τους από τον κινητήρα χρησιμοποιούνται ειδικά εργαλεία τα οποία προδιαγράφονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής. Στη συνέχεια, επικαλύπτονται με λάδι προστασίας, τοποθετούνται σε ειδικό επικαλυπτικό μέσο συσκευασίας στο οποίο αναγράφεται η ονομασία του εδράνου και μεταφέρονται στο συνεργείο επισκευής εδράνων.
3. Κατά την αφαίρεση του επικαλυπτικού μέσου συσκευασίας πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε κάθε έδρανο να διατηρήσει τα διακριτικά του στοιχεία.

4. Αρχικά, ακολουθείται η διαδικασία του απομαγνητισμού (demagnetization) του εδράνου. Σκοπό έχει την εξουδετέρωση της υπολειπόμενης ποσότητας μαγνητισμού, που έχει δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του εδράνου, η οποία θα προκαλεί την προσκόλληση σιδηρούχων σωματιδίων στα μεταλλικά μέρη του εδράνου.
5. Ακολουθεί μία διαδικασία μπάνιου (soak) του εδράνου σε διάλυμα λαδιού. Με τον τρόπο αυτόν, οι ποσότητες γράσου, επικαθήμενων ξένων σωματιδίων, επικαλυπτικών προστατευτικών ουσιών και λαδιού μαλακώνουν και απομακρύνονται ευκολότερα σε επόμενη διαδικασία που θα δούμε παρακάτω. Το χρονικό διάστημα του μπάνιου ποικίλλει από 30 λεπτά έως και κάποιες ώρες. Συνήθως, τα διαλύματα που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία αυτή είναι τοξικά. Εφιστάται, λοιπόν, η προσοχή κατά τη χρήση τους, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.
6. Στη συνέχεια, εκτελούνται διεργασίες αρχικού καθαρισμού του εδράνου. Χρησιμοποιείται διαλύτης σε υγρή μορφή (solvent wash) ή σε μορφή σπρέυ (spray wash) - πρακτική που θεωρείται πιο αποτελεσματική. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κατασκευαστή για την πρακτική καθαρισμού που ακολουθείται για τα έδρανα του συγκεκριμένου κινητήρα.
7. Μία επιπρόσθετη διαδικασία καθαρισμού είναι αυτή με τη χρήση ατμού (vapor degreasing). Επιτυγχάνει την απομάκρυνση καταλοίπων λαδιού και γράσων που δεν απομακρύνθηκαν κατά τη διάρκεια του αρχικού καθαρισμού. Χρησιμοποιείται ειδικό μηχάνημα, το οποίο παράγει ατμούς. Το έδρανο έρχεται σε επαφή με τους ατμούς και όχι με το υγρό από το οποίο προήλθαν. Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές για να επιτευχθεί καλύτερο αποτέλεσμα, αρκεί να προβλέπεται ενδιάμεσο διάστημα ψύξης του εδράνου. Η χρήση ατμού επιβάλλεται στην περίπτωση που το έδρανο δεν έχει καθαρίσει πλήρως κατά τις διαδικασίες αρχικού καθαρισμού που προηγήθηκαν.
8. Μετά το πλύσιμο του εδράνου δημιουργούνται κάποιες κατακαθίσεις (έχουν τη μορφή βρωμιάς ή κόλλας) από το χρησιμοποιούμενο καθαριστικό μέσο. Για το λόγο αυτόν, είναι απαραίτητη μία τελική **απόπλυση (solvent rinse)** των μερών του εδράνου με αυτές τις ενδείξεις. Χρησιμοποιείται διαλύτης όμοιος με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία

- σία του καθαρισμού που προηγήθηκε. Τονίζεται, ότι μετά τη διαδικασία του καθαρισμού, το φιλμ προστασίας που πάντοτε υπάρχει στην επιφάνεια του εδράνου θα έχει αφαιρεθεί. Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος της διάβρωσης, πρέπει να προστεθεί ποσότητα λαδιού (3% έως 5% κατ' όγκο) στο διάλυμα καθαρισμού, πριν την τελευταία εφαρμογή του στο έδρανο, ώστε να δημιουργηθεί νέο φιλμ προστασίας.
9. Ακολουθεί η διαδικασία στεγνώματος (dry) με την οποία αφαιρείται οποιαδήποτε ποσότητα διαλύτη τυχόν έχει παραμείνει σε κάποιο σημείο του εδράνου. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται στεγνός, θερμός, καθαρός, πεπιεσμένος αέρας (που διέρχεται από σειρά φίλτρων). Παράλληλα, το προστατευτικό φιλμ της επιφάνειας των εδράνων πρέπει να μείνει αναλλοίωτο.
 10. Μία εναλλακτική μέθοδος στεγνώματος είναι η τοποθέτηση του εδράνου σε φούρνους όπου αναπτύσσεται θερμοκρασία έως 120°C. Επίσης, στα βελονοειδή έδρανα εφαρμόζεται η μέθοδος του μπάνιου λαδιού, όπου χρησιμοποιείται φιλτραρισμένο λάδι όμοιο με αυτό του εδράνου και η θερμοκρασία του οποίου κυμαίνεται από 105°C έως 120°C.
 11. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η διαδικασία βασικού καθαρισμού του εδράνου. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κατασκευαστή για την επιλογή του τρόπου και της διαδικασίας καθαρισμού που πρέπει να εφαρμοστούν στα έδρανα του κινητήρα του οποίου τη γενική επισκευή πραγματοποιείτε.
 12. Τελικά, το έδρανο θα αποσυναρμολογηθεί. Η διαδικασία εξαρτάται από το είδος του εδράνου και τα μέρη στα οποία συνίσταται. Η ευαισθησία του εδράνου σε τραυματισμούς είναι μεγάλη. Τονίζεται ότι πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά την αποσυναρμολόγηση, ώστε τα μέρη του κάθε εδράνου να διατηρούνται μαζί, για να αποφευχθεί τυχόν μείξη με μέρη άλλου εδράνου. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής ώστε να εξακριβώσετε αν υπάρχουν έδρανα των οποίων η αποσυναρμολόγηση δεν επιτρέπεται λόγω ιδιαιτερότητας της κατασκευής τους. Ακόμη, στο εγχειρίδιο θα βρείτε πληροφορίες για τα έδρανα τα οποία δεν επισκευάζονται, ανεξάρτητα από την κατάσταση στην οποία βρίσκονται, αλλά σε κάθε γενική επισκευή αποδεσμεύονται και χρησιμοποιούνται καινούργια στη θέση τους.
 13. Μετά την αποσυναρμολόγηση ξεκινούν προκαταρκτικές εργασίες για την

επιθεώρηση του εδράνου. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τις συγκεκριμένες εργασίες που απαιτούνται. Γενικά, πραγματοποιούνται στίλβωση (buffing) και γυάλισμα (polishing) στα αποσυναρμολογημένα μέρη του εδράνου.

14. Στη συνέχεια, το έδρανο επιθεωρείται οπτικά. Το εγχειρίδιο γενικής επισκευής περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για το χαρακτηρισμό της κατάστασης του εδράνου. Η εμπειρία πιστοποιεί ότι τα ευρήματα στα έδρανα προέρχονται, σε ποσοστό 95% περίπου, από κακή τοποθέτηση κατά τις εργασίες συναρμολόγησης στον κινητήρα και άσχημες συνθήκες λειτουργίας του. Ένα χαρακτηριστικό, κοινό σε όλους τους διαφορετικούς τύπους, των εδράνων κύλισης είναι ότι οι φθορές που θα δημιουργήσουν, μελλοντικά, πρόβλημα στη λειτουργία τους μπορούν να εντοπισθούν κατά την οπτική επιθεώρηση. Σε μία τέτοια περίπτωση ακολουθεί διαστασιολογικός έλεγχος για την εξακρίβωση των ορίων της φθοράς, της κατάλληλης επισκευής και το χαρακτηρισμό του εδράνου ως λειτουργικού ή μη, πάντα μέσα στα πλαίσια του οικείου εγχειριδίου γενικής επισκευής. Στην περίπτωση όπου κάποιο από τα επιμέρους τμήματα ενός αποσυναρμολογημένου εδράνου χαρακτηριστεί μη επισκευάσιμο, τότε επιβάλλεται η αντικατάσταση ολόκληρου του εδράνου με καινούριο. Στα σχήματα του Παραρτήματος (σελίδα 227) παρουσιάζονται οι φθορές που μπορεί κάποιος να συναντήσει στα έδρανα κύλισης κατά την επιθεώρησή τους.
15. Οι πρακτικές επισκευές έπονται της επιθεώρησης. Καλύπτουν κάποια όρια των φθορών που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης, σύμφωνα με το εγχειρίδιο της γενικής επισκευής. Οι εργασίες επισκευής περιλαμβάνουν (ανάλογα με το είδος και την έκταση της φθοράς) στίλβωση, γυάλισμα, επιμετάλλωση, επιχρωμίωση, επινικέλωση. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται καθαρισμός των επισκευασμένων μερών.
16. Η τελική κατάσταση ενός εδράνου που έχει υποστεί επισκευή, ελέγχεται με δοκιμή σκληρότητας σε συγκεκριμένα μέρη του. Επίσης, πραγματοποιείται ηχητικός έλεγχος των επισκευασμένων μερών για την εξακρίβωση της κατάστασής τους.
17. Όταν ένα έδρανο χαρακτηριστεί ως κατάλληλο για χρήση, ανεξάρτητα αν η επιθεώρηση του υπέδειξε την ανάγκη εργασιών επισκευής ή όχι,

τότε πραγματοποιούνται μετρήσεις των ανοχών του. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο της γενικής επισκευής για τον καθορισμό των διαστάσεων που πρέπει να καθοριστούν και τον τρόπο με τον οποίο αυτό επιτυγχάνεται. Συνήθως, μετρούνται οι **ακτινικές** και **αξονικές ανοχές (radial play, axial play** - “παίξιμο”), η **γωνία επαφής (contact angle)** του στοιχείου κύλισης με τον κλωβό, ενώ πραγματοποιούνται και μετρήσεις **επιπεδότητας (flatness)**. Στα ακόλουθα Σχήματα παρουσιάζονται κάποιες πρακτικές μέτρησης μεγεθών στα έδρανα κύλισης.

18. Κάθε έδρανο που χαρακτηρίζεται εύχρηστο, κατηγοριοποιείται και λαμβάνει συγκεκριμένους χαρακτηριστικούς αριθμούς, σύμφωνα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του (ανοχές, τελικές διαστάσεις μετά την επισκευή) και, πάντα, ανάλογα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
19. Τελικά, μετά και την κατηγοριοποίηση του εδράνου, πραγματοποιούνται οι διαδικασίες **διατήρησης (preservation)** με την εφαρμογή κατάλληλου ελαίου, συσκευασίας και αποθήκευσης. Οδηγίες για τις παραπάνω διαδικασίες δίνονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κατασκευαστή, οι οποίες βασίζονται σε πρότυπα που εφαρμόζονται διεθνώς.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται είδη φθορών που συναντούνται κατά την επιθεώρηση των εδράνων κύλισης. Διατηρείται η αγγλική ορολογία των φθορών καθώς έχει επικρατήσει διεθνώς.



Σχήμα 1.175 Cracks - Ρωγμές



(α)

(β)

Σχήμα 1.176 (α) Cage deformation - Παραμόρφωση κλωβού, (γ) False brinelling - Χαρακτηριστική φθορά εδράνων κύλισης



Σχήμα 1.177 Flaking - Αποφλοίωση



(α)

(β)

(γ)

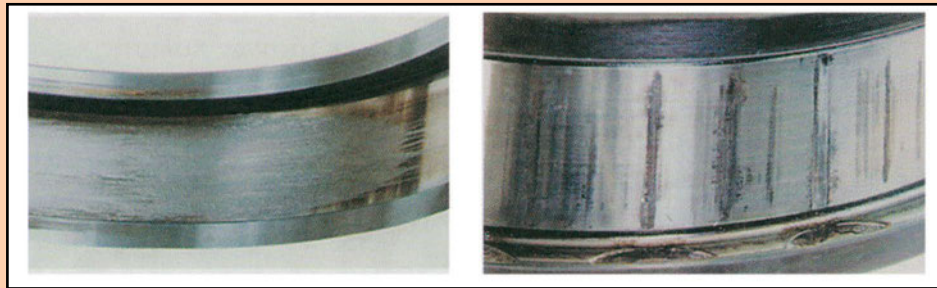
Σχήμα 1.178 (α) και (β) Peeling - Αποφλοίωση, (γ) Pitting - Κρατήρες



Σχήμα 1.179 Fracture - Θραύση



Σχήμα 1.180 Fretting - Φθορά από τριβή



(α)

(β)

Σχήμα 1.181 (α) Smearing - Θαμπάδα, (β) Wear - Φθορά



(α)

(β)

Σχήμα 1.182 (α) Rust & corrosion - Οξείδωση, (β) Scoring - Σκωρίαση

Εργαστηριακή άσκηση 1.10:

Αφαίρεση κυλίνδρων, επιθεώρηση, επανατοποθέτηση

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

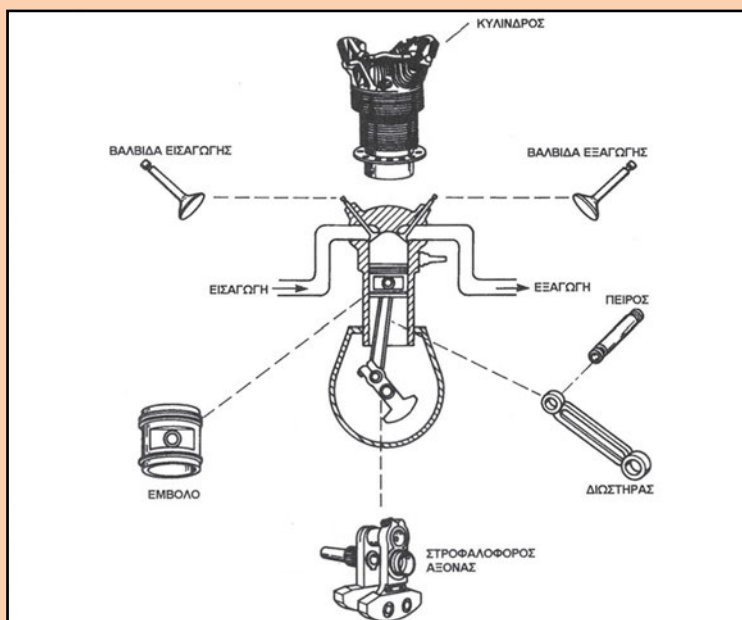
α) Να αντικαθιστάτε κυλίνδρους.

β) Να εκτιμάτε την κατάσταση των κυλίνδρων.

γ) Να αφαιρείτε έμβολα.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Στο Σχήμα 1.183 φαίνεται η συνδεσμολογία των βασικών μερών του εμβολοφόρου κινητήρα, των οποίων οι εργασίες αποσυναρμολόγησης αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας άσκησης.



Σχήμα 1.183 Η συνδεσμολογία των βασικών μερών του εμβολοφόρου κινητήρα

Απαιτούμενα μέσα

Η παρούσα άσκηση παρέχει γενικές οδηγίες για την αφαίρεση, επιθεώρηση, επανατοποθέτηση κυλίνδρων, εμβόλων και βαλβίδων. Απαιτούνται τα ακόλουθα έγγραφα, μέσα και εργαλεία:

- εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κινητήρα,
- τυπικά (κατσαβίδια, τανάλιες, κλειδιά) και ειδικά εργαλεία, τα οποία προδιαγράφονται στο παραπάνω εγχειρίδιο,
- ειδικός φορέας κυλίνδρων,

- επαρκείς πάγκοι εργασίας,
- μεγεθυντικός φακός και καλός φωτισμός για την επιθεώρηση,
- γάντια χειρός,
- γυαλιά προστασίας.

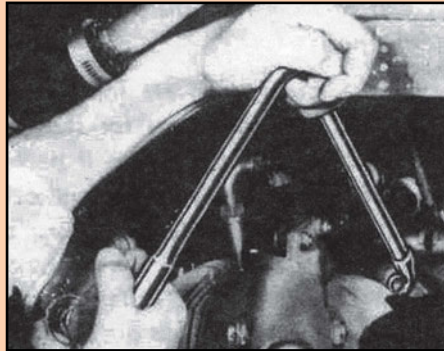
Μέτρα ασφαλείας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφαλείας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

Πορεία εργασίας

ΦΑΣΗ Α': Αφαίρεση κυλίνδρου

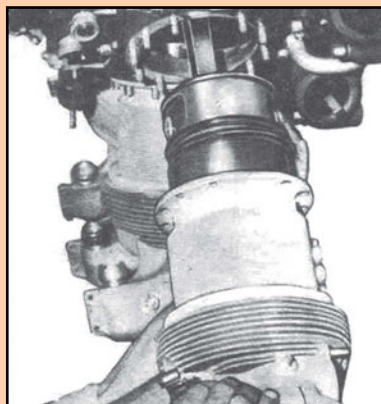
1. Βεβαιωθείτε ότι το έμβολο του κυλίνδρου που πρόκειται να αφαιρεθεί, βρίσκεται στο ΑΝΣ.
2. Αφαιρέστε τους κοχλίες συγκράτησης, ακολουθώντας αυστηρά τη σειρά αφαίρεσης που υποδεικνύει ο κατασκευαστής (Σχήμα 1.184).



Σχήμα 1.184 Αφαίρεση κοχλιών συγκράτησης

3. Συγκρατήστε τον κύλινδρο με τα δύο χέρια, πριν από την αφαίρεση του τελευταίου κοχλία συγκράτησης (Σχήμα 1.185). Τοποθετήστε τον κύλινδρο σε λευκό απορροφητικό χαρτί πάνω σε πάγκο εργασίας.
4. Τοποθετήστε τον κύλινδρο στον ειδικό φορέα για την αποφυγή ζημιάς στα πτερύγια ή στις φλάντζες.
5. Αφαιρέστε τον πείρο του εμβόλου και στη συνέχεια το έμβολο, προσέχοντας να μην προκαλέσετε ζημιά στο στροφαλοθάλαμο.

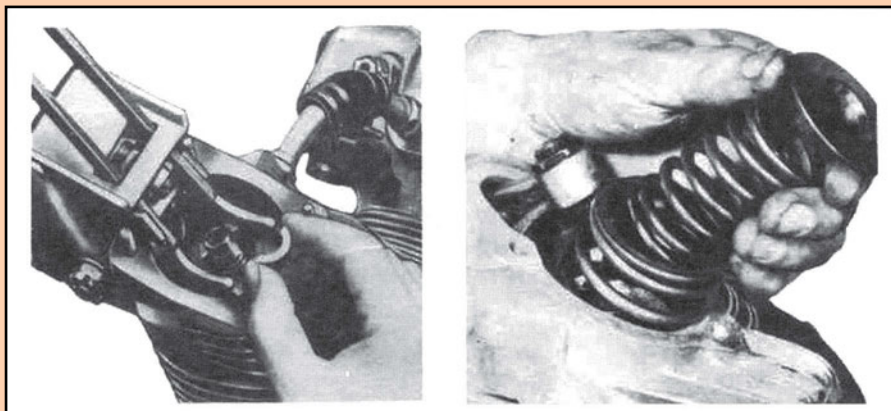
6. Τοποθετήστε το έμβολο και τον πείρο στον κατάλληλο φορέα.
7. Ασφαλίστε το διωστήρα, προσαρμόζοντας τον κατάλληλο συγκρατητή (holder).



Σχήμα 1.185 Αφαίρεση κυλίνδρου

ΦΑΣΗ Β': Αποσυναρμολόγηση βαλβίδων και ελατηρίων

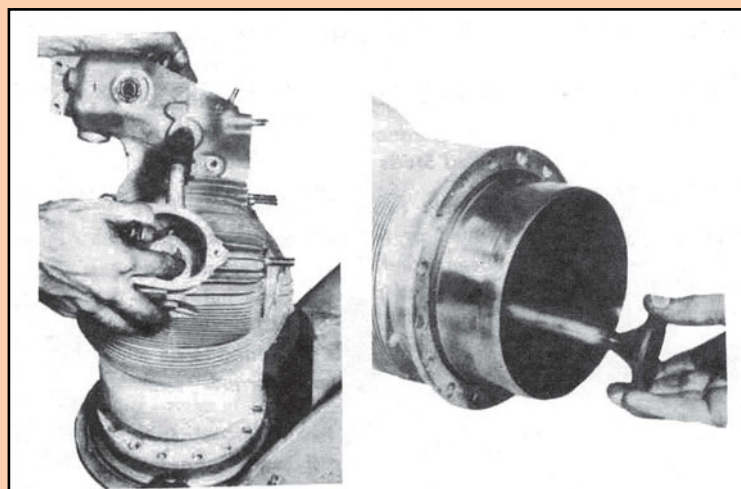
1. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες αποσυναρμολόγησης, που παρέχονται από τον κατασκευαστή.
2. Αναγνωρίστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία, τα οποία απαιτούνται και βεβαιωθείτε ότι είναι διαθέσιμα.
3. Καθαρίστε προσεκτικά τον πάγκο εργασίας.
4. Καλύψτε τον πάγκο με λευκό απορροφητικό χαρτί.
5. Βεβαιωθείτε ότι ο κύλινδρος είναι τοποθετημένος στον κατάλληλο φορέα.
6. Συμπιέστε τα ελατήρια των βαλβίδων με το κατάλληλο εργαλείο και αφαιρέστε τις ασφάλειες, τις πάνω ροδέλες και τα ελατήρια από το κάλυμμα του ζυγού (Σχήμα 1.186).
7. Αφαιρέστε τις κάτω ροδέλες χρησιμοποιώντας μυτερή τανάλια (Σχήμα 1.187).
8. Ανασηκώστε τον κύλινδρο από τη βάση του και τραβήξτε τις βαλβίδες (Σχήμα 1.188). Προσέξτε να μην χτυπήσουν οι βαλβίδες τα τοιχώματα του κυλίνδρου.



Σχήμα 1.186 Αφαίρεση ασφαλειών και ροδελών



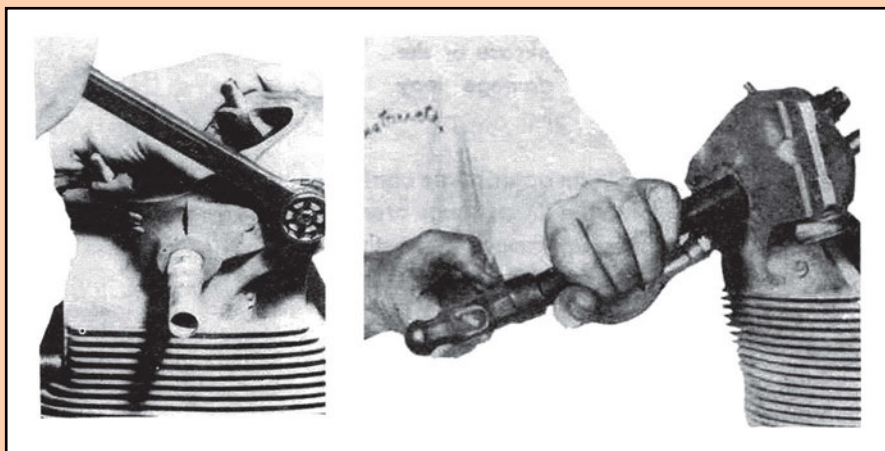
Σχήμα 1.187 Αφαίρεση ροδελών με τανάλια



Σχήμα 1.188 Ανύψωση κυλίνδρου και αφαίρεση βαλβίδας

ΦΑΣΗ Γ': Αφαίρεση ζυγών (κοκκοράκια) και εδράνων τους

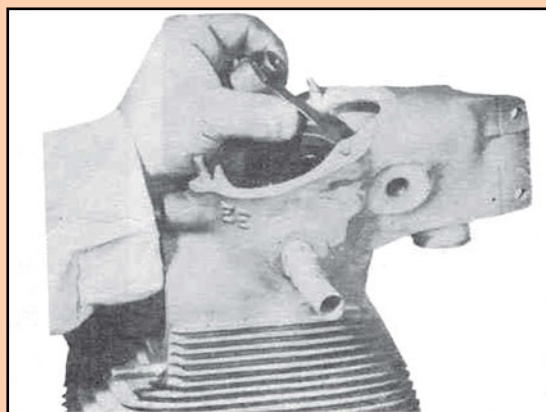
1. Αφαιρέστε τα περικόχλια συγκράτησης και σπρώξτε τον άξονα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.189.
2. Ανασηκώστε το κοκκοράκι (Σχήμα 1.190).
3. Για την αφαίρεση του εδράνου τοποθετήστε το, προσαρμοσμένο σε ειδική βάση, κοκκοράκι στην υδραυλική πρέσσα (arbor press), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.191.



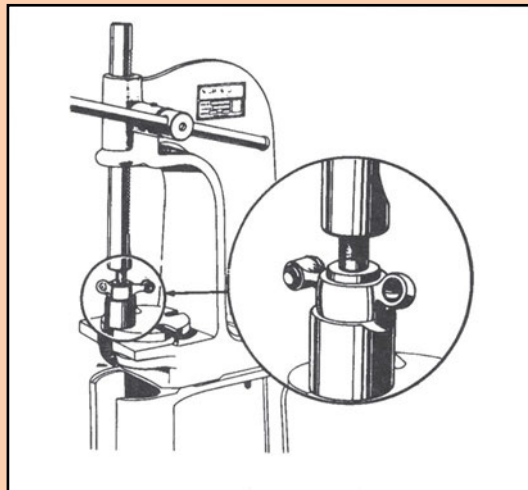
(α)

(β)

Σχήμα 1.189 Αφαίρεση (α) περικοχλίου και (β) άξονα



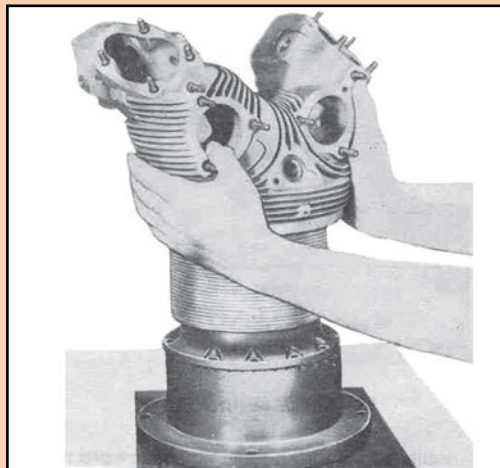
Σχήμα 1.190 Αφαίρεση ζυγού



Σχήμα 1.191 Αφαίρεση εδράνου ζυγού

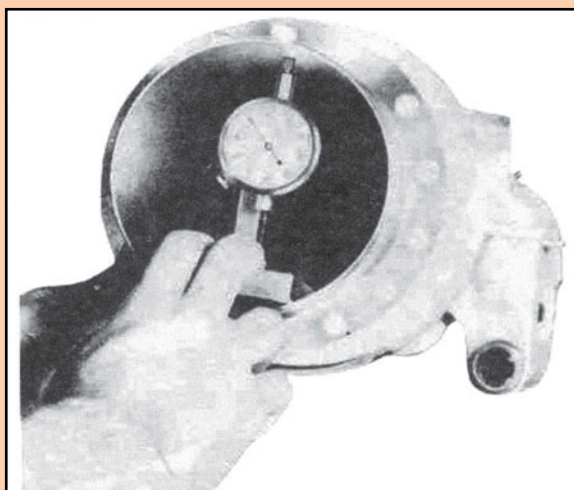
ΦΑΣΗ Δ': Επιθεώρηση κυλίνδρων

1. Ελέγξτε την επιπεδότητα και την καθετότητα της φλάντζας. Συγκρίνετε τις μετρήσεις σας με τις απαιτήσεις του εγχειριδίου του κινητήρα.



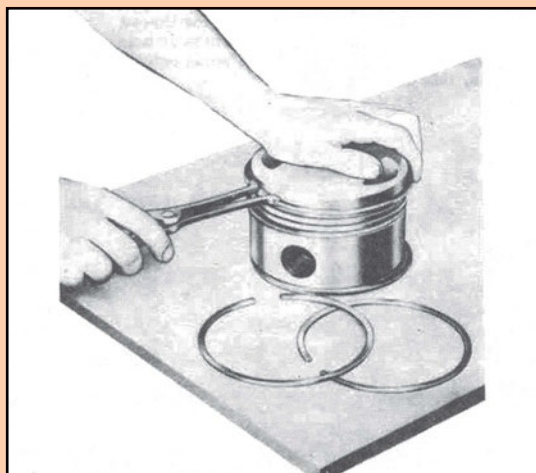
Σχήμα 1.192 Αποκατάσταση επιπεδότητας φλάντζας (lapping)

2. Συζητήστε με τον επιβλέποντα τις διαδικασίες αποκατάστασης της επιπεδότητας και της καθετότητας της φλάντζας (Σχήμα 1.192).
3. Επιθεωρήστε την εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου για φθορά, ιδιαίτερα στην οπίσθια περιοχή.



Σχήμα 1.193 Μέτρηση οβαλότητας κυλίνδρου

4. Μετρήστε την οβαλότητα του κυλίνδρου, (Σχήμα 1.193). Συγκρίνετε τη μέτρηση με την τιμή που προδιαγράφεται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής.
5. Ελέγξτε τον κύλινδρο για άλλες φθορές (όπως ρωγμές, σπασμένα πτερύγια ψύξης).



Σχήμα 1.194 Αφαίρεση δακτυλίου εμβόλου

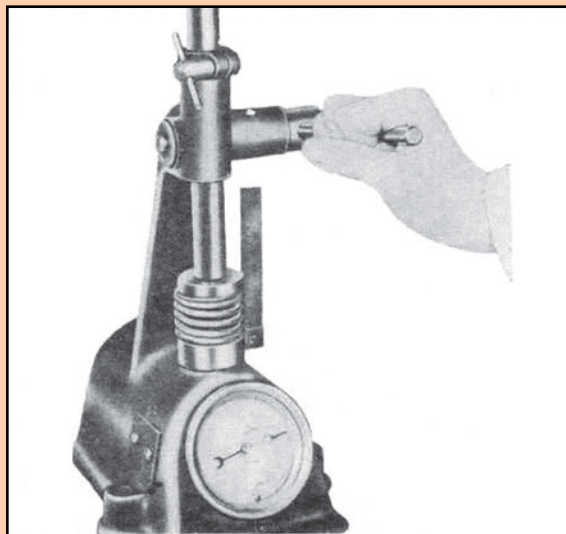
ΦΑΣΗ Ε': Επιθεώρηση εμβόλων, ζυγών, βαλβίδων

1. Αφαιρέστε τα ελατήρια των εμβόλων, (Σχήμα 1.194).
2. Καθαρίστε τους αύλακες των ελατηρίων (Σχήμα 1.195).



Σχήμα 1.195 Καθαρισμός περιοχής δακτυλίων

3. Επιθεωρήστε τα έμβολα, τους πείρους και τους ζυγούς σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.



Σχήμα 1.196 Έλεγχος ελατηρίων βαλβίδων

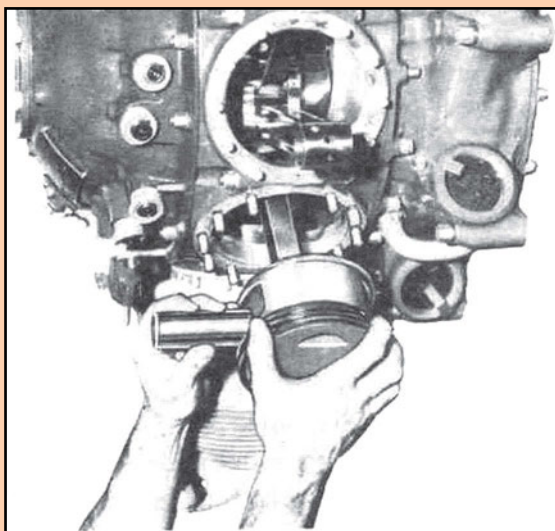
4. Ελέγξτε την κατάσταση των ελατηρίων των βαλβίδων, χρησιμοποιώντας την ειδική συσκευή, η οποία προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή (Σχήμα 1.196).

ΦΑΣΗ ΣΤ': Συναρμολόγηση ζυγών

1. Τοποθετήστε τα έδρανα στους ζυγούς.

2. Περάστε σε κάθε ζυγό, ο οποίος έχει τοποθετηθεί στην θέση του στον κύλινδρο, τον άξονά του.
3. Βιδώστε και ροπομετρήστε τους κοχλίες συγκράτησης του άξονα. Σημειώστε ιδιαίτερες τις απαιτήσεις του κατασκευαστή για τοποθέτηση καινούργιων παρεμβυσμάτων και εν γένει στεγανοποιητικών.
4. Τοποθετήστε τις βαλβίδες και τα ελατήρια στους κυλίνδρους, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Προσέξτε ιδιαίτερα τα βήματα της τοποθέτησης για την αποφυγή πρόκλησης ζημιάς σε αυτές, ή στον κύλινδρο.

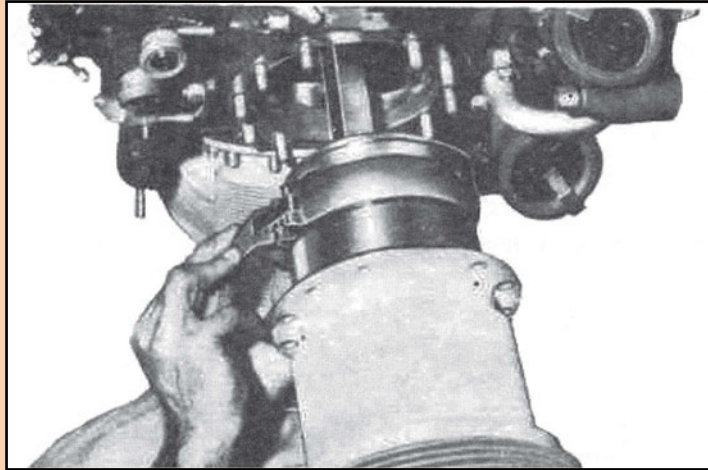
ΦΑΣΗ Ζ': Τοποθέτηση κυλίνδρων και εμβόλων.



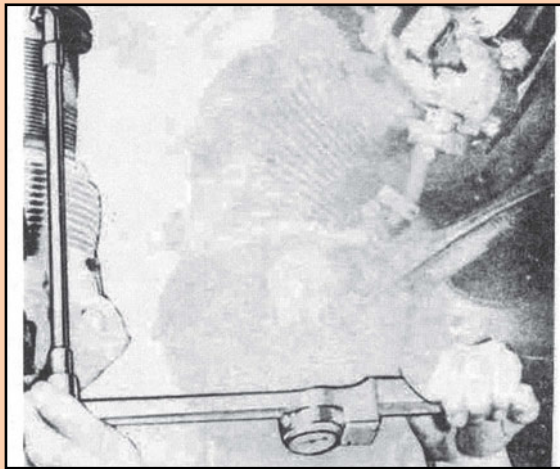
Σχήμα 1.197 Τοποθέτηση εμβόλου

1. Ακολουθήστε τη σειρά τοποθέτησης που υποδεικνύει ο κατασκευαστής, σε περίπτωση κατά την οποία έχουν αφαιρεθεί περισσότεροι από ένας κύλινδροι.
2. Τοποθετήστε το έμβολο και τον πείρο (Σχήμα 1.197).
3. Αφαιρέστε το ειδικό εργαλείο που συγκρατεί το διωστήρα.
4. Τοποθετήστε τον κύλινδρο, χρησιμοποιώντας τα απαραίτητα ειδικά εργαλεία για την καλή τοποθέτηση του εμβόλου σε αυτόν (Σχήμα 1.198).

5. Συσφίγξτε τα περικόχλια συγκράτησης με τη σειρά και εφαρμόζοντας τη ροπή που προβλέπει ο κατασκευαστής (Σχήμα 1.199).
6. Εκτελέστε τους απαραίτητους διαστατικούς ελέγχους και μετρήσεις για την επιβεβαίωση της επιτυχούς συναρμογής.



Σχήμα 1.198 Τοποθέτηση κυλίνδρου



Σχήμα 1.199 Περικόχλια συγκράτησης

Εργαστηριακή άσκηση 1.11:

Ρύθμιση διάκενου βαλβίδων

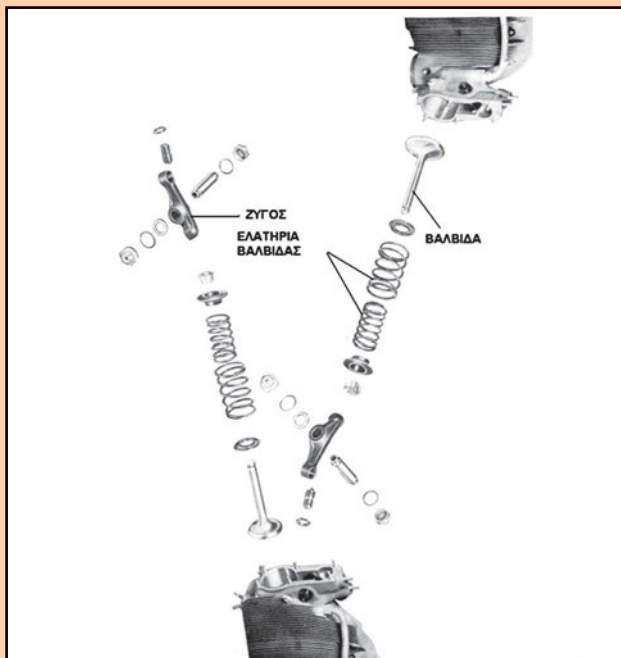
Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να ρυθμίζετε το διάκενο των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής ενός αεροπορικού, εμβολοφόρου, τετράχρονου, βενζινοκινητήρα, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο οδηγιών γενικής επισκευής του κατασκευαστή.
- β) Να ελέγχετε την ορθότητα των προαναφερομένων ρυθμίσεων.
- γ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιούν όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Ο μηχανισμός κίνησης των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής φαίνεται στο Σχήμα 1.46α, ενώ στο Σχήμα 1.200 παρουσιάζονται τα εξαρτήματα που τον αποτελούν, εκτός από τον εκκεντροφόρο άξονα.

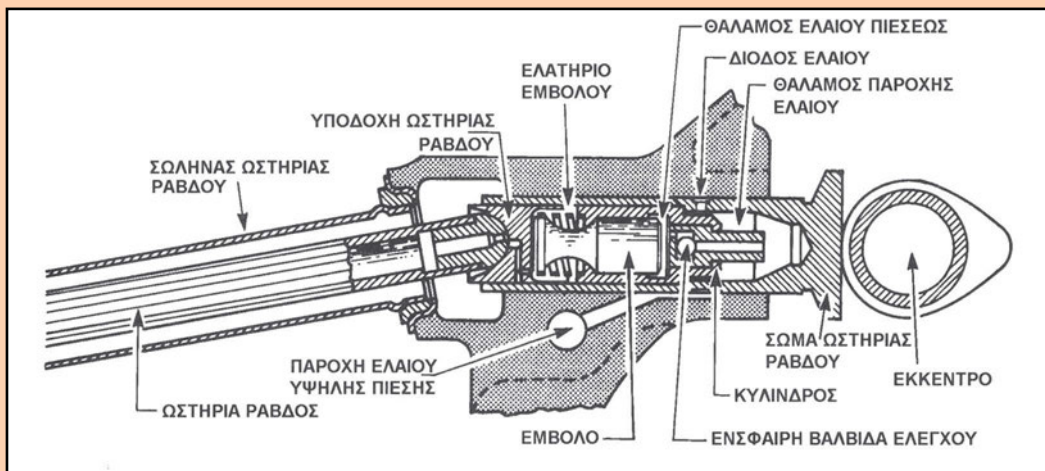


Σχήμα 1.200 Εξαρτήματα του μηχανισμού κίνησης των βαλβίδων

Η κίνηση των βαλβίδων επιτυγχάνεται με την κίνηση του εκκεντροφόρου άξονα - ή της εκκεντροφόρου πλάκας για ορισμένους κινητήρες. Αυτά παίρνουν

κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα και προκαλούν την κίνηση των ελατηρίων που κρατούν τις βαλβίδες κλειστές. Κάθε ένα από τα έκκεντρα αντιστοιχεί σε μία βαλβίδα. Το σχήμα του λοβού και των πλευρών του έκκεντρου καθορίζει την ταχύτητα ανοίγματος και κλεισίματος της βαλβίδας καθώς και τη διάρκεια ανοίγματός της. Μεταξύ του έκκεντρου και της βαλβίδας παρεμβάλλονται η ανυψωτική ράβδος, η ωστήρια ράβδος και ο ζυγός (ή κοκκοράκι), που μεταφέρουν την κίνηση από τα έκκεντρα προς το στέλεχος της βαλβίδας. Σε κάποιους κινητήρες, ο έκκεντροφόρος άξονας τοποθετείται σε σημείο υψηλότερο από τις βαλβίδες (έκκεντροφόρος επί κεφαλής) οπότε η μετάδοση της κίνησης γίνεται απ' ευθείας.

Σε κάθε βαλβίδα πρέπει να υπάρχει μία απόσταση μεταξύ του ζυγού και του στελέχους της, το **διάκενο (clearance)** της βαλβίδας. Η απουσία του μπορεί να προκαλέσει εμπόδιο στο σωστό κάθισμα της βαλβίδας, όταν αυτή είναι κλειστή. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη μη κανονική λειτουργία του κινητήρα και, τελικά, την αστοχία της βαλβίδας. Κάποιοι κινητήρες είναι εφοδιασμένοι με υδραυλικές ανυψωτικές ράβδους, οπότε η ύπαρξη διακένου δεν υφίσταται καθώς δεν είναι αναγκαία (Σχήμα 1.201).



Σχήμα 1.201 Υδραυλικός μηχανισμός κίνησης βαλβίδων

Το διάκενο και ο χρονισμός των βαλβίδων, ιδιαίτερα αυτών της εξαγωγής, παίζουν σημαντικό ρόλο στα ποσά της θερμότητας που απορρίπτει ένας κινητήρας. Αν η βαλβίδα εξαγωγής δεν ανοίγει κανονικά, τα καυσαέρια δεν απομακρύνονται από τον κύλινδρο τη στιγμή που πρέπει. Σαν αποτέλεσμα παρατηρούνται αυξημένες θερμοκρασίες στα τοιχώματα του κυλίνδρου. Αντίθετα, η βαλβίδα εξαγωγής θα πρέπει να παραμένει κλειστή για όσο χρονικό διά-

στημα είναι σχεδιασμένη, ώστε να επιτυγχάνεται μετάδοση θερμότητας από την κεφαλή στην έδρα της. Διαφορετικά, η παρουσιαζόμενη υπερθέρμανση στην κεφαλή θα επέφερε παραμόρφωση της περιοχής ή κάψιμο. Διάκενο με μικρότερες τιμές από ό,τι είναι σχεδιασμένο δεν επιτρέπει τη σωστή έδραση της βαλβίδας. Αντίθετα, μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες τιμές διακένου οδηγούν στη μείωση του χρόνου ανοίγματος της βαλβίδας και της επικάλυψής τους.

Ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα διακρίνουμε το **ψυχρό διάκενο (cold clearance)** και το **θερμό διάκενο (hot clearance)**. Συνήθως, το πρώτο παίρνει πολύ μικρότερες τιμές από το δεύτερο (εκτός από την περίπτωση όπου ο κινητήρας φέρει εκκεντροφόρο άξονα επί κεφαλής). Η διαφορά αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι ο κύλινδρος αναπτύσσει πολύ μεγαλύτερες θερμοκρασίες από αυτές που λαμβάνει η ωστήρια ράβδος, που σημαίνει ότι παρουσιάζει μεγαλύτερες διαστολές. Πρακτικά, αυτό “μικραίνει” την ωστήρια ράβδο και δημιουργεί ένα κενό μεταξύ της ράβδου και του ζυγού ή μεταξύ του ζυγού και του στελέχους της βαλβίδας. Το θερμό διάκενο μπορεί να λάβει τιμές έως και 0,070in ενώ το ψυχρό φτάνει μέχρι 0,010in.

Απαιτούμενα μέσα

Για την πραγματοποίηση της παρούσας άσκησης απαιτείται κινητήρας του προαναφερόμενου τύπου, περιστρεφόμενη κλίνη για την τοποθέτησή του, εγχειρίδιο οδηγιών γενικής επισκευής από την κατασκευάστρια εταιρεία, καθώς και τα ακόλουθα έγγραφα, μέσα και εργαλεία:

- 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.

Μέτρα ασφάλειας

Ακουλουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

Πορεία εργασίας

1. Καθαρίστε προσεκτικά τον πάγκο εργασίας.

2. Καλύψτε τον πάγκο με λευκό απορροφητικό χαρτί.
3. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες που παρέχονται από τον κατασκευαστή όσον αφορά τη διαδικασία ρύθμισης του διακένου των βαλβίδων.
4. Αναγνωρίστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία, τα οποία απαιτούνται και βεβαιωθείτε ότι είναι διαθέσιμα.
5. Αφαιρέστε το κάλυμμα από το ζυγό του μηχανισμού κίνησης των βαλβίδων, τα παρεμβύσματα στεγανότητας που υπάρχουν και τον ένα σπινθηριστή από τον κάθε κύλινδρο. Σημειώστε ότι τα διάκενα των βαλβίδων ρυθμίζονται σύμφωνα με τη σειρά έναυσης των κυλίνδρων.
6. Στην περίπτωση που ο κινητήρας στον οποίο εργάζεστε λειτουργεί με εκκεντροφόρο άξονα και όχι πλάκα, τοποθετήστε στον Νο 1 κύλινδρο τον ειδικό ενδείκτη προσδιορισμού του ΑΝΣ.
7. Περιστρέψτε το στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα κατά τη φορά λειτουργίας του μέχρι το έμβολο του Νο 1 κυλίνδρου φτάσει στο ΑΝΣ της φάσης συμπίεσης (οι δύο βαλβίδες πρέπει να είναι κλειστές).
8. Τοποθετήστε τη λεπίδα μέτρησης (φίλλερ) που καθορίζει το βιβλίο του κατασκευαστή μεταξύ του στελέχους της βαλβίδας και του ρυθμιστικού κοχλίου των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής του Νο 1 κυλίνδρου.
9. Στην περίπτωση που το φίλλερ δεν ταιριάζει, ξεβιδώστε την ασφάλεια του ρυθμιστικού κοχλίου τρεις ή τέσσερις βόλτες. Χρησιμοποιώντας ειδικό εργαλείο - οδηγό, το οποίο υποδεικνύεται στο βιβλίο του κατασκευαστή, ρυθμίστε το ρυθμιστικό κοχλίο με τρόπο τέτοιο ώστε να υπάρξει μία ανεπαίσθητη πίεση στο φίλλερ. Βιδώστε την ασφάλεια του ρυθμιστικού κοχλίου στη θέση αυτή εφαρμόζοντας την κατάλληλη τιμή ροπής.
10. Ρυθμίστε τα διάκενα των βαλβίδων των υπόλοιπων κυλίνδρων ακολουθώντας την ίδια διαδικασία και κατά τη σειρά έναυσης των κυλίνδρων.
11. Στην περίπτωση που ο κινητήρας στον οποίο εργάζεστε, λειτουργεί με εκκεντροφόρο πλάκα πρέπει να ακολουθήσετε διαφορετική διαδικασία (βήματα 12 έως 19), ώστε ρύθμιση του διακένου να πραγματοποιείται σε ειδική θέση της πλάκας ως προς τον κύλινδρο που ρυθμίζεται.

12. Τοποθετήστε στον Νο 1 κύλινδρο τον ειδικό ενδείκτη προσδιορισμού του ΑΝΣ.
13. Περιστρέψτε το στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα κατά τη φορά λειτουργίας του μέχρι το έμβολο του Νο 1 κυλίνδρου φτάσει στο ΑΝΣ της φάσης εξαγωγής.
14. Χρησιμοποιήστε τα ειδικά εργαλεία, τα οποία υποδεικνύει το εγχειρίδιο συντήρησης, πιάστε τους ζυγούς της βαλβίδας εισαγωγής του κυλίνδρου Νο 8 και της βαλβίδας εξαγωγής του κυλίνδρου Νο 3. Με αργό ρυθμό, αφαιρέστε την πίεση.
15. Συνεχίστε τη διαδικασία σύμφωνα με τον πίνακα του Σχήματος 1.202 (προσέξτε, δεν είναι ενδεικτικό για κάθε τύπο εμβολοφόρου κινητήρα). Η ορθή τήρηση της σειράς που υποδεικνύεται εξασφαλίζει ότι οι βαλβίδες των οποίων τα ελατήρια θα συμπιέζονται θα είναι ανοικτές και, έτσι, δεν θα υπάρχει κίνδυνος μετατόπισης των ωστηρίων ράβδων τους από τις θέσεις υποδοχής τους στο ζυγό.

ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΤΕ ΣΤΟ ΑΝΩ ΝΕΚΡΟ ΣΗΜΕΙΟ ΤΟ ΕΜΒΟΛΟ ΥΠ'ΑΡΙΘΜΟ:	ΑΝΑΣΗΚΩΣΤΕ ΤΟΥΣ ΖΥΓΟΥΣ		ΡΥΘΜΙΣΤΕ ΤΑ ΔΙΑΚΕΝΑ ΤΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ:	
	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	ΕΞΑΓΩΓΗ	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	ΕΞΑΓΩΓΗ
1	8	3	5	6
3	1	5	7	8
5	3	7	9	1
7	5	9	2	3
9	7	2	4	5
2	9	4	6	7
4	2	6	8	9
6	4	8	1	2
8	6	1	3	4

Σχήμα 1.202 Σειρά ρύθμισης διακένων βαλβίδων

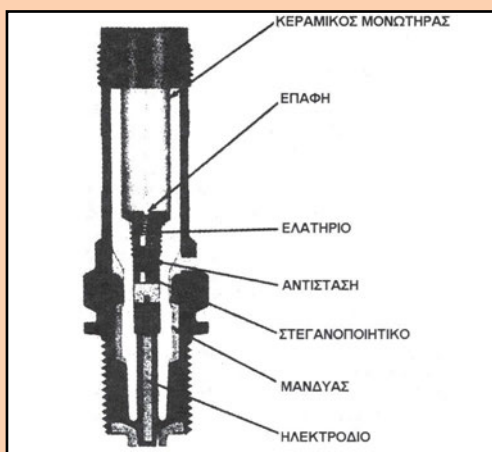
16. Τοποθετήστε το φύλλερ που καθορίζει το βιβλίο του κατασκευαστή μεταξύ του στελέχους της βαλβίδας και του ρυθμιστικού κοιλία των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής του Νο 5 κυλίνδρου.

17. Στην περίπτωση που το φίλλερ δεν ταιριάζει, ξεβιδώστε την ασφάλεια του ρυθμιστικού κοχλία τρεις ή τέσσερις βόλτες. Χρησιμοποιώντας ειδικό εργαλείο - οδηγό, το οποίο υποδεικνύεται στο βιβλίο του κατασκευαστή, ρυθμίστε το ρυθμιστικό κοχλία με τρόπο τέτοιο ώστε να υπάρξει μία ανεπαίσθητη πίεση στο φίλλερ. Βιδώστε την ασφάλεια του ρυθμιστικού κοχλία στη θέση αυτή εφαρμόζοντας την κατάλληλη τιμή ροπής.
18. Ελέγξτε και ρυθμίστε (αν χρειαστεί) το διάκενο της βαλβίδας εξαγωγής του κυλίνδρου Νο 6 κατά τον ίδιο τρόπο.
19. Ελέγξτε και ρυθμίστε (αν χρειαστεί) τα διάκενα των βαλβίδων στους υπόλοιπους κυλίνδρους κατά τον παραπάνω τρόπο και με τη σειρά που καθορίζεται στον πίνακα (Σχήμα 1.202).
20. Επιβεβαιώστε ότι ο ρυθμιστικός κοχλίας της κάθε βαλβίδας εξέχει πάνω από την ασφάλεια σύμφωνα με τα όρια που θέτει ο κατασκευαστής στο βιβλίο Συντήρησης. Στην αντίθετη περίπτωση, συμβουλευτείτε το βιβλίο Συντήρησης για τις απαιτούμενες διορθωτικές κινήσεις που απαιτούνται.
21. Βεβαιωθείτε ότι ρυθμίσατε τα διάκενα σε όλες τις βαλβίδες. Περιστρέψτε το στροφαλοφόρο άξονα για πλήρεις περιστροφές κατά τη φορά λειτουργίας και επιβεβαιώστε την τιμή του διάκενου σε κάθε βαλβίδα κατά τη σειρά έναυσης των κυλίνδρων.
22. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τα όρια ανοχής στα διάκενα. Διορθώστε, επαναλαμβάνοντας τη ρύθμιση σε όποια περίπτωση είναι απαραίτητο.
23. Χρησιμοποιώντας καινούρια παρεμβύσματα στεγανότητας τοποθετήστε το κάλυμμα του ζυγού του μηχανισμού κίνησης σε κάθε βαλβίδα. Κατάλληλη ροπομέτρηση απαιτείται κατά τη σύσφιξη των παξιμαδιών.
24. Επανατοποθετήστε τους σπινθηριστές που αφαιρέσατε στο βήμα 5, χρησιμοποιώντας άλλα παρεμβύσματα (όχι απαραίτητα καινούρια) και την απαιτούμενη ροπή κατά τη σύσφιξη.

Εργαστηριακή άσκηση 1.12:**Αφαίρεση, επιθεώρηση και επανατοποθέτηση σπινθηριστών**Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αφαιρείτε και να επανατοποθετείτε τους σπινθηριστές (μπουζί) ενός αεροπορικού, εμβολοφόρου, τετράχρονου βενζινοκινητήρα, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο Οδηγιών Συντήρησης του κατασκευαστή.
- β) Να εφαρμόζετε τις απαιτούμενες διαδικασίες ελέγχου στους σπινθηριστές και να γνωρίζουν το είδος της επισκευής που θα εφαρμοστεί σε περίπτωση εύρεσης ζημίας ή φθοράς.
- γ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιούν όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

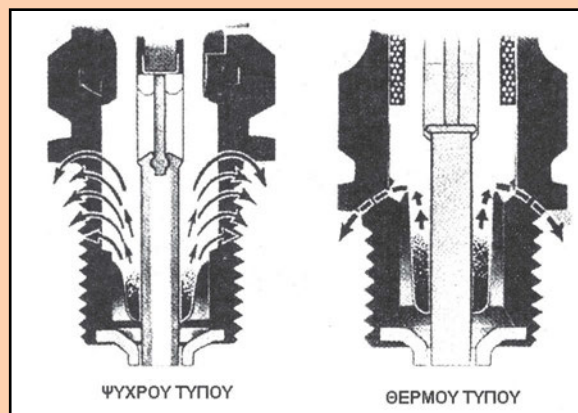
Σχήμα 1.203 Τα βασικά μέρη του σπινθηριστή

Οι σπινθηριστές αποτελούν το τμήμα του συστήματος ανάφλεξης όπου η ηλεκτρική ενέργεια του ρεύματος υψηλής τάσης, που παράγεται στο μανιατό, μετατρέπεται στη θερμική ενέργεια που είναι απαραίτητη για την ανάφλεξη του μείγματος αέρα - καυσίμου, μέσα στους κυλίνδρους. Αποτελούνται, βασικά, από τρία κύρια μέρη (Σχήμα 1.203): τα ηλεκτρόδια, το μονωτήρα και το κέλυφος (ή σώμα). Τα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται, συνήθως, από ειδικό κράμα νικελίου - χαλκού και ο μονωτήρας από κεραμικό υλικό. Το κέλυφος

φέρει κατάλληλο σπείρωμα και βιδώνεται στον κύλινδρο. Κατασκευάζεται από επιμεταλλωμένο χάλυβα ώστε να παρουσιάζει αντοχή στα διαβρωτικά καυσαέρια. Η αποφυγή διαρροής καυσαερίων από τον κύλινδρο μέσω του σπινθηριστή εξασφαλίζεται από τις πολύ μικρές κατασκευαστικές ανοχές των σπειρωμάτων και την τοποθέτηση παρεμβυσμάτων μεταξύ κελύφους - μονωτήρα και μονωτήρα - κεντρικού ηλεκτροδίου. Το κέλυφος περιέχει κάλυμμα προστασίας από τα ραδιοκύματα. Φέρει σπείρες και στα δύο του άκρα. Στο ένα συνδέεται με το μεταλλικό μανδύα της καλωδίωσης και στο άλλο βιδώνεται στην κυλινδροκεφαλή.

Οι σπινθηριστές διακρίνονται σε διάφορους τύπους, ανάλογα με τις απαιτήσεις που πρέπει να καλύψουν σε αεροσκάφη διαφορετικών χρήσεων, όπως: α) οι **σπινθηριστές αντίστασης (resistor-type spark plugs)**, β) οι **σπινθηριστές με άκρα από κράμα ιριδίου**, γ) οι **σπινθηριστές λεπτού σύρματος (fine-wire)** και δ) οι **σπινθηριστές με προεκτεταμένο πυρήνα ηλεκτροδίου**.

Η ικανότητα μεταφοράς θερμότητας (heat range) των σπινθηριστών προς τους κυλίνδρους αποτελεί βασικό παράγοντα της απόδοσης του κινητήρα κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Ένας σπινθηριστής πρέπει να είναι τόσο θερμός ώστε να λειτουργεί κανονικά ακόμη και όταν στον κύλινδρο υπάρχουν κατακαθήσεις, ενώ πρέπει να είναι τόσο ψυχρός ώστε να μη δημιουργεί συνθήκες αυτανάφλεξης (Σχήμα 1.204).



Σχήμα 1.204 Τύποι σπινθηριστών ανάλογα με την ικανότητα μεταφοράς θερμότητας

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των σπινθηριστών αποτελεί το **μήκος (reach)** που εκτείνεται από τη βάση του παρεμβύσματος του κελύφους έως και την τελευταία σπείρα του άκρου που προσαρμόζεται στον κύλινδρο.

Απαιτούμενα μέσα

Για την πραγματοποίηση της παρούσας άσκησης απαιτείται κινητήρας του προαναφερόμενου τύπου, περιστρεφόμενη κλίνη για την τοποθέτησή του, βιβλίο οδηγιών Συντήρησης από την κατασκευάστρια εταιρεία, βάση τοποθέτησης των σπινθηριστών, συσκευή παραγωγής πεπιεσμένου αέρα, καθώς και τα ακόλουθα έγγραφα, μέσα και εργαλεία:

- βιβλίο οδηγιών γενικής επισκευής και συντήρησης σπινθηριστών από την κατασκευάστρια εταιρεία τους,
- τυπικά (κατσαβίδια, τανάλιες, κλειδιά) και ειδικά εργαλεία, τα οποία προδιαγράφονται στο παραπάνω εγχειρίδιο,
- διεισδυτικό και αντι-τριβικό υγρό,
- επαρκείς πάγκοι εργασίας,
- τα ενδεικνυόμενα από τον κατασκευαστή μέσα καθαρισμού,
- μεγεθυντικός φακός και καλός φωτισμός για την επιθεώρηση,
- γάντια χειρός, γυαλιά προστασίας.

Μέτρα ασφάλειας

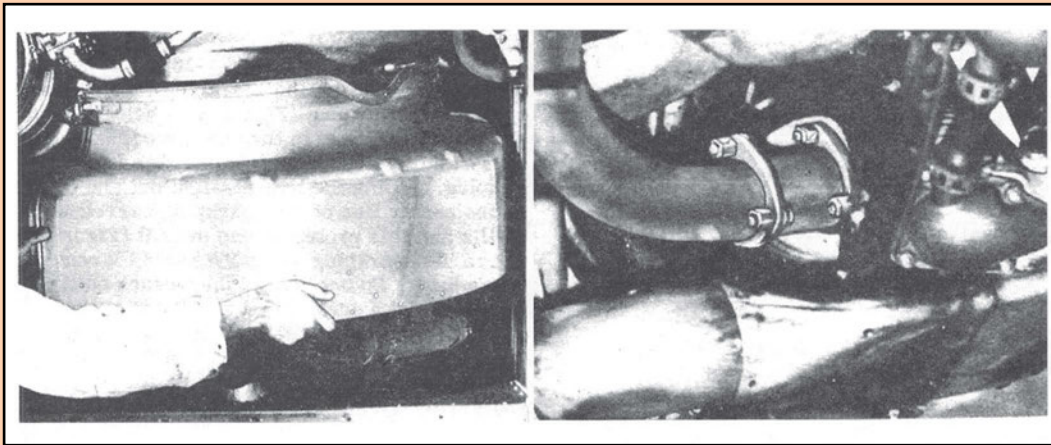
Κατά τη διάρκεια των εργασιών της αφαίρεσης, επιθεώρησης και επανατοποθέτησης των σπινθηριστών πρέπει να εξασφαλιστεί ότι ο κινητήρας δεν είναι θερμός. Γενικά, ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

Πορεία εργασίας

Σημειώνεται ότι κατά τη διαδικασία της αφαίρεσης των σπινθηριστών θα αφαιρούνται, όταν κρίνεται απαραίτητο, όλες οι συρματασφαλίσεις, οι βίδες, οι δακτύλιοι, τα παξιμάδια, οι πείροι και οποιαδήποτε άλλα εξαρτήματα ή και μέρη του κινητήρα. Κατά τη διαδικασία της επανατοποθέτησης εξαρτημάτων και μερών σε ένα λειτουργικό κινητήρα πρέπει να τοποθετούνται καινούρια, αχρησιμοποίητα, υλικά όπως παρεμβύσματα, ελαστικοί δακτύλιοι στεγανοποίησης λαδιού, σύρματα ασφάλισης, περόνες.

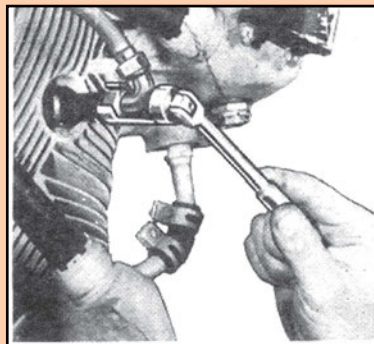
1. Τοποθετήστε τον κινητήρα σε κατακόρυφη θέση επί της κλίνης εργασίας.
2. Αρχικά, αφαιρέστε το κάλυμμα (cowling) του κινητήρα ώστε να υπάρχει πρόσβαση στα επιμέρους εξαρτήματα (Σχήμα 1.205). Στη συνέχεια, ξεβι-

δώστε τις βίδες και τα παξιμάδια των σωληνώσεων εξαγωγής καυσαερίων (exhaust pipes, οι αποκαλούμενες “πίπες” στην καθημερινή γλώσσα των τεχνικών). Χαλαρώστε την πολλαπλή (Σχήμα 1.206) και χαμηλώστε την, ώστε οι κύλινδροι του κινητήρα να είναι εύκολα προσβάσιμοι. Τώρα, είστε σε θέση να αρχίσετε τις εργασίες για την αφαίρεση των σπινθηριστών.



Σχήμα 1.205 Αφαίρεση καλύμματος

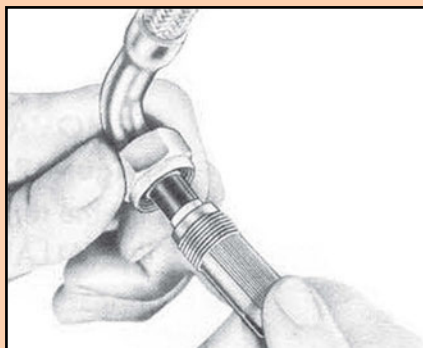
Σχήμα 1.206 Κοχλίες συγκράτησης πολλαπλής



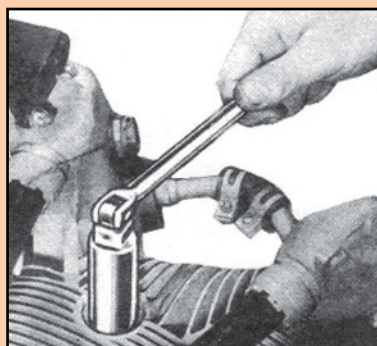
Σχήμα 1.207 Αφαίρεση παξιμαδιού σπινθηριστή

3. Χαλαρώστε το προστατευτικό περίβλημα του ακροδέκτη σύνδεσης της καλωδίωσης με το σπινθηριστή (spark plug lead). Χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο κλειδί, ξεβιδώστε το παξιμάδι του σπινθηριστή (Σχήμα 1.207). Προσέξτε ώστε να μη στρίψει από τη θέση του η γωνιά του ακροδέκτη.
4. Τραβήξτε τον ακροδέκτη, χωρίς να το στρέψετε, ώστε να απομακρυνθεί από το σπινθηριστή. Τοποθετήστε προστατευτικό κάλυμμα στον ακροδέκτη (Σχήμα 1.208).

5. Χρησιμοποιώντας το ειδικό κλειδί του κατασκευαστή αφαιρέστε το σπινθηριστή από την κεφαλή του κυλίνδρου (Σχήμα 1.209). Στην περίπτωση που συναντήσετε δυσκολία στο ξεβίδωμα, δοκιμάστε να βιδώσετε ελάχιστα και στη συνέχεια δοκιμάστε ξανά να ξεβιδώσετε.



Σχήμα 1.208 Τοποθέτηση προστατευτικού καλύμματος



Σχήμα 1.209 Αφαίρεση σπινθηριστή

6. Κατά τη διαδικασία της αφαίρεσης του σπινθηριστή, υπάρχει περίπτωση να σπάσει το τμήμα με το οποίο βιδώνεται στον κύλινδρο. Στην περίπτωση αυτή προτείνονται δύο πρακτικές για την απομάκρυνση του σπασμένου τμήματος. Αν αυτές αποτύχουν, θα πρέπει να αφαιρεθεί ο κύλινδρος από τη θέση και να ακολουθηθεί άλλη διαδικασία. Αρχικά, εφαρμόστε διεισδυτικό υγρό ανάμεσα στα σπειρώματα του σπασμένου τμήματος και του σώματος του κυλίνδρου. Αφήστε το να ενεργήσει για 30 λεπτά περίπου. Χτυπήστε το σπασμένο κομμάτι με μία πόντα (ζουμπά) ώστε να διευκολυνθεί η διείσδυση του υγρού. Στη συνέχεια, απομακρύνετε τα ηλεκτρόδια του σπινθηριστή με την πόντα και χρησιμοποιήστε έναν εξωλκέα για να απομακρύνετε το σπασμένο κομμάτι. Αν η πρακτική αυτή δεν αποδώσει,

τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα μικρό μεταλλικό πριόνι. Αυτό αποτελεί ιδιαίτερη κατασκευή και έχει τέτοιες διαστάσεις ώστε μπορεί να εισέλθει στη διάμετρο του σπασμένου τμήματος, αφού έχει απομακρυνθεί το υπόλοιπο τμήμα του σπινθηριστή, όπως προηγουμένως. Χρησιμοποιώντας το πριόνι, δημιουργήστε τρεις εγκοπές στο εσωτερικό του σπασμένου τμήματος. Προσέξτε να μην τραυματίσετε το σπείρωμα του κυλίνδρου. Με ένα σφυρί και μία πόντα χτυπήστε τις τρεις εγκοπές με κατεύθυνση προς το κέντρο της τρύπας. Τότε, θα δημιουργηθεί διαμήκης ρωγμή στο σπασμένο τμήμα που θα διευκολύνει την αφαίρεσή του ίσως και με το χέρι. Όταν αφαιρεθεί το σπασμένο κομμάτι, τότε οι σπείρες του κυλίνδρου πρέπει να επιθεωρηθούν, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος να έχουν τραυματιστεί.

7. Όταν αφαιρέσετε το σπινθηριστή, τοποθετήστε τον σε βάση με κατάλληλα αριθμημένες υποδοχές, ώστε να μπορέσετε να αναγνωρίσετε αργότερα τον κύλινδρο του κινητήρα από τον οποίο αφαιρέθηκαν.
8. Τοποθετήστε στη θέση του ένα κατάλληλο εξάρτημα - τάπα, ώστε να μην εισέρχονται σκόνες και ξένα σωματίδια στον κύλινδρο από την οπή εφαρμογής του σπινθηριστή.
9. Αν ο σπινθηριστής πέσει από το σταθερό σημείο τοποθέτησής του στο πάτωμα ή σε κάποια σκληρή επιφάνεια, τότε είναι πολύ πιθανή η δημιουργία ρωγμών στον κεραμικό μονωτήρα του. Αυτές, όμως, δεν είναι εμφανείς με οπτική επιθεώρηση. Στην περίπτωση αυτή, ο σπινθηριστής πρέπει είτε να αχρηστευθεί είτε να επιστραφεί στον κατασκευαστή του για επισκευή (reconditioning).

Έχοντας αφαιρέσει το σπινθηριστή από τη θέση του στην κεφαλή του κυλίνδρου του κινητήρα, ακολουθούν μία γρήγορη επιθεώρηση, καθαρισμός και η βασική επιθεώρηση:

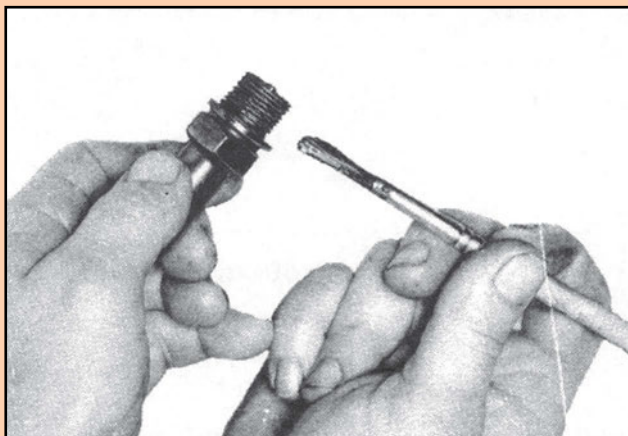
1. Εξετάστε το σπινθηριστή οπτικά. Αιτίες απόρριψης ενός σπινθηριστή είναι ρωγμές στο μονωτήρα, διάβρωση ή κάψιμο στα ηλεκτρόδια, κατεστραμμένο κέλυφος και κατεστραμμένο σπείρωμα.
2. Στην περίπτωση που επιβεβαιώσετε ρωγμές στο μονωτήρα και κάψιμο στα ηλεκτρόδια, θα πρέπει να επιθεωρήσετε και τον κύλινδρο από τον οποίο αφαιρέσατε το σπινθηριστή. Το έμβολο, το χιτώνιο καθώς και οι βαλβίδες μπορεί να παρουσιάσουν φθορές.
3. Μετακινήστε το σπινθηριστή από τη βάση που είναι τοποθετημένος. Καθαρίστε τον από λάδια και γράσα, χρησιμοποιώντας διαλύτη (εγκεκριμένο από τον κατασκευαστή) ή τοποθετώντας τον στη συσκευή καθαρισμού με

χρήση ατμού (vapor degreaser). Το πλεονέκτημα της τελευταίας είναι ότι επιτυγχάνει απομάκρυνση της υγρασίας.

4. Στεγνώστε το σπινθηριστή μετά τον καθαρισμό με χρήση πεπιεσμένου αέρα ή φούρνου.
5. Χρησιμοποιήστε δυνατό φως και επιθεωρήστε το μονωτήρα και το άκρο του για την ύπαρξη ρωγμών, εναπόθεση ακαθαρσιών και μολύβδου. Επίσης, εξετάστε την κατάσταση των ηλεκτροδίων και του σπειρώματος του σπινθηριστή.
6. Ελέγξτε τις ανοχές μεταξύ των ηλεκτροδίων του σπινθηριστή (gap clearance). Χρησιμοποιήστε φύλλερ για να πιστοποιήσετε ότι το υπάρχον κενό βρίσκεται μεταξύ 0,015in και 0,018in. Στην περίπτωση που δεν ικανοποιείται η απαίτηση αυτή, μην επιχειρήσετε να διορθώσετε το κενό. Οι σπινθηριστές πρέπει να επισκευαστούν από ειδικό συνεργείο.

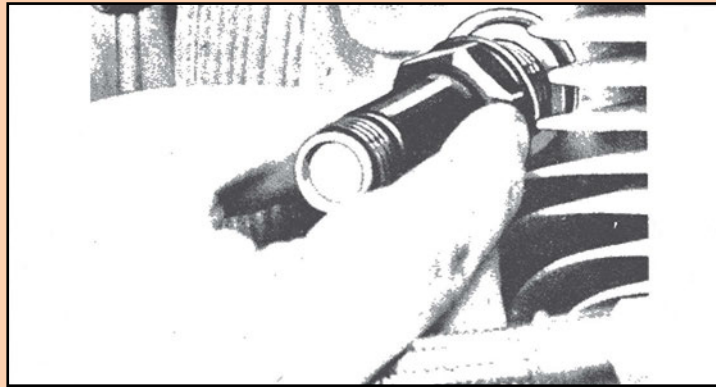
Όταν ο σπινθηριστής περάσει από την επιθεώρηση χωρίς ευρήματα, είναι σε κατάσταση να επανατοποθετηθεί στον κύλινδρο:

1. Με ένα πινέλο εφαρμόστε ένα αντι-τριβικό μείγμα (anti-seize compound), σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, στο σπείρωμα του σπινθηριστή (Σχήμα 1.210).



Σχήμα 1.210 Εφαρμογή αντι-τριβικού μείγματος

2. Αφαιρέστε την τάπα από την οπή του κυλίνδρου. Βιδώστε το σπινθηριστή με το χέρι (Σχήμα 1.211). Αν συναντήσετε δυσκολία, αφαιρέστε τον και ελέγξτε τα σπείρωμα τόσο του σπινθηριστή όσο και της οπής στον κύλινδρο.

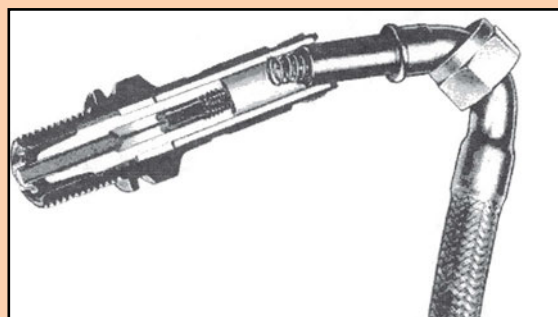


Σχήμα 1.211 Βίδωμα σπινθηριστή

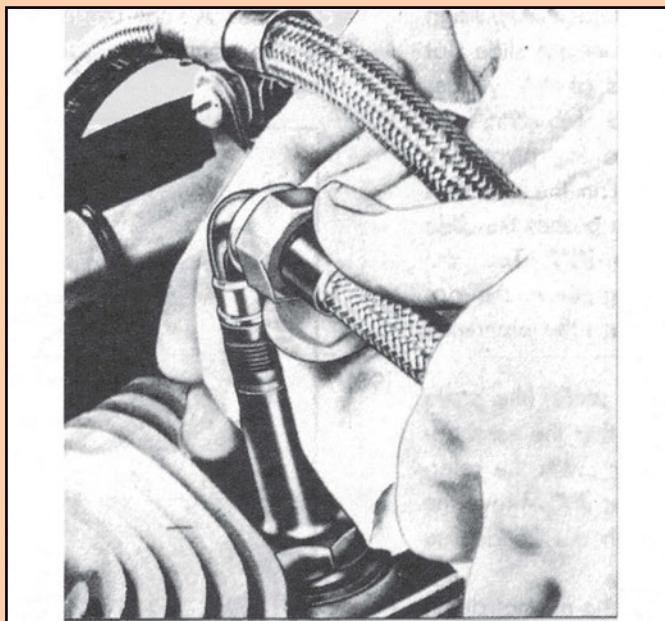
3. Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο κλειδί, βιδώστε το σπινθηριστή, εφαρμόζοντας την αναφερόμενη στο βιβλίο του κατασκευαστή, ροπή.
4. Αφαιρέστε το προστατευτικό κάλυμμα από τον ακροδέκτη και τοποθετήστε τον στην υποδοχή του σπινθηριστή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.212 και στο Σχήμα 1.214. Προσέξτε, κατά την τοποθέτηση ο ακροδέκτης ενδέχεται να εισέλθει στραβά (Σχήμα 1.213). Χρησιμοποιήστε ένα καθαρό πανί για να ξεσκονίσετε το εξάρτημα, μετά τη σύνδεση.



Σχήμα 1.212 Σωστή τοποθέτηση ακροδέκτη

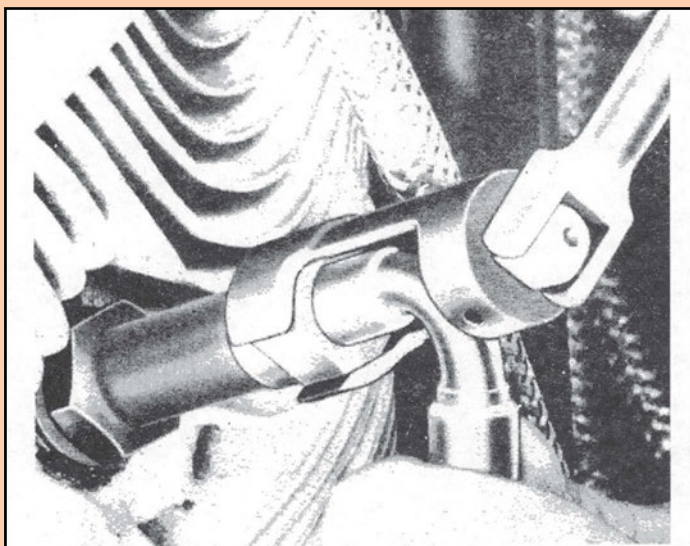


Σχήμα 1.213 Λανθασμένη τοποθέτηση ακροδέκτη



Σχήμα 1.214 Καθαρισμός

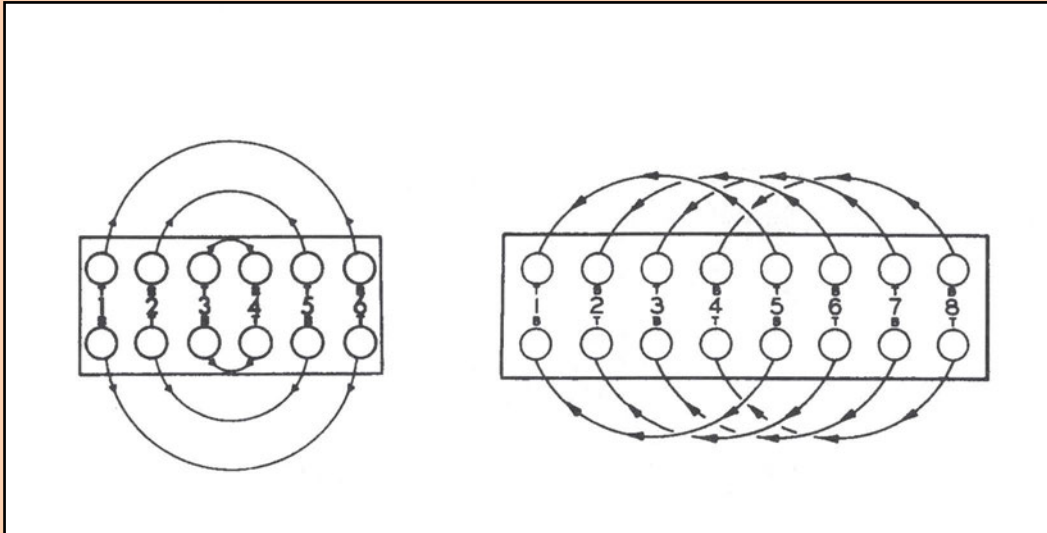
5. Βιδώστε το παξιμάδι του σπινθηριστή με το κατάλληλο κλειδί (Σχήμα 1.215).



Σχήμα 1.215 Σύσφιξη του σπινθηριστή

Μία συνήθης πρακτική είναι η εναλλαγή της θέσης τοποθέτησης των σπινθηριστών (spark plug rotation) μετά τις εργασίες συντήρησης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.216. Αυτό γίνεται ώστε να καταπονούνται εξίσου όλοι οι σπινθη-

ριστές του κινητήρα από τις συνθήκες ανάφλεξης που επικρατούν στον κάθε κύλινδρο του κινητήρα.



Σχήμα 1.216 Ακολουθία εναλλαγής θέσεων στους σπινθηριστές

Κεφάλαιο 2:

ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Διδακτικοί Στόχοι

Μετά το πέρας της μελέτης του δεύτερου κεφαλαίου θα είστε ικανοί:

- Να αναφέρετε την ιστορική εξέλιξη των κινητήρων αεριώθησης, τις κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται, τις αρχές λειτουργίας τους και τα χαρακτηριστικά τους.
- Να περιγράψετε τον κύκλο λειτουργίας των κινητήρων, τις διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά τις διάφορες φάσεις του και τις τροποποιήσεις που βελτιώνουν την απόδοσή του.
- Να αναγνωρίζετε τα κύρια χαρακτηριστικά των κινητήρων και τις κατηγορίες στις οποίες αυτοί διακρίνονται.
- Να διακρίνετε τα κύρια εξαρτήματα των κινητήρων και να περιγράψετε τη λειτουργία τους.
- Να διακρίνετε τα διάφορα συστήματα (λίπανσης, ψύξης κλπ) των κινητήρων και να περιγράψετε τη λειτουργία τους.

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΡΙΩΘΗΣΗ

2.1.1 Ιστορική εξέλιξη

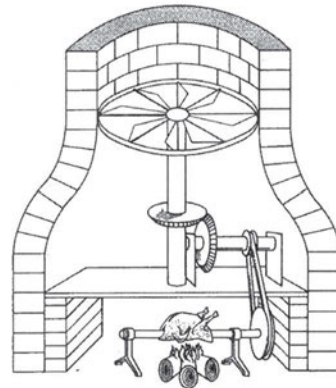
Ανατρέχοντας την Ιστορία δε θα βρει κανείς ποιος ήταν εκείνος στον οποίο ανήκει το προνόμιο της ανακάλυψης της αρχής της **αεριώθησης (jet propulsion)**. Ο Έλληνας επιστήμονας **Ήρωνας**, που έζησε στην Αλεξάνδρεια τον 1ο αιώνα μ.Χ.¹, λαμβάνει πολλές φορές την τιμή να αναφέρεται ως εκείνος που πραγματοποίησε την πρώτη εφαρμογή της αεριώθησης. Ο Ήρωνας επινόησε και κατασκεύασε μία μηχανή, γνωστή ως **μηχανή του Ήρωνα** ή **αιολοπύλη (Hero's aeolipile)**, η οποία θεωρείται πρόδρομος των αεριο-

¹ Αυτή η ημερομηνία θεωρείται η επικρατέστερη, αν και υπάρχουν απόψεις, σύμφωνα με τις οποίες ο Ήρωνας έζησε περί το 150 π.Χ., ή περί το 250 μ.Χ.

στρόβιλων κινητήρων. Πιθανώς να είχε τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Ένα κλειστό δοχείο με νερό θερμαινόταν ώστε να παραχθεί ατμός. Αυτός μεταφερόταν μέσω δύο κάθετων σωλήνων σε μία σφαίρα, η οποία έφερε αυλούς στη διεύθυνση της ακτίνας της. Καθώς η σφαίρα γέμιζε με ατμό, περιστρέφονταν και ο ατμός εύρισκε οδό διαφυγής από τους ακτινικούς αυλούς.



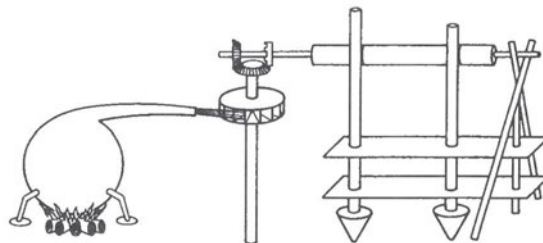
Σχήμα 2.1 Η μηχανή του Ήρωνα



Σχήμα 2.2 Η μηχανή του Da Vinci

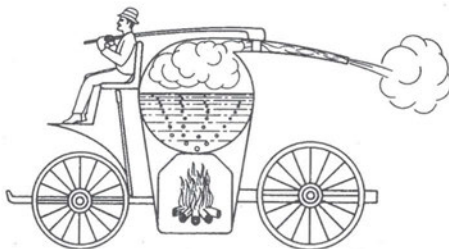
Στην Κίνα, τον 8ο αιώνα μ. Χ. χρησιμοποιούσαν βεγγαλικά, η λειτουργία των οποίων στηρίζεται στο γνωστό ως τρίτο νόμο του Νεύτωνα: **“σε κάθε δράση αντιστοιχεί μία ίση και αντίθετη, σε φορά, αντίδραση”**. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, οι κινητήρες αερίωθσης εφαρμόζουν αυτήν ακριβώς την αρχή κατά τη λειτουργία τους. Το 1232, στην Κίνα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ένα όπλο που ονομάζονταν “Βέλος του ιπτάμενου πυρός” που προωθούνταν με πυρίτιδα. Το 1505 ο Ιταλός **Leonardo Da Vinci** σχεδίασε μία μηχανή η οποία χρησιμοποιήθηκε αργότερα για το ψήσιμο φαγητού μέσα σε καμίνι (Σχήμα 2.2)!

Το 1629, ο Ιταλός μηχανικός **Giovanni Branca** σχεδίασε τον πρώτο, ουσιαστικά, στρόβιλο. Ατμός, παραγόμενος σε θερμαινόμενο δοχείο, περιέστρεφε δίσκο που έφερε κοιλότητες στην περιφέρειά του. Η περιστροφή του δίσκου μεταφερόταν μέσω συστήματος γραναζιών σε άλλον άξονα (Σχήμα 2.3). Το σύστημα βρήκε εφαρμογή σε μύλο ελαιοτριβείου.

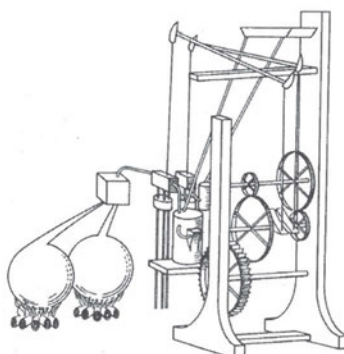


Σχήμα 2.3 Ο στρόβιλος του Branca

Ο **Ισαάκ Νεύτων**, βασισμένος στον τρίτο νόμο του, σχεδίασε το 1687 ένα όχημα το οποίο κινούταν με ώθηση παραγόμενη από ατμό (Σχήμα 2.4). Το μειονέκτημα ήταν ότι το όχημα διέθετε πολύ μικρή ισχύ. Ο σχεδιασμός παρόμοιου οχήματος χρεώνεται και στον Ολλανδό **Willem Jako Gravesande**.



Σχήμα 2.4 Το ατμοκινούμενο όχημα του Νεύτωνα

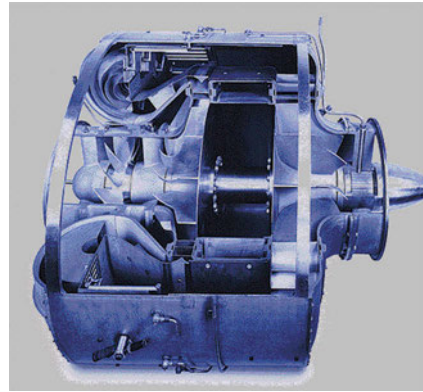
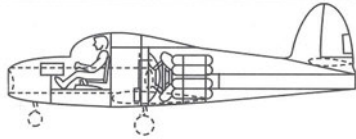
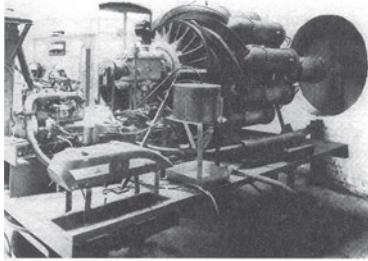


Σχήμα 2.5 Η κατασκευή του Barber

Το 1791, ο Άγγλος **John Barber** σχεδίασε ένα σύστημα το οποίο λειτουργούσε με το θερμοδυναμικό κύκλο του σύγχρονου αεριοστρόβιλου κινητήρα (Σχήμα 2.5). Το 1808, ο Άγγλος **John Bumbell** κατασκεύασε έναν αεριοστρόβιλο παρόμοιο με τους σημερινούς, μα χωρίς σταθερά πτερύγια. Αρκετές ομοιότητες με τους αεριοστρόβιλους της εποχής μας παρουσίαζε και ο κινητήρας που κατασκεύασε το 1837 ο Γάλλος **Bresson**. Το 1850, ο **Fernihough** επινόησε τον πρώτο αεριοστρόβιλο κινητήρα που είχε τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί ως εργαζόμενα μέσα ατμό ή αέρα. Η κατασκευή του πρώτου αεροστρόβιλου που λειτούργησε με αέρα, ξεφεύγοντας από τη χρήση του ατμού, ανήκει στον **F. Stoltz**, το 1872. Το 1900, ο **Sanford Moss** κατέθεσε αρκετές νέες ιδέες πάνω στη λειτουργία των αεροστροβίλων. Αργότερα, δουλεύοντας για την **General Electric** εφάρμοσε τις ιδέες του πάνω στη σχεδίαση των στροβιλο-υπερπληρωτών (turbo-superchargers), βασιζόμενος σε κάποιες ιδέες του Γάλλου μηχανικού **Rateau**.

Οι κατασκευές του Moss επηρέασαν το μηχανικό **Frank Whittle** ο οποίος το 1930 κατοχύρωσε την κατασκευή που θεωρείται ο πρώτος επιτυχημένος

αεριοστρόβιλος κινητήρας για την κίνηση αεροσκάφους. Στις 14 Μαΐου 1944, στην Αγγλία, πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές πτήσεις με τον κινητήρα του Whittle (γνωστό ως W1) να δίνει κίνηση στο αεροσκάφος **Gloster E28/39** (Σχήμα 2.6) με ταχύτητες περί τα 400 μίλια ανά ώρα (miles per hour, mph). Παράλληλα, ο Γερμανός μηχανικός **Hans Von Ohain** σχεδίασε και κατασκεύασε έναν **κινητήρα αεριώθησης (jet engine)** ο οποίος δοκιμάστηκε, με επιτυχία, στις 27 Αυγούστου 1939 στο αεροσκάφος Heinkel He-178. Αυτή αναγνωρίζεται, πρακτικά, ως η πρώτη πτήση αεριωθούμενου αεροσκάφους.

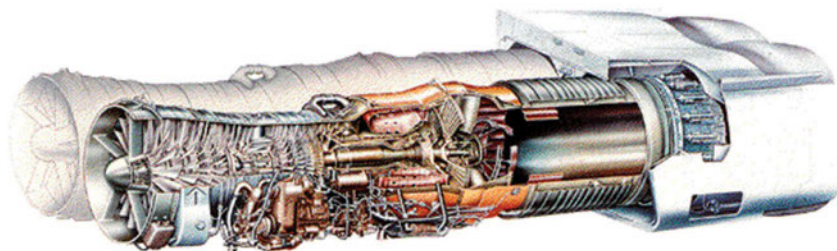


Σχήμα 2.6 Ο κινητήρας του Whittle **Σχήμα 2.7 Ο κινητήρας του von Ohain**

Στην Αμερική, ήταν μόλις τον Οκτώβριο του 1942 οπότε ένα αεροσκάφος χρησιμοποιούσε με επιτυχία κινητήρα αεριώθησης (δύο, για την ακρίβεια). Αυτός ήταν ο GE-1A της General Electric, του οποίου η ανάπτυξη βασίστηκε σε σχέδια του Frank Whittle και χρησιμοποιήθηκε στο αεροσκάφος **Bell XP-59 "Airacomet"**.

Στην εποχή μας, τα επιβατικά, εμπορικά και στρατιωτικά αεροσκάφη χρησιμοποιούν στην πλειοψηφία τους κινητήρες αεριώθησης. Ένα σημαντικό βήμα προόδου ήταν η σχεδίαση και η κατασκευή κινητήρων αεριώθησης που έχουν την ικανότητα να κινούν ένα αεροσκάφος με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτήν του ήχου. Το μαχητικό **SR-71 Blackbird** πετά με ταχύτητα τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτήν του ήχου.

Στο πολιτικό νηολόγιο το αεροσκάφος **Concorde** (Σχήμα 2.8), προϊόν αγγλογαλλικής συνεργασίας στα μέσα της δεκαετίας του 1970, με κινητήρα Olympus 593 B, πετούσε με 2,2 φορές μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτήν του ήχου. Στις 24 Οκτωβρίου 2003 πραγματοποιήθηκε η τελευταία πτήση του.



Σχήμα 2.8 Ο κινητήρας Olympus, διάφορες εκδόσεις του οποίου χρησιμοποιήθηκαν στο αεροσκάφος Concorde

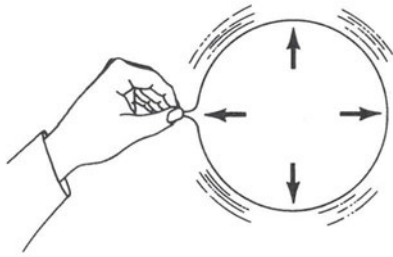
Ανάλογη υπερηχητική ταχύτητα ανέπτυξε και το ρωσικό αεροσκάφος Tu-144.

2.1.2 Αρχές αερίωσης

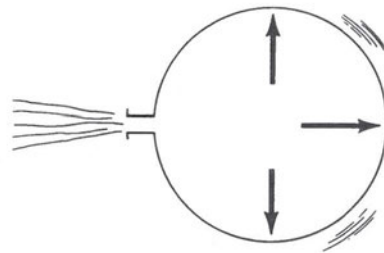
Ο κινητήρας αερίωσης παράγει **προωθητική δύναμη (ώση, thrust)**, προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, εξαναγκάζοντας μία μάζα αερίου να κινηθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση. Εφαρμόζει, δηλαδή, τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα, που αναφέραμε παραπάνω. Ως δράση θεωρούμε τη δύναμη που εξασκείται σε μία μάζα καυσαερίων προς το οπίσθιο τμήμα του κινητήρα του αεροσκάφους.¹ Ως αντίδραση στην έξοδο της μάζας αυτής λαμβάνεται μία δύναμη (ώση) προς το εμπρόσθιο τμήμα του κινητήρα και του αεροσκάφους. Το μέγεθος της δύναμης αυτής εξαρτάται από την ποσότητα της μάζας αερίου (ή αέρα) που εισέρχεται στον κινητήρα και το βαθμό της επιτάχυνσης που θα αποκτήσουν τα εξερχόμενα αέρια.

Ας χρησιμοποιήσουμε ένα παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση της αρχής δράσης - αντίδρασης, αλλά και της αερίωσης. Θεωρήστε ένα μπαλόνι το οποίο γεμίζετε με αέρα και κρατάτε, στη συνέχεια, το στόμιό του κλειστό. Ο αέρας που εμπεριέχεται είναι υπό πίεση, η οποία εξασκείται ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις και πιέζει εξίσου τα εσωτερικά τοιχώματα του μπαλονιού (Σχήμα 2.9). Έτσι, δεν εξασκείται δύναμη που θα μπορούσε να κινήσει το μπαλόνι. Στη συνέχεια, απελευθερώνοντας το στόμιο του μπαλονιού, αυτό χάνει αέρα και μετά από μία σύντομη πτήση καταλήγει στο έδαφος. Μετά το άνοιγμα του στομίου, δεν εξασκείται πλέον δύναμη προς αυτήν την κατεύθυνση. Όλες οι άλλες δυνάμεις βρίσκονται σε ισορροπία, αλλά η δύναμη στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του στομίου δεν εξισορροπείται (Σχήμα 2.10). Μία δύναμη εξασκείται από τα τοιχώματα του μπαλονιού στον αέρα που περιέχει. Αυτή είναι ίση και αντίθετη προς αυτήν που εξασκεί ο αέρας στα τοιχώματα και εξαναγκάζει τον αέρα να εξέλθει από το στόμιο του μπαλονιού, ενώ αυτό κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση.

¹ Μία μάζα αέρα εισέρχεται στον κινητήρα, από την εισαγωγή, με συγκεκριμένη ταχύτητα. Μετά την καύση, αέρας και καυσαέρια εξέρχονται από την εξαγωγή με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα.



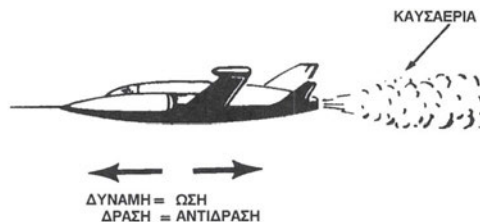
Σχήμα 2.9 Αέρας υπό πίεση στο εσωτερικό του μπαλονιού



Σχήμα 2.10 Απελευθέρωση του στομίου του μπαλονιού

Ένας κινητήρας αεριώθησης κινείται κάτω από την επίδραση παρόμοιων δυνάμεων. Η πτήση του μπαλονιού μας ήταν σύντομη λόγω της πολύ γρήγορης πτώσης πίεσης του αέρα στα τοιχώματά του. Ας χρησιμοποιήσουμε μία αντλία ποδηλάτου για να εξασφαλίσουμε την συνεχή, σταθερή πίεση στα εμπρόσθια τοιχώματα του μπαλονιού. Έτσι, επιτυγχάνουμε σταθερή εξαγωγή αέρα από το στόμιο και σταθερή παραγωγή ώσης. Αντικαθιστώντας την αντλία με ένα συμπιεστή, μπορούμε να επιτύχουμε μεγαλύτερα μεγέθη. Ο συμπιεστής αυτός χρειάζεται μία διάταξη για την περιστροφή του. Ας το συνδέσουμε, μέσω ενός άξονα, με ένα στρόβιλο. Αυτός απαιτεί καύσιμο για την περιστροφή του. Ο αέρας που εξέρχεται από το συμπιεστή, θα αναμειγνύεται με καύσιμο και τα παραγόμενα καυσαέρια θα περιστρέφουν το στρόβιλο. Με την αύξηση της παροχής συμπιεσμένου αέρα θα επιτυγχάνεται και αύξηση της παραγόμενης ισχύος ή ώσης. Μέχρι αυτό το σημείο, συνδέσαμε στο μπαλόνι μας ένα **συμπιεστή (compressor)**, ένα **θάλαμο καύσης (combustion chamber)** του καυσίμου και την παραγωγή καυσαερίων και ένα **στρόβιλο (τουρμπίνα, turbine)** που συνδέεται με το συμπιεστή μέσω ενός άξονα. Μετατρέψαμε δηλαδή το μπαλόνι σε κινητήρα αεριώθησης. Αν μεταβάλλουμε τη ροή του καυσίμου σε αυτόν, θα επιτύχουμε και ανάλογη παροχή ώσης, αρκεί να παρέχουμε και την ανάλογη ποσότητα καυσίμου.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στον κινητήρα αεριώθησης τα καυσαέρια ωθούνται προς την εξαγωγή (δράση) και αυτά ασκούν μία δύναμη ή ώση (αντίδραση), στην αντίθετη κατεύθυνση, προς τον κινητήρα και το αεροσκάφος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.11.



Σχήμα 2.11 Η δράση και η αντίδραση στην κίνηση του αεροσκάφους

Μία κοινή, λανθασμένη ωστόσο, εντύπωση είναι ότι τα καυσαέρια ωθούν τον αέρα πίσω από τον κινητήρα για κινήσουν το αεροσκάφος αντίθετα. Η ώση προέρχεται από τις δυνάμεις που εξασκούν τα καυσαέρια **μέσα** στον κινητήρα. Αυτά εκτονώνονται και πιέζουν τα πλαϊνά τοιχώματα και το εμπρόσθιο μέρος του κινητήρα. Όσον αφορά το οπίσθιο μέρος του, αυτό αποτελεί ουσιαστικά μία τεράστια οπή, όπου δεν μπορεί να εξασκηθεί δύναμη. Έτσι, ο κινητήρας κινείται προς της κατεύθυνση της δύναμης που δεν εξισορροπείται, όπως ακριβώς στο μπαλόνι.

2.1.3 Ώση

Όπως αναφέραμε παραπάνω, **η ώση είναι μία δύναμη αντίδρασης**. Μετρείται σε kp, rounds ή lbf. Εξαρτάται από την επιτάχυνση μίας μάζας αερίου, σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα¹. Για παράδειγμα, ένας κινητήρας αεριώθησης δίνει μεγάλη επιτάχυνση σε σχετικά μικρή μάζα αέρα ενώ ένας ελικοφόρος δίνει μικρή επιτάχυνση σε μεγαλύτερη μάζα αέρα. Η ποσότητα του αέρα και των καυσαερίων που επιταχύνονται καθώς και το μέγεθος της επιτάχυνσης - η τελική τους ταχύτητα δηλαδή, καθορίζουν και την παραγόμενη ώση. Επίσης, η διαφορά της πίεσης των εξερχόμενων καυσαερίων προς την ατμοσφαιρική συμμετέχει στη δημιουργία της ώσης.

Η **στατική ώση (static thrust, gross thrust)** ή μικτή ώση είναι η ποσότητα της ώσης που παράγει ένας κινητήρας όταν το αεροσκάφος βρίσκεται στο έδαφος ακίνητο. Η **καθαρή ώση (net thrust)** είναι η ώση που παράγεται κατά την πτήση. Για τον υπολογισμό της πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ταχύτητα του αεροσκάφους.



Σχήμα 2.12 Η ταχύτητα των εξερχόμενων καυσαερίων είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα πτήσης του αεροσκάφους

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ώση ενός κινητήρα αεριώθησης διακρίνονται σε δύο τύπους: α) αυτούς που έχουν σχέση με τα λειτουργικά χαρα-

¹ "Η επιτάχυνση ενός σώματος είναι ανάλογη με τη δύναμη που την προκαλεί και αντιστρόφως ανάλογη με τη μάζα του σώματος"

κτηριστικά του κινητήρα και β) αυτούς που έχουν σχέση με τις συνθήκες του περιβάλλοντος της πτήσης.

2.1.3.1 Λειτουργικοί παράγοντες

Οι λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ώση ενός κινητήρα αεριώθησης είναι οι ακόλουθοι:

- **Αριθμός στροφών λειτουργίας.** Θεωρείται ο πιο σημαντικός παράγοντας για τη δημιουργία της ώσης. Καθορίζει τη μάζα του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα που, με τη σειρά της, είναι ανάλογη της ώσης που παράγεται.
- **Εισαγωγή αέρα.** Το μέγεθος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού εισαγωγής του ρεύματος αέρα στον κινητήρα επηρεάζουν την ποσότητά του και, ανάλογα, και την ποσότητα της παραγόμενης ώσης.
- **Ροή καυσίμου.** Όσο αυξάνει η ποσότητα του εγχυόμενου καυσίμου, επιτυγχάνεται αύξηση του αριθμού στροφών και ανάλογη αύξηση της παραγόμενης ώσης.
- **Απαγωγή ποσότητας αέρα συμπίεσης.** Επιτυγχάνεται από ειδική βαλβίδα, όπως θα δούμε παρακάτω, και μειώνει την παραγόμενη ώση αφού μειώνεται η ποσότητα του συμπιεσμένου αέρα που εξέρχεται από το συμπιεστή.
- **Θερμοκρασία εισαγωγής των καυσαερίων στο στρόβιλο.** Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της τόσο περισσότερη ενέργεια απορροφάται από το στρόβιλο με αποτέλεσμα την αύξηση των στροφών του συμπιεστή, την εισροή μεγαλύτερης ποσότητας αέρα στον κινητήρα και, τελικά, την παραγωγή μεγαλύτερης ώσης.
- **Έγχυση νερού στον αγωγό εισαγωγής αέρα στον κινητήρα.** Με τον τρόπο αυτόν αυξάνεται η πυκνότητα και η μάζα του εισερχόμενου αέρα, με αποτέλεσμα την έγχυση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου και την αύξηση της παραγόμενης ώσης.
- **Ταχύτητα του αεροσκάφους.** Η επιτάχυνση του αεροσκάφους από μηδενική ταχύτητα, προκαλεί μείωση της παραγόμενης από τον κινητήρα ώσης. Στη συνέχεια, αυτή η εξάρτηση αναστρέφεται, εξαιτίας της αναρρόφησης μεγαλύτερης ποσότητας αέρα (**ram effect**) και περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγόμενης ώσης.

2.1.3.2 Περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν την ώση

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν την παραγόμενη κατά την πτήση ώση είναι οι ακόλουθοι:

- **Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα.** Η αύξησή της σημαίνει ότι ο εισερ-

χόμενος αέρας στον κινητήρα είναι πιο αραιός, οπότε παρουσιάζεται μείωση της παραγόμενης ώσης.

- Πίεση περιβάλλοντος αέρα. Η μείωση της πίεσης του περιβάλλοντος αέρα αντιστοιχεί σε μείωση της πυκνότητάς του, οπότε επέρχεται μείωση στην παραγόμενη ώση. Φυσικά, η πίεση του περιβάλλοντος αέρα είναι ανάλογη του ύψους στο οποίο πραγματοποιείται η πτήση του αεροσκάφους.

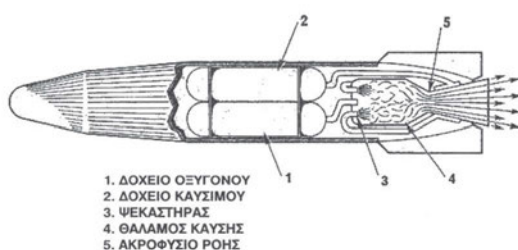
2.1.4 Μέθοδοι αερίωσης - Τύποι αεριωθητών

2.1.4.1 Γενικά

Διάφορα είδη αεροπορικών κινητήρων αερίωσης χρησιμοποιούν το νόμο “δράσης - αντίδρασης”. Όλοι χρησιμοποιούν τον ίδιο τρόπο για την παραγωγή ώσης, επιταχύνουν μάζα αερίων στο εσωτερικό τους. Τα είδη αυτά είναι: ο πύραυλος, ο αθόδουλος ή αυλωθητής, ο παλμικός αθόδουλος ή παλμωθητής, ο αεριοστρόβιλος, ο στροβιλο-αθόδουλος και ο πυραυλο-στρόβιλος. Όλα τα είδη, εκτός από τον πύραυλο, χρησιμοποιούν ατμοσφαιρικό αέρα για την καύση του καυσίμου. Τα καυσαέρια εξωθούνται στο οπίσθιο μέρος του κινητήρα. Ανάλογα με το είδος του κινητήρα, τμήμα της παραγόμενης ενέργειας χρησιμοποιείται για την περιστροφή στροβίλου που δίνει κίνηση σε έλικες, ανεμιστήρες ή άξονες.

2.1.4.2 Πύραυλος (rocket)

Ο πύραυλος δε χρησιμοποιεί ατμοσφαιρικό αέρα για την καύση. Μεταφέρει στο εσωτερικό του φιάλες οξειδόνου (ή άλλου οξειδωτικού μέσου), το οποίο αναμειγνύεται με το καύσιμο και παράγουν την απαιτούμενη ποσότητα καυσαερίων για την κίνησή του. Έτσι, έχει τη δυνατότητα να κινείται σε οποιοδήποτε ύψος, μέσα και έξω από την ατμόσφαιρα. Διακρίνουμε δύο τύπους πυραύλων: υγρών καυσίμων (Σχήμα 2.13) και στερεών καυσίμων (Σχήμα 2.14). Στον πρώτο τύπο, σύνηθες καύσιμο είναι η υδραζίνη (N_2H_4) και συνηθέστερο οξειδωτικό το υγρό οξειδόνου ή το νιτρικό οξύ (HNO_3).

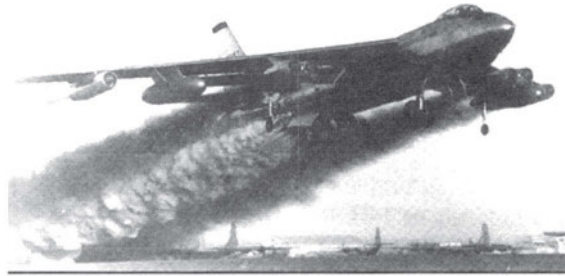


Σχήμα 2.13 Πύραυλος υγρών καυσίμων



Σχήμα 2.14 Πύραυλος στερεών καυσίμων

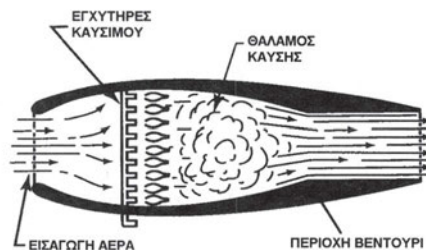
Ο δεύτερος τύπος έχει αντικαταστήσει τον πύραυλο υγρών καυσίμων σε αρκετές εφαρμογές, όπως στην κίνηση βλημάτων, διαστημικών οχημάτων και στην παροχή περίσσειας ισχύος σε αεροσκάφη κατά την απογείωση (Σχήμα 2.15). Συνήθως χρησιμοποιείται βαλιστίτης ως στερεό καύσιμο και είναι αναμειγμένος με το οξειδωτικό.



Σχήμα 2.15 Απογείωση αεροσκάφους με τη βοήθεια πυραύλου στερεών καυσίμου

2.1.4.3 Αθόδυλος (ram jet)

Ο αθόδυλος ονομάζεται και **αερο-θερμοδυναμικός αυλός (aero-thermodynamic duct)**. Αποτελεί τον απλούστερο κινητήρα αεριώθησης διότι δεν έχει κινητά μέρη. Ουσιαστικά αποτελείται από τους ψεκαστήρες και το **μετρητή καυσίμου**, τους **συγκρατητές της φλόγας (flame holders)**, τα οποία βρίσκονται μέσα σε σωλήνα με αποκλίνουσα εισαγωγή και αποκλίνουσα - συγκλίνουσα (ή απλή συγκλίνουσα) εξαγωγή (Σχήμα 2.16). Η απουσία περιστρεφόμενου συμπίεστη δεν επιτρέπει την εισαγωγή επαρκούς ποσότητας αέρα στον αθόδυλο στις χαμηλές ταχύτητες. Πρέπει, έτσι, να κινηθεί με μεγάλη ταχύτητα προτού να είναι σε θέση να παράσχει ώση (ram effect). Όταν εισέλθει αέρας στον κινητήρα, εγχύεται καύσιμο και παράγονται τα απαιτούμενα καυσαέρια που επιταχύνονται και παράγουν ώση. Η ιδιομορφία αυτή του αθόδουλου επιβάλλει την τοποθέτησή του πάνω σε πύραυλο ή αεροσκάφος. Στη συνέχεια, υποβοηθά με την ώση που παράγει τον ίδιο το φορέα του ή αποσπάται από αυτόν και προωθεί άλλο σκάφος ή βαλλιστικό βλήμα, με τα οποία συνδέεται.

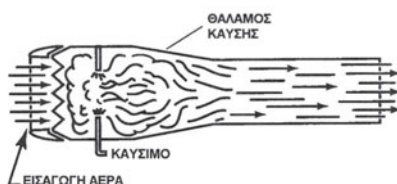


Σχήμα 2.16 Τα τμήματα του αθόδουλου

Ο αθόδουλος αποτελεί το αποδοτικότερο είδος κινητήρα σε ταχύτητες 3000 km/h και άνω.

2.1.4.4 Παλμικός αθόδουλος (Pulse jet)

Ο παλμικός αθόδουλος διαφέρει από τον αθόδουλο μόνο στην κατασκευή της εισαγωγής του αέρα. Εκεί, τοποθετούνται **βαλβίδες εισαγωγής** που διατηρούνται στην ανοικτή θέση με **ελατήρια** (Σχήμα 2.17). Έτσι, διέρχεται αέρας όπου αναμειγνύεται με το καύσιμο και το μείγμα καίγεται στο **θάλαμο καύσης**. Τα παραγόμενα καυσαέρια εκτονώνονται και εξαναγκάζουν τις βαλβίδες εισαγωγής να κλείσουν, οπότε και τα καυσαέρια επιταχύνονται προς την εξαγωγή. Τότε παράγουν την απαιτούμενη ώση. Τα ελατήρια ανοίγουν ξανά τις βαλβίδες εισαγωγής και ο κύκλος λειτουργίας επαναλαμβάνεται.

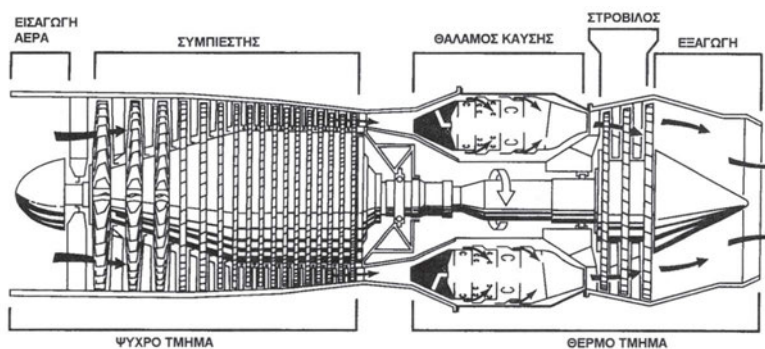


Σχήμα 2.17 Τα τμήματα του παλμικού αθόδουλου

Σε αντίθεση με τον αθόδουλο όπου παροχή ισχύος είναι συνεχής, στον παλμικό αθόδουλο είναι διακεκομμένη. Ο κινητήρας αυτός είναι θορυβώδης και έχει μικρή απόδοση, όμως μπορεί να λειτουργήσει από την ακινησία. Χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία από τη γερμανική αεροπορία κατά το 2ο Παγκόσμιο πόλεμο με την ονομασία “ιπτάμενη βόμβα”. Βρίσκει κάποιες εφαρμογές στην περιστροφή πτερυγίων ελικοπτήρων.

2.1.4.5 Βασικές αρχές αεριοστρόβιλου (gas turbine engine)

Ο αεριοστρόβιλος θεωρείται ως ο πιο αποτελεσματικός κινητήρας αερίωθησης που βρίσκεται σε χρήση στην εποχή μας. Χρησιμοποιείται σε αεροσκάφη επιβατικά, εμπορικά και στρατιωτικά. Τα βασικά του μέρη είναι ο **συμπιεστής**, ο **θάλαμος καύσης**, ο **στρόβιλος** και το **ακροφύσιο εξαγωγής**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.18.



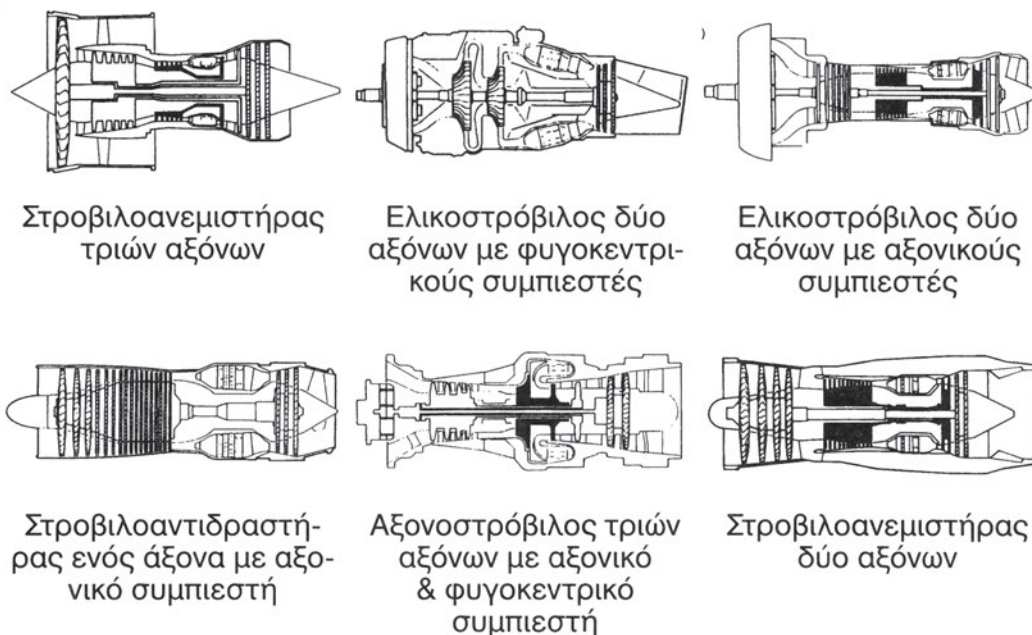
Σχήμα 2.18 Τα βασικά μέρη του αεριοστρόβιλου

Γενικά, ο συμπιεστής αποτελεί το **ψυχρό τμήμα** του κινητήρα και ο θάλαμος καύσης με το στρόβιλο, το **θερμό τμήμα**. Μία μάζα αέρα οδηγείται από το τμήμα εισαγωγής στο συμπιεστή. Εκεί συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης. Αναμιγνύεται με εγχυόμενο καύσιμο και επιτυγχάνεται καύση. Τα παραγόμενα θερμά καυσαέρια εκτονώνονται και οδηγούνται προς την εξαγωγή. Στη διαδρομή αυτήν προκαλούν την **περιστροφή του στροβίλου** ο οποίος **συνδέεται με το συμπιεστή με κοινό άξονα**. Στη συνέχεια, τα καυσαέρια συνεχίζουν την εκτόνωσή τους και περνώντας από το ακροφύσιο εξόδου, εξέρχονται από τον κινητήρα έχοντας πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτήν της εισερχόμενης μάζας αέρα. Η διαφορά αυτή μεταξύ των δύο ταχυτήτων προκαλεί την παραγόμενη ώση.

Ανάλογα με τον τύπο του αεριοστρόβιλου, όπως θα δούμε στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται **περισσότεροι από ένας στρόβιλοι**. **Ο καθένας συνδέεται με τον αντίστοιχο συμπιεστή μέσω ξεχωριστού άξονα**. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται δύο ή τρεις συμπιεστές και στρόβιλοι, αυτοί συνδέονται με συγκεντρικούς άξονες. Οι αεριοστρόβιλοι δηλαδή μπορούν να κατηγοριοποιηθούν, ανάλογα με τον αριθμό των αξόνων τους, σε: **αεριοστρόβιλους απλού, διπλού και τριπλού άξονα ή τυμπάνου**.

Στον αεριοστρόβιλο, η παραγωγή ισχύος είναι ανάλογη του ποσού της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση. Η θερμότητα αυτή δε μπορεί να μετρηθεί αλλά υπολογίζεται από τρεις άλλες, γνωστές παραμέτρους: τη θερμοκρασία, τη μάζα (ή το βάρος) και την ειδική θερμότητα. Η διαφορά του ρόλου της θερμότητας και της θερμοκρασίας στη λειτουργία ενός αεριοστρόβιλου φαίνεται από το ακόλουθο παράδειγμα: υποθέστε τη λειτουργία δύο αεριοστρόβιλων από τους οποίους ο ένας καταναλώνει τη δεκαπλάσια ποσότητα καυσίμου από τον άλλον. Και οι δύο κινητήρες λειτουργούν με την ίδια θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στο στρόβιλο. Όμως, ο μεγαλύτερος κινητήρας είναι σε θέση να αποδώσει περίπου δέκα φορές μεγαλύτερη ισχύ από το μικρότερο. Και αυτό διότι σε αυτόν εκλύεται δέκα φορές μεγαλύτερο ποσό θερμότητας από ό,τι στο μικρότερο, ενώ λειτουργούν στην ίδια θερμοκρασία. Στο σημείο αυτό θα αναφέρουμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας καύσης οδηγεί σε μεγαλύτερη εκτόνωση των καυσαερίων. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας ώσης. Όμως, παρουσιάζεται ο περιορισμός της αντοχής των υλικών κατασκευής του θαλάμου καύσης και του στροβίλου.

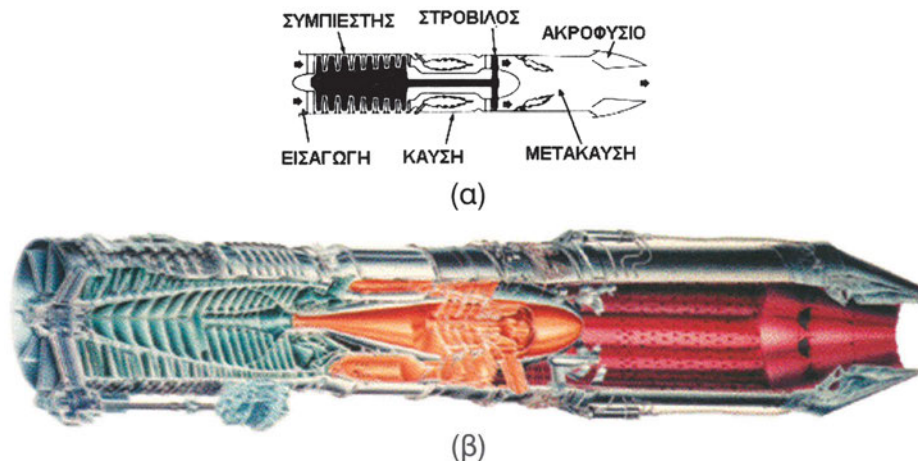
Ο αεριοστρόβιλος κινητήρας διακρίνεται σε τέσσερις διαφορετικούς τύπους. Όλοι αποτελούνται από τα βασικά μέρη που είδαμε παραπάνω. Οι διαφορές τους βρίσκονται στον τύπο και τη διάταξη των βασικών αυτών μερών. Στο Σχήμα 2.19 διακρίνονται αεριοστρόβιλοι με διαφορετικές διατάξεις των βασικών τους μερών.



Σχήμα 2.19 Διάφοροι τύποι αεριοστροβίλων

2.1.5 Οι τύποι του αεριοστροβίλου

2.1.5.1 Στροβιλοαντιδραστήρας (turbojet engine)



Σχήμα 2.20 (α) Τα βασικά μέρη ενός στροβιλοαντιδραστήρα, (β) Ο στροβιλοαντιδραστήρας GE J79.

Η αρχή λειτουργίας του είναι παρόμοια με αυτήν που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ο στροβιλοαντιδραστήρας (Σχήμα 2.20) αποτελεί την απλούστερη μορφή αεριοστροβίλου κινητήρα. **Χρησιμοποιεί τη ροή των**

καυσαερίων που σχηματίζεται στο ακροφύσιο εξαγωγής ως το μοναδικό μέσο παραγωγής ώσης για την κίνηση του αεροσκάφους. Η παραγωγή ώσης επιτυγχάνεται με την επιτάχυνση μικρών, σχετικά, μαζών αέρα σε υψηλές ταχύτητες.

Μία χαρακτηριστική παράμετρος του στροβιλοαντιδραστήρα είναι ο λόγος συμπίεσης ή λόγος πίεσης μηχανής (**engine pressure ratio - EPR**). Το μέγεθος αυτό αποτελεί το λόγο της πίεσης εξαγωγής των καυσαερίων από το στρόβιλο προς την πίεση του εισερχόμενου αέρα στον κινητήρα. **Η τιμή του EPR αποτελεί ένδειξη της παραγόμενης ώσης για μία συγκεκριμένη παροχή ισχύος.**

Ένα σχετικό μειονέκτημα του στροβιλοαντιδραστήρα είναι ότι στις χαμηλές ταχύτητες πτήσης η παραγόμενη ώση είναι αναλογικά μικρή. Ο λόγος είναι ότι απαιτείται ικανοποιητική πίεση εισαγωγής αέρα (ram effect) στο συμπιεστή και, τελικά, ταχύτητα. Για το λόγο αυτό **ένας στροβιλοαντιδραστήρας χρειάζεται μεγάλο διάδρομο απογείωσης** ώστε να αυξηθεί ικανοποιητικά η πίεση εισαγωγής και, συνεπώς, η ώση κατά την απογείωση του αεροσκάφους. Επίσης, η αυξημένη κατανάλωση καυσίμου αποτελεί ένα χαρακτηριστικό μειονέκτημα του στροβιλοαντιδραστήρα. Τέλος, συγκριτικά με έναν ελικοφόρο κινητήρα, ο στροβιλοαντιδραστήρας επιτυγχάνει μικρότερη απόδοση σε ταχύτητες πτήσης κάτω των 750km/h.¹ Καθώς η απόδοση του έλικα που συνεργάζεται με τον ελικοφόρο κινητήρα μειώνεται σε ταχύτητες πτήσης άνω των 550km/h,² αναπτύχθηκαν νέοι τύποι αεριοστροβίλων για την πιο αποτελεσματική λειτουργία σε αυτό το εύρος των ταχυτήτων πτήσης.

2.1.5.2 Ελικοστρόβιλος (turbo-prop engine)

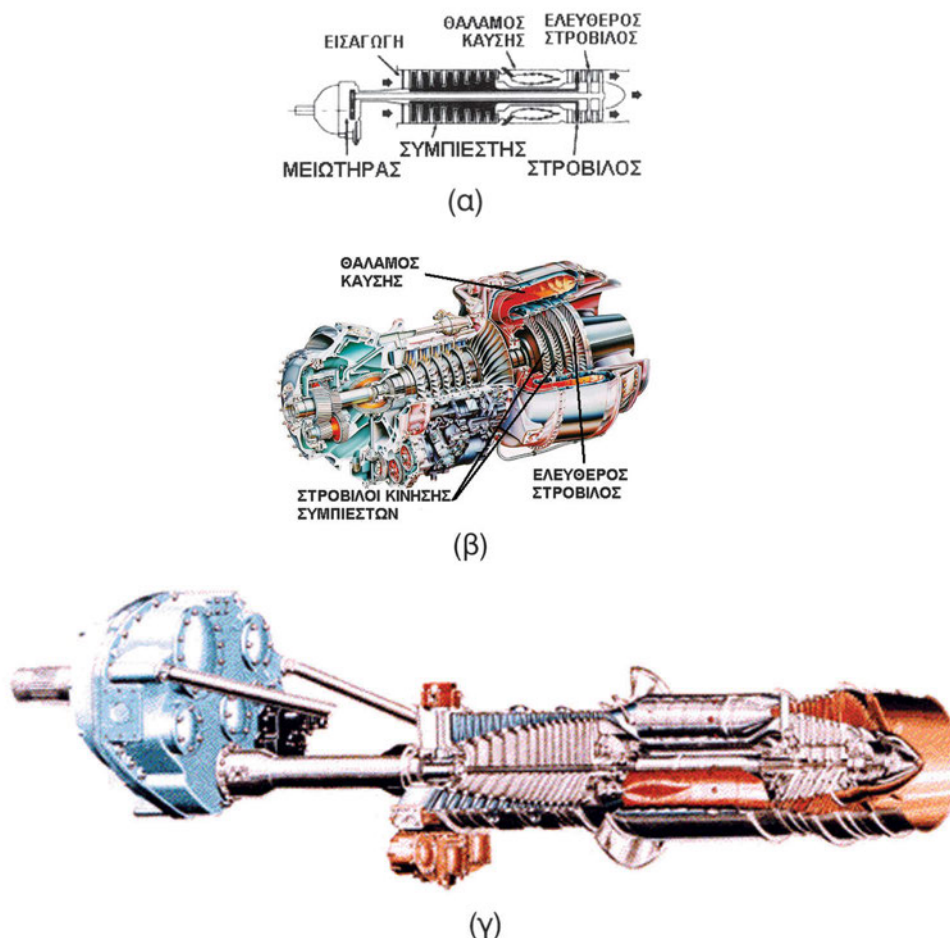
Ο κινητήρας αυτός (Σχήμα 2.21) έχει ευρεία εφαρμογή. Ουσιαστικά, είναι όμοιος με το στροβιλοαντιδραστήρα με τη διαφορά ότι **χρησιμοποιείται ένα σύστημα γρναζιών ως μειωτήρας στροφών για τη μετάδοση κίνησης σε έναν έλικα.**³ Στον ελικοστρόβιλο, **σχεδόν όλη η ενέργεια των καυσαερίων χρησιμοποιείται για την κίνηση του έλικα.** Για το λόγο αυτό, η προσφερόμενη από τα καυσαέρια ώση είναι πολύ μικρή.

Πιο συγκεκριμένα, η ενέργεια των καυσαερίων ενός ελικοστρόβιλου κινητήρα αποδίδεται - σε ποσοστό έως 90% - ως ισχύς στον άξονα που κινεί τον έλικα. Μόνο το υπόλοιπο 10% της ενέργειας των καυσαερίων παρέχεται υπό μορφή ώσης.

¹ Η προωθητική του απόδοση εξαρτάται από την ταχύτητα πτήσης.

² Λόγω του φαινομένου της απώλειας αεροδυναμικής στήριξης, που εμφανίζεται στα άκρα των πτερυγίων της έλικας, αλλά και της δημιουργίας κυμάτων κρούσης.

³ Ο μειωτήρας στροφών είναι απαραίτητος, καθώς η βέλτιστη απόδοση της έλικας επιτυγχάνεται σε πολύ μικρότερες στροφές από αυτές του κινητήρα.



Σχήμα 2.21 (α) Τα βασικά μέρη του ελικοστρόβιλου, (β) ο ελικοστρόβιλος/ αξονοστρόβιλος T-53, (γ) ο ελικοστρόβιλος T-56.

Σε ορισμένους ελικοστρόβιλους χρησιμοποιείται ξεχωριστός στρόβιλος για την κίνηση του έλικα. Αυτός ονομάζεται **ελεύθερος στρόβιλος (free turbine ή power turbine)** και είναι συνδεδεμένος με ξεχωριστό άξονα με το μειωτήρα στροφών (Σχήμα 2.21 (α), (β)). Τα άλλα μέρη του κινητήρα (συμπιεστής, θάλαμος καύσης και **στρόβιλος καυσαερίων - gas turbine**) λειτουργούν για να παρέχουν καυσαέρια με υψηλή ενέργεια για την περιστροφή του ελεύθερου στρόβιλου.

Σε άλλους ελικοστρόβιλους δεν υπάρχει ξεχωριστός ελεύθερος στρόβιλος και η κίνηση του έλικα επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση μέρους της ενέργειας των καυσαερίων που εκτονώνονται σε στρόβιλο, ο οποίος κινεί και το συμπιεστή (Σχήμα 2.21γ).

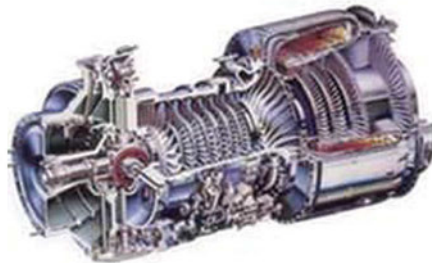
Το μεγάλο **πλεονέκτημα του ελικοστρόβιλου κινητήρα** είναι ότι επιτυγχάνει την **καλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου** συγκριτικά με οποιονδήποτε

αεριοστρόβιλο κινητήρα άλλου τύπου. Η συμβολή του έλικα επιτρέπει την επιτάχυνση μεγάλων μαζών αέρα σε μικρές, σχετικά, ταχύτητες¹. Η παραγωγή ώση είναι μεγάλη και το αεροσκάφος έχει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά στην απογείωση (μικρός διάδρομος) και στην άνοδο. Επιπλέον, η απόδοσή του είναι ικανοποιητική ακόμη και σε σχετικά μεγάλα ύψη πτήσεων (6000m).

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα μειώνονται όταν αυξάνεται η ταχύτητα (άνω των 650km/h) και το ύψος της πτήσης (άνω των 7000m). Ακόμη, ένα μειονέκτημα του ελικοστρόβιλου κινητήρα είναι η πολυπλοκότητα της κατασκευής του που, κάποιες φορές, επιφέρει προβλήματα και στη συντήρησή του. Τέλος, το βάρος του είναι μεγαλύτερο από ένα στροβιλοαντιδραστήρα με ανάλογη ώση.

2.1.5.3 Αξονοστρόβιλος (turboshaft engine)

Αυτός ο τύπος αεριοστρόβιλου (Σχήμα 2.22) παρέχει ισχύ σχεδόν αποκλειστικά στον άξονά του ενώ ελάχιστη είναι η παραγωγή ώσης.



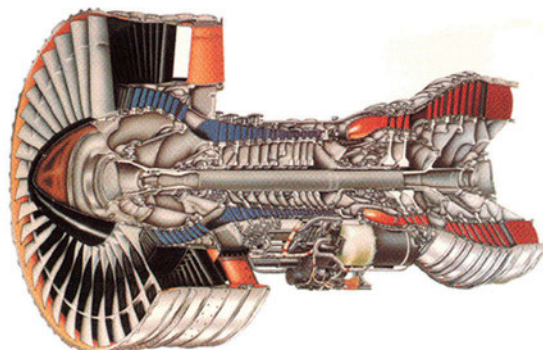
Σχήμα 2.22 Τομή αξονοστρόβιλου κινητήρα

Όπως εύκολα καταλαβαίνει κάποιος, η ομοιότητα με τον ελικοστρόβιλο είναι μεγάλη. Στην περίπτωση που ο **ελεύθερος στρόβιλος** του ελικοστρόβιλου κινητήρα δε συνδέεται με έλικα αεροσκάφους, αλλά με τον άξονα του στροφείου ενός **ελικοπτέρου** τότε έχουμε τον **αξονοστρόβιλο**. Επίσης, ο κινητήρας αυτός χρησιμοποιείται, σε κάποιες περιπτώσεις, και ως εναλλακτικό μέσο παροχής ισχύος (**Auxiliary Power Unit, APU**) σε ένα αεροσκάφος. Βέβαια, ξεχωριστά από τις αεροπορικές εφαρμογές, ο ελεύθερος στρόβιλος μπορεί να συνδεθεί και με τον άξονα στροφείου πλοίου, αυτοκινήτου, ηλεκτρογεννήτριας. Η έξοδος του αξονοστρόβιλου ορίζεται από την παραγόμενη ισχύ στον άξονα (αξονική ισχύς) του ελεύθερου στροβίλου.

2.1.5.4 Στροβιλοανεμιστήρας (turbofan engine)

Η παραλλαγή αυτή του στροβιλοαντιδραστήρα (φαίνεται σε τομή στο Σχήμα 2.23) αποτελεί μία από τις σπουδαιότερες τεχνικές εξελίξεις του αεριοστρόβιλου. Ο κινητήρας αυτός **συνδυάζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του στροβιλοαντιδραστήρα και ελικοστρόβιλου**.

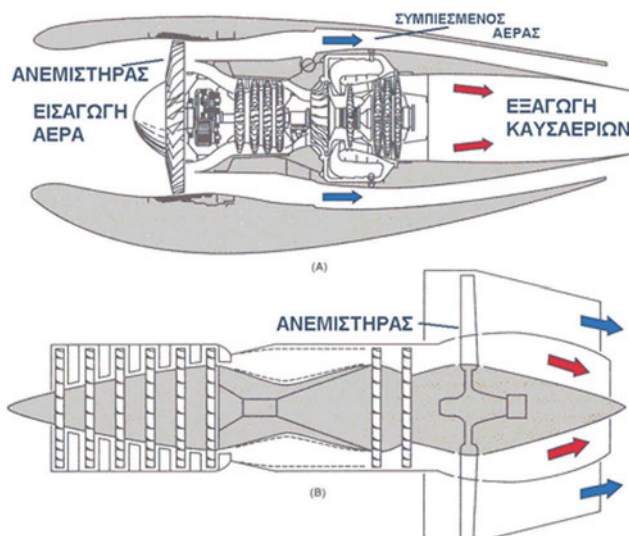
¹ Όταν το αεροσκάφος κινείται με μικρές, ως προς το έδαφος, ταχύτητες.



Σχήμα 2.23 Τυπικός στροβιλοανεμιστήρας σε τομή

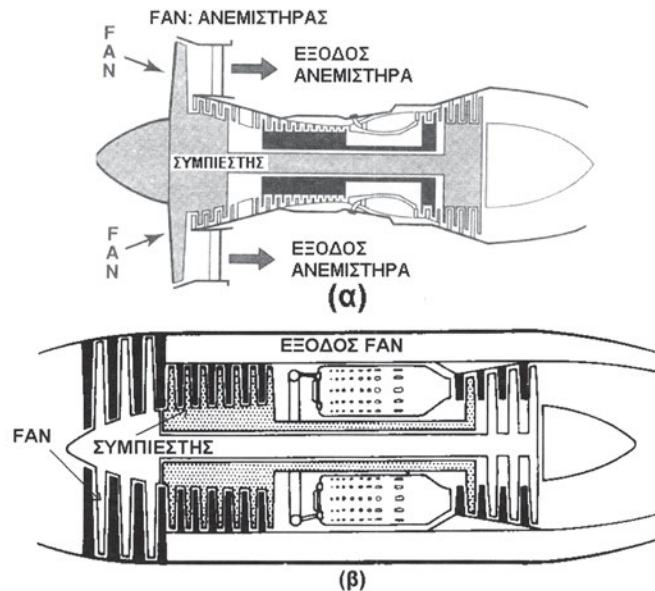
Ο στροβιλοανεμιστήρας επιταχύνει μικρότερη μάζα αέρα από τον ελικοστρόβιλο αλλά μεγαλύτερη από το στροβιλοαντιδραστήρα. Αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες πτήσης και σε μεγάλα ύψη (όπως ο στροβιλοαντιδραστήρας) ενώ, παράλληλα, δεν απαιτεί μεγάλο διάδρομο για την απογείωση (όπως και ο ελικοστρόβιλος). Επιπρόσθετα, ο περιορισμός της ταχύτητας πτήσης του ελικοστρόβιλου σε τιμές 550 έως 650km/h δεν ισχύει. Τα πτερύγια του ανεμιστήρα σε αυτήν την περίπτωση είναι σχεδιασμένα με τρόπο τέτοιο ώστε να μην επηρεάζονται ιδιαίτερα από την ταχύτητα του αεροσκάφους. Σημαντικά πλεονεκτήματα, επίσης, θεωρούνται η αυξημένη παροχή ισχύος ανά μονάδα βάρους, η καλή ειδική κατανάλωση καυσίμου και μειωμένος θόρυβος κατά την απογείωση και την προσγείωση.

Ουσιαστικά, ο στροβιλοανεμιστήρας είναι ένας ελικοστρόβιλος με τον έλικα - δηλαδή τον ανεμιστήρα (fan) - μέσα στον κινητήρα. Ο ανεμιστήρας βρίσκεται στο μπροστινό (Σχήμα 2.24α) ή στο οπίσθιο τμήμα του κινητήρα (Σχήμα 2.24β).



Σχήμα 2.24 Θέσεις του ανεμιστήρα στο στροβιλοανεμιστήρα

Η ροή του αέρα εισαγωγής διασπάται σε δύο ρεύματα: το θερμό και το ψυχρό. Το πρώτο ρεύμα διέρχεται μέσα από τον κινητήρα, κατά τα γνωστά. Το ψυχρό ρεύμα περνά περιφερειακά του σώματος του κινητήρα, με την ίδια, βέβαια, αξονική διεύθυνση (**ροή παράκαμψης - bypass**). Το ρεύμα αυτό συνεισφέρει στην παραγωγή του 80% της ώσης του κινητήρα¹. Ο ανεμιστήρας επιταχύνει ψυχρό αέρα προς το οπίσθιο τμήμα του κινητήρα, χωρίς αυτός να αναμειγνύεται με καύσιμο και να καίγεται. Έτσι, παράγεται ώση που προστίθεται στην ολική ώση του κινητήρα. Ο λόγος του ψυχρού ρεύματος προς το θερμό ρεύμα αέρα καλείται **λόγος παράκαμψης (bypass ratio)** και είναι χαρακτηριστικό του στροβιλοανεμιστήρα. Οι τιμές του κυμαίνονται από 2:1 έως 10:1.² Ανάλογα με τις τιμές του λόγου, ένας στροβιλοανεμιστήρας χαρακτηρίζεται ως υψηλού ή χαμηλού λόγου παράκαμψης. Χαρακτηριστικά δείγματα φαίνονται στο Σχήμα 2.25 (α) και (β), αντίστοιχα.



Σχήμα 2.25 Στροβιλοανεμιστήρας (α) υψηλού και (β) χαμηλού λόγου παράκαμψης

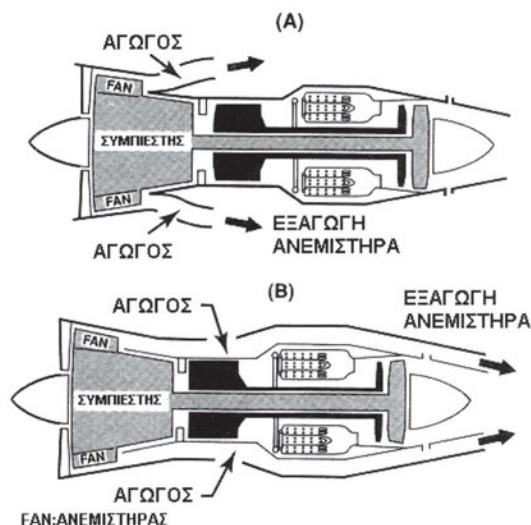
Η έξοδος του αέρα παράκαμψης πραγματοποιείται από ειδικό αγωγό (duct) που βρίσκεται περιφερειακά του κύριου σώματος του κινητήρα. Το μήκος του αγωγού είναι μικρό - συνήθως στην περίπτωση χρήσης ανεμιστήρα μεγάλης

¹ Γενικά, η ώση που παράγει ο ανεμιστήρας, κυμαίνεται μεταξύ 30 - 80% της ολικής, ανάλογα με το λόγο παράκαμψης.

² Αντίστοιχα, ο λόγος ροής αέρα από την έλικα προς τη ροή αέρα μέσα σε έναν ελικοστρόβιλο, είναι της τάξης του 50:1.

διαμέτρου ή μεγάλο - ο αγωγός εκτείνεται σε όλο το μήκος του κινητήρα¹ - κατά περίπτωση (Σχήμα 2.26).

Στις περισσότερες μορφές στροβιλοανεμιστήρα, χρησιμοποιούνται περισσότεροι από ένας στρόβιλοι για την κίνηση αποκλειστικά και μόνον του ανεμιστήρα. Ο συμπιεστής - ή οι συμπιεστές - του κινητήρα κινούνται από άλλο ή άλλους στρόβιλους.



Σχήμα 2.26 Έξοδος αέρα παράκαμψης από αγωγό (A) μικρού και (B) μεγάλου μήκους

Στις μέρες μας οι στροβιλοανεμιστήρες θεωρούνται ως οι πλέον κατάλληλοι τύποι κινητήρων αεριώθησης για μεγάλα αεροσκάφη.

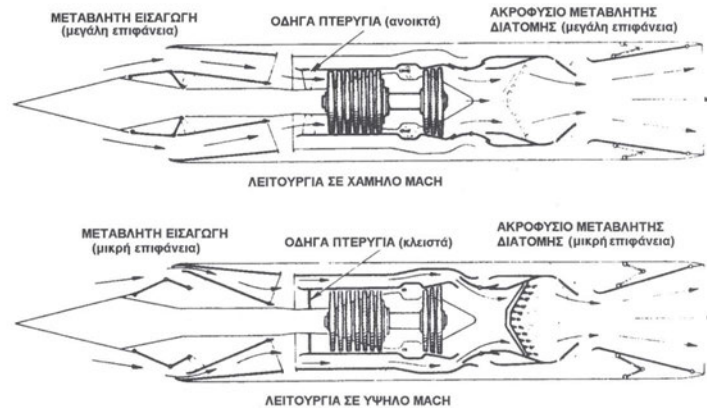
2.1.5.5 Στροβιλο-αθόδουλος (turboramjet)

Αποτελεί συνδυασμό του στροβιλοαντιδραστήρα και του αθόδουλου. Ο κινητήρας διαθέτει αγωγό μεταβλητού ανοίγματος εισαγωγής, μετακαυστήρα² και ακροφύσιο μεταβλητής διατομής, εκτός από τη διάταξη του στροβιλοαντιδραστήρα (Σχήμα 2.27). Κατά την απογείωση και την προσγείωση ο κινητήρας λειτουργεί ως στροβιλοαντιδραστήρας με μετακαυστήρα. Σε ταχύτητες έως και τριπλάσιες της ταχύτητας του ήχου (Mach 3), όπου ο στρο-

¹ Στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνεται μείωση της αεροδυναμικής αντίστασης και του θορύβου του κινητήρα.

² Η μετάκαυση πραγματοποιείται με την έγχυση καυσίμου στο χώρο μεταξύ στρόβιλου και εξαγωγής, το οποίο καίγεται μετά την ανάμειξή του με τα καυσαέρια. Χρησιμοποιείται για την αύξηση της ώσης.

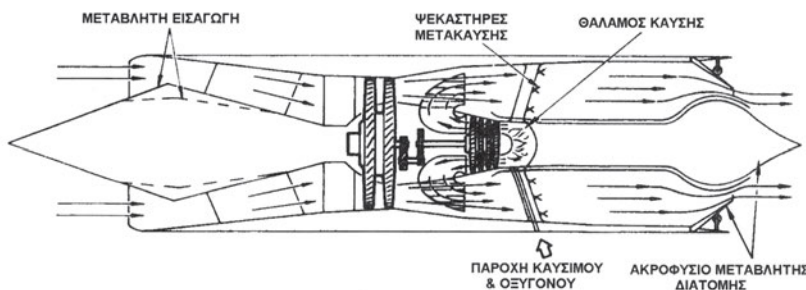
βιλοαντιδραστήρας έχει καλή απόδοση, ο στροβιλοαντιδραστήρας λειτουργεί χωρίς τη βοήθεια του μετακαυστήρα. Όταν η ταχύτητα υπερβεί το Mach 3, ο στροβιλοαντιδραστήρας σταματά να λειτουργεί, η ροή του αέρα κατευθύνεται στο μετακαυστήρα και η λειτουργία του κινητήρα είναι αυτή του αθόδουλου.



Σχήμα 2.27 Ο στροβιλο-αθόδουλος

2.1.5.6 Πυραυλοστρόβιλος (turborocket)

Αποτελεί εναλλακτική λύση του στροβιλο-αθόδουλου. Μεταφέρει υγρό οξυγόνο σε φιάλες για την καύση, οπότε και δε χρησιμοποιεί ατμοσφαιρικό αέρα. Ο κινητήρας αποτελείται από έναν πολυβάθμιο στρόβιλο ο οποίος δίνει κίνηση σε ένα συμπιεστή χαμηλής πίεσης (Σχήμα 2.28). Ο στρόβιλος κινείται από τα καυσαέρια της καύσης κηροζίνης και υγρού οξυγόνου σε θάλαμο καύσης όπως στους πυραύλους. Βασικό πλεονέκτημα του πυραυλοστρόβιλου είναι ο μικρός όγκος και το μικρό του βάρος. Παρουσιάζει, όμως, ιδιαίτερα υψηλή ειδική κατανάλωση καυσίμου. Χρησιμοποιείται όταν απαιτείται πτήση μικρής διάρκειας σε πολύ μεγάλα ύψη (έως 30000m) ώστε να μην απαιτηθεί κατανάλωση τεράστιας ποσότητας προωθητικής ύλης, όπως στους πυραύλους.



Σχήμα 2.28 Ο πυραυλο-στρόβιλος

2.1.6 Σύγκριση μεταξύ των ειδών και των τύπων των κινητήρων

Στο σημείο αυτό, ας συνοψίσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που συγκεντρώνουν οι κινητήρες με τους οποίους ασχοληθήκαμε παραπάνω.

2.1.6.1 Παλινδρομικοί κινητήρες και κινητήρες αεριώθησης

Στις αεροπορικές εφαρμογές, ο τύπος του κινητήρα αεριώθησης που έχει επικρατήσει είναι ο αεριοστρόβιλος. Ο τελευταίος έχει περιορίσει, επίσης, εδώ και κάποιες δεκαετίες, τη χρήση του παλινδρομικού κινητήρα στα αεροσκάφη. Ως βασικά πλεονεκτήματα του αεριοστρόβιλου κινητήρα, έναντι του παλινδρομικού θεωρούνται:

- ο μικρότερος όγκος και το μικρότερο βάρος του,
- η περιστροφική λειτουργία του, που μειώνει τις απώλειες από τριβές και την πιθανότητα εμφάνισης κραδασμών,
- η απλούστερη κατασκευή και οι πιο εύκολες διαδικασίες συντήρησης και ελέγχων, και
- η δυνατότητα επίτευξης **διηχητικών και υπερηχητικών πτήσεων**.

Αν κάποιος εξετάσει με καθαρά λειτουργικά κριτήρια τα είδη αυτά των αεροπορικών κινητήρων, θα κάνει την πολύ σημαντική παρατήρηση ότι οι αεριοστρόβιλοι κινητήρες επιτυγχάνουν πολύ μεγαλύτερους λόγους παραγόμενης ώσης ανά μονάδα βάρους από τους παλινδρομικούς (8 φορές μεγαλύτερος λόγος για τον στροβιλοαντιδραστήρα και 5 φορές για τον ελικοστρόβιλο). Επίσης, όπως είδαμε και στα οικεία κεφάλαια, από την ταχύτητα των 800km/h και άνω, η απόδοση των ελικοφόρων αεροσκαφών με παλινδρομικό κινητήρα είναι ουσιαστικά μηδενική (λόγω της αδυναμίας του έλικα να επιτύχει ικανοποιητική ώση για την πτήση), οπότε και επιβάλλεται η χρήση στροβιλοαντιδραστήρα ή στροβιλοανεμιστήρα.

Ως **μειονεκτήματα** των αεριοστρόβιλων κινητήρων θεωρούνται η **αυξημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου** σε σχέση με τους παλινδρομικούς κινητήρες. Βέβαια, η λειτουργία των στροβιλοελικοφόρων κινητήρων, με τις αρκετά μειωμένες τιμές ειδικής κατανάλωσης, έχει επιφέρει κάποια ισορροπία στο ζήτημα αυτό. Επίσης, οι αεριοστρόβιλοι κινητήρες παρουσιάζουν **μεγάλο κόστος**

κατασκευής, ενώ αυξημένος θεωρείται και ο κίνδυνος της ανεπανόρθωτης ζημίας σε ζωτικά μέρη τους λόγω αναρρόφησης ξένων σωμάτων (**Foreign Object Damage, FOD**) κατά τη λειτουργία τους.

2.1.6.2 Σύγκριση αεριοστρόβιλων με αθόδουλους και πυραύλους

Ο αεριοστρόβιλος, γενικά, παρουσιάζει καλύτερη απόδοση και ικανοποιητικά λειτουργικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τον αθόδουλο και τον πύραυλο, στην περιοχή των σημερινών ταχυτήτων πτήσης.

Ειδικότερα, ο αθόδουλος σε ταχύτητα έως Mach 2,6 περίπου παρουσιάζει χειρότερη απόδοση από τον αεριοστρόβιλο. Επίσης, δεν είναι σε θέση να εκκινήσει από μηδενική ταχύτητα αλλά χρειάζεται τη συνδρομή άλλου μέσου. Βέβαια, παρουσιάζει το πλεονέκτημα της απλότητας στην κατασκευή και του μικρού βάρους ανά μονάδα παραγόμενης ώσης.

Ο πύραυλος παρέχει μεγάλη ποσότητα ώσης ανά μονάδα βάρους. Παρουσιάζει, όμως, όπως και ο αθόδουλος, χαμηλότερη απόδοση από τον αεριοστρόβιλο. Επιπρόσθετα, η εγκατάσταση αποθήκευσης οξειδωτικού μέσου προσδίδει όγκο και βάρος στον κινητήρα. Ένα ακόμη μειονέκτημά του είναι η αδυναμία μεταβολής της ώσης κατά τη διάρκεια της πτήσης. Για τους λόγους αυτούς, η χρήση του περιορίζεται στις περιπτώσεις όπου απαιτείται συμπληρωματική ώση για σύντομο χρονικό διάστημα. Αποτελεί, όμως, το μοναδικό κινητήρα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόωση βλημάτων και αερο-οχημάτων έξω από την ατμόσφαιρα.

2.1.7 Χρήσεις των κινητήρων αεριώθησης

Η θεαματική εξέλιξη των κινητήρων αεριώθησης μετά το 2ο παγκόσμιο πόλεμο, έχει επιβάλει τη χρήση τους σχεδόν σε όλους τους τομείς των αεροπορικών πτήσεων. **Στις καθημερινές εφαρμογές, οι αεριοστρόβιλοι έχουν τη μεγαλύτερη χρήση.** Όπως είδαμε και στα προηγούμενα κεφάλαια, κάθε τύπος τους συγκεντρώνει ορισμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά που τον καθιστούν κατάλληλο για τη χρήση συγκεκριμένων τύπων αεροσκαφών.

Οι **ελικοστρόβιλοι** συνδυάζουν **μικρό βάρος και υψηλή απόδοση**, επιτυγχάνοντας **πολύ καλή ειδική κατανάλωση καυσίμου**. Χρησιμοποιούνται για την κίνηση μεταφορικών αεροσκαφών, μέσης και μεγάλης εμβέλειας, σε υψηλές υποηχητικές ταχύτητες. Το ανώτατο όριο της ταχύτητάς τους καθορίζεται από την απόδοση του έλικα.

Οι **στροβιλοαντιδραστήρες** και οι **στροβιλοανεμιστήρες** χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη που απαιτούν **διηχητικές** και **υπερηχητικές ταχύτητες**. Σε μικρότερες ταχύτητες χρησιμοποιούνται στροβιλοανεμιστήρες οι οποίοι παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα των ελικοστροβίλων χωρίς να περιορίζονται λειτουργικά από το σχεδιασμό του έλικα.

Πολύ διαδεδομένη, επίσης, είναι η **χρήση αεριοστροβίλων για την κίνηση ελικοπτερίων**. Απαιτείται, βέβαια, ένα πολύπλοκο σύστημα μετάδοσης της κίνησης και υποπολλαπλασιασμού των στροφών του κινητήρα για την κανονική λειτουργία του έλικα.

Μία άλλη συνήθης **χρήση των αεριοστροβίλων** είναι ως **βοηθητική πηγή ενέργειας (APU)**, κατά την παραμονή του αεροσκάφους στο έδαφος, ή σε περίπτωση ανάγκης. Χρησιμοποιούν καύσιμο από τις δεξαμενές του αεροσκάφους και παρέχουν ενέργεια για το σύστημα κλιματισμού και, γενικά, ηλεκτρική ενέργεια για οποιαδήποτε χρήση.

Τέλος, **αεριοστρόβιλοι ανύψωσης** χρησιμοποιούνται στα **αεροσκάφη κάθετης απογείωσης και προσγείωσης**.

2.1.8 Σχεδίαση, κατασκευή, υλικά κατασκευής

Η σχεδίαση - μελέτη και κατασκευή ενός κινητήρα αεριώθησης είναι χρονοβόρα. Αν συνυπολογίσουμε την προσθήκη της κατασκευής και της δοκιμής του πρότυπου κινητήρα, ο συνολικός χρόνος ανάπτυξης του ως προϊόν μπορεί να φτάσει τα δέκα χρόνια. Ας ληφθεί, επίσης, υπόψη ότι ακόμη και μετά την έναρξη της λειτουργίας του νέου κινητήρα στο αεροσκάφος, οι επιδόσεις και, γενικά, η λειτουργία του παρακολουθούνται. Με τον τρόπο αυτόν, εξασφαλίζεται ο εντοπισμός και η βελτίωση πιθανών αδύνατων λειτουργικών χαρακτηριστικών. Σε αυτήν τη διαδικασία, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει το γεγονός ότι η σχεδίαση του νέου κινητήρα έχει βασιστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό σε προγενέστερο κινητήρα (ίδια οικογένεια κινητήρων, όπως συνηθίζεται να λέγεται). Οι κινητήρες της ίδιας οικογένειας έχουν την ίδια βασική σχεδίαση, οπότε και οι τεχνικοί υπεύθυνοι γνωρίζουν σε ποιους λειτουργικούς παράγοντες πρέπει να δώσουν ιδιαίτερη προσοχή κατά το αρχικό στάδιο λειτουργίας του κινητήρα ως έτοιμου προϊόντος.

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του κινητήρα αεριώθησης συναντώνται τεχνικά θέματα αεροδυναμικής, θερμοδυναμικής και γενικής μηχανικής

νολογικής φύσεως. Μερικά από αυτά είναι:

- οι **συνθήκες ροής** του αέρα και των καυσαερίων κατά την πτήση,
- οι **υψηλοί βαθμοί συμπίεσης** στις βαθμίδες των συμπιεστών,
- οι **υψηλές θερμοκρασίες** που επιφέρουν απαιτήσεις βέλτιστων μεθόδων απαγωγής θερμότητας και επιλογής κατάλληλων υλικών κατασκευής,
- **καταπονήσεις των μερών του κινητήρα** από αεροδυναμικές και φυγοκεντρικές δυνάμεις,
- **υψηλές ταχύτητες περιστροφής και ταχύτητες ροής αερίων** που απαιτούν βέλτιστες κατασκευαστικές ανοχές,
- **υψηλός βαθμός αξιοπιστίας** των επιμέρους τμημάτων του κινητήρα.

Κάθε ένα από τα τμήματα του κινητήρα ελέγχεται, μετά την κατασκευή του, ξεχωριστά και, στη συνέχεια, ως μέρος του κινητήρα. Οι δοκιμές επί του εδάφους πραγματοποιούνται σε **δοκιμαστήρια (test cells)**. Αυτά διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό για τη λειτουργία του κινητήρα σε συνθήκες όμοιες με αυτές που επικρατούν κατά τη διάρκεια της πτήσης ενός αεροσκάφους. Εκεί, πραγματοποιούνται οι μετρήσεις όλων των λειτουργικών μεγεθών που κρίνονται απαραίτητα για την καλή λειτουργία του κινητήρα στο αεροσκάφος. Η δοκιμή του κινητήρα επί του αεροσκάφους ακολουθεί τον επιτυχή έλεγχο στο δοκιμαστήριο. Σε κάθε δοκιμή καταγράφονται όλα τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και οι τυχόν παρατηρήσεις, σε ειδικό βιβλίο για κάθε έναν κινητήρα ξεχωριστά.

Για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης ενός κινητήρα αεριώθησης κάτω από τις ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας του παρουσιάστηκε η ανάγκη χρησιμοποίησης υλικών ιδιαίτερα ανθεκτικών σε αυτές. Τα υλικά αυτά απαιτείται να έχουν υψηλή αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, να έχουν υψηλό λόγο αντοχής προς βάρος και να επιδεικνύουν ιδιαίτερη αντοχή στην οξειδωση και τα διάφορα είδη διάβρωσης. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί μία σειρά από χάλυβες οι οποίοι υπόκεινται σε συγκεκριμένες διεργασίες ώστε να βελτιώνονται κάποια χαρακτηριστικά τους. Επίσης, έχουν δημιουργηθεί κράματα χάλυβων με συγκεκριμένα στοιχεία τα οποία προσδίδουν στο χάλυβα τις ιδιότητες εκείνες που απαιτούνται για τη βέλτιστη μηχανική συμπεριφορά τους κατά τη λειτουργία ενός κινητήρα αεριώθησης. Τα στοιχεία αυτά είναι ο

χαλκός, το χρώμιο, το νικέλιο, το κοβάλτιο, το μαγνήσιο, το μολυβδένιο και το βολφράμιο. Ακόμη, χρησιμοποιούνται για τον ίδιο λόγο και μη σιδηρούχα υλικά, σε αντικατάσταση των παραπάνω κραμάτων. Αυτά είναι ιδιαίτερα ελαφρά και οικονομικά. Τέτοια είναι το αλουμίνιο και διάφορα σύνθετα υλικά.

Οι συνεχώς βελτιωμένες τεχνικές σχεδίασης και κατασκευής των κινητήρων αεριώθησης, καθώς και η χρήση όλο και πιο ανθεκτικών υλικών σε αυτούς, διευρύνει τις προοπτικές της χρήσης τους. Οι προσπάθειες εστιάζονται σε τομείς όπως:

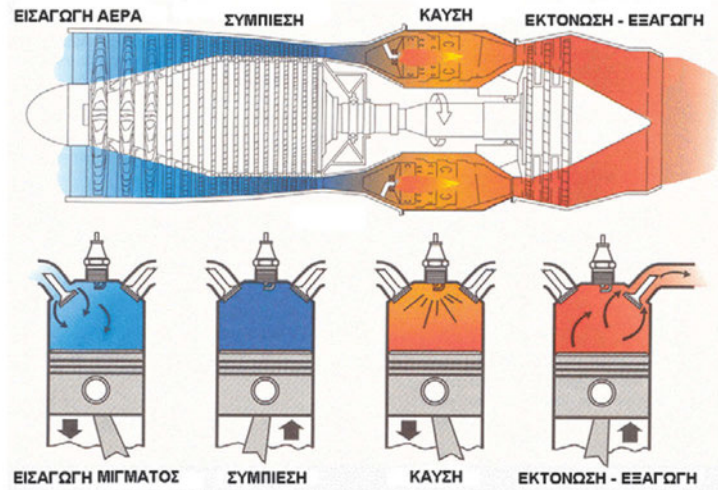
- η βελτίωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και του λόγου παραγόμενης ώσης προς βάρος,
- η αύξηση της παραγόμενης ώσης, του λόγου συμπίεσης και της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από το θάλαμο καύσης (με παράλληλη χρήση πιο ανθεκτικών υλικών κατασκευής του θαλάμου καύσης και του στροβίλου),
- η μείωση της στάθμης θορύβου λειτουργίας και των εκπομπών καυσαερίων στην ατμόσφαιρα.

2.2 ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

2.2.1 Γενικά

Ο αεριοστρόβιλος κινητήρας παρουσιάζει λειτουργικές ομοιότητες με τον εμβολοφόρο. Όπως είδαμε και παραπάνω, και οι δύο τύποι κινητήρων στηρίζουν τη λειτουργία τους στην επιτάχυνση προς τα πίσω μίας μάζας αέρα. Ο έλικας του εμβολοφόρου κινητήρα προσδίδει μία μικρή επιτάχυνση σε μία μεγάλη μάζα αέρα. Αντίθετα, ο αεριοστρόβιλος κινητήρας προσδίδει μεγάλη επιτάχυνση σε μία μικρή μάζα αέρα. Η κίνηση του αεροσκάφους με τη χρήση εμβολοφόρου κινητήρα επιτυγχάνεται από τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των καυσαερίων σε μηχανική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την περιστροφή του έλικα. Από την άλλη πλευρά, ο αεριοστρόβιλος κινητήρας παράγει την προωθητική δύναμη και τη χρησιμοποιεί κατευθείαν.

Οι φάσεις λειτουργίας είναι οι ίδιες: εισαγωγή, συμπίεση, καύση, εκτόνωση - εξαγωγή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.29.



Σχήμα 2.29 Σύγκριση φάσεων λειτουργίας αεριοστρόβιλου και εμβολοφόρου κινητήρα

Η σημαντική διαφορά είναι ότι στον εμβολοφόρο κινητήρα οι φάσεις πραγματοποιούνται διαδοχικά, η μία μετά την άλλη, επειδή το έμβολο συμμετέχει σε όλες. Αντίθετα, στον αεριοστρόβιλο, οι ίδιες φάσεις λειτουργίας πραγματοποιούνται ταυτόχρονα και συνεχώς, από ένα εξάρτημα αποκλειστικά η κάθε μία. Με τον τρόπο αυτόν, ο αεριοστρόβιλος επιτυγχάνει ομαλή λειτουργία και συνεχή παραγωγή ισχύος¹.

2.2.2 Θεωρητικός κύκλος λειτουργίας

Ο κύκλος λειτουργίας του αεριοστρόβιλου κινητήρα στηρίζεται στο **θερμοδυναμικό κύκλο του Μπράιτον (Brayton)**. Η ανάλυση των διεργασιών του κύκλου στηρίζεται στον 1ο και στο 2ο νόμο της θερμοδυναμικής. Οι υποθέσεις πάνω στις οποίες στηρίζεται η λειτουργία του ιδανικού κύκλου είναι οι εξής:

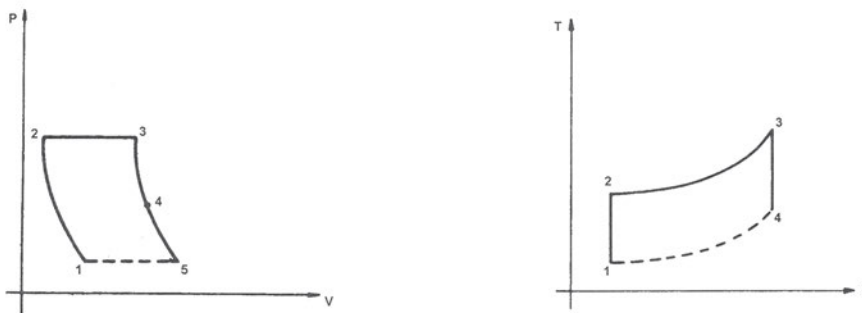
- Οι διαδικασίες συμπίεσης και εκτόνωσης είναι αντιστρεπτές και αδιαβατικές, δηλαδή ισεντροπικές.
- Η μεταβολή της κινητικής ενέργειας του εργαζόμενου μέσου μεταξύ εισόδου και εξόδου από κάθε συνιστώσα του κύκλου είναι αμελητέα.
- Σε κανένα σημείο του κύκλου δεν εμφανίζονται απώλειες πίεσης.
- Το εργαζόμενο μέσο είναι ιδανικό αέριο και διατηρεί την ίδια σύσταση εντός του κύκλου.
- Δεν υπάρχουν ενεργειακές απώλειες λόγω τριβών στα μηχανικά μέρη του συγκροτήματος.

¹ Η συνεχής παραγωγή ισχύος έχει το μειονέκτημα της μεγάλης κατανάλωσης καυσίμου

Ο κύκλος αυτός είναι παρόμοιος, σε θεωρητικό επίπεδο, με τον κύκλο λειτουργίας του τετράχρονου εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα. Έχοντας δεδομένη τη συγκρότηση του αεριοστρόβιλου, από 1) την εισαγωγή, 2) το συμπιεστή, 3) το θάλαμο καύσης, 4) το στρόβιλο και 5) το ακροφύσιο εξαγωγής καυσαερίων (Σχήμα 2.30), ας εξετάσουμε με περισσότερη λεπτομέρεια τις φάσεις του θεωρητικού κύκλου λειτουργίας του (όπως φαίνονται στο Σχήμα 2.31).



Σχήμα 2.30 Τα μέρη του αεριοστρόβιλου κινητήρα



Σχήμα 2.31 Το διάγραμμα του κύκλου Μπράιτον σε συντεταγμένες $p-v$ και $T-s$

- 1-2 (**Αδιαβατική συμπίεση**). Ο αέρας εισάγεται μέσω της εισαγωγής στον κινητήρα. Αναρροφάται από το συμπιεστή, ο οποίος αυξάνει τη στατική του πίεση. Παράλληλα, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας και πτώση του όγκου του.
- 2-3 (**Ισοβαρής καύση**). Η μεταβολή αυτή παριστάνει τις αλλαγές που πραγματοποιούνται κατά την καύση του μείγματος αέρα - καυσίμου στο θάλαμο καύσης υπό σταθερή πίεση. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει μείωση της πυκνότητας με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας των καυσαερίων, καθώς η διατομή του κινητήρα σε αυτό το σημείο δεν παρουσιάζει ουσιαστική μεταβολή.
- 3-4 (**Αδιαβατική εκτόνωση**). Τα καυσαέρια εξέρχονται από το θάλαμο καύσης. Περνούν από τα πτερύγια του στρόβιλου. Η στατική πίεση και η θερμοκρασία τους μειώνεται ενώ ο όγκος τους συνεχίζει να αυξάνεται. Ο στρόβιλος περιστρέφεται και παρέχει κίνηση στο συμπιεστή,

μέσω του κοινού τους άξονα. Έτσι, μέρος της ισχύος των καυσαερίων διατίθεται για τη διεργασία της συμπίεσης.

- 4-5 (**Αδιαβατική εκτόνωση**). Στη συνέχεια, μετά το στρόβιλο, παρουσιάζεται μικρή αντίσταση στη ροή των καυσαερίων. Αυτά εκτονώνονται στο ακροφύσιο εξαγωγής, όπου παρατηρείται μεγάλη αύξηση της ταχύτητάς τους με παράλληλη μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας τους.
- 4-1 (**Ισοβαρής αποβολή θερμότητας**). Η αποβολή της θερμότητας των καυσαερίων πραγματοποιείται στην ατμόσφαιρα.

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι βασική διαφορά μεταξύ του αεριοστρόβιλου και του εμβολοφόρου κινητήρα είναι ότι στον πρώτο, η καύση πραγματοποιείται υπό σταθερή (ή σχεδόν σταθερή) πίεση. Αντίθετα, στον τετράχρονο εμβολοφόρο βενζινοκινητήρα η διεργασία της καύσης είναι ισόχωρη και οι πολύ υψηλές πιέσεις που αναπτύσσονται, βοηθούν στην επίτευξη μεγάλης ποσότητας έργου από συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή θερμική απόδοση του εμβολοφόρου κινητήρα.

Οι πιέσεις λειτουργίας του αεριοστρόβιλου είναι σχετικά χαμηλές οπότε κατασκευάζονται θάλαμοι καύσης χαμηλού βάρους και χρησιμοποιούνται καύσιμα με χαμηλό βαθμό οκτανίων. Όμως, η θερμική απόδοση του αεριοστρόβιλου περιορίζεται από την ικανότητα του συμπιεστή να αναπτύξει υψηλό λόγο συμπίεσης χωρίς παράλληλη υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Η επιφάνεια που σχηματίζεται από τον κύκλο του διαγράμματος (1-2-3-4-5-1, Σχήμα 2.31) παριστάνει το ωφέλιμο έργο που παράγεται από τον αεριοστρόβιλο κινητήρα. Η οποιαδήποτε αύξηση της επιφάνειας αυτής υποδηλώνει και τη διαθεσιμότητα μεγαλύτερου ποσού ενέργειας προς παραγωγή έργου, και συνακόλουθα ώσης. Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία του αεριοστρόβιλου απαιτούν τη χρήση ειδικών υλικών κατασκευής στο θερμό τμήμα του κινητήρα.

Συγκρίνοντας τους κύκλους λειτουργίας του αεροπορικού αεριοστρόβιλου και του αεριοστρόβιλου αξονικής ισχύος παρατηρούμε ότι, στον πρώτο, ένα μέρος ή το σύνολο της αποδιδόμενης ισχύος παράγεται ως αποτέλεσμα εκτόνωσης σε ακροφύσιο πρόωσης (Σχήμα 2.31, γραμμή 4-5). Επίσης, στον υπολογισμό της απόδοσης του αεροπορικού αεριοστρόβιλου πρέπει να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα της ταχύτητας του αεροσκάφους καθώς και το ύψος πτήσης.

2.2.3 Κριτήρια λειτουργικής απόδοσης

Θεωρώντας ότι η ποσότητα του καυσίμου στη σύνθεση των καυσαερίων είναι

αμελητέα και συμβολίζοντας ως: m την παροχή της μάζας αέρα, V_a την ταχύτητα του αεροσκάφους, V_j την ταχύτητα απόρριψης των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα και F την παραγόμενη (καθαρή) ώση τότε για την τελευταία ισχύει:

$$F = (\Delta m / \Delta t) (V_j - V_a) \quad (2-1)$$

Στην περίπτωση όπου η πίεση των καυσαερίων (P_j) κατά την έξοδό τους από το ακροφύσιο εξαγωγής είναι μεγαλύτερη από την πίεση του ρεύματος αέρα στην εισαγωγή (P_a), τότε θα υπάρξει επιπρόσθετη ώση πίεσης στην επιφάνεια εξόδου των καυσαερίων (A_j). Η ολική ώση, λοιπόν, θα είναι ίση με το άθροισμα της ώσης ορμής και της ώσης πίεσης:

$$F = (\Delta m / \Delta t) (V_j - V_a) + A_j (P_j - P_a) \quad (2-2)$$

Στη συνέχεια, θα θεωρήσουμε ότι η εκτόνωση των καυσαερίων είναι τέλεια ($P_j = P_a$), οπότε και θα ισχύει μόνο η εξίσωση (2-1). Από αυτή φαίνεται ότι η απαιτούμενη ώση παρέχεται από έναν κινητήρα ο οποίος θα λειτουργεί με υψηλή ταχύτητα απόρριψης καυσαερίων και χαμηλή παροχή αέρα ή το αντίθετο.

Η απόδοση ώσης (ή πρόωσης) n_p ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος ώσης προς το άθροισμα της ισχύος ώσης και της μη χρησιμοποιηθείσας κινητικής ενέργειας των καυσαερίων:

$$n_p = F V_a / 0,5 (\Delta m / \Delta t) (V_j^2 - V_a^2) = 2 V_a / (V_a + V_j) \quad (2-3)$$

Η μέγιστη απόδοση ώσης εξασφαλίζεται στην περίπτωση όπου οι δύο ταχύτητες είναι ίσες, αν και τότε η παραγόμενη ώση θα είναι μηδενική. Για το λόγο αυτόν, οι δύο ταχύτητες δεν πρέπει να λαμβάνουν τιμές πολύ διαφορετικές, με την ταχύτητα των καυσαερίων πάντοτε μεγαλύτερη. Σημειώστε ότι η απόδοση ώσης εκφράζει το μέτρο της αποτελεσματικότητας του ακροφυσίου εξαγωγής (που χρησιμοποιείται για την πρόωση του αεροσκάφους) και δεν έχει σχέση με την απόδοση μετατροπής ενέργειας n_e . Αυτή ορίζεται ως ο λόγος της κινητικής ενέργειας από τη διαφορά των ταχυτήτων καυσαερίων και αέρα εισαγωγής προς το γινόμενο της παροχής καυσίμου επί την θερμογόνο δύναμη του καυσίμου. Η απόδοση μετατροπής ενέργειας είναι μέτρο του χρήσιμου έργου που παράγεται από τον κινητήρα για να υπερνικηθούν οι αντιστάσεις κατά την πτήση.

Η ολική απόδοση n_o ορίζεται ως ο λόγος του χρήσιμου έργου προς την ενέργεια που εκλύεται από το καύσιμο που χρησιμοποιείται. Ισχύει:

$$n_o = n_p n_e \quad (2-4)$$

Από τα παραπάνω συμπεραίνει κανείς ότι η ολική απόδοση είναι πολύ στενά

συνδεδεμένη με την ταχύτητα του εισερχόμενου αέρα, δηλαδή την ταχύτητα πτήσης του αεροσκάφους.

Η έννοια της ολικής απόδοσης μπορεί να συνδεθεί με τη γνωστή μας ειδική κατανάλωση καυσίμου **s.f.c.** (ανά μονάδα ώσης):

$$\eta_o = V_a / s.f.c. \quad (2-5)$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει για δεδομένο καύσιμο.

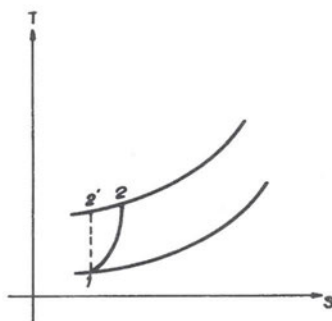
2.2.4 Πραγματικός κύκλος λειτουργίας

Οι προϋποθέσεις λειτουργίας ενός αεριοστρόβιλου ώσης (αλλά και ισχύος) σύμφωνα με το θεωρητικό κύκλο του Μπράιτον δεν μπορούν να εκπληρωθούν. Οι λόγοι είναι οι ακόλουθοι:

- Τα παρελκόμενα συστήματα του κινητήρα (αντλία ελαίου, αντλία καυσίμου, γεννήτρια ρεύματος κ.λ.π.) λαμβάνουν για τη λειτουργία τους ένα ποσοστό από την ενέργεια που παράγεται στο στρόβιλο.
- Η συμπίεση του εισερχόμενου ρεύματος αέρα στο συμπιεστή καθώς και η εκτόνωση των καυσαερίων στο στρόβιλο δεν αποτελούν αδιαβατικές διαδικασίες. Υπάρχουν πάντα απώλειες θερμότητας.
- Η διαδικασία της καύσης δεν είναι ισοβαρής. Η πίεση ελαττώνεται λόγω των αντιστάσεων στη ροή των καυσαερίων στο θάλαμο καύσης.
- Η ενέργεια που υπολογίζεται θεωρητικά για την κίνηση του συμπιεστή από το στρόβιλο, είναι μικρότερη από αυτήν που απαιτείται πραγματικά.

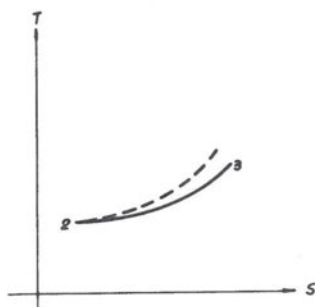
Πριν παρουσιάσουμε τη μορφή του πραγματικού κύκλου λειτουργίας, ας εξετάσουμε τις μορφές απώλειας ενέργειας που αναφέραμε παραπάνω.

- **Απώλειες στο συμπιεστή:** η ενέργεια που μεταφέρεται από το στρόβιλο στο συμπιεστή, διαμέσου του κοινού τους άξονα, μετατρέπεται σε μεγάλο μέρος της, σε θερμότητα λόγω τριβών. Η θερμοκρασία του συμπιεσμένου αέρα - Σημείο 2, έτσι, είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτήν που υπολογίζεται θεωρητικά - Σημείο 2' (Σχήμα 2.32). Η απώλεια αυτή της ενέργειας υπολογίζεται από το βαθμό απόδοσης συμπίεσης. Αυτός ισούται με το λόγο του θεωρητικού έργου συμπίεσης προς το πραγματικό έργο συμπίεσης. Οι τιμές που λαμβάνει ο λόγος απόδοσης συμπίεσης κυμαίνονται από **0,80** έως **0,85**.



Σχήμα 2.32 Απώλειες συμπίεσής στο διάγραμμα Μπράιτον

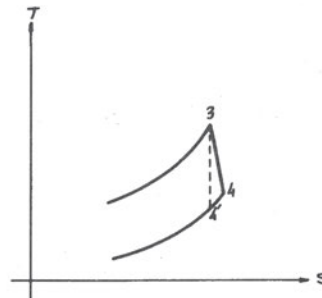
- **Απώλειες στο θάλαμο καύσης:** κατά μήκος του θαλάμου καύσης παρουσιάζεται πτώση της πίεσης των καυσαερίων της τάξης του 10% (Σχήμα 2.33, γραμμή 2-3). Η πτώση αυτή οφείλεται στις διατάξεις που τοποθετούνται στο θάλαμο καύσης ώστε να επιτύχουν το βέλτιστο βαθμό ανάμιξης του εισερχόμενου αέρα με το καύσιμο.



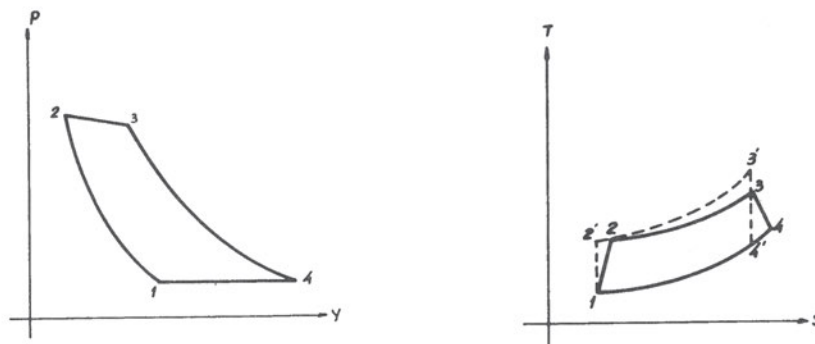
Σχήμα 2.33 Οι απώλειες στο θάλαμο καύσης όπως φαίνονται στο διάγραμμα Μπράιτον

- **Απώλειες κατά την εκτόνωση:** λόγω των τριβών που αναπτύσσονται κατά την εκτόνωση των καυσαερίων στο στρόβιλο και το ακροφύσιο εξαγωγής, το παραγόμενο από αυτά έργο είναι μικρότερο από το θεωρητικό. Η θερμοκρασία μετά την εκτόνωση - Σημείο 4, λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές από τη θεωρητική - Σημείο 4' (Σχήμα 2.34). Οι απώλειες κατά την εκτόνωση υπολογίζονται από το βαθμό απόδοσης της εκτόνωσης. Αυτός ισούται με το λόγο του πραγματικού έργου εκτόνωσης προς το θεωρητικό.
- **Μηχανικές απώλειες:** κατά τη μεταφορά της ισχύος από το στρόβιλο στο συμπίεστή αναπτύσσονται τριβές στα έδρανα του κοινού τους άξονα, οι οποίες αποτελούν περίπου το 1% της συνολικής ισχύος που μεταφέρεται. Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης, λοιπόν, που καθορίζεται από αυτές, είναι της τάξης του 99%.

Τα διαγράμματα του πραγματικού κύκλου λειτουργίας παίρνουν τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 2.35 (τα τονούμενα σημεία αντιστοιχούν στη θεωρητική λειτουργία), αν συνυπολογίσουμε τις προαναφερόμενες απώλειες και τις αλλαγές που επιφέρουν στο θεωρητικό κύκλο λειτουργίας.



Σχήμα 2.34 Απώλειες κατά την εκτόνωση



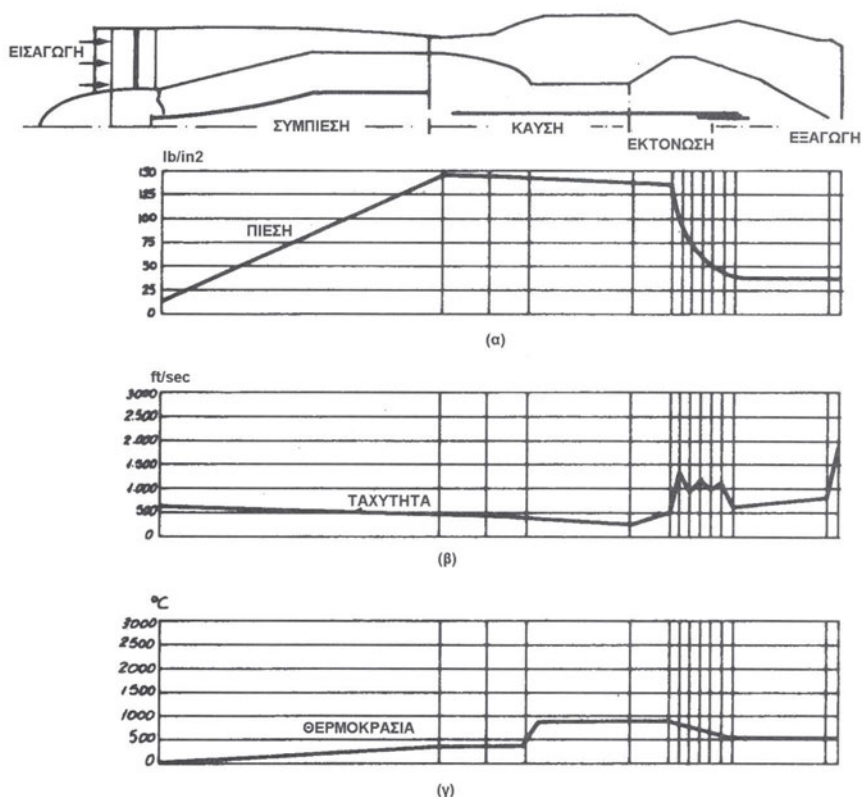
Σχήμα 2.35 Το διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας του κύκλου Μπράιτον σε συντεταγμένες $p-v$ και $T-s$

Θα κλείσουμε την παρουσίαση του κύκλου λειτουργίας του αεριοστρόβιλου κινητήρα με μία συνοπτική περιγραφή της διαδικασίας που λαμβάνει χώρα σε πραγματικές συνθήκες. Αρχικά, παρέχεται εξωτερική ισχύς και πραγματοποιείται η εισαγωγή ρεύματος αέρα. Το ρεύμα αυτό συμπιέζεται, περνώντας από το συμπιεστή, και οδηγείται προς το θάλαμο καύσης¹. Εκεί, εγχύεται το καύσιμο από κατάλληλους εγχυτήρες σε υψηλή πίεση. Δημιουργείται το καύσιμο μείγμα και αναφλέγεται, αρχικά (κατά την εκκίνηση) μέσω σπινθήρα και στη συνέχεια, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν εκεί. Η θερμοκρασία της καύσης ανέρχεται έως τους 1800°C. Στη συνέχεια, όμως, περίσσεια αέρα αναμιγνύεται με τα καυσαέρια και η θερμοκρασία μειώνεται στους 1000°C περίπου. Μετά την έξοδό τους από το θάλαμο καύσης, τα καυ-

¹ Η ποσότητα του αέρα είναι, γενικά, τέσσερις φορές περίπου μεγαλύτερη από αυτήν που απαιτείται για τη διεργασία καύσης.

σαέρια συναντούν το στρόβιλο. Εκεί, αποδίδεται μέρος της ενέργειάς τους για την κίνηση του συμπιεστή (ή το σύνολό της αν πρόκειται για ελικοστρόβιλο κινητήρα). Στη συνέχεια, τα καυσαέρια εκτονώνονται και στο ακροφύσιο εξαγωγής, όπου λαμβάνουν ταχύτητες της τάξης των 1400mph.

Στο Σχήμα 2.36 παρουσιάζονται ενδεικτικές μεταβολές των πιέσεων, ταχυτήτων και θερμοκρασιών που λαμβάνουν το ρεύμα του αέρα και των καυσαερίων στις διάφορες φάσεις της λειτουργίας του αεριοστρόβιλου.



Σχήμα 2.36 Ενδεικτικές μεταβολές πίεσης, ταχύτητας και θερμοκρασίας στο εσωτερικό του αεριοστρόβιλου κινητήρα

Γενικά, σε έναν κοινό αεριοστρόβιλο εισάγεται μία λίβρα αέρα ανά δευτερόλεπτο ώστε να παραχθούν 50 λίβρες ώσης. Για τη συμπίεση αυτής της ποσότητας αέρα απαιτείται ισχύς 100hp, περίπου.

Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε κάθε τμήμα ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα. Θεωρήστε το Σχήμα 2.18 ως αναφορά.

2.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΑΕΡΑ

2.3.1 Γενικά

Η εισαγωγή του αέρα, που πραγματοποιείται από ειδικό αεραγωγό εισαγωγής (air inlet duct), ουσιαστικά αποτελεί τμήμα του αεροσκάφους και όχι του κινητήρα. Καθώς, όμως, η παροχή του αέρα είναι πολύ σημαντική για τη λειτουργία του αεριοστρόβιλου, τα συστήματα εισαγωγής του αέρα αναλύονται μαζί με τους κινητήρες. Σκοπός του αεραγωγού είναι να κατευθύνει το ρεύμα του εισερχόμενου αέρα προς το συμπιεστή με τις λιγότερες δυνατές απώλειες, λόγω τριβών και στροβιλισμών, και με ομοιόμορφη ροή. Ο σκοπός αυτός πρέπει να επιτυγχάνεται σε όλες τις ταχύτητες και καταστάσεις πτήσης. Στο τελευταίο τμήμα του αεραγωγού, ακριβώς μπροστά από το συμπιεστή, η ροή πρέπει να επιβραδυνθεί ώστε να αυξηθεί η στατική της πίεση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ανάκτηση πίεσης (ram recovery)**. Για το λόγο αυτό, η διατομή του αεραγωγού αυξάνεται κατά μήκος του τμήματος αυτού.

Το σχήμα και η θέση του αεραγωγού εισαγωγής εξαρτάται από τον τύπο του αεροσκάφους (σχήμα, αριθμός κινητήρα κ.λ.π.). Σε ορισμένες εισαγωγές τοποθετούνται **οδηγά πτερύγια (Inlet Guide Vanes - IGV)** ώστε να ομαλοποιείται η ροή του εισερχόμενου ρεύματος αέρα πριν την είσοδό του στο συμπιεστή. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται **πτερύγια μεταβλητής γεωμετρίας (Variable geometry Guide Vanes - VGV)**.

2.3.2 Είδη αεραγωγών εισαγωγής

Στην περίπτωση αεροσκαφών, συνήθως εμπορικών, που φέρουν τους κινητήρες κάτω από τις πτέρυγες ή στα πλευρά της ατράκτου, η εισαγωγή του αέρα είναι τμήμα του κινητήρα (Σχήμα 2.37).



Σχήμα 2.37 Το τμήμα εισαγωγής αέρα θεωρείται μέρος του κινητήρα όταν αυτός τοποθετείται στα πτερύγια του αεροσκάφους

Στα μαχητικά αεροσκάφη, συνήθως ο κινητήρας τοποθετείται μέσα στην άτρακτο, με ανάλογη διαμόρφωση του αεραγωγού εισαγωγής (Σχήμα 2.38). Γενικότερα, οι αεραγωγοί εισαγωγής για τους αεριοστρόβιλους κινητήρες διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Αεραγωγός ως τμήμα της ατράκτου** του αεροσκάφους, στον ίδιο άξονα με τον κινητήρα (Σχήμα 2.38).



ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ ΜΙΑΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

Σχήμα 2.38 Αεραγωγός εισαγωγής στην άτρακτο του αεροσκάφους

- **Διαιρετή εισαγωγή.** Αποτελείται από δύο εισαγωγές στα πλευρά της ατράκτου ή στις ρίζες των πτερυγών που ενώνονται σε κοινή εισαγωγή στην περίπτωση μονοκινητήριου αεροσκάφους (Σχήμα 2.39).



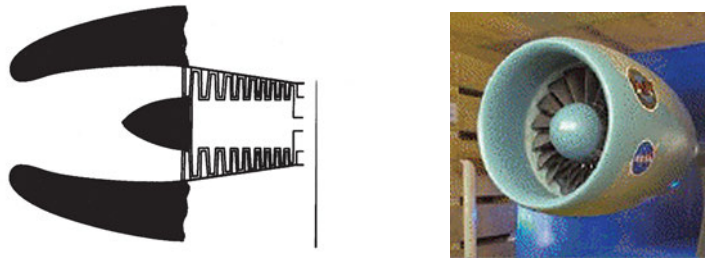
Α. ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Β. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΡΙΖΕΣ ΤΩΝ ΠΤΕΡΥΓΩΝ

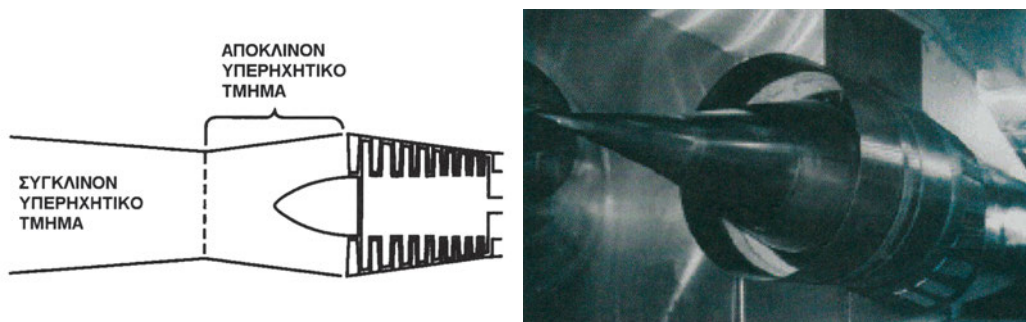
Σχήμα 2.39 Διαιρετή εισαγωγή

- **Υποηχητική εισαγωγή.** Χρησιμοποιείται σε κινητήρες που κινούν αεροσκάφη υψηλών υποηχητικών ταχυτήτων. Η διάμετρος του αεραγωγού αυξάνεται καθώς αυξάνεται το μήκος του, δίνοντάς του τη μορφή διαχύτη (Σχήμα 2.40). Η μορφή αυτή βοηθά τον αεραγωγό να λειτουργεί ως σωλήνας Βεντούρι. Η ταχύτητα του αέρα μειώνεται με παράλληλη αύξηση της πίεσης. Γενικά, η ταχύτητα του αέρα ακριβώς πριν το συμπιεστή λαμβάνει τιμές 0,5Mach περίπου.



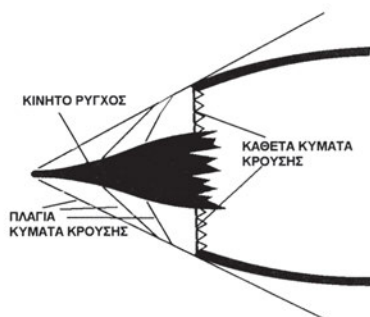
Σχήμα 2.40 Υποηχητική εισαγωγή

- **Υπερηχητική εισαγωγή.** Ο αεραγωγός σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να έχει τη μορφή συγκλίνοντος - αποκλίνοντος αγωγού (Σχήμα 2.41). Στο συγκλίνον τμήμα, η υπερηχητική ροή του εισερχόμενου αέρα επιβραδύνεται σε διηχητική και στη συνέχεια, το αποκλίνον τμήμα λειτουργεί όπως είδαμε στην προηγούμενη περίπτωση, ως διαχύτης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι αεραγωγοί υπερηχητικών αεροσκαφών φέρουν λαιμό μεταβλητής διατομής, ώστε να έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν αποδοτικά σε διαφορετικές συνθήκες ταχύτητας του αεροσκάφους. Σε άλλες περιπτώσεις, η γεωμετρία της εισαγωγής είναι τέτοια, ώστε να δημιουργούνται διαδοχικά πλάγια κύματα κρούσης, πριν από την είσοδο του αέρα στον αγωγό εισαγωγής (Σχήμα 2.42). Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξωτερική συμπίεση της ροής, λόγω της ανάπτυξης πλεγμένων κυμάτων κρούσης.



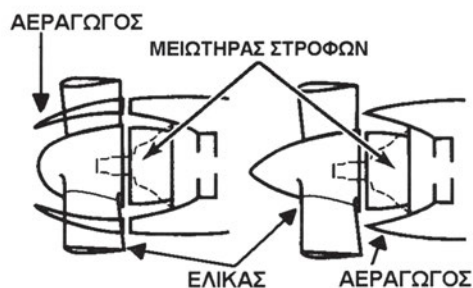
Σχήμα 2.41 Υπερηχητική εισαγωγή

- **Εισαγωγές μεταβλητής διατομής.** Χρησιμοποιούνται όπως είδαμε παραπάνω σε υπερηχητικά αεροσκάφη (Σχήμα 2.42). Υπάρχουν και υποηχητικές εφαρμογές.



Σχήμα 2.42 Εισαγωγή εξωτερικής συμπίεσης και μεταβλητής διατομής

- **Αεραγωγοί ελικοστρόβιλων κινητήρων.** Αυτοί έχουν ειδικό σχήμα λόγω της ύπαρξης του έλικα του κινητήρα. Συνηθισμένοι τύποι είναι αυτοί που φαίνονται στο Σχήμα 2.43.



Σχήμα 2.43 Μορφές αεραγωγών ελικοστρόβιλων κινητήρων

2.3.3 Φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων

Για την προσπάθεια αποφυγής της αναρρόφησης ξένων σωμάτων από τον κινητήρα, χρησιμοποιούνται φίλτρα στην είσοδο του αεραγωγού εισαγωγής. Η χρήση τους αφορά κατά κύριο λόγο κινητήρες ελικοπτέρων.

Όμως, τα φίλτρα αυτά επιφέρουν πρόσθετο βάρος στον κινητήρα, αυξάνουν τις απώλειες πίεσης στην εισαγωγή του αέρα, είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε παγοποίηση και, όταν φθαρούν, υπάρχει πιθανότητα να αποτελέσουν τα ίδια ένα ξένο σώμα που ίσως αναρροφηθεί από τον κινητήρα. Για τους λόγους αυτούς τα φίλτρα χρησιμοποιούνται μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις (απογείωση, προσγείωση, πτήση σε περιοχές με σμήνη πουλιών).

2.3.4 Συστήματα αντί- και από-πάγωσης εισαγωγής αέρα

Στην περίπτωση πτήσης σε συνθήκες δημιουργίας παγετού, εγκυμονεί ο κίνδυνος εμφάνισης πάγου τόσο στον αεραγωγό εισαγωγής όσο και στα οδηγία πτερύγια. Το φαινόμενο αυτό επιφέρει ανωμαλία στη ροή του αέρα κατά την

δίοδό του στον αεραγωγό και, τελικά, στο βαθμό απόδοσης του κινητήρα. Επιπρόσθετα, υπάρχει η πιθανότητα μεγάλα κομμάτια πάγου να εισέλθουν στον κινητήρα και να προκαλέσουν ζημιές στα πτερύγια του συμπιεστή. Για την αποφυγή αυτών των φαινομένων, οι αεραγωγοί εισαγωγής είναι εφοδιασμένοι με συστήματα προστασίας από την παγοποίηση. Τονίζεται ότι η χρήση τέτοιων συστημάτων αποσκοπεί στην αποφυγή σχηματισμού πάγου (**αντιπαγωτικό σύστημα - anti-icing**) και όχι στην αντιμετώπισή του όταν αυτός έχει ήδη σχηματιστεί. Ένα τέτοιο σύστημα, που εφαρμόζεται πολύ συχνά, χρησιμοποιεί ποσότητα αέρα από το συμπιεστή με τη βοήθεια της **βαλβίδας αποτόνωσης ή αποφόρτωσης του συμπιεστή (bleed valve)**. Όταν αυτή ενεργοποιηθεί, ποσότητα θερμού αέρα από το συμπιεστή οδηγείται σε διάφορα σημεία του αεραγωγού εισαγωγής, εμποδίζοντας με τον τρόπο αυτό το σχηματισμό πάγου. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι κατά τη χρονική διάρκεια της λειτουργίας της παραπάνω βαλβίδας η απόδοση του κινητήρα μειώνεται¹.

Όταν στον αεραγωγό εισαγωγής υπάρχουν οδηγά πτερύγια, αυτά έχουν εσωτερικές διόδους για την κυκλοφορία θερμού αέρα ή λαδιού ως προστασία έναντι σχηματισμού πάγου.

Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται επίσης συστήματα **αποπάγωσης (de-icing)**. Αυτά δεν επηρεάζουν την απόδοση του κινητήρα. Αποπάγωση μπορεί να επιτευχθεί μέσω ηλεκτρικού συστήματος, αλλά και με την κυκλοφορία λαδιού λίπανσης. Χαρακτηριστική περίπτωση χρήσης ηλεκτρικού ρεύματος για αποπάγωση, είναι η τοποθέτηση θερμαντικών στοιχείων - αντιστάσεων σε επιλεγμένα μέρη του αεραγωγού εισαγωγής ή στα χείλη προσβολής του έλικα (**de-icer boots**).

2.4 ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

2.4.1 Γενικά

Η αρχή λειτουργίας του κινητήρα αεριώθησης συνδέει την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα σε αυτόν με την παραγωγή της απαιτούμενης για την πτήση του αεροσκάφους ώσης. Το εξάρτημα που παροχετεύει τις κατάλληλες ποσότητες αέρα στον κινητήρα είναι ο συμπιεστής. Βρίσκεται ακριβώς μετά τον αεραγωγό εισαγωγής, από τον οποίο και παραλαμβάνει τον εισερχόμενο

¹ Σημειώνεται άνοδος της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από το στρόβιλο καθώς και διαφοροποίηση των τιμών της κατανάλωσης καυσίμου και του λόγου συμπίεσης.

αέρα. Η λειτουργία του συμπιεστή έχει άμεση επίδραση στη συνολική απόδοση του κινητήρα. Η εργασία που επιτελεί είναι να συμπιέζει τον εισερχόμενο αέρα ώστε κατά την έξοδό του από το συμπιεστή να έχει αποκτήσει πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα. Με τον τρόπο αυτόν, η παραγόμενη ώση θα είναι μεγάλη αφού ο κινητήρας θα μπορεί να χειρίζεται πάρα πολύ μεγάλες ποσότητες αέρα, σε σύγκριση με το μικρό όγκο του. Στις μέρες μας, οι συμπιεστές έχουν λόγο συμπίεσης έως και 30:1 ενώ οι ταχύτητες του αέρα κατά τη συμπίεση φτάνουν τα 150-200m/sec.

Εκτός από το έργο της συμπίεσης του εισερχόμενου αέρα, το τμήμα του συμπιεστή επιτελεί και συγκεκριμένες δευτερεύουσες διεργασίες, όπως:

- η παροχή αέρα για την ψύξη του τμήματος του στροβίλου,
- η παροχή αέρα για τη λειτουργία του συστήματος αντιπαύωσης,
- η παροχή αέρα για τις ανάγκες της καμπίνας πληρώματος ή / και επιβατών,
- η παροχή αέρα για τη λειτουργία κάποιων εξαρτημάτων που λειτουργούν πνευματικά.

Η ποσότητα του αέρα που συμπιέζεται καθώς και η αύξηση της πίεσης εξαρτώνται από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Όσο αυτή αυξάνεται, επιτυγχάνεται και μεγαλύτερη συμπίεση. Βέβαια, η αύξηση της πίεσης εξαρτάται και από τη θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής. Όταν αυτή λαμβάνει χαμηλές τιμές, τότε η συμπίεση είναι μεγαλύτερη.

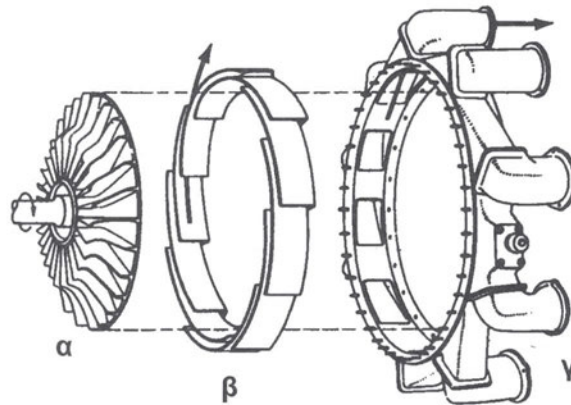
Οι τύποι των συμπιεστών που χρησιμοποιούνται στους αεριοστροβίλους κινητήρες είναι:

- **φυγοκεντρικής ροής,**
- **αξονικής ροής,** και
- **φυγοκεντρικής - αξονικής ροής.**

Ο κάθε τύπος λαμβάνει το όνομά του σύμφωνα με τη διεύθυνση της ροής του αέρα μέσα στο συμπιεστή. Ο τελευταίος τύπος αποτελεί συνδυασμό των δύο άλλων και συνδυάζει τα χαρακτηριστικά τους.

2.4.2 Φυγοκεντρικοί συμπιεστές

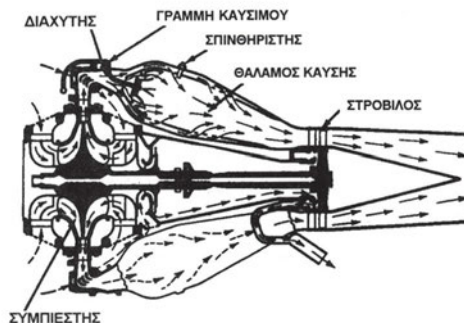
Ο **φυγοκεντρικός συμπιεστής (centrifugal compressor)**, ή συμπιεστής φυγοκεντρικής ροής, χρησιμοποιήθηκε στους πρώτους κινητήρες αεριώθησης. Αποτελείται από τρία μέρη: τον **πτερυγιοφόρο δίσκο** (στροφέιο ή ρότορας, **impeller**), το **διαχύτη (diffuser)** και, σε ορισμένες περιπτώσεις, την **πολλαπλή σωλήνωση (manifold) εξαγωγής** του συμπιεσμένου αέρα στο επόμενο τμήμα του κινητήρα (Σχήμα 2.44).



Σχήμα 2.44 Τα μέρη του φυγοκεντρικού συμπιεστή: α) το στροφέιο, β) ο διαχύτης, γ) η πολλαπλή σωλήνωση εξαγωγής

Το στροφέιο φέρει **πτερύγια (blades)** που βρίσκονται στην μπροστινή ή και στις δύο πλευρές του. Με την περιστροφή του, η οποία πραγματοποιείται από το στρόβιλο μέσω του κοινού άξονα, δημιουργείται υποπίεση στην περιοχή γύρω από τον άξονα και αναρροφάται ο εισερχόμενος αέρας. Οι επικρατούσες **φυγόκεντρες δυνάμεις** ωθούν τον αέρα κατά την **ακτινική διεύθυνση** (κατά το μήκος των πτερυγίων) προς την εξωτερική περιφέρεια του στροφέιου. Με αυτήν την κίνηση επιτυγχάνεται **σημαντική αύξηση της ταχύτητας του αέρα και μικρή αύξηση στην (στατική) πίεση**, λόγω της διόδου από τα πτερύγια του στροφέιου. Καθώς αφήνει το στροφέιο, ο αέρας εισέρχεται στους **διαχύτες**. Εκεί, η αύξηση της διατομής μετατρέπει την υψηλή ταχύτητα (και υψηλή κινητική ενέργεια) σε χαμηλή (και υψηλή ενέργεια πίεσης), δηλαδή σε αύξηση της στατικής πίεσης. Στη συνέχεια, ο αέρας εισέρχεται στην πολλαπλή σωλήνωση που λειτουργεί ως μέσο παραλαβής και διάθεσης του συμπιεσμένου αέρα στο θάλαμο καύσης. Αυτή είναι, συνήθως, κατασκευασμένη από κράματα μαγνησίου, αλουμινίου ή χάλυβα.

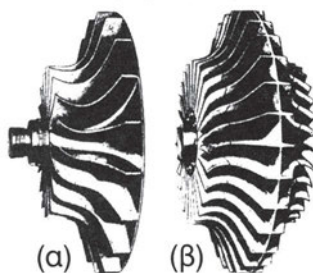
Ο άξονας που συνδέει το φυγοκεντρικό συμπιεστή με το στρόβιλο, που του παρέχει την κίνηση, εδράζεται σε **τριβείς κύλισης** (σφαιρικούς ή / και κυλινδρικούς). Σε αρκετές περιπτώσεις αποτελείται από δύο τμήματα που ενώνονται με ειδικό σύνδεσμο, κατάλληλο για εύκολη αποσυναρμολόγηση. Στο Σχήμα 2.45 φαίνεται η τομή αεριοστρόβιλου κινητήρα με φυγοκεντρικό συμπιεστή.



Σχήμα 2.45 Αεριοστρόβιλος κινητήρας με φυγοκεντρικό συμπιεστή διπλής εισόδου

Ο φυγοκεντρικός συμπιεστής έχει ως κύριο πλεονέκτημα την απλότητα της κατασκευής του, την αντοχή του, το μικρό του κόστος και το μεγάλο σχετικά λόγο συμπίεσης που παρέχει με τη χρήση μίας μόνο βαθμίδας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρούς ελικοστρόβιλους κινητήρες. Κύριο μειονέκτημά του είναι η μειωμένη απόδοση. Δε χρησιμοποιείται σε μεγάλους κινητήρες οι οποίοι λειτουργούν με υψηλούς (συνολικά) λόγους συμπίεσης.

• ΤΟ ΣΤΡΟΦΕΙΟ. Αποτελείται από σφυρήλατο δίσκο με ολόσωμα, ακτινικά πτερύγια στη μία (απλής εισόδου, **single entry**) ή και στις δύο πλευρές του (διπλής εισόδου, **double entry**). Στο Σχήμα 2.46 φαίνεται η τυπική κατασκευή των φυγοκεντρικών συμπιεστών απλής και διπλής εξόδου. Για να διευκολυνθεί η αλλαγή της ροής από την αξονική στην ακτινική διεύθυνση, τα πτερύγια στο κέντρο του στροφείου έχουν μία κλίση προς την κατεύθυνση της περιστροφής.

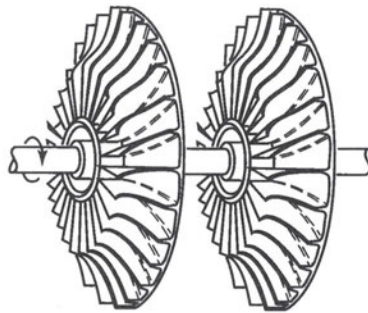


Σχήμα 2.46 Στροφέιο φυγοκεντρικού συμπιεστή (α) απλής και (β) διπλής εισόδου

Ως υλικό κατασκευής χρησιμοποιείται κράμα αλουμινίου αλλά και τιτάνιο, σε σύγχρονες εφαρμογές. Το τμήμα εισαγωγής μπορεί να είναι και χαλύβδινο¹. Η χρήση φυγοκεντρικού συμπιεστή διπλής εισόδου εξασφαλίζει ταχύτητες στα

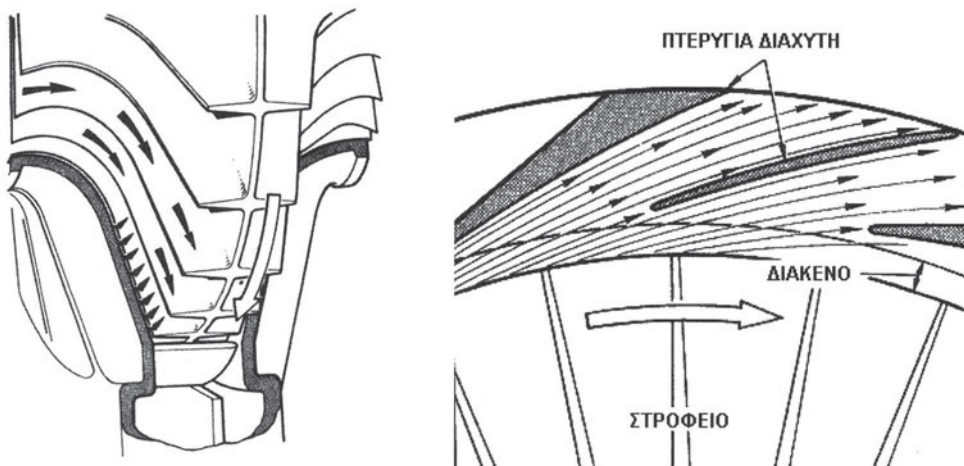
¹ Το υλικό κατασκευής του περιβλήματος είναι, συνήθως, κράμα αλουμινίου ή μαγνησίου ενώ η οπίσθια πλευρά είναι από χάλυβα.

ακροπτερύγια του στροφείου που δεν ξεπερνούν την ταχύτητα του ήχου. Παράλληλα, επιτρέπει τη δίοδο μεγαλύτερης ποσότητας αέρα από το στροφέιο απλής εισόδου και διαμορφώνει μικρότερη μετωπική επιφάνεια. Όμως, η ροή του αέρα στην οπίσθια πλευρά του κάποιες φορές είναι ασταθής ενώ παρατηρείται και αύξηση της θερμοκρασίας σε μεγαλύτερο ποσοστό από το στροφέιο απλής εισόδου. Σε κάποιες εφαρμογές χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα στροφέια απλής εισόδου. Έτσι, επιτυγχάνεται συμπίεση μεγαλύτερης μάζας αέρα. Το πλεονέκτημα, όμως, χάνεται από την απώλεια ενέργειας που παρατηρείται κατά τη μετάβαση του αέρα από το ένα στροφέιο στο άλλο, ενώ τίθεται και θέμα αυξημένου βάρους. Πρακτικά, σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται δύο στροφέια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.47 (διβάθμιος φυγοκεντρικός συμπιεστής, ή δύο βαθμίδων).



Σχήμα 2.47 Φυγοκεντρικός συμπιεστής δύο βαθμίδων

• ΟΙ ΔΙΑΧΥΤΕΣ. Αποτελούν ένα σώμα με το περίβλημα του στροφείου ή ξεχωριστό τμήμα. Και στις δύο περιπτώσεις οι διαχύτες διαμορφώνονται από αριθμό πτερυγίων τοποθετημένων εφαπτομενικά ως προς την περιφέρεια του δίσκου. Η διάταξή τους είναι τέτοια ώστε να σχηματίζουν αποκλίνοντες αγωγούς και έτσι να επιτυγχάνεται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε δυναμική (αύξηση της πίεσης). Η απόσταση μεταξύ του στροφείου και των διαχύτων, που ονομάζεται **διάκενο**, είναι πολύ σημαντική για την ομαλή λειτουργία του κινητήρα (Σχήμα 2.48).



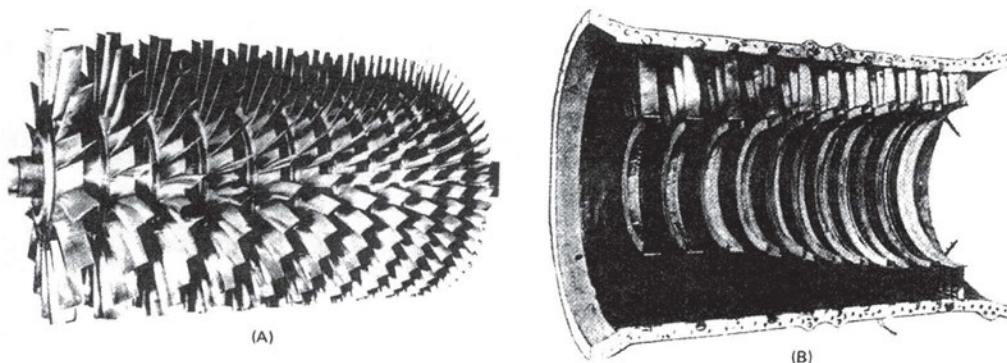
Σχήμα 2.48 Το διάκενο μεταξύ του στροφείου και του διαχύτη

Αν η τιμή του είναι μεγαλύτερη από αυτήν που προβλέπει ο κατασκευαστής, τότε θα υπάρξει υπερβολική **διαρροή (απώλεια) αέρα** από το στροφέιο. Αντίθετα, αν το διάκενο είναι μικρότερο από την φυσιολογική του τιμή, υπάρχει κίνδυνος να δημιουργηθεί **ασταθής ροή και κραδασμοί**. Και αυτό γιατί, καθώς αυξάνεται η πίεση στις ακμές των διαχύτων, τα διερχόμενα από τα σημεία αυτά πτερύγια του στροφέιου δέχονται ωθήσεις. Όταν το διάκενο είναι μικρό, οι ωθήσεις αυτές γίνονται αισθητές ως κραδασμοί. Μάλιστα, αν η συχνότητά τους γίνει ίση με την ιδιοσυχνότητα των πτερυγίων, δημιουργούνται φαινόμενα συντονισμού με επακόλουθη εμφάνιση ρωγμών στα πτερύγια.

2.4.3 Αξονικοί συμπιεστές

2.4.3.1 Γενικά

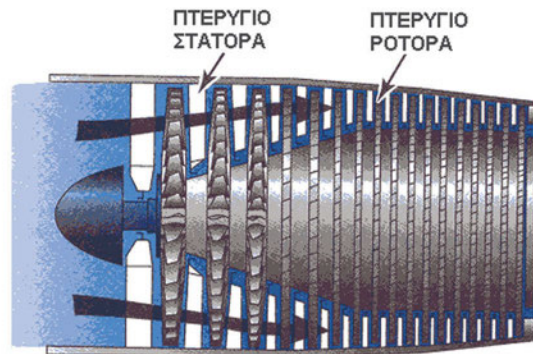
Ο **αξονικός συμπιεστής (axial flow compressor)**, ή **συμπιεστής αξονικής ροής**, αποτελείται από δύο βασικά μέρη: ένα περιστρεφόμενο, που ονομάζεται **ρότορας (rotor)**, και ένα σταθερό, που ονομάζεται **στάτορας (stator)**. Ο ρότορας αποτελείται από ένα **στροφέιο (spindle)** πάνω στο οποίο είναι προσαρμοσμένα, με κατάλληλο τρόπο, τα **κινητά πτερύγια (blades)**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.49α. Ο στάτορας είναι συνήθως διαιρεμένος σε δύο ημικυκλικά τμήματα στην εσωτερική περιφέρεια των οποίων προσαρμόζονται τα **σταθερά πτερύγια (vanes)**, Σχήμα 2.49β. Μία σειρά κινητών με την ακολουθούσα σειρά σταθερών πτερυγίων ονομάζεται **βαθμίδα**. Ο αξονικός συμπιεστής αποτελείται από πολλές βαθμίδες (ανάλογα το μέγεθος του κινητήρα) γιατί η αύξηση της πίεσης που επιτυγχάνει η κάθε μία είναι μικρή - της τάξης του 1.25:1.



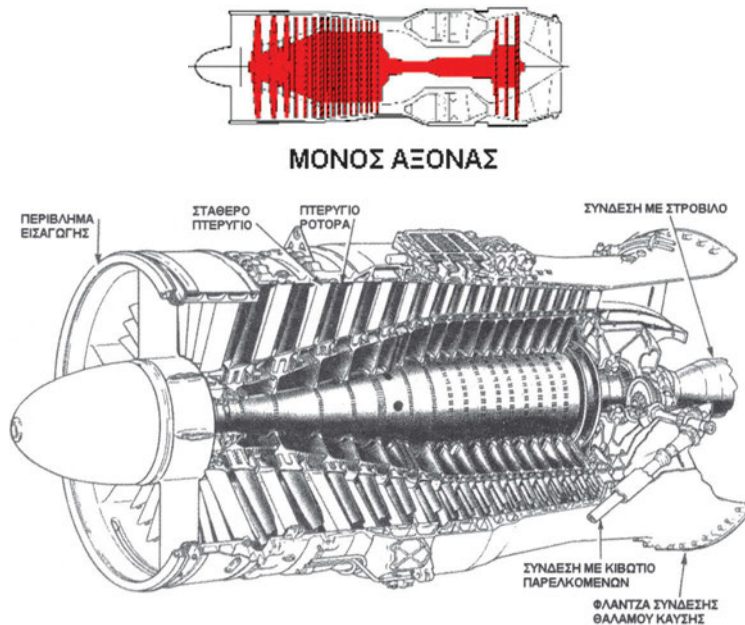
Σχήμα 2.49 (α) Τα κινητά και (β) τα σταθερά πτερύγια του αξονικού συμπιεστή

Τα κινητά και τα σταθερά πτερύγια έχουν την αεροδυναμική μορφή της πτέρυγας ή του έλικα ενός αεροσκάφους. Για το λόγο αυτόν, η λειτουργία και η από-

δοσή τους βασίζεται στις αεροδυναμικές αρχές που διέπουν τις πτέρυγες των αεροσκαφών, με ορισμένες πρόσθετες λειτουργικές συνθήκες, όπως η επίδραση της περιστροφής των άλλων πτερυγίων και η ύπαρξη των σταθερών πτερυγίων. Όπως στις πτέρυγες των αεροσκαφών το παραγόμενο ωφέλιμο μέγεθος είναι η άνωση, στα πτερύγια του αξονικού συμπιεστή είναι η πίεση. Αυτή παράγεται, γενικά, κατά τον ίδιο τρόπο που μία πτέρυγα παράγει άνωση. Από το μπροστινό προς το οπίσθιο τμήμα του συμπιεστή (δηλαδή από τη χαμηλή προς την υψηλή πίεση) δημιουργείται μία σταδιακή μείωση της διατομής ανάμεσα στο στροφείο και το περίβλημα. Η μείωση αυτή του δακτυλίου ροής βοηθά την αξονική ταχύτητα του αέρα να διατηρείται σταθερή, καθώς η πίεση και η πυκνότητά του αυξάνονται κατά μήκος του συμπιεστή (Σχήμα 2.50). Η μείωση της διατομής επιτυγχάνεται με την εφαρμογή κωνικότητας στο περίβλημα ή / και στο στροφείο.



Σχήμα 2.50 Μείωση δακτυλίου ροής κατά μήκος του αξονικού συμπιεστή



Σχήμα 2.51 Μονός αξονικός συμπιεστής (single spool)

Ο αξονικός συμπιεστής **μονού άξονα ή απλού τυμπάνου (single spool)** αποτελείται από ένα στροφέιο, τα κινητά πτερύγια που στηρίζονται πάνω του και σειρές σταθερών πτερυγίων. Είναι συνδεδεμένος μέσω ενός άξονα με το στρόβιλο από τον οποίο παίρνει κίνηση. Ο αριθμός των βαθμιδών καθορίζεται από την επιθυμητή αύξηση της πίεσης. Το σύνολο της ροής του αέρα πραγματοποιείται μέσα από το συμπιεστή (Σχήμα 2.51).

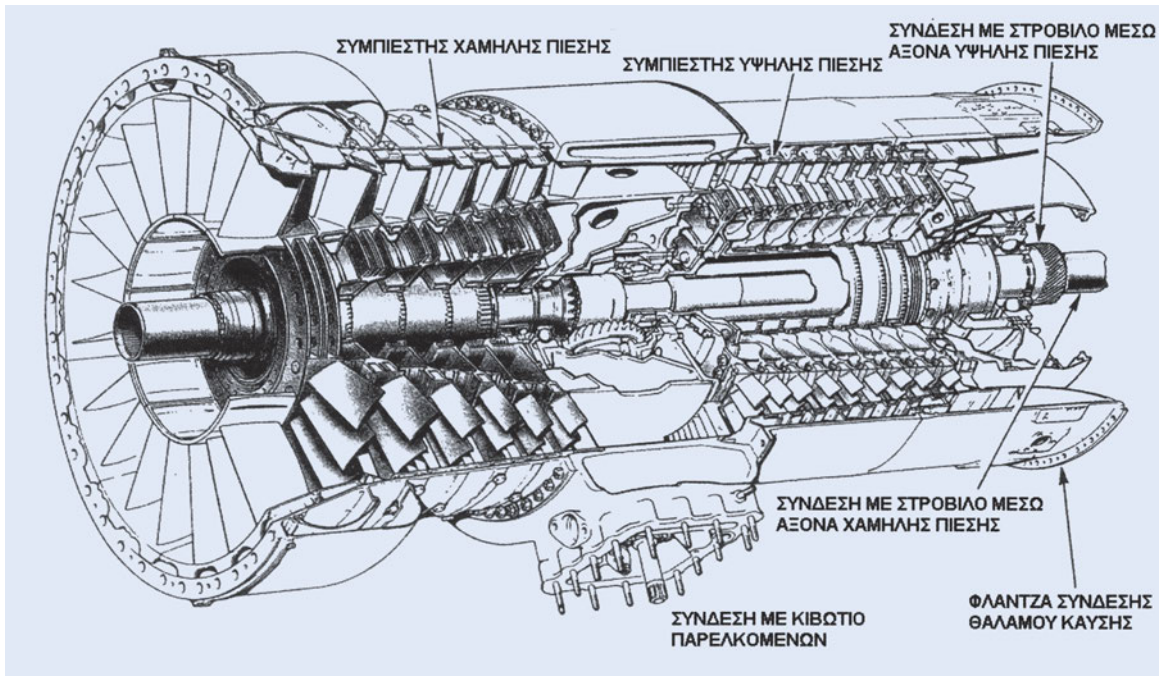
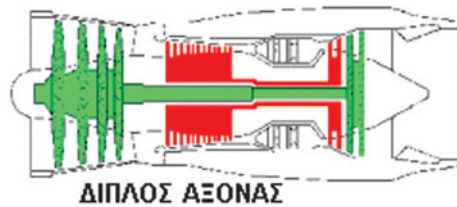
Παρότι αυτός ο τύπος αξονικού συμπιεστή είναι σχετικά απλός στην κατασκευή του και όχι ιδιαίτερα υψηλού κόστους, παρουσιάζει δύο βασικά μειονεκτήματα:

- Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται πολλές βαθμίδες (στο ίδιο στροφέιο), αυτές που βρίσκονται στην περιοχή της αυξημένης πίεσης λειτουργούν με μειωμένη απόδοση, ενώ αυτές που βρίσκονται στις αρχικές θέσεις, συνήθως, υπερφορτίζονται.
- Εξαιτίας της μεγάλης αδρανειακής του μάζας, αντιδρά σχετικά αργά σε απότομες μεταβολές των συνθηκών λειτουργίας (π.χ. εξαιτίας εντολών του χειριστή).

Ο τρόπος για να ξεπεραστούν τα προβλήματα αυτά ήταν η διαίρεση του συμπιεστή σε δύο ή τρία τμήματα. Σε ανάλογο αριθμό τμημάτων χωρίζεται και ο στρόβιλος. Τα τμήματα του συμπιεστή συνδέονται με τα αντίστοιχα του στροβίλου με άξονες στην ίδια ευθεία, που ο ένας βρίσκεται μέσα στον άλλον.

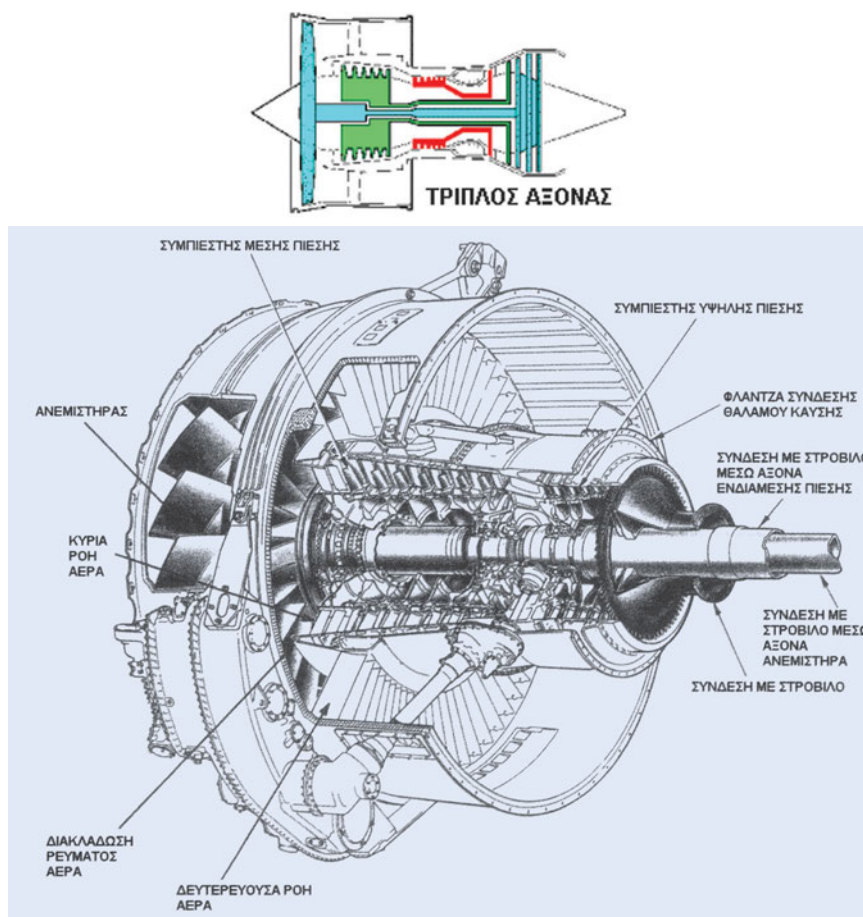
Ο διαιρούμενος σε δύο τμήματα συμπιεστής ονομάζεται **διπλού άξονα ή διπλού τυμπάνου (dual spool, twin spool compressor)**. Η διάταξή του φαίνεται στο Σχήμα 2.52. Το πρώτο τμήμα ονομάζεται **συμπιεστής χαμηλής πίεσης (low pressure compressor)** ή **συμπιεστής N_1** . Αυτός συνήθως περιστρέφεται από ένα στρόβιλο με δύο βαθμίδες¹ στο οπίσθιο τμήμα της περιοχής του στροβίλου. Το δεύτερο τμήμα ονομάζεται **συμπιεστής υψηλής πίεσης (high pressure compressor)** ή **συμπιεστής N_2** και, συνήθως, περιστρέφεται από ένα **μονοβάθμιο στρόβιλο υψηλής πίεσης** που βρίσκεται στο μπροστινό τμήμα της περιοχής του στροβίλου. Σε κάποιες περιπτώσεις, στο συμπιεστή χαμηλής πίεσης συνδέεται και εμπρόσθιος ανεμιστήρας, οπότε και περιστρέφονται με την ίδια ταχύτητα. Συνήθως, η ταχύτητα περιστροφής του συμπιεστή υψηλής πίεσης διατηρείται σχεδόν σταθερή από το ρυθμιστή καυσίμου. Ανάλογα με τις συνθήκες πτήσης (υψόμετρο, ελιγμοί) η ταχύτητα του συμπιεστή χαμηλής πίεσης αυξάνεται ή μειώνεται.

¹ Η αριθμηση των βαθμιδών υπολογίζεται από το εμπρόσθιο προς το οπίσθιο τμήμα του κινητήρα.



Σχήμα 2.52 Διπλός αξονικός συμπιεστής (double spool compressor)

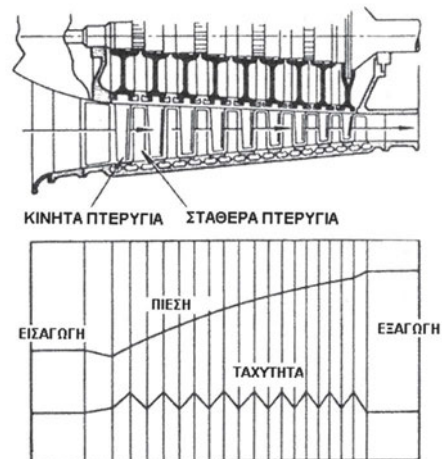
Σε αρκετούς στροβιλοανεμιστήρες κινητήρες ο συμπιεστής διαιρείται σε τρία τμήματα και ονομάζεται **τριπλός (triple-spool compressor, Σχήμα 2.53)**. Στην περίπτωση αυτήν, ο ανεμιστήρας είναι ο συμπιεστής χαμηλής πίεσης και συνδέεται με έναν πολυβάθμιο στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Το επόμενο τμήμα ονομάζεται **ενδιάμεσος συμπιεστής (intermediate compressor)** και το τρίτο τμήμα είναι ο **συμπιεστής υψηλής πίεσης**. Οι δύο αυτοί συμπιεστές παίρνουν κίνηση από μονοβάθμιους στροβίλους. Ο ανεμιστήρας έχει **μεγάλες βαθμίδες** και συμπιέζει πολύ **μεγαλύτερη μάζα αέρα** από τους δύο άλλους. Το μεγάλο ποσοστό του αέρα - το ψυχρό ρεύμα - παρακάμπτει τους δύο άλλους συμπιεστές και εξέρχεται στην ατμόσφαιρα από ένα **ιδιαίτερο δακτυλιοειδές ακροφύσιο**. Η υπόλοιπη μάζα του αέρα - το **θερμό ρεύμα** - συμπιέζεται από τους άλλους συμπιεστές και οδηγείται στο θάλαμο καύσης.



Σχήμα 2.53 Ο τριπλός αξονικός συμπιεστής (triple-spool compressor)

2.4.3.2 Αρχές λειτουργίας

Τα κινητά πτερύγια στρέφονται σε υψηλές ταχύτητες, από το στρόβιλο με τον οποίο είναι συνδεδεμένος ο συμπιεστής, ώστε να εξασφαλίζεται μία συνεχής ροή αέρα. Ο αέρας επιταχύνεται από τα κινητά πτερύγια και οδηγείται στα σταθερά πτερύγια που ακολουθούν. Εκεί, μειώνεται η ταχύτητα και αυξάνεται η πίεση του λόγω **διάχυσης** μεταξύ των σταθερών και κινητών πτερυγίων. Οι αλλαγές στην πίεση και την ταχύτητα του αέρα κατά τη διαδρομή του μέσα από το συμπιεστή φαίνονται στο Σχήμα 2.54. Κατά τη διάρκεια της συμπίεσης, παρατηρείται μία σταδιακή αύξηση στη θερμοκρασία του αέρα.



Σχήμα 2.54 Οι μεταβολές των τιμών πίεσης και ταχύτητας κατά μήκος του συμπιεστή

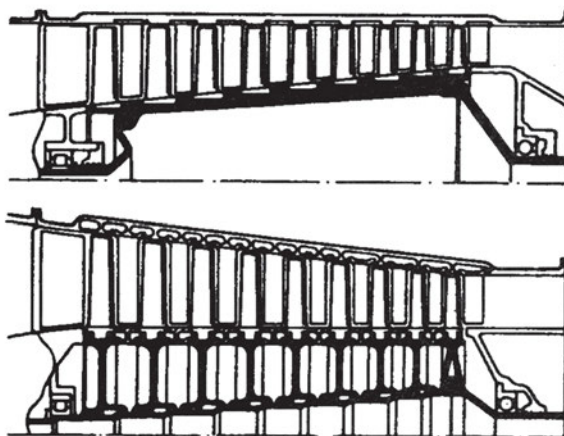
Τα **πλεονεκτήματα** που συγκεντρώνει ο αξονικός συμπιεστής (σε σύγκριση με το φυγοκεντρικό) είναι τα ακόλουθα:

- Ο **λόγος συμπίεσης μπορεί να είναι μεγάλος** αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν όσες βαθμίδες χρειάζονται για το στόχο αυτόν.
- Η **εμπρόσθια επιφάνεια του κινητήρα είναι μικρότερη** για δεδομένο όγκο εισερχόμενου αέρα, οπότε η αεροδυναμική αντίσταση είναι μικρότερη.
- Επιτυγχάνεται **καλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου**.

Βέβαια, από την άλλη μεριά, ο αξονικός συμπιεστής έχει **ιδιαίτερα μεγάλο βάρος** ενώ απαιτεί και **μεγάλη κατανάλωση ισχύος κατά την εκκίνηση**. Αυτό οφείλεται στη χαμηλή συμπίεση που επιτυγχάνεται από κάθε μεμονωμένη βαθμίδα, οπότε απαιτείται η εγκατάσταση πολλών βαθμιδών για τη λειτουργία του. Ακόμη, ο αξονικός συμπιεστής παρουσιάζει **ευπάθεια στην παγοποίηση** και σε **βλάβες από ξένα σώματα** ενώ, γενικά, είναι **ευπαθής σε αστάθειες της ροής** (όπως θα δούμε παρακάτω). Τέλος, παρουσιάζει **ιδιαίτερα πολύπλοκες κατασκευαστικές απαιτήσεις** με αποτέλεσμα η τιμή του να είναι υψηλή.

2.4.3.3 Στροφεία

Το στροφείο του αξονικού συμπιεστή είναι **τύμπανο ή συναρμογή αριθμού δίσκων**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.55. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται και συνδυασμός των δύο τύπων.



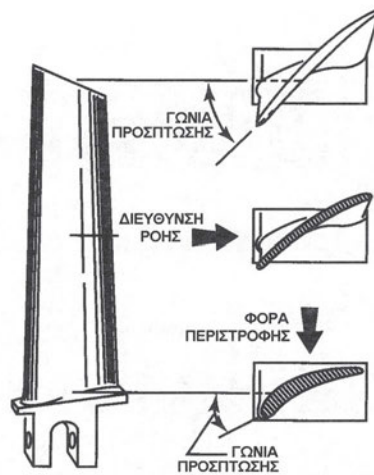
Σχήμα 2.55 Στροφέιο αξονικού συμπιεστή (α) σε μορφή τυμπάνου, (β) με κατάλληλη συναρμογή αριθμού δίσκων

Στην πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιείται ένα σφυρήλατο τύμπανο πάνω στο οποίο ασφαλίζονται τα κινητά πτερύγια. Οι γειτονικές στη ρίζα του τυμπάνου περιοχές παραλαμβάνουν αξονικά και ακτινικά φορτία. Η συνολική ώση παραλαμβάνεται από το άκρο του τυμπάνου. Στη δεύτερη περίπτωση κάθε σειρά κινητών πτερυγίων ασφαλίζεται πάνω σε ένα δίσκο που προσαρμόζεται στον άξονα σύνδεσης με το στρόβιλο. Μεταξύ των δίσκων κάθε βαθμίδας τοποθετούνται **δακτύλιοι απόστασης (spacers)**, οι οποίοι παραλαμβάνουν τα **αξονικά φορτία**. Τα **ακτινικά φορτία** παραλαμβάνονται από τους **δίσκους**, οι τελευταίοι από τους οποίους παραλαμβάνουν και τη συνολική ώση.

2.4.3.4 Κινητά πτερύγια

Τα κινητά πτερύγια έχουν σχήμα αεροτομής (Σχήμα 2.56) και **μεταβλητή γωνία προσβολής (angle of incidence)** ή **συστροφή (twist)** από τη **ρίζα (root)** προς το **ακροπτερύγιο (tip)**. Η συστροφή επιτυγχάνει υψηλότερη πίεση στο ακροπτερύγιο ώστε να αντισταθμίζεται η διαφοροποίηση της ταχύτητας του πτερυγίου που προκαλείται από την ακτίνα καμπυλότητάς του¹. Το μήκος των πτερυγίων μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση που έχουν κατά μήκος του συμπιεστή. Τα μπροστινά είναι μεγαλύτερα (θυμηθείτε τους τρόπους μείωσης του δακτυλίου ροής που εξετάσαμε παραπάνω).

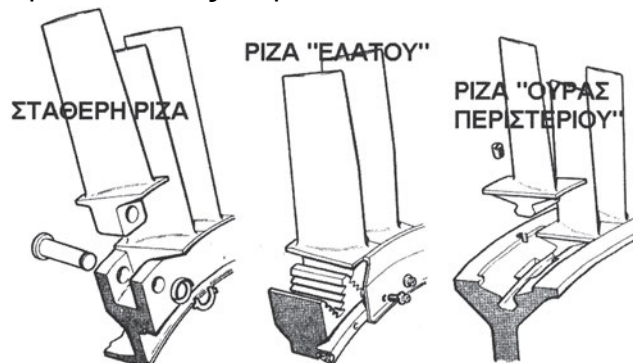
¹ Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του κινητού πτερυγίου από τον άξονα περιστροφής, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητά του.



Σχήμα 2.56 Κινητό πτερύγιο συμπίεστή

Μεγάλη σημασία για την ικανοποιητική λειτουργία του συμπίεστή έχει το θέμα των ανοχών στα κινητά πτερύγια. Τα ακροπτερύγια τους πρέπει να έχουν το προβλεπόμενο από τον κατασκευαστή διάκενο με το περίβλημα του συμπίεστή. Επίσης, η ρίζα του κινητού πτερυγίου πρέπει να “παίζει” όταν τοποθετηθεί στο δίσκο ή το τύμπανο. Η ανοχή αυτή επιτρέπεται ώστε να είναι εύκολη η τοποθέτηση και η αφαίρεσή τους καθώς και για την απορρόφηση των ταλαντώσεων που δημιουργούνται κατά την περιστροφή. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την ασφάλιση των κινητών πτερυγίων στο στροφέιο. Οι πιο συνηθισμένοι φαίνονται στο Σχήμα 2.57:

- **Σταθερή ρίζα (solid root)** με πείρο συγκράτησης και ασφαλιστικούς δακτυλίους,
- **Ρίζα με σχήμα ελάτου (fir tree root)** με ή χωρίς πλάκα ασφαλείας, και
- **Ρίζα με σχήμα ουράς περιστεριού (dove tail root)**, όπου ένα από τα πτερύγια χρησιμοποιείται ως ασφαλιστικό.



Σχήμα 2.57 Τρόποι συναρμογής κινητών πτερυγίων συμπίεστή στο τύμπανο ή τους δίσκους

2.4.3.5 Σταθερά πτερύγια

Τα σταθερά πτερύγια τοποθετούνται, όπως είδαμε, μεταξύ των κινητών πτερυγίων και λειτουργούν ως διαχύτες. Ακόμη, διορθώνουν τη διεύθυνση της ροής του αέρα κατά την έξοδο του από την προηγούμενη σειρά κινητών πτερυγίων, ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή γωνία ροής για την επόμενη σειρά. Η πρώτη σειρά των σταθερών πτερυγίων έχει το ρόλο των **οδηγών πτερυγίων** που θα οδηγήσει το εισερχόμενο ρεύμα αέρα στην πρώτη βαθμίδα με τη βέλτιστη γωνία. Η τελευταία σειρά σταθερών πτερυγίων, συνήθως, χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση της ροής και την αποφυγή δημιουργίας στροβιλισμών κατά την έξοδο του αέρα από το συμπιεστή και την είσοδό του στο θάλαμο καύσης.

Το σχήμα των σταθερών πτερυγίων είναι, όπως και στα κινητά, αυτό της αεροτομής. Στηρίζονται απευθείας στο **περίβλημα του στροβίλου (shrouded blades, Σχήμα 2.58α)** ή σε ένα **δακτύλιο συγκράτησης (retaining ring),** ο οποίος με τη σειρά του ασφαρίζεται στο περίβλημα (Σχήμα 2.58β). Σε πολλές περιπτώσεις τα πτερύγια ασφαίζονται και στο ακροπτερύγιο για την αποφυγή των ανεπιθύμητων ταλαντώσεων.



Σχήμα 2.58 Σταθερά πτερύγια συμπιεστή

2.4.3.6 Υλικά κατασκευής

Γενικά, τα υλικά κατασκευής των τμημάτων του συμπιεστή πρέπει να παρουσιάζουν αντοχή στις υψηλές πιέσεις συμπίεσης και την άνοδο της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται κατά τη συμπίεση. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται και στην αντοχή των υλικών κατασκευής για την αντιμετώπιση της αναρρόφησης ξένου σώματος.

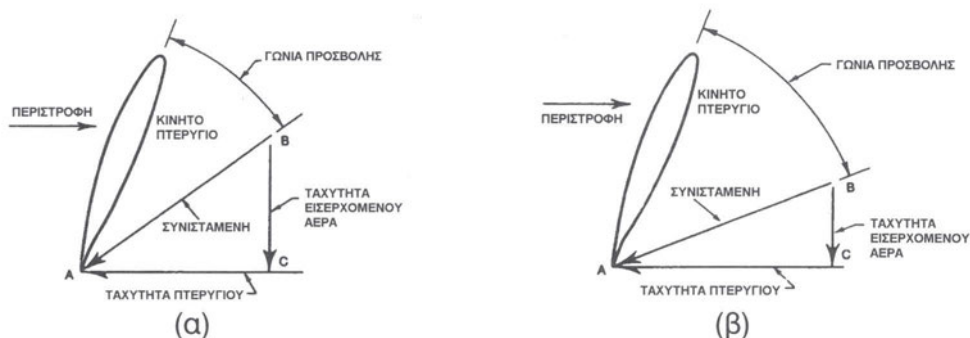
Το περίβλημα του συμπιεστή κατασκευάζεται από κράμα αλουμινίου ή μαγνησίου στο μπροστινό τμήμα του, ενώ για το οπίσθιο χρησιμοποιείται, συνήθως, χάλυβας. Για τα **κινητά** και τα **σταθερά πτερύγια** χρησιμοποιούνται **κράματα αλουμινίου, χάλυβας, νικέλιο ή τιτάνιο,** ανάλογα με τη θέση και

τις συνθήκες λειτουργίας τους. Σε κάποιες εφαρμογές, σε χαμηλές θερμοκρασίες συμπίεσης, χρησιμοποιούνται **πτερύγια από συνθετικό υλικό**, οπότε επιτυγχάνεται εξοικονόμηση βάρους.

2.4.3.7 Απώλεια στήριξης - πάλμωση

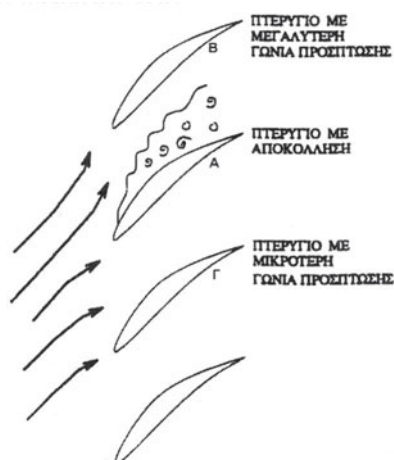
Οι βαθμίδες των συμπιεστών διακρίνονται μεταξύ τους από τα χαρακτηριστικά ροής τους. Ο αποτελεσματικός συνδυασμός των χαρακτηριστικών αυτών επιτυγχάνει την αποδοτική λειτουργία του συμπιεστή. Όμως, το ευμετάβλητο των συνθηκών λειτουργίας ενός αεριοστρόβιλου (ροή αέρα, λόγος συμπίεσης, αριθμός στροφών) δεν εξασφαλίζει πάντοτε τη λειτουργία σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά ροής που έχουν από το σχεδιασμό τους οι βαθμίδες. Στην περίπτωση που ο κινητήρας λειτουργεί σε συνθήκες ασταθούς ροής του αέρα γύρω από τα πτερύγια του συμπιεστή, δημιουργούνται οι συνθήκες εμφάνισης των φαινομένων της **πάλμωσης (compressor surge)** και της **απώλειας στήριξης (compressor stall)**. Στην ελληνική βιβλιογραφία, ο όρος “πάλμωση” μπορεί να συναντηθεί και ως “**αστάθεια λειτουργίας**” ή και “**απώλεια πίεσης**” του συμπιεστή ή ακόμη και ως **αντίθλιψη**. Γενικά, τα φαινόμενα της πάλμωσης και της απώλειας στήριξης είναι πολύ στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Ορισμένοι μάλιστα συγγραφείς θεωρούν τα δύο φαινόμενα ως ταυτόσημα. Με την ανάλυση που ακολουθεί, θα προσπαθήσουμε να αποσαφηνίσουμε τη σχέση που έχουν μεταξύ τους.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, η **απώλεια στήριξης παρουσιάζεται στο συμπιεστή του αεριοστρόβιλου όταν η ροή γύρω από τα πτερύγια του γίνει ασταθής**. Συνήθως, η αστάθεια προκαλείται από την αιφνίδια αύξηση - ή ελάττωση - της μάζας του ρεύματος αέρα χωρίς την αντίστοιχη μεταβολή του λόγου συμπίεσης στο συμπιεστή. Αποτελεί, δηλαδή, την αδυναμία των πτερυγίων του συμπιεστή να προωθήσουν το εισερχόμενο ρεύμα του αέρα σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού τους. Στο σημείο αυτό, ας θυμηθούμε ότι τα πτερύγια του συμπιεστή (ιδιαίτερα του αξονικού) αποτελούν ουσιαστικά μικρές πτέρυγες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα πτερύγια να συμπεριφέρονται με τρόπο παρόμοιο με την πτέρυγα του αεροσκάφους. Κατά τη διάρκεια, λοιπόν, της λειτουργίας του συμπιεστή σε συνθήκες απώλειας στήριξης, ιδιαίτερο ρόλο παίζει η γωνία προσβολής του αέρα σε αυτά. Όταν αυτή υπερβεί μία συγκεκριμένη τιμή (η οποία αποτελεί σχεδιαστική παράμετρο), επέρχεται μείωση της ταχύτητας εισαγωγής του αέρα στο συμπιεστή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.59.



Σχήμα 2.59 Ρεύμα αέρα εισαγωγής με (α) υψηλή ταχύτητα, (β) χαμηλή ταχύτητα

Τότε, παρατηρούνται περιοχές αποκόλλησης της ροής¹. Αυτές κινούνται περιφερειακά με ταχύτητα μικρότερη της ταχύτητας περιστροφής του άξονα του κινητήρα και με την ίδια φορά. Στο Σχήμα 2.60 παρουσιάζεται μία προσπάθεια ερμηνείας του φαινομένου.



Σχήμα 2.60 Περιοχή αποκόλλησης της ροής στα κινητά πτερύγια του συμπιεστή

Η δημιουργία περιοχής αποκόλλησης της ροής μόνο στο πτερύγιο Α επηρεάζει προοδευτικά και τα γειτονικά πτερύγια. Το πτερύγιο Β βρίσκεται αμέσως μετά από το Α από την πλευρά υποπίεσης και θα δεχτεί τη ροή του αέρα με μεγαλύτερη γωνία προσβολής. Αντίθετα, το πτερύγιο Γ βρίσκεται αμέσως μετά το Α από την πλευρά της υπερπίεσης. Θα δεχτεί, λοιπόν, τη ροή με μικρότερη γωνία προσβολής. Η αύξηση της γωνίας προσβολής στο πτερύγιο Β οδηγεί στην εμφάνιση περιοχής αποκόλλησης της ροής σε αυτό. Παράλληλα, μειώνεται η γωνία προσβολής στο πτερύγιο Α, οπότε η περιοχή αποκόλλησης της ροής σε αυτό μειώνεται και, τελικά, η ροή επανακολλάται. Παρατηρού-

¹ Πρακτικά παρουσιάζονται στροβιλισμοί του ρεύματος αέρα ανάμεσα στα πτερύγια του συμπιεστή.

με, λοιπόν, ότι η περιοχή αποκόλλησης της ροής, ουσιαστικά, μεταφέρθηκε από το πτερύγιο Α στο πτερύγιο Β. Με όμοιο τρόπο θα μεταφερθεί και στα υπόλοιπα πτερύγια. Αναπτύσσεται, με τον τρόπο αυτό, μία **περιστρεφόμενη αποκόλληση (rotating stall)**, αφού τα πτερύγια του συμπιεστή βρίσκονται σε περιφερειακή διάταξη μέσα στον κινητήρα.

Γενικά, η εμφάνιση του φαινομένου της περιστρεφόμενης αποκόλλησης προέρχεται από τη διαταραχή στη σχέση μεταξύ ροής αέρα, λόγου συμπίεσης και αριθμού στροφών. Οι **αιτίες** που μπορούν να δημιουργήσουν τέτοιες συνθήκες είναι:

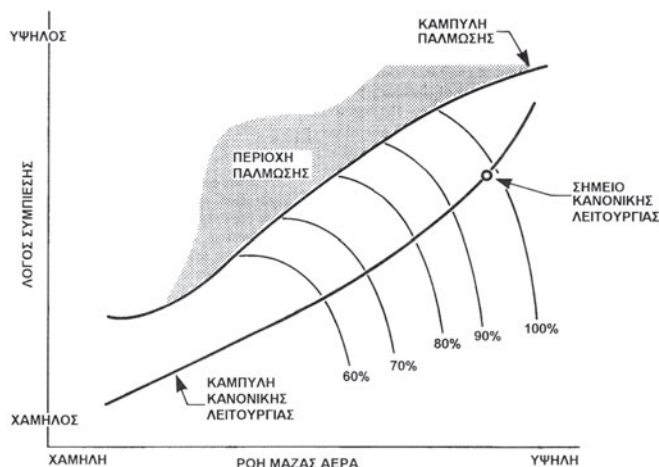
- Μείωση της ροής του αέρα από παγοποίηση λόγω πτήσης σε μεγάλο ύψος.
- Απότομη αύξηση της ροής του καυσίμου.
- Απότομη αλλαγή της ροής του αέρα λόγω ελιγμού του αεροσκάφους.
- Υψηλή θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής.
- Βλάβη ενός ή περισσότερων πτερυγίων του συμπιεστή (π.χ. από αναρρόφηση ξένου σώματος), οπότε και αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας του.
- Μείωση της διατομής εισαγωγής αέρα καθώς και των διόδων των βαθμιδών (π.χ. από επικαθίσεις).

Αν η αιτία του φαινομένου συνεχίσει να υπάρχει, τότε η αστάθεια της ροής του αέρα προσβάλλει το σύνολο των βαθμιδών του συμπιεστή. Στο σημείο αυτό είναι που κάποιοι από τους ειδικούς διαχωρίζουν τις έννοιες **απώλεια στήριξης** και **πάλμωση**. Ενώ η πρώτη αφορά την **αστάθεια της ροής σε περιορισμένο αριθμό βαθμιδών**, η **πάλμωση** θεωρείται ότι αποτελεί τη **μετάβαση του φαινομένου σε όλες τις βαθμίδες του συμπιεστή**. Παρατηρούνται, λοιπόν, συνολικές “ταλαντώσεις” της ροής σε όλο το μήκος του δακτυλίου ροής του συμπιεστή. Η ροή κατευθύνεται από την είσοδο προς της έξοδο του συμπιεστή αλλά και το αντίθετο αμέσως μετά.

Η απώλεια στήριξης μικρής έντασης συνοδεύεται από ελαφρύ κραδασμό ή καθυστέρηση μεταβολής των στροφών σε επιτάχυνση ή επιβράδυνση του κινητήρα. Συνήθως, σε αυτή την ένταση δεν επηρεάζει τη λειτουργία του κινητήρα και αποκαθίσταται αμέσως¹ χωρίς την ανάγκη κάποιας διορθωτικής κίνησης από το χειριστή του αεροσκάφους. Απώλεια στήριξης με μεγαλύτερη ένταση συνοδεύεται από αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργία του στροβίλου του κινητήρα, κραδασμούς και εμφάνιση θορύβου (σαν βήξιμο) από το συμπιεστή. Κατά την πλήρη απώλεια στήριξης - πάλμωση - δημιουργούνται ισχυροί κρότοι στο συμπιεστή και αύξηση στις θερμοκρασίες λειτουργίας του στροβίλου.

¹ Υπάρχει και η πιθανότητα να περάσει απαρατήρητη.

Για την αποφυγή της λειτουργίας σε συνθήκες απώλειας στήριξης και πάλμωσης, οι κατασκευαστές αεροστροβίλων έχουν δημιουργήσει το λεγόμενο “πεδίο χαρακτηριστικών” ή **χάρτη του συμπιεστή**. Σε αυτό, για κάθε διαφορετικό κινητήρα, απεικονίζονται όλες οι καταστάσεις λειτουργίας και προκύπτουν οι περιοχές ευσταθούς και ασταθούς λειτουργίας για το συμπιεστή. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.61, κατά μήκος της καμπύλης κανονικής λειτουργίας, ο συμπιεστής θα λειτουργεί χωρίς την εμφάνιση πάλμωσης για διάφορες τιμές του λόγου συμπίεσης, της ροής μάζας αέρα και του αριθμού στροφών. Το σημείο κανονικής λειτουργίας βρίσκεται σε αυτήν την καμπύλη και δηλώνει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες ο συμπιεστής θα λειτουργεί τις περισσότερες φορές. Οι τιμές του λόγου συμπίεσης που εξασφαλίζουν ικανοποιητική λειτουργία του κινητήρα είναι αυτές που βρίσκονται μεταξύ της καμπύλης κανονικής λειτουργίας και της καμπύλης πάλμωσης. Επίσης, για κάθε δεδομένη τιμή ροής μάζας αέρα, υπάρχει μία μικρή περιοχή τιμών του λόγου συμπίεσης όπου ο κινητήρας θα λειτουργεί χωρίς την εμφάνιση πάλμωσης.



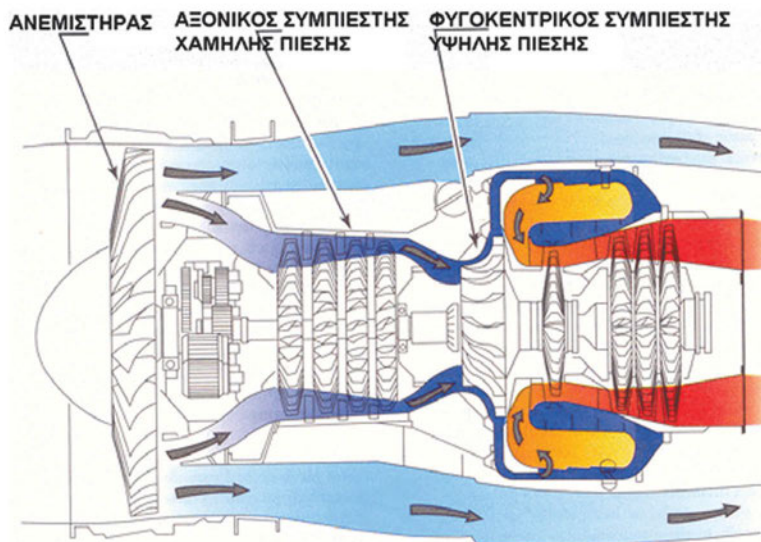
Σχήμα 2.61 Διάγραμμα λειτουργίας αξονικού συμπιεστή

Η απώλεια στήριξης και η πάλμωση είναι, βέβαια, ανεπιθύμητες λειτουργίες. Η εμφάνισή τους επιφέρει κραδασμούς και σημαντική μείωση του βαθμού απόδοσης του συμπιεστή. Αυτή, σε συμπιεστές υψηλής ταχύτητας, συνοδεύεται από μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας, οι οποίες σε συνδυασμό με τους κραδασμούς μπορεί να επιφέρουν την ολική καταστροφή του συμπιεστή. Επίσης, η αναστροφή της ροής που παρατηρείται κατά την εμφάνιση της πάλμωσης μπορεί να οδηγήσει σε αναρρόφηση φλόγας από το θάλαμο καύσης και καταστροφή του συμπιεστή.

Γενικά, τα φαινόμενα της απώλειας στήριξης και της πάλμωσης αντιμετωπίζονται με τους ακόλουθους τρόπους:

- Αποτελεσματική **λειτουργία** του εξαρτήματος του **αυτόματου ρυθμιστή καυσίμου**. Αυτός λαμβάνει υπόψη τις παραμέτρους της κατάστασης λειτουργίας (λόγος συμπίεσης, αριθμός στροφών λειτουργίας του συμπιεστή και ροή εισερχόμενου αέρα) και αντισταθμίζει τις μεταβολές τους, ιδιαίτερα κατά τις απότομες μετακινήσεις της μανέτας.
- **Μείωση της γωνίας προσβολής των μπροστινών βαθμίδων του συμπιεστή** ώστε να μην υπερβεί την κρίσιμη τιμή της.
- **Χρήση συστήματος αυτόματου ελέγχου ροής** ώστε να επιτευχθεί λειτουργία χωρίς απώλεια στήριξης. Το σύστημα αυτό παροχετεύει ποσότητα αέρα από το μέσο ή το οπίσθιο μέρος του συμπιεστή προς την ατμόσφαιρα ή προς κάποια δευτερεύουσα ροή (π.χ. προς την καμπίνα επιβατών). Η ποσότητα του αέρα ρυθμίζεται μέσω **βαλβίδας (handling bleed valve)**. Αυτή είναι ανοιχτή κατά τη λειτουργία του κινητήρα σε χαμηλούς λόγους συμπίεσης και κλείνει στους υψηλότερους. Όταν η βαλβίδα είναι ανοιχτή, η ροή αέρα αυξάνεται στις μπροστινές βαθμίδες ενώ μειώνεται στις οπίσθιες. Έτσι, επέρχεται ισορροπία στη ροή του αέρα κατά μήκος του συμπιεστή.
- **Χρήση οδηγών πτερυγίων** στην είσοδο του συμπιεστή και σταθερών πτερυγίων με μεταβλητή γωνία στις αρχικές βαθμίδες. Ο μηχανισμός ρύθμισης της γωνίας λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των στροφών λειτουργίας και τη θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής.
- **Χρήση διβαθμίου συμπιεστή** (δύο στροφείων). Με τον τρόπο αυτόν, επιτυγχάνεται ρύθμιση των στροφών του συμπιεστή χαμηλής πίεσης στις καλύτερες δυνατές συνθήκες λειτουργίας και μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης απώλειας στήριξης.

Αρκετοί κατασκευαστές κινητήρων χρησιμοποιούν συνδυασμό φυγοκεντρικού και αξονικού συμπιεστή για να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα και των δύο τύπων. Ο σχεδιασμός αυτός χρησιμοποιείται σε μικρούς κινητήρες που κινούν μικρά επιβατικά αεροσκάφη και ελικόπτερα. Ενδεικτικό παράδειγμα ο κινητήρας Garrett TFE731 που φαίνεται στο Σχήμα 2.62. Ένας πολυβάθμιος αξονικός συμπιεστής χρησιμοποιείται ως συμπιεστής χαμηλής πίεσης και ένας μονοβάθμιος φυγοκεντρικός συμπιεστής ως συμπιεστής υψηλής πίεσης. Επίσης, χρησιμοποιείται εμπρόσθιος ανεμιστήρας, ο οποίος παίρνει κίνηση, μέσω μειωτήρα στροφών, από τον άξονα που δίνει κίνηση στο συμπιεστή χαμηλής πίεσης.

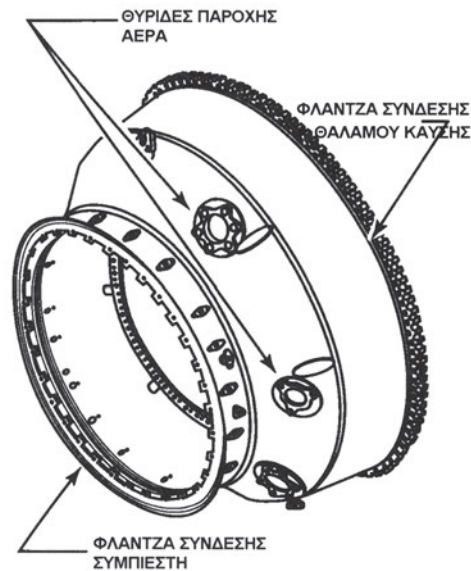


Σχήμα 2.62 Συνδυασμός αξονικού και φυγοκεντρικού συμπιεστή

2.5 ΔΙΑΧΥΤΕΣ

Σκοπός του διαχύτη είναι να κατευθύνει τη μάζα του αέρα, που εξέρχεται από το συμπιεστή, προς το θάλαμο καύσης. Συγχρόνως, **μετατρέπει την κινητική ενέργεια του αέρα σε στατική πίεση. Στο διαχύτη η τιμή της πίεσης λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή της μέσα στον κινητήρα.** Όπως είδαμε, στο φυγοκεντρικό συμπιεστή ο αέρας εισέρχεται, συμπιεσμένος, σε περιφερειακά διατεταγμένους διαχύτες και στη συνέχεια στο θάλαμο καύσης. Στον αξονικό συμπιεστή, ο συμπιεσμένος αέρας διέρχεται από σταθερά οδηγία πτερύγια - την τελευταία σταθερή βαθμίδα του συμπιεστή - για να εισέλθει στο διαχύτη. Μέσα σε αυτόν, η συνεχώς αυξανόμενη διατομή προκαλεί μείωση της ταχύτητας του αέρα και αύξηση της στατικής πίεσης, σύμφωνα με το νόμο του Μπερνούλλι (Bernoulli). Μετά από το διαχύτη, ο αέρας εισέρχεται στο θάλαμο καύσης με υψηλή πίεση και χαμηλή ταχύτητα, συνθήκες κατάλληλες, δηλαδή, για την ικανοποιητική ανάμειξή τους με το καύσιμο που εγχύεται.

Ο διαχύτης αποτελεί συνέχεια του περιβλήματος του συμπιεστή ή μπορεί να είναι και διαφορετικό κομμάτι (Σχήμα 2.63). Και στις δύο περιπτώσεις φέρει θυρίδες για την παροχέτευση πεπιεσμένου αέρα για την εκτέλεση διάφορων βοηθητικών λειτουργιών του αεροσκάφους. Όπως είδαμε και παραπάνω, θυρίδες παροχέτευσης πεπιεσμένου αέρα υπάρχουν και στο τμήμα του συμπιεστή.



Σχήμα 2.63 Γενική μορφή διαχύτη

2.6 ΘΑΛΑΜΟΙ ΚΑΥΣΗΣ

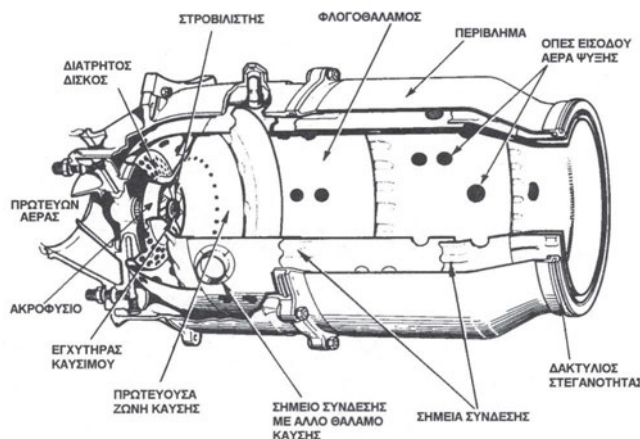
Η βέλτιστη απόδοση κατά τη διαδικασία της καύσης του μείγματος αέρα - καυσίμου σε έναν αεριοστροβίλο είναι επιτακτική. Και τούτο διότι από αυτήν καθορίζονται η συνολική απόδοση του κινητήρα, το λειτουργικό κόστος του αεροσκάφους, αλλά και η επιβάρυνση που θα επιφέρουν στο περιβάλλον οι εκπεμπόμενοι ρύποι από την κάθε πτήση του.

Σήμερα, η ανάπτυξη των **θαλάμων καύσης (combustion chambers)** βασίζεται στην εμπειρία που αποκτήθηκε από τη χρήση τους σε αεροκινητήρες που λειτούργησαν με περισσότερη ή λιγότερη επιτυχία στο παρελθόν. Είναι σύνηθες, όσο και επιβεβλημένο, να προτείνονται διαφορετικές λύσεις για ένα δεδομένο σύστημα καύσης, όμως κάποιες βασικές σχεδιαστικές αρχές απαιτώνται σε κάθε θάλαμο καύσης. Η διαρκώς αυξανόμενη χρήση των αεροσκαφών, που σημειώνεται με την πάροδο των χρόνων, επιφέρει ταυτόχρονα σημαντική αύξηση στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Το γεγονός αυτό εντείνει τις προσπάθειες σχεδιασμού βελτιωμένων θαλάμων καύσης με μειωμένες εκπομπές καυσαερίων.

2.6.1 Η διαδικασία της καύσης

Ο βασικός σκοπός του θαλάμου καύσης είναι να επιτύχει την καύση συγκεκριμένης ποσότητας μείγματος αέρα (ο οποίος εξέρχεται από το συμπιεστή) και καυσίμου. Τα παραγόμενα καυσαέρια αποδίδουν τη θερμική ενέργειά τους

στο στρόβιλο, που βρίσκεται μετά το θάλαμο καύσης. Η διαδικασία της καύσης πραγματοποιείται στην περιορισμένη έκταση του θαλάμου καύσης και πρέπει να επιτυγχάνεται με την ελάχιστη δυνατή απώλεια πίεσης (ισοβαρής καύση). Παίρνοντας για παράδειγμα το θάλαμο καύσης που φαίνεται στο Σχήμα 2.64 (ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στους αρχικούς αεριοστρόβιλους), θα εξετάσουμε με λεπτομέρεια τον τρόπο λειτουργίας ενός θαλάμου καύσης σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα. Βασικά, ο θάλαμος καύσης αποτελείται από το περίβλημα, το στροβιλιστή, τον εγχυτήρα καυσίμου και το φλογοσωλήνα όπου πραγματοποιείται η καύση.

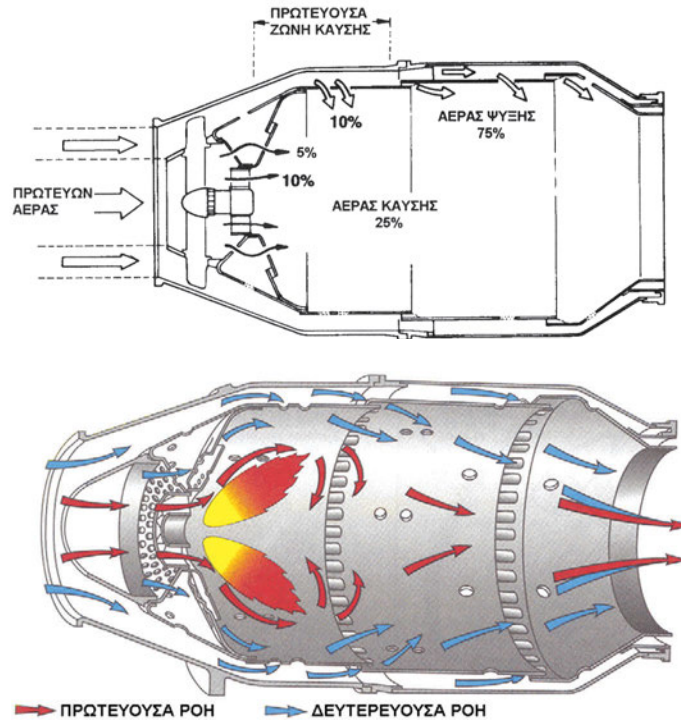


Σχήμα 2.64 Θάλαμος καύσης

Το συμπιεσμένο ρεύμα αέρα εξέρχεται από το συμπιεστή με ταχύτητα της τάξης των 150m/sec. Η ταχύτητα αυτή είναι απαγορευτική για τη διαδικασία της καύσης και πρέπει να μειωθεί σημαντικά. Η μείωση αυτή επιτυγχάνεται στην περιοχή του διαχύτη που βρίσκεται μεταξύ του συμπιεστή και θαλάμου καύσης, όπως είδαμε στην παράγραφο 2.5. Η διατομή του δακτυλίου ροής αυξάνει προοδευτικά και με τον τρόπο αυτόν μειώνεται η ταχύτητα του ρεύματος αέρα ενώ αυξάνεται η στατική του πίεση. Μετά τη διόδο από το διαχύτη η ταχύτητα του ρεύματος αέρα είναι της τάξης των 25m/sec, τιμή επίσης μεγάλη για την κανονική καύση. Η περαιτέρω μείωσή της σε τιμές της τάξης των 5 m/sec επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός **διάτρητου δίσκου (perforated disk)**, ο οποίος αποτελεί εξάρτημα του θαλάμου καύσης και βρίσκεται περιφερειακά από τον **εγχυτήρα καυσίμου (fuel nozzle)**.

Ένας ακόμη σκοπός του θαλάμου καύσης είναι η παροχή του σωστής αναλογίας όσον αφορά το μείγμα αέρα - καυσίμου. Ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, ο λόγος αέρα - καυσίμου παίρνει τιμές μεταξύ 45:1 και 80:1. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο, η κηροζίνη, καίγεται αποδοτικά όταν ο παραπάνω λόγος έχει τιμή 15:1, περίπου. Αυτό σημαίνει ότι μόνο ένα μέρος

του εισερχόμενου στο θάλαμο καύσης αέρα απαιτείται για την κανονική καύση και, πρακτικά, μόνον αυτό θα αναμειχθεί με το καύσιμο. Η ανάμειξη αυτή πραγματοποιείται στο μπροστινό τμήμα του θαλάμου καύσης. Στο Σχήμα 2.65 φαίνεται η ροή του αέρα μέσα στο θάλαμο καύσης που χρησιμοποιούμε ως παράδειγμα.

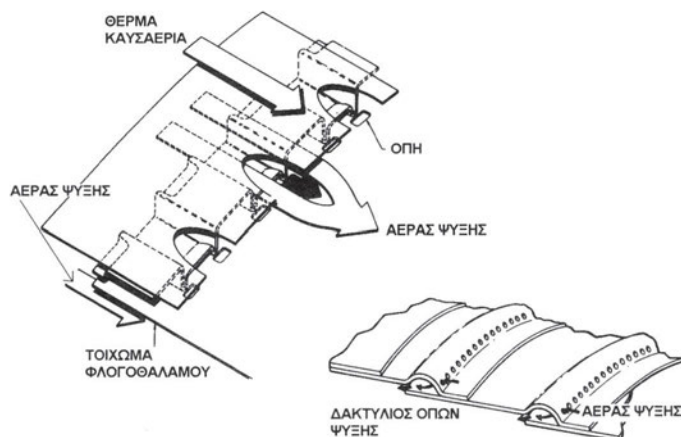


Σχήμα 2.65 Ροές στο θάλαμο καύσης

Αρχικά, ένα ποσοστό (περίπου 25%) του εισερχόμενου αέρα στο θάλαμο καύσης, η **πρωτεύουσα ροή**, διέρχεται από αγωγό με κατάλληλα διαμορφωμένη διατομή. Η υπόλοιπη ποσότητα του εισερχόμενου αέρα, η **δευτερεύουσα ροή**, η οποία είναι και η μεγαλύτερη (ποσοστό περίπου 75%), εισέρχεται στο δακτυλιοειδή χώρο που δημιουργείται μεταξύ της περιφέρειας του φλογοσωλήνα και του περιβλήματος του θαλάμου καύσης. Στην περιοχή του αγωγού εισόδου της πρωτεύουσας ροής υπάρχουν τα σταθερά πτερύγια (swirl vanes) του στροβιλιστή. Αυτά ανακόπτουν την αξονική ταχύτητα του εισερχόμενου από αυτά αέρα (10% περίπου), ενισχύοντας την περιφερειακή ταχύτητά του. Ένα ποσοστό 5%, περίπου, αέρα διέρχεται από το διάτρητο δίσκο (που αναφέρθηκε παραπάνω) και η ταχύτητά του μειώνεται στα επιθυμητά επίπεδα. Τελικά, το ρεύμα αέρα που εισέρχεται στην **πρωτεύουσα ζώνη καύσης (primary combustion zone)**, έχει αποκτήσει στροβιλισμό, απαραίτητο για την ομαλή κυκλοφορία του μέσα στο φλογοσωλήνα αλλά και για την καλή ανάμειξη του καύσιμου μείγματος. Στην περιοχή αυτή, η οποία αποτελεί

το ένα τρίτο του συνολικού μήκους του φλογοθαλάμου, πραγματοποιείται η έναυση και η καύση του καύσιμου μείγματος.

Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται εκεί μπορούν να φτάσουν τους 2000°C, τιμή πολύ μεγαλύτερη από την αντοχή των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φλογοθαλάμων. Για το λόγο αυτό, στην περιοχή της πρωτεύουσας ζώνης καύσης υπάρχουν δίοδοι εισαγωγής αέρα για την ψύξη των τοιχωμάτων του φλογοθαλάμου (Σχήμα 2.66). Ο αέρας αυτός προέρχεται από την ποσότητα του διερχόμενου αέρα από τη περιφέρεια του φλογοσωλήνα, σε ποσοστό 10%.



Σχήμα 2.66 Οπές εισαγωγής αέρα στην πρωτεύουσα ζώνη καύσης

Η υπόλοιπη ποσότητα του ρεύματος αέρα αυτού εισέρχεται στο φλογοθάλαμο μέσω ειδικών οπών του, κατά μήκος της περιοχής αμέσως μετά την κύρια ζώνη καύσης. Ένα μέρος της ποσότητας του αέρα αυτού χρησιμοποιείται για τη μείωση της θερμοκρασίας των καυσαεριών - ώστε αυτά να μην καταστρέψουν το στρόβιλο - και ένα άλλο για την ψύξη των τοιχωμάτων του φλογοθαλάμου. Επίσης, η ποσότητα του αέρα αυτή είναι δυνατό να αναμειχθεί με ποσότητα άκαυστου καυσίμου και να προκαλέσει την καύση της. Τονίζεται ότι η διεργασία της καύσης πρέπει να έχει τελειώσει πριν την εισαγωγή της υπόλοιπης ποσότητας αέρα στο φλογοθάλαμο. Ο λόγος είναι ότι το ρεύμα αέρα αυτό, καθώς είναι σημαντικά ψυχρότερο από τα παραγόμενα καυσαέρια, θα επιφέρει μείωση στη θερμοκρασία τους. Συνολικά, από τον εισερχόμενο αέρα στο θάλαμο καύσης, ένα ποσοστό 20% έως 30% συμμετέχει στη διεργασία της καύσης ενώ το υπόλοιπο 70% έως 80% χρησιμοποιείται για λόγους ψύξης.

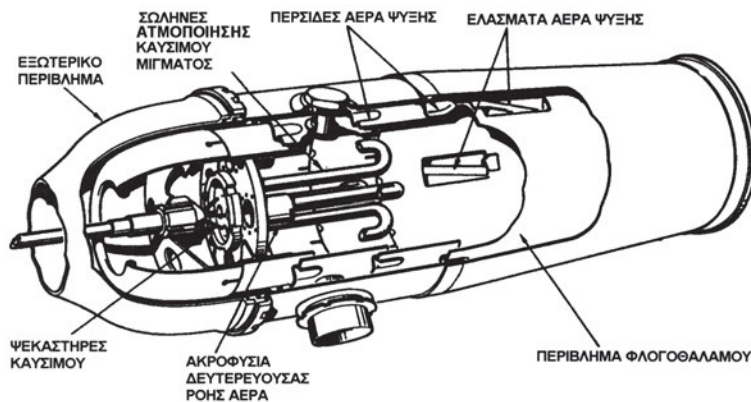
Ο απαραίτητος σπινθήρας για την έναυση παρέχεται **μία φορά** από ειδικό σπινθηριστή ο οποίος έχει ικανότητα παραγωγής έως και 100 σπινθήρων ανά λεπτό. Στη συνέχεια, η καύση διατηρείται λόγω των υψηλών θερμοκρασιών

που επικρατούν στην πρωτεύουσα ζώνη της καύσης.

Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του θαλάμου καύσης πρέπει να παρουσιάζουν καλή αντοχή στις **θερμικές καταπονήσεις (thermal stresses)**, στη διάβρωση που επιφέρουν τα προϊόντα της καύσης και στους κραδασμούς της λειτουργίας. Συνήθως, για την κατασκευή του φλογοθαλάμου χρησιμοποιούνται κράμματα χάλυβα με νικέλιο και χρώμιο ενώ το περιβλήμα κατασκευάζεται από ελαφρύ χάλυβα.

2.6.2 Παροχή καυσίμου

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε στους δύο διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους παρέχεται το καύσιμο, το οποίο θα αναμιχθεί με την κατάλληλη ποσότητα αέρα για την πραγματοποίηση της καύσης. Ο πρώτος τρόπος, και ο πιο συνηθισμένος, στηρίζεται στην έγχυση σταγονιδίων καυσίμου στο ρεύμα αέρα που διέρχεται από το διάτρητο δίσκο στην πρωτεύουσα ζώνη καύσης. Όσο μικρότερη είναι η διατομή των σταγονιδίων του καυσίμου (σπρέι) τόσο πιο γρήγορη και αποδοτική είναι η διεργασία της καύσης. Ο δεύτερος τρόπος στηρίζεται στην ατμοποίηση της ποσότητας καυσίμου πριν την εισαγωγή της στην πρωτεύουσα ζώνη καύσης. Στην περίπτωση αυτήν, ο θάλαμος καύσης δε διαθέτει σταθερά πτερύγια στροβιλισμού και διάτρητο έλασμα. Ένας τέτοιος θάλαμος καύσης φαίνεται στο Σχήμα 2.67.



Σχήμα 2.67 Το καύσιμο εξαερώνεται πριν την εισαγωγή του στην πρωτεύουσα ζώνη καύσης

Η ροή του αέρα που προορίζεται για την καύση (πρωτεύουσα ροή) διέρχεται μέσω οπών σε μεταλλικό διάφραγμα. Σε αυτό στηρίζεται ο σωλήνας παροχής καυσίμου. Το καύσιμο εγχύεται σε σωλήνες μικρής διατομής, οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο φλογοθάλαμο, και το ένα άκρο τους σχηματίζει γωνία 180° με τη ροή του αέρα. Ο τελευταίος, κατά τη διαδρομή του σε αυτούς τους σωλήνες, θερμαίνεται και ατμοποιείται πριν εισέλθει στο φλογοθάλαμο. Ο αέρας

της πρωτεύουσας ροής διέρχεται από τους ίδιους σωλήνες με το καύσιμο που ατμοποιείται και με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται η ανάμειξή τους. Η υπόλοιπη ποσότητα αέρα (δευτερεύουσα ροή) εισέρχεται στο φλογοσωλήνα για την επίτευξη ψύξης, όπως ακριβώς περιγράψαμε παραπάνω.

2.6.3 Λειτουργικά χαρακτηριστικά του θαλάμου καύσης

Οι απαιτήσεις για τη βέλτιστη διεργασία καύσης ισχύουν αναφορικά με συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα και του αεροσκάφους, όπως είναι η ταχύτητα πτήσης, η πτήση σε μεγάλο ύψος, η επιτάχυνση κατά την απογείωση, η δυνατότητα επανεκκίνησης κ.α. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του θαλάμου καύσης καθορίζονται από συγκεκριμένες παραμέτρους, τις οποίες θα εξετάσουμε στη συνέχεια.

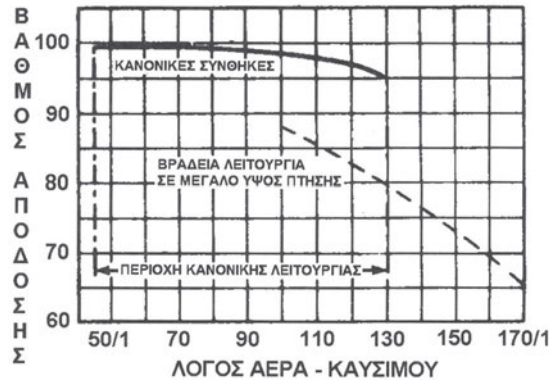
2.6.3.1 Απόδοση καύσης

Γενικά, το εγχυόμενο καύσιμο καίγεται ατελώς (ατελής καύση) με αποτέλεσμα την έκλυση μικρότερης ποσότητας θερμότητας από αυτήν που μπορεί να παραχθεί θεωρητικά. Ο λόγος εμφάνισης της ατελούς καύσης είναι η δυσκολία που παρουσιάζεται στην παροχή της σωστής ποσότητας αέρα καύσης στις διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.

Ο βαθμός απόδοσης της καύσης καθορίζεται από το ποσό της εκλυόμενης θερμότητας σε σχέση με το ποσό της θερμότητας που είναι ικανό το καύσιμο να αποδώσει θεωρητικά. Οι σύγχρονοι θάλαμοι καύσης παρουσιάζουν βαθμούς απόδοσης από 90% έως 98%.

Μία άλλη, σημαντική παράμετρος για την απόδοση του θαλάμου καύσης είναι η απώλεια πίεσης κατά τη διάρκεια της διεργασίας της καύσης. Όπως είδαμε, ο κύκλος λειτουργίας των αεριοστροβίλων κινητήρων παρουσιάζει σταθερή πίεση κατά τη διάρκεια της καύσης. Πρακτικά, όμως, η απώλεια της πίεσης είναι αναπόφευκτη λόγω των τριβών και του στροβιλισμού που πραγματοποιείται στην πρωτεύουσα ροή αέρα. Συνήθως, οι απώλειες πίεσης είναι της τάξης 2% έως 7%. Οι προσπάθειες που γίνονται για τη μείωσή τους εστιάζονται στο σχεδιασμό των σταθερών πτερυγίων στροβιλισμού και του διάτρητου ελάσματος.

Τέλος, στο Σχήμα 2.68 φαίνεται η απόδοση της διεργασίας της καύσης σε σχέση με το λόγο αέρα - καυσίμου ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.



Σχήμα 2.68 Απόδοση του θαλάμου καύσης ως προς το λόγο αέρα - καυσίμου

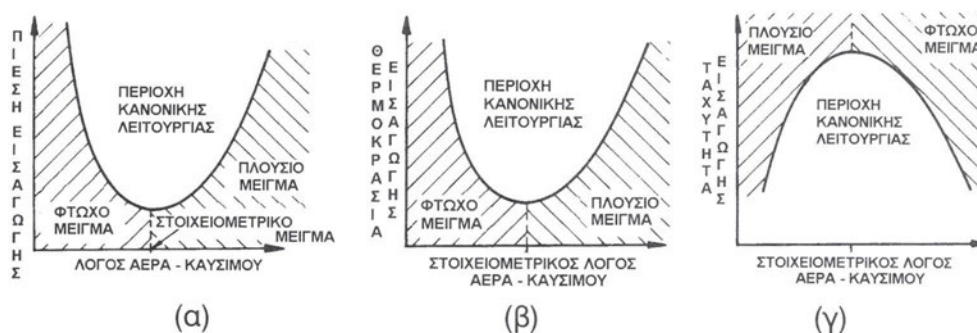
2.6.3.2 Ευστάθεια καύσης

Στις διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας ενός αεροστρόβιλου κινητήρα μεγάλης σημασίας έχει η διατήρηση της φλόγας, ώστε να επιτυγχάνεται η κανονική διεργασία της καύσης. Οι ακόλουθες παράμετροι αλλάζουν στην είσοδο του θαλάμου καύσης και επηρεάζουν τη διεργασία της καύσης:

- Η στατική πίεση,
- Η στατική θερμοκρασία, και
- Η ταχύτητα του εισερχόμενου ρεύματος αέρα.

Η ευσταθής περιοχή της διεργασίας καύσης εξαρτάται από τις τιμές του λόγου αέρα - καυσίμου. Η περιοχή αυτή μικραίνει κατά τη διάρκεια πτήσεων σε μεγάλα ύψη, με μειωμένη ατμοσφαιρική πίεση και, συνακόλουθα, με μειωμένη πίεση του εισερχόμενου ρεύματος αέρα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.69α. Οι στροβιλοανεμιστήρες με μεγάλο λόγο παράκαμψης είναι λιγότερο ευπαθείς σε αυτήν την περίπτωση. Στην περίπτωση καύσης με στοιχειομετρικό λόγο αέρα - καυσίμου, η ευσταθής καύση επιτυγχάνεται ακόμη και σε αρκετά χαμηλές πιέσεις εισερχόμενου αέρα.

Η ευσταθής περιοχή λειτουργίας περιορίζεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα του εισερχόμενου ρεύματος αέρα (Σχήμα 2.69β). Αν αυτή υπερβεί ένα συγκεκριμένο όριο, η φλόγα θα σβήσει (flameout). Επίσης, στην περίπτωση που η θερμοκρασία του εισερχόμενου ρεύματος αέρα είναι μικρότερη από ένα όριο, θα επέλθει απώλεια της φλόγας (Σχήμα 2.69γ).



Σχήμα 2.69 Η ευσταθής περιοχή της διεργασίας καύσης

2.6.3.3 Κατανομή θερμοκρασίας

Η βέλτιστη απόδοση του κινητήρα επιτυγχάνεται όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων που παράγονται στο θάλαμο καύσης λαμβάνει τις μεγαλύτερες δυνατές τιμές. Βέβαια, ο περιορισμός της ανόδου της θερμοκρασίας λόγω της αντοχής των υλικών κατασκευής των πτερυγίων των στροβίλων είναι πάντα υπαρκτός. Παράλληλα, όμως, περιορίζεται και η αποδοτικότητα του κινητήρα. Οι προσπάθειες που καταβάλλονται για την επίτευξη καλύτερων κατανομών θερμοκρασιών των καυσαερίων έχουν να κάνουν με την καλύτερη ανάμειξη του καύσιμου μείγματος. Από την άλλη πλευρά, οι προσπάθειες αυτές μπορεί να επιφέρουν αύξηση των απωλειών πίεσης στο θάλαμο καύσης.

2.6.3.4 Ανάφλεξη

Οι αυξημένες τιμές πίεσης και θερμοκρασίας με, παράλληλα, χαμηλή τιμή της ταχύτητας του εισερχόμενου ρεύματος αέρα στο θάλαμο καύσης, ευνοούν την ανάφλεξη του καύσιμου μείγματος. Στην περίπτωση όπου το μείγμα είναι πολύ φτωχό ή πολύ πλούσιο, η ανάφλεξη επηρεάζεται σημαντικά.

2.6.3.5 Επικαθήσεις

Κατά τη λειτουργία με πλούσιο μείγμα αέρα - καυσίμου, υπάρχει αυξημένη πιθανότητα για την δημιουργία επικαθήσεων άνθρακα στην πρωτεύουσα ζώνη καύσης, λόγω ατελούς καύσης. Στην περίπτωση αυτή, θα εμφανιστεί καπνός στην εξαγωγή του κινητήρα. Η επίδραση, ωστόσο, στο βαθμό απόδοσης της καύσης είναι πολύ μικρή. Να σημειώσουμε ότι η αλλαγή στην αναλογία του μείγματος αέρα - καυσίμου μπορεί να επιφέρει επικαθήσεις άνθρακα σε διαφορετικό σημείο του φλογοθαλάμου.

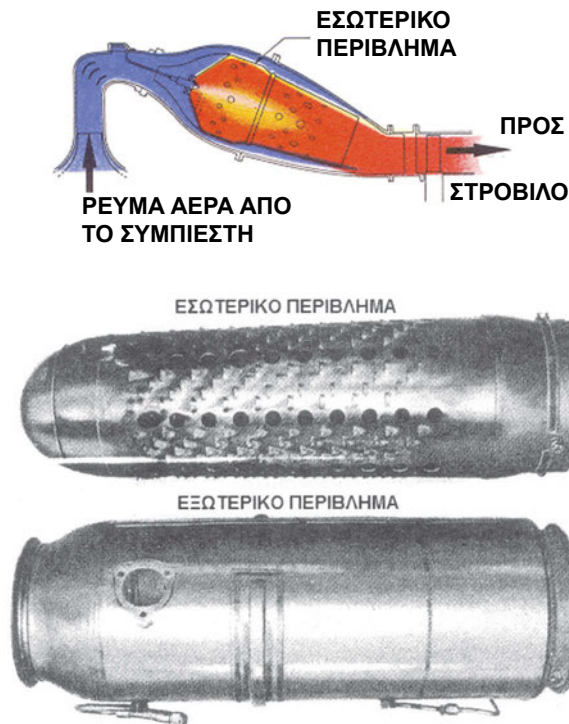
2.6.4 Τύποι θαλάμων καύσης

Η κατηγοριοποίηση των θαλάμων καύσης γίνεται σύμφωνα με τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά. Διακρίνουμε τρεις βασικούς τύπους:

- Τον πολλαπλό,
- Το δακτυλιοειδή, και το
- Σώληνο-δακτυλιοειδή.

2.6.4.1 Πολλαπλός θάλαμος καύσης (multiple combustion chamber)

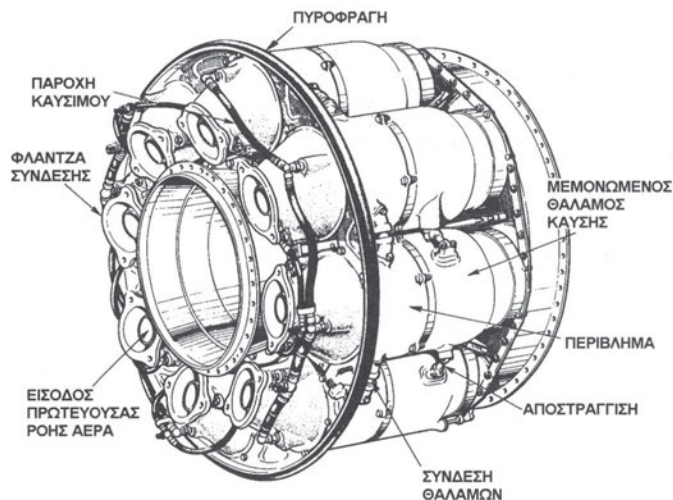
Ο τύπος θαλάμου καύσης αυτός χρησιμοποιήθηκε στους αρχικούς αεριωθούμενους κινητήρες. Ουσιαστικά, αποτελείται από ένα συγκεκριμένο αριθμό ξεχωριστών θαλάμων καύσης σωληνοειδούς τύπου¹ (can type combustion chamber), όπως αυτός που φαίνεται στο Σχήμα 2.70.



Σχήμα 2.70 Θάλαμος καύσης τύπου σωλήνα

Οι θάλαμοι αυτοί είναι τοποθετημένοι περιφερειακά ως προς τον άξονα του κινητήρα, σε παράλληλη διάταξη (Σχήμα 2.71). Η συνεργασία τους με φυγοκεντρικούς συμπιεστές είναι ιδανική. Κάθε ένας από τους θαλάμους καύσης συνδέεται με ξεχωριστό αγωγό που του παρέχει ροή συμπιεσμένου αέρα, μετά τη διέλευσή του από το διαχύτη.

¹ Ο μεμονωμένος σωληνοειδής θάλαμος καύσης χρησιμοποιείται, συνήθως, σε APU.



Σχήμα 2.71 Θάλαμος καύσης πολλαπλού τύπου

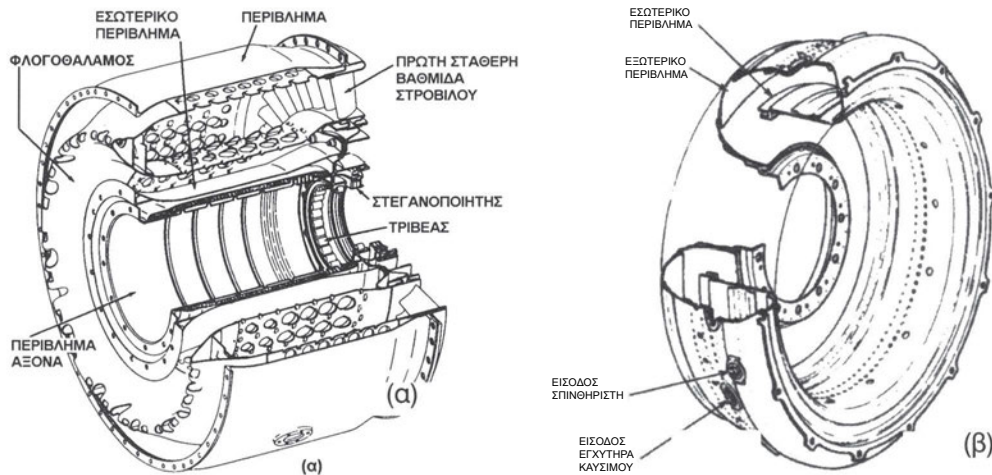
Οι θάλαμοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με **ειδικούς αγωγούς διάδοσης της φλόγας (flame tubes)**. Η αρχική ανάφλεξη πραγματοποιείται σε δύο μόνο θαλάμους, οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με ένα σπινθηριστή ο καθένας. Η φλόγα μεταφέρεται στους υπόλοιπους θαλάμους μέσω των αγωγών διάδοσης και πραγματοποιείται ανάφλεξη του μείγματος αέρα - καυσίμου σε κάθε έναν από αυτούς. Οι αγωγοί διάδοσης επιτυγχάνουν, επίσης, εξισορρόπηση της πίεσης μέσα στους θαλάμους καύσης και με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η άνιση θερμική καταπόνηση των πτερυγίων του στροβίλου. Ένας τυπικός πολλαπλός θάλαμος καύσης αποτελείται από 8 ή 10 ξεχωριστούς θαλάμους.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του πολλαπλού θαλάμου καύσης είναι ότι οι μεγάλες καμπυλότητες που φέρει, εξασφαλίζουν μεγάλη αντοχή σε **στρέβλωση (warping)** λόγω θερμοκρασιών. Επίσης, η δυνατότητα της αποσυναρμολόγησης κάθε μεμονωμένου θαλάμου ξεχωριστά παρέχει μεγάλη ευελιξία όσον αφορά το πρόγραμμα συντήρησης και επισκευής του κινητήρα. Από την άλλη πλευρά, το σχήμα του πολλαπλού θαλάμου καύσης (μικρή διάμετρος - μεγάλο μήκος) δεν είναι εργονομικό καθώς δεν εκμεταλλεύεται ικανοποιητικά το διαθέσιμο χώρο που υπάρχει στον κινητήρα ενώ, παράλληλα, προσθέτει βάρος σε αυτόν.

2.6.4.2 Δακτυλιοειδής θάλαμος καύσης (annular combustion chamber)

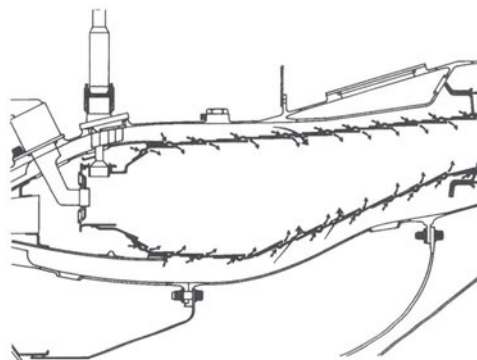
Στη σημερινή εποχή ο **δακτυλιοειδής θάλαμος καύσης** χρησιμοποιείται σε πληθώρα αεροσκαφών, μικρών και μεγάλων. Αυτό συμβαίνει διότι αποτελεί τον περισσότερο αποδοτικό θάλαμο καύσης όσον αφορά τη θερμική απόδοση, το βάρος και το μέγεθος.

Ο δακτυλιοειδής θάλαμος καύσης αποτελείται από ένα δακτυλιοειδή φλογοθάλαμο που σχηματίζεται από ένα **εξωτερικό (outer liner)** και ένα **εσωτερικό κυλινδρικό περίβλημα ή δακτύλιο (inner liner)**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.72α. Ο θάλαμος είναι ανοικτός στο μπροστινό και το οπίσθιο τμήμα του προς το διαχύτη και το στρόβιλο, αντίστοιχα.



Σχήμα 2.72 (α) Δακτυλιοειδής θάλαμος καύσης, (β) δακτυλιοειδής θάλαμος καύσης αντίστροφης ροής

Η πρωτεύουσα και η δευτερεύουσα ροή αέρα πραγματοποιούνται σχεδόν με όμοιο τρόπο με αυτόν που εξετάσαμε στην παράγραφο 1.6.1, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.73. Στο Σχήμα 2.72β φαίνεται ο δακτυλιοειδής θάλαμος κάυσης **αντίστροφης ροής (reverse flow annular combustion chamber)**.

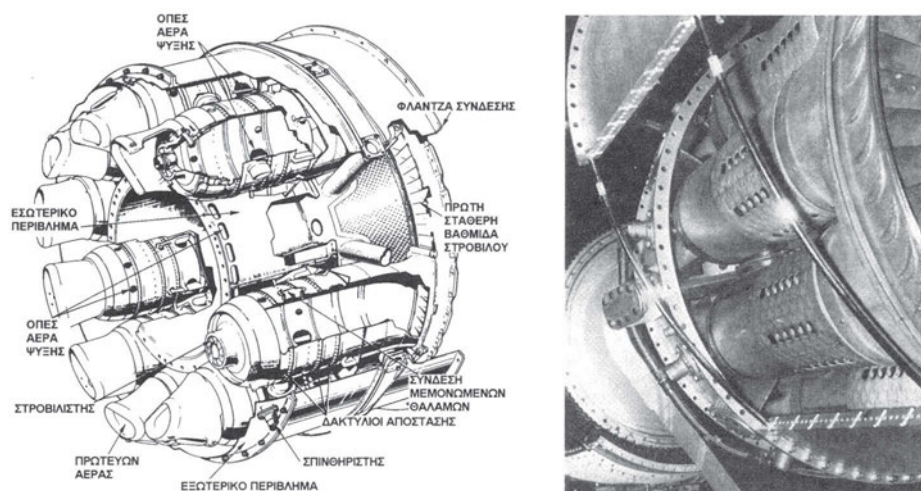


Σχήμα 2.73 Ροή αέρα στο δακτυλιοειδή θάλαμο καύσης.

Το κυριότερο πλεονέκτημα του δακτυλιοειδούς θαλάμου καύσης είναι ότι εκμεταλλεύεται πολύ αποδοτικά το χώρο στον οποίο τοποθετείται και επιτυγχάνει την καλή ανάμιξη του καύσιμου μείγματος. Το μήκος και η διάμετρος του δακτυλιοειδούς θαλάμου είναι αρκετά μικρότερα από αυτά των άλλων τύπων θαλάμων καύσης για την ίδια παραγόμενη ισχύ. Η απουσία αγωγών διάδοσης της φλόγας εξασφαλίζει καλή απόδοση καύσης. Επίσης, επιτυγχάνεται ένας βέλτιστος λόγος εσωτερικής επιφάνειας φλογοθαλάμου προς τον συνολικό όγκο οπότε εξασφαλίζεται μέγιστη ψύξη κατά τη διάρκεια της καύσης. Ένα ακόμη πλεονέκτημα θεωρείται η απλή κατασκευή του.

Ως μειονέκτημα του δακτυλιοειδούς θαλάμου καύσης θεωρείται η ανάγκη αποσυναρμολόγησης πολλών τμημάτων του κινητήρα στην περίπτωση επισκευής ή επιθεώρησης. Λόγω της γεωμετρίας του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβλήματος του φλογοθαλάμου, αυτά είναι αρκετά ευάλωτα σε στρέβλωση και θερμική καταπόνηση.

2.6.4.3 Σώληνο-δακτυλιοειδής θάλαμος καύσης (can-annular combustion chamber)

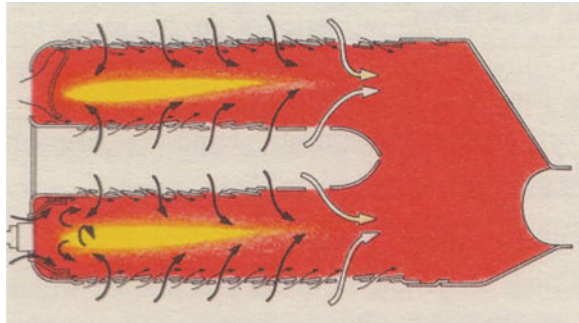


Σχήμα 2.74 Σωληνο-δακτυλιοειδής θάλαμος καύσης

Ο τύπος αυτός θαλάμου καύσης αποτελεί ένα συνδυασμό μεταξύ του πολλαπλού και του δακτυλιοειδούς θαλάμου καύσης. Χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον στους αεριοστροβίλους που αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1960. Αποτελείται από έναν αριθμό φλογοθαλάμων τοποθετημένων περιφερειακά του οριζόντιου άξονα σε κοινό δακτυλιοειδές πλαίσιο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.74 .

Η παροχή της πρωτεύουσας ροής αέρα πραγματοποιείται από ξεχωριστούς αεραγωγούς για τον κάθε φλογοθάλαμο ενώ η δευτερεύουσα ροή αέρα πραγ-

ματοποιείται στο δακτυλιοειδή χώρο που σχηματίζεται μεταξύ των φλογοθαλάμων και του εξωτερικού περιβλήματος (Σχήμα 2.75). Και εδώ χρησιμοποιούνται αγωγοί μετάδοσης της φλόγας.



Σχήμα 2.75 Οι ροές αέρα στο σώληνο-δακτυλιοειδή θάλαμο καύσης

Η σχεδίαση του σώληνο-δακτυλιοειδούς θαλάμου καύσης επιτυγχάνει να συνδυάσει την ευκολία στην επιθεώρηση και επισκευή που παρουσιάζει ο πολλαπλός θάλαμος καύσης με την καλή εργονομία που επιτυγχάνει ο δακτυλιοειδής θάλαμος καύσης.

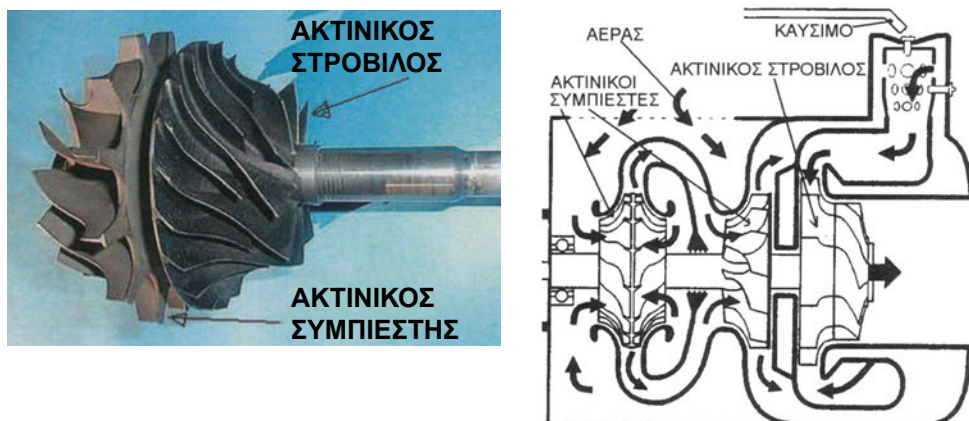
2.7 ΣΤΡΟΒΙΛΟΣ

Ο πρωταρχικός σκοπός του στροβίλου (turbine) σε έναν αεριωθούμενο κινητήρα είναι να παρέχει την απαιτούμενη ισχύ για την περιστροφή του συμπιεστή. Συμπληρωματικά, ο στρόβιλος εξασφαλίζει την κίνηση των **παρελκομένων (accessories)**. Στον ελικοστρόβιλο και τον αξονοστρόβιλο κινητήρα, ο στρόβιλος δίνει κίνηση και στον έλικα. Η ισχύς που παρέχει ο στρόβιλος κατά τη λειτουργία του μπορεί να πάρει τιμές της τάξης των 50000hp. Η ισχύς αυτή λαμβάνεται από την ενέργεια των εξερχόμενων, από το θάλαμο καύσης, καυσαερίων¹. Ένα και μόνο πτερύγιο του στροβίλου μπορεί να παράγει ισχύ έως και 250hp! Και ας μην ξεχνάμε ότι η μετατροπή της θερμικής ενέργειας των καυσαερίων σε μηχανική ισχύ πραγματοποιείται μέσα στον περιορισμένο χώρο που κατέχει ο στρόβιλος ενός αεριοστροβίλου κινητήρα. Επίσης, αξιοσημείωτες είναι οι θερμοκρασίες λειτουργίας στην είσοδο του στροβίλου, οι οποίες μπορούν να φτάσουν και τους 1650°C! Βέβαια, η ανάπτυξη νέων υλικών κατασκευής των στροβίλων, καθώς και βελτιωμένων μεθόδων ψύξης τους, επιτρέπουν τη λειτουργία υπό αυτές τις συνθήκες και την παροχή ολοένα και μεγαλύτερων τιμών ισχύος.

¹ Υπολογίζεται ότι σχεδόν τα τρία τέταρτα της ενέργειάς τους απαιτούνται για την κίνηση του συμπιεστή σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα.

2.7.1 Περιγραφή και λειτουργία του στροβίλου

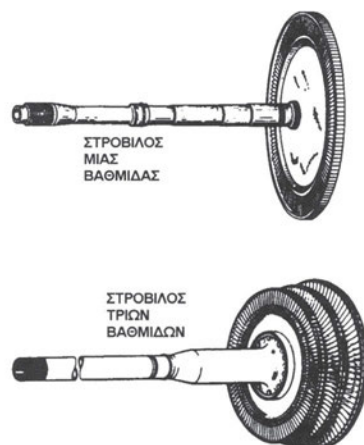
Ας θυμηθούμε τη λειτουργία του συμπιεστή. Αυτός προσθέτει ενέργεια στο εισερχόμενο ρεύμα αέρα μετατρέποντας τη μηχανική του ενέργεια σε δυναμική του ρεύματος αέρα. Αντίθετα, ο στρόβιλος απορροφά ενέργεια από το ρεύμα των θερμών καυσαερίων, κατά την έξοδό τους από το θάλαμο καύσης, και τη μετατρέπει σε μηχανική ενέργεια για την παραγωγή ισχύος ή ροπής.



Σχήμα 2.76 Χρήση ακτινικού στροβίλου σε APU (GTCP85)

Σε αντίθεση με τη λειτουργία των συμπιεστών, όπου τα στροφεία φυγοκεντρικού τύπου βρίσκουν αρκετές εφαρμογές, οι **ακτινικοί στρόβιλοι (radial inflow turbines)** χρησιμοποιούνται σε ελάχιστες περιπτώσεις καθώς δεν είναι αποδοτικοί όσο οι αξονικοί. Ωστόσο, συγκεντρώνουν πλεονεκτήματα όπως η στιβαρή κατασκευή και το σχετικά μικρό κόστος τους. Οι ακτινικοί στρόβιλοι έχουν τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 2.76.

Στους αεριοστρόβιλους κινητήρες χρησιμοποιείται αποκλειστικά ο στρόβιλος αξονικού τύπου καθώς έχει την ικανότητα να διαχειριστεί μεγάλη παροχή καυσαερίων και σε υψηλό αριθμό στροφών. Όπως ο συμπιεστής, και ο στρόβιλος απαντάται σε μονοβάθμιο και πολυβάθμιο (Σχήμα 2.77).



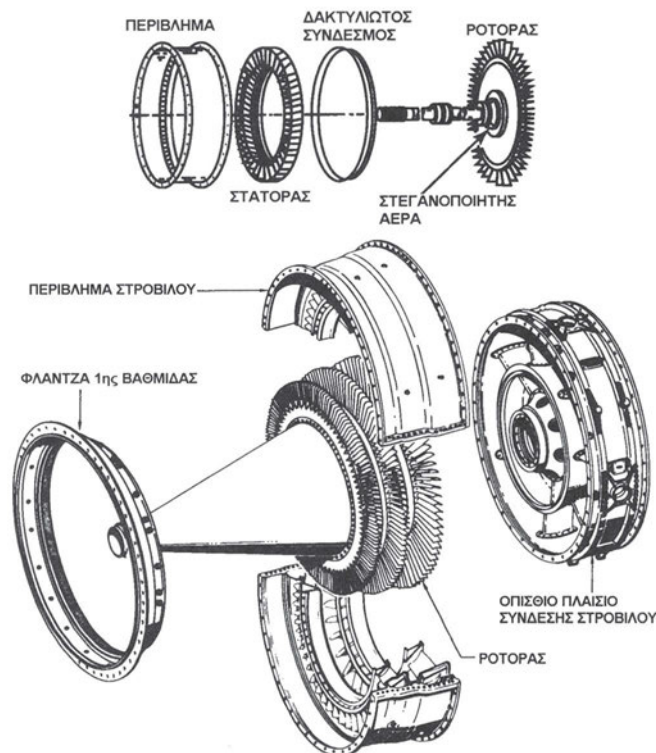
Σχήμα 2.77 Μονοβάθμιος και τριβάθμιος στρόβιλος αξονικού τύπου

Η βαθμίδα του στροβίλου αποτελείται από:

- Μία σειρά σταθερών πτερυγίων (vanes), γνωστά και ως στάτορας ή στάτης (stator), τα οποία ακολουθούνται από
- Μία σειρά κινητών πτερυγίων (blades), γνωστά και ως ρότορας (rotor) ή στροφέιο¹.

Γενικά, ο στρόβιλος αποτελείται από (Σχήμα 2.78):

- **το περίβλημα (casing)**, το οποίο περιβάλλει το στάτορα και το ρότορα. Συνήθως, φέρει φλάντζες στα δύο του άκρα για τη σύνδεση του τμήματος του στροβίλου με τα τμήματα του θαλάμου καύσης και του ακροφυσίου εξαγωγής.
- **το στάτορα,**
- **το δακτύλιο (shroud)**, που τοποθετείται στην εσωτερική και εξωτερική περιφέρεια των σταθερών πτερυγίων του στάτορα.
- **το ρότορα.**



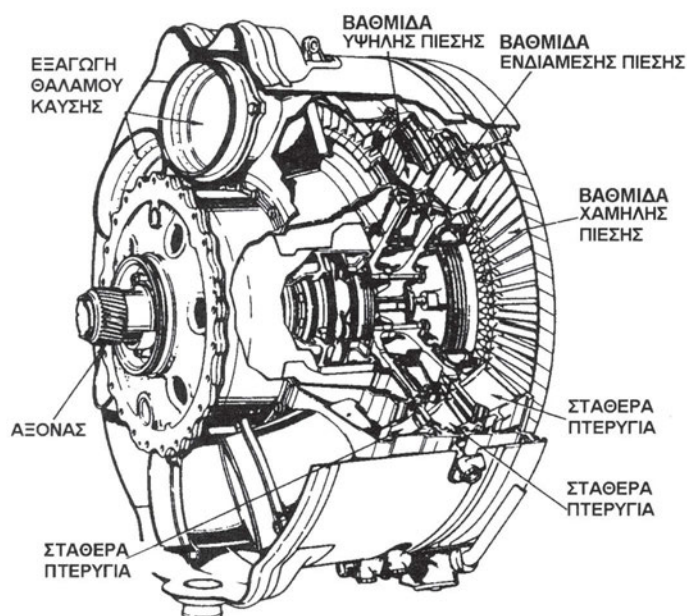
Σχήμα 2.78 Τα μέρη του στροβίλου

¹ Στο συμπιεστή η ακολουθία είναι αντίθετη, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 2-4.

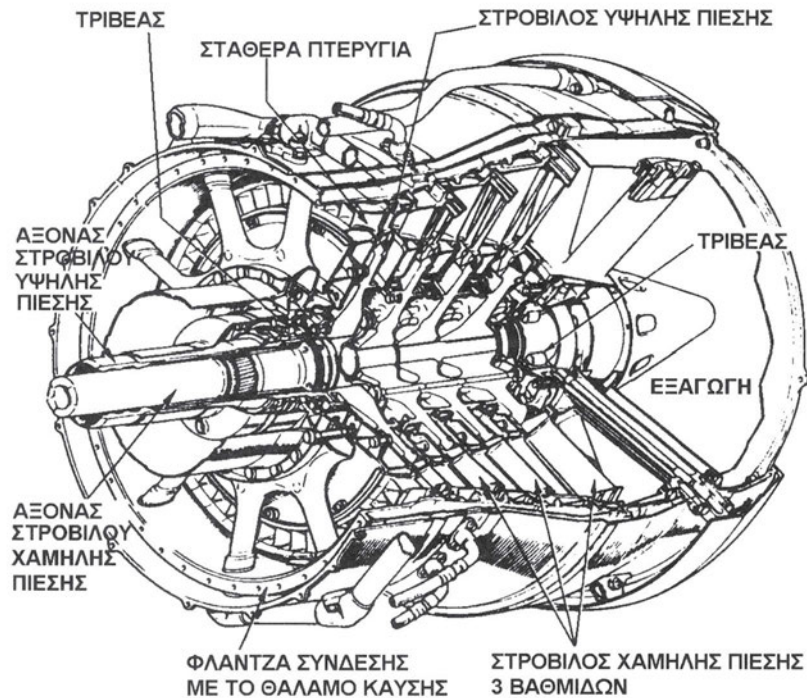
Ο αριθμός των βαθμιδών και των στροβίλων που τοποθετούνται στο στρόβιλο εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Τον αριθμό των αξόνων που θα χρησιμοποιηθούν για τη σύνδεση του συμπιεστή με το στρόβιλο,
- Το ποσό της ενέργειας που θα εξαχθεί από τα καυσαέρια και την απαιτούμενη ισχύ,
- Τον αριθμό των στροφών λειτουργίας (rpm),
- Τη μέγιστη διάμετρο την οποία μπορεί να λάβει το στροφέιο του στροβίλου, και
- Τις θερμοκρασίες και πιέσεις στην είσοδο και την έξοδο του στροβίλου.

Οι αεριοστρόβιλοι που λειτουργούν με υψηλούς λόγους συμπίεσης χρειάζονται πολυβάθμιους στροβίλους. Επίσης, ο αριθμός των αξόνων που χρησιμοποιούνται θα καθορίσει και τον αριθμό των βαθμιδών που θα χρησιμοποιηθούν στο ή στους στροβίλους. Η διάμετρος των πολυβάθμιων στροβίλων αυξάνεται κατά την κατεύθυνση της ροής των καυσαερίων καθώς μειώνεται η ταχύτητα και η πίεση των τελευταίων. Στο Σχήμα 2.79 φαίνεται στρόβιλος μονού άξονα με τρεις βαθμίδες.



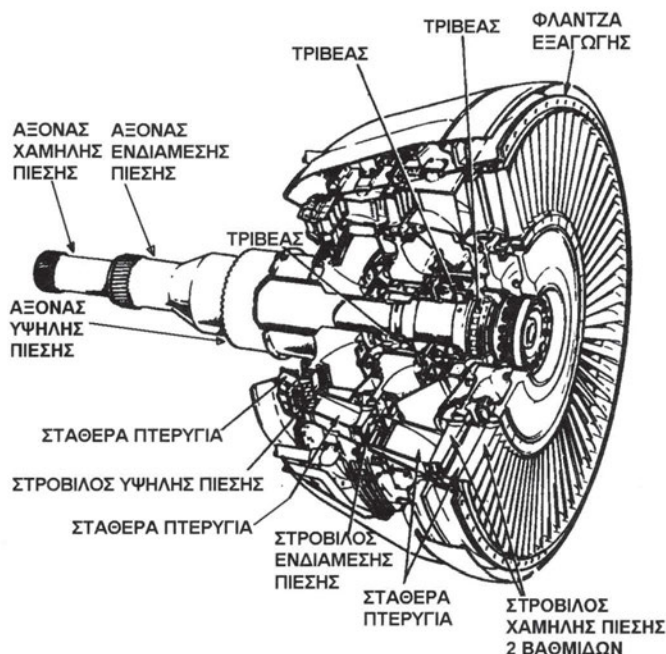
Σχήμα 2.79 Στρόβιλος μονού άξονα



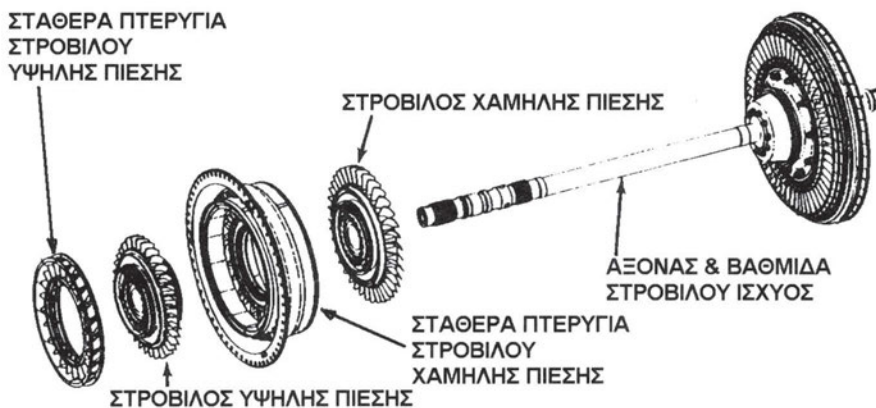
Σχήμα 2.80 Στρόβιλος διπλού άξονα

Στην περίπτωση λειτουργίας του αεριοστρόβιλου με δύο συμπιεστές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.80, χρησιμοποιούνται δύο στροφεία στροβίλων. Ο στρόβιλος υψηλής πίεσης κινεί το συμπιεστή υψηλής πίεσης. Συνήθως είναι μονοβάθμιος αφού είναι ο πρώτος που λαμβάνει τα καυσαέρια από το θάλαμο καύσης τα οποία περιέχουν πολύ μεγάλη ενέργεια. Ο στρόβιλος χαμηλής πίεσης κινεί το συμπιεστή χαμηλής πίεσης. Αυτός δέχεται τα καυσαέρια μετά την εκτόνωσή τους στο στρόβιλο υψηλής πίεσης, οπότε απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός πτερυγίων για την επίτευξη ισχύος. Έτσι, στο στρόβιλο αυτό χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία βαθμίδες - δύο ή τρεις ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα. Βέβαια, ο στρόβιλος χαμηλής πίεσης περιστρέφεται με χαμηλότερη ταχύτητα από αυτήν του στροβίλου υψηλής πίεσης.

Σε ορισμένους στροβιλοανεμιστήρες μεγάλου βαθμού παράκαμψης χρησιμοποιούνται τρεις άξονες λόγω της ύπαρξης του συμπιεστή ενδιάμεσης πίεσης. Στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.81, ο στρόβιλος υψηλής πίεσης είναι μονοβάθμιος, όπως και προηγουμένως, ενώ οι στρόβιλοι ενδιάμεσης και χαμηλής πίεσης έχουν δύο ή περισσότερες βαθμίδες, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα.



Σχήμα 2.81 Στρόβιλος στροβιλοανεμιστήρα



Σχήμα 2.82 Στρόβιλος ισχύος σε ελικοστρόβιλο κινητήρα

Τέλος, στην περίπτωση ενός ελικοστρόβιλου κινητήρα, η ισχύς για την περιστροφή του έλικα παρέχεται συνήθως από ένα ξεχωριστό στρόβιλο (power turbine), ενώ οι συμπιεστές λαμβάνουν κίνηση από ανάλογο με το πλήθος τους αριθμό στρόβιλων, (Σχήμα 2.21 (α) και (β), Σχήμα 2.82).

2.7.1.1 Ο στάτορας ή στάτης

Τα σταθερά πτερύγια έχουν το σχήμα της αεροτομής, με το χείλος προσβολής τους να βρίσκεται προς την πλευρά του θαλάμου καύσης και να δέχεται πρώτο τα καυσαέρια που εξέρχονται από αυτόν. Η δίοδος που σχηματίζεται μεταξύ δύο διαδοχικών σταθερών πτερυγίων παρουσιάζει

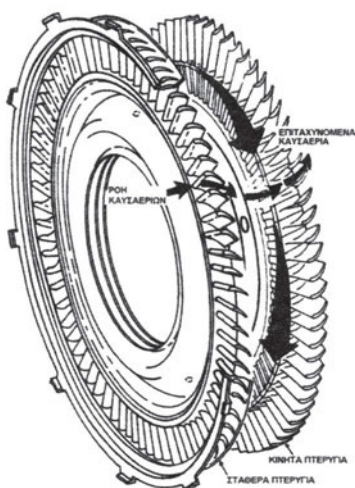
στένωση προς την πλευρά του χείλους εκφυγής τους, προσομοιάζοντας το σχήμα ενός ακροφυσίου (αγωγού που συγκλίνει, nozzle). Έτσι, η ταχύτητα των καυσαερίων αυξάνεται, ώστε να έχει αρκετά μεγάλη τιμή όταν φτάσει στα κινητά πτερύγια. Για το λόγο αυτόν, τα σταθερά πτερύγια στη διεθνή ορολογία είναι γνωστά και με τον όρο **nozzle guide vanes** ενώ το σύνολο του στάτορα ονομάζεται και **turbine nozzle**. Επίσης, ένας άλλος στόχος της λειτουργίας των σταθερών πτερυγίων είναι να δώσουν στα καυσαέρια την κατάλληλη κατεύθυνση, ώστε οι περιφερειακές δυνάμεις που θα δημιουργηθούν στα κινητά πτερύγια, και θα αποδώσουν την ισχύ στον άξονα του στροβίλου, να είναι οι μέγιστες. Η γωνία στην οποία τοποθετούνται στο στάτορα είναι στην ίδια κατεύθυνση με την περιστροφή του ρότορα. Αν αγνοήσουμε τις όποιες τριβές, μπορούμε να δεχτούμε ότι η ολική ενέργεια των καυσαερίων παραμένει σταθερή. Μέρος της δυναμικής ενέργειάς τους μετατρέπεται σε κινητική - η πίεση μειώνεται με παράλληλη αύξηση της ταχύτητας.

Ένας σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό των σταθερών πτερυγίων είναι η γεωμετρία στην περιοχή εισαγωγής τους (η οποία σημειώνεται ως X στο Σχήμα 2.83). Αν η επιφάνειά της είναι πολύ μικρή, θα δημιουργηθεί στραγγαλισμός της ροής στα πτερύγια που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση **αυξημένης πίεσης** στην έξοδο του συμπιεστή (**back pressure**). Στην περίπτωση που η επιφάνεια της εισαγωγής είναι αρκετά μεγάλη, τότε η λειτουργία του στροβίλου δεν παρουσιάζει τη βέλτιστη απόδοση σχεδιασμού της. Η τελική μορφή της επιφάνειας εισόδου προέρχεται συμβιβάζοντας τις παραπάνω συμπεριφορές κατά το σχεδιασμό.

2.7.1.2 Ο ρότορας ή στροφείο

Μία εύλογη ερώτηση που μπορεί να κάνει κάποιος στο σημείο αυτό της περιγραφής του στροβίλου είναι για ποιο λόγο τα καυσαέρια εκτονώνονται κατά την διόδό τους από το στρόβιλο ενώ το εισερχόμενο, στο συμπιεστή, ρεύμα αέρα συμπιέζεται. Η απάντηση βρίσκεται στο σχεδιασμό των κινητών πτερυγίων του στροβίλου και του συμπιεστή. Όπως είδαμε στην ανάλυση της λειτουργίας του συμπιεστή, η διατομή της περιοχής μεταξύ δύο διαδοχικών κινητών πτερυγίων του συμπιεστή αυξάνεται προς το χείλος εκφυγής τους. Λειτουργεί, δηλαδή, ως διαχύτης. Με τον τρόπο αυτόν, μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του εισερχόμενου ρεύματος αέρα σε πίεση.

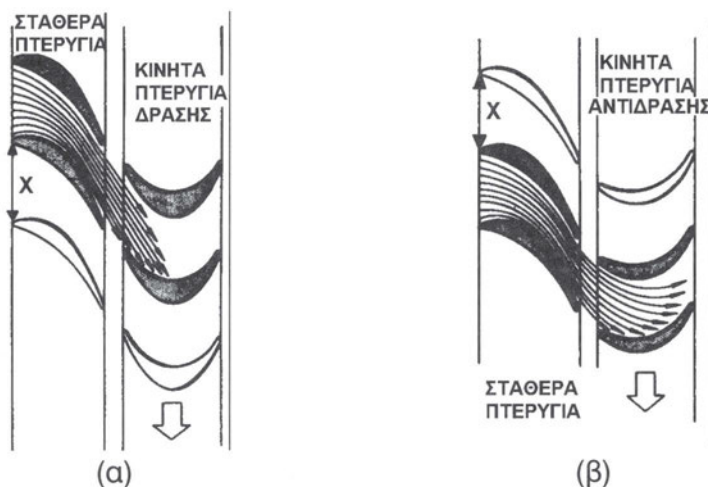
Το αντίθετο φαινόμενο πραγματοποιείται στο ρότορα του στροβίλου. Η διατομή της περιοχής μεταξύ δύο διαδοχικών κινητών πτερυγίων του στροβίλου μειώνεται προς το χείλος εκφυγής τους. Έτσι, η ροή των καυσαερίων επιταχύνεται, με παράλληλη μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας τους, και οι συνθήκες γίνονται κατάλληλες για την παραγωγή έργου (Σχήμα 2.84).



Σχήμα 2.83 Ροή καυσαερίων διαμέσου των βαθμιδών του στροβίλου

Μία βαθμίδα στροβίλου κατηγοριοποιείται ανάλογα με το ποσό της ενέργειας που μετατρέπεται στα σταθερά και τα κινητά πτερύγια. Διακρίνουμε:

- Το **στρόβιλο δράσης** ή **σταθερής πίεσης (impulse turbine)**,
- Το **στρόβιλο αντίδρασης (reaction turbine)**, και
- Το **συνδυασμό τους (impulse - reaction turbine)**.



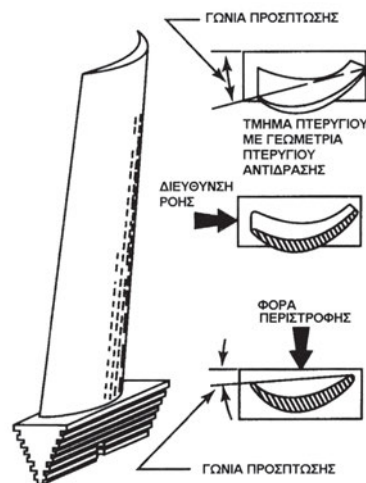
Σχήμα 2.84 Κινητά πτερύγια τύπου (α) δράσης και (β) αντίδρασης

Στην πρώτη κατηγορία βαθμίδας, τα σταθερά πτερύγια μετατρέπουν τη δυναμική ενέργεια των καυσαερίων σε κινητική. Στη συνέχεια, τα καυσαέρια συναντούν τα κινητά πτερύγια με μεγάλη ταχύτητα. Η περιστροφή του στροφέιου του ρότορα επιτυγχάνεται από την ορμή που αποκτούν τα κινητά πτερύγια, τα οποία προκαλούν την αλλαγή της διεύθυνσης της ροής των καυσαερίων κρατώντας την πίεσή τους σχεδόν σταθερή, Σχήμα 2.84α. Η σταθερή πίεση εξασφαλίζεται διότι η διατομή εισόδου και εξόδου μεταξύ δύο διαδοχικών κινητών πτερυγίων, σε αυτήν την περίπτωση, **διατηρείται σταθερή**.

Στο στρόβιλο αντίδρασης η εκτόνωση των καυσαερίων πραγματοποιείται τόσο στα σταθερά όσο και στα κινητά πτερύγια. Κατά τη δίοδο των καυσαερίων από τα σταθερά πτερύγια της βαθμίδας, συμβαίνουν τα ίδια φαινόμενα όπως και στο στρόβιλο δράσης, σε μικρότερη ένταση όμως (Σχήμα 2.84β). Κατά τη δίοδο των καυσαερίων από τα κινητά πτερύγια παρατηρείται **περαιτέρω επιτάχυνση και πτώση της πίεσής τους**, τους λόγω της γεωμετρίας της διατομής μεταξύ των διαδοχικών κινητών πτερυγίων.

Το πλεονέκτημα της χρήσης στροβίλων αντίδρασης είναι ότι επιτυγχάνουν **καλύτερη απόδοση** στη λειτουργία του στροβίλου. Από την άλλη πλευρά, οι στρόβιλοι σταθερής πίεσης εξασφαλίζουν **μεγαλύτερη ισχύ** η οποία επιφέρει τη μείωση του αριθμού των χρησιμοποιούμενων βαθμίδων.

Μία συνήθης πρακτική, επιβεβλημένη πλέον στους σύγχρονους αεροστροβίλους, είναι η χρήση κινητών πτερυγίων η κατασκευή των οποίων συνδυάζει τα στοιχεία τόσο των στροβίλων δράσης όσο και των στροβίλων αντίδρασης. Πιο συγκεκριμένα, η ρίζα των πτερυγίων έχει τη μορφή του πτερυγίου του στροβίλου δράσης ενώ το ακροπτερύγιο ακολουθεί την κατασκευή του στροβίλου αντίδρασης (Σχήμα 2.85). Παρουσιάζουν, δηλαδή, μία συστροφή από τη βάση προς το ακροπτερύγιο. Με τον τρόπο αυτόν, εξασφαλίζεται η ίση απόδοση έργου από τα καυσαέρια καθώς και η ομοιόμορφη κατανομή ταχύτητας και πίεσης κατά το μήκος των κινητών πτερυγίων του ρότορα.



Σχήμα 2.85 Κινητό πτερύγιο η γεωμετρία του οποίου συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των πτερυγίων δράσης και αντίδρασης

Στο Σχήμα 2.86 φαίνονται οι κατανομές της ταχύτητας και της πίεσης στο μήκος της βαθμίδας, τα κινητά πτερύγια της οποίας έχουν τη συνδυασμένη γεωμετρία του στροβίλου δράσης και του στροβίλου αντίδρασης.



Σχήμα 2.86 Κατανομές των μεγεθών στις βαθμίδες στροβίλου συνδυασμένης γεωμετρίας

2.7.1.3 Απώλειες

Ο στρόβιλος είναι σχεδιασμένος με τρόπο τέτοιο ώστε στην έξοδό του να επιτυγχάνεται ροή των καυσαερίων στην αξονική διεύθυνση, και μόνο. Όμως, πάντα παρουσιάζονται στροβιλισμοί, οι οποίοι δε συμβάλλουν στην παραγωγή ώσης και θεωρούνται ως απώλειες. Μία μέθοδος εξάλειψής τους είναι η τοποθέτηση στην έξοδο του στροβίλου μίας σειράς σταθερών πτερυγίων, ενώ συμβάλλει και η χρήση κινητών πτερυγίων με γεωμετρικά χαρακτηριστικά συνδυασμένου τύπου.

Άλλες μορφές απωλειών είναι οι αεροδυναμικές απώλειες κατά τη δίοδο των καυσαερίων από το στάτορα και ρότορα του στροβίλου, η διαρροή αέρα από τα ακροπτερύγια των κινητών πτερυγίων καθώς και από το τμήμα της εξαγωγής¹.

2.7.2 Κατασκευή των εξαρτημάτων του στροβίλου

Ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάζονται και συναρμολογούνται μεταξύ τους τα μέρη που αποτελούν το στρόβιλο έχει ιδιαίτερη βαρύτητα στη λειτουργία και την απόδοση του κινητήρα. Ο λόγος έγκειται στο γεγονός ότι τα μέρη αυτά εκτίθενται στις υψηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων (της τάξης των 1300°C), αμέσως μετά την έξοδο των τελευταίων από το θάλαμο καύσης.

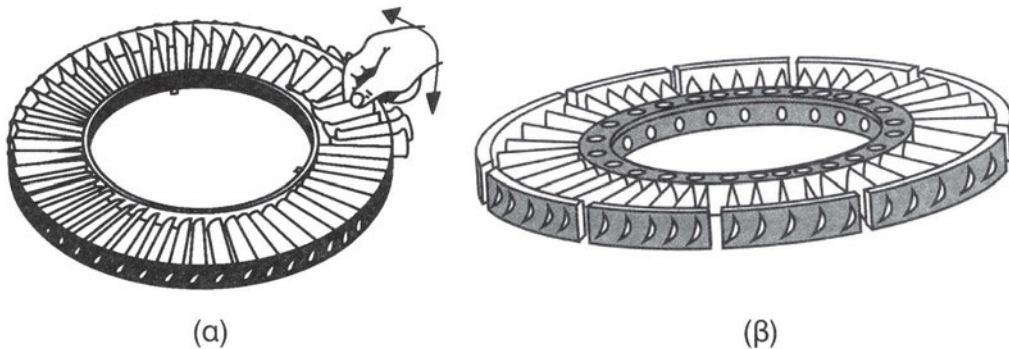
2.7.2.1 Σταθερά πτερύγια

Τα σταθερά πτερύγια στηρίζονται στο περίβλημα του στροβίλου και περιβάλλονται περιφερειακά από έναν εσωτερικό (inner shroud) και έναν εξωτερικό δακτύλιο (outer shroud). Η σύνδεσή τους πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει τη διαστολή που θα επέλθει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα, λόγω υψηλών θερμοκρασιών. Στην αντίθετη περίπτωση, οι ταχύτατες θερμοκρασιακές μεταβολές που παρατηρούνται θα προκαλέσουν σοβαρά **θερμικά σοκ**, **ερπυσμό (creep)**, μόνιμη παραμόρφωση του πτερυγίου κατά το μήκος του), στρέβλωση ή και αστοχία λόγω **θερμικής κόπωσης (thermal fatigue)** των σταθερών πτερυγίων.

¹ Η συνολική απόδοση του στροβίλου παίρνει τιμές της τάξης του 90%

Ένας τρόπος για να αντιμετωπιστούν οι θερμικές διαστολές είναι η τοποθέτηση των σταθερών πτερυγίων με κάποια ανοχή στους δακτύλιους στήριξής τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.87α. Για να εξασφαλιστεί η αντοχή και η στιβαρότητα των δακτυλίων, αυτοί ενισχύονται με επιπρόσθετους δακτυλίους.

Ένας άλλος τρόπος αντιμετώπισης των θερμικών διαστολών είναι η τοποθέτηση των σταθερών πτερυγίων με συγκόλληση ή πείρους στους δακτυλίους ανά τμήματα (segments). Όταν συμβεί η θερμική διαστολή, τα τμήματα διαστέλλονται και καλύπτουν τα κενά που υπάρχουν μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτόν αποφεύγεται η καταπόνηση και στρέβλωση των σταθερών πτερυγίων (Σχήμα 2.87β).



Σχήμα 2.87 (α) Ανοχή μεταξύ των σταθερών πτερυγίων, (β) κατασκευή των σταθερών πτερυγίων ανά τμήματα των τριών τεμαχίων.

Ιδιαίτερα για την πρώτη σειρά σταθερών πτερυγίων, η οποία έρχεται πρώτη σε επαφή με τα καυσαέρια, εφαρμόζεται η επικάλυψή τους με **στρώμα θερμικής προστασίας (thermal coating)**. Το στρώμα αυτό έχει πάχος λίγα εκατοστά του χιλιοστού και ως υλικό χρησιμοποιούνται ανθεκτικά κράματα, όπως το κράμα νικελίου - αλουμινίου, σε μορφή πούδρας. Με τον τρόπο αυτόν αυξάνεται η αντοχή τους στις διαβρωτικές επιπτώσεις της επαφής τους με τα καυσαέρια.

Μια αποτελεσματική μέθοδος προστασίας από την υψηλή θερμοκρασία είναι και η ψύξη των πτερυγίων η οποία θα εξεταστεί σε ιδιαίτερη παράγραφο στη συνέχεια.

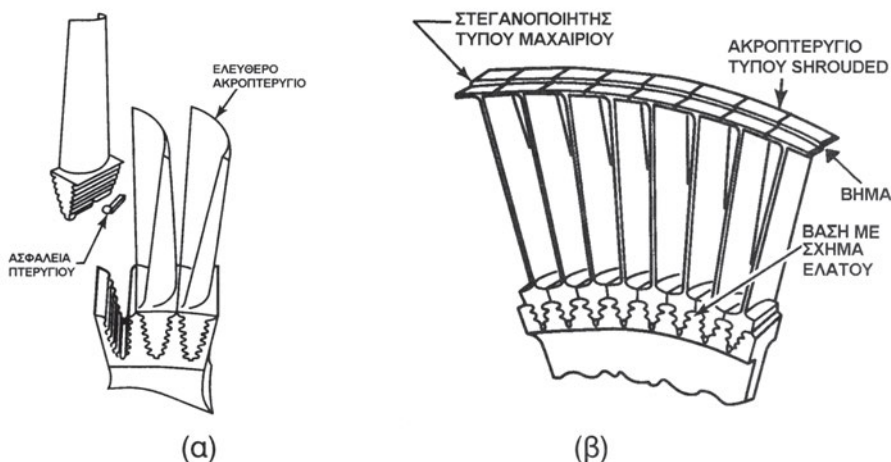
2.7.2.2 Κινητά πτερύγια

Τα κινητά πτερύγια είναι χυτά ή σφυρήλατα. Όπως τα σταθερά, έτσι και τα κινητά πτερύγια αντιμετωπίζουν τις ίδιες θερμικές καταπονήσεις. Επιπρόσθετες καταπονήσεις προέρχονται από τις φυγοκεντρικές δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την περιστροφή τους¹. Τα μέταλλα που έχουν καλή αντοχή στις θερμικές καταπονήσεις παρουσιάζουν, συνήθως, μεγάλη δυσκολία στη σφυρηλάτησή τους. Για το λόγο αυτό, για την κατασκευή πτερυγίων, πλέον,

¹ Ένα κινητό πτερύγιο βάρους 75 gr εξασκεί στο δίσκο του ρότορα, κατά το μέγιστο αριθμό στροφών λειτουργίας, μία δύναμη ίση με 2 τόνους.

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

χρησιμοποιούνται συνήθως χυτά κράματα νικελίου με χρώμιο, κοβάλτιο, αλουμίνιο, τιτάνιο και μολυβδένιο. Τα πτερύγια περνούν και από ειδική **θερμική κατεργασία (heat treatment)** μετά τη χύτευσή τους, ώστε να αποκτήσουν την επιθυμητή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασιακές και μηχανικές καταπονήσεις.



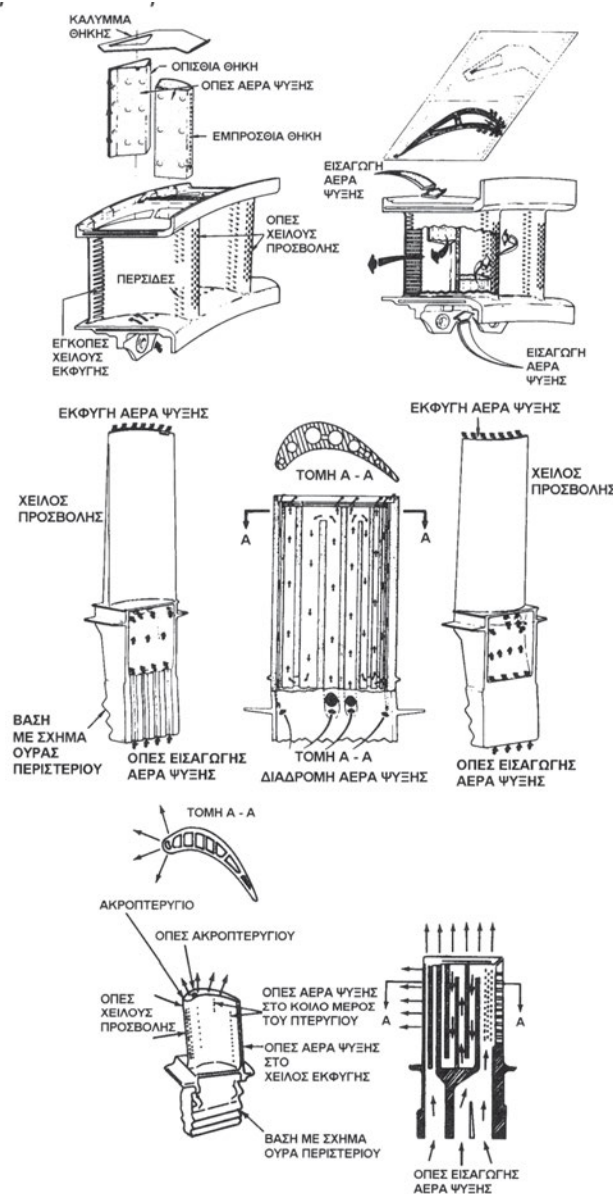
Σχήμα 2.88 (α) Δίσκος και κινητά πτερύγια ελεύθερου ακροπτερυγίου με βάση σχήματος ελάτου, (β) Κινητά πτερύγια με κάλυμμα στα ακροπτερυγιά τους (shrouded blades)

Ο τρόπος της συναρμογής των κινητών πτερυγίων στην επιφάνεια του δίσκου του ρότορα έχει μεγάλη σημασία για την καλή λειτουργία του στροφείου. Η ρίζα του πτερυγίου πρέπει να έχει ανοχή όταν τοποθετηθεί στο δίσκο του στροφείου. Η ανοχή αυτή επιτρέπεται ώστε να είναι εύκολη η τοποθέτηση και η αφαίρεσή τους καθώς και για την απορρόφηση των θερμικών διαστολών. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τα κενά των ανοχών καλύπτονται. Συνήθως, ο δίσκος φέρει στην περιφέρειά του υποδοχές σε σχήμα **ελάτου (fir tree)**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.88α. Ανάλογη διατομή έχει και η βάση του κινητού πτερυγίου. Η στήριξη επιτυγχάνεται με πείρους, ασφαλιστικούς κοχλίες ή παρεμβύσματα. Σε κάποιες εφαρμογές πραγματοποιούνται και συναρμογές όπου οι υποδοχές έχουν σχήμα **ουράς περιστεριού (dovetail, Σχήμα 2.89)**. Οι τρόποι συναρμογής αυτοί, προϋποθέτουν μεγάλη κατασκευαστική ακρίβεια, ώστε τα δύο μέρη να δεχτούν το ίδιο φορτίο.

Σε κάποιες περιπτώσεις, τα κινητά πτερύγια φέρουν **κάλυμμα** στα ακροπτερυγιά τους (**shrouded blades, Σχήμα 2.88β**). Ο λόγος είναι η προσπάθεια μείωσης της απώλειας αέρα από το σημείο εκείνο αλλά και η προσπάθεια μείωσης των ταλαντώσεων που παρατηρούνται από την περιστροφή του ρότορα. Η γεωμετρία του δακτυλίου φέρει ένα βήμα (**στεγανοποιητής τύπου μαχαιριού, knife edge seal**) στο πλάτος της, το οποίο εξασφαλίζει την καλή στεγανοποίηση. Οι δακτύλιοι αυτοί χρησιμοποιούνται σε στροβίλους που δεν έχουν ιδιαίτερα μεγάλες περιστροφικές ταχύτητες. Το βάρος που προσθέτουν οι δακτύλιοι στην όλη κατασκευή των πτερυγίων, κάνει τα τελευταία περισσότερο ευάλωτα στο φαινόμενο του ερπυσμού από τις φυγοκεντρικές δυνάμεις και τις θερμοκρασιακές καταπονήσεις.

2.7.3 Ψύξη των πτερυγίων

Η προστασία των σταθερών και των κινητών πτερυγίων του στροβίλου από τις υψηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων επιτυγχάνεται, σε μεγάλο βαθμό με την ψύξη τους με αέρα. Στο εσωτερικό των πτερυγίων προβλέπονται δίοδοι για την κυκλοφορία αέρα ο οποίος παρέχεται από το συμπιεστή του κινητήρα. Διάφορες γεωμετρίες και μεθοδολογίες εφαρμόζονται στα πτερύγια, αλλά και στο δίσκο του ρότορα, των αεριοστροβίλων κινητήρων για να επιτευχθεί η βέλτιστη παροχή ψύξης. Στο Σχήμα 2.89 παρουσιάζονται οι πλέον αντιπροσωπευτικές από αυτές.



Σχήμα 2.89 Διάφορες μέθοδοι ψύξης πτερυγίων στροβίλου

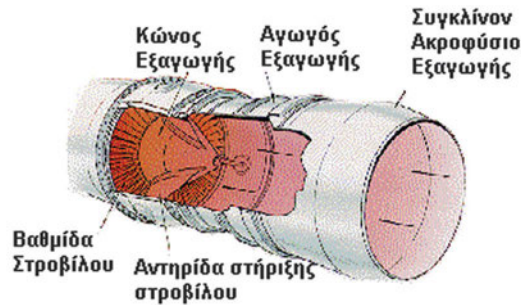
2.8 ΕΞΑΓΩΓΗ

Το σύστημα εξαγωγής στους αεροστρόβιλους οδηγεί τα καυσαέρια, μετά την τελευταία κινητή βαθμίδα του στροβίλου στην ατμόσφαιρα. Τα καυσαέρια, μετά το στρόβιλο βρίσκονται σε μία κατάσταση υψηλής, σχετικά, πίεσης (ως προς την ατμοσφαιρική) και χαμηλής ταχύτητας. Σε ένα στροβιλοαντιδραστήρα, είναι απαραίτητη, για την παραγωγή ώσης, η αύξηση της ταχύτητας των καυσαερίων, τα οποία εξωθούνται στην ατμόσφαιρα. Συνεπώς το σύστημα εξαγωγής σε έναν στροβιλοαντιδραστήρα, έχει ως στόχο τη μεγιστοποίηση της κινητικής ενέργειας των καυσαερίων στην έξοδο, με αντίστοιχη μείωση της πίεσης στα επίπεδα της ατμοσφαιρικής. Αντίθετα, σε έναν ελικοφόρο στροβιλοαντιδραστήρα, όπου δεν υπάρχει απαίτηση παραγωγής ώσης και για τον οποίο η κύρια παραγωγή έργου πραγματοποιείται μέσω της εκτόνωσης των καυσαερίων στις βαθμίδες του στροβίλου, η βασική λειτουργία του συστήματος εξαγωγής, είναι να οδηγήσει τα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα, με τη μικρότερη δυνατή ταχύτητα.

Ο σχεδιασμός της εξαγωγής καυσαερίων σε αεριοστροβίλους, έχει πολύ μεγάλη σημασία για τις επιδόσεις του κινητήρα. Το σχήμα και το μέγεθος της εξαγωγής, επηρεάζουν τόσο τη **θερμοκρασία εισαγωγής των καυσαερίων στο στρόβιλο (Turbine Inlet Temperature - TIT)**, την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα και φυσικά την πίεση και την ταχύτητα του ρεύματος καυσαερίων, που εξωθούνται στην ατμόσφαιρα. Ως εκ τούτου, η αναπτυσσόμενη ώση, καθορίζεται, σε ένα βαθμό, από τη διαμόρφωση της εξαγωγής.

Το σύστημα εξαγωγής σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα κατασκευάζεται από ειδικά κράματα χάλυβα, ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων. Για την αποφυγή της απαγωγής θερμότητας προς τα γειτονικά μέρη του αεροσκάφους προβλέπεται η ροή αέρα περιφερειακά του σωλήνα εξαγωγής ή η επένδυση των τμημάτων της εξαγωγής με ειδικό μονωτικό υλικό. Το σύστημα εξαγωγής εκτείνεται από το τέλος του τμήματος του ή των στροβίλων μέχρι την έξοδο των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα. Ένα τυπικό σύστημα εξαγωγής καυσαερίων περιλαμβάνει τρία βασικά συγκροτήματα (Σχήμα 2.90):

- τον κώνο εξαγωγής (exhaust cone),
- τον αγωγό εξαγωγής (exhaust duct ή jet pipe ή tailpipe),
- το ακροφύσιο εξαγωγής (exhaust nozzle).

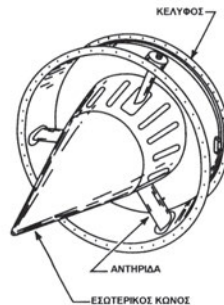


Σχήμα 2.90 Εξαγωγή στροβιλοαντιδραστήρα

Η χρήση αναστροφέα ώσης (για την ταχύτερη επιβράδυνση του αεροσκάφους στην προσγείωση), μειωτήρα θορύβου ή εξόδου μεταβλητής διατομής (για την αποτελεσματικότερη λειτουργία σε μεγαλύτερο εύρος συνθηκών λειτουργίας) μπορεί κάνει περίπλοκη την κατασκευή του συστήματος εξαγωγής.

2.8.1 Κώνος εξαγωγής

Το συγκρότημα του κώνου εξαγωγής αποτελείται από το **κέλυφος (outer duct)**, τον **εσωτερικό κώνο (inner cone)** και τις **αντηρίδες (struts)**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.91.



Σχήμα 2.91 Το συγκρότημα του κώνου εξαγωγής

Η βασική λειτουργία του κώνου εξαγωγής είναι η διαμόρφωση του ρεύματος καυσαερίων, τα οποία εξέρχονται από τον στρόβιλο. Ο κώνος εξαγωγής προστατεύει επίσης τα τελευταία τμήματα του άξονα του στροβίλου, από τις υψηλές, σχετικά, θερμοκρασίες των καυσαερίων. Η κωνική διαμόρφωση δημιουργεί αποκλίνουσα διαδρομή για τα καυσαέρια, με συνέπεια τη μείωση της ταχύτητάς τους, ενώ οι αντηρίδες, σε συνδυασμό πιθανώς με οδηγά πτερύγια (**outlet guide vanes**), ευθυγραμμίζουν τη ροή των καυσαερίων.

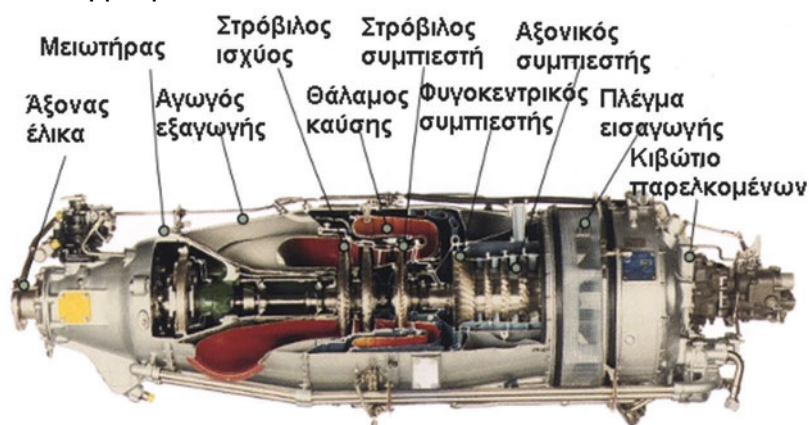
2.8.2 Αγωγοί εξαγωγής

Ο **αγωγός εξαγωγής** οδηγεί τα καυσαέρια στο ακροφύσιο εξαγωγής (Σχήμα 2.90) ή στην ατμόσφαιρα (Σχήμα 2.92). Στις περιπτώσεις των σύγχρονων μα-

χητικών αεροσκαφών, ο αγωγός εξαγωγής περιλαμβάνει και τη **μετάκαυση**.

Η χρήση αγωγού εξαγωγής προκαλεί απώλειες στην πίεση των καυσαερίων εξαιτίας των τριβών με τα τοιχώματα. Η παρουσία του είναι γενικά απαραίτητη στις περιπτώσεις, όπου ο κινητήρας τοποθετείται μέσα στην άτρακτο του αεροσκάφους και θα πρέπει ως εκ τούτου αυτή να προστατευθεί από τις υψηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων. Η σχεδίαση του αγωγού εξαγωγής προσπαθεί:

- να διατηρήσει τη διάμετρο του αγωγού όσο πιο μεγάλη γίνεται, έτσι ώστε οι ταχύτητες να παραμείνουν μικρές (μείωση απωλειών λόγω τριβής),
- να διατηρήσει το μήκος του αγωγού στο ελάχιστο απαραίτητο,
- να αποφύγει την παρουσία μη ευθύγραμμων τμημάτων ή οποιωνδήποτε εμποδίων στη ροή.



Σχήμα 2.92 Παράδειγμα ελικοστροβίλου κινητήρα (PT6A) όπου ο αγωγός εξαγωγής οδηγεί τα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα

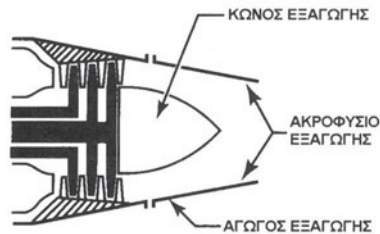
Στο αρχικό τμήμα του αγωγού εξαγωγής, συνήθως μετά τις αντηρίδες, τοποθετούνται θερμοστοιχεία για τη μέτρηση της **θερμοκρασίας εξαγωγής καυσαερίων (Exhaust Gas Temperature - EGT)**. Αυτή η μέτρηση χρησιμοποιείται συχνά αντί της μέτρησης της **θερμοκρασίας εισαγωγής του στροβίλου (Turbine Inlet Temperature - TIT)** ώστε να μειώνονται οι φθορές των θερμοστοιχείων, αφού η θερμοκρασία εξαγωγής καυσαερίων είναι σημαντικά χαμηλότερη της θερμοκρασίας εισαγωγής του στροβίλου. Η σχέση μεταξύ των δύο θερμοκρασιών είναι γνωστή από τη σχεδίαση του κινητήρα και, συνεπώς, η μέτρηση της θερμοκρασίας εξαγωγής καυσαερίων επιτρέπει τον υπολογισμό της θερμοκρασίας εισαγωγής του στροβίλου.

Στην περίπτωση των αξονοστροβίλων, το ρεύμα εξαγωγής των καυσαερίων δεν πρέπει να παρέχει ώση, μια και κάτι τέτοιο θα προκαλούσε πρόβλημα στη λειτουργία του ελικοπτερου. Οι αγωγοί εξαγωγής είναι αποκλίνοντες, έτσι ώστε να εκμηδενίζεται η ώση, την οποία μπορούν να αποδώσουν τα καυσαέρια.

2.8.3 Ακροφύσια εξαγωγής

2.8.3.1 Συγκλίνον ακροφύσιο εξαγωγής

Το μέγεθος του ακροφυσίου εξαγωγής καθορίζει την ταχύτητα εξόδου των καυσαερίων από τον κινητήρα. Ως εκ τούτου, η επιφάνεια του ακροφυσίου εξαγωγής στους κινητήρες χωρίς μετάκαυση είναι κρίσιμη και συνήθως καθορίζεται κατά την κατασκευή του. Στην περίπτωση **συγκλίνοντος ακροφυσίου (convergent nozzle** - μείωση διατομής, Σχήμα 2.93), η ταχύτητα των καυσαερίων αυξάνεται, ενώ η πίεσή τους μειώνεται. Η έξοδος στην ατμόσφαιρα γίνεται σε ταχύτητες, οι οποίες είναι πάντοτε μικρότερες ή ίσες της ταχύτητας του ήχου. Στην περίπτωση πάντως των στροβιλοαντιδραστήρων και των στροβιλοανεμιστήρων χαμηλού λόγου παράκαμψης, η ταχύτητα εξαγωγής των καυσαερίων είναι αρκετά κοντά στην ταχύτητα του ήχου ($Mach=1$).



Σχήμα 2.93 Συγκλίνον ακροφύσιο εξαγωγής

2.8.3.2 Συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο

Στην περίπτωση κατά την οποία, η πίεση των καυσαερίων, μετά τον στρόβιλο, είναι αρκετά υψηλή, έτσι ώστε να μπορούν αυτά να επιταχυνθούν σε ταχύτητες, μεγαλύτερες από την ηχητική, χρησιμοποιείται **συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο (convergent-divergent nozzle**, Σχήμα 2.94). Σε αυτή την περίπτωση το ακροφύσιο περιλαμβάνει ένα τμήμα, στο οποίο η διατομή μειώνεται και ένα δεύτερο στο οποίο η διατομή αυξάνει.

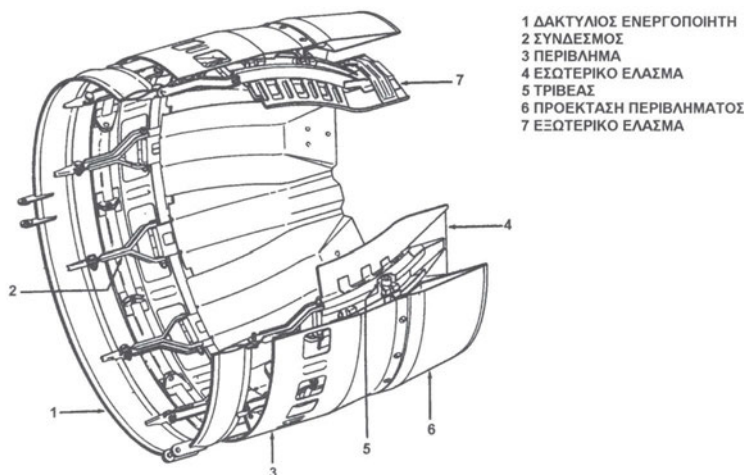


Σχήμα 2.94 Συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο

Στο πρώτο τμήμα του συγκλίνοντος-αποκλίνοντος ακροφυσίου η ροή επιταχύνεται σε υποηχητικές ταχύτητες, ενώ η πίεση μειώνεται. Στο σημείο ελάχιστης διατομής του ακροφυσίου (**λαιμός - throat**) η ταχύτητα είναι ίση με αυτήν

του ήχου ($Mach=1$). Το αποκλίνον τμήμα του ακροφυσίου μειώνει περισσότερο την πίεση, ενώ η ταχύτητα αυξάνεται σε τιμές, οι οποίες αντιστοιχούν σε αριθμούς Mach μεγαλύτερους του 1 (**υπερηχητική ροή**). Η μεγάλη ταχύτητα των καυσαερίων κατά την εξαγωγή τους έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή υψηλότερης ώσης.

Σε πολλές περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε συγκλίνοντα-αποκλίνοντα ακροφύσια, η διατομή εξόδου των καυσαερίων μπορεί να μεταβάλλεται (**ακροφύσια μεταβλητής διατομής - variable area exhaust nozzles**, Σχήμα 2.95).



Σχήμα 2.95 Ακροφύσιο μεταβλητής διατομής

Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται η επιτάχυνση της ροής στο ακροφύσιο, ενώ ο τρόπος μεταβολής της διατομής του ακροφυσίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση των επιδόσεων του κινητήρα. Τα ακροφύσια μεταβλητής διατομής επιβαρύνουν τον κινητήρα, τόσο ως προς την πολυπλοκότητα σχεδίασης, όσο και ως προς το βάρος του. Ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη που πετούν σε υψηλούς αριθμούς Mach.

2.8.3.3 Ακροφύσια μεταβλητής διεύθυνσης εξαγωγής

Τελευταία εξέλιξη στο σχεδιασμό ακροφυσίων, αποτελούν τα **ακροφύσια με μεταβλητή διεύθυνση εξαγωγής καυσαερίων (thrust vectoring nozzles, Σχήμα 2.96)** ή **διδιάστατα ακροφύσια (2-D nozzles)**. Τα ακροφύσια αυτά έχουν ορθογωνική διατομή (σε αντίθεση με την κυκλική διατομή των παραδοσιακών ακροφυσίων) και επιτρέπουν αφενός την μεταβολή της διεύθυνσης εξόδου ή και την αναστροφή των καυσαερίων από τον κινητήρα και αφετέρου τη μεταβολή της επιφάνειας εξόδου κατά τη λειτουργία της μετάκαυσης. Επιτυγχάνεται, έτσι, ουσιαστική μείωση του μήκους του διαδρόμου κατά την απογείωση και την προσγείωση αλλά και αυξημένες δυνατότητες ελιγμών σε μεγάλους αριθμούς Mach.



Σχήμα 2.96 Ακροφύσιο με μεταβλητή διεύθυνση εξαγωγής καυσαερίων (A/K F119 της P&W)

2.9 ΜΕΙΩΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ

Το πρόβλημα του θορύβου σε κατοικημένες περιοχές (κοντά σε αεροδρόμια, ή στρατιωτικές βάσεις), τον οποίο προκαλούν τα αεριωθούμενα αεροσκάφη (πολιτικά και στρατιωτικά), όταν βρίσκονται στο έδαφος και ιδιαίτερα κατά τις φάσεις της προσγείωσης και απογείωσης, έχει γίνει ιδιαίτερα σημαντικό τα τελευταία χρόνια.

Ο θόρυβος που παράγει ένας στροβιλοκινητήρας, έχει χαρακτηριστικά, τα οποία τον καθιστούν πιο ενοχλητικό, συγκριτικά με τον θόρυβο κινητήρων άλλων τύπων. Για παράδειγμα, ο θόρυβος από έναν εμβολοφόρο αεροπορικό κινητήρα, προέρχεται κυρίως από τον έλικα, αυξάνεται σημαντικά καθώς το αεροσκάφος διέρχεται πάνω από τον επίγειο παρατηρητή, στη συνέχεια όμως μειώνεται γρήγορα. Αντίθετα, στην περίπτωση στροβιλοκινητήρα, η μέγιστη ένταση του θορύβου δημιουργείται, όταν το αεροπλάνο βρίσκεται σε γωνία 45° ως προς τον παρατηρητή, ενώ η μείωσή της δεν είναι τόσο ταχεία. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί, ότι ο θόρυβος του στροβιλοκινητήρα είναι πιο ενοχλητικός, σε σχέση με αυτόν ενός εμβολοφόρου αεροπορικού κινητήρα με έλικα, γιατί έχει μεγαλύτερη ένταση στις συνήθεις συχνότητες της ανθρώπινης ομιλίας.

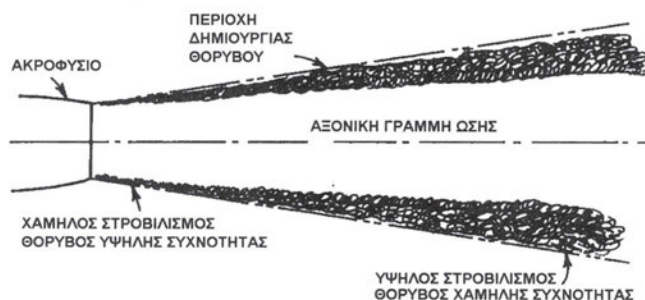
2.9.1 Οι πηγές του θορύβου

Ο παραγόμενος θόρυβος οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη λειτουργία του στροβιλοκινητήρα, όπου μέρος της παραγόμενης από την καύση του καυσίμου ενέργειας, μετατρέπεται σε θόρυβο. Αυτός δημιουργείται κυρίως από την ανάμειξη των θερμών καυσαερίων υψηλής ταχύτητας με τον περιβάλλοντα αέρα. Το εύρος της περιοχής ανάμειξης συνδέεται με τη συχνότητα και την ένταση

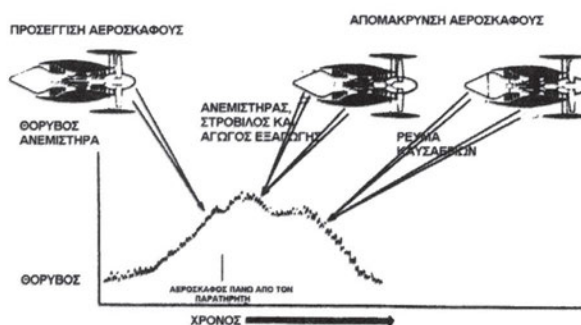
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

του θορύβου (Σχήμα 2.97). Κοντά στο ακροφύσιο εξαγωγής, το εύρος του στρώματος ανάμειξης είναι μικρό, όπως και οι **στροβιλισμοί (vortices)** που δημιουργούνται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή **θορύβου υψηλής συχνότητας**. Καθώς όμως, στη συνέχεια το στρώμα ανάμειξης διευρύνεται, αντιστοίχως μεγαλώνουν και οι στρόβιλοι. Ο παραγόμενος **θόρυβος** είναι **χαμηλής συχνότητας**. Προκαλείται έτσι θόρυβος υψηλής έντασης, ο οποίος περιλαμβάνει τόσο χαμηλές, όσο και υψηλές συχνότητες. Οι επικρατούσες συχνότητες είναι οι χαμηλές. Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι υψηλές συχνότητες διαδίδονται σε “συγκεκριμένη” κατεύθυνση και εξασθενούν σχετικά γρήγορα εξαιτίας της απόστασης και των τυχόν εμποδίων, τα οποία παρεμβάλλονται μεταξύ της πηγής του θορύβου και του παρατηρητή. Αντίθετα, οι χαμηλές συχνότητες διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις και αποσβένονται σε μεγαλύτερη σχετικά απόσταση.

Αν και ο θόρυβος, ο οποίος δημιουργείται από το ρεύμα των θερμών καυσαερίων, είναι ο πιο έντονος και ενοχλητικός, δεν είναι ο μοναδικός. Θόρυβος παράγεται και από τον ανεμιστήρα, το συμπιεστή και το στρόβιλο (Σχήμα 2.98) λόγω της περιοδικής κίνησης των πτερυγίων και των διαφορών πίεσης που αναπτύσσονται σε αυτά. Στην περίπτωση μάλιστα των στροβιλοανεμιστήρων, η κύρια πηγή θορύβου είναι ο ανεμιστήρας, αφού όπως εξηγείται στην επόμενη παράγραφο, ο θόρυβος που προέρχεται από το ρεύμα των καυσαερίων είναι μειωμένος.



Σχήμα 2.97 Δημιουργία θορύβου από την ανάμειξη των θερμών καυσαερίων με τον περιβάλλοντα αέρα



Σχήμα 2.98 Οι κύριες πηγές θορύβου κατά το “πέρασμα” ενός αεροσκάφους

2.9.2 Μέθοδοι μείωσης του θορύβου

Η σημαντικότερη μείωση του θορύβου που προέρχεται από τα αεροσκάφη επιτεύχθηκε με την επέκταση της χρήσης των **στροβιλοανεμιστήρων**. Αυτό αφορά τόσο τον θόρυβο της καμπίνας, όσο και τον θόρυβο στον περιβάλλοντα χώρο. Οι στροβιλοανεμιστήρες χρειάζονται σπανίως μειωτές θορύβου, αφού η ανάμειξη των θερμών καυσαερίων με τον ψυχρό αέρα της ροής παράκαμψης, η οποία πραγματοποιείται πριν από την εξαγωγή στην ατμόσφαιρα, περιορίζει σημαντικά τον θόρυβο. Οι στροβιλοαντιδραστήρες, αντίθετα, χρειάζονται συνήθως επιπλέον διατάξεις περιορισμού του θορύβου.

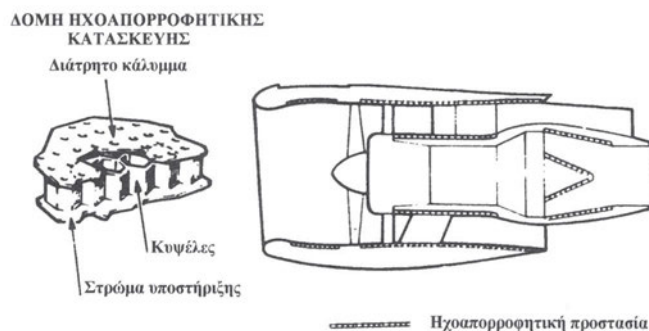
Η ένταση του θορύβου που παράγει ένας κινητήρας μετριέται σε **ντεσιμπέλ (decibel - db)**. Το db χρησιμοποιείται για την κατάταξη των ηχητικών επιπέδων σχετικά με κάποια μηδενική ηχητική ένταση. Ως μηδενική θεωρείται αυτή που αντιστοιχεί στην ένταση ήχου που επικρατεί στην είσοδο του τυμπάνου του ανθρώπινου αυτιού, και ποσοτικά αντιστοιχεί στον ήχο που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί από το πέταγμα ενός κουνουπιού σε απόσταση 3 μέτρων. Συζήτηση με κανονική ένταση φωνής μπορεί να πραγματοποιηθεί σε περιβάλλον θορύβου 50-60db. Ένα πνευματικό δρόπανο παράγει θόρυβο 100db περίπου σε απόσταση τριών μέτρων. Θόρυβος πάνω από 130db μπορεί να προκαλέσει πόνο στο ανθρώπινο αυτί. Το Σχήμα 2.99 δείχνει την εξέλιξη των στροβιλοκινητήρων, όσον αφορά τον παραγόμενο από αυτούς θόρυβο, όπως αυτός μετράται σε απόσταση 150 περίπου μέτρων από το αεροσκάφος. Έτσι, οι παλαιότεροι στροβιλοαντιδραστήρες προκαλούσαν θόρυβο, ο οποίος ξεπερνούσε τα 110db. Αντίθετα, οι σύγχρονοι στροβιλοανεμιστήρες, υψηλού λόγου παράκαμψης παράγουν επίπεδα θορύβου, χαμηλότερα των 90db.



Σχήμα 2.99 Επίπεδα παραγόμενου θορύβου από στροβιλοκινητήρες

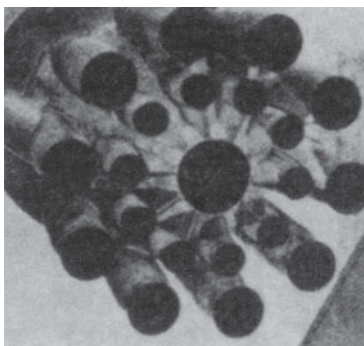
2.9.3 Μειωτές θορύβου

Όπως προαναφέρθηκε, οι στροβιλοανεμιστήρες δεν απαιτούν συνήθως ειδικές διατάξεις μείωσης θορύβου. Μπορεί όμως να εφαρμοσθεί κάποια επεξεργασία, για ακουστικούς λόγους, των επιφανειών των περιβλημάτων του κινητήρα. Μία από τις μεθόδους, με τα εντυπωσιακότερα χαρακτηριστικά, όσον αφορά τον επιτυγχανόμενο περιορισμό του θορύβου, είναι η εφαρμογή ηχομονωτικής επένδυσης (Σχήμα 2.100).



Σχήμα 2.100 Θέση εφαρμογής ηχομονωτικής επένδυσης και κατασκευαστικές λεπτομέρειες

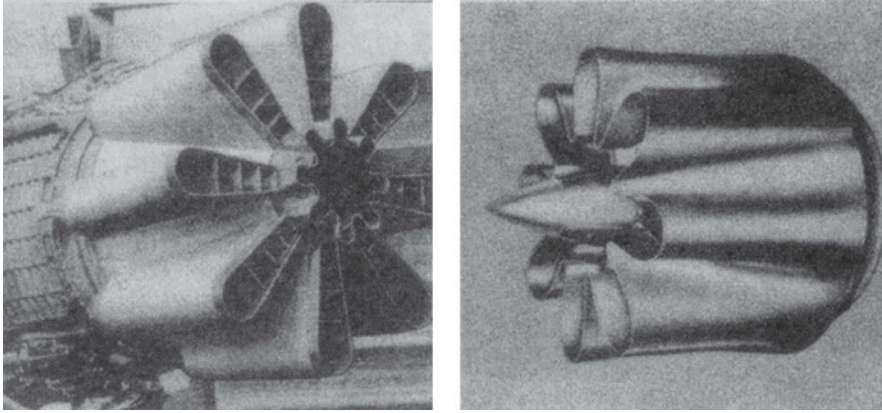
Στην περίπτωση των στροβιλοαντιδραστήρων (κυρίως), ή ακριβέστερα, για τη μείωση του θορύβου που προκαλείται από την ανάμειξη του ρεύματος των καυσαερίων, επιδιώκεται η “επιτάχυνση” της ανάμειξής τους με τον ψυχρό περιβάλλοντα αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση διατάξεων διαίρεσης της ροής μετά τον **κώνο εξαγωγής**. Αυτές οι διατάξεις είναι συνήθως **πολλαπλοί αγωγοί (multitube suppressors - Σχήμα 2.101)**, οι οποίοι δημιουργούν αντίστοιχους μικρότερους οχετούς καυσαερίων, ή **αγωγός με “αυλακωτή” περίμετρο (corrugated perimeter - Σχήμα 2.102)**. Και στις δύο περιπτώσεις επιτυγχάνεται αύξηση της επιφάνειας ανάμειξης των θερμών καυσαερίων με τον περιβάλλοντα ψυχρό αέρα.



Σχήμα 2.101 Πολλαπλοί αγωγοί εξαγωγής για τη μείωση του θορύβου

Οι μειωτές θορύβου διαμορφώνονται, συνήθως, από ανοξείδωτη λαμαρίνα με κατάλληλες συγκολλήσεις και έχουν απλή κατασκευή. Αν και ο χρόνος γενικής επισκευής τους θα πρέπει να αντιστοιχεί σε αυτόν του κινητήρα, είναι απαραίτητο να επιθεωρούνται περιοδικά, για την ανεύρεση ενδείξεων ρωγμών, οι οποίες προκαλούνται από τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας τους.

Πρέπει βεβαίως να τονισθεί, ότι παρ' όλη την ύπαρξη των διαφόρων διατάξεων μείωσης του θορύβου του κινητήρα, εργασία κοντά σε κινητήρα, ο οποίος βρίσκεται σε λειτουργία, απαιτεί την χρήση ηχοπροστατευτικών μέσων (π.χ. ωτασπίδες, ακουστικά).



Σχήμα 2.102 Αυλακωτοί αγωγοί εξαγωγής για τη μείωση του θορύβου

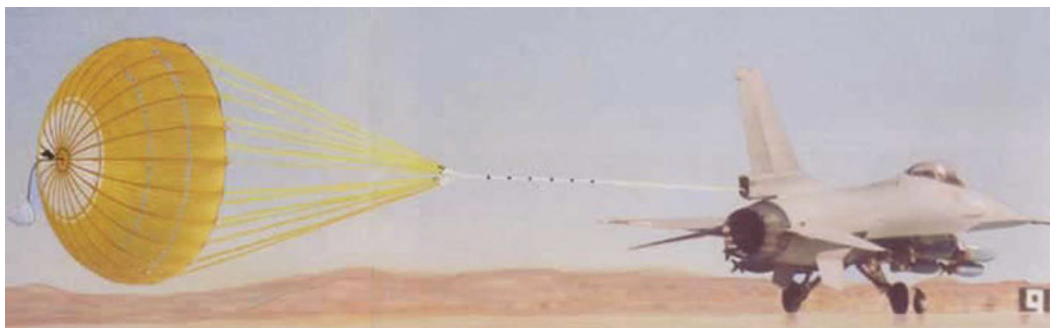
2.10 ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ ΩΣΗΣ

2.10.1 Επιβράδυνση α/φους κατά την προσγείωση

Το σημαντικό πρόβλημα της ανακοπής της πορείας ενός αεροσκάφους, μετά την προσγείωσή του, γίνεται εντονότερο στα σύγχρονα, μεγάλα αεροσκάφη, τα οποία προσγειώνονται με υψηλά φορτία και ταχύτητες. Τα φρένα των τροχών δεν επαρκούν για την έγκαιρη επιβράδυνση του αεροσκάφους. Ιδιαίτερα μάλιστα σε περιπτώσεις βρεγμένων ή παγωμένων διαδρόμων προσγείωσης, η χρήση των φρένων αποκλειστικά είναι επικίνδυνη. Στα ελικοφόρα αεροσκάφη (με εμβολοφόρους, ή ελικοστρόβιλους κινητήρες), η ανακοπή της πορείας επιτυγχάνεται με την **αναστροφή του βήματος (pitch)** του έλικα.

Μία από τις μεθόδους ανακοπής της πορείας του αεροσκάφους, μετά την προσγείωσή του είναι η χρήση “**αλεξίπτωτου προσγείωσης**” (**parabrake**, Σχήμα 2.103). Αν και χρησιμοποιείται σε κάποια πολεμικά αεροσκάφη, το “αλεξίπτωτο προσγείωσης” παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα, όπως η πρόωρη ενεργοποίησή του, ή η μη ενεργοποίησή του. Θα πρέπει επίσης να περισυλλέγεται και να επιδιορθώνεται μετά από κάθε χρήση (ή και να αντικαθίσταται σε περίπτωση απώλειας). Ας σημειωθεί τέλος, ότι ο χειριστής δεν έχει κανέναν απολύτως έλεγχο στη λειτουργία του “αλεξίπτωτου προσγείωσης” μετά το άνοιγμά του (εκτός φυσικά από το να το αποσυνδέσει από το σκάφος).

Μία άλλη μέθοδος ανακοπής είναι τα **άγκιστρα επιβράδυνσης (arresting hooks)**. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε αεροπλανοφόρα, ή σε στρατιωτικές βάσεις για τον περιορισμό του απαραίτητου μήκους του διαδρόμου προσγείωσης.



Σχήμα 2.103 Αλεξίπτωτο προσγείωσης σε α/φος F-16

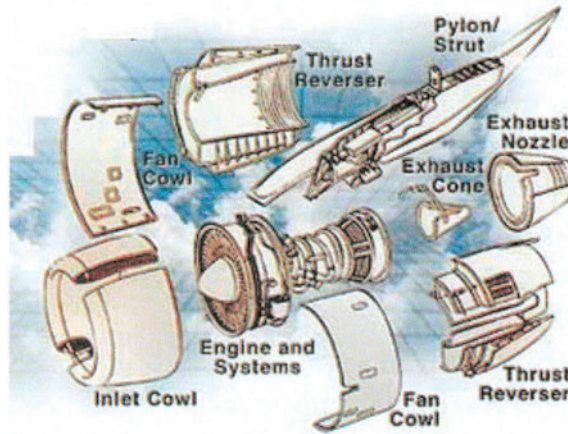
Ο ευρύτερα διαδεδομένος τρόπος για την ταχεία επιβράδυνση του αεροσκάφους, μετά την προσγείωσή του, είναι η χρήση **αναστροφένων ώσης (thrust reversers)**. Πρόκειται για το σημαντικότερο υπο-συγκρότημα της ατράκτου του κινητήρα, από άποψη βάρους, αλλά και κόστους. Κατά την φάση της προσγείωσης του αεροσκάφους, ενώ αυτό τροchioδρομεί, ο αναστροφέας ώσης “κλείνει” την εξαγωγή των καυσαερίων, έτσι ώστε αυτά να κατευθυνθούν προς το εμπρόσθιο τμήμα της ατράκτου. Με αυτό τον τρόπο, δημιουργείται μία “δύναμη φρεναρίσματος”, η οποία βοηθά σημαντικά στην ταχεία επιβράδυνση του αεροσκάφους.

2.10.2 Πλεονεκτήματα και αρχή λειτουργίας των αναστροφένων ώσης

Η εξέλιξη των αεροσκαφών, με τη σημαντική αύξηση του μεταφερόμενου βάρους και της ώσης που παρέχουν οι κινητήρες, έχει σαν αποτέλεσμα και την αντίστοιχη αύξηση της κινητικής ενέργειας, η οποία θα πρέπει να απορροφηθεί κατά το φρενάρισμα. Η ύπαρξη μικρής ώσης, η οποία διατηρείται κατά τη λειτουργία κράτησης, αλλά και η σχετική καθυστέρηση απόκρισης του αεροσκάφους στους χειρισμούς του πιλότου (εξαιτίας βέβαια και της μεγάλης ταχύτητας), ενισχύουν το πρόβλημα της ανακοπής της πορείας του αεροσκάφους κατά την τροchioδρόμηση προσγείωσης.

Τα φρένα των σύγχρονων αεροσκαφών είναι πολύ αποτελεσματικά, όμως σε υγρή, παγωμένη ή χιονισμένη πίστα, η αποτελεσματικότητα αυτή μπορεί να μειωθεί εξαιτίας της απώλειας πρόσφυσης των ελαστικών. Επιπλέον, σε ιδιαίτερες περιπτώσεις, όπως η διακοπή απογείωσης, η χρήση ενός συστήματος, συμπληρωματικού προς τα φρένα, μπορεί να αποδειχθεί σωτήρια.

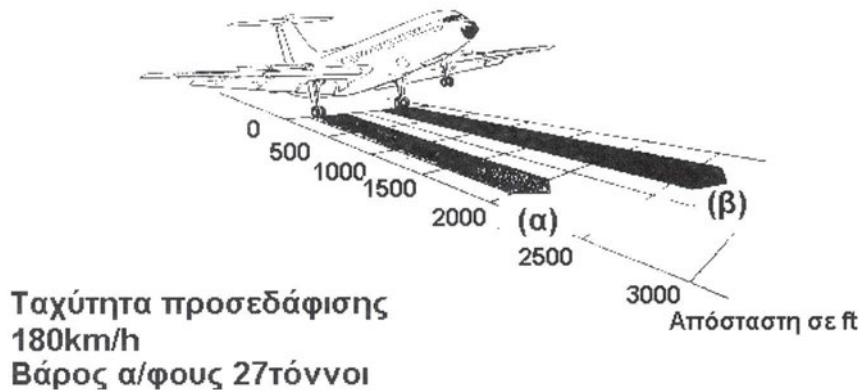
Για τους παραπάνω λόγους, η χρήση αναστροφένων ώσης έχει γίνει ευρέως αποδεκτή, τόσο στα πολιτικά (Σχήμα 2.104), όσο και στα στρατιωτικά αεροπλάνα.



Σχήμα 2.104 Θέση αναστροφέα ώσης σε στροβιλοανεμιστήρα - Inlet cowl: Κάλυμμα εισαγωγής, Fan cowl: Κάλυμμα ανεμιστήρα, Engine & systems: Κινητήρας & συστήματα, Exhaust cone: Κώνος εκφυγής, Exhaust nozzle: Ακροφύσιο εξαγωγής, Pylon/Strut: Πυλώνες ανάρτησης.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθούν ορισμένα επιπλέον πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση των αναστροφέων ώσης:

- Μείωση του απαιτούμενου μήκους του διαδρόμου προσγείωσης. Η μείωση αυτή είναι 25% περίπου, στην περίπτωση στεγνής πίστας και 50% σε περίπτωση υγρής ή παγωμένης πίστας (Σχήμα 2.105).
- Μείωση του χρόνου παραμονής στο διάδρομο κατά την προσγείωση και αντίστοιχη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.
- Αύξηση της ζωής των ελαστικών και των φρένων.



Σχήμα 2.105 Προσγείωση σε παγωμένη πίστα (α) με τη χρήση αναστροφέα ώσης και (β) χωρίς αναστροφέα ώσης

Η αρχή λειτουργίας των αναστροφέων ώσης βασίζεται στην αναστροφή της επίδρασης της παραγόμενης από τον κινητήρα ώσης, στη λειτουργία του αεροπλάνου: Ο αναστροφέας ώσης παρέχει μέρος της ενέργειας που απαιτεί-

ται για το φρενάρισμα του αεροσκάφους, **μετατρέποντας την προωθητική ώση σε ώση φρεναρίσματος**. Κατά τη διάρκεια της τροchioδρόμησης στην προσγείωση, ο αναστροφέας εγκλωβίζει και μεταβάλλει την κατεύθυνση της ροής των θερμών καυσαερίων, μέσω συνήθως της ανάπτυξης κάποιου στερεού εμποδίου.

2.10.3 Τύποι αναστροφών ώσης

Διακρίνουμε τους αναστροφείς ώσης με **2 θύρες** και αυτούς με **4 θύρες** (Σχήμα 2.106).



(α)



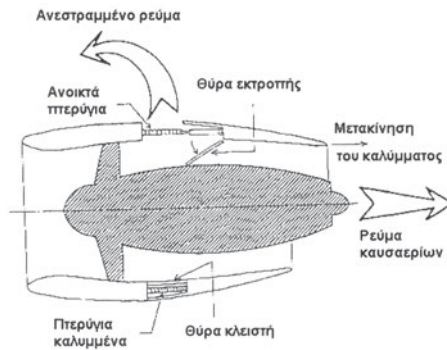
(β)

Σχήμα 2.106 (α) Αναστροφέας ώσης με 2 θύρες, (β) αναστροφέας ώσης με 4 θύρες

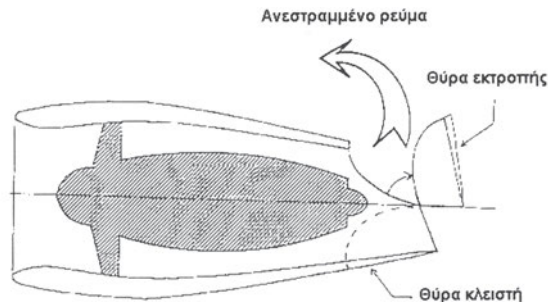
Όσον αφορά τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους, οι αναστροφείς ώσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες:

(i) **Οι αναστροφείς οι οποίοι ανακόπτουν την ροή του ρεύματος αέρα παράκαμψης πριν την εξαγωγή (pre-exit thrust reversers, Σχήμα 2.107):** Πρόκειται για τους πλέον δοκιμασμένους και χρησιμοποιούμενους αναστροφείς σε στροβιλοανεμιστήρες. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην εκτροπή του ρεύματος αέρα παράκαμψης προς τα εμπρός, μέσω της ανάπτυξης θυρών και / ή πτερυγίων. Κατά τη λειτουργία αναστροφής, οι θύρες εμποδίζουν τη ροή του αέρα, ο οποίος εκτρέπεται προς τα εμπρός μέσω πτερυγίων (turning vanes) ή θυρών εκτροπής (deflector doors).

(ii) **Οι αναστροφείς οι οποίοι ανακόπτουν την ροή των καυσαερίων μετά την εξαγωγή (pre-exit thrust reversers, Σχήμα 2.108):** Η αναστροφή ώσης επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση εκτροπέα στη ροή των καυσαερίων. Το ρεύμα των καυσαερίων μπορεί να εκτραπεί σε οριζόντια ή κατακόρυφη κατεύθυνση, ανάλογα με την θέση του κινητήρα στο σκάφος.



Σχήμα 2.107 Αναστροφάς ώσης πριν την εξαγωγή



Σχήμα 2.108 Αναστροφή ώσης μετά την εξαγωγή

2.10.4 Αρχές σχεδιασμού και κατασκευής των αναστροφών ώσης

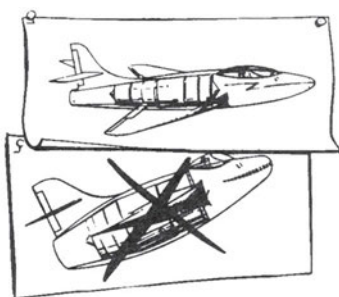
Οι βασικοί στόχοι του σχεδιασμού και της κατασκευής ενός αναστροφέα ώσης μπορεί να συνοψισθούν στα ακόλουθα βασικά σημεία:

- Να είναι αρκετά ανθεκτικός για να εκτρέψει το ρεύμα καυσαερίων και κατασκευασμένος από μέταλλα, τα οποία να καλύπτουν τις προδιαγραφές λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Να μην επηρεάζει τη λειτουργία του κινητήρα.
- Να παρέχει ένα σχετικά υψηλό ποσοστό της προωθητικής ώσης (~50%).
- Να μην αυξάνει την οπισθέλκουσα, εξαιτίας της πιθανής απαίτησης για αύξηση της διατομής του κινητήρα ή της ατράκτου.
- Να μην απαιτεί ιδιαίτερη συντήρηση.
- Να μην προσθέτει υπερβολικό βάρος.
- Να μην προκαλεί επαναρρόφηση (reingestion) των θερμών καυσαερίων από το συμπιεστή.
- Να παρέχει στον χειριστή έλεγχο της ώσης σε λειτουργία αναστροφής.

Όπως είναι φυσικό, δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν απολύτως οι παραπάνω στόχοι. Σε κάθε περίπτωση γίνεται προσπάθεια συμβιβασμού των παραπάνω απαιτήσεων.

2.11 ΜΕΤΑΚΑΥΣΗ

Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις είναι αναγκαία αυξημένη τιμή ώσης, μεγαλύτερη από αυτήν που είναι σε θέση να προσφέρει ο κινητήρας. Η απαίτηση αυτή αφορά μικρά χρονικά διαστήματα και περιπτώσεις όπως η μείωση του χρόνου και του μήκους που είναι αναγκαίο για την απογείωση, η αύξηση του ρυθμού ανόδου του αεροσκάφους ή η παροχή μεγάλης ισχύος σε μαχητικά αεροσκάφη όταν εκτελούν ελιγμούς μάχης. Στις περιπτώσεις αυτές δεν ενδείκνυται η χρήση ενός μεγάλου κινητήρα ο οποίος θα επιβαρύνει το αεροσκάφος με μεγαλύτερη μετωπική επιφάνεια, επιπρόσθετο βάρος και μεγαλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου. Η βέλτιστη λύση είναι η χρησιμοποίηση ενός **μετακαυστήρα (afterburner)**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.109.



Σχήμα 2.109 Η χρήση μετακαυστήρα ενδείκνυται στην περίπτωση απαίτησης μεγαλύτερης ποσότητας ώσης

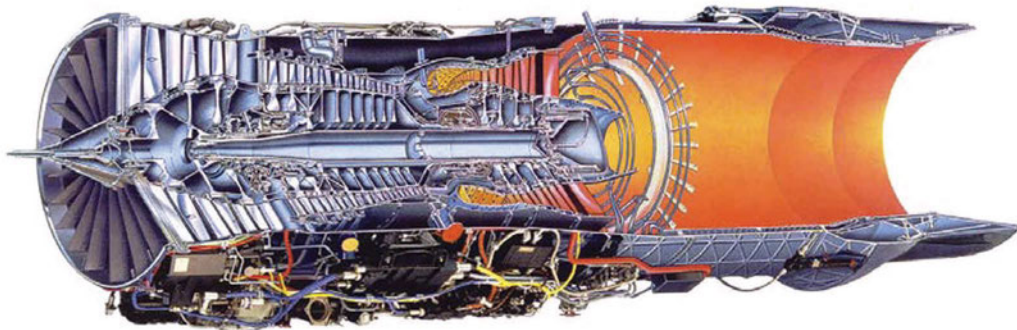
Σε αυτόν πραγματοποιείται η **μετάκαυση (afterburning, reheating)** η οποία είναι μία πολύ αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της ώσης ενός αεροστροβίλου κινητήρα σε ποσοστό έως και 100%. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στους κινητήρες των υπερηχητικών μαχητικών αεροσκαφών. Με μετακαυστήρες ήταν εφοδιασμένοι και οι κινητήρες των πολιτικών αεροσκαφών Concorde και Tu-144. Οι περιορισμοί θορύβου κάνουν απαγορευτική τη χρήση μετάκαυσης σε πολιτικά αεροσκάφη.

Ο μετακαυστήρας τοποθετείται στο χώρο μεταξύ του στροβίλου και του ακροφυσίου εξαγωγής. Εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι τα καυσαέρια, μετά την εκτόνωσή τους στο στρόβιλο, περιέχουν ακόμη αρκετή ποσότητα οξυγόνου (θυμηθείτε ότι μόνο ένα ποσοστό 25% περίπου από το εισερχόμενο ρεύμα αέρα στον κινητήρα χρησιμοποιείται κατά τη διεργασία της καύσης, το υπόλοιπο 75% χρησιμοποιείται για λόγους ψύξης). Με την παροχή καυσίμου στο μετακαυστήρα, γίνεται ανάμειξή του με την υπολειπόμενη ποσότητα αέρα και πραγματοποιείται καύση, η μετάκαυση. Με τον τρόπο αυτόν, τα παραγόμενα καυσαέρια αποκτούν περισσότερη ενέργεια η οποία θα αξιοποιηθεί κατά την εκτόνωσή τους στο ακροφύσιο εξαγωγής. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της ταχύτητας εξαγωγής των καυσαερίων και, συνακόλουθα, της παραγόμενης ώσης από τον κινητήρα. Κατά το χρονικό διάστημα της λειτουργίας του μετα-

καυστήρα, η φλόγα από την καύση είναι ορατή στην εξαγωγή του κινητήρα (Σχήμα 2.110α). Τα επίπεδα του θορύβου ξεπερνούν κατά πολύ τις ήδη αυξημένες τιμές που λαμβάνουν κατά τη λειτουργία χωρίς μετάκαυση. Το Σχήμα 2.110β δείχνει την τομή ενός κινητήρα με σύστημα μετάκαυσης.



(α)

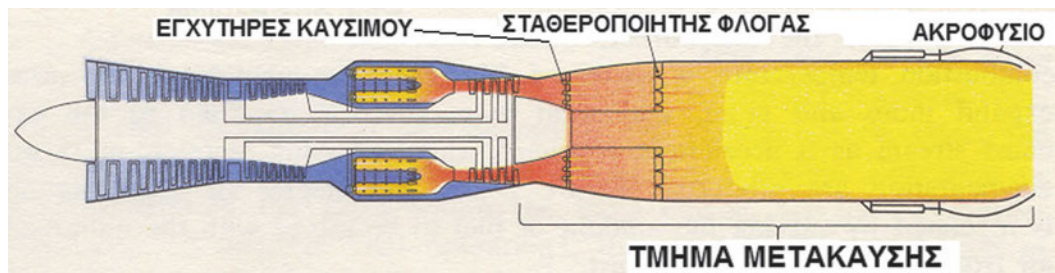


(β)

Σχήμα 2.110 (α) Σύστημα μετάκαυσης σε λειτουργία, (β) Τομή κινητήρα με σύστημα μετάκαυσης.

2.11.1 Λειτουργία

Στο Σχήμα 2.111 φαίνεται η παραστατική απεικόνιση ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα με μετακαυστήρα.



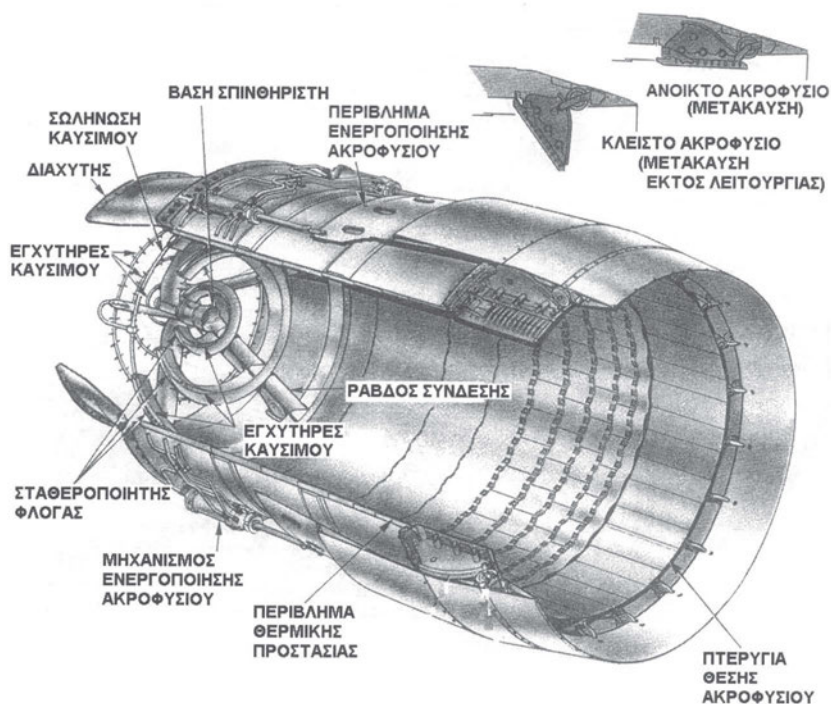
Σχήμα 2.111 Παράσταση αεριοστρόβιλου κινητήρα με σύστημα μετάκαυσης

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

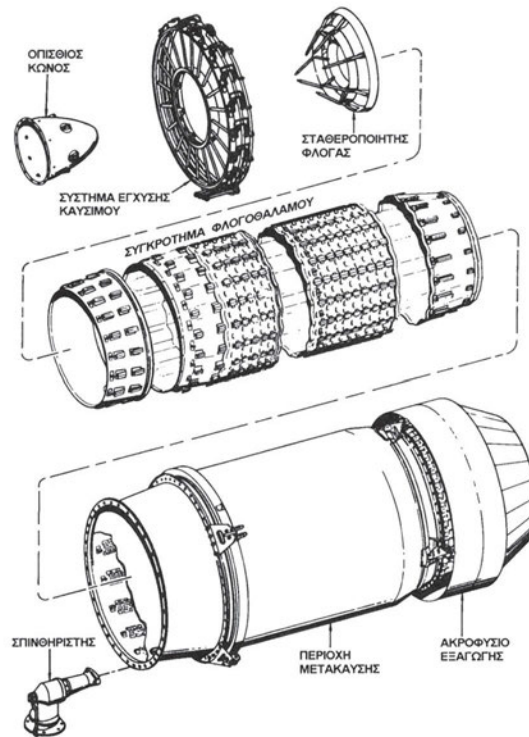
Θεωρητικά, ο μετακαυστήρας είναι ένας αθόδουλος κινητήρας προσαρμοσμένος στην εξαγωγή ενός αεριοστρόβιλου (στροβιλοαντιδραστήρα ή στροβιλοανεμιστήρα). Το ρεύμα αέρα υψηλής ταχύτητας που απαιτείται αρχικά για την εκκίνηση και λειτουργία του αθόδουλου κινητήρα παρέχεται από τα καυσαέρια του αεριοστρόβιλου. Ο μετακαυστήρας προκαλεί ιδιαίτερη εντύπωση λόγω της απλότητας στην κατασκευή του. Ουσιαστικά, αποτελεί έναν αγωγό τοποθετημένο μετά το στρόβιλο, το εμπρόσθιο μέρος του οποίου έχει τη μορφή διαχύτη (ώστε να μειώνεται η ταχύτητα της ροής των καυσαερίων και να επιτυγχάνεται ανάφλεξη). Τα μέρη που τον αποτελούν είναι:

- Ο αγωγός εξαγωγής (flame duct) ο οποίος περιέχει το φλογοθάλαμο (flame tube),
- Το σύστημα έγχυσης του καυσίμου,
- Ο σταθεροποιητής της φλόγας (flame holder) και
- Το μεταβλητής γεωμετρίας ακροφύσιο εξαγωγής.

Στο Σχήμα 2.112 φαίνεται ένας τυπικός μετακαυστήρας που χρησιμοποιείται στους αεριοστρόβιλους κινητήρες της Rolls-Royce ενώ στο Σχήμα 2.113 φαίνεται η συνδεσμολογία των μερών που αποτελούν τον μετακαυστήρα του στροβιλοαντιδραστήρα J-79 της General Electric.



Σχήμα 2.112 Διάταξη μετακαυστήρα κινητήρων Rolls-Royce



Σχήμα 2.113 Τα μέρη που απαρτίζουν το μετακαυστήρα του κινητήρα GE J-79

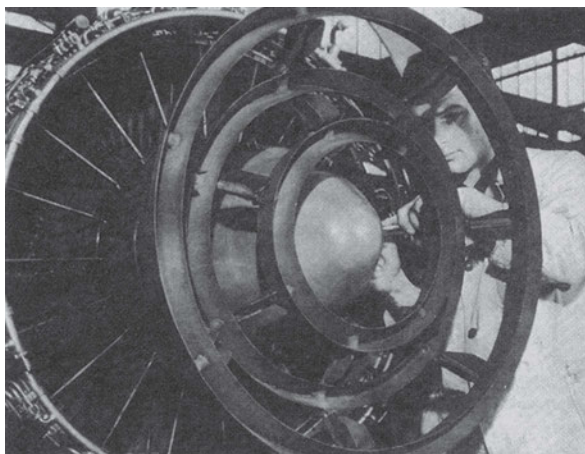
Οι διάφορες μορφές του ακροφυσίου εξαγωγής εξετάστηκαν στην παράγραφο 2.8.3. Όταν ο μετακαυστήρας δε βρίσκεται σε λειτουργία, το ακροφύσιο εξαγωγής λειτουργεί με τη μικρότερη δυνατή γεωμετρία εξόδου και ο μετακαυστήρας λειτουργεί σαν αγωγός εξαγωγής. Η γεωμετρία εξόδου μεταβάλλεται με τη λειτουργία **θυρίδων ελέγχου (interlocking flaps)** και ειδικού συστήματος ελέγχου, το οποίο θα εξετάσουμε παρακάτω.

Η σχεδίαση του μετακαυστήρα πρέπει να είναι τέτοια ώστε αυτός να μην διαταράσσει τις πιέσεις λειτουργίας του κινητήρα. Ο κινητήρας πρέπει να “αγνοεί” την ύπαρξη του μετακαυστήρα, ακόμη και όταν ο τελευταίος βρίσκεται σε λειτουργία. Βέβαια, παρόλες τις προσπάθειες βέλτιστου σχεδιασμού, αυτό δεν είναι εφικτό. Η ύπαρξη μετακαυστήρα επιβάλλει την αύξηση της διατομής του αγωγού εξαγωγής του κινητήρα, λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας των καυσαερίων. Ακόμη, τα εμπόδια που παρεμβάλλονται στη ροή των καυσαερίων μέσα στο μετακαυστήρα προκαλούν μείωση στην παραγόμενη ώση του κινητήρα, όταν το σύστημα μετάκαυσης δε λειτουργεί. Τέλος, το βάρος του κινητήρα που φέρει σύστημα μετάκαυσης είναι αυξημένο λόγω του βαρύτερου αγωγού εξαγωγής και των εξαρτημάτων του μετακαυστήρα.

Ο αγωγός εξαγωγής κατασκευάζεται από κράματα χάλυβα με μεγάλη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες ενώ απαιτεί και καλύτερη ηχομόνωση από τους

κοινούς αγωγούς εξαγωγής. Σε κάποιες περιπτώσεις, ο αγωγός αποτελείται από διπλό τοίχωμα και στο δακτύλιο που σχηματίζεται ανάμεσα στα δύο κελύφη κυκλοφορεί αέρας για την καλύτερη ψύξη του φλογοθαλάμου. Αυτός φέρει ειδικές οπές για την καλύτερη κυκλοφορία του αέρα ψύξης. Για την αποφυγή της οξειδωσής του από τα διαβρωτικά καυσαέρια, ο φλογοθάλαμος επικαλύπτεται με ειδική κεραμική επίστρωση.

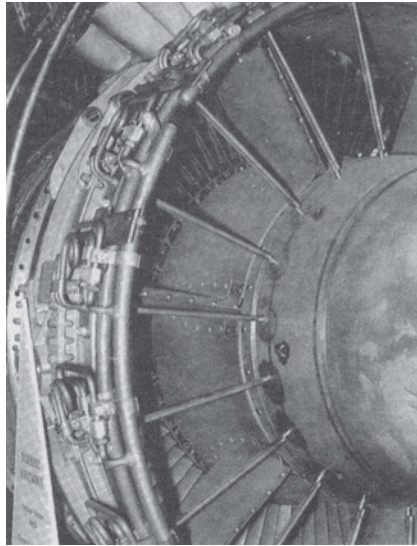
Η εισαγωγή των καυσαερίων από την τελευταία βαθμίδα του στροβίλου στο μετακαυστήρα γίνεται με ταχύτητες της τάξης των 250 έως 400m/sec, ταχύτητες στις οποίες δεν μπορεί να επιτευχθεί σταθερή καύση. Για το λόγο αυτόν, το εμπρόσθιο τμήμα του μετακαυστήρα έχει τη διατομή διαχύτη. Έτσι, επιτυγχάνεται η μείωση της ταχύτητας των καυσαερίων και η αύξηση της πίεσής τους. Όμως, ακόμη και σε αυτές τις συνθήκες, η ταχύτητα διάδοσης της φλόγας είναι μικρότερη από την ταχύτητα των καυσαερίων. Γι'αυτό το λόγο χρησιμοποιείται σταθεροποιητής φλόγας αμέσως μετά τους εγχυτήρες καυσίμου. Σκοπός του σταθεροποιητή είναι η δημιουργία στροβιλισμού της ροής με επακόλουθη μείωση της ταχύτητάς της και επίτευξη σταθερής φλόγας. Ο σταθεροποιητής της φλόγας έχει διατομή κυκλική, "V". Συνήθως, αποτελείται από τρεις ομόκεντρους δακτυλίους (Σχήμα 2.114).



Σχήμα 2.114 Σταθεροποιητής φλόγας

Το σύστημα έγχυσης του καυσίμου είναι ξεχωριστό από αυτό του κινητήρα. Χρησιμοποιείται ξεχωριστή αντλία καυσίμου, η οποία παροχετεύει καύσιμο σε μία σειρά εγχυτήρων. Αυτοί τοποθετούνται ομοιόμορφα στην περιφέρεια του αγωγού εξαγωγής ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη έγχυση καυσίμου. Στους κινητήρες με λόγο παράκαμψης η έγχυση του καυσίμου γίνεται μετά τη μείξη των δύο ρευμάτων. Υπάρχει, όμως, και η περίπτωση της ξεχωριστής έγχυσης καυσίμου στις δύο ροές και η μείξη των δύο ρευμάτων πριν από το

ακροφύσιο εξαγωγής¹. Στο Σχήμα 2.115 φαίνεται το σύστημα έγχυσης καυσίμου μετακαυστήρα του κινητήρα J-79 της General Electric.

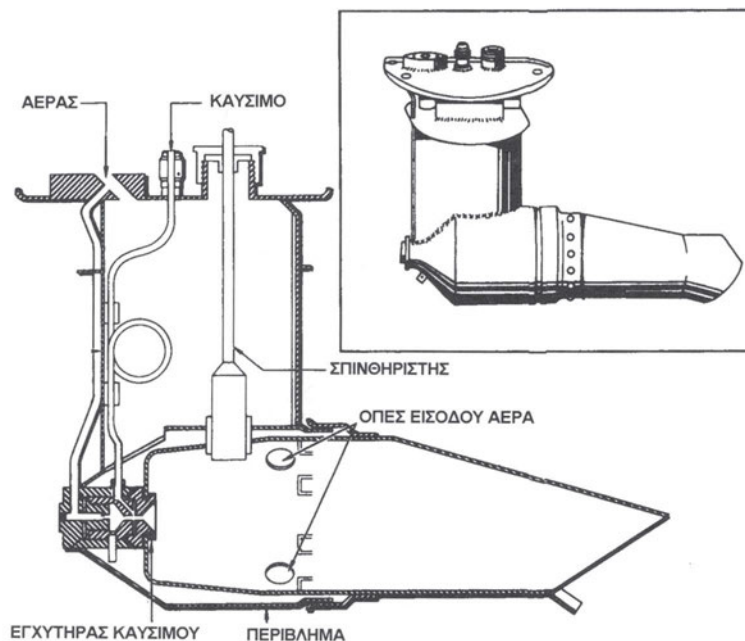


Σχήμα 2.115 Σύστημα έγχυσης καυσίμου μετάκαυσης κινητήρα GE J-79

Θα μπορούσε κάποιος να αναμένει ότι λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας με την οποία τα καυσέρια εισέρχονται στο μετακαυστήρα², η ανάφλεξη του μείγματος που σχηματίζουν με το καύσιμο επιτυγχάνεται μόνη της. Αυτή η κατάσταση εξαρτάται από το ύψος και την ταχύτητα της πτήσης. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται ανεξάρτητη πηγή έναυσης η οποία μπορεί να προέρχεται από σύστημα έναυσης διαφόρων ειδών. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε η έγχυση καυσίμου στο θάλαμο καύσης, πριν το στρόβιλο. Επιτυγχάνεται μία **θερμή φλόγα (hot spot ignition)**, η οποία διαπερνά το στρόβιλο και δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την έναυση στο μετακαυστήρα. Το μειονέκτημα της μεθόδου ήταν η θερμοκρασιακή καταπόνηση των βαθμιδών του στρόβιλου. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε η μέθοδος της καταλυτικής ανάφλεξης. Τα καυσαέρια και το καύσιμο αναμειγνύονται και οδηγούνται πάνω σε μεταλλικό στοιχείο (πλατίνα), όπου και πραγματοποιείται η έναυση. Τέλος, η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι αυτή της χρήσης ενός **συστήματος παροχής σπινθήρων (torch igniter)**. Αυτό τοποθετείται δίπλα σε έναν εγχυτήρα καυσίμου και λειτουργεί, παρέχοντας σπινθήρα, καθόλη τη διάρκεια της λειτουργίας του μετακαυστήρα (Σχήμα 2.116). Έτσι, εξασφαλίζεται η έναυση του μετακαυστήρα, ανεξάρτητα από το ύψος και την ταχύτητα της πτήσης.

¹ Στην περίπτωση αυτή προβλέπεται ιδιαίτερος έλεγχος των δύο παροχών ενώ τα δύο ρεύματα συνδέονται μετά τη δημιουργία των καυσίμων μιγμάτων, ώστε να υποβοηθάται η καύση στο ψυχρό ρεύμα παράκαμψης.

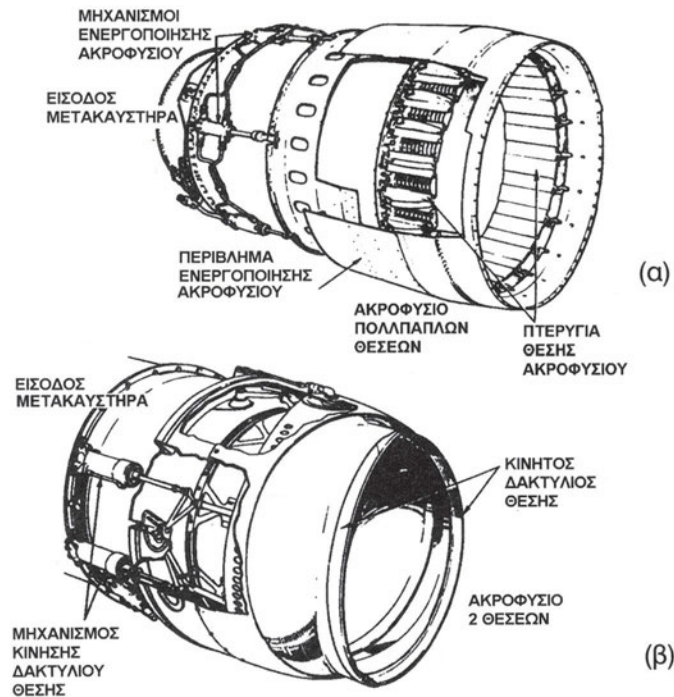
² Της τάξης 550°C - 850°C.



Σχήμα 2.116 Σύστημα παροχής σπινθήρα στο χώρο του μετακαυστήρα

Το ακροφύσιο εξαγωγής αποτελεί ξεχωριστό τμήμα που προσαρμόζεται στον αγωγό εξαγωγής. Καθώς αυξάνεται η ενέργεια των καυσαερίων κατά τη διάρκεια της μετάκαυσης, το ακροφύσιο εξαγωγής πρέπει να είναι σε θέση να αυξήσει την επιφάνεια στην έξοδό του. Τα καυσαέρια με τον τρόπο αυτόν θα εκτονωθούν κανονικά. Από την άλλη πλευρά, η επιφάνεια εξόδου του ακροφυσίου θα πρέπει να επανέλθει στη μικρότερη τιμή της όταν ο μετακαυστήρας σταματήσει να λειτουργεί. Η παραπάνω διαδικασία επιτυγχάνεται με τη χρήση:

- ακροφυσίου δύο θέσεων (ανοικτό - κλειστό, eyelid-type), Σχήμα 2.117α. Το ακροφύσιο φέρει δύο ξεχωριστούς δακτυλίους θέσης, που εξασφαλίζουν την ανοικτή ή κλειστή θέση του ακροφυσίου.
- ακροφυσίου με πτερύγια μεταβλητής θέσης (interlocking flaps), Σχήμα 2.117β. Τα αρθρωτά πτερύγια αυτά κινούνται με λάδι λίπανσης, καύσιμο, αέρα ή ηλεκτρικό ρεύμα και δίνουν στο ακροφύσιο εξαγωγής διατομή ανάλογη με την επιλογή του χειριστή του αεροσκάφους.



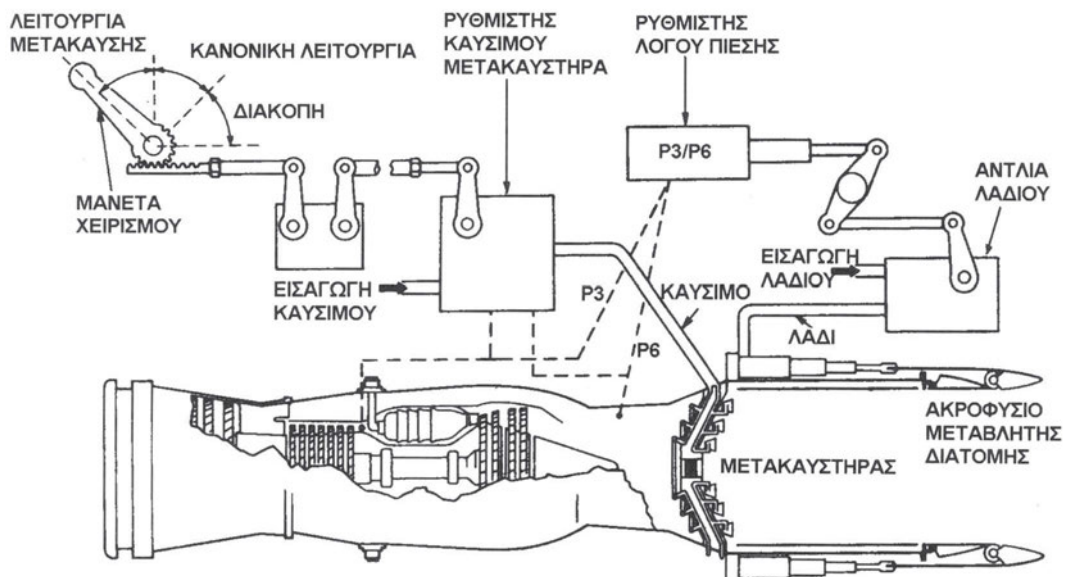
Σχήμα 2.117 Είδη ακροφυσίων

2.11.2 Σύστημα ελέγχου

Για την κανονική λειτουργία του συστήματος μετάκαυσης εγκαθίσταται σύστημα ελέγχου της διατομής του ακροφυσίου εξαγωγής. Αυτό περιλαμβάνει:

- τα πτερύγια (flaps),
- μία αντλία για την παροχή της πίεσης του μέσου που κινεί τα πτερύγια, και
- ένα ρυθμιστή του λόγου της πίεσης του αέρα μετά το συμπιεστή προς την πίεση των καυσαερίων μετά το στρόβιλο, P_3/P_6 .

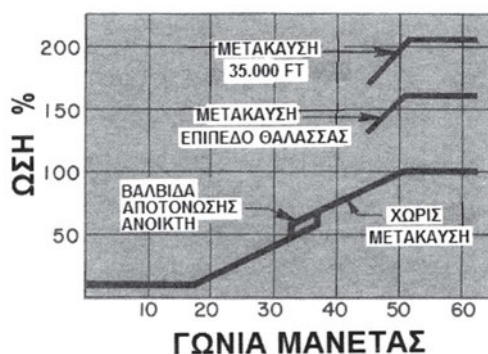
Μετά την επιλογή της λειτουργίας της μετάκαυσης από το χειριστή, ο ρυθμιστής καυσίμου μετάκαυσης αυξάνει την παροχή της αντίστοιχης αντλίας. Το σύστημα ελέγχου καυσίμου μετάκαυσης συνεργάζεται με το σύστημα ελέγχου της διατομής του ακροφυσίου. Η ανάφλεξη του μείγματος καυσίμου μετάκαυσης και καυσαερίων δημιουργεί αύξηση στην πίεση του αγωγού εξαγωγής P_6 (Σχήμα 2.118). Τότε, ο λόγος των πιέσεων P_3/P_6 μεταβάλλεται. Ο ρυθμιστής του λόγου πιέσεων αυξάνει την παροχή της αντλίας που ελέγχει την κίνηση των πτερυγίων, αυτά ανοίγουν και τα καυσαέρια εκτονώνονται. Έτσι, μειώνεται η πίεση στον αγωγό εξαγωγής και αποκαθίσταται και η τιμή του λόγου P_3/P_6 . Με τον τρόπο αυτόν, η λειτουργία του υπόλοιπου κινητήρα δεν επηρεάζεται από την μετάκαυση.



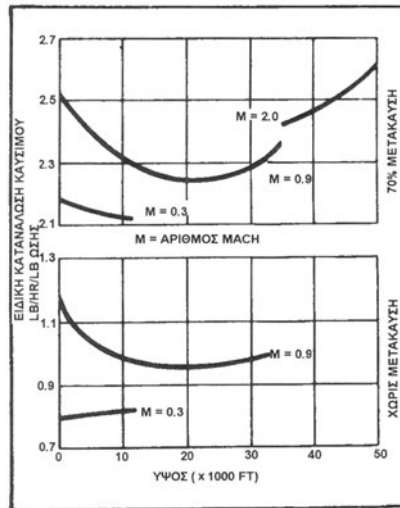
Σχήμα 2.118 Σύστημα ελέγχου διατομής ακροφυσίου εξαγωγής

2.11.3 Αύξηση της ώσης

Καθώς περισσότερο καύσιμο καίγεται στο μετακαυστήρα, τα καυσαέρια αποκτούν μεγαλύτερη ενέργεια και εκτονώνονται σε μεγαλύτερο βαθμό, οπότε επιτυγχάνεται μεγαλύτερη παραγόμενη ώση (Σχήμα 2.119). Το μέγεθος της ώσης αυτής εξαρτάται από την ποσότητα του καυσίμου που εγχύεται στο μετακαυστήρα και τις θερμοκρασίες καυσαερίων που επιτυγχάνονται. Βέβαια, αυτές δεν πρέπει να υπερβαίνουν τη θερμοκρασία αντοχής των υλικών κατασκευής της εξαγωγής του κινητήρα.



Σχήμα 2.119 Αύξηση της παραγόμενης ώσης με τη χρήση συστήματος μετάκαυσης

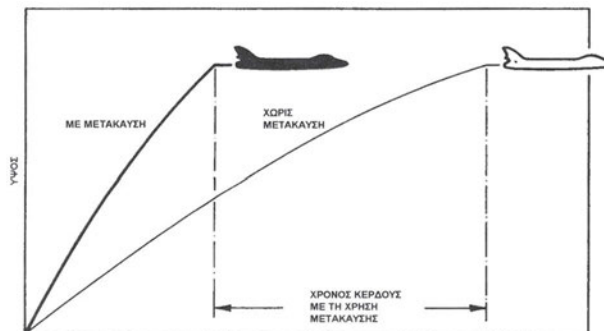


Σχήμα 2.120 Ειδική κατανάλωση καυσίμου ανάλογα με το ύψος πτήσης

2.11.4 Κατανάλωση καυσίμου

Στον αντίποδα της αύξησης της παραγόμενης ώσης με τη χρήση μετάκαυσης, βρίσκεται η αύξηση στην ειδική κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα. Τονίζεται ότι το καύσιμο καίγεται κατά τη διάρκεια της μετάκαυσης με μικρό βαθμό απόδοσης, λόγω των συνθηκών μεγάλης ταχύτητας και μικρής πίεσης του, στις οποίες πραγματοποιείται η καύση. Στο Σχήμα 2.120 παρουσιάζεται η μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου ανάλογα με το ύψος πτήσης του αεροσκάφους χωρίς και με τη χρήση μετάκαυσης.

Όμως, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η χρήση της μετάκαυσης συμβάλλει στη μείωση του χρόνου και της απόστασης απογείωσης και ανόδου του αεροσκάφους, όπως καταγράφεται παραστατικά στο Σχήμα 2.121. Με αυτά τα δεδομένα, η αύξηση στην κατανάλωση καυσίμου που παρατηρείται, και είναι περίπου τρεις έως τέσσερις φορές μεγαλύτερη από την κανονική, δε θεωρείται απαγορευτική για τη χρήση της μετάκαυσης.



Σχήμα 2.121 Η χρήση της μετάκαυσης μειώνει το χρόνο και την απόσταση απογείωσης και ανόδου του αεροσκάφους

Ανακεφαλαίωση

- Η πρώτη εφαρμογή αεριώθησης αποδίδεται στον Έλληνα επιστήμονα **Ήρωνα** που έζησε στην Αλεξάνδρεια τον 1ο αιώνα μ.Χ. Η μηχανή που κατασκεύασε (αιολοπύλη) θεωρείται πρόδρομος των αεριοστρόβιλων κινητήρων.
- Ως πρώτος επιτυχημένος αεριοστρόβιλος αεροπορικός κινητήρας θεωρείται αυτός που σχεδιάστηκε από το μηχανικό **Frank Whittle** 1930.
- Η πρώτη επιτυχημένη πτήση αεριωθούμενου αεροσκάφους πραγματοποιήθηκε στις 27 Αυγούστου 1939 με αεροσκάφος **Heinkel He-178**.
- Στην εποχή μας πραγματοποιούνται πτήσεις αεριωθούμενων αεροσκαφών με ταχύτητες που ξεπερνούν την ταχύτητα του ήχου έως και 5 φορές.
- Ο κινητήρας αεριώθησης παράγει **προωθητική δύναμη (ώση, thrust)**, προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, εξαναγκάζοντας μία μάζα αερίου να κινηθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση εφαρμόζοντας τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα. Τα καυσαέρια ωθούνται προς την εξαγωγή (δράση) και αυτά ασκούν μία δύναμη ή ώση (αντίδραση), στην αντίθετη κατεύθυνση, προς τον κινητήρα και το αεροσκάφος.
- Η ώση είναι μία δύναμη αντίδρασης που εξαρτάται από την επιτάχυνση μίας μάζας αερίου, σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα.
- Οι αεροπορικοί κινητήρες αεριώθησης είναι: ο πύραυλος, ο αθόδουλος ή αυλωθητής, ο παλμικός αθόδουλος ή παλμοθητής, ο αεριοστρόβιλος, ο στροβιλο-αθόδουλος και ο πυραυλο-στρόβιλος.
- Ο **πύραυλος (rocket)** χρησιμοποιεί οξειδωτικό μέσο για την καύση το οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο στο εσωτερικό του.
- Ο **αθόδουλος (ramjet)** αποτελεί τον απλούστερο κινητήρα αεριώθησης διότι δεν έχει κινητά μέρη.
- Ο παλμικός **αθόδουλος (pulse jet)** διαφέρει από τον αθόδυλο μόνο στην κατασκευή της εισαγωγής του αέρα.
- Ο **αεριοστρόβιλος** θεωρείται ως ο πιο αποτελεσματικός κινητήρας αεριώ-

θησης που βρίσκεται σε χρήση στην εποχή μας. Τα βασικά του μέρη είναι ο **συμπιεστής**, ο **θάλαμος καύσης**, ο **στρόβιλος** και το **ακροφύσιο εξαγωγής**. Ο συμπιεστής αποτελεί το ψυχρό τμήμα του κινητήρα και ο θάλαμος καύσης με το στρόβιλο, το θερμό τμήμα. Ο συμπιεστής παίρνει κίνηση από το στρόβιλο μέσω κοινού άξονα. Αυτός κινείται από τα εκτονούμενα θερμά καυσαέρια τα οποία, στη συνέχεια συνεχίζουν την εκτόνωσή τους και περνώντας από το ακροφύσιο εξόδου, εξέρχονται από τον κινητήρα έχοντας πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα από αυτήν της εισερχόμενης μάζας αέρα.

- Οι αεριοστρόβιλοι διακρίνονται, ανάλογα με τον αριθμό των αξόνων τους, σε: αεριοστρόβιλους απλού, διπλού και τριπλού άξονα.
- Στον αεριοστρόβιλο, η παραγωγή ισχύος είναι ανάλογη του ποσού της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση. Η θερμότητα αυτή δε μπορεί να μετρηθεί αλλά υπολογίζεται από τρεις άλλες, γνωστές παραμέτρους: τη θερμοκρασία, τη μάζα (ή το βάρος) αέρα και καυσίμου και την ειδική θερμότητα.
- Ο αεριοστρόβιλος κινητήρας διακρίνεται σε τέσσερις διαφορετικούς τύπους:
 - Το **στροβιλοαντιδραστήρα (turbojet engine)** που αποτελεί την απλούστερη μορφή του. Χρησιμοποιεί τη ροή των καυσαερίων ως το μοναδικό μέσο παραγωγής ώσης. Χαρακτηριστική παράμετρος του είναι ο λόγος συμπίεσης ή λόγος πίεσης μηχανής (engine pressure ratio - EPR).
 - Τον **ελικοστρόβιλο (turbojet engine)**. Χρησιμοποιεί μειωτήρα στροφών για τη μετάδοση κίνησης σε έλικα. Σχεδόν όλη η ενέργεια των καυσαερίων αξιοποιείται για την κίνηση του έλικα και η προσφερόμενη από αυτά ώση είναι πολύ μικρή. Επιτυγχάνει την καλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου συγκριτικά με οποιοδήποτε αεριοστρόβιλο κινητήρα άλλου τύπου.
 - Τον **αξονοστρόβιλο (turboshaft engine)**. Αποτελεί ελικοστρόβιλο κινητήρα που συνδέεται με τον άξονα του στροφείου ενός ελικοπτερου. Επίσης, χρησιμοποιείται, σε κάποιες περιπτώσεις, και ως εναλλακτικό μέσο παροχής ισχύος (Auxiliary Power Unit, APU) σε ένα αεροσκάφος.

- Το **στροβιλοανεμιστήρα (turbofan engine)**. Είναι ένας ελικοστρόβιλος με τον **έλικα (ανεμιστήρας, fan)** μέσα στον κινητήρα. Συνδυάζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του στροβιλοαντιδραστήρα και ελικοστρόβιλου. Η ροή του αέρα εισαγωγής διασπάται στο θερμό ρεύμα (που διέρχεται μέσα από τον κινητήρα) και το ψυχρό ρεύμα (που περνά περιφερειακά του σώματος του κινητήρα στην ίδια αξονική διεύθυνση). Το ρεύμα αυτό συνεισφέρει στην παραγωγή του 80% της ώσης. Ο λόγος του ψυχρού ρεύματος προς το θερμό ρεύμα αέρα καλείται **λόγος παράκαμψης (bypass ratio)**. Διακρίνουμε τους στροβιλοανεμιστήρες υψηλού και χαμηλού λόγου παράκαμψης.
- Στο **στρόβιλο-αθόδυλο (turboramjet engine)**. Αποτελεί συνδυασμό του στροβιλοαντιδραστήρα και του αθόδουλου. Κατά την απογείωση και την προσγείωση ο κινητήρας λειτουργεί ως στροβιλοαντιδραστήρας με μετακαυστήρα.
- Στον **πύραυλο-στρόβιλο (turbo-rocket)**. Αποτελεί εναλλακτική λύση του στροβιλο-αθόδουλου. Μεταφέρει υγρό οξυγόνο σε φιάλες για την καύση, οπότε και δε χρησιμοποιεί ατμοσφαιρικό αέρα. Βασικό πλεονέκτημα του είναι ο μικρός όγκος και το μικρό βάρος.
- Ως βασικά πλεονεκτήματα του αεριοστρόβιλου κινητήρα, έναντι του παλινδρομικού θεωρούνται:
 - ο μικρότερος όγκος και το μικρότερο βάρος του,
 - η επίτευξη πολύ μεγαλύτερου λόγου παραγόμενης ώσης ανά μονάδα βάρους,
 - η περιστροφική λειτουργία του, που μειώνει τις απώλειες από τριβές και την πιθανότητα εμφάνισης κραδασμών,
 - η απλούστερη κατασκευή και οι πιο εύκολες διαδικασίες συντήρησης και ελέγχων, και
 - η δυνατότητα επίτευξης διηχητικών και υπερηχητικών πτήσεων.
- Ως μειονεκτήματα των αεριοστρόβιλων κινητήρων σε σχέση με τους παλινδρομικούς κινητήρες θεωρούνται:
 - η αυξημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου.

- το μεγάλο κόστος κατασκευής, και
- ο κίνδυνος ζημίας σε ζωτικά μέρη λόγω **αναρρόφησης ξένων σωμάτων (Foreign Object Damage, FOD)** κατά τη λειτουργία τους.
- Οι προσπάθειες βελτίωσης των κινητήρων αεριώθησης εστιάζονται:
 - στη βελτίωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και του λόγου παραγόμενης ώσης προς βάρος,
 - στην αύξηση της παραγόμενης ώσης, του λόγου συμπίεσης και της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από το θάλαμο, και
 - στη μείωση της στάθμης θορύβου λειτουργίας και των εκπομπών καυσαερίων στην ατμόσφαιρα.
- Οι φάσεις λειτουργίας εμβολοφόρου και αεριοστρόβιλου κινητήρα είναι οι ίδιες. Στον εμβολοφόρο κινητήρα οι φάσεις πραγματοποιούνται διαδοχικά, η μία μετά την άλλη. Αντίθετα, στον αεριοστρόβιλο οι ίδιες φάσεις λειτουργίας πραγματοποιούνται ταυτόχρονα και συνεχώς, από ένα εξάρτημα αποκλειστικά η κάθε μία.
- Ο θεωρητικός κύκλος λειτουργίας του αεριοστρόβιλου κινητήρα στηρίζεται στο **θερμοδυναμικό κύκλο του Μπράιτον (Brayton)**. Σε σχέση με το θεωρητικό κύκλο λειτουργίας του εμβολοφόρου κινητήρα, όπου η διεργασία της καύσης είναι ισόχωρη, εδώ η καύση πραγματοποιείται υπό σταθερή (ή σχεδόν σταθερή) πίεση.
- Η εισαγωγή του αέρα, που πραγματοποιείται από ειδικό **αεραγωγό εισαγωγής (air inlet duct)**, ουσιαστικά αποτελεί τμήμα του αεροσκάφους και όχι του κινητήρα. Σκοπός του αεραγωγού είναι να κατευθύνει το ρεύμα του εισερχόμενου αέρα προς το συμπιεστή με τις λιγότερες δυνατές απώλειες και με ομοιόμορφη ροή.
- Ο **συμπιεστής (compressor)** συμπιέζει τον εισερχόμενο αέρα στον κινητήρα. Βρίσκεται ακριβώς μετά τον αεραγωγό εισαγωγής. Η λειτουργία του συμπιεστή έχει άμεση επίδραση στη συνολική απόδοση του κινητήρα. Οι τύποι των συμπιεστών που χρησιμοποιούνται στους αεριοστρόβιλους κινητήρες είναι:
 - **φυγοκεντρικής ροής,**

- **αξονικής ροής**, ο οποίος αποτελείται από περιστρεφόμενο μέρος (ρότορας, rotor), και σταθερό μέρος (στάτορας, stator) τα σταθερά πτερύγια του οποίου έχουν τη γεωμετρία διαχύτη στην έξοδό τους, και
- **αξονικής - φυγοκεντρικής ροής**.
- Ο **διάχυτης (diffuser)** κατευθύνει τη μάζα του αέρα, που εξέρχεται από το συμπιεστή, προς το θάλαμο καύσης, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του αέρα σε στατική πίεση. Στο διαχύτη η τιμή της πίεσης λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή της μέσα στον κινητήρα.
- Ο βασικός σκοπός του **θαλάμου καύσης (combustion chamber)** είναι να επιτύχει την καύση συγκεκριμένης ποσότητας μείγματος αέρα (που εξέρχεται από το συμπιεστή) και καυσίμου. Οι θάλαμοι καύσης διακρίνονται, ανάλογα με τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά, στον:
 - **Πολλαπλό τύπο,**
 - **Δακτυλιοειδή τύπο,** και
 - **Σώληνο-δακτυλιοειδή τύπο.**
- Ο **στρόβιλος (turbine)** παρέχει την απαιτούμενη ισχύ για την περιστροφή του συμπιεστή, απορροφώντας ενέργεια από τα καυσαέρια και μετατρέποντάς τη σε μηχανική. Συμπληρωματικά, εξασφαλίζει την κίνηση των **παρελκομένων (accessories)**. Στον ελικοστρόβιλο και τον αξονοστρόβιλο κινητήρα, ο στρόβιλος συμμετέχει στην κίνηση του έλικα. Χρησιμοποιείται αποκλειστικά στρόβιλος αξονικού τύπου. Οι αεριοστρόβιλοι που λειτουργούν με υψηλούς λόγους συμπίεσης χρειάζονται πολυβάθμιους στροβίλους. Η βαθμίδα του στροβίλου αποτελείται από:
 - Μία σειρά **σταθερών πτερυγίων (vanes)**. Η δίοδος που σχηματίζεται μεταξύ τους παρουσιάζει στένωση προς την πλευρά του χείλους εκφυγής τους, προσομοιάζοντας το σχήμα ενός ακροφυσίου.
 - Μία **σειρά κινητών πτερυγίων (blades)**. Η διατομή της περιοχής μεταξύ δύο διαδοχικών από αυτά μειώνεται προς το χείλος εκφυγής τους.
- Η προστασία των σταθερών και των κινητών πτερυγίων του στροβίλου από τις υψηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων επιτυγχάνεται, σε μεγάλο βαθμό με την ψύξη τους με αέρα.

- Το σύστημα εξαγωγής οδηγεί τα καυσαέρια, μετά την τελευταία κινητή βαθμίδα στροβίλου, στην ατμόσφαιρα. Έχει ως στόχο τη μεγιστοποίηση της κινητικής ενέργειας των καυσαερίων στην έξοδο, με αντίστοιχη μείωση της πίεσης στα επίπεδα της ατμοσφαιρικής. Το σύστημα εξαγωγής αποτελείται από:
 - τον κώνο εξαγωγής (**exhaust cone**),
 - τον αγωγό εξαγωγής (**exhaust duct ή jet pipe ή tailpipe**),
 - το ακροφύσιο εξαγωγής (**exhaust nozzle**).
- Ο θόρυβος που παράγει ένας στροβιλοκινητήρας, είναι πιο ενοχλητικός, συγκριτικά με τον θόρυβο κινητήρων άλλων τύπων και οφείλεται σε μεγάλο βαθμό κυρίως στην ανάμειξη των θερμών καυσαερίων υψηλής ταχύτητας με τον περιβάλλοντα αέρα. Στο στροβιλοανεμιστήρα κυριότερη πηγή θορύβου αποτελεί ο ανεμιστήρας. Η μέγιστη ένταση του θορύβου δημιουργείται, όταν το αεροπλάνο βρίσκεται σε γωνία 45° ως προς τον παρατηρητή, ενώ η μείωσή της δεν είναι τόσο ταχεία. Γενικά, χρησιμοποιούνται διατάξεις για τη μείωση του παραγόμενου θορύβου όπως ηχομονωτική επένδυση και αγωγοί που επιτυγχάνουν αύξηση της επιφάνειας ανάμιξης των θερμών καυσαερίων με τον περιβάλλοντα ψυχρό αέρα.
- Ο ευρύτερα διαδεδομένος τρόπος για την ταχεία επιβράδυνση του αεροσκάφους, μετά την προσγείωσή του, είναι η χρήση **αναστροφών ώσης (thrust reversers)**. Το εξάρτημα αυτό δημιουργεί μία “δύναμη φρεναρίσματος”, αλλάζοντας τη μορφή της διαδρομής στην έξοδο του αέρα παράκαμψης ή / και των καυσαερίων, έτσι ώστε αυτά να κατευθυνθούν προς το εμπρόσθιο τμήμα της ατράκτου.
- Η **μετάκαυση** πραγματοποιείται στο **μετακαυστήρα**, που τοποθετείται μεταξύ του στροβίλου και του ακροφυσίου εξαγωγής. Τα καυσαέρια που εξέρχονται από το στρόβιλο, αναμειγνύονται με ποσότητα καυσίμου, καίγονται και αποκτούν περισσότερη ενέργεια η οποία θα αξιοποιηθεί κατά την εκτόνωσή τους στο ακροφύσιο εξαγωγής. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της ταχύτητας εξαγωγής των καυσαερίων και, συνακόλουθα, της παραγόμενης ώσης από τον κινητήρα έως 100%, με δεδομένη την αυξανόμενη κατανάλωση καυσίμου.

Ερωτήσεις

(2.1 Γενικά για την αεριώθηση)

1. Εξηγήστε τη λειτουργία της μηχανής του Ήρωνα.
2. Αναλύστε την εφαρμογή που βρίσκει ο τρίτος νόμος του Νεύτωνα στους κινητήρες αεριώθησης.
3. Τα καυσαέρια ωθούν τον άερα πίσω από τον κινητήρα και το αεροσκάφος κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

4. Ποιοι παράγοντες καθορίζουν την παραγόμενη ώση του κινητήρα;
5. Συμπληρώστε το κενό: Όσο είναι η τιμή της θερμοκρασίας εισαγωγής των καυσαερίων στο στρόβιλο τόσο περισσότερη ενέργεια απορροφάται από αυτόν.
6. Συμπληρώστε τα κενά: Ο κινητήρας αεριώθησης δίνει..... επιτάχυνση σε σχετικά..... μάζα αέρα ενώ ο ελικοφόρος κινητήρας δίνει..... επιτάχυνση σε..... μάζα αέρα.
7. Αναφέρετε τους τύπους αεριωθητών.
8. Γιατί ο πύραυλος έχει τη δυνατότητα να κινείται σε οποιοδήποτε ύψος, μέσα και έξω από την ατμόσφαιρα;
9. Για ποιο λόγο πρέπει ο αθόδυλος να αποκτήσει με κάποιο τρόπο μεγάλη ταχύτητα για να παράγει ώση;
10. Ποια είναι τα βασικά μέρη του αεριοστρόβιλου κινητήρα και η λειτουργία τους;
11. Στον αεριοστρόβιλο κινητήρα η παραγωγή ώσης είναι ανάλογη του ποσού θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

12. Τι είναι ο λόγος πίεσης μηχανής (Engine Pressure Ratio - ERP);

13. Ο στροβιλοαντιδραστήρας επιτυγχάνει την καλύτερη ειδική κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με οποιονδήποτε άλλο αεριοστρόβιλο κινητήρα.
ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ
14. Συμπληρώστε το κενό: στον ελικοστρόβιλο κινητήρα η προσφερόμενη από τα καυσαέρια ώση είναι πολύ.....
15. Ποιος είναι ο ρόλος του ελεύθερου στροβίλου σε έναν ελικοστρόβιλο κινητήρα;
16. Αναλύστε τη λειτουργία του στροβιλοανεμιστήρα.
17. Συμπληρώστε την πρόταση: ο λόγος του ρεύματος προς το ρεύμα αέρα καλείται λόγος παράκαμψης στο στροβιλοανεμιστήρα.
18. Από ποιο παράγοντα καθορίζεται το ανώτατο όριο ταχύτητας ενός αεροσκάφους που κινείται με ελικοστρόβιλο κινητήρα;
19. Ποιον τύπο αεριοστρόβιλου κινητήρα θα χρησιμοποιούσατε σε ένα αεροσκάφος για ταχύτητα πτήσης μεταξύ 500 και 550km/hr;
20. Σε ποιους τομείς εστιάζονται οι νέες τεχνικές σχεδίασης των κινητήρων αεριώθησης;

(2.2 Κύκλος λειτουργίας αεριοστροβίλων)

1. Ποιος θερμοδυναμικός κύκλος περιγράφει τη λειτουργία του αεροστρόβιλου κινητήρα;
2. Στον αεριοστρόβιλο κινητήρα οι φάσεις λειτουργίας πραγματοποιούνται διαδοχικά.
ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ
3. Συμπληρώστε το κενό: Στον αεριοστρόβιλο κινητήρα η διεργασία της πραγματοποιείται υπό σταθερή πίεση.
4. Πώς μπορεί να υπολογιστεί το ωφέλιμο έργο που παράγει ένας αεροστρόβιλος κινητήρας από το διάγραμμα λειτουργίας του;
5. Ποιος είναι ο λόγος ύπαρξης του ακροφυσίου πρόωσης στους αεροπορικούς αεροστρόβιλους κινητήρες;
6. Συμπληρώστε το κενό: Η ολική απόδοση του αεροστρόβιλου είναι πολύ

στενά συνδεδεμένη με την του εισερχόμενου αέρα σε αυτόν.

7. Στον υπολογισμό της απόδοσης του αεροπορικού αεριοστρόβιλου δεν παίζει ρόλο το ύψος πτήσης του αεροσκάφους.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

8. Αναφέρετε τους λόγους για τους οποίους δεν είναι δυνατή η λειτουργία του αεριοστρόβιλου κινητήρα σύμφωνα με το θεωρητικό κύκλο του Μπράυτον.

9. Σε ποιον λόγο οφείλεται η πτώση της απόδοσης στο θάλαμο καύσης των αεριοστρόβιλων κινητήρων;

10. Πού οφείλονται οι απώλειες κατά τη φάση της εκτόνωσης;

(2.3 Εισαγωγή αέρα)

1. Ποιος είναι ο ρόλος του αεραγωγού εισαγωγής στη λειτουργία του αεριοστρόβιλου κινητήρα;
2. Τι είναι η ανάκτηση πίεσης;
3. Με ποιο τρόπο ομαλοποιείται η ροή του αέρα πριν τη είσοδό του στο συμπιεστή;
4. Αναφέρετε τα είδη των αεραγωγών εισαγωγής.
5. Σε τι χρησιμεύει η παροχή ποσότητας αέρα από ειδική βαλβίδα (bleed valve) σε διάφορα σημεία του αεραγωγού εισαγωγής;

(2.4 Συμπιεστές)

1. Ποια είναι η βασική εργασία που εκτελεί ο συμπιεστής;
2. Ποιοι είναι οι τύποι των συμπιεστών που χρησιμοποιούνται στους αεριοστρόβιλους κινητήρες;
3. Οι επικρατούσες φυγόκεντρες δυνάμεις ωθούν τον αέρα κατά τη διεύθυνση του μήκους των πτερυγίων προς την εξωτερική περιφέρεια του τροφείου του φυγοκεντρικού συμπιεστή.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

4. Σε ποια περίπτωση θα χρησιμοποιούσατε φυγοκεντρικό συμπιεστή με τροφείο διπλής εισόδου;
5. Ποια είναι τα μέρη που αποτελούν τον αξονικό συμπιεστή;

6. Συμπληρώστε το κενό: Ο στάτορας είναι, συνήθως, διαιρεμένος σε δύο ημικυκλικά τμήματα στην εσωτερική περιφέρεια των οποίων προσαρμύζονται τα
7. Τι επιτυγχάνεται με τη δημιουργία συστροφής στη γεωμετρία του κινητού πτερυγίου του αξονικού συμπιεστή;
8. Μετά την τοποθέτηση των κινητών πτερυγίων στο δίσκο του συμπιεστή δεν επιτρέπεται η ύπαρξη ανοχής.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

9. Ποια είναι η διαφορά των φαινομένων της περιστρεφόμενης αποκόλλησης και της πάλμωσης;
10. Συμπληρώστε το κενό: Μείωση της γωνίας προσβολής των μπροστινών βαθμιδών του συμπιεστή ώστε να μην υπερβεί την κρίσιμη τιμή της βοηθά στην αντιμετώπιση του φαινομένου της.....

(2.5 Διαχύτες)

1. Πού τοποθετείται το εξάρτημα του διαχύτη στον αεριοστρόβιλο κινητήρα;
2. Ποιος είναι ο σκοπός της χρήσης του διαχύτη;
3. Με ποιο τρόπο μεταβάλλεται η πίεση του αέρα μέσα στο διαχύτη και γιατί;
4. Συμπληρώστε το κενό: Μετά το διαχύτη, ο αέρας εισέρχεται στο θάλαμο καύσης με πίεση και ταχύτητα.
5. Στον αξονικό συμπιεστή, ο συμπιεσμένος αέρας διέρχεται από κινητά πτερύγια για να εισέλθει στο διαχύτη.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

(2.6 Θάλαμοι καύσης)

1. Ποια είναι τα βασικά τμήματα του θαλάμου καύσης;
2. Πώς επιτυγχάνεται η μείωση της ταχύτητάς του, εισερχόμενου από το διαχύτη στο θάλαμο καύσης, ρεύματος αέρα;
3. Τι ποσοστό αέρα από αυτό που εισέρχεται στον θάλαμο καύσης συμμετέχει στη διεργασία της καύσης;
4. Ποιος είναι ο ρυθμός λειτουργίας των σπινθηριστών σε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα;
5. Ποια είναι τα συνήθη υλικά κατασκευής των φλογοθαλάμων;

6. Αναφέρετε τις συγκεκριμένες παραμέτρους που καθορίζουν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του θαλάμου καύσης.
7. Συμπληρώστε το κενό: Η ευσταθής περιοχή λειτουργίας του θαλάμου καύσης περιορίζεται όσο η ταχύτητα του εισερχόμενου ρεύματος αέρα.
8. Οι προσπάθειες που καταβάλλονται για την επίτευξη μεγαλύτερων θερμοκρασιών των καυσαερίων μπορεί να επιφέρουν αύξηση των απωλειών πίεσης στο θάλαμο καύσης.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

9. Συμπληρώστε το κενό: Το μεγάλο πλεονέκτημα του πολλαπλού θαλάμου καύσης είναι ότι οι μεγάλες ακτίνες καμπυλότητας που φέρει, εξασφαλίζουν μεγάλη αντοχή σε

10. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα του δακτυλιοειδούς θαλάμου καύσης;

(2.7 Στρόβιλος)

1. Αναλύστε τη λειτουργία του στροβίλου στον αεριοστρόβιλο κινητήρα.
2. Από ποια μέρη αποτελείται ο στρόβιλος;
3. Ο αριθμός των βαθμίδων του στροβίλου είναι ανεξάρτητος από το ποσό της ενέργειας που θα εξάγεται από τα καυσαέρια και την απαιτούμενη ισχύ του κινητήρα.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

4. Συμπληρώστε το κενό: Οι αεριοστρόβιλοι που λειτουργούν με λόγους συμπίεσης χρειάζονται πολυβάθμιους στροβίλους.
5. Συμπληρώστε τα κενά: Η διάμετρος των πολυβάθμιων στροβίλων κατά την κατεύθυνση της ροής των καυσαερίων καθώς η ταχύτητα και η πίεση των τελευταίων.
6. Για ποιο λόγο ο στρόβιλος υψηλής πίεσης είναι συνήθως μονοβάθμιος;
7. Ο στρόβιλος χαμηλής πίεσης περιστρέφεται με χαμηλότερη ταχύτητα από αυτήν του στροβίλου υψηλής πίεσης.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

8. Περιγράψτε τη λειτουργία των σταθερών πτερυγίων του στροβίλου.
9. Διακρίνετε τις βαθμίδες του στροβίλου ανάλογα με το ποσό της ενέργειας που μετατρέπεται στα σταθερά και τα κινητά πτερυγία του.

10. Με ποιες μεθόδους καταπολεμώνται οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας των βαθμιδών του στροβίλου;

(2.8 Εξαγωγή)

1. Ποια είναι η χρησιμότητα του συστήματος εξαγωγής στον αεριοστρόβιλο κινητήρα;
2. Το σχήμα και το μέγεθος της εξαγωγής δεν επηρεάζουν την πίεση του ρεύματος καυσαερίων που εξωθούνται στην ατμόσφαιρα.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

3. Αναφέρετε τα βασικά εξαρτήματα του συστήματος εξαγωγής και τη λειτουργία τους.
4. Για ποιο λόγο οι αγωγοί εξαγωγής του αξονοστρόβιλου κινητήρα είναι αποκλίνοντες στο τελευταίο τμήμα τους μετά το συγκλίνον τμήμα;
5. Συμπληρώστε το κενό: Η χρήση αγωγού εξαγωγής προκαλεί απώλειες στην των καυσαερίων εξαιτίας των τριβών με τα τοιχώματα.
6. Σε ποιο σημείο τοποθετούνται, συνήθως, τα θερμοστοιχεία για τη μέτρηση της θερμοκρασίας εξαγωγής καυσαερίων (Exhaust Gas Temperature - EGT).
7. Για ποιο λόγο οι αγωγοί εξαγωγής του αξονοστρόβιλου κινητήρα είναι αποκλίνοντες;
8. Συμπληρώστε τα κενά: Στην περίπτωση συγκλίνοντος ακροφυσίου η ταχύτητα των καυσαερίων, ενώ η πίεσή τους
9. Για ποιο λόγο χρησιμοποιούνται τα ακροφύσια μεταβλητής διατομής;
10. Γιατί η χρήση ακροφυσίων μεταβλητής διεύθυνσης εξαγωγής επιτρέπει τη μείωση του μήκους του διαδρόμου κατά την απογείωση και την προσγείωση του αεροσκάφους που χρησιμοποιεί αεριοστρόβιλο κινητήρα;

(2.9 Μείωση Θορύβου)

1. Πότε δημιουργείται η μέγιστη ένταση θορύβου από τη λειτουργία του αεριοστρόβιλου κινητήρα;

2. Αναλύστε τις πηγές θορύβου από τη λειτουργία του αεριοστρόβιλου κινητήρα;
3. Ποιον τύπο αεριοστρόβιλου κινητήρα θα χρησιμοποιούσατε αν μοναδικό κριτήριο επιλογής ήταν το επίπεδο του θορύβου κατά τη λειτουργία και γιατί;
4. Αναφέρατε τις τεχνικές μείωσης του θορύβου λειτουργίας του αεριοστρόβιλου κινητήρα.
5. Οι μειωτές θορύβου επιτρέπουν μεγαλύτερους χρόνους λειτουργίας πριν από τη συνιστώμενη γενική επισκευή από τους κινητήρες.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

(2.10 Αναστροφή Ωσης)

1. Αναφέρετε τις μεθόδους ανακοπής πορείας του αεροσκάφους.
2. Ποιος είναι ο μηχανισμός λειτουργίας του αναστροφέα ώσης;
3. Ποιοι είναι οι τύποι των αναστροφένων ώσης;
4. Ποιοι είναι οι πλέον δοκιμασμένοι και χρησιμοποιούμενοι αναστροφεείς ώσης;
5. Η χρήση των αναστροφένων ώσης μειώνει τη ζωή των ελαστικών και των φρένων του αεροσκάφους.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

(2.11 Μετάκαυση)

1. Σε ποια περίπτωση απαιτείται η χρήση μετάκαυσης;
2. Σε ποιο σημείο του κινητήρα τοποθετείται ο μετακαυστήρας και γιατί;
3. Ποια είναι τα μέρη που αποτελούν το μετακαυστήρα;
4. Συμπληρώστε το κενό: Όταν ο μετακαυστήρας δε βρίσκεται σε λειτουργία, το ακροφύσιο εξαγωγής λειτουργεί με τη μικρότερη δυνατή γεωμετρία εξόδου και ο μετακαυστήρας λειτουργεί σαν
5. Κατά τη διάρκεια της μετάκαυσης το καύσιμο καίγεται με μικρό βαθμό απόδοσης λόγω των συνθηκών μεγάλης ταχύτητας και μικρής πίεσης, στις οποίες πραγματοποιείται η καύση.

ΣΩΣΤΟ ΛΑΘΟΣ

Εργασίες - Δραστηριότητες

1. Επισκεφθείτε την ΕΑΒ. Ενημερωθείτε για τους τύπους των αεροστρόβιλων κινητήρων που χρησιμοποιούνται σήμερα σε αεροσκάφη της Πολεμικής Αεροπορίας. Επίσης, συγκεντρώστε πληροφορίες για τις διαφορές που παρουσιάζει ένας αεροστρόβιλος κινητήρας που χρησιμοποιείται σε στρατιωτικές και πολιτικές εφαρμογές.
2. Συγκεντρώστε πληροφορίες από βιβλιοθήκες, internet, κ.ά. σχετικά με την εξέλιξη των υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μερών αεροπορικών αεροστρόβιλων κινητήρων.
3. Συγκεντρώστε πληροφορίες και ετοιμάστε έκθεση αναφορικά με τις ομοιότητες και τις διαφορές στη λειτουργία των αεροπορικών και των βιομηχανικών αεροστρόβιλων.
4. Ετοιμάστε έκθεση αναφορικά με τους τύπους των καυσίμων, τα οποία χρησιμοποιούνται στους αεροπορικούς αεροστρόβιλους κινητήρες. Περιλάβετε στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη των καυσίμων, τα βασικά χαρακτηριστικά τους και την πιθανή εναλλαξιμότητά τους.
5. Συγκεντρώστε πληροφορίες όσον αφορά τις εξελίξεις στις τεχνικές σχεδιασμού των αεροστρόβιλων κινητήρων με στόχο τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, την ελάττωση του θορύβου λειτουργίας και την χρήση εναλλακτικών καυσίμων.

Εργαστήρια

Εργαστηριακή άσκηση 2.1:

Αναγνώριση εξαρτημάτων αεριοστρόβιλου κινητήρα τύπου στροβιλοαντιδραστήρα

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αναγνωρίζετε τα βασικά μέρη τα οποία αποτελούν το στροβιλοαντιδραστήρα (turbojet) καθώς και τα βασικά επιμέρους εξαρτήματά τους.
- β) Να επισημαίνετε τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των μερών και των εξαρτημάτων που βοηθούν στην αναγνώρισή τους και να αιτιολογείτε τις απαντήσεις σας.
- γ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Ο στροβιλοαντιδραστήρας αποτελεί την απλούστερη μορφή αεριοστρόβιλου κινητήρα. Χρησιμοποιεί τη ροή των καυσαερίων που διέρχεται από το ακροφύσιο εξαγωγής ως μέσο παραγωγής ώσης για την κίνηση του αεροσκάφους. Η παραγωγή ώσης επιτυγχάνεται με την επιτάχυνση μικρών, σχετικά, μαζών αέρα σε υψηλές ταχύτητες.

Χαρακτηριστική παράμετρος του στροβιλοαντιδραστήρα είναι ο **λόγος πίεσης (engine pressure ratio - EPR)**. Αποτελεί το λόγο της πίεσης εξαγωγής των καυσαερίων από το στρόβιλο προς την πίεση του εισερχόμενου αέρα στον κινητήρα. Η τιμή του αποτελεί ένδειξη της παραγόμενης ώσης για μία συγκεκριμένη παροχή ισχύος.

Ο στροβιλοαντιδραστήρας παρουσιάζει αυξημένη κατανάλωση καυσίμου όπως και υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας του θαλάμου καύσης και του στρόβιλου.

Απαιτούμενα μέσα

- Κινητήρας τύπου στροβιλοαντιδραστήρα.

- Κατάλληλη κλίνη για την τοποθέτηση του κινητήρα.
- Εγχειρίδιο γενικής επισκευής (Overhaul Manual) ή μερικής επισκευής (Maintenance Manual) από την κατασκευάστρια εταιρεία.
- Μία σειρά γενικών εργαλείων.

Μέτρα ασφάλειας

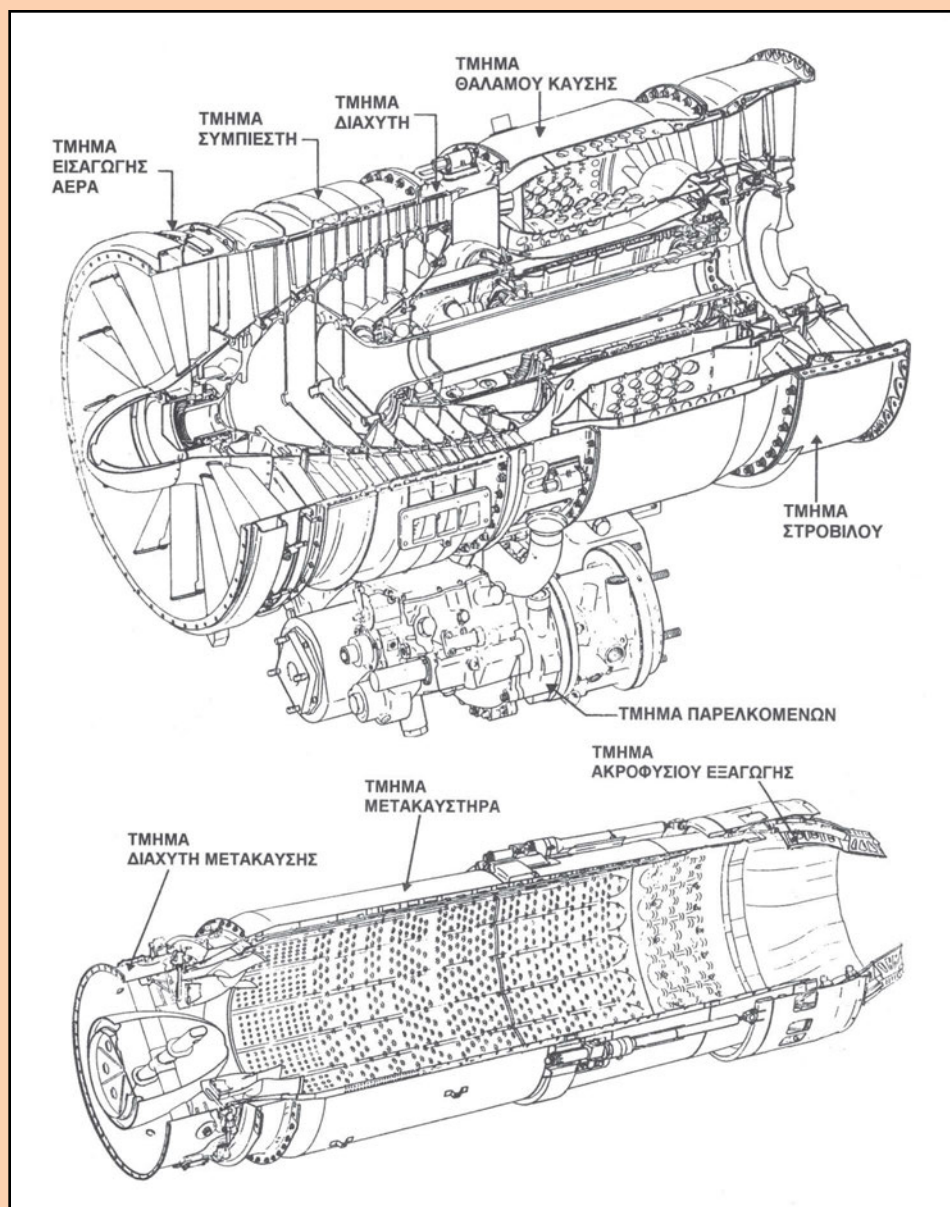
- Βεβαιωθείτε ότι δεν έχει παρέλθει η ημερομηνία επιθεώρησης για την καλή λειτουργική κατάσταση της κλίνης τοποθέτησης του κινητήρα. Η ημερομηνία της τελευταίας και επόμενης επιθεώρησης αναγράφεται σε ειδικό ταμπελάκι που τοποθετείται πάνω στην κλίνη.
- Πριν την πραγματοποίηση οποιασδήποτε εργασίας στον κινητήρα, βεβαιωθείτε για τη σωστή τοποθέτηση του κινητήρα στην κλίνη, ελέγχοντας τα σημεία στήριξης του και τις ασφάλειες τοποθέτησης.
- Εξασφαλίστε την καθαριότητα του χώρου εργασίας γύρω και πάνω στην κλίνη. Ο χώρος θα πρέπει να είναι καθαρός από λάδια, γράσα, καύσιμο, εργαλεία και εξαρτήματα του κινητήρα.

Πορεία εργασίας

1. Επιθεωρήστε οπτικά τον κινητήρα. Εντοπίστε την πινακίδα με τα στοιχεία του κατασκευαστή και του κινητήρα.
2. Αναγνωρίστε τα κύρια μέρη του κινητήρα και περιγράψτε τη λειτουργία τους:
 - Τμήμα εισαγωγής αέρα. Κατευθύνει το ρεύμα του εισερχόμενου αέρα στον κινητήρα, ώστε αυτό να εισέλθει με κατάλληλη γωνία στα πτερύγια του συμπιεστή. Συχνά ονομάζεται front frame section.
 - Τμήμα συμπιεστή. Ο συμπιεστής είναι αξονικού τύπου και αποτελείται από 8 βαθμίδες.
 - Τμήμα διαχύτη.
 - Τμήμα θαλάμου καύσης.
 - Τμήμα στροβίλου. Αποτελείται από δύο βαθμίδες και μεταφέρει κίνηση στο συμπιεστή μέσω κοινού άξονα.
 - Τμήμα διαχύτη μετάκαυσης.
 - Τμήμα μετακαυστήρα.
 - Τμήμα εξαγωγής. Το ακροφύσιο εξαγωγής είναι μεταβλητού τύπου.
 - Τμήμα παρελκομένων.

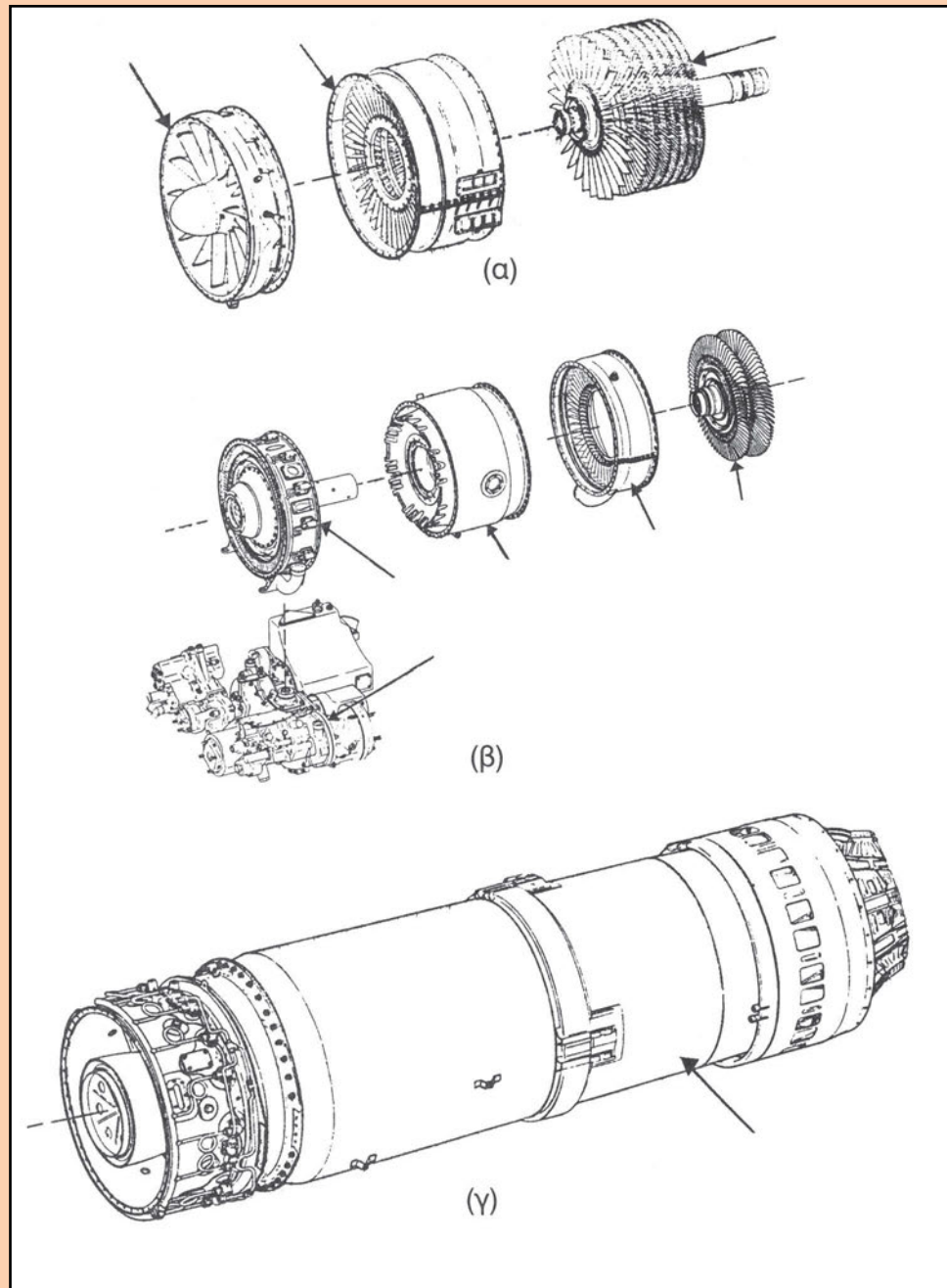
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

Στο Σχήμα 2.122 παρουσιάζονται τα τμήματα αυτά.



Σχήμα 2.122 Τα βασικά τμήματα του στροβιλοαντιδραστήρα

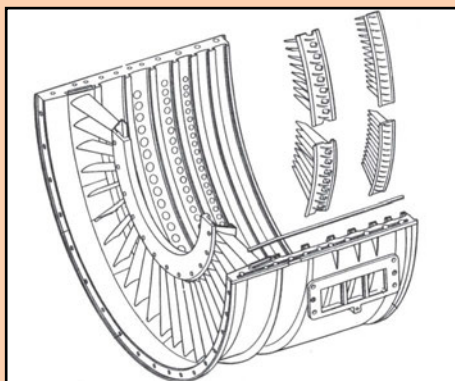
3. Με δεδομένο ότι η σειρά τοποθέτησης των τμημάτων και των εξαρτημάτων είναι από αριστερά προς τα δεξιά, συμπληρώστε τις ονομασίες των τμημάτων που δείχνουν τα βέλη στο Σχήμα 2.123 (α), (β) και (γ).



Σχήμα 2.123 Τμήματα και εξαρτήματα του στροβιλοαντιδραστήρα

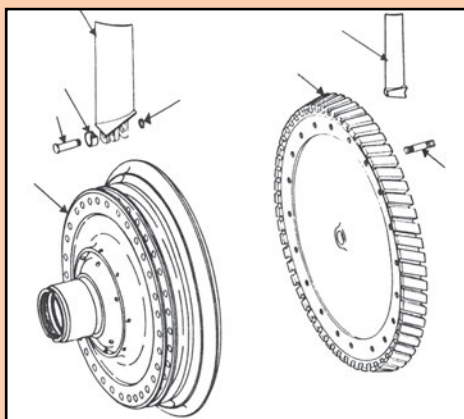
4. Ονομάστε το εξάρτημα του συμπιεστή το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2.124.

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι



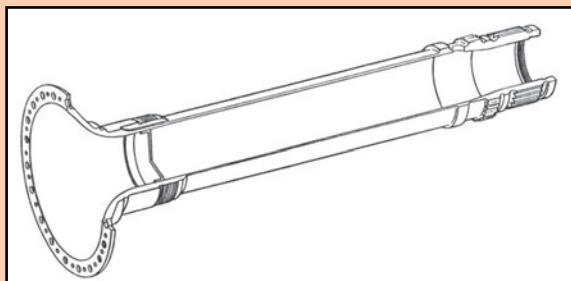
Σχήμα 2.124 Εξάρτημα συμπιεστή

5. Συμπληρώστε τις ονομασίες των τμημάτων που δείχνουν τα βέλη στο Σχήμα 2.125. Σε ποιο εξάρτημα αναφέρεται;



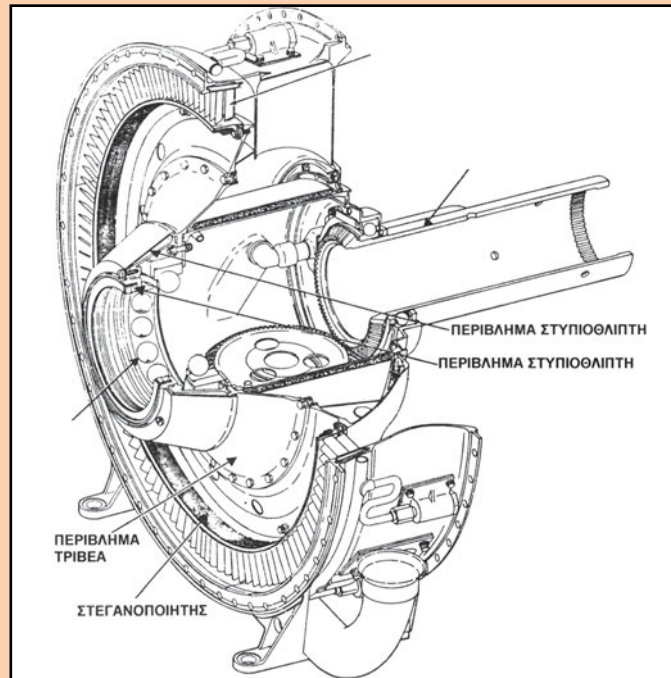
Σχήμα 2.125 Εξαρτήματα του κινητήρα

6. Αναγνωρίστε το εξάρτημα που φαίνεται στο Σχήμα 2.126. Ποια η λειτουργία του;



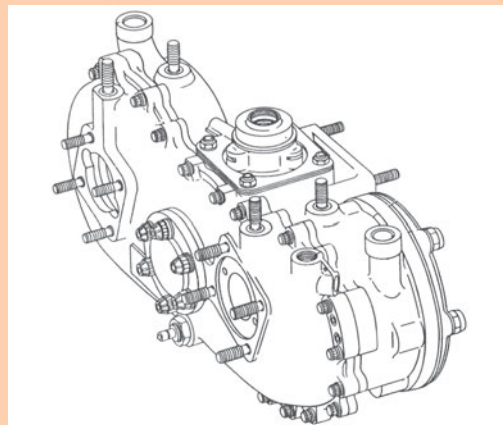
Σχήμα 2.126 Εξάρτημα του κινητήρα

7. Στο Σχήμα 2.127 φαίνεται το τμήμα του κινητήρα που τοποθετείται μετά το τμήμα του συμπιεστή. Αναγνωρίστε το και συμπληρώστε τις ονομασίες των εξαρτημάτων που δείχνουν τα βέλη.



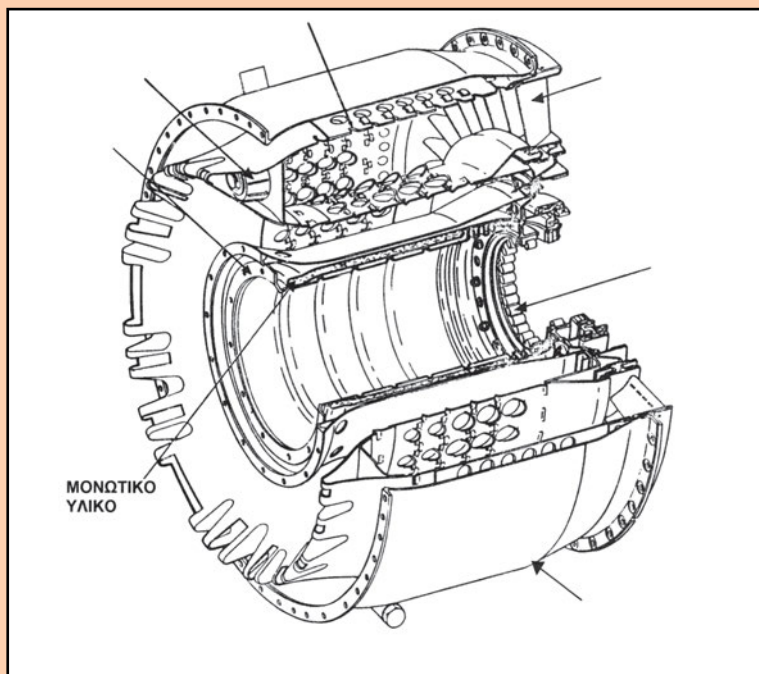
Σχήμα 2.127 Τμήμα του κινητήρα

8. Αναγνωρίστε το τμήμα που φαίνεται στο Σχήμα 2.128. Ποια η χρήση του;



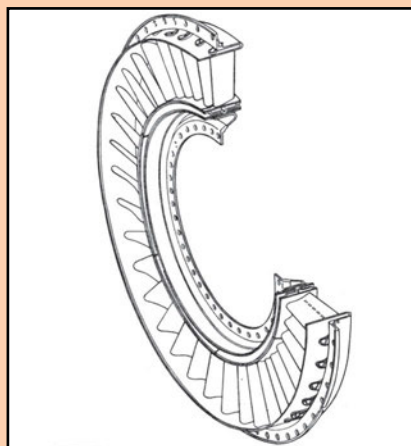
Σχήμα 2.128 Τμήμα του κινητήρα

9. Συμπληρώστε τις ονομασίες των τμημάτων που δείχνουν τα βέλη στο Σχήμα 2.129. Αναγνωρίστε τον τύπο του τμήματος αυτού.



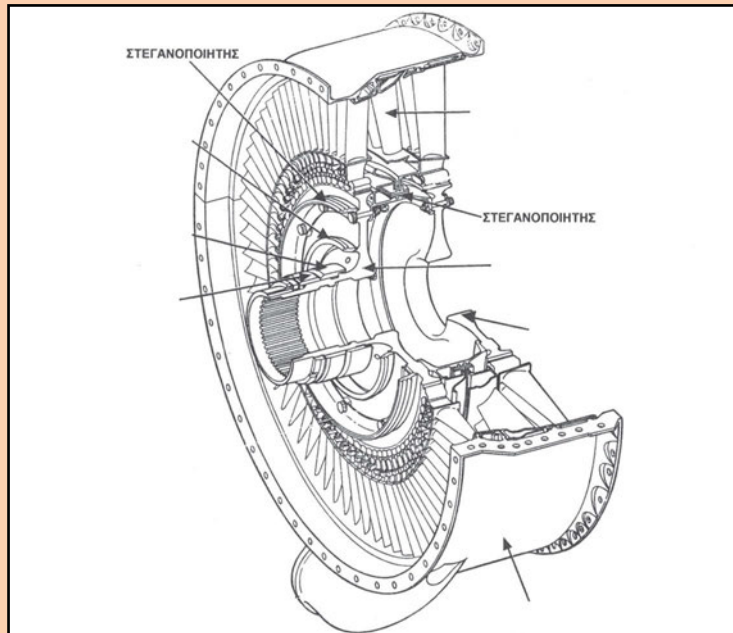
Σχήμα 2.129 Τμήμα του κινητήρα

10. Αναγνωρίστε το εξάρτημα του στροβίλου που φαίνεται στο Σχήμα 2.130 και τοποθετείται αμέσως μετά το θάλαμο καύσης.



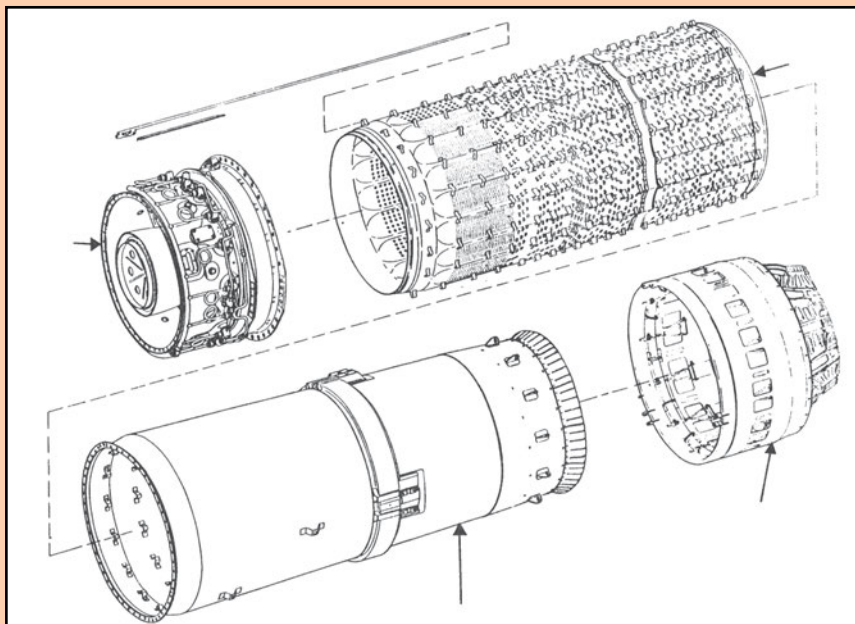
Σχήμα 2.130 Εξάρτημα του στροβίλου

11. Συμπληρώστε τις ονομασίες των εξαρτημάτων που δείχνουν τα βέλη στο Σχήμα 2.131 που παρουσιάζει το τμήμα του στροβίλου.



Σχήμα 2.131 Το τμήμα του στροβίλου

12. Αναγνωρίστε τα τμήματα και τα εξαρτήματα που φαίνονται στο Σχήμα 2.132 και συμπληρώστε τις ονομασίες των τμημάτων που δείχνουν τα βέλη. Αναλύστε τη λειτουργία τους.



Σχήμα 2.132 Τμήματα και εξαρτήματα του κινητήρα

Εργαστηριακή άσκηση 2.2:

Αναγνώριση εξαρτημάτων αεριοστρόβιλου κινητήρα τύπου στροβιλοανεμιστήρα

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αναγνωρίζετε τα βασικά μέρη τα οποία αποτελούν το στροβιλοανεμιστήρα (turbofan) καθώς και τα βασικά επιμέρους εξαρτήματά τους.
- β) Να επισημαίνετε τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των μερών και των εξαρτημάτων που βοηθούν στην αναγνώρισή τους και να αιτιολογείτε τις απαντήσεις σας.
- γ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Ο αεριοστρόβιλος τύπου στροβιλοανεμιστήρα συνδυάζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του στροβιλοαντιδραστήρα και ελικοστρόβιλου. Κατά τη λειτουργία του επιταχύνει μικρότερη μάζα αέρα από τον ελικοστρόβιλο αλλά μεγαλύτερη από το στροβιλοαντιδραστήρα. Αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες πτήσης σε μεγάλα ύψη (όπως ο στροβιλοαντιδραστήρας) και δεν απαιτεί μεγάλο διάδρομο απογείωσης (όπως ο ελικοστρόβιλος). Επιτυγχάνει αυξημένη παροχή ισχύος ανά μονάδα βάρους, καλή ειδική κατανάλωση καυσίμου μειωμένο θόρυβο κατά την απογείωση και την προσγείωση.

Ο αέρας εισαγωγής διασπάται σε δύο ρεύματα: το θερμό και το ψυχρό. Το θερμό ρεύμα διέρχεται μέσα από τον κινητήρα. Το ψυχρό ρεύμα περνά περιφερειακά του σώματος του κινητήρα. Το ρεύμα αυτό συνεισφέρει στην παραγωγή ποσοστού έως και 80% της συνολικής ώσης του κινητήρα. Ο λόγος του ψυχρού ρεύματος προς το θερμό ρεύμα αέρα καλείται λόγος **παράκαμψης (bypass ratio)**. Αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του στροβιλοανεμιστήρα και οι τιμές του κυμαίνονται από 0,5:1 έως 10:1. Ανάλογα με τις τιμές του λόγου, ο στροβιλοανεμιστήρας χαρακτηρίζεται ως υψηλού ή χαμηλού λόγου παράκαμψης.

Ο στροβιλοανεμιστήρας, τα μέρη του οποίου θα κληθείτε να αναγνωρίσετε, είναι υψηλού λόγου παράκαμψης. Αποτελείται από ανεμιστήρα (fan) 2 βαθμιδών, συμπιεστή χαμηλής πίεσης (low pressure compressor) 6 βαθμιδών και συμπιεστή υψηλής πίεσης (high pressure compressor) 7 βαθμιδών. Ο ανεμι-

στήρας και ο συμπιεστής χαμηλής πίεσης παίρνουν κίνηση από το στρόβιλο χαμηλής πίεσης (low pressure turbine), μίας βαθμίδας, μέσω κοινού άξονα. Ο συμπιεστής υψηλής πίεσης κινείται από το στρόβιλο υψηλής πίεσης (high pressure compressor) ο οποίος έχει μία βαθμίδα. Ο θάλαμος καύσης είναι πολλαπλού τύπου. Σημειώστε ότι δεν υπάρχει 3η βαθμίδα συμπιεστή ως ονοματολογία. Στη θέση της έχει τοποθετηθεί δακτύλιος απόστασης.

Απαιτούμενα μέσα

- Κινητήρας τύπου στροβιλοανεμιστήρα.
- Κατάλληλη κλίνη για την τοποθέτηση του κινητήρα.
- Εγχειρίδιο γενικής επισκευής (Overhaul Manual) ή μερικής επισκευής (Maintenance Manual) από την κατασκευάστρια εταιρεία.
- Μία σειρά γενικών εργαλείων.

Μέτρα ασφάλειας

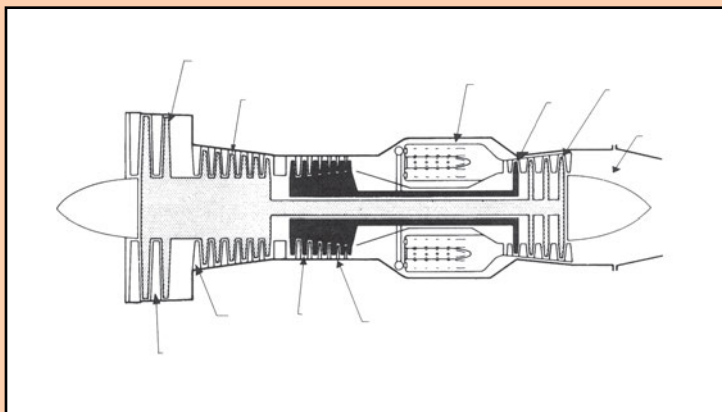
- Βεβαιωθείτε ότι δεν έχει παρέλθει η ημερομηνία επιθεώρησης για την καλή λειτουργική κατάσταση της κλίνης τοποθέτησης του κινητήρα. Η ημερομηνία της τελευταίας και επόμενης επιθεώρησης αναγράφεται σε ειδικό ταμπελάκι που τοποθετείται πάνω στην κλίνη.
- Πριν την πραγματοποίηση οποιασδήποτε εργασίας στον κινητήρα, βεβαιωθείτε για τη σωστή τοποθέτηση του κινητήρα στην κλίνη, ελέγχοντας τα σημεία στήριξης του και τις ασφάλειες τοποθέτησης.
- Εξασφαλίστε την καθαριότητα του χώρου εργασίας γύρω και πάνω στην κλίνη. Ο χώρος θα πρέπει να είναι καθαρός από λάδια, γράσα, καύσιμο, εργαλεία και εξαρτήματα του κινητήρα.

Πορεία εργασίας

1. Επιθεωρήστε οπτικά τον κινητήρα. Εντοπίστε την πινακίδα με τα στοιχεία του κατασκευαστή και του κινητήρα.
2. Αναγνωρίστε τα κύρια μέρη του κινητήρα και περιγράψτε τη λειτουργία τους:
 - Τμήμα εισαγωγής αέρα. Κατευθύνει το ρεύμα του εισερχόμενου αέρα στον κινητήρα, ώστε αυτό να εισέλθει με κατάλληλη γωνία στα πτερύγια του συμπιεστή.
 - Τμήμα συμπιεστή (ανεμιστήρα, συμπιεστή χαμηλής και υψηλής πίεσης).
 - Τμήμα διαχύτη.

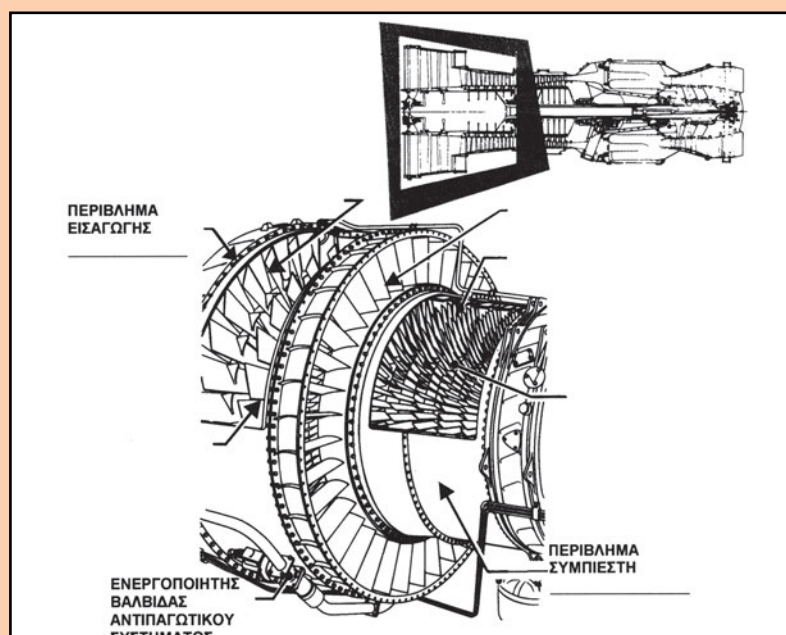
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

- Τμήμα θαλάμου καύσης.
 - Τμήμα στροβίλου (υψηλής και χαμηλής πίεσης), και
 - Τμήμα εξαγωγής.
3. Συμπληρώστε τα κενά στο Σχήμα 2.133.



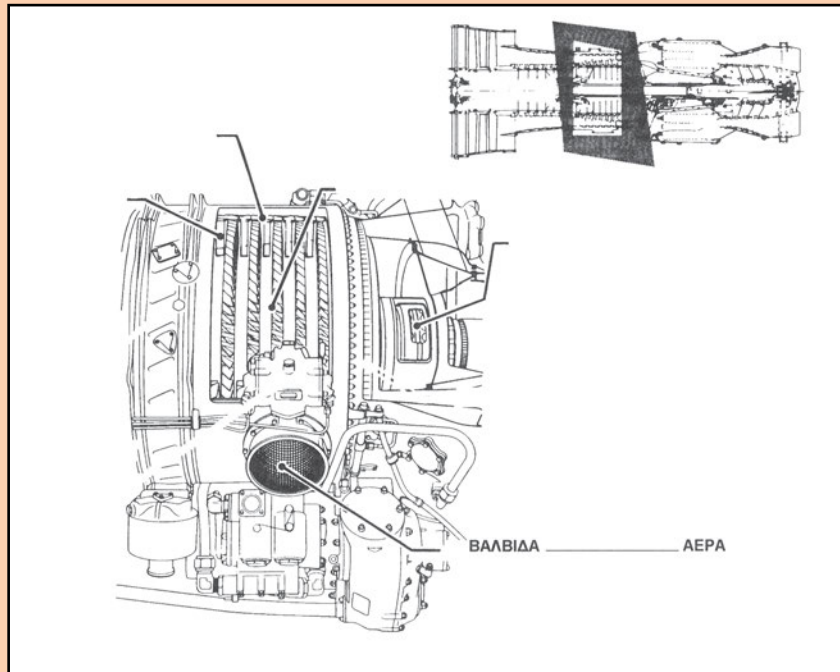
Σχήμα 2.133 Τα βασικά μέρη του στροβιλοανεμιστήρα

4. Αναγνωρίστε τα εξαρτήματα στο τμήμα του ανεμιστήρα και του συμπιεστή χαμηλής πίεσης, Σχήμα 2.134.



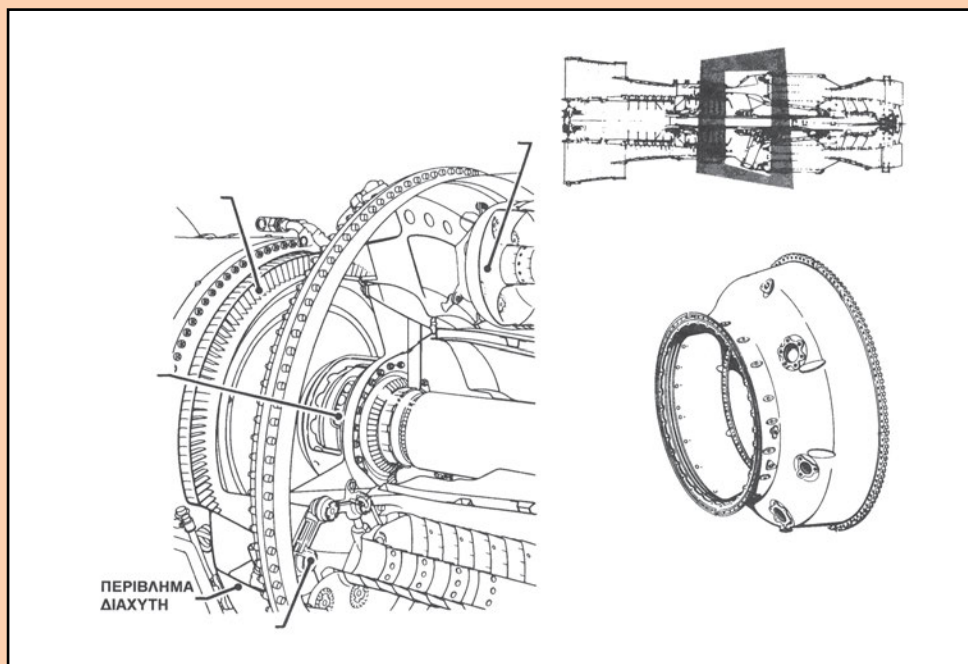
Σχήμα 2.134 Τμήμα ανεμιστήρα και συμπιεστή χαμηλής πίεσης

5. Αναγνωρίστε τα εξαρτήματα στο τμήμα του συμπιεστή υψηλής πίεσης, Σχήμα 2.135.



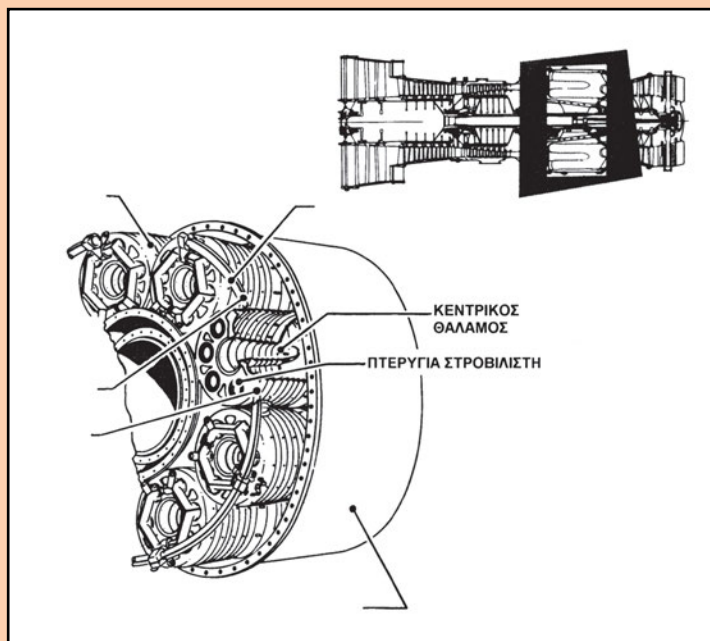
Σχήμα 2.135 Τμήμα συμπίεστή υψηλής πίεσης

6. Αναγνωρίστε τα εξαρτήματα στο τμήμα του διαχύτη, Σχήμα 2.136.



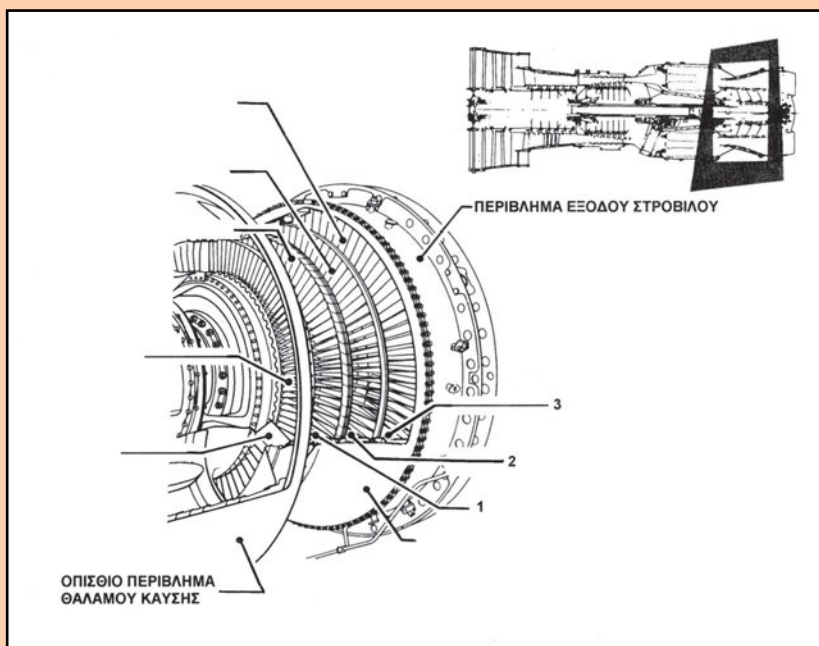
Σχήμα 2.136 Τμήμα διαχύτη

7. Αναγνωρίστε τα εξαρτήματα στο τμήμα του θαλάμου καύσης, Σχήμα 2.137.



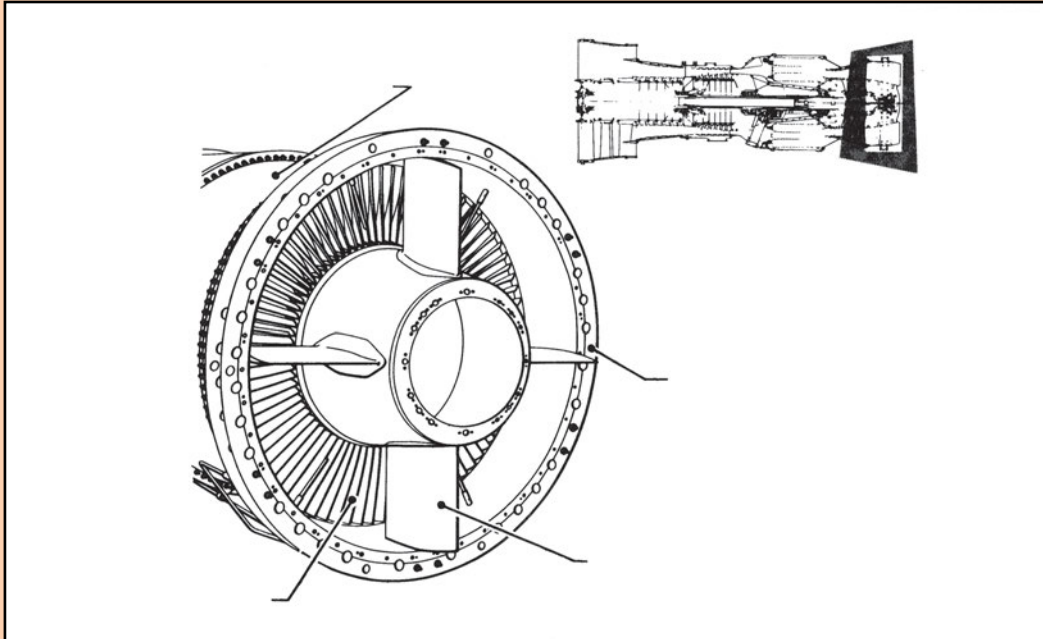
Σχήμα 2.137 Τμήμα θαλάμου καύσης

8. Αναγνωρίστε τα εξαρτήματα στο τμήμα του στροβίλου (υψηλής και χαμηλής πίεσης), Σχήμα 2.138. Ποιο εξάρτημα τοποθετείται στις θέσεις 1, 2 και 3.



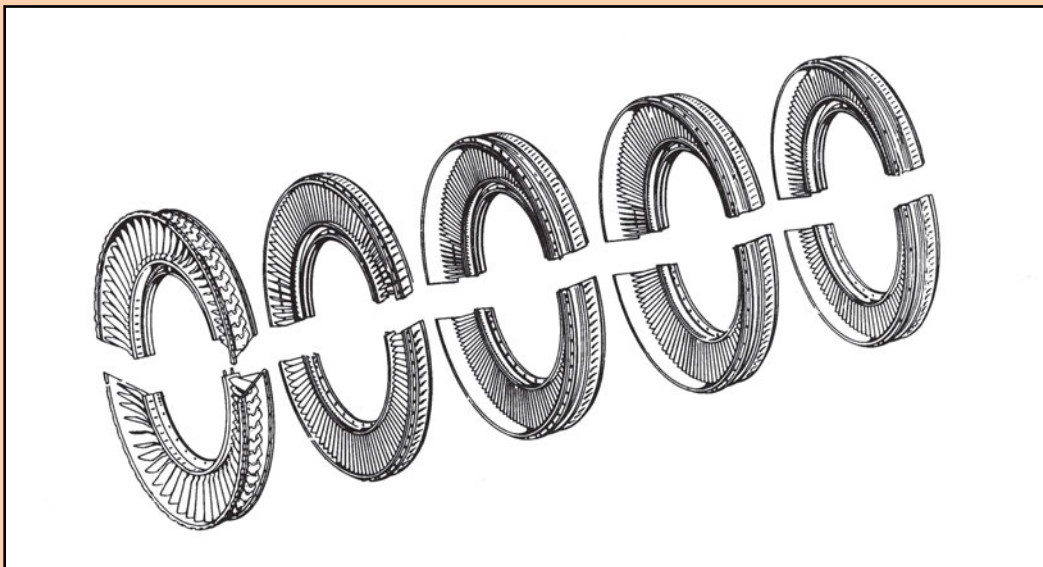
Σχήμα 2.138 Τμήμα στροβίλου

9. Αναγνωρίστε τα εξαρτήματα στο τμήμα εξαγωγής, Σχήμα 2.139.



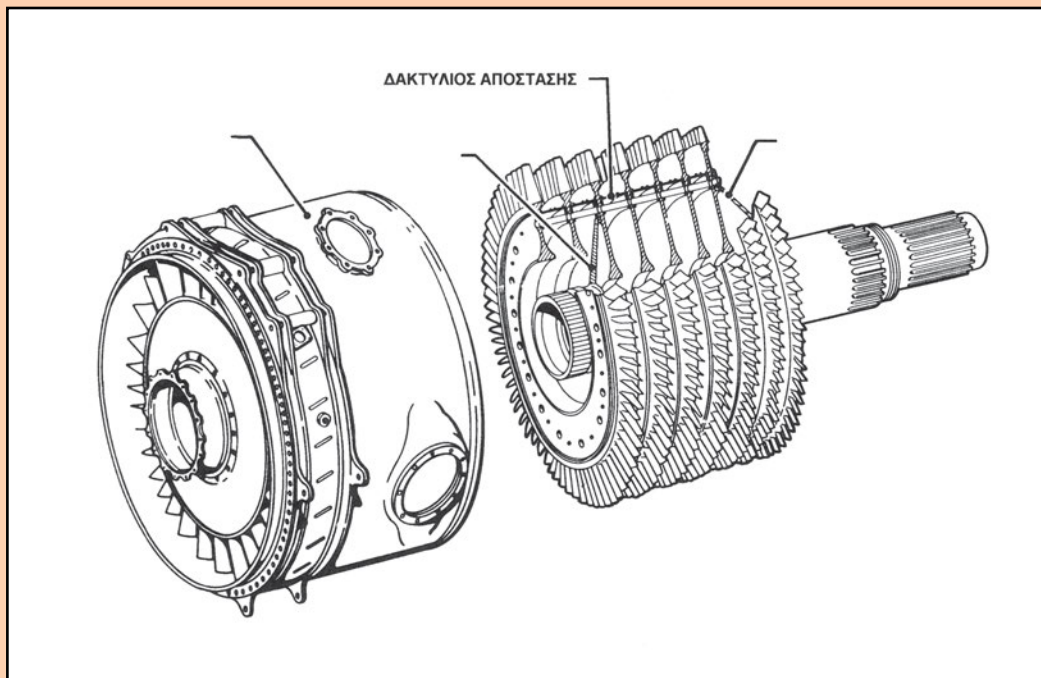
Σχήμα 2.139 Τμήμα εξαγωγής

10. Αναγνωρίστε τα εξαρτήματα του συμπιεστή χαμηλής πίεσης που φαίνονται στο Σχήμα 2.140.



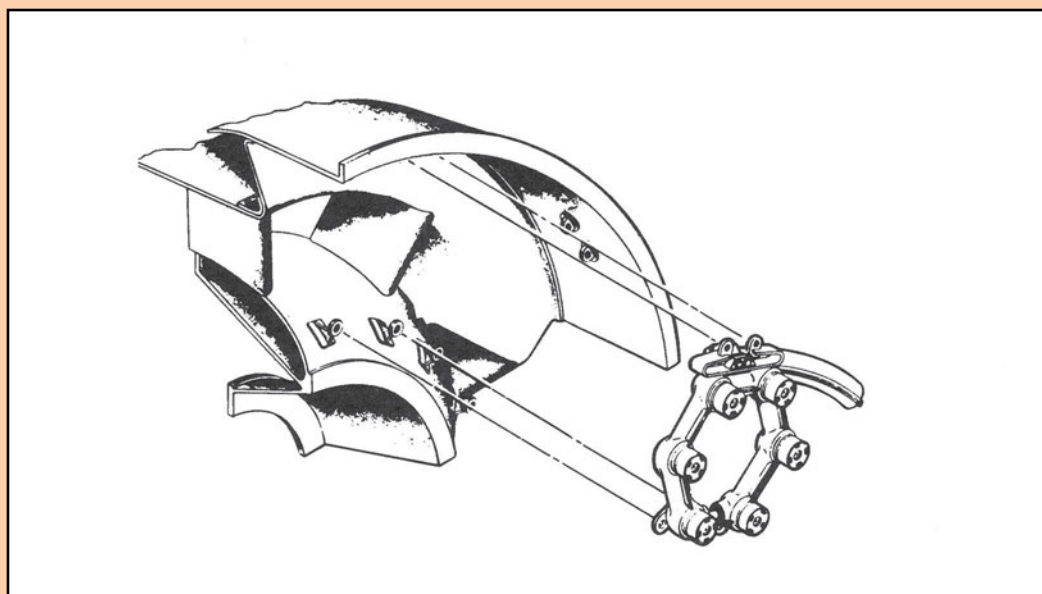
Σχήμα 2.140 Εξαρτήματα του συμπιεστή χαμηλής πίεσης

11. Στο Σχήμα 2.141 (αριστερή πλευρά) φαίνεται το ενδιάμεσο περίβλημα του κινητήρα. Αναγνωρίστε το εξάρτημα στη δεξιά πλευρά του Σχήματος του οποίου το περίβλημα έπεται του ενδιάμεσου.



Σχήμα 2.141 Ενδιάμεσο περίβλημα

12. Αναγνωρίστε το εξάρτημα του θαλάμου καύσης το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 2.142.



Σχήμα 2.142 Εξάρτημα του θαλάμου καύσης

Εργαστηριακή άσκηση 2.3:

Αναγνώριση εξαρτημάτων αεριοστρόβιλου κινητήρα τύπου ελικοστρόβιλου

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αναγνωρίζετε τα βασικά μέρη τα οποία αποτελούν τον ελικοστρόβιλο κινητήρα (turboprop) καθώς και τα βασικά επιμέρους εξαρτήματά τους.
- β) Να επισημαίνετε τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των μερών και των εξαρτημάτων που βοηθούν στην αναγνώρισή τους και να αιτιολογείτε τις απαντήσεις σας.
- γ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

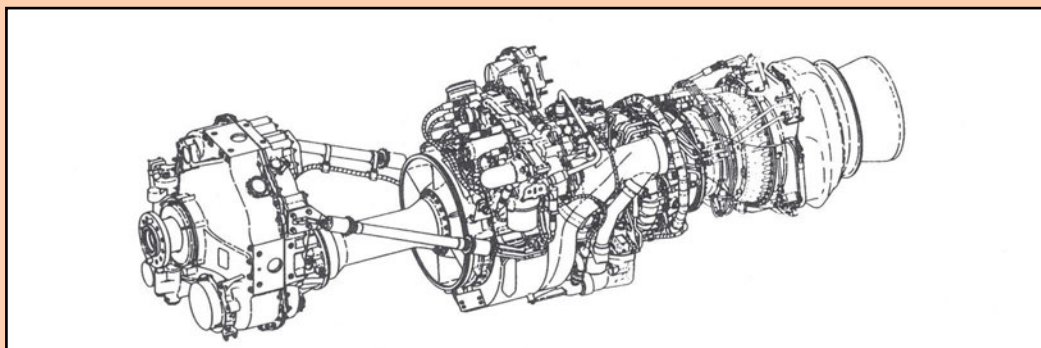
Εισαγωγικές πληροφορίες

Ο ελικοστρόβιλος κινητήρας έχει ευρεία εφαρμογή. Παρουσιάζει ομοιότητα με το στροβιλοαντιδραστήρα. Χρησιμοποιεί, όμως, σύστημα γρاناζιών ως μειωτήρα στροφών για τη μετάδοση κίνησης σε έλικα. Σχεδόν το σύνολο της ενέργειας των καυσαερίων χρησιμοποιείται για την κίνηση του έλικα. Για το λόγο αυτό, η προσφερόμενη από τα καυσαέρια ώση είναι πολύ μικρή. Χρησιμοποιείται, συνήθως, ξεχωριστός στρόβιλος για τη μετάδοση της κίνησης στον έλικα, ο ελεύθερος στρόβιλος (free turbine ή power turbine) ο οποίος συνδέεται με ξεχωριστό άξονα με το μειωτήρα στροφών. Τα άλλα μέρη του κινητήρα (συμπιεστής, θάλαμος καύσης και στρόβιλος) λειτουργούν για να παρέχουν καυσαέρια με υψηλή ενέργεια για την περιστροφή του στροβίλου του έλικα. Η κίνηση του έλικα απορροφά το 90% των παραγόμενων καυσαερίων ενώ το υπόλοιπο 10% συνεισφέρει στην παραγωγή ώσης.

Ο ελικοστρόβιλος κινητήρας επιτυγχάνει την καλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου συγκριτικά με οποιοδήποτε αεριοστρόβιλο κινητήρα άλλου τύπου. Παρουσιάζει, όμως, πολυπλοκότητα στην κατασκευή του.

Στην περίπτωση που ο ελεύθερος στρόβιλος του ελικοστρόβιλου κινητήρα συνδέεται με τον άξονα του στροφείου ενός ελικοπτερου, τότε έχουμε τον αξονοστρόβιλο κινητήρα (turboshaft engine).

Στο Σχήμα 2.143 φαίνεται ένας ελικοστρόβιλος κινητήρας.



Σχήμα 2.143 Ελικοστρόβιλος κινητήρας

Απαιτούμενα μέσα

- Κινητήρας τύπου ελικοστρόβιλου.
- Κατάλληλη κλίνη για την τοποθέτηση του κινητήρα.
- Εγχειρίδιο γενικής επισκευής (Overhaul Manual) ή μερικής επισκευής (Maintenance Manual) από την κατασκευάστρια εταιρεία.
- Μία σειρά γενικών εργαλείων.

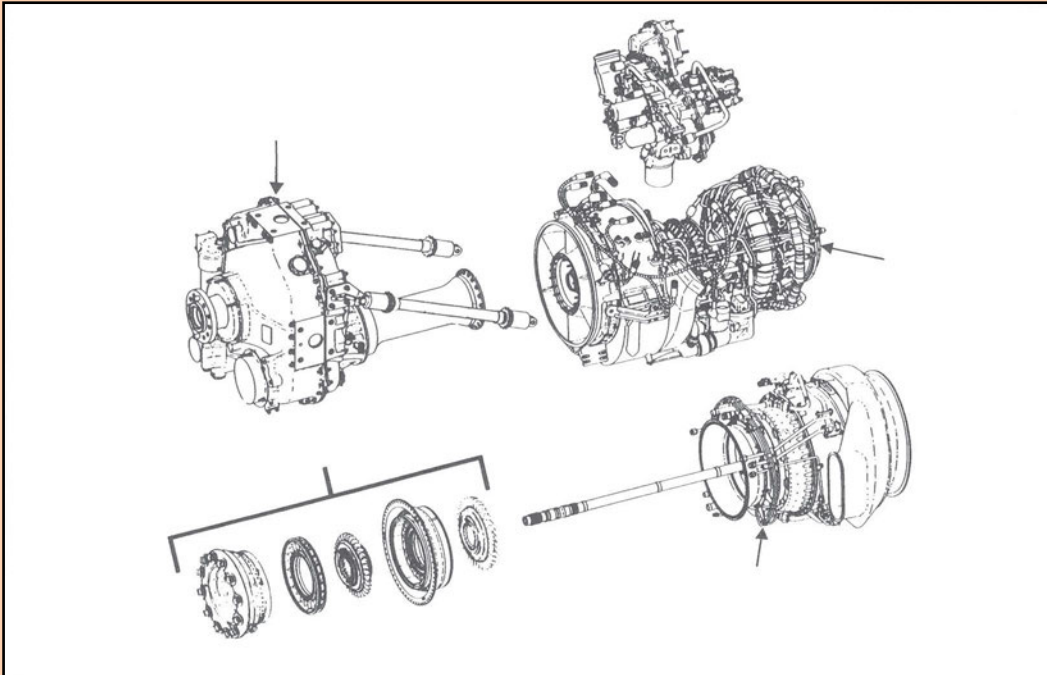
Μέτρα ασφάλειας

- Βεβαιωθείτε ότι δεν έχει παρέλθει η ημερομηνία επιθεώρησης για την καλή λειτουργική κατάσταση της κλίνης τοποθέτησης του κινητήρα. Η ημερομηνία της τελευταίας και επόμενης επιθεώρησης αναγράφεται σε ειδικό ταμπελάκι που τοποθετείται πάνω στην κλίνη.
- Πριν την πραγματοποίηση οποιασδήποτε εργασίας στον κινητήρα, βεβαιωθείτε για τη σωστή τοποθέτηση του κινητήρα στην κλίνη, ελέγχοντας τα σημεία στήριξής του και τις ασφάλειες τοποθέτησης.
- Εξασφαλίστε την καθαριότητα του χώρου εργασίας γύρω και πάνω στην κλίνη. Ο χώρος θα πρέπει να είναι καθαρός από λάδια, γράσα, καύσιμο, εργαλεία και εξαρτήματα του κινητήρα.

Πορεία εργασίας

1. Επιθεωρήστε οπτικά τον κινητήρα. Εντοπίστε την πινακίδα με τα στοιχεία του κατασκευαστή και του κινητήρα.
2. Αναγνωρίστε τα 4 βασικά υπό-συγκροτήματα (modules) του κινητήρα:
 - Συγκρότημα μειωτήρα στροφών (propeller gear-case)
 - Συγκρότημα παρελκομένων (accessory section module)

- Κεντρικό συγκρότημα (core section module). Περιλαμβάνει το ψυχρό τμήμα (cold section) και το θερμό τμήμα (hot section)
 - Συγκρότημα στροβίλου ισχύος (power turbine module)
3. Συμπληρώστε τις ονομασίες των τμημάτων που δείχνουν τα βέλη στο Σχήμα 2.144.

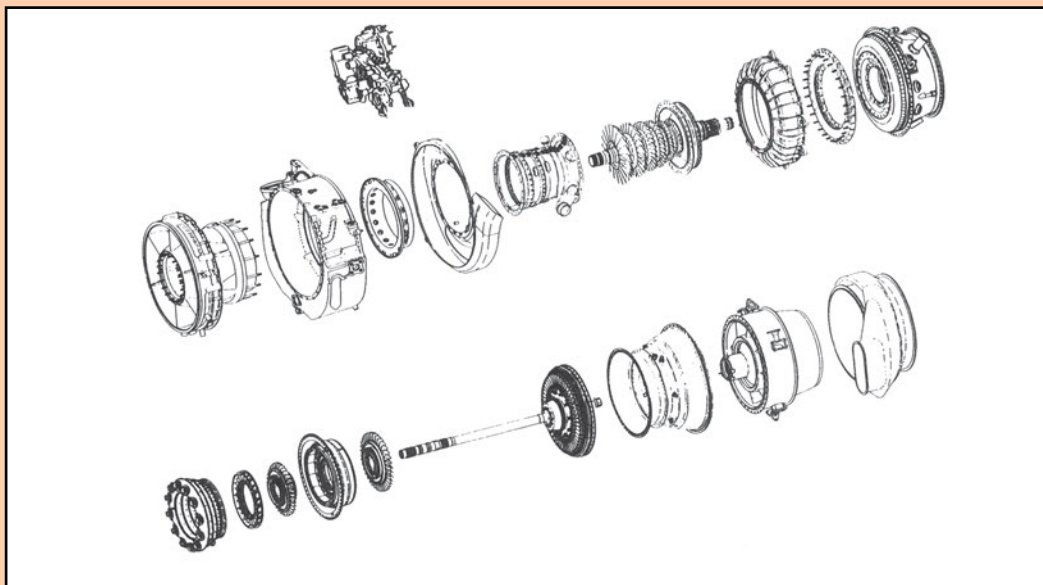


Σχήμα 2.144 Τα βασικά υπό-συγκροτήματα ελικοστροβίλου κινητήρα

4. Αναγνωρίστε τα κύρια τμήματα του κινητήρα και περιγράψτε τη λειτουργία τους:
- Τμήμα εισαγωγής αέρα.
 - Τμήμα συμπίεσής. Αποτελείται από πέντε βαθμίδες αξονικού συμπίεσής και μία βαθμίδα φυγοκεντρικού.
 - Τμήμα διαχύτη.
 - Τμήμα θαλάμου καύσης. Ο θάλαμος καύσης είναι δακτυλιοειδούς τύπου.
 - Τμήμα στροβίλου (gas generator turbine). Αποτελείται από δύο βαθμίδες.
 - Τμήμα στροβίλου ισχύος (power turbine), και

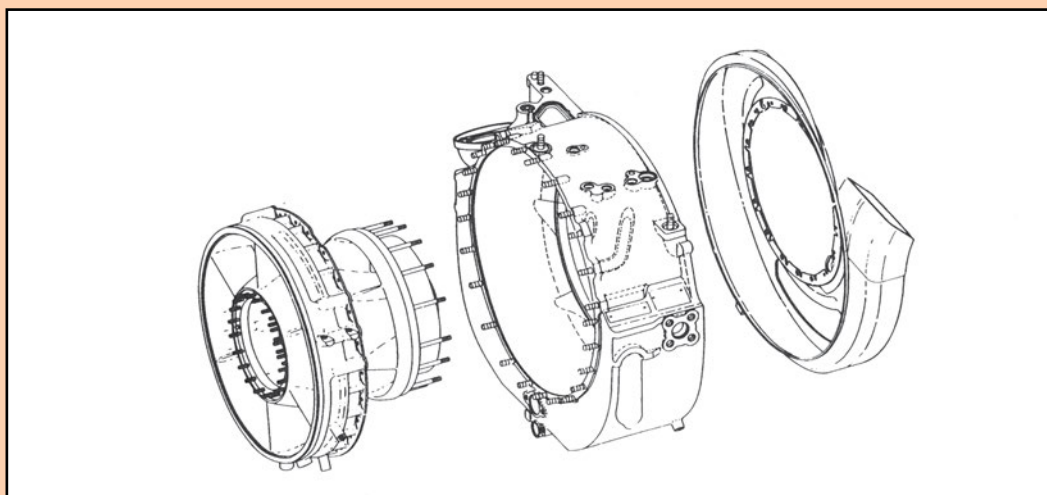
- Τμήμα εξαγωγής.

Στο Σχήμα 2.145 παρουσιάζονται τα τμήματα αυτά, με κάποια από τα βασικά εξαρτήματά τους, με τη σειρά συναρμολόγησής τους.



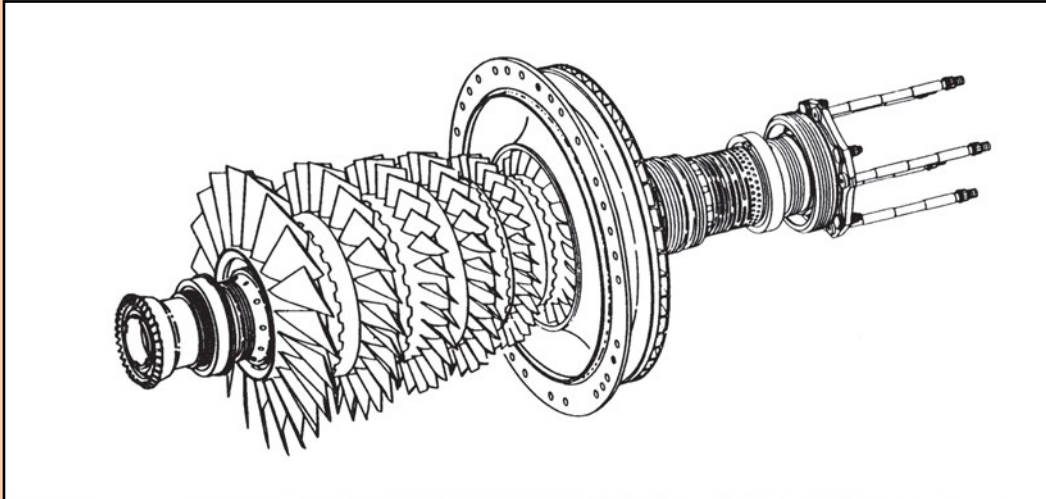
Σχήμα 2.145 Τα βασικά τμήματα του στροβιλοανεμιστήρα

5. Στο Σχήμα 2.146 προσδιορίστε σε ποιο τμήμα του κινητήρα ανήκουν τα εξαρτήματα που εμφανίζονται, θεωρώντας ότι τοποθετούνται με τη σειρά που φαίνονται από αριστερά προς τα δεξιά. Αιτιολογήστε την απάντησή σας.



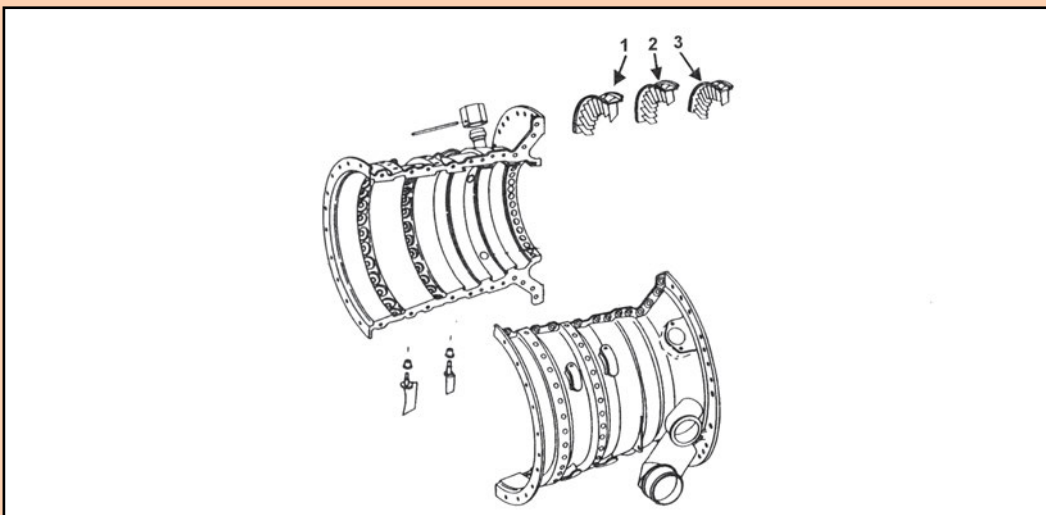
Σχήμα 2.146 Εξαρτήματα βασικού τμήματος του κινητήρα

6. Στο Σχήμα 2.147 φαίνονται ο αξονικός συμπιεστής, ο φυγοκεντρικός συμπιεστής και το δακτυλιοειδές περίβλημά του, καθώς και οι τριβείς No 3 και No 4 του κινητήρα. Προσδιορίστε τα συγκεκριμένα.



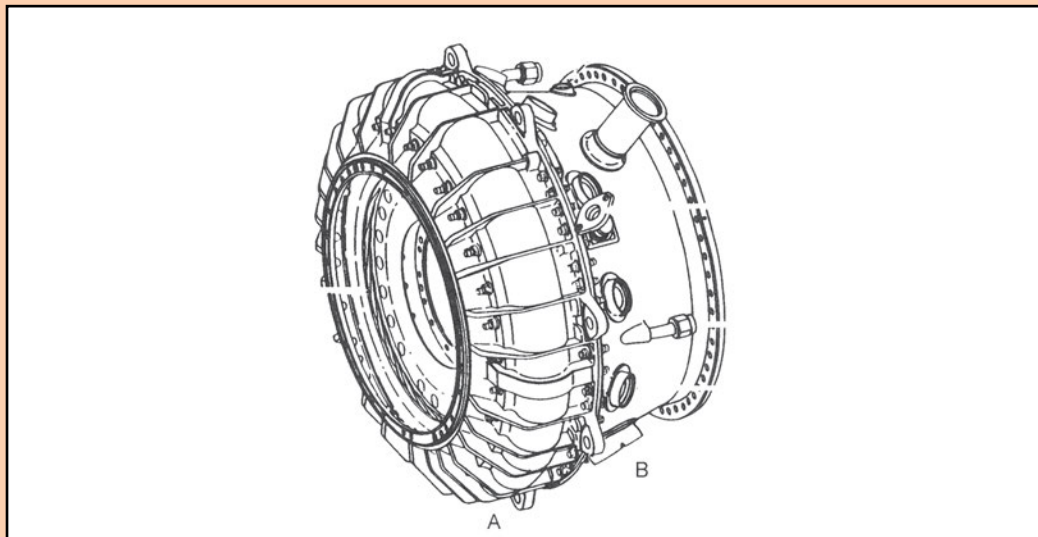
Σχήμα 2.147 Το συγκρότημα ρότορα του συμπιεστή.

7. Θεωρώντας δεδομένο ότι το εξάρτημα που φαίνεται στο Σχήμα 2.148 περιβάλλει το ρότορα του συμπιεστή, δεν περιστρέφεται και ότι τα εξαρτήματα 1, 2 και 3 προσαρμόζονται στην εσωτερική του περιφέρεια, προσδιορίστε την ονομασία και τη χρήση του.



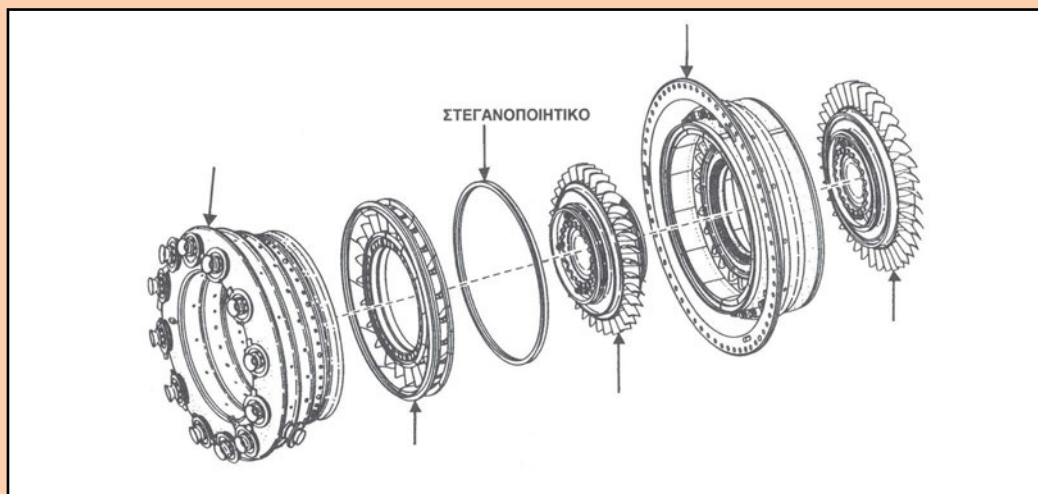
Σχήμα 2.148 Εξάρτημα από το ψυχρό τμήμα του κινητήρα

8. Στο Σχήμα 2.149 το εξάρτημα Β περιβάλλει το θάλαμο καύσης. Αιτιολογήστε. Στο ίδιο Σχήμα, το εξάρτημα Α τοποθετείται ακριβώς μετά το τμήμα του συμπιεστή. Ονομάστε το.



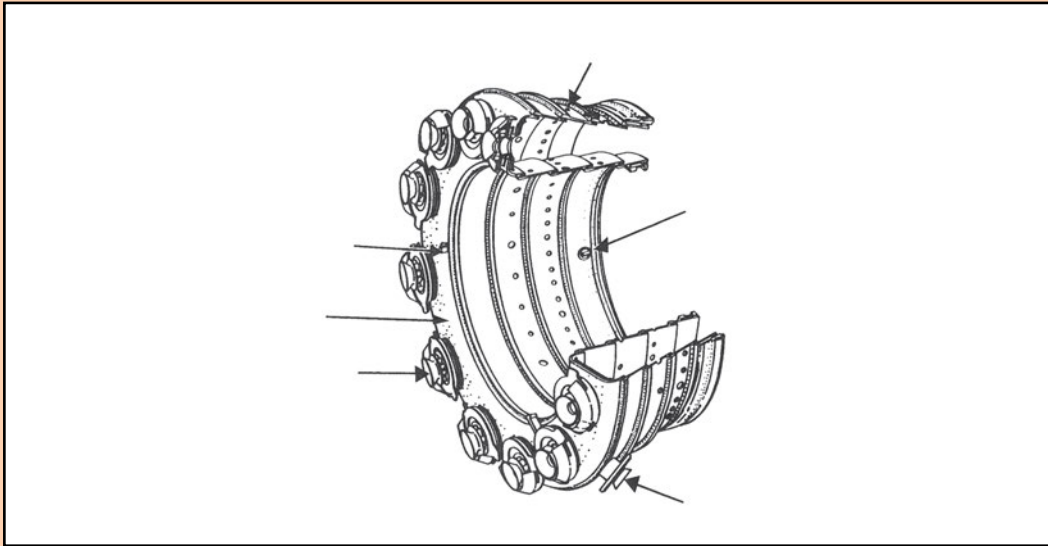
Σχήμα 2.149 Εξαρτήματα του κινητήρα

9. Στο Σχήμα 2.150 προσδιορίστε το θάλαμο καύσης καθώς και τους ρότορες και τους στάτορες του στροβίλου.



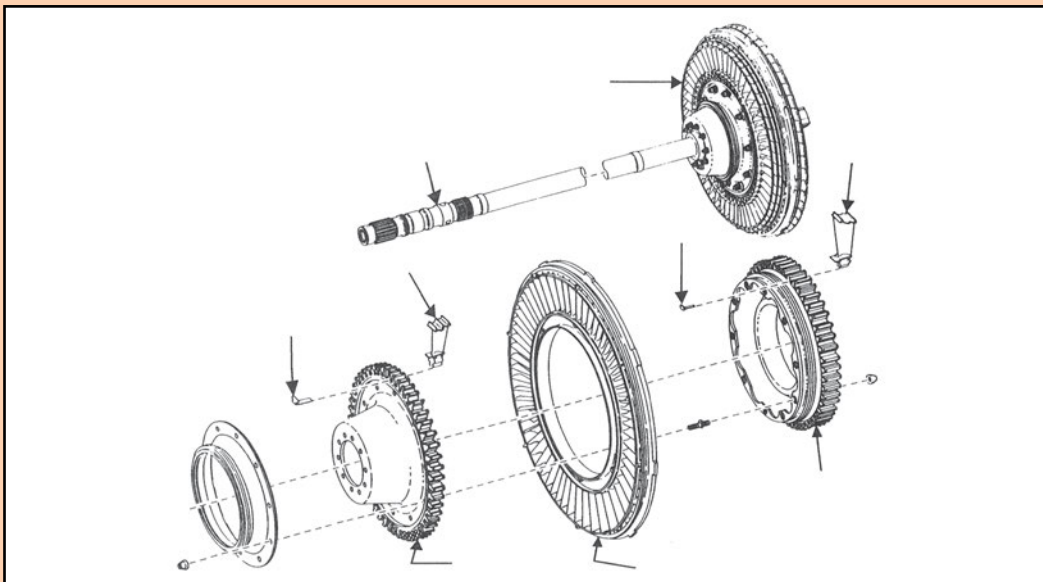
Σχήμα 2.150 Εξαρτήματα από το θερμό τμήμα του κινητήρα

10. Στο Σχήμα 2.151 παρουσιάζεται ο θάλαμος καύσης του κινητήρα. Συμπληρώστε τις ονομασίες των εξαρτημάτων που δείχνουν τα βέλη.



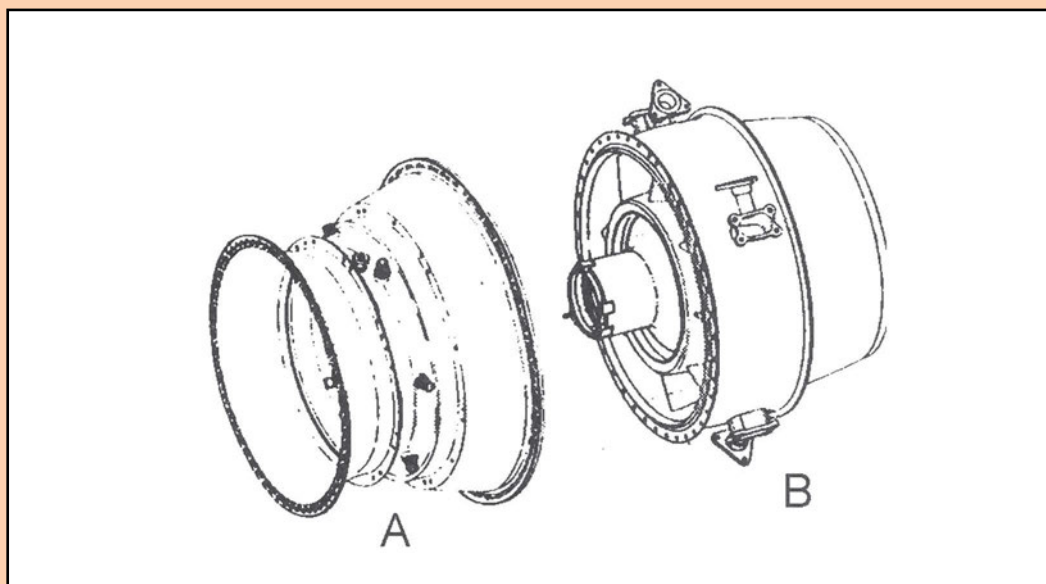
Σχήμα 2.151 Ο θάλαμος καύσης

11. Προσδέστε τα εξαρτήματα που φαίνονται στο Σχήμα 2.152 και τη λειτουργία τους στον κινητήρα. Αιτιολογήστε την απάντησή σας.



Σχήμα 2.152 Εξαρτήματα από το θερμό τμήμα του κινητήρα

12. Προσδιορίστε το εξάρτημα που φαίνεται στο Σχήμα 2.153 με δεδομένο ότι τοποθετείται ακριβώς μετά το περίβλημα του στροβίλου ισχύος (Σχήμα 2.153 Α).



Σχήμα 2.153 Εξάρτημα του κινητήρα

Εργαστηριακή άσκηση 2.4:

Αφαίρεση / τοποθέτηση κινητήρα σε κλίνη εργασίας και κιβώτιο μεταφοράς

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αφαιρείτε και επανατοποθετείτε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα στο κιβώτιο μεταφοράς του,
- β) Να αφαιρείτε και να επανατοποθετείτε τμήματα ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα, όπως είναι το σύστημα μετάδοσης κίνησης ενός ελικοστρόβιλου κινητήρα, στο ιδιαίτερο κιβώτιο μεταφοράς του,
- γ) Να τοποθετείτε έναν αεριοστρόβιλο κινητήρα στην κλίνη εργασίας, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο βιβλίο οδηγιών γενικής επισκευής του κατασκευαστή (το ίδιο ισχύει και για τις παραγράφους (α) και (β)).
- δ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Ο κινητήρας στον οποίο θα αναφερθούμε στην παρούσα άσκηση είναι τύπου ελικοστρόβιλου. Παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα της τοποθέτησης του **κιβωτίου μετάδοσης κίνησης (reduction gear box)** σε ξεχωριστό κιβώτιο μεταφοράς, αν αυτό απαιτηθεί. Για την αποθήκευσή του, οι οδηγίες που ακολουθούν είναι σημαντικές:

A. Γενικά

Η περίοδος παραμονής του κινητήρα στο κιβώτιο μεταφοράς ποικίλλει:

1. Από 0 έως 7 ημέρες. Δεν απαιτείται η πλήρωση με **λάδι προστασίας (preservation)** με την προϋπόθεση της αποφυγής της έκθεσης του κιβωτίου μεταφοράς σε υψηλές θερμοκρασιακές μεταβολές και υψηλές τιμές υγρασίας.
2. Από 8 έως 28 ημέρες. Δεν απαιτείται η πλήρωση με λάδι προστασίας με την προϋπόθεση του ερμητικού σφραγίσματος των ανοιγμάτων και των οπών του κινητήρα. Επιβάλλεται η τοποθέτηση ειδικών πλαστικών σακιδίων σιλικόνης για τη διατήρηση της υγρασίας σε τιμές χαμηλότερες του 40%. Ενδεικτής υγρασίας πρέπει να τοποθετηθεί στο εσωτερικό του κιβωτίου μεταφοράς, το οποίο πρέπει να φέρει ειδικά παράθυρα για την ανάγνωσή του.
3. Από 29 έως 90 ημέρες. Τα μέτρα διατήρησης και ελέγχου της υγρασίας είναι όμοια με τα παραπάνω. Οι οπές εισαγωγής και εξαγωγής πρέπει να είναι καλυμμένες. Το σύστημα καυσίμου πρέπει να πληρωθεί με λάδι προστασίας, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
4. Παραπάνω από 90 ημέρες. Επιπρόσθετα με τα παραπάνω μέτρα, το σύστημα λαδιού πρέπει να πληρωθεί με λάδι προστασίας, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

B. Επιθεώρηση

1. Στην περίπτωση φύλαξης του κιβωτίου μεταφοράς σε εξωτερικό χώρο, ο ενδεικτής υγρασίας πρέπει να ελέγχεται κάθε 15 ημέρες, διαφορετικά ο έλεγχος πρέπει να γίνεται κάθε 30 ημέρες.
2. Στην περίπτωση ανόδου της υγρασίας άνω του 40%, τα σακίδια σιλικόνης πρέπει να αντικατασταθούν.

Οι διαστάσεις των κιβωτίων μεταφοράς του κινητήρα (σε m) έχουν ως εξής:

1. Κιβώτιο μεταφοράς κινητήρα στο σύνολό του: ΜxΠxΥ (2,5x0,97x1,2), με βάρος 370 kg (άδειο).

2. Κιβώτιο μεταφοράς κιβωτίου μετάδοσης κίνησης: ΜxΠxΥ (0,97x0,90x0,95), με βάρος 65 kg (άδειο).
3. Κιβώτιο μεταφοράς κινητήρα χωρίς το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης: ΜxΠxΥ (1,8x1,1x1,2), με βάρος 260 kg (άδειο).

Απαιτούμενα μέσα

- Κινητήρας του προαναφερόμενου τύπου,
- Κιβώτιο μεταφοράς,
- Περιστρεφόμενη κλίνη για την τοποθέτησή του,
- Εγχειρίδιο γενικής επισκευής,
- Μία σειρά των απαραίτητων ειδικών εργαλείων για τις διαδικασίες αφαίρεσης και τοποθέτησης του κινητήρα στο κιβώτιο μεταφοράς και στην κλίνη εργασίας,
- Γενικά εργαλεία,
- Μικρός γερανός με σχοινιά ανάρτησης (“σαμπάνια”) ή αλυσίδες ή ιμάντες βαρούλκων.

Μέτρα ασφαλείας

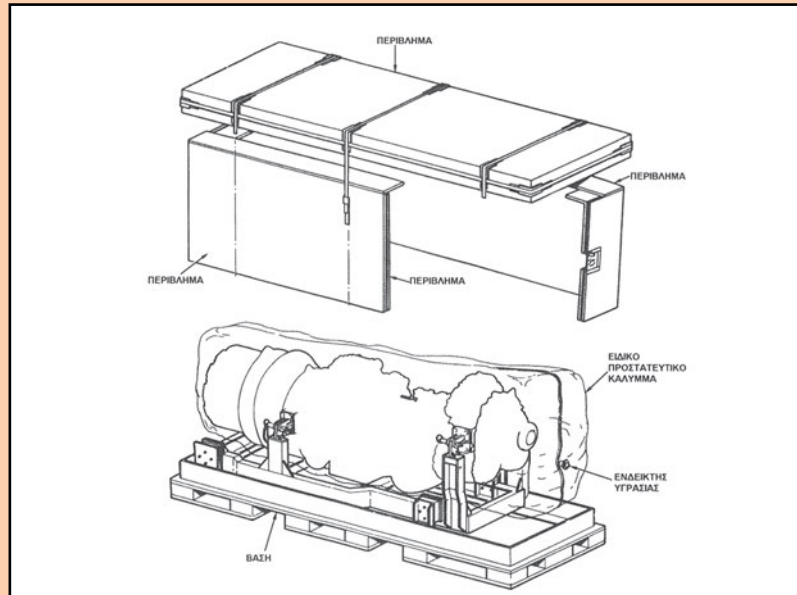
Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφαλείας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

Πορεία εργασίας

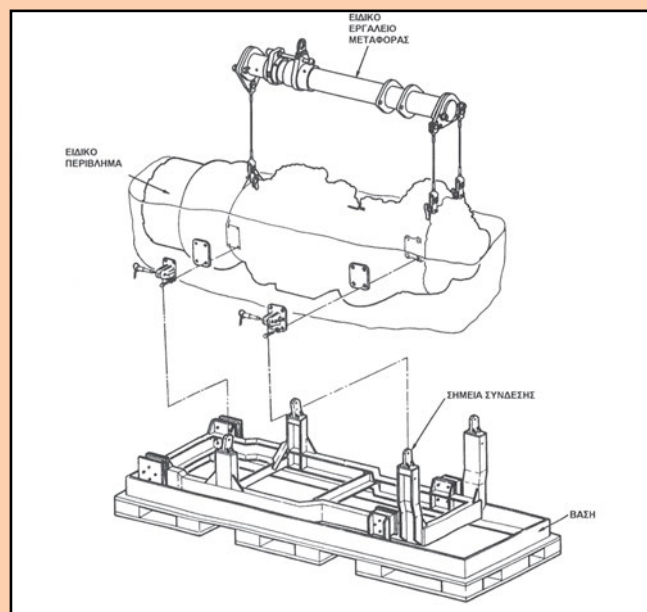
A. Αφαίρεση του κινητήρα από το κιβώτιο μεταφοράς.

1. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες αφαίρεσης / τοποθέτησης του κινητήρα από το κιβώτιο μεταφοράς καθώς και τις οδηγίες τοποθέτησής / αφαίρεσής του από την κλίνη εργασίας, όπως αυτές δίνονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής.
2. Αναγνωρίστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία, τα οποία απαιτούνται και βεβαιωθείτε ότι είναι διαθέσιμα.
3. Τοποθετήστε το κιβώτιο μεταφοράς σε σημείο κατάλληλο για τη χρήση του γερανού μεταφοράς.

4. Αφαιρέστε το μεταλλικό περίβλημα του κιβωτίου. Σε ιδιαίτερη θήκη του, τοποθετούνται τα συνοδευτικά του έγγραφα.
5. Αφαιρέστε το ειδικό προστατευτικό κάλυμμα από τον κινητήρα.

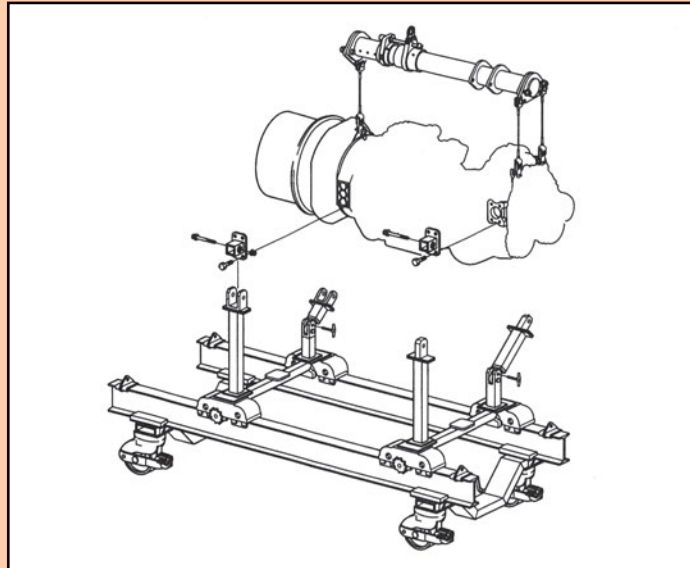


Σχήμα 2.154 Έλεγχος του ενδείκτη υγρασίας



Σχήμα 2.155 Τοποθέτηση του ειδικού εργαλείου για τη μεταφορά με το γερανό

6. Ελέγξτε τον ενδεικτη υγρασίας (Σχήμα 2.154). Στην περίπτωση που έχει μεταβληθεί το χρώμα του (ροζ αντί μπλε), ο κινητήρας πρέπει να επιθεωρηθεί για εμφάνιση διάβρωσης.
 7. Τοποθετήστε στον κινητήρα, το ειδικό εργαλείο (Σχήμα 2.155) σύνδεσής του με τον γερανό μεταφοράς, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.
 8. Αφαιρέστε τα σημεία σύνδεσης του κινητήρα με το κιβώτιο μεταφοράς. Διατηρήστε τα πάνω στο κιβώτιο μεταφοράς, ώστε να χρησιμοποιηθούν κατά την επανατοποθέτηση του κινητήρα σε αυτό.
 9. Βεβαιωθείτε ότι τα ακόλουθα συνοδευτικά έγγραφα περιέχονται σε ειδική θήκη που προβλέπεται στο κάτω μέρος του κιβωτίου μεταφοράς:
 - Έγγραφα φόρτωσης,
 - Το μητρώο του κινητήρα,
 - Κατάλογος των ανταλλακτικών του κινητήρα τα οποία πρέπει να αντικατασταθούν ανάλογα με τις εργασίες που θα πραγματοποιηθούν,
 - Αρχεία καταγραφής ιστορικού για κάποια από τα εξαρτήματα του κινητήρα,
 - Κατάλογος με τις **επισκευαστικές τροποποιήσεις (service bulletins)** τις οποίες έχει υποστεί ο συγκεκριμένος κινητήρας.
 10. Ελέγξτε αν οι πληροφορίες που βρίσκονται στα παραπάνω έγγραφα συμφωνούν με την κατάσταση του συγκεκριμένου κινητήρα.
 11. Επιθεωρήστε εξωτερικά τον κινητήρα για την ύπαρξη ζημιών ή φθορών.
 12. Αφαιρέστε τον κινητήρα από το κιβώτιο μεταφοράς θέτοντας σε λειτουργία το γερανό μεταφοράς.
- B. Τοποθέτηση του κινητήρα στην κλίση εργασίας.*
1. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής και τοποθετήστε τα κατάλληλα εξαρτήματα στην κλίση εργασίας (Σχήμα 2.156). Εφαρμόστε τις τιμές ροπομέτρησης σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου.



Σχήμα 2.156 Τοποθέτηση των απαραίτητων εξαρτημάτων για την τοποθέτηση του κινητήρα στην κλίνη

2. Τοποθετήστε την κλίνη κάτω από τον κινητήρα και θέστε σε λειτουργία το φρένο της.
3. Χαμηλώστε τον κινητήρα και ευθυγραμμίστε τα σημεία τοποθέτησής του στην κλίνη μεταφοράς με τους υποδοχείς της τελευταίας.
4. Ασφαλίστε τον κινητήρα στην κλίνη.
5. Αφαιρέστε τα ειδικά εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στις μέχρι τώρα εργασίες.

Γ. Τοποθέτηση του κινητήρα στο κιβώτιο μεταφοράς.

1. Μελετήστε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τις διεργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν στον κινητήρα, πριν αυτός τοποθετηθεί στο κιβώτιο για τη μεταφορά του.
2. Βεβαιωθείτε ότι τα ακόλουθα έγγραφα έχουν συμπληρωθεί και θα συνοδεύουν τον κινητήρα:
 - Το μητρώο του κινητήρα.
 - Κατάλογος των ανταλλακτικών του κινητήρα τα οποία αντικαταστάθηκαν, ανάλογα με τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν.

- Αρχεία καταγραφής ιστορικού για κάποια από τα εξαρτήματα του κινητήρα.
3. Τοποθετήστε τα έγγραφα στην ειδική θήκη του κιβωτίου μεταφοράς.
 4. Τοποθετήστε τον ενδείκτη υγρασίας στο ειδικό κάλυμμα του κινητήρα.
 5. Πραγματοποιώντας τις κατάλληλες εργασίες, σύμφωνα με το εγχειρίδιο γενικής επισκευής, ανασηκώστε τον κινητήρα από την κλίνη εργασίας χρησιμοποιώντας το γερανό μεταφοράς και το ειδικό εργαλείο σύνδεσής του με αυτόν.
 6. Χαμηλώστε τον κινητήρα στο ύψος του κιβωτίου μεταφοράς και ευθυγραμμίστε τα σημεία τοποθέτησής του στο κιβώτιο με τους υποδοχείς του τελευταίου.
 7. Ασφαλίστε τον κινητήρα στο κιβώτιο μεταφοράς.
 8. Αφαιρέστε το ειδικό εργαλείο σύνδεσης του κινητήρα με το γερανό μεταφοράς.
 9. Τοποθετήστε τα σακίδια σιλικόνης πάνω στον κινητήρα.
 10. Τοποθετήστε το ειδικό κάλυμμα στον κινητήρα.
 11. Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής, τοποθετήστε το κάλυμμα του κιβωτίου μεταφοράς.
 12. Συμπληρώστε στο σημείο που προβλέπεται, στο κάλυμμα του κιβωτίου μεταφοράς, το μοντέλο του κινητήρα, τον **αριθμό σειράς** του (**Serial Number**) και την ημερομηνία πλήρωσής του με λάδι συντήρησης.

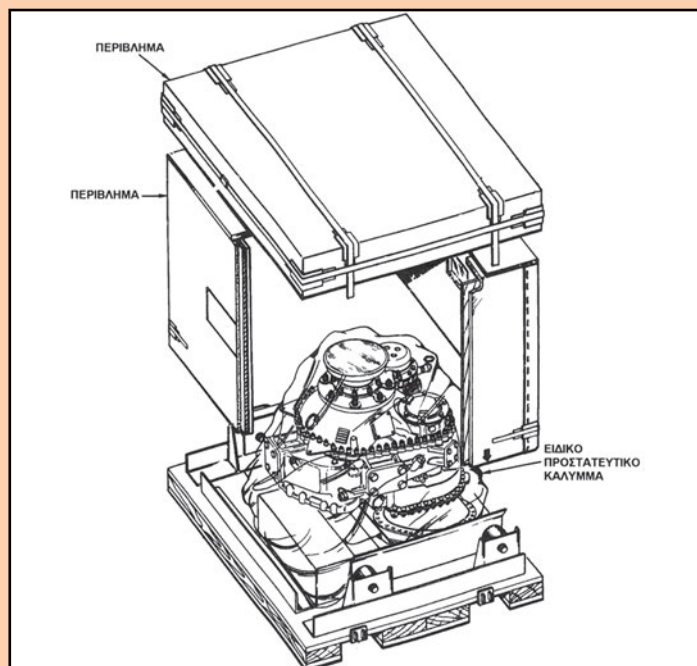
Σημείωση: η τοποθέτηση του κινητήρα στο κιβώτιο μεταφοράς δεν ενδείκνυται για θαλάσσια μεταφορά.

Δ. Αφαίρεση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης από το κιβώτιο μεταφοράς του και τοποθέτησή του στην κλίνη εργασίας.

Η περίπτωση που εξετάζουμε στη συνέχεια αφορά την μεταφορά του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης ξεχωριστά από τον υπόλοιπο κινητήρα.

1. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες αφαίρεσης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης από το κιβώτιο μεταφοράς και της τοποθέτησής του στην κλίνη εργασίας, όπως αυτές δίνονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής.

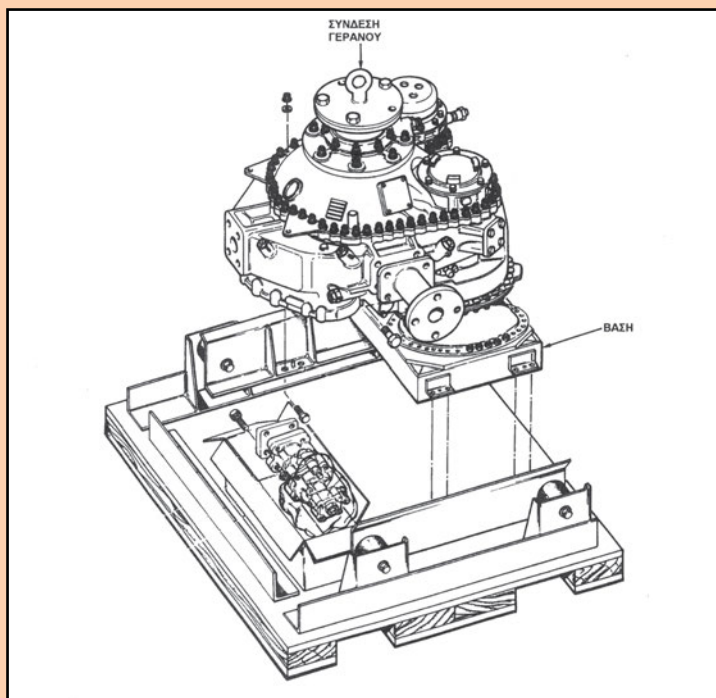
2. Αναγνωρίστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία, τα οποία απαιτούνται και βεβαιωθείτε ότι είναι διαθέσιμα.
3. Ελέγξτε τον ενδείκτη υγρασίας. Στην περίπτωση που έχει μεταβληθεί το χρώμα του (ροζ αντί μπλε), το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης πρέπει να επιθεωρηθεί για εμφάνιση διάβρωσης.
4. Τοποθετήστε το κιβώτιο μεταφοράς σε σημείο κατάλληλο για τη χρήση του γερανού μεταφοράς.
5. Αφαιρέστε το μεταλλικό περίβλημα του κιβωτίου, Σχήμα 2.157.



Σχήμα 2.157 Αφαίρεση του μεταλλικού περιβλήματος του κιβωτίου μεταφοράς

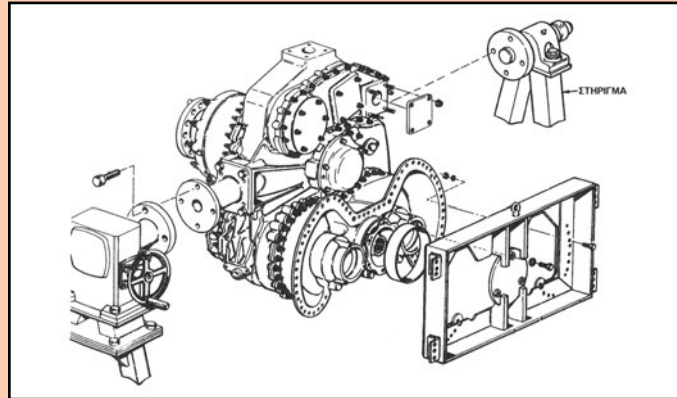
6. Αφαιρέστε το ειδικό προστατευτικό κάλυμμα του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.
7. Τοποθετήστε στο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης, το ειδικό εργαλείο σύνδεσης

του με τον γερανό μεταφοράς, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής (Σχήμα 2.158).



Σχήμα 2.158 Τοποθέτηση του ειδικού εργαλείου σύνδεσης με το γεράνο μεταφοράς

8. Αφαιρέστε τα σημεία σύνδεσης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης με το κιβώτιο μεταφοράς. Διατηρήστε τα πάνω σε αυτό, ώστε να χρησιμοποιηθούν κατά την επανατοποθέτηση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης στο κιβώτιο μεταφοράς.
9. Αφαιρέστε το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης από το κιβώτιο μεταφοράς θέτοντας σε λειτουργία το γεράνο μεταφοράς.
10. Τοποθετήστε το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης στην κλίση εργασίας, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής (Σχήμα 2.159).



Σχήμα 2.159 Τοποθέτηση στην κλίνη εργασίας

11. Αφαιρέστε από το κιβώτιο μεταφοράς τα εξαρτήματα που συνοδεύουν το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης.
12. Βεβαιωθείτε ότι τα συνοδευτικά έγγραφα περιέχονται σε ειδική θήκη που προβλέπεται στο κάτω μέρος του κιβωτίου μεταφοράς.
13. Ελέγξτε αν οι πληροφορίες που βρίσκονται στα παραπάνω έγγραφα συμφωνούν με την κατάσταση του συγκεκριμένου κιβωτίου μετάδοσης κίνησης.
14. Επιθεωρήστε εξωτερικά το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης για την ύπαρξη ζημιών ή φθορών.

Ε. Αφαίρεση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης από την κλίνη εργασίας και τοποθέτησή του στο κιβώτιο μεταφοράς του.

1. Διαβάστε προσεκτικά το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τις διεργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν στον κιβώτιο μετάδοσης κίνησης, πριν αυτό τοποθετηθεί στο κιβώτιο για τη μεταφορά του.
2. Βεβαιωθείτε ότι τα κατάλληλα έγγραφα έχουν συμπληρωθεί.
3. Τοποθετήστε τα έγγραφα στην ειδική θήκη του κιβωτίου μεταφοράς.
4. Αφαιρέστε τα εξαρτήματα που θα τοποθετηθούν ξεχωριστά από το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης και τοποθετήστε τα στο κιβώτιο μεταφοράς.

5. Τοποθετήστε τον ενδείκτη υγρασίας στο ειδικό κάλυμμα.
6. Πραγματοποιώντας τις κατάλληλες εργασίες, σύμφωνα με το εγχειρίδιο γενικής επισκευής, ανασηκώστε το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης από την κλίνη εργασίας χρησιμοποιώντας το γερανό μεταφοράς και το ειδικό εργαλείο σύνδεσής του με αυτόν.
7. Χαμηλώστε το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης στο ύψος του κιβωτίου μεταφοράς και ευθυγραμμίστε τα σημεία τοποθέτησής του στο κιβώτιο με τους υποδοχείς του τελευταίου.
8. Ασφαλίστε το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης στο κιβώτιο μεταφοράς.
9. Αφαιρέστε το ειδικό εργαλείο σύνδεσης του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης με το γερανό μεταφοράς.
10. Τοποθετήστε τα σακίδια σιλικόνης πάνω στο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης.
11. Τοποθετήστε το ειδικό κάλυμμα στο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης.
12. Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής, τοποθετήστε το κάλυμμα του κιβωτίου μεταφοράς.
13. Συμπληρώστε στο σημείο που προβλέπεται, στο κάλυμμα του κιβωτίου μεταφοράς, το μοντέλο του κινητήρα, τον αριθμό σειράς του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης και την ημερομηνία πλήρωσής του με λάδι συντήρησης.

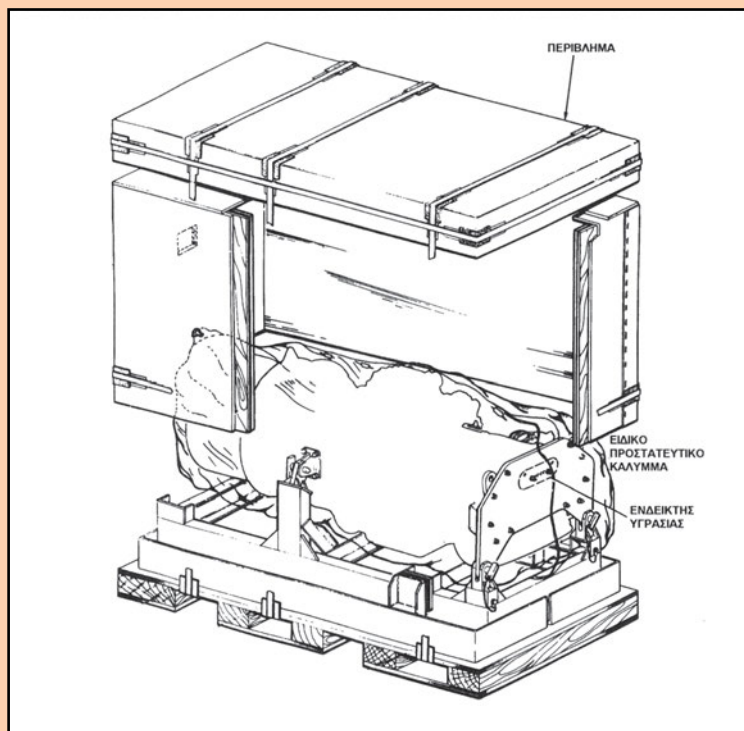
Σημείωση: η τοποθέτηση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης στο κιβώτιο μεταφοράς δεν ενδείκνυται για θαλάσσια μεταφορά.

ΣΤ. Αφαίρεση του κινητήρα χωρίς το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης από το κιβώτιο μεταφοράς του και τοποθέτησή του στην κλίνη εργασίας.

Η περίπτωση που εξετάζουμε στη συνέχεια αφορά την μεταφορά του κινητήρα χωρίς το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης.

1. Διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες αφαίρεσης του κινητήρα από το κιβώτιο μεταφοράς και της τοποθέτησής του στην κλίνη εργασίας, όπως αυτές δίνονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής.

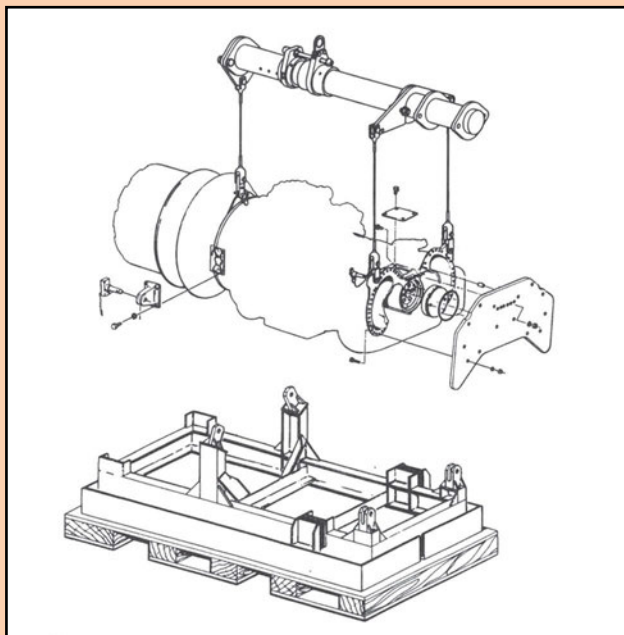
2. Αναγνωρίστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία, τα οποία απαιτούνται και βεβαιωθείτε ότι είναι διαθέσιμα.
3. Τοποθετήστε το κιβώτιο μεταφοράς σε σημείο κατάλληλο για τη χρήση του γερανού μεταφοράς.
4. Αφαιρέστε το μεταλλικό περίβλημα του κιβωτίου.
5. Ελέγξτε τον ενδείκτη υγρασίας (Σχήμα 2.160). Στην περίπτωση που έχει μεταβληθεί το χρώμα του (ροζ αντί μπλε), ο κινητήρας πρέπει να επιθεωρηθεί για εμφάνιση διάβρωσης.



Σχήμα 2.160 Αφαίρεση του καλύμματος του κιβωτίου μεταφοράς

6. Αφαιρέστε το ειδικό προστατευτικό κάλυμμα από τον κινητήρα.
7. Τοποθετήστε στον κινητήρα το ειδικό εργαλείο σύνδεσης του με τον γερανό μεταφοράς, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής (Σχήμα 2.161).
8. Αφαιρέστε τα σημεία σύνδεσης του κινητήρα με το κιβώτιο μεταφοράς. Διατηρήστε τα πάνω σε αυτό, ώστε να χρησιμοποιηθούν κατά την επανα-

τοποθέτηση του κινητήρα στο κιβώτιο μεταφοράς.



Σχήμα 2.161 Τοποθέτηση του ειδικού εργαλείου σύνδεσης με το γερανό μεταφοράς

9. Αφαιρέστε τον κινητήρα από το κιβώτιο μεταφοράς θέτοντας σε λειτουργία το γερανό μεταφοράς.
 10. Τοποθετήστε τον κινητήρα στην κλίνη εργασίας, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.
 11. Βεβαιωθείτε ότι τα συνοδευτικά έγγραφα περιέχονται σε ειδική θήκη που προβλέπεται στο κάτω μέρος του κιβωτίου μεταφοράς.
 12. Ελέγξτε αν οι πληροφορίες που βρίσκονται στα παραπάνω έγγραφα συμφωνούν με την κατάσταση του συγκεκριμένου κινητήρα.
 13. Επιθεωρήστε εξωτερικά τον κινητήρα για την ύπαρξη ζημιών ή φθορών.
- Z. Αφαίρεση του κινητήρα (χωρίς το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης) από την κλίνη εργασίας και τοποθέτησή του στο κιβώτιο μεταφοράς του.*
1. Διαβάστε προσεκτικά το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τις εργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν στον κινητήρα, πριν αυτός τοποθετηθεί στο κιβώτιο για τη μεταφορά του.

2. Βεβαιωθείτε ότι τα κατάλληλα έγγραφα έχουν συμπληρωθεί.
3. Τοποθετήστε τα έγγραφα στην ειδική θήκη του κιβωτίου μεταφοράς.
4. Τοποθετήστε τον ενδείκτη υγρασίας στο ειδικό κάλυμμα.
5. Πραγματοποιώντας τις κατάλληλες εργασίες, σύμφωνα με το εγχειρίδιο γενικής επισκευής, ανασηκώστε τον κινητήρα από την κλίση εργασίας χρησιμοποιώντας το γερανό μεταφοράς και το ειδικό εργαλείο σύνδεσής του με αυτόν.
6. Χαμηλώστε τον κινητήρα στο ύψος του κιβωτίου μεταφοράς και ευθυγραμμίστε τα σημεία τοποθέτησής του στο κιβώτιο με τους υποδοχείς του τελευταίου.
7. Ασφαλίστε τον κινητήρα στο κιβώτιο μεταφοράς.
8. Αφαιρέστε το ειδικό εργαλείο σύνδεσης του κινητήρα με το γερανό μεταφοράς.
9. Τοποθετήστε τα σακίδια σιλικόνης πάνω στον κινητήρα.
10. Τοποθετήστε το ειδικό κάλυμμα στον κινητήρα.
11. Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής, τοποθετήστε το κάλυμμα του κιβωτίου μεταφοράς.
12. Συμπληρώστε στο σημείο που προβλέπεται, στο κάλυμμα του κιβωτίου μεταφοράς, το μοντέλο του κινητήρα, τον αριθμό σειράς του και την ημερομηνία πλήρωσής του με λάδι συντήρησης.

Σημείωση: η τοποθέτηση του κινητήρα στο κιβώτιο μεταφοράς δεν ενδείκνυται για θαλάσσια μεταφορά.

Εργαστηριακή άσκηση 2.5:

Αποσυναρμολόγηση αεροπορικού αεριοστρόβιλου κινητήρα

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αποσυναρμολογήσετε έναν αεροπορικό αεριοστρόβιλο κινητήρα στα επι-

μέρους τμήματά του, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κατασκευαστή.

- β) Να εφαρμόζετε τις αρχικές διαδικασίες ελέγχου των επιμέρους τμημάτων του κινητήρα πριν αυτά οδηγηθούν στον ειδικό χώρο αποσυναρμολόγησης τους.
- γ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιούν όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Η διαδικασία αποσυναρμολόγησης βασίζεται σε κινητήρα τύπου στροβιλοανεμιστήρα (Σχήμα 2.162), μεγάλου λόγου παράκαμψης, διπλού άξονα.

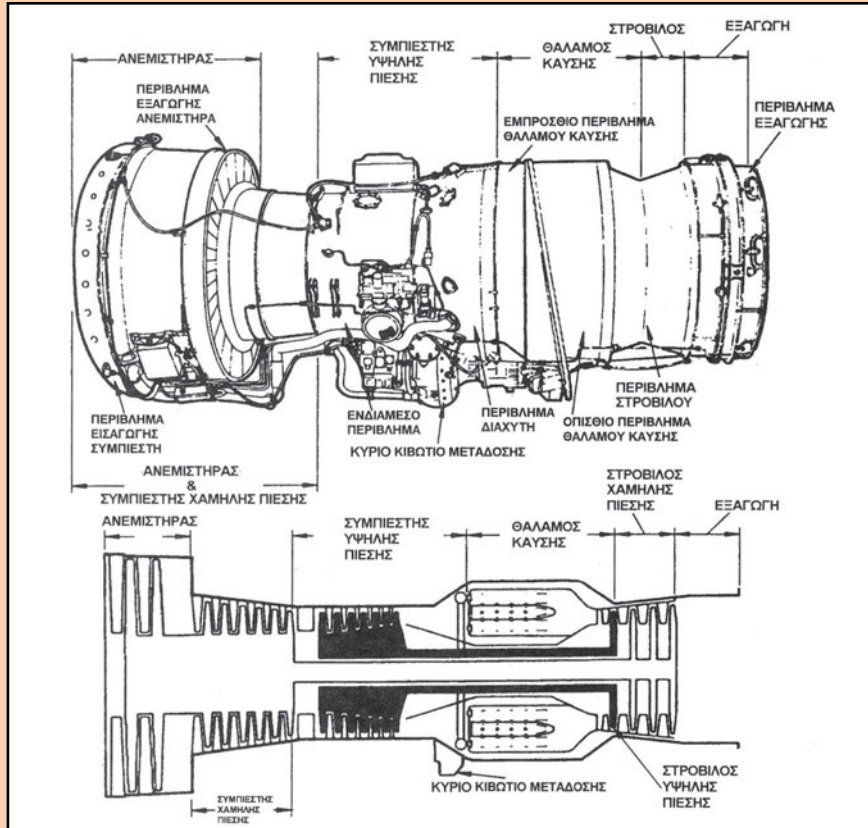


Σχήμα 2.162 Κινητήρας τύπου στροβιλοανεμιστήρα σε κλίση μεταφοράς

Τα βασικά τμήματα στα οποία είναι δομημένος ο κινητήρας είναι τα ακόλουθα (όπως παρουσιάζονται και στο Σχήμα 2.163):

- Εισαγωγή (front section)
- Κύριο κιβώτιο μετάδοσης κίνησης (main reduction gear box)
- Ανεμιστήρας (fan section)
- Συμπιεστής χαμηλής πίεσης (front compressor section)
- Συμπιεστής υψηλής πίεσης (rear compressor section)
- Θάλαμος καύσης (combustion chamber section)
- Στρόβιλος υψηλής πίεσης (rear compressor drive turbine section)

- Στρόβιλος χαμηλής πίεσης (front compressor drive turbine section)
- Ακροφύσιο εξαγωγής (exhaust nozzle section)



Σχήμα 2.163 Τα τμήματα στα οποία διαιρείται ο κινητήρας και τα βασικά περιβλήματά του.

Ο ανεμιστήρας είναι 2 βαθμιδών (1η και 2η) και συνδέεται με το συμπιεστή χαμηλής πίεσης (ή εμπρόσθιο συμπιεστή) μέσω δακτυλίων απόστασης (spacers). Ο συντελεστής χαμηλής πίεσης αποτελείται από 6 βαθμίδες (4η έως 9η). Σημειώστε ότι δεν υπάρχει 3η βαθμίδα. Στη θέση της βρίσκεται δακτύλιος απόστασης. Το μέγεθος των κινητών και των σταθερών πτερυγίων του συμπιεστή χαμηλής πίεσης μειώνεται προς το οπίσθιο μέρος του κινητήρα, ενώ αυξάνεται ο αριθμός τους. Αυτό είναι το πιο αποδοτικό σχήμα για τη μείωση του όγκου του εισερχόμενου αέρα και της αύξησης της πίεσής του. Ο ανεμιστήρας και ο συμπιεστής χαμηλής πίεσης κινούνται μέσω άξονα από τις 3 βαθμίδες (2η έως 4η) του στρόβιλου χαμηλής πίεσης.

Ο συμπιεστής υψηλής πίεσης (ή οπίσθιος συμπιεστής) αποτελείται από 7 βαθμίδες (10η έως 16η). Παίρνει κίνηση από το στρόβιλο υψηλής πίεσης (1η βαθμίδα).

Ο θάλαμος καύσης είναι σωληνοδακτυλιοειδούς τύπου και αποτελείται από 8 ξεχωριστούς φλογοθαλάμους.

Απαιτούμενα μέσα

Κινητήρας τύπου στροβιλοανεμιστήρα, κατάλληλη περιστρεφόμενη κλίνη για την τοποθέτησή του, εγχειρίδιο γενικής επισκευής από την κατασκευάστρια εταιρεία, μία σειρά των απαραίτητων ειδικών εργαλείων για την διαδικασία της αποσυναρμολόγησης, γενικά εργαλεία (συγκράτησης, μέτρησης, χάραξης, κοπής, κρούσης), μικρός γερανός με σχοινιά ανάρτησης (“σαμπάνια”) ή αλυσίδες ή ιμάντες βαρούλκων, κατάλληλο καθαριστικό διάλυμα.

Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

Πορεία εργασίας

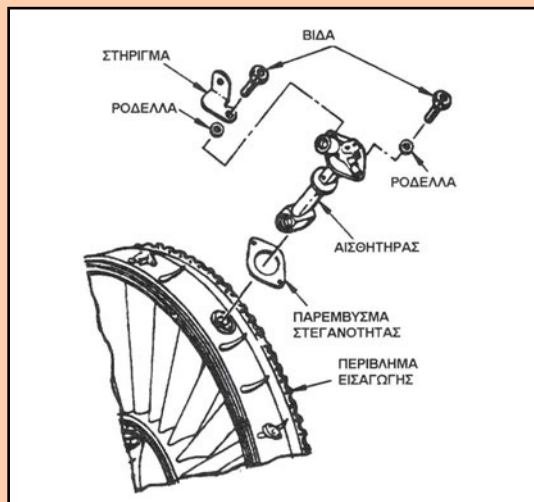
1. Αρχικά, πραγματοποιήστε τις ακόλουθες εργασίες ενώ ο κινητήρας βρίσκεται στο όχημα μεταφοράς του και σε οριζόντια θέση:
 - Καθαρίστε τις εξωτερικές επιφάνειες του κινητήρα από βρωμιές, λάδια, γράσα χρησιμοποιώντας το προβλεπόμενο από τον κατασκευαστή καθαριστικό διάλυμα.
 - Μελετήστε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής. Προδιαγράψτε τη σειρά των εργασιών αποσυναρμολόγησης και βεβαιωθείτε για την ύπαρξη των ειδικών εργαλείων που θα απαιτηθούν για την απρόσκοπτη διεξαγωγή τους.
 - Εξασφαλίστε ικανούς πάγκους εργασίας, χωρίς αντικείμενα στην επιφάνειά τους.
 - Τοποθετήστε στο πάτωμα κατάλληλο δοχείο για τη συλλογή διαφόρων μικροεξαρτημάτων που θα πέσουν κατά τη διάρκεια των εργασιών, λαδιού ή / και καυσίμου που ίσως υπάρχουν σε μικρές ποσότητες στις σωληνώσεις που πρόκειται να αφαιρεθούν από τον κινητήρα.

2. Γενικά, διατηρείτε τους συνδέσμους μαζί με τις επιμέρους σωληνώσεις στις οποίες ανήκουν ώστε να χρησιμοποιηθούν ξανά σε αυτές.
3. Γενικά, χρησιμοποιήστε διεισδυτικό υγρό (penetrating oil) στα μέρη που απαιτείται ώστε να διευκολυνθεί η αφαίρεσή τους.
4. Γενικά, φροντίστε για την τοποθέτηση προστατευτικών καλυμμάτων (όπως τάπες) σε άκρα σωληνώσεων και ανοιγμάτων για την αποφυγή εισροής ξένων σωματιδίων και σκόνης σε αυτά.

Στη συνέχεια, ξεκινήστε τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης του κινητήρα. Σημειώστε ότι οι εργασίες πραγματοποιούνται ενώ ο κινητήρας, αρχικά, βρίσκεται στο όχημα μεταφοράς του.

5. ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ (EXTERNAL TUBES AND COMPONENTS)

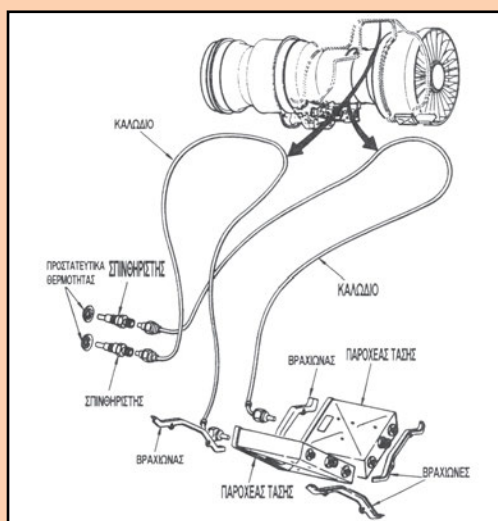
- Αφαιρέστε όλες τις βίδες των σημείων στήριξης και τους συνδέσμους των εξωτερικών σωληνώσεων.
- Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής, προχωρήστε στην αφαίρεση των σωληνώσεων και εξαρτημάτων του κινητήρα, αρχίζοντας από τον αισθητήρα πίεσης του εισερχόμενου αέρα στο συμπιεστή (compressor inlet pressure probe), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.164.



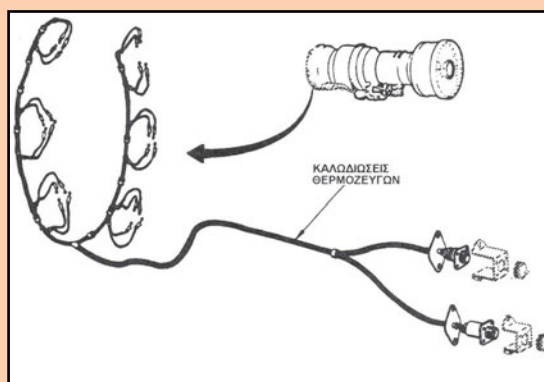
Σχήμα 2.164 Αφαίρεση του αισθητήρα πίεσης εισερχόμενου αέρα στο συμπιεστή

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ I

- Αποσυνδέστε τα καλώδια έναυσης από τους σπινθηριστές και γειώστε τα αμέσως¹. Αποσυνδέστε τα καλώδια από τους παροχείς ηλεκτρικής τάσης (ignition exciters), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.165, και αφαιρέστε από τον κινητήρα τους σπινθηριστές και τους παροχείς τάσης. Στη συνέχεια, αφαιρέστε τις καλωδιώσεις λειτουργίας των θερμοζευγών (Σχήμα 2.166) και τις σωληνώσεις του συστήματος μέτρησης πίεσης των καυσαερίων εξαγωγής (Σχήμα 2.167). Τέλος, αφαιρέστε καλώδια από όσα εξαρτήματα τα χρησιμοποιούν (π.χ. θερμαντήρας καυσίμου).

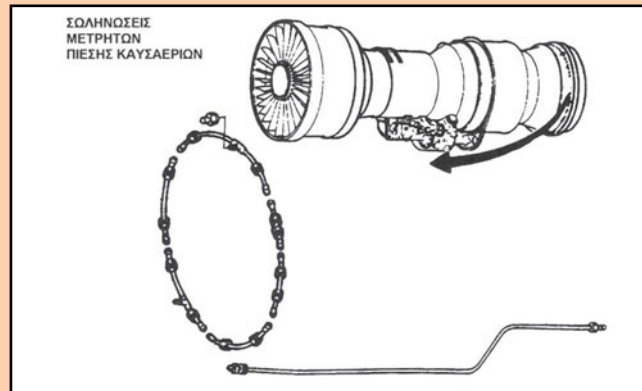


Σχήμα 2.165 Αφαίρεση καλωδίων από τους παροχείς ηλεκτρικής τάσης



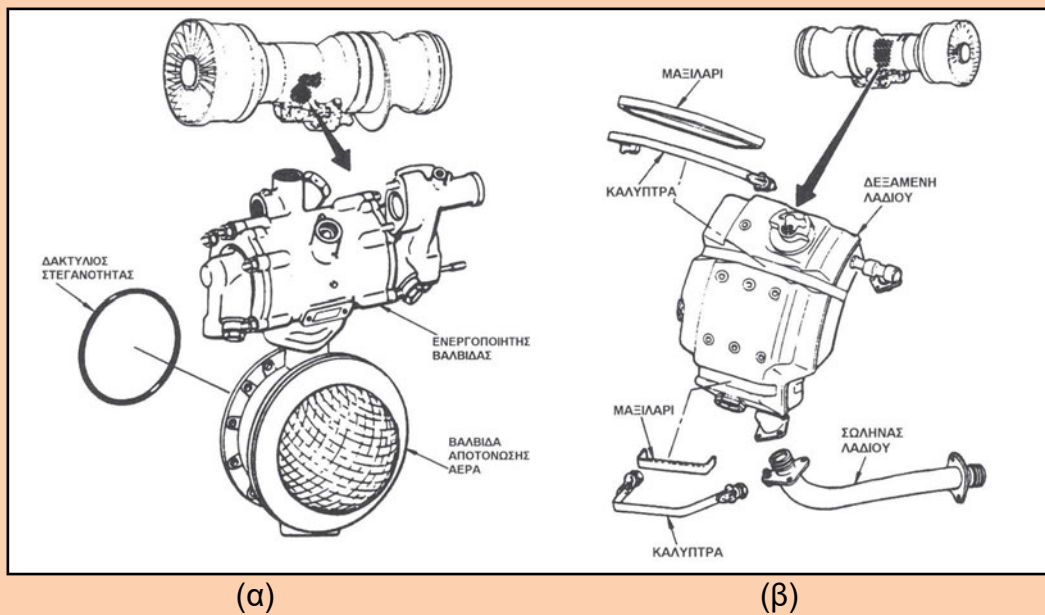
Σχήμα 2.166 Αφαίρεση καλωδιώσεων θερμοζευγών

¹ Έχετε πάντα υπόψη ότι η τάση του ρεύματος λειτουργίας των σπινθηριστών είναι ιδιαίτερα υψηλή. Σε κανονικές συνθήκες εργασίας θα πρέπει να σιγουρευτείτε ότι η τάση αυτή έχει εντελώς μηδενιστεί, χρησιμοποιώντας την κατάλληλη γείωση.

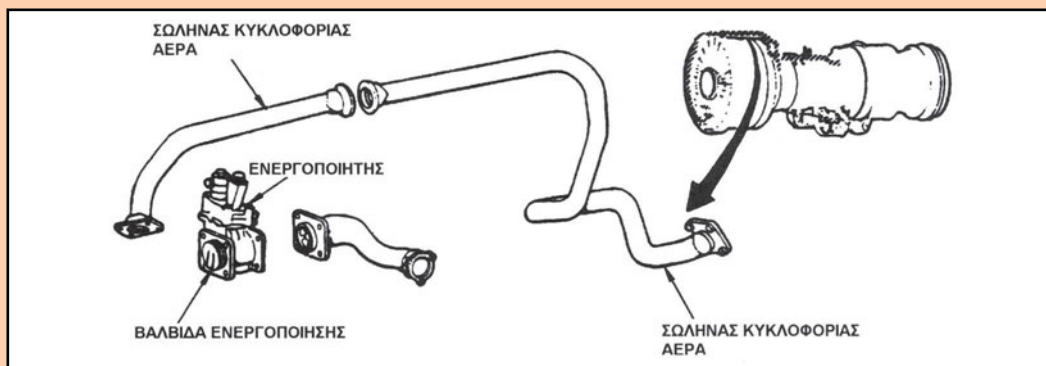


Σχήμα 2.167 Αφαίρεση σωληνώσεων μετρητών πίεσης καυσαερίων

- Στη συνέχεια, αφαιρέστε τη βαλβίδα αποτόνωσης αέρα (compressor bleed valve) και το μηχανισμό ενεργοποίησής της (Σχήμα 2.168α), τη δεξαμενή αποθήκευσης λαδιού (Σχήμα 2.168β) και τις σωληνώσεις του συστήματος προστασίας σχηματισμού πάγου και τον ενεργοποιητή του, Σχήμα 2.169.

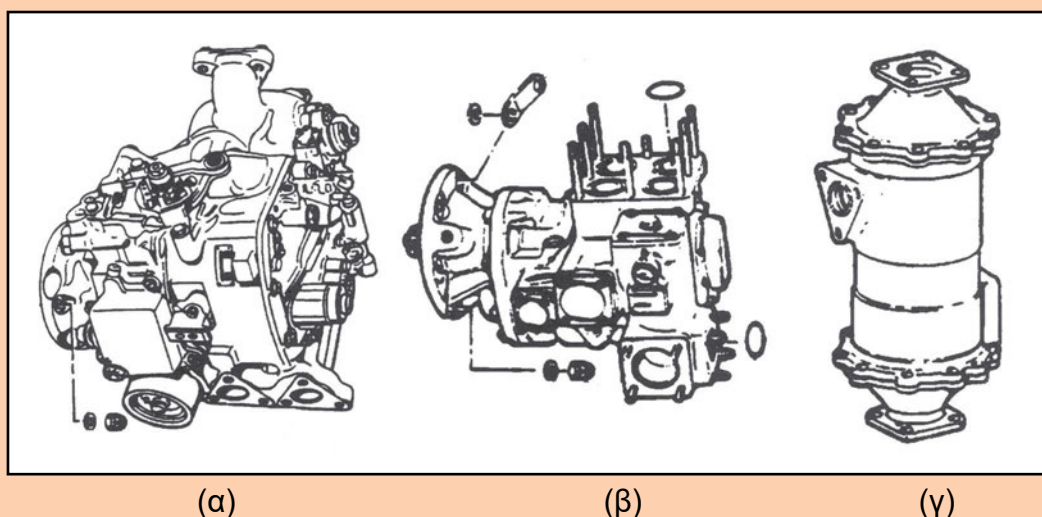


Σχήμα 2.168 Αφαίρεση (α) βαλβίδας αποτόνωσης αέρα και (β) δεξαμενής αποθήκευσης λαδιού



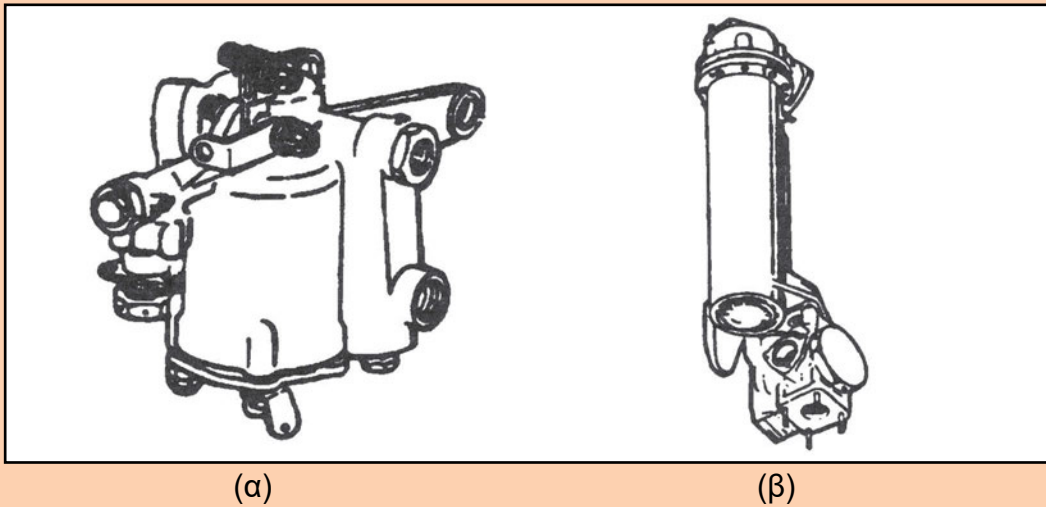
Σχήμα 2.169 Αφαίρεση συστήματος προστασίας πάγου

- Κατόπιν, συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τη σειρά που πρέπει να ακολουθήσετε και αφαιρέστε τα εξαρτήματα του συστήματος καυσίμου του κινητήρα, όπως το σύστημα ελέγχου (Σχήμα 2.170α), την αντλία καυσίμου και τα εξαρτήματα σύνδεσής της (Σχήμα 2.170β), τη βαλβίδα ελέγχου του καυσίμου και το θερμαντήρα καυσίμου (Σχήμα 2.170γ).



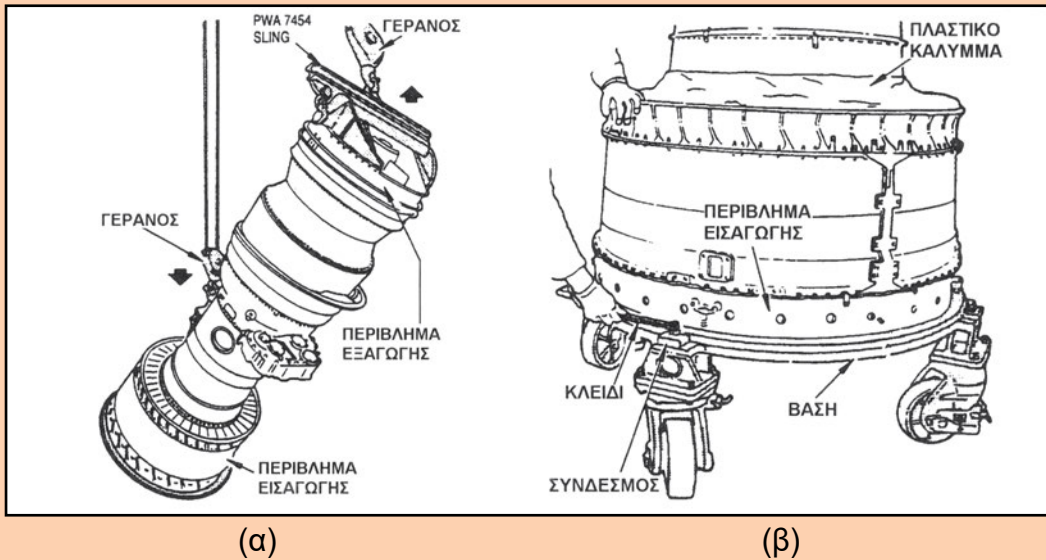
Σχήμα 2.170 Αφαίρεση εξαρτημάτων συστήματος καυσίμου του κινητήρα

- Τέλος, αφαιρέστε τα εξαρτήματα του συστήματος κυκλοφορίας λαδιού του κινητήρα, όπως το φίλτρο λαδιού (Σχήμα 2.171α), τον εναλλάκτη ψύξης λαδιού (Σχήμα 2.171 β) και τις σωληνώσεις. Εξετάστε τα προστατευτικά πλέγματα (screens) των σωληνώσεων κυκλοφορίας λαδιού προσεκτικά, για την ύπαρξη πιθανών ξένων σωματιδίων ή μεταλλικών ρινισμάτων. Αυτά αποτελούν ενδείξεις φθοράς ή κακής λειτουργίας κάποιου εξαρτήματος.



Σχήμα 2.171 Αφαίρεση εξαρτημάτων συστήματος κυκλοφορίας λαδιού

6. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής και πραγματοποιήστε τη μεταφορά και τοποθέτηση του κινητήρα από το όχημα μεταφοράς στην κατακόρυφη κλίση εργασίας, Σχήμα 2.172 (α) και (β). Καλύψτε με πλαστικό κάλυμμα την έξοδο του συμπιεστή χαμηλής πίεσης για την αποφυγή εισροής σωματιδίων και αντικειμένων.



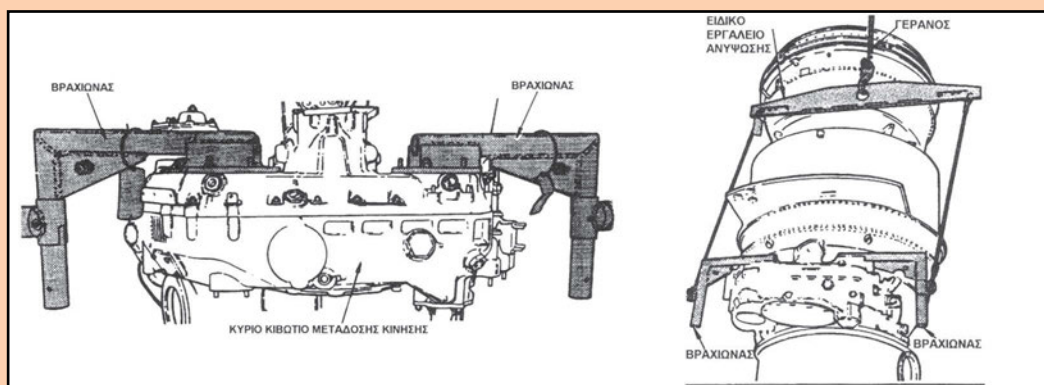
Σχήμα 2.172 Τοποθέτηση του κινητήρα σε κατακόρυφη κλίση εργασίας

Από τη θέση αυτή θα συνεχίσετε τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης των τμημάτων του κινητήρα.

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

7. ΚΥΡΙΟ ΚΙΒΩΤΙΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ (MAIN REDUCTION GEARBOX)

- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
- Χρησιμοποιώντας τα ειδικά εργαλεία και το γερανό μεταφοράς, αποσυναρμολογήστε το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης και τοποθετήστε το σε κατάλληλη κλίση (Σχήμα 2.173 (α) έως (στ)). Καλύψτε το κιβώτιο με ειδικό προστατευτικό κάλυμμα.



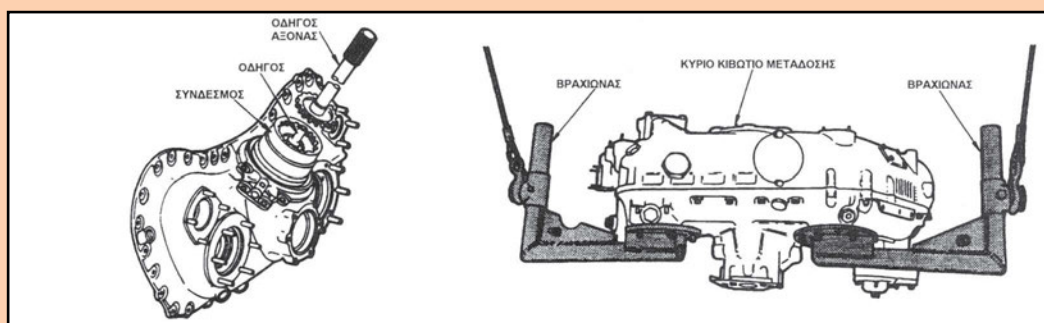
(α)

(β)



(γ)

(δ)



(ε)

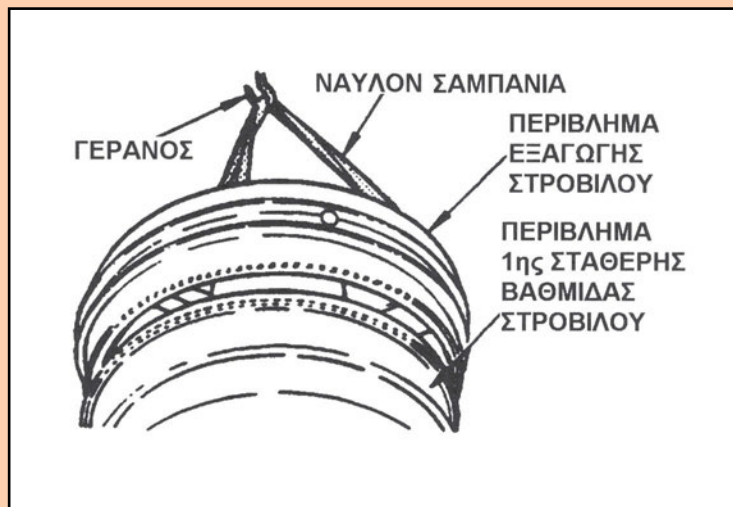
(στ)

Σχήμα 2.173 Αφαίρεση του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης

- Αφαιρέστε τον άξονα μετάδοσης κίνησης παρελκομένων από το περίβλημα του διαχύτη.

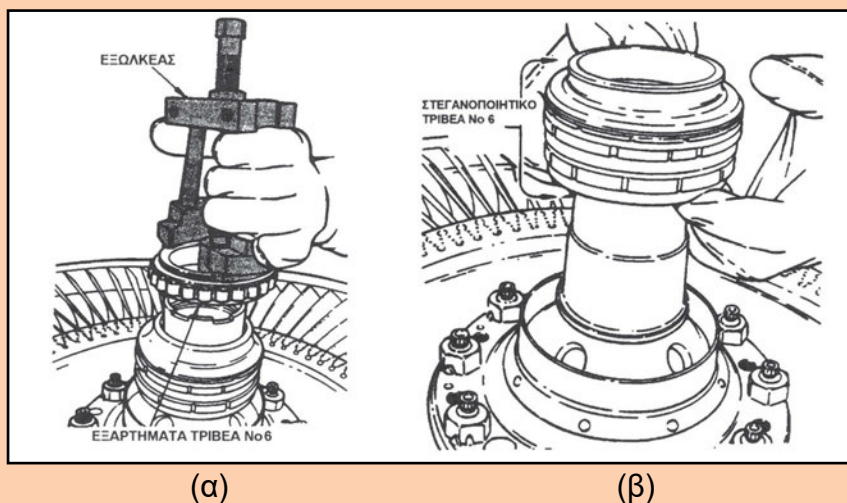
8. ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΑΚΡΟΦΥΣΙΟΥ ΕΞΑΓΩΓΗΣ (EXHAUST CASE)

- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
- Χρησιμοποιήστε το γερανό και τρία σαμπάνια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.174. Αφαιρέστε τις βίδες. Ευθυγραμμίστε με τον κατακόρυφο άξονα και σηκώστε προσεκτικά. Τοποθετήστε το περίβλημα εξαγωγής σε ειδικό υποδοχέα.



Σχήμα 2.174 Αποσυναρμολόγηση του περιβλήματος του ακροφυσίου εξαγωγής

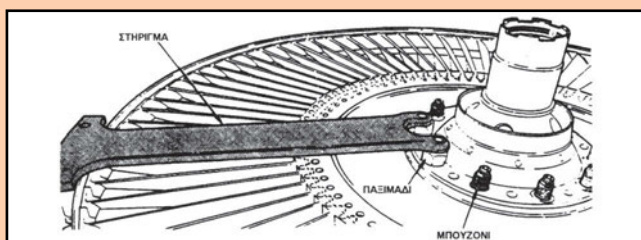
- Στη συνέχεια, αφαιρέστε τον άξονα κίνησης της αντλίας επιστροφής λαδιού από τον τριβέα No 6, τον εσωτερικό δρομέα του τριβέα No 6 (Σχήμα 2.175α) και τους στυπιοθλίπτες (Σχήμα 2.175β). Προσέξτε να μην αγγίζετε με γυμνά χέρια τα εξαρτήματα του τριβέα. Προφυλάξτε τον τριβέα και τους στυπιοθλίπτες σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.



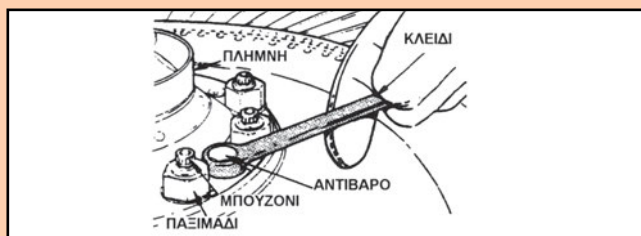
Σχήμα 2.175 Αφαίρεση εξαρτημάτων τριβέα No 6

9.4η ΒΑΘΜΙΔΑ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ (4th TURBINE STAGE)

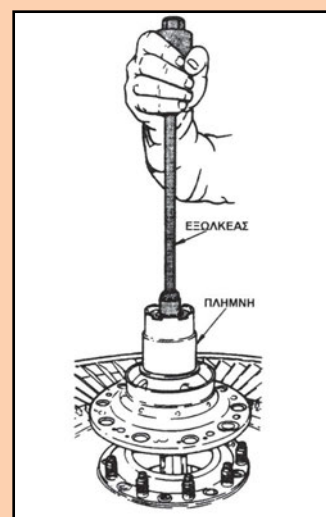
- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
- Αρχικά, αφαιρέστε την πλήμνη του στροφείου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.176.



(α)



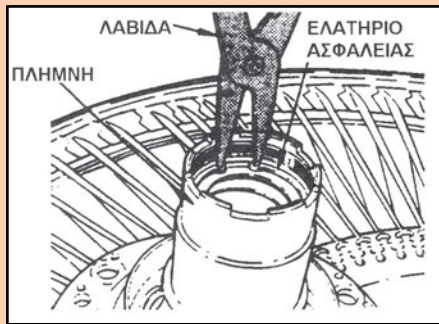
(β)



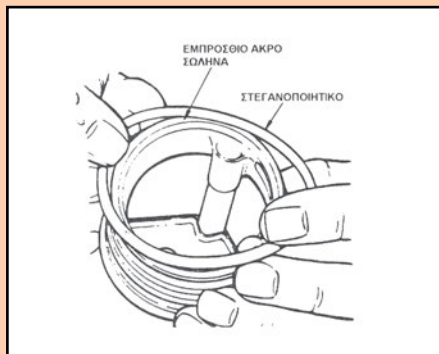
(γ)

Σχήμα 2.176 Αφαίρεση πλήμνης στροφείου 4ης βαθμίδας στροβίλου

- Στη συνέχεια, αφαιρέστε τον εσωτερικό μανδύα του άξονα, την ασφάλεια και τα στεγανοποιητικά του μέσα (Σχήμα 2.177).



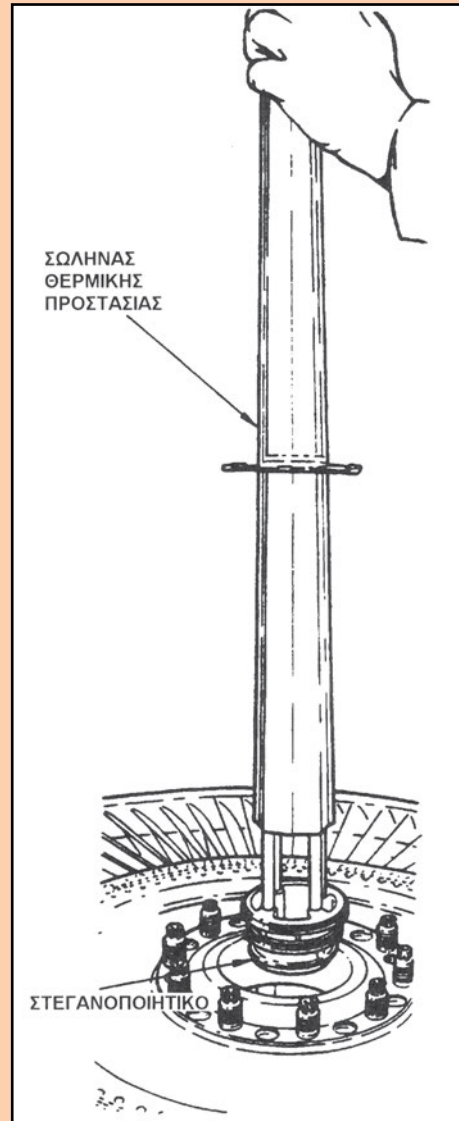
(α)



(γ)



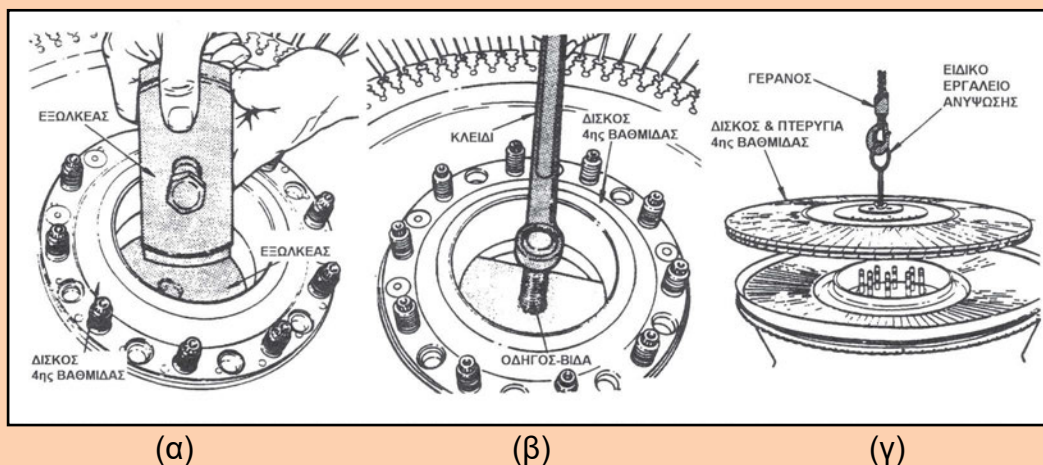
(δ)



(β)

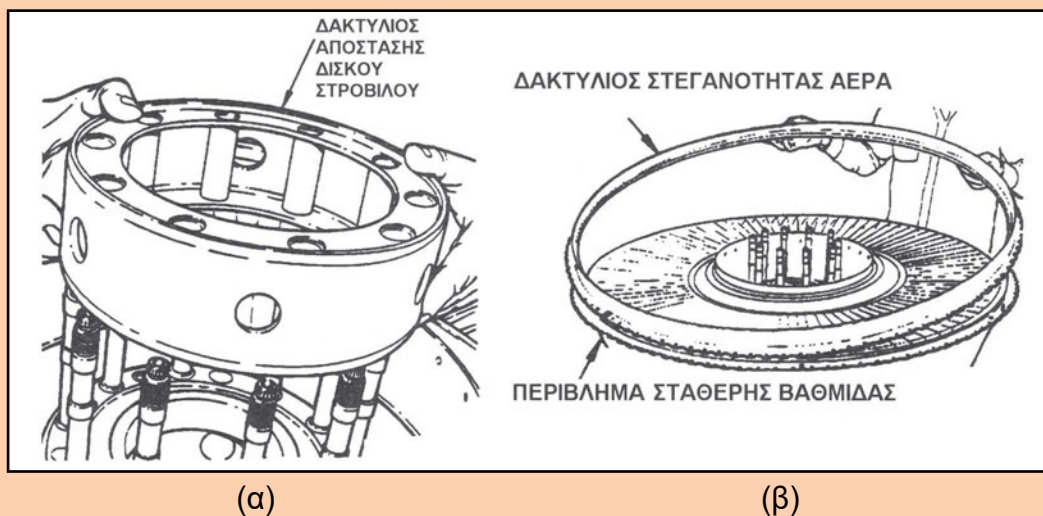
Σχήμα 2.177 Αφαίρεση εσωτερικού μανδύα

- Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής, αφαιρέστε το δίσκο και τα κινητά πτερύγια της 4ης βαθμίδας. Χρησιμοποιήστε το γερανό για να μετακινήσετε κατακόρυφα το στροφέιο. Προσέξτε να μην καταστραφούν οι σπείρες των μπουζονιών (tierods). Οι κινήσεις φαίνονται στο Σχήμα 2.178. Τοποθετήστε το στροφέιο σε καθαρό πάγκο.



Σχήμα 2.178 Αφαίρεση δίσκου και κινητών πτερυγίων 4ης βαθμίδας

- Κατόπιν, αφαιρέστε το δακτύλιο απόστασης του δίσκου και τον εξωτερικό στεγανοποιητικό δακτύλιο αέρα, Σχήμα 2.179.



Σχήμα 2.179 Αφαίρεση εξαρτημάτων δίσκου 4ης βαθμίδας

- Στη συνέχεια, αφαιρέστε το στάτορα της 4ης βαθμίδας. Χρησιμοποιώντας ένα ξυλόσφυρο (ματσόλα), εκτονώστε τα σταθερά πτερύγια (Σχήμα 2.180α) και στη συνέχεια αφαιρέστε τα ένα προς ένα, προς τη φορά που εσείς επιθυμείτε (Σχήμα 2.180β). Τοποθετήστε τα σε ειδικό κουτί.

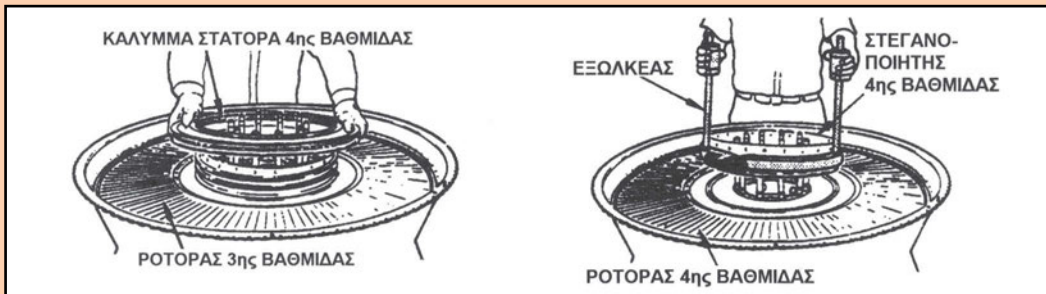


(α)

(β)

Σχήμα 2.180 Αφαίρεση των σταθερών πτερυγίων της 4ης βαθμίδας

- Κατόπιν, αφαιρέστε το περίβλημα (shroud) και τον εσωτερικό στεγανοποιητικό δακτύλιο (Σχήμα 2.181).

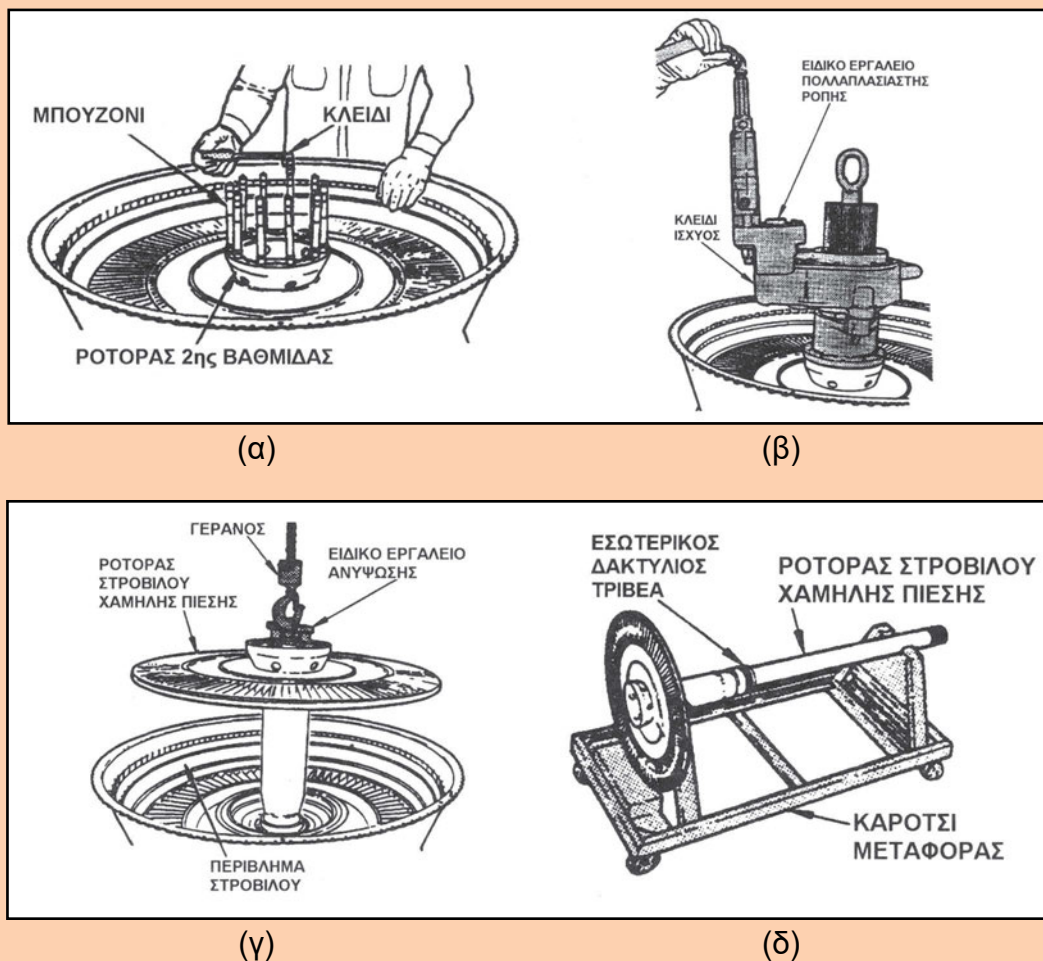


(α)

(β)

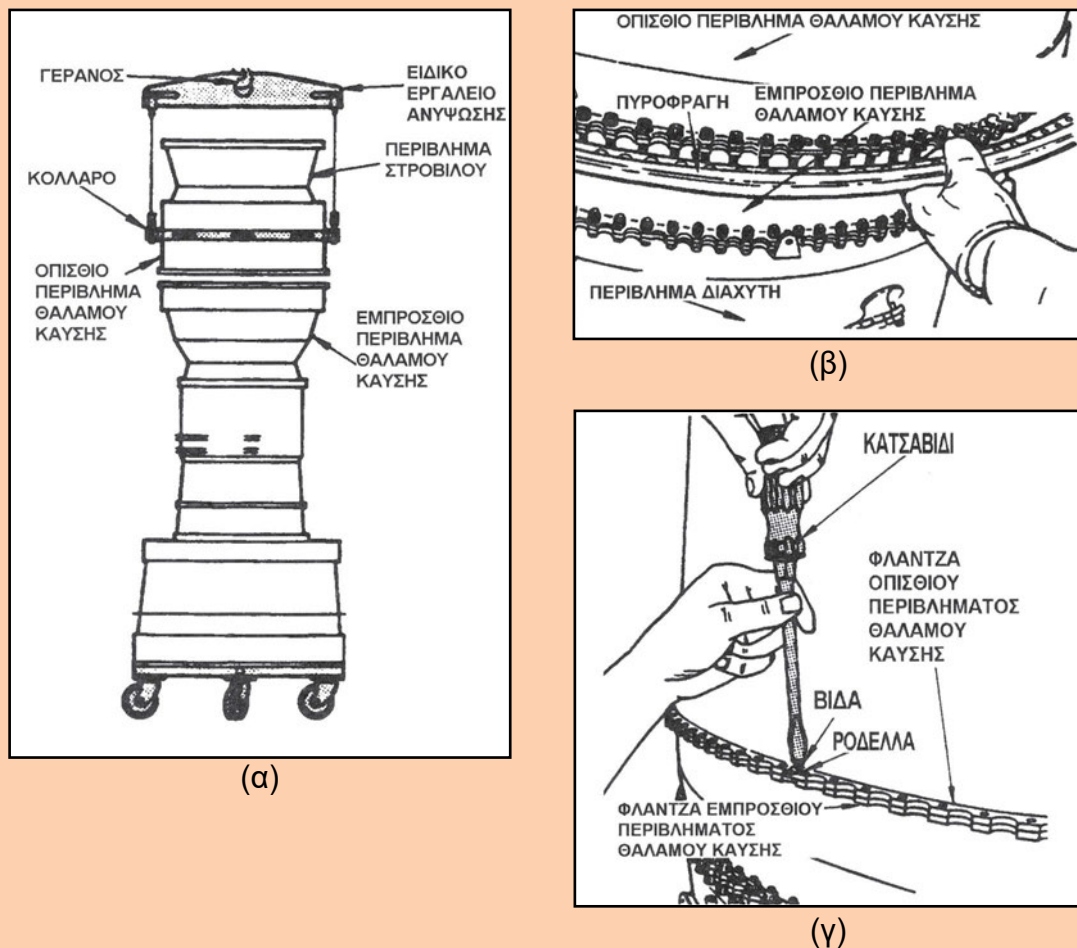
Σχήμα 2.181 Αφαίρεση εξαρτημάτων 4ης βαθμίδας στροβίλου

10. 3η ΒΑΘΜΙΔΑ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ (3rd TURBINE STAGE)
 - Με παρόμοιο τρόπο όπως παραπάνω, αφαιρέστε το ρότορα και το στάτορα της 3ης βαθμίδας του στροβίλου.
11. 2η ΒΑΘΜΙΔΑ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ (2nd TURBINE STAGE)
 - Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
 - Αφαιρέστε τις βίδες από το δίσκο του στροφείου και ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής, αποσυναρμολογήστε το στροφείο και τον άξονα από το στροφείο του συμπιεστή χαμηλής πίεσης. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή κατά το χειρισμό της υδραυλικής αντλίας πίεσης για την αποφυγή τραυματισμών. Τοποθετήστε το στροφείο και τον άξονα σε ειδικό υποδοχέα. Η διαδικασία φαίνεται στο Σχήμα 2.182.



Σχήμα 2.182 Αφαίρεση στροφείου και πτερυγίων 2ης βαθμίδας στροβίλου

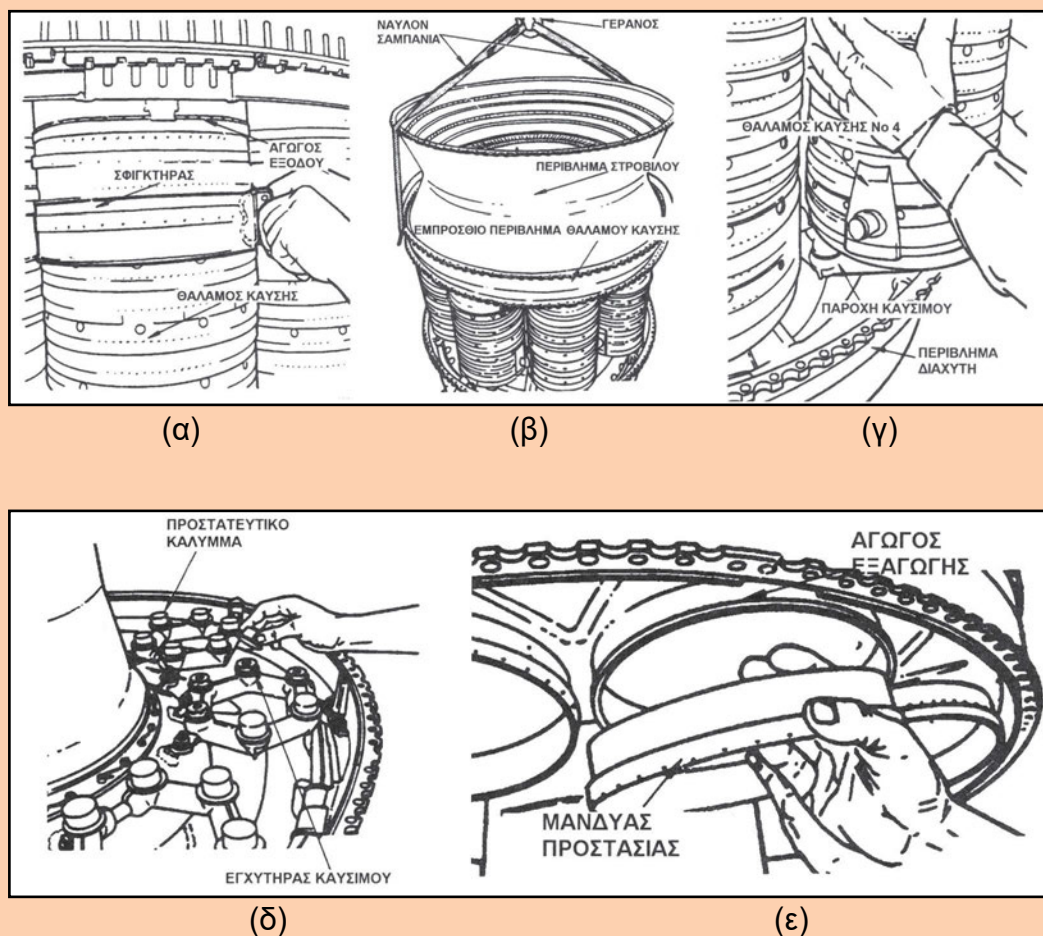
- Στη συνέχεια, αφαιρέστε το στάτορα της 2ης βαθμίδας σύμφωνα με τη διαδικασία που ακολουθήσατε και στις προηγούμενες βαθμίδες.
12. ΘΑΛΑΜΟΙ ΚΑΥΣΗΣ (COMBUSTION CHAMBERS)
- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
 - Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής (Σχήμα 2.183), τοποθετήστε το κατάλληλο ειδικό εργαλείο στο οπίσθιο εξωτερικό περίβλημα του θαλάμου καύσης, αφαιρέστε τον αντιπυρικό δακτύλιο (fireseal) και αφαιρέστε το περίβλημα χρησιμοποιώντας το γερανό. Τοποθετήστε το περίβλημα σε πάγκο με το οπίσθιο τμήμα του προς τον πάγκο.



Σχήμα 2.183 Εργασίες για την αφαίρεση του θαλάμου καύσης

- Στη συνέχεια, αφαιρέστε τους σφιγκτήρες (τσεμπέρια, clamps) από τους θαλάμους καύσης και τις βίδες που συγκρατούν το εμπρόσθιο εξωτερικό περίβλημα του θαλάμου καύσης στο περίβλημα του διαχύτη και μετακινήστε το πρώτο με τη βοήθεια του γερανού προς τα πάνω. Κατόπιν, αφαιρέστε τους μεμονωμένους θαλάμους καύσης, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής. Τοποθετήστε επικαλυπτικές τάπες στους εγχυτήρες καυσίμου και αφαιρέστε τους μανδύες θερμικής προστασίας από τις εξόδους των θαλάμων καύσης. Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στο Σχήμα 2.184.

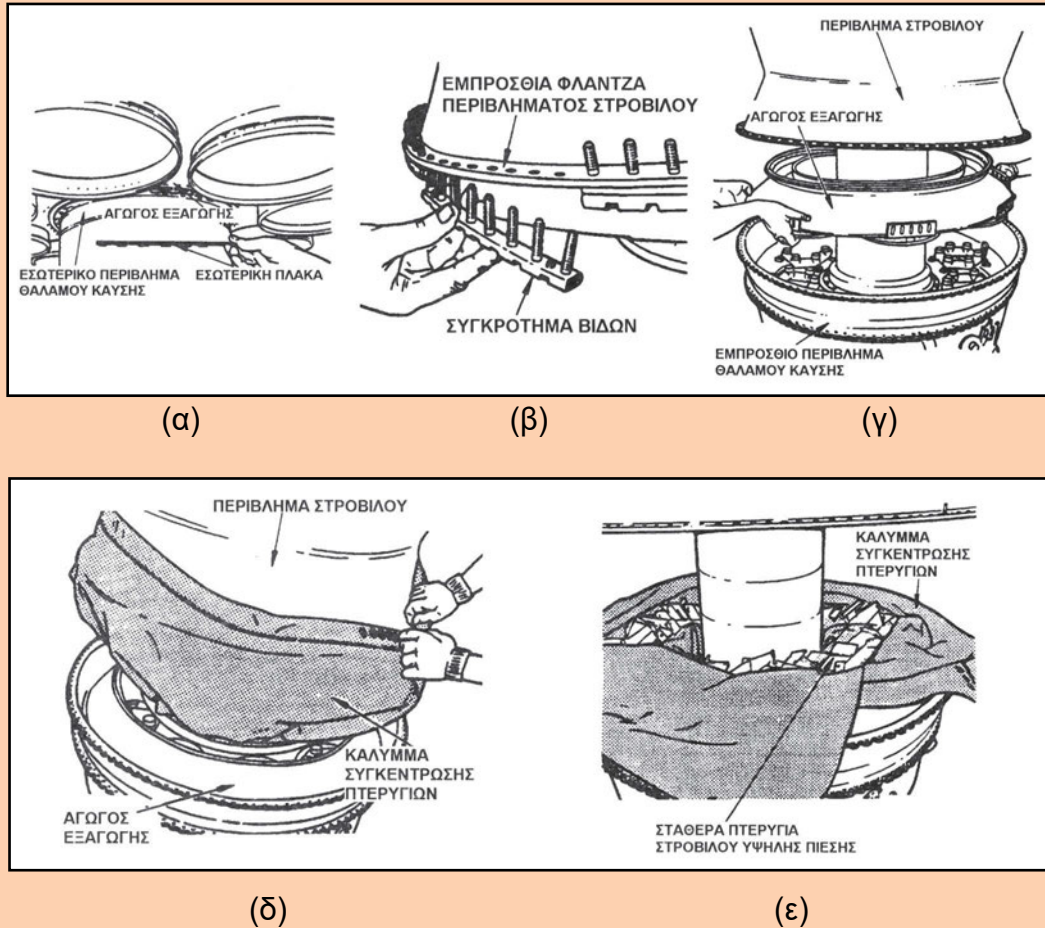
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι



Σχήμα 2.184 Αφαίρεση των μεμονωμένων θαλάμων καύσης

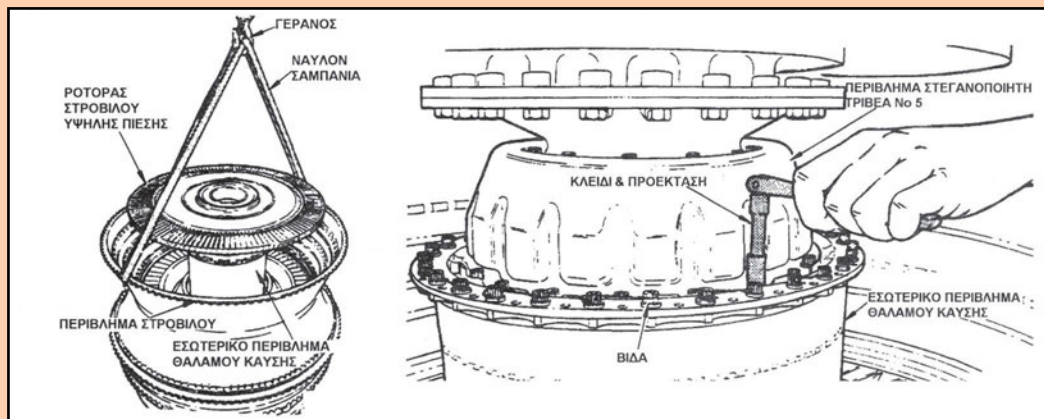
13. 1η ΒΑΘΜΙΔΑ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ (1st TURBINE STAGE)

- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
- Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής αποσυναρμολογήστε τα σταθερά πτερύγια της 1ης βαθμίδας και συλλέξτε τα στο ειδικό κάλυμμα που θα τοποθετήσετε κάτω από το εξωτερικό περίβλημα του στροβίλου. Η διαδικασία παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.185.



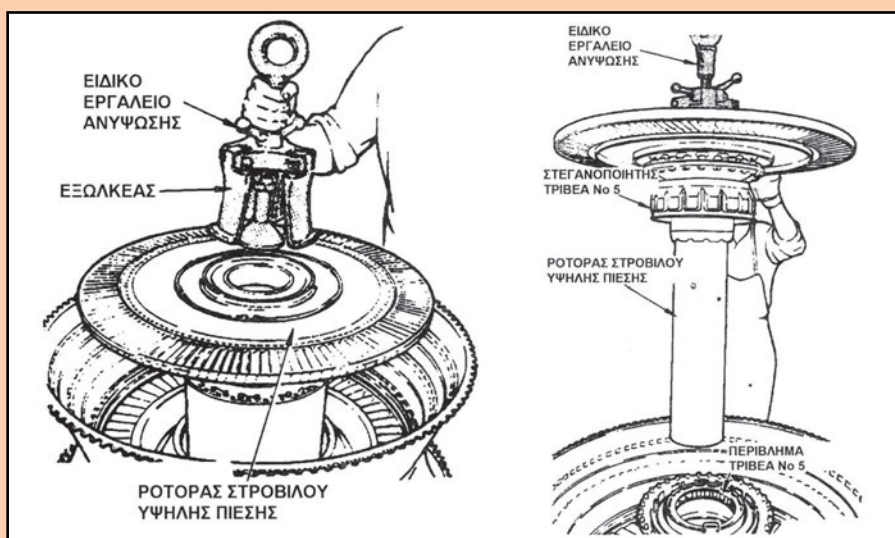
Σχήμα 2.185 Αποσυναρμολόγηση σταθερών πτερυγίων 1ης βαθμίδας στροβίλου

14. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία, σύμφωνα με το εγχειρίδιο, αφαιρέστε τον εξωτερικό δρομέα του τριβέα Νο 4 1/2, το στεγανοποιητικό δακτύλιο, το παξιμάδι και το σύνδεσμο του άξονα του στροβίλου υψηλής πίεσης (1η βαθμίδα). Προσέξτε να μην αγγίζετε με γυμνά χέρια τα εξαρτήματα του τριβέα. Προφυλάξτε τον τριβέα σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.
15. Τέλος, χρησιμοποιώντας τα σαμπάνια και το γερανό μετακινήστε το περίβλημα της 1ης σταθερής βαθμίδας (turbine nozzle case) και ακολουθώντας τη διαδικασία του εγχειριδίου ανασηκώστε το στροφέιο της 1ης βαθμίδας μαζί με τον άξονά του και τοποθετήστε το στον κατάλληλο υποδοχέα. Η διαδικασία αποτυπώνεται στο Σχήμα 2.186.



(α)

(β)



(γ)

(δ)

Σχήμα 2.186 Αφαίρεση της 1ης βαθμίδας στροβίλου και του περιβλήματός της

16. ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

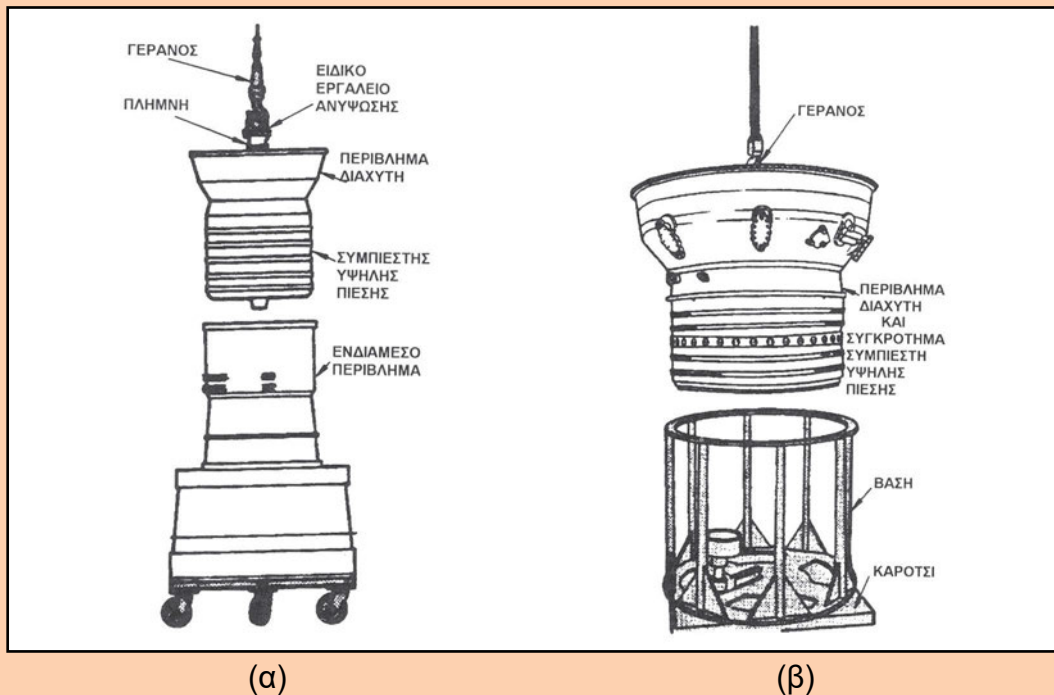
- Στη συνέχεια, ακολουθήστε τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης όπως αυτή περιγράφεται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής και χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία αποσυναρμολογήστε τον τριβέα No 5 και το σύστημα λίπανσής του, το περίβλημα της 1ης σταθερής βαθμίδας, το εσωτερικό περίβλημα του θαλάμου καύσης και το εμπρόσθιο περίβλημα του θαλάμου καύσης (Σχήμα 2.187). Προσέξτε να μην

αγγίζετε με γυμνά χέρια τα εξαρτήματα του τριβέα. Προφυλάξτε τον τριβέα σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.



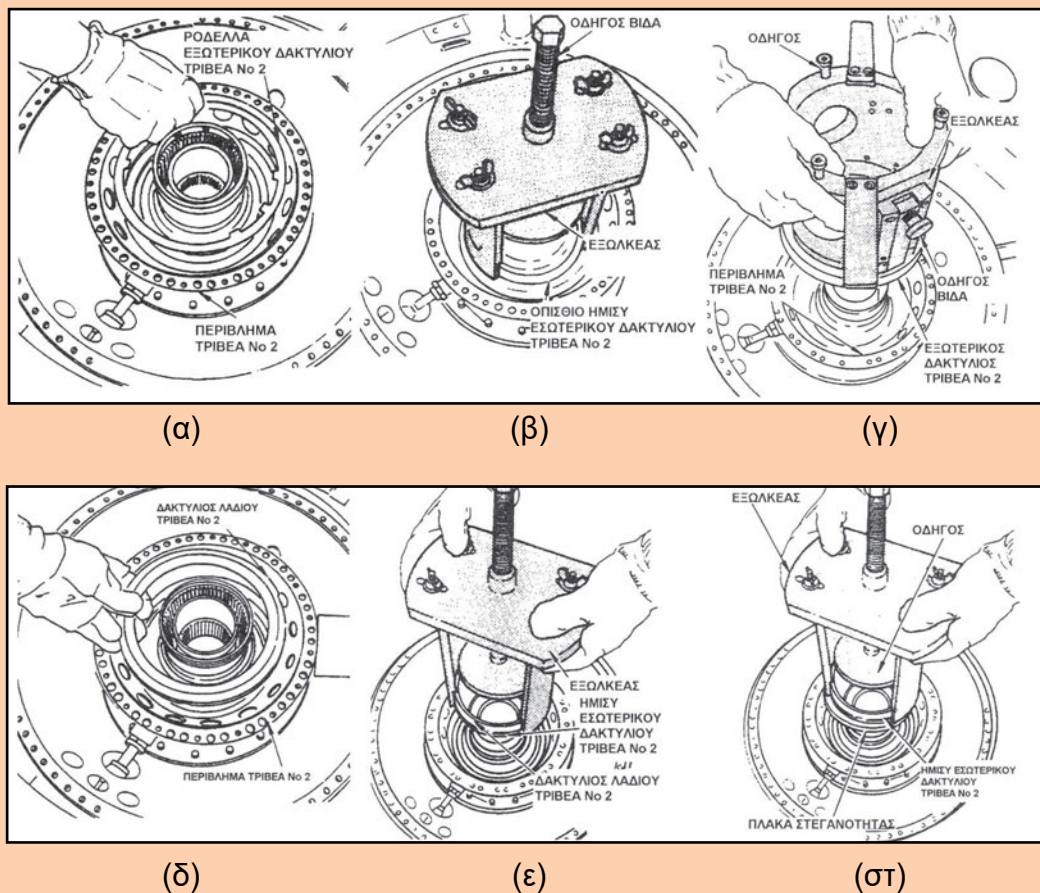
Σχήμα 2.187 Αφαίρεση εξαρτημάτων θαλάμου καύσης

- Αφαιρέστε το περίβλημα του διαχύτη και του συμπιεστή υψηλής πίεσης και τοποθετήστε τα στην ειδική υποδοχή (Σχήμα 2.188). Κατόπιν, αποσυναρμολογήστε τα.



Σχήμα 2.188 Αφαίρεση περιβλήματος διαχύτη και συμπιεστή υψηλής πίεσης

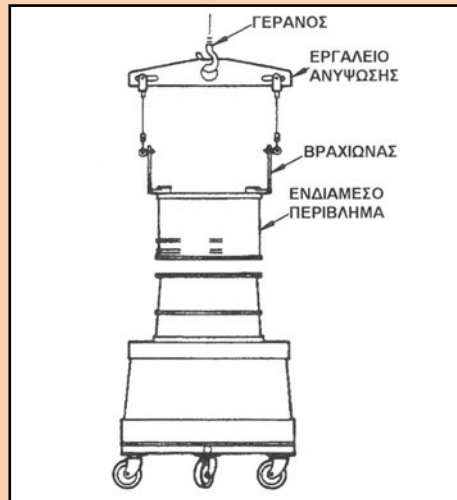
- Στη συνέχεια, αποσυναρμολογήστε τα υπόλοιπα εξαρτήματα, σύμφωνα με το εγχειρίδιο. Στο Σχήμα 2.189 παρουσιάζεται η διαδικασία αφαίρεσης του τριβέα No 2 και των εξαρτημάτων του.



Σχήμα 2.189 Διαδικασία αφαίρεσης τριβέα No 2 και εξαρτημάτων του

17. ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ (INTERMEDIATE CASE)

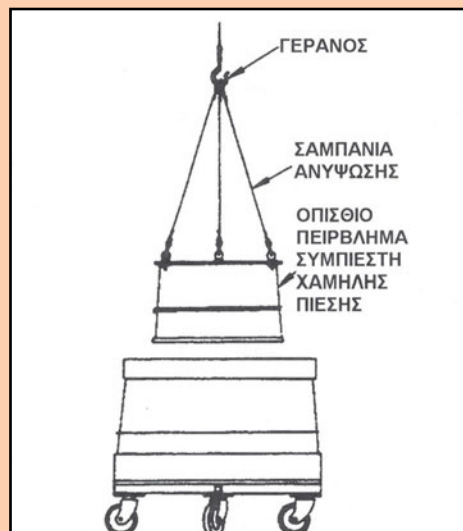
- Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία και το γερανό αποσυναρμολογήστε το ενδιάμεσο περίβλημα από το οπίσθιο περίβλημα του συμπιεστή χαμηλής πίεσης (Σχήμα 2.190) και τοποθετήστε το σε ειδικό υποδοχέα. Τοποθετήστε προστατευτικό κάλυμμα.



Σχήμα 2.190 Αποσυναρμολόγηση ενδιάμεσου περιβλήματος

18. ΟΠΙΣΘΙΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (FRONT COMPRESSOR REAR CASE)

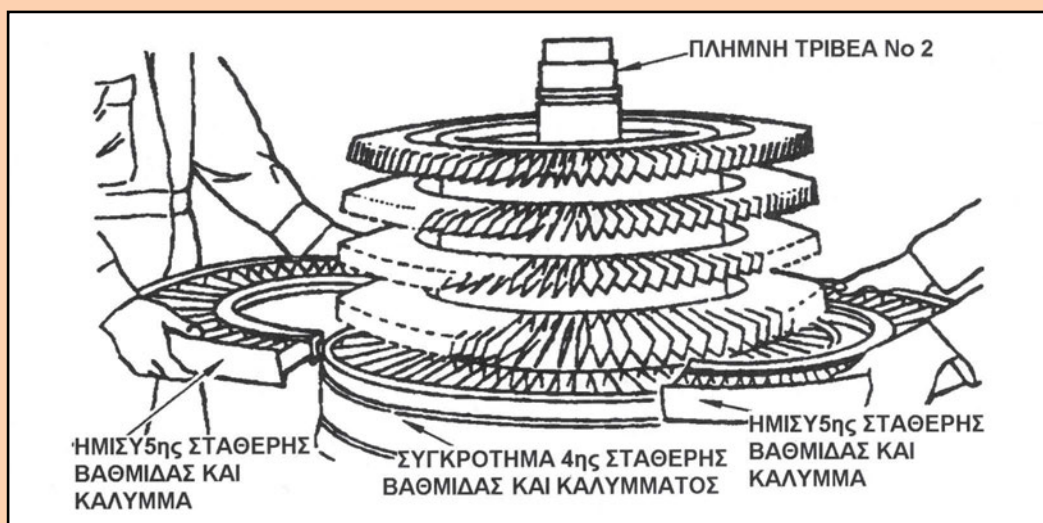
- Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία και το γερανό αποσυναρμολογήστε το οπίσθιο περίβλημα του συμπιεστή χαμηλής πίεσης από το περίβλημα του ανεμιστήρα (fan), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.191. Τοποθετήστε το περίβλημα σε ράφι και εφαρμόστε προστατευτικό κάλυμμα, αν το κρίνετε απαραίτητο.



Σχήμα 2.191 Αποσυναρμολόγηση οπίσθιου περιβλήματος συμπιεστή χαμηλής πίεσης

19. ΣΤΑΤΟΡΑΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (FRONT COMPRESSOR VANES)

- Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής, αφαιρέστε τα σταθερά πτερύγια των βαθμιδών 4 έως 9, που απαρτίζουν το συμπιεστή χαμηλής πίεσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.192.



Σχήμα 2.192 Αφαίρεση σταθερών πτερυγίων από των βαθμιδών του συμπιεστή χαμηλής πίεσης

Εργαστηριακή άσκηση 2.6:

Αποσυναρμολόγηση βαθμιδών συμπιεστή. Επιθεώρηση, επισκευή και επανασυναρμολόγησή τους.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αποσυναρμολογείτε τις βαθμίδες του συμπιεστή αεροπορικού αεριοστρόβιλου κινητήρα, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κατασκευαστή.

- β) Να εφαρμόζετε τις διαδικασίες επιθεώρησης και επισκευής των πτερυγίων.
- γ) Να εκτελείτε τη διαδικασία της ζυγοστάθμισης των πτερυγίων σε όλη την έκτασή της.
- δ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Η διαδικασία αποσυναρμολόγησης των βαθμιδών συμπιεστή έχει ως αναφορά κινητήρα τύπου στροβιλοανεμιστήρα, υψηλού λόγου παράκαμψης. Το τμήμα του συμπιεστή αποτελείται από ανεμιστήρα 2 βαθμιδών (1η - 2η), το συμπιεστή χαμηλής πίεσης 6 βαθμιδών (4η - 9η) και το συμπιεστή υψηλής πίεσης 7 βαθμιδών (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 την διαδικασία της αποσυναρμολόγησης, γενικά εργαλεία (συγκράτησης, μέτρησης, χάραξης, κοπής, κρούσης), μικρός γερανός με σχοινιά ανάρτησης ("σαμπάνια") ή αλυσίδες ή ιμάντες βαρούλκων, κατάλληλο καθαριστικό διάλυμα.

Μέτρα ασφάλειας

Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

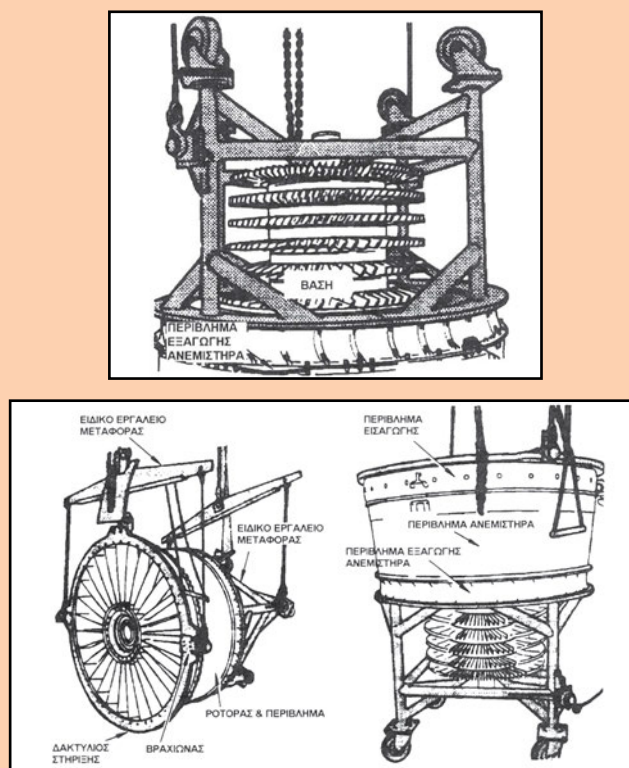
Πορεία εργασίας

1. Μελετήστε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής. Προδιαγράψτε τη σειρά των εργασιών που θα πραγματοποιήσετε στα πλαίσια της αποσυναρμολόγησης των βαθμιδών, της επιθεώρησης, των πιθανών επισκευών και της επανασυναρμολόγησής τους. 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. ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

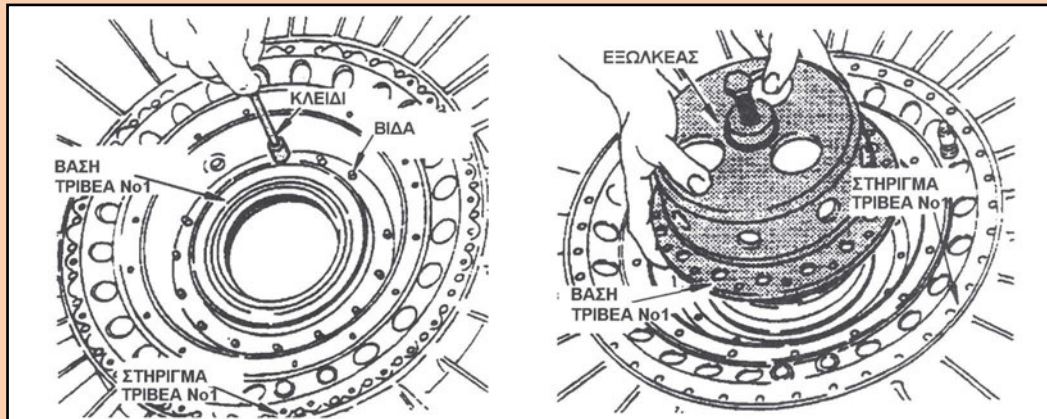
- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.

Ακολουθήστε τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής και τοποθετήστε το περίβλημα με την εισαγωγή προς τα πάνω, αλλάζοντάς του διεύθυνση κατά 180°, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.193.



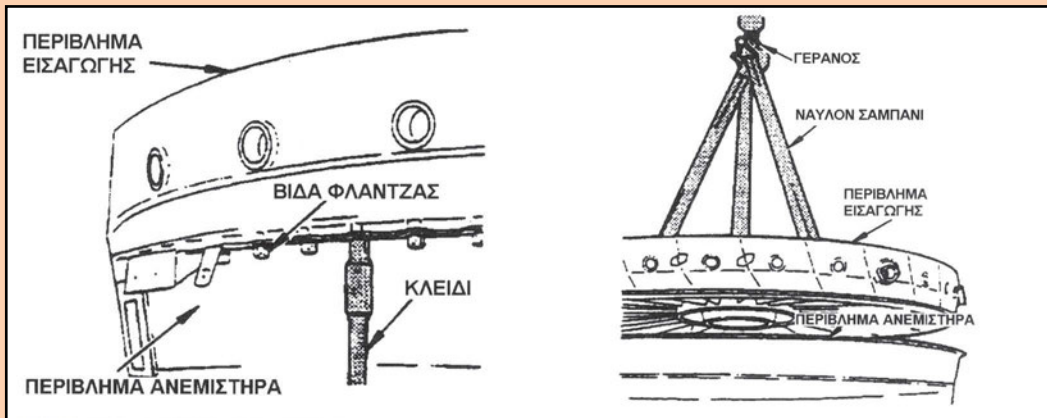
Σχήμα 2.193 Τοποθέτηση του περιβλήματος στην κατακόρυφη θέση εργασίας

- Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο κοχλιοστροφέο (μανέλα, wrench), τον κατάλληλο εξωλκέα (puller) και το γερανό αφαιρέστε τον τριβέα No 1, το περίβλημά του και το περίβλημα εισαγωγής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.194. Τοποθετήστε το τελευταίο στον πάγκο.



(α)

(β)

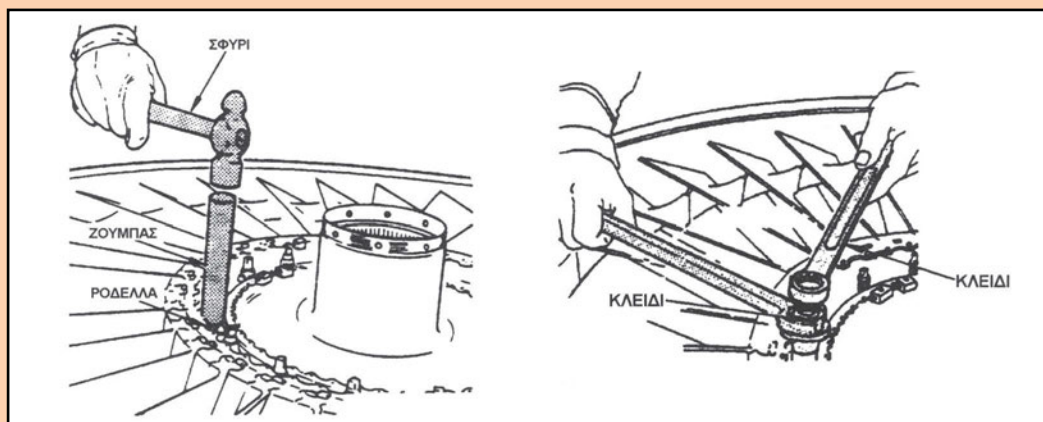


(γ)

(δ)

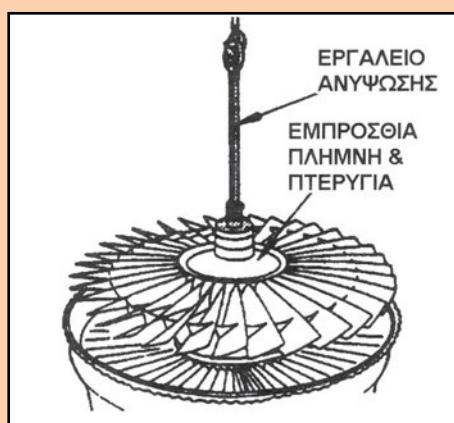
Σχήμα 2.194 Αφαίρεση τριβέα Νο 1 και περιβλήματος

- Σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου αφαιρέστε εξαρτήματα όπως τα στηρίγματα του τριβέα Νο 1, το στυπιοθλίπτη και το στηρίγμά του, ελατήρια και δακτύλιους συγκράτησης.
- Χρησιμοποιώντας σφυρί και ζουμπά, απασφαλίστε τις ροδέλες των μπουζονιών συγκράτησης (tierods), Σχήμα 2.195α. Στη συνέχεια, αφαιρέστε παξιμάδια και ροδέλες και χρησιμοποιώντας το γερανό αφαιρέστε την 1η βαθμίδα του ανεμιστήρα, Σχήμα 2.195β και γ. Τοποθετήστε τη βαθμίδα σε πάγκο.



(α)

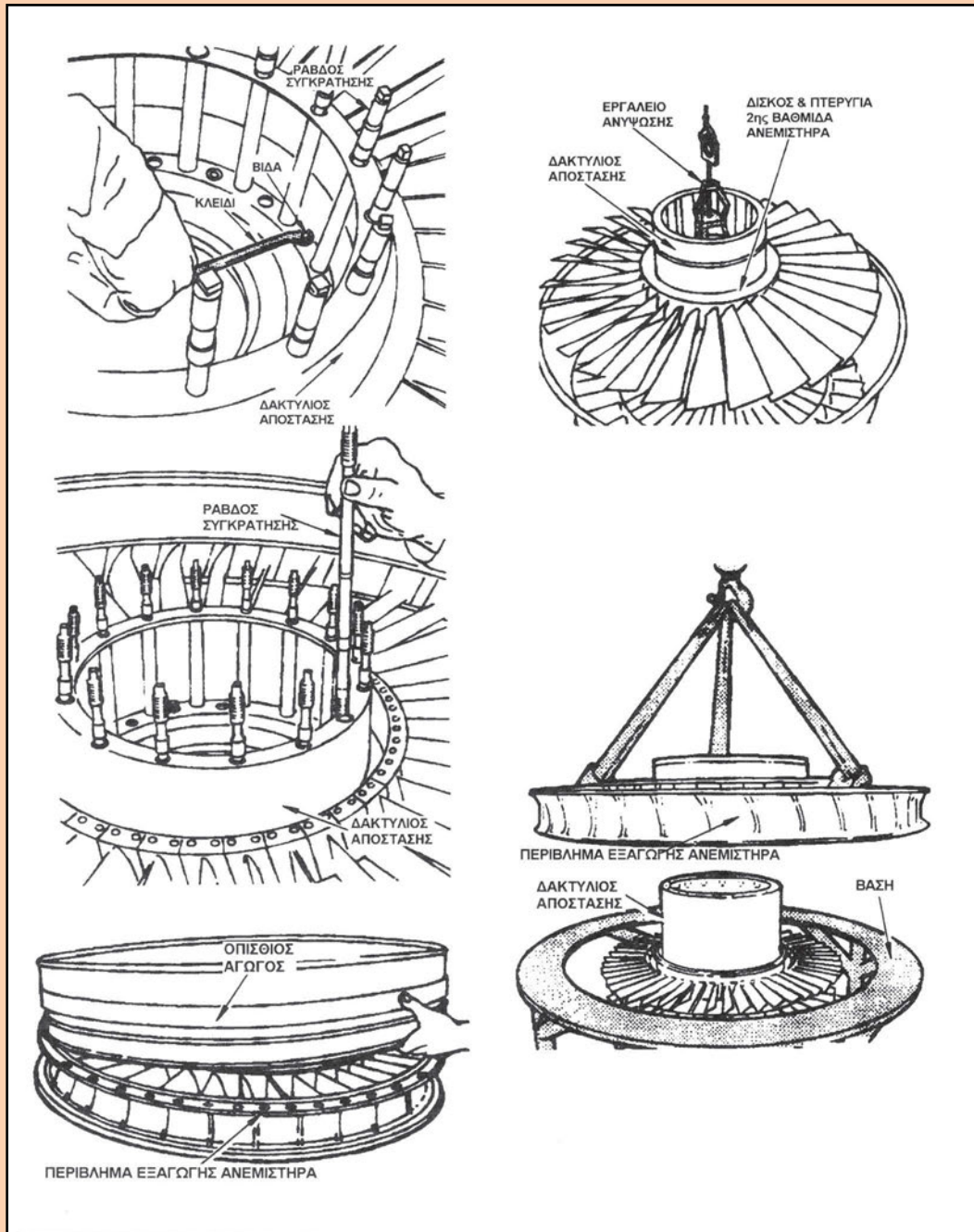
(β)



(γ)

Σχήμα 2.195 Αποσυναρμολόγηση στροφείου 1ης βαθμίδας ανεμιστήρα

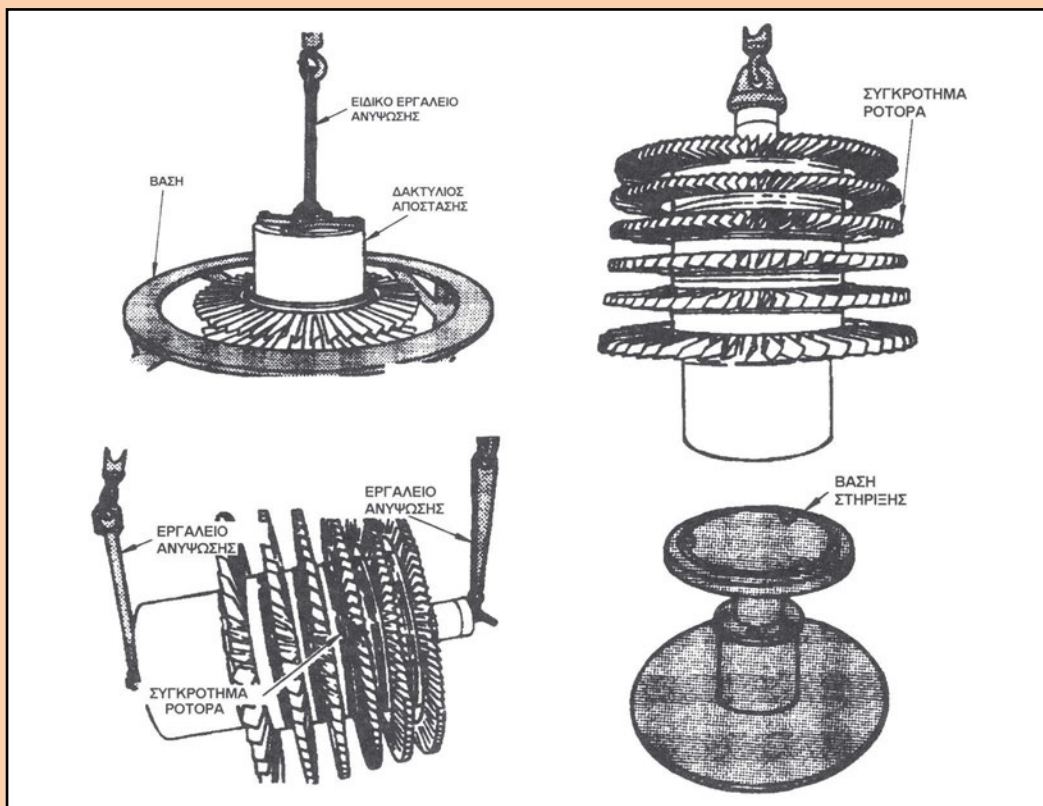
- Σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου, αφαιρέστε το περίβλημα του ανεμιστήρα, και στη συνέχεια, το δίσκο της 2ης βαθμίδας του ανεμιστήρα και το περίβλημα εξαγωγής του ανεμιστήρα μαζί με το στάτορα της 2ης βαθμίδας, Σχήμα 2.196.



Σχήμα 2.196 Αφαίρεση βαθμίδων ανεμιστήρα

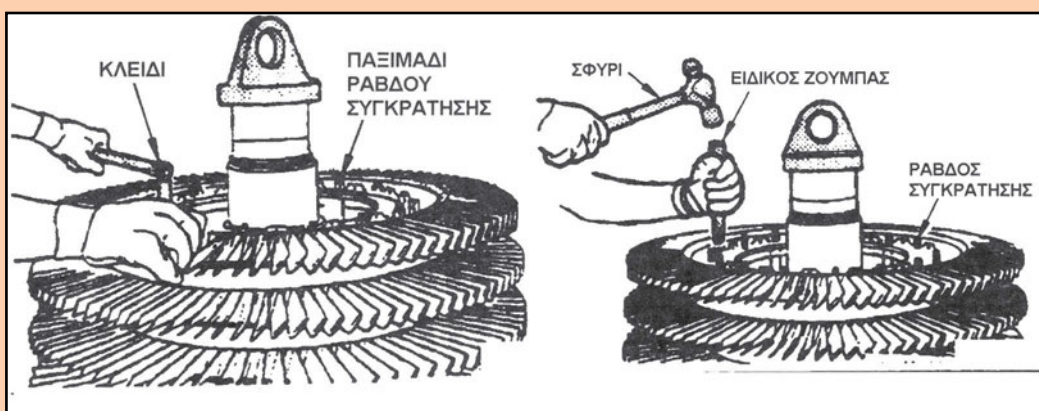
- Τοποθετήστε το κατάλληλο ειδικό εργαλείο στο δακτύλιο απόστασης μεταξύ της 2ης και της 4ης βαθμίδας. Χρησιμοποιώντας το γερανό απομακρύνετε το ρότορα από τη βάση. Τοποθετήστε τον σε νέα βάση στήριξης (Σχήμα 2.197).

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

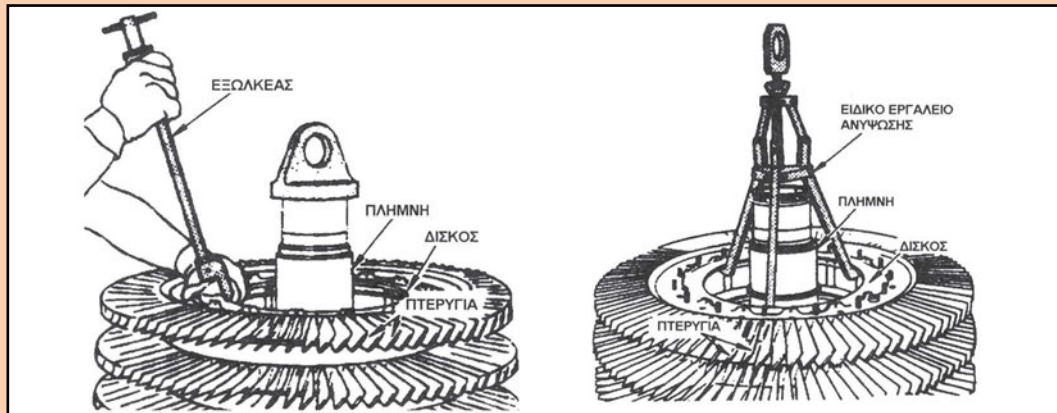


Σχήμα 2.197 Αφαίρεση ρότορα συμπιεστή χαμηλής πίεσης

- Στη συνέχεια, απασφαλίστε το δίσκο της 9ης βαθμίδας, απομακρύνετε την από το στροφέιο (Σχήμα 2.198 και Σχήμα 2.199) και τοποθετήστε την στον πάγκο.

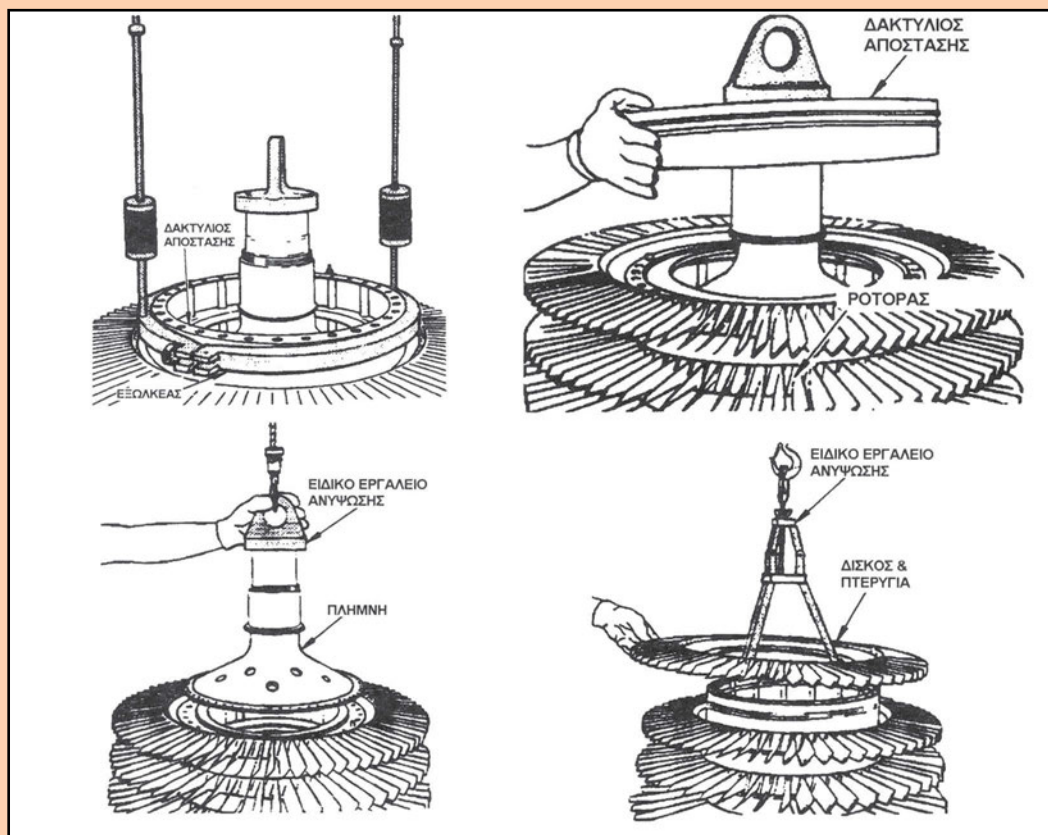


Σχήμα 2.198 Αποσυναρμολόγηση δίσκου 9ης βαθμίδας



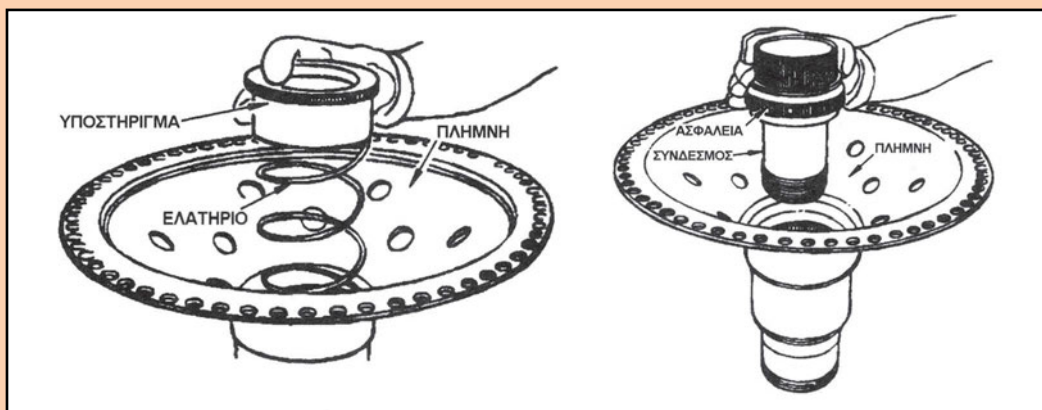
Σχήμα 2.199 Αποσυναρμολόγηση δίσκου 9ης βαθμίδας

- Κατόπιν, ακολουθώντας τη διαδικασία του εγχειριδίου γενικής επισκευής, αφαιρέστε τους δίσκους των υπόλοιπων βαθμίδων του στροφείου (Σχήμα 2.200). Τοποθετήστε τους δίσκους στους πάγκους.



Σχήμα 2.200 Αφαίρεση δίσκων και πτερυγίων των υπόλοιπων βαθμίδων του συμπιεστή χαμηλής πίεσης

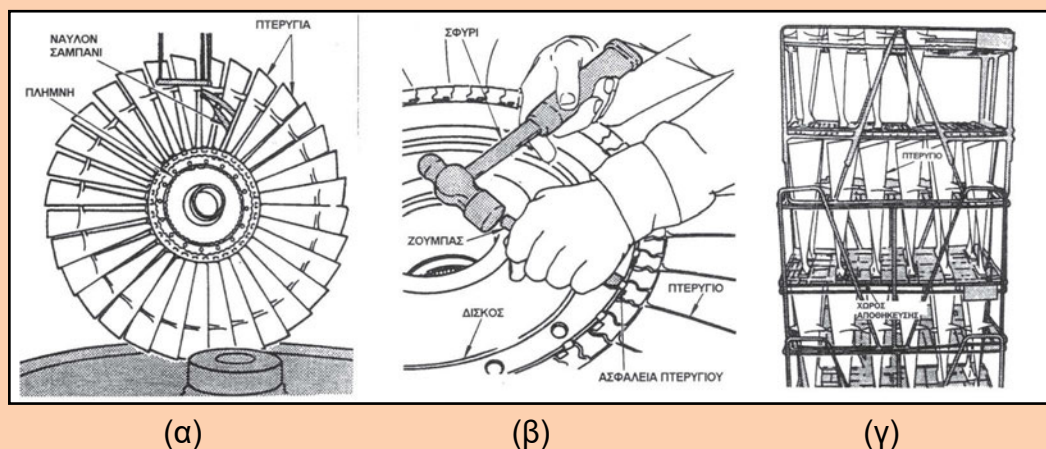
- Τέλος, αφαιρέστε το σύνδεσμο από τον άξονα, Σχήμα 2.201.



Σχήμα 2.201 Αφαίρεση συνδέσμου από τον άξονα χαμηλής πίεσης

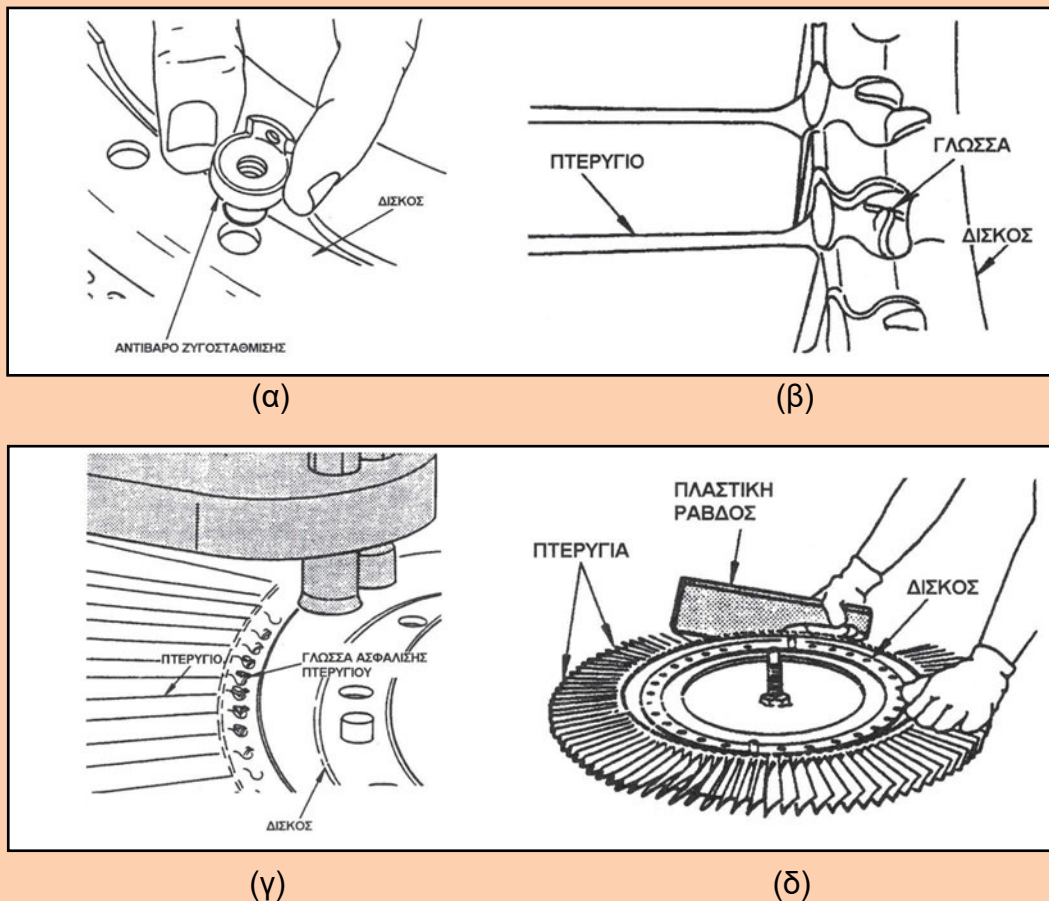
4. ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
- Τοποθετήστε το στροφείο της 1ης βαθμίδας του ανεμιστήρα στον πάγκο εργασίας με την πλευρά του χείλους προσβολής προς τα κάτω, Σχήμα 2.202α. Χρησιμοποιώντας σφυρί και εξωστήρα απασφαλίστε τη βάση στήριξης των πτερυγίων, Σχήμα 2.202β. Χρησιμοποιώντας πλαστικό σφυρί, αφαιρέστε τα πτερύγια. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην προσκρούουν μεταξύ τους. Τοποθετήστε τα σε ειδικό αποθηκευτικό φορέα, Σχήμα 2.202γ. Οι ασφάλειες των πτερυγίων δε χρησιμοποιούνται ξανά.



Σχήμα 2.202 Αποσυναρμολόγηση πτερυγίων 1ης βαθμίδας ανεμιστήρα

- Με όμοιο τρόπο αποσυναρμολογήστε τα κινητά πτερύγια της δεύτερης βαθμίδας του ανεμιστήρα.
- Στη συνέχεια, αφαιρέστε τα βάρη ζυγοστάθμισης από τους δίσκους του συμπιεστή χαμηλής πίεσης, Σχήμα 2.203α. Απασφαλίστε τα σημεία στήριξης των πτερυγίων (Σχήμα 2.203β) και, χρησιμοποιώντας κατάλληλο ειδικό εργαλείο, αφαιρέστε τους πείρους στήριξης, Σχήμα 2.203γ. Τέλος, χρησιμοποιώντας κατάλληλο πλαστικό εργαλείο, αφαιρέστε τα πτερύγια από τους δίσκους (Σχήμα 2.203δ) και τοποθετήστε τα σε ειδικό κουτί. Οι ασφάλειες των πτερυγίων δε χρησιμοποιούνται ξανά.



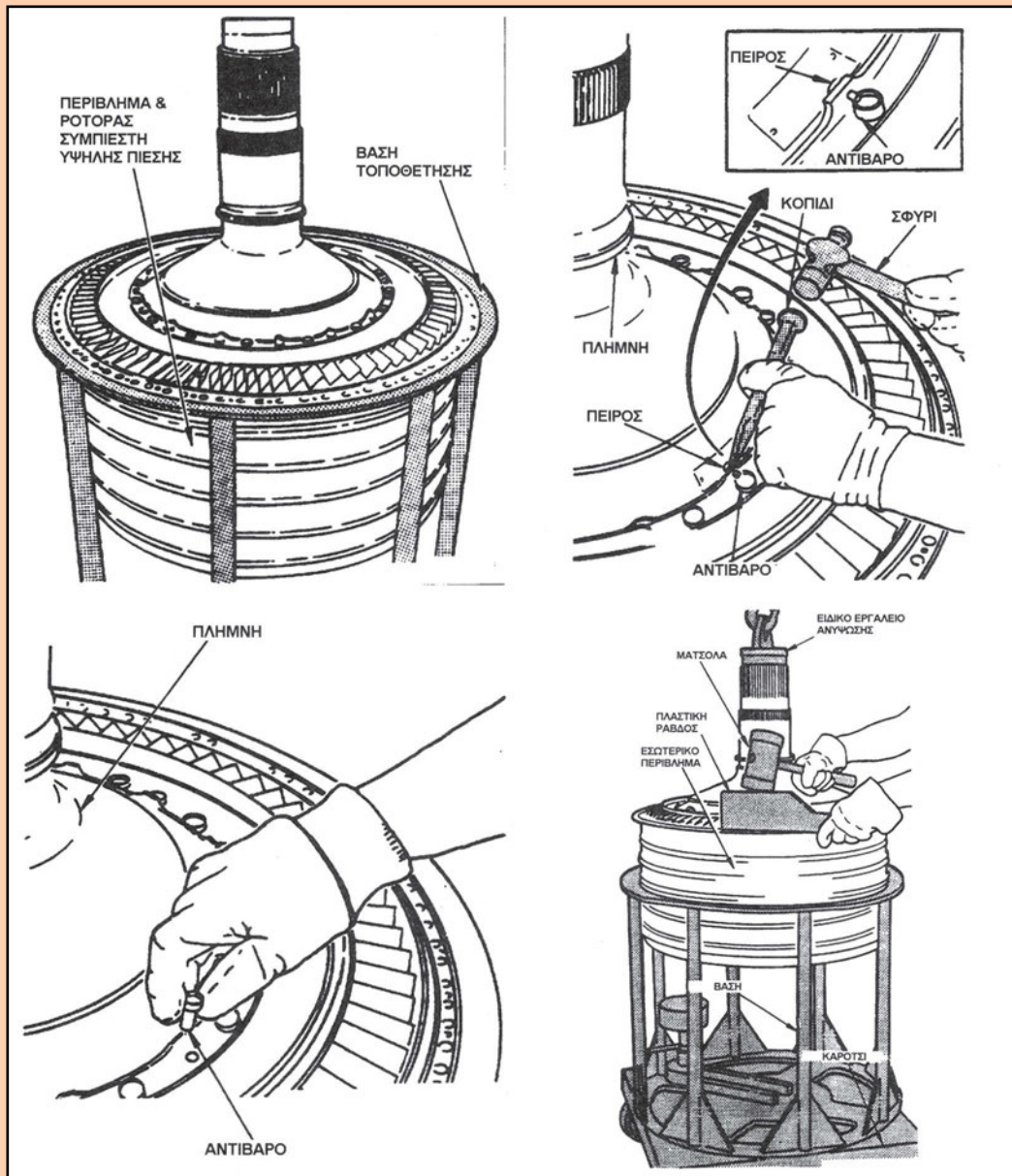
Σχήμα 2.203 Αποσυναρμολόγηση πτερυγίων συμπιεστή χαμηλής πίεσης

5. ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.

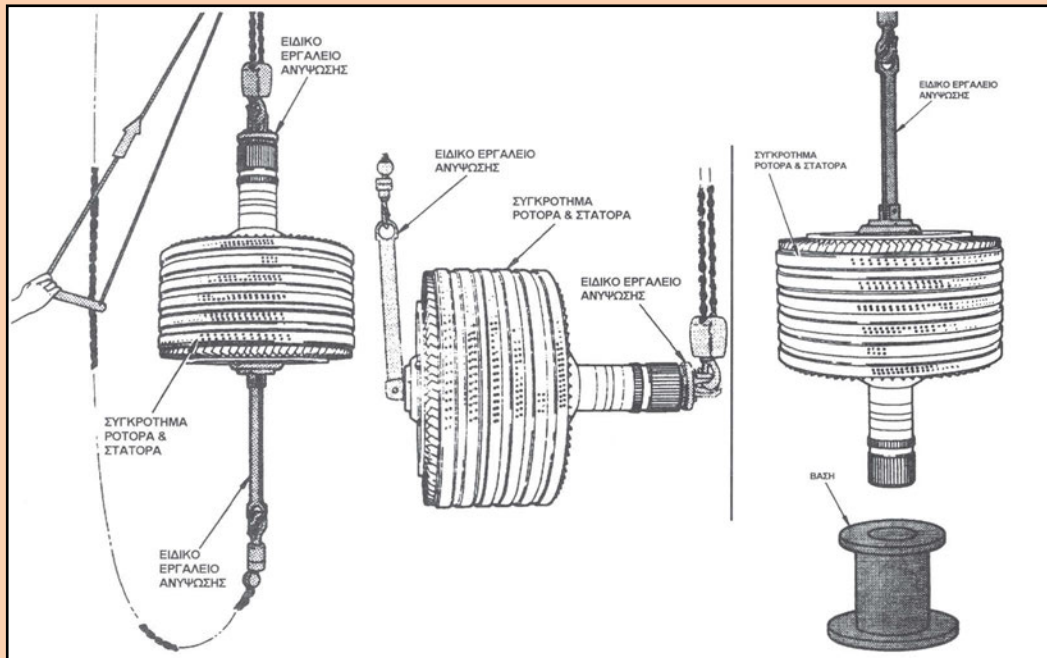
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

- Με το συγκρότημα στροφείου και περιβλήματος στη βάση, αφαιρέστε τα βάρη ζυγοστάθμισης από την πλήμνη και, χρησιμοποιώντας πλαστικό εργαλείο, αφαιρέστε το περίβλημα (Σχήμα 2.204).



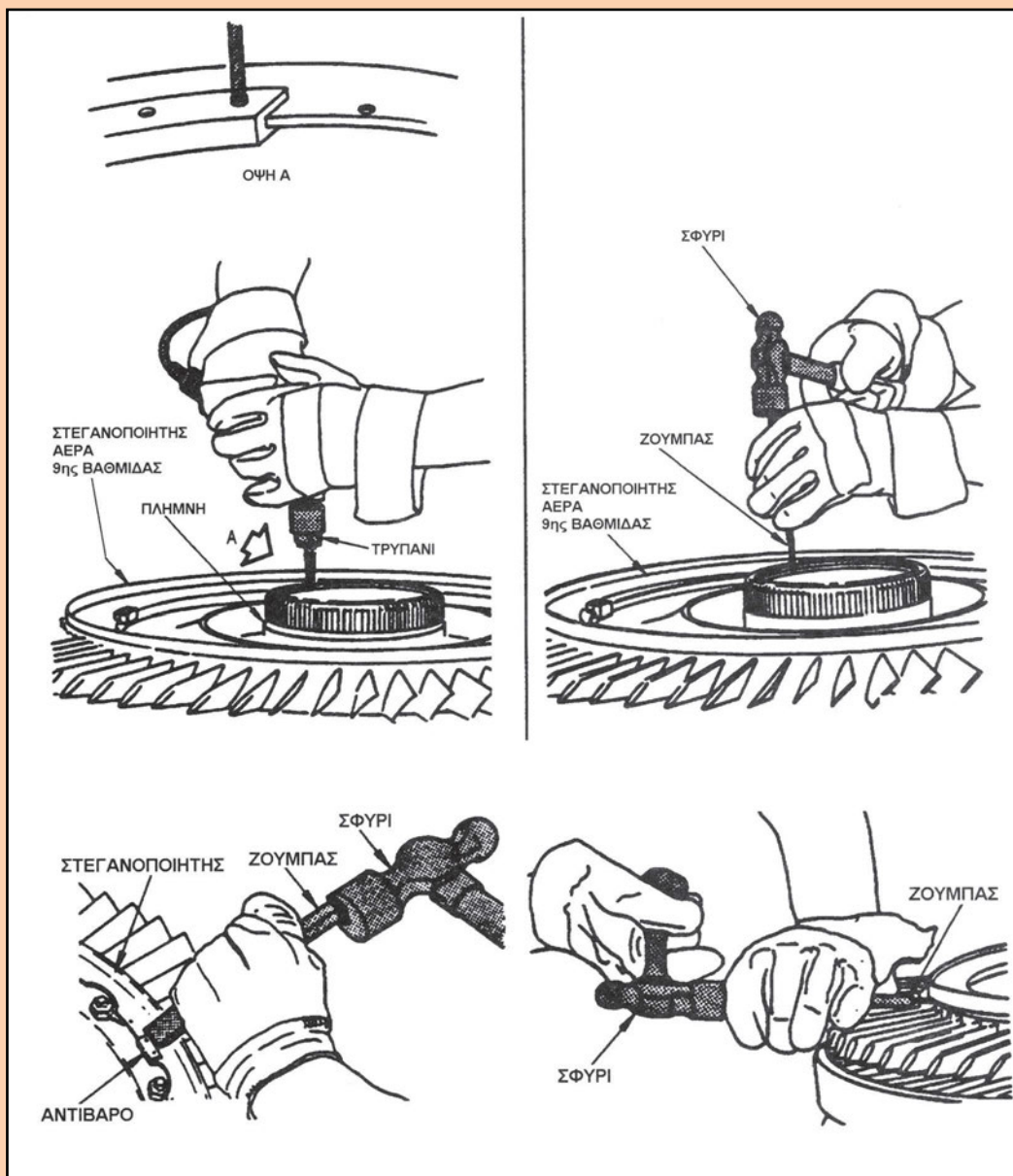
Σχήμα 2.204 Αφαίρεση περιβλήματος συμπιεστή υψηλής πίεσης

- Χρησιμοποιώντας το γερανό, ανασηκώστε το ρότορα, το στάτορα και τον άξονα, και περιστρέψτε τα κατά 180°. Τοποθετήστε το συγκρότημα στην ειδική βάση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.205.



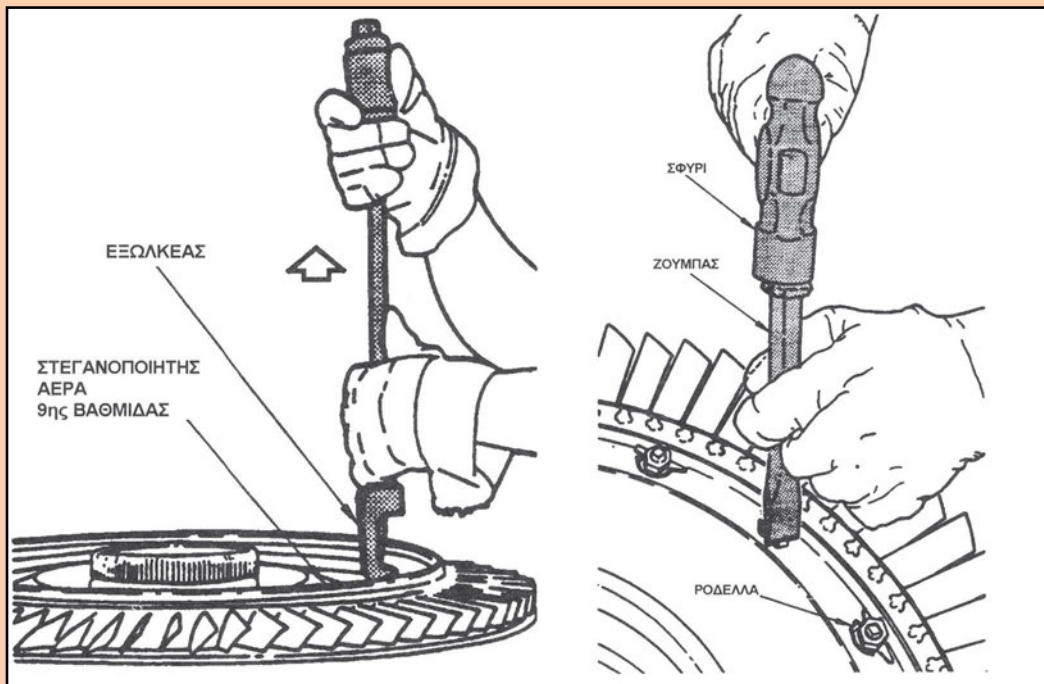
Σχήμα 2.205 Τοποθέτηση κινητών και σταθερών βαθμιδών σε ειδική βάση

- Αφαιρέστε παρεμβύσματα, δακτυλίους απόστασης και τον τριβέα Νο 3. Προσέξτε να μην αγγίζετε με γυμνά χέρια τα εξαρτήματα του τριβέα. Προφυλάξτε τον τριβέα σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.
- Αφαιρέστε τα αντίβαρα ζυγοστάθμισης από το δίσκο της 10ης βαθμίδας, Σχήμα 2.206.



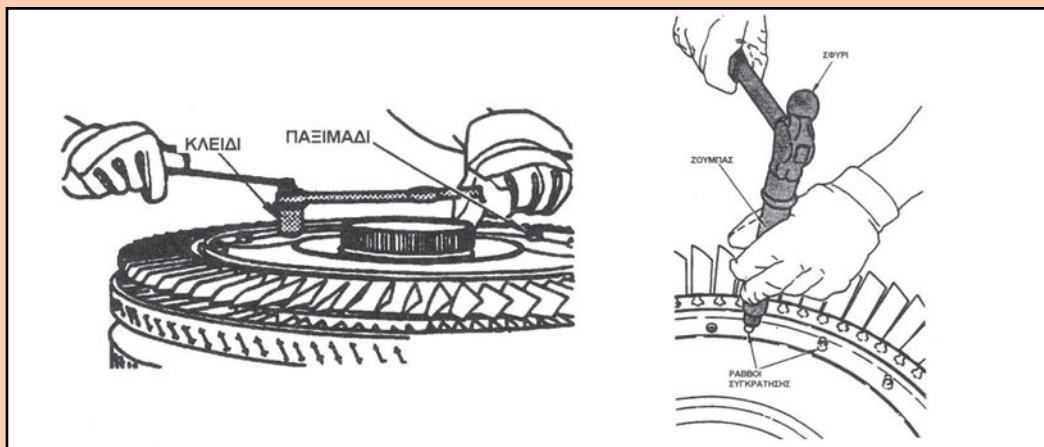
Σχήμα 2.206 Αφαίρεση αντιβάρων ζυγοστάθμισης

- Με τον κατάλληλο εξωλκέα αφαιρέστε το στεγανοποιητή αέρα (air seal) της 9ης βαθμίδας, Σχήμα 2.207α.
- Χρησιμοποιώντας σφυρί και εξωστήρα, απασφαλίστε τις ροδέλες των ράβδων συγκράτησης (tierods), και αφαιρέστε παξιμάδια και ροδέλες, Σχήμα 2.207 (β), (γ) και (δ).



(α)

(β)

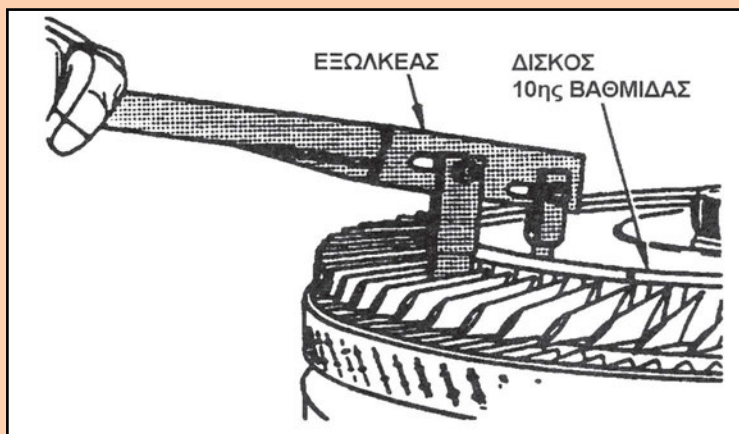


(γ)

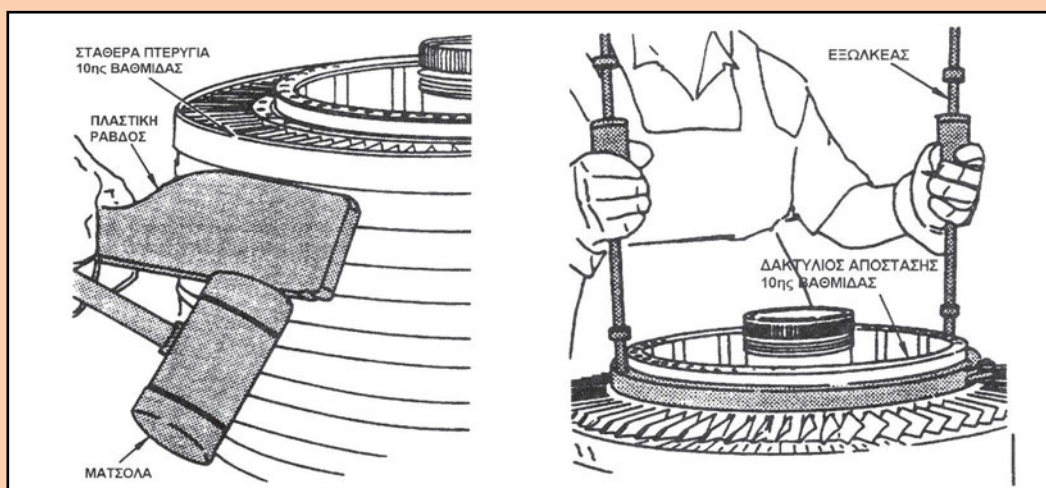
(δ)

Σχήμα 2.207 Αφαίρεση εξαρτημάτων

- Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξωλκέα, απομακρύνετε το δίσκο και τα κινητά πτερύγια της 10ης βαθμίδας, Σχήμα 2.208α. Τοποθετήστε τα στον πάγκο. Χρησιμοποιήστε ματσόλα και πλαστικό εργαλείο για την αφαίρεση των σταθερών πτερυγίων της 10ης βαθμίδας και του συνδετικού δίσκου, Σχήμα 2.208β. Με τον κατάλληλο εξωλκέα, αφαιρέστε τον δακτύλιο απόστασης της 10ης βαθμίδας, Σχήμα 2.208γ.



(α)

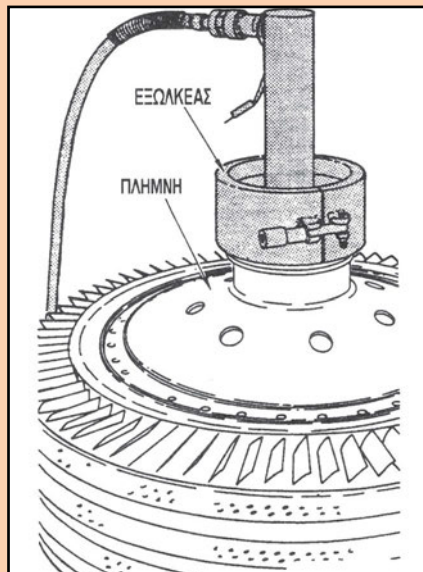


(β)

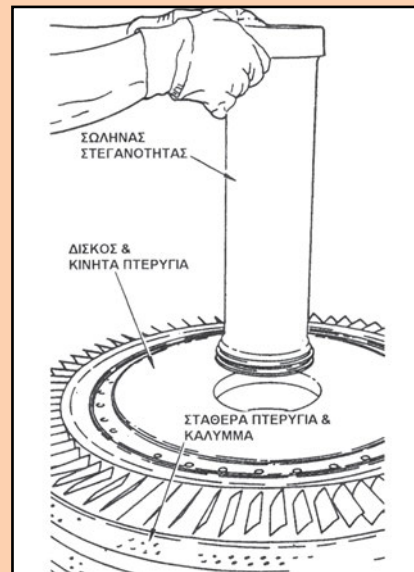
(γ)

Σχήμα 2.208 Αφαίρεση εξαρτημάτων από τη 10η βαθμίδα

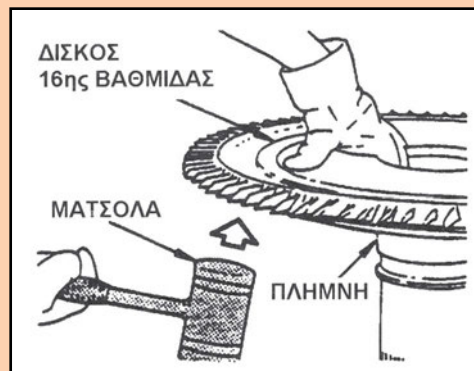
- Με τον ίδιο τρόπο, όπως προηγουμένως αφαιρέστε την 11η βαθμίδα καθώς και το δακτύλιο απόστασής της.
- Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής, εφαρμόστε τον κατάλληλο εξωλκέα και την υδραυλική αντλία στην πλήμνη του δίσκου και αφαιρέστε την πλήμνη και το σωλήνα στεγανοποίησης, Σχήμα 2.209 (α) και (β). Στη συνέχεια, αφαιρέστε τους υπόλοιπους δίσκους, κινητά πτερύγια, σταθερά πτερύγια, και δακτύλιους απόστασης όπως στη 10η και 11η βαθμίδα (εκτός από τη 16η). Τέλος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.209γ, αφαιρέστε το δίσκο και τα κινητά πτερύγια της 16ης βαθμίδας από την οπίσθια πλήμνη.



(α)



(β)



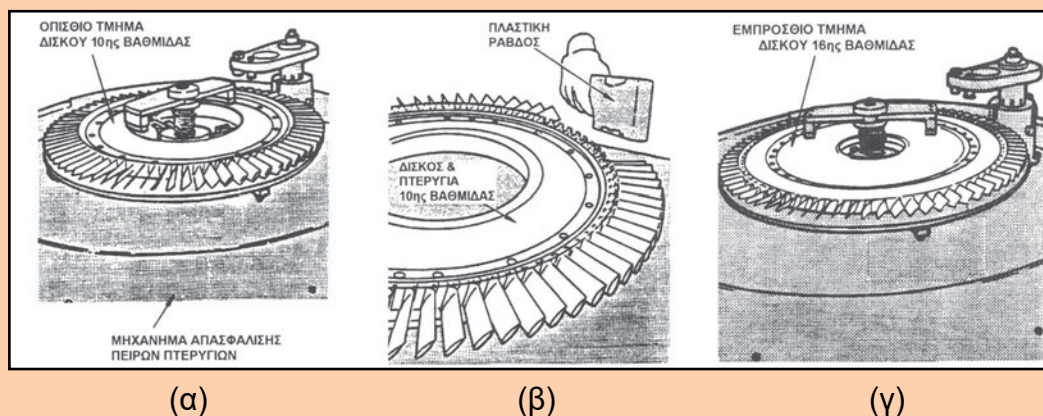
(γ)

Σχήμα 2.209 Αφαίρεση εξαρτημάτων του συμπιεστή υψηλής πίεσης

6. ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
- Τοποθετήστε το δίσκο και τα κινητά πτερύγια της 10ης βαθμίδας στη βάση στήριξης του ειδικού εργαλείου αφαίρεσης των πείρων στήριξης με το χείλος προσβολής προς τα κάτω, Σχήμα 2.210α. Με πολλή προσοχή, ώστε να αποφευχθεί ζημία του δίσκου, αφαιρέστε τους πείρους.

- Χρησιμοποιώντας κατάλληλο πλαστικό εργαλείο, αφαιρέστε τα πτερύγια από το δίσκο (Σχήμα 2.210β) και τοποθετήστε τα σε ειδικό κουτί. Οι ασφάλειες των πτερυγίων δε χρησιμοποιούνται ξανά.
- Στην περίπτωση που οι δίσκοι και τα πτερύγια έχουν διαβρωθεί και η διαδικασία αποσυναρμολόγησης είναι δύσκολη, χρησιμοποιήστε διεισδυτικό λάδι (δύο δόσεις ανά 24 ώρες) και δοκιμάστε ξανά.
- Επαναλάβετε την παραπάνω διαδικασία για τις βαθμίδες 11 έως 15. Αφαιρέστε τα βάρη ζυγοστάθμισης από τους δίσκους των βαθμιδών.
- Τέλος, τοποθετήστε το δίσκο και τα κινητά πτερύγια της 16ης βαθμίδας στη βάση στήριξης του ειδικού εργαλείου αφαίρεσης των πείρων στήριξης με το χέιλος προσβολής προς τα πάνω, Σχήμα 2.210γ. Με πολλή προσοχή, ώστε να αποφευχθεί ζημία του δίσκου, αφαιρέστε τους πείρους.
- Χρησιμοποιώντας κατάλληλο πλαστικό εργαλείο, αφαιρέστε τα πτερύγια από το δίσκο και τοποθετήστε τα σε ειδικό κουτί. Οι ασφάλειες των πτερυγίων δε χρησιμοποιούνται ξανά.

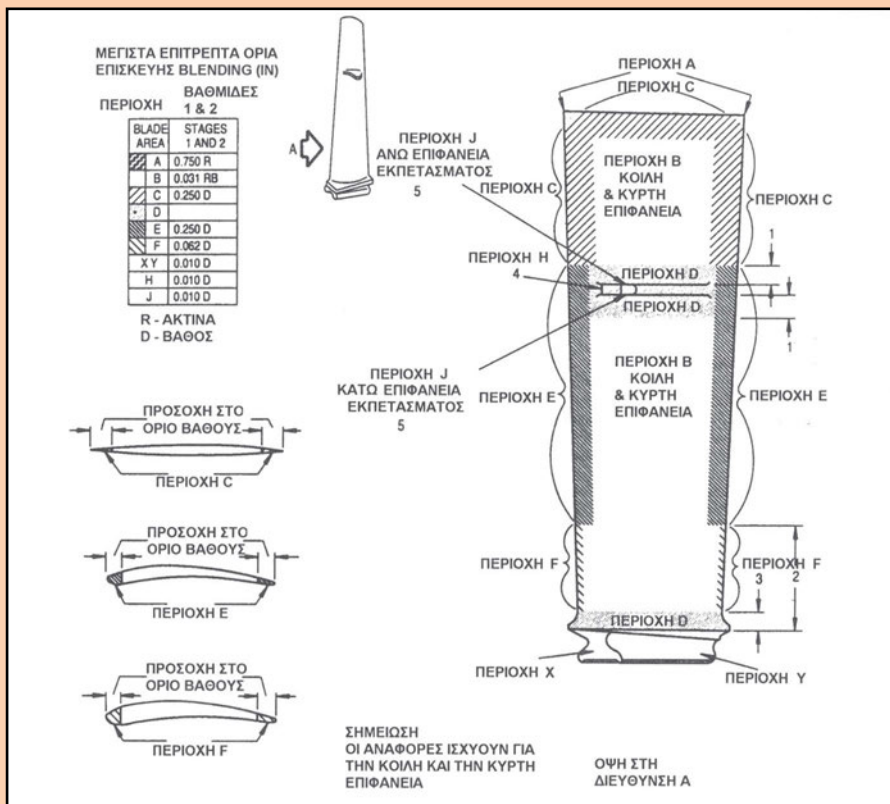


Σχήμα 2.210 Αποσυναρμολόγηση κινητών πτερυγίων συμπιεστή υψηλής πίεσης

7. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ

- Συγκεντρώστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της επιθεώρησης.

- Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τις διαδικασίες και τα διαλύματα που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό ο οποίος προηγείται της επιθεώρησης των εξαρτημάτων.
- Αρχικά, πραγματοποιήστε επιθεώρηση με διεισδυτικό υγρό (FPI). Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για τη διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσετε.
- Χρησιμοποιήστε μεγεθυντικό φακό 3X και πηγή φωτός και εξετάστε προσεκτικά τα κινητά πτερύγια του ανεμιστήρα για την ύπαρξη φθορών σύμφωνα με το Σχήμα 2.211.
- Στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής θα βρείτε πίνακες με τα επιτρεπόμενα όρια για κάθε φθορά ή ζημία που ίσως παρατηρήσετε στις διάφορες περιοχές επιθεώρησης του πτερυγίου. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή στις φθορές οι οποίες είναι επιτρεπτές χωρίς επισκευή και στα κριτήρια τα οποία οδηγούν σε μία τέτοια μεταχείριση.

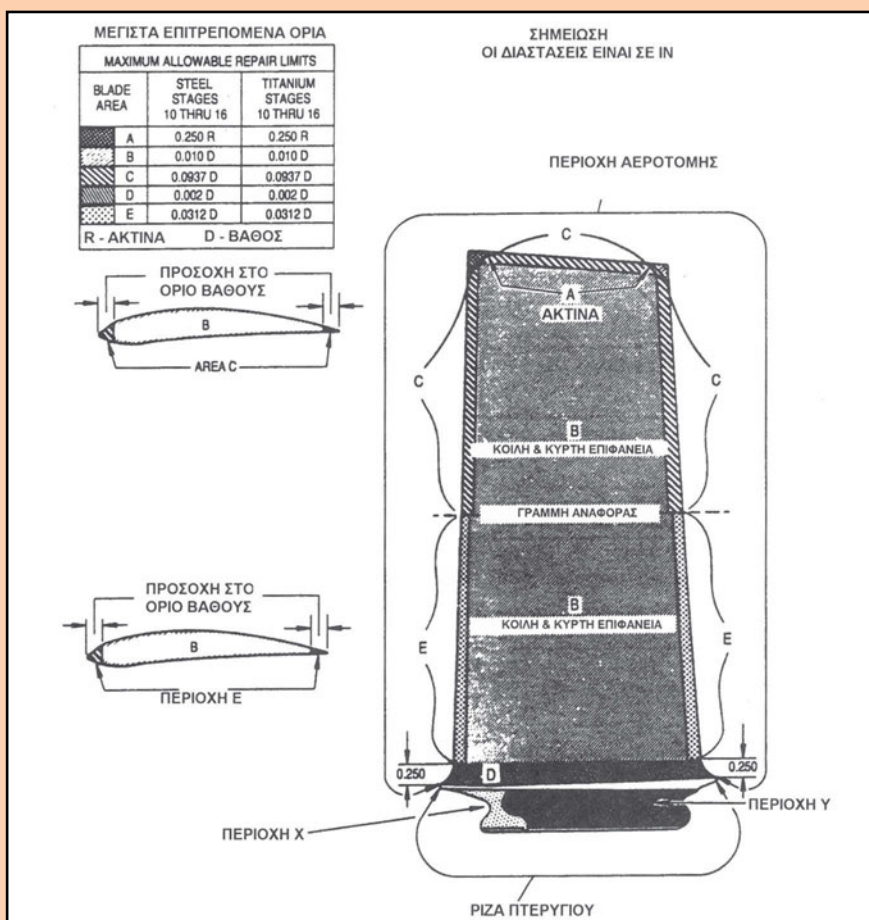


Σχήμα 2.211 Περιοχές και κριτήρια επιθεώρησης κινητών πτερυγίων ανεμιστήρα

- Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο και επιθεωρήστε το εκπέτασμα (mid span) των πτερυγίων και των δύο βαθμιδών του ανεμιστήρα. Λόγω της επαφής των πτερυγίων στο σημείο εκείνο, αυτά υπόκεινται σε φθορά κατά το μήκος του. Χρησιμοποιήστε το ειδικό εργαλείο που αναφέρεται στο εγχειρίδιο και ακολουθήστε τις οδηγίες για τη ρύθμισή του, τη διαδικασία της μέτρησης και τους υπολογισμούς που πρέπει να κάνετε ώστε να υπολογίσετε την πιθανή φθορά κατά μήκος του εκπετάσματος. Αξιολογήστε τις μετρήσεις σύμφωνα με τους πίνακες επιτρεπτών τιμών που θα βρείτε στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής.

8. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Ακολουθήστε την παραπάνω διαδικασία. Επιθεωρήστε τα πτερύγια σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στο Σχήμα 2.212.

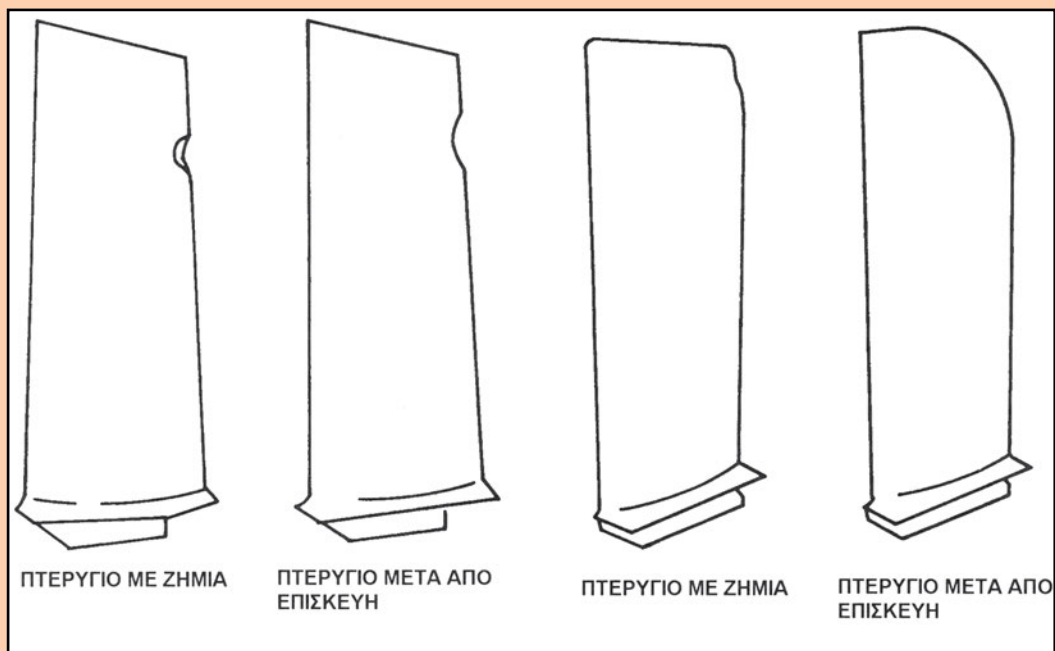


Σχήμα 2.212 Περιοχές και κριτήρια επιθεώρησης κινητών πτερυγίων συμπίεστη

- Ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, ο κατασκευαστής μπορεί να απαιτεί έλεγχο των κινητών πτερυγίων με τη χρήση της μεθόδου των δινορευμάτων (eddy current inspection). Περισσότερες πληροφορίες για τους μη καταστροφικούς ελέγχους περιέχονται στο βιβλίο “Κινητήρες Αεροσκαφών ΙΙ”.

9. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής και συγκεντρώστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της επιθεώρησης.
- Αρχικά, πραγματοποιήστε επιθεώρηση με διεισδυτικό υγρό (FPI). Ανάλογα με το είδος του κινητήρα, ο κατασκευαστής μπορεί να απαιτεί μαγνητική επιθεώρηση (MPI) στο στάδιο αυτό. Για κάποιους τύπους κινητήρων οι δύο μέθοδοι είναι εναλλακτές. Ακολουθήστε τις οδηγίες του εγχειριδίου για τη διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσετε.
- Χρησιμοποιήστε μεγεθυτικό φακό 9X και πηγή φωτός και εξετάστε προσεκτικά τα κινητά πτερύγια για την ύπαρξη φθορών σύμφωνα με το Σχήμα 2.212.
- Ξεχωρίστε τα πτερύγια τα οποία φέρουν εγκοπές κατά μήκος του χείλους προσβολής ή / και του χείλους εκφυγής από αυτά που έχουν μικρότερου μεγέθους αμυχές ή φθορές. Γενικά, η σπουδαιότητα των εγκοπών στο χείλος προσβολής και στο χείλος εκφυγής αυξάνει όταν αυτές βρίσκονται πιο κοντά στη ρίζα του πτερυγίου.
- Στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής θα βρείτε πίνακες με τα επιτρεπόμενα όρια για κάθε φθορά ή ζημία που ίσως παρατηρήσετε στις διάφορες περιοχές επιθεώρησης του πτερυγίου. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή στις φθορές οι οποίες είναι επιτρεπτές χωρίς επισκευή και στα κριτήρια τα οποία δικαιολογούν μία τέτοια μεταχείριση. Στους ίδιους πίνακες υπάρχουν τα όρια για κάθε επισκευή καθώς και τα επιτρεπόμενα είδη επισκευών. Στο Σχήμα 2.213 φαίνονται κινητά πτερύγια συμπιεστή τα οποία έχουν υποστεί επισκευή για την αντιμετώπιση της ζημίας τους.



Σχήμα 2.213 Κινητά πτερύγια συμπιεστή πριν και μετά την αποκατάσταση της ζημίας τους

Εργαστηριακή άσκηση 2.7:

Αποσυναρμολόγηση βαθμίδων στροβίλου. Επιθεώρηση, επισκευή και επανασυναρμολόγησή τους.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αποσυναρμολογείτε τις βαθμίδες του στροβίλου αεροπορικού αεροστρόβιλου κινητήρα, ακολουθώντας συγκεκριμένες διαδικασίες, όπως αυτές περιγράφονται στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής του κατασκευαστή.

- β) Να εφαρμόζετε τις διαδικασίες επιθεώρησης και επισκευής των πτερυγίων.
- γ) Να εκτελείτε τη διαδικασία της ζυγοστάθμισης των πτερυγίων σε όλη την έκτασή της.
- δ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Η διαδικασία αποσυναρμολόγησης των βαθμίδων στροβίλου έχει ως αναφορά κινητήρα τύπου στροβιλοανεμιστήρα, υψηλού λόγου παράκαμψης. Το τμήμα του στροβίλου αποτελείται από το στρόβιλο υψηλής πίεσης μίας βαθμίδας και το στρόβιλο χαμηλής πίεσης 3 βαθμίδων (2η - 4η).

Απαιτούμενα μέσα

Κινητήρας τύπου στροβιλοανεμιστήρα, κατάλληλη περιστρεφόμενη κλίνη για την τοποθέτησή του, εγχειρίδιο γενικής επισκευής από την κατασκευάστρια εταιρεία, μία σειρά των απαραίτητων ειδικών εργαλείων για την διαδικασία της αποσυναρμολόγησης, γενικά εργαλεία (συγκράτησης, μέτρησης, χάραξης, κοπής, κρούσης), μικρός γερανός με σχοινιά ανάρτησης ("σαμπάνια") ή αλυσίδες ή ιμάντες βαρούλκων και κατάλληλο καθαριστικό διάλυμα.

Μέτρα ασφάλειας

Ακουλουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

Πορεία εργασίας

1. Μελετήστε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής. Προδιαγράψτε τη σειρά των εργασιών που θα πραγματοποιήσετε στα πλαίσια της αποσυναρμολόγησης των βαθμίδων, της επιθεώρησης, των πιθανών επισκευών και της επανασυναρμολόγησής τους. 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.

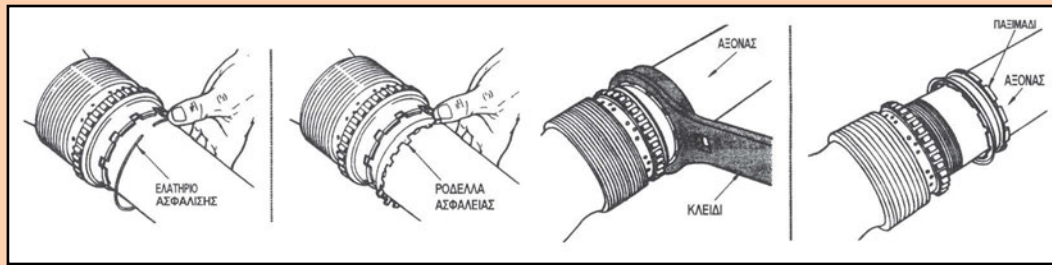
3. ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ 2ΗΣ ΒΑΘΜΙΔΑΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
- Μετά την αποσυναρμολόγηση των βασικών μερών του κινητήρα, το στροφείο της 2ης βαθμίδας του στρόβιλου χαμηλής πίεσης βρίσκεται τοποθετημένο στην ειδική βάση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.214. Ειδικά καλύμματα έχουν τοποθετηθεί στα εξαρτήματα του τριβέα Νο 4½, στους δακτυλίους απόστασης, τους στεγανοποιητές καθώς και στο ελεύθερο άκρο του άξονα. Αφαιρέστε τα καλύμματα.



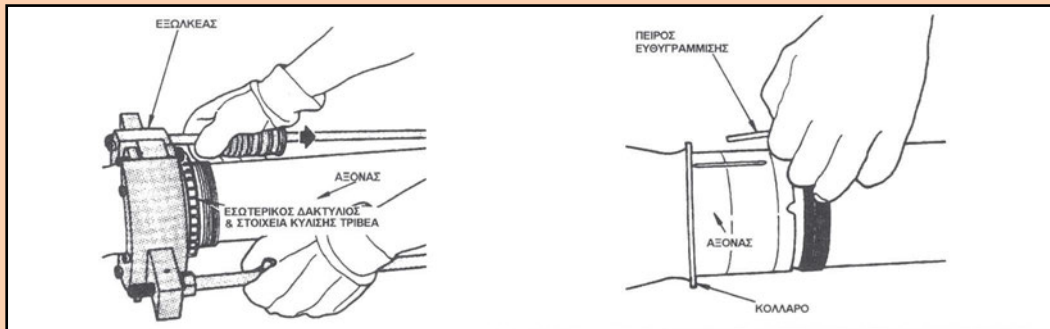
Σχήμα 2.214 Ειδική βάση τοποθέτησης στροφείου

- Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής και χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία, αφαιρέστε τα υπόλοιπα εξαρτήματα του τριβέα Νο 4½ και τα υπόλοιπα εξαρτήματα που βρίσκονται πάνω στον άξονα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.215. Προσέξτε να μην αγγίζετε με γυμνά χέρια τα εξαρτήματα του τριβέα. Προφυλάξτε τον τριβέα σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.



(α)

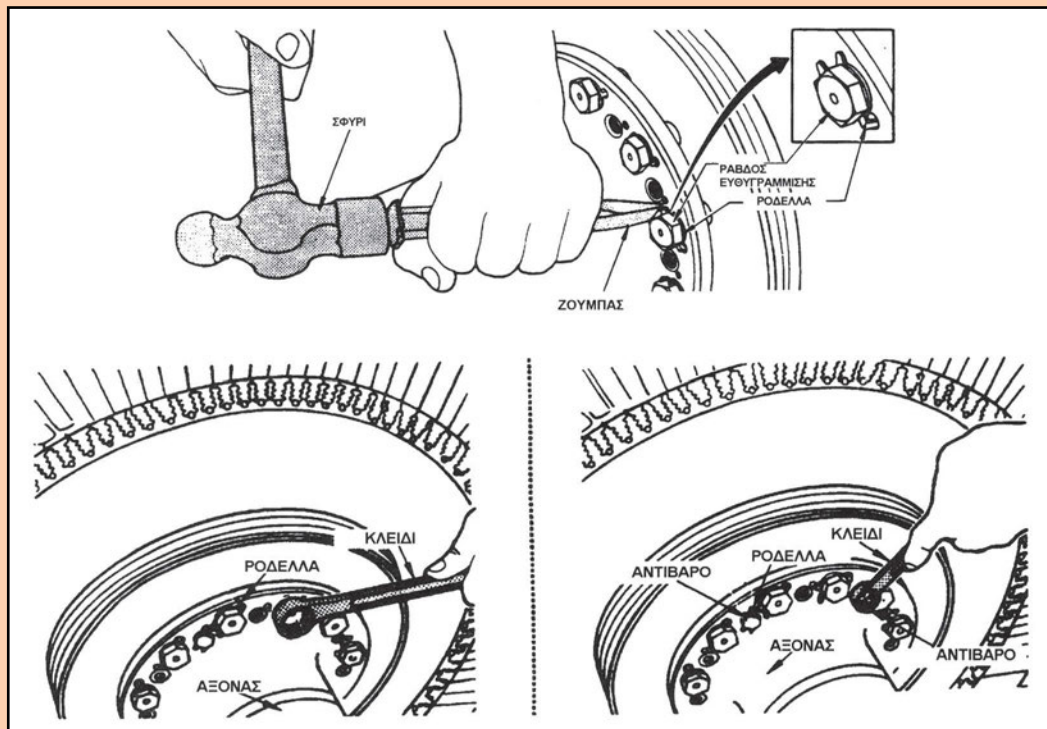
(β)



(γ)

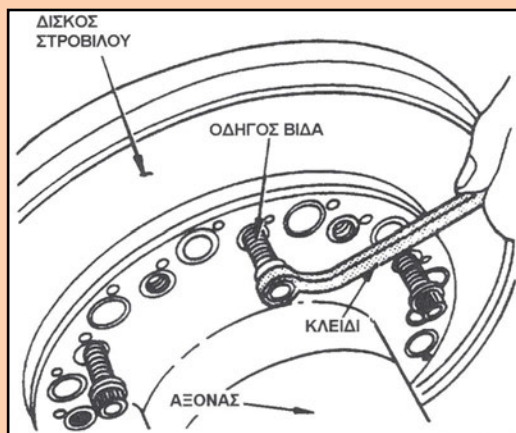
(δ)

Σχήμα 2.215 Αφαίρεση εξαρτημάτων από τον άξονα



Σχήμα 2.216 Αφαίρεση εξαρτημάτων

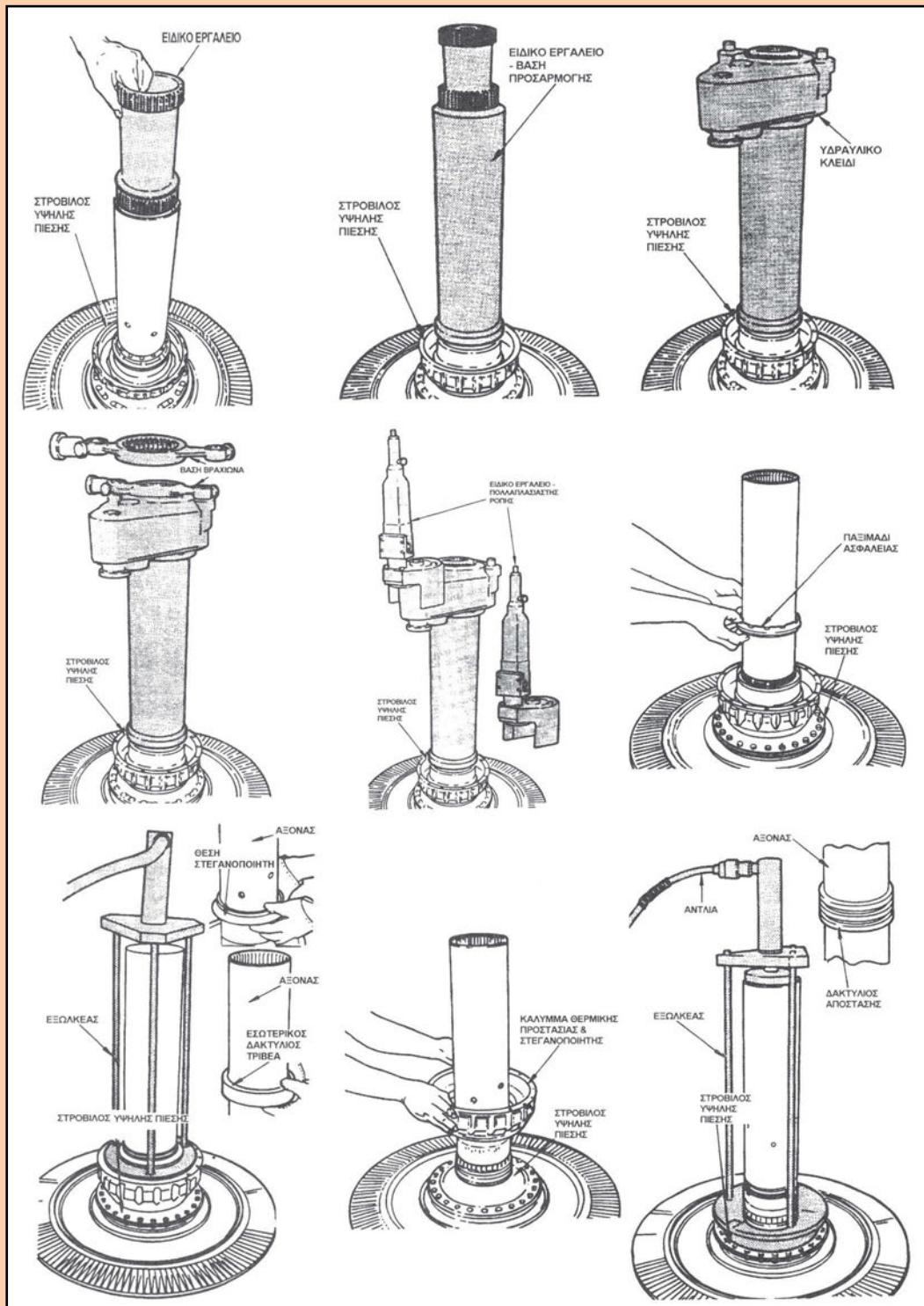
- Χρησιμοποιώντας σφυρί και εξωστήρα, απασφαλίστε τις ροδέλες των ράβδων συγκράτησης (tierods). Στη συνέχεια, αφαιρέστε παξιμάδια, ροδέλες και αντίβαρα ζυγοστάθμισης (Σχήμα 2.216).
- Ασφαλίστε τα πτερύγια χρησιμοποιώντας το ειδικό εργαλείο και αφαιρέστε το στροφέιο από τον άξονα, Σχήμα 2.217. Τοποθετήστε το στον πάγκο με το χείλος προσβολής προς τα κάτω.



Σχήμα 2.217 Αφαίρεση στροφείου 2ης βαθμίδας στροβίλου από τον άξονα

4. ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ 1ΗΣ ΒΑΘΜΙΔΑΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
- Μετά την αποσυναρμολόγηση των βασικών μερών του κινητήρα, το στροφέιο της 1ης βαθμίδας του στροβίλου υψηλής πίεσης βρίσκεται τοποθετημένο σε ειδική βάση. Ειδικά καλύμματα έχουν τοποθετηθεί στα εξαρτήματα του τριβέα No 5 και στο ελεύθερο άκρο του άξονα. Αφαιρέστε τα καλύμματα αυτά.
- Ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής και χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ειδικά εργαλεία, αφαιρέστε τα υπόλοιπα εξαρτήματα του τριβέα No 5 και τα υπόλοιπα εξαρτήματα που βρίσκονται πάνω στον άξονα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.218. Προσέξτε να μην αγγίζετε με γυμνά χέρια τα εξαρτήματα του τριβέα. Προφυλάξτε τον τριβέα, μαζί με τον εξωτερικό δρομέα του που αφαιρέθηκε κατά την αποσυναρμολόγηση των βασικών μερών του κινητήρα, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.

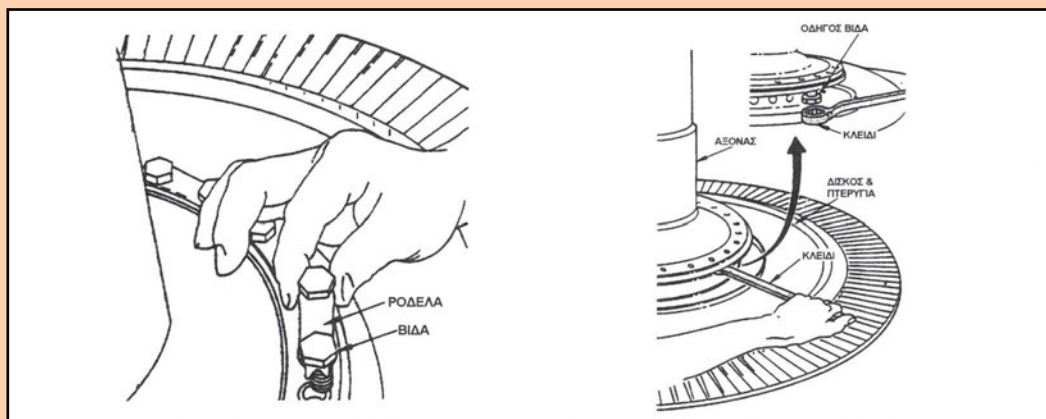


Σχήμα 2.218 Αφαίρεση εξαρτημάτων

- Στη συνέχεια, αφαιρέστε το δακτύλιο απόστασης του άξονα.

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

- Τέλος, απασφαλίστε τις ροδέλες των ράβδων συγκράτησης (tierods). Στη συνέχεια, αφαιρέστε παξιμάδια, ροδέλες και αντίβαρα ζυγοστάθμισης (Σχήμα 2.219α). Χρησιμοποιώντας μανέλα, αποσυναρμολογήστε το στροφείο από τον άξονα (Σχήμα 2.219β).



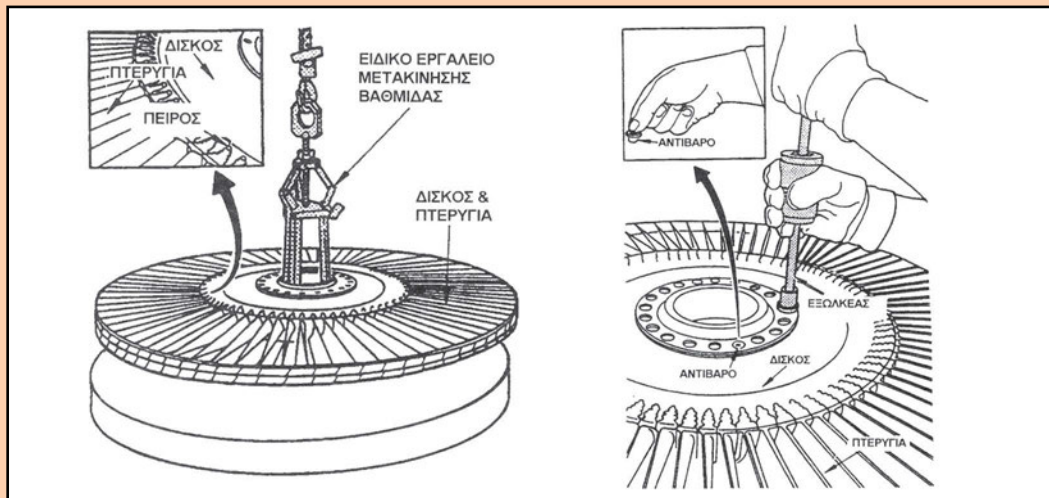
(α)

(β)

Σχήμα 2.219 Αποσυναρμολόγηση στροφείου από τον άξονα

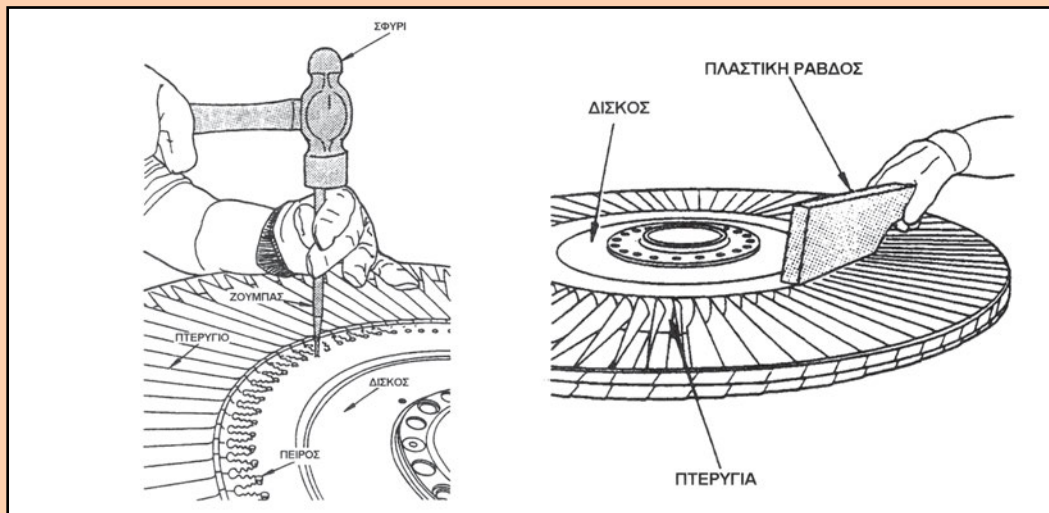
5. ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ 3ης ΚΑΙ 4ης ΒΑΘΜΙΔΑΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
- Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο και το γερανό, τοποθετήστε το δίσκο και τα πτερύγια στην ειδική βάση, με το χείλος προσβολής προς τα πάνω, Σχήμα 2.220α.
- Αφαιρέστε τα αντίβαρα ζυγοστάθμισης με τη χρήση του κατάλληλου εξωλκέα, Σχήμα 2.220β. Η χρήση διεισδυτικού υγρού ίσως κάνει την εργασία αυτήν ευκολότερη.
- Χρησιμοποιώντας σφυρί και ζουμπά, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής, αφαιρέστε τους πείρους συγκράτησης των πτερυγίων στο δίσκο, Σχήμα 2.220γ.
- Εφαρμόστε διεισδυτικό υγρό στις βάσεις των πτερυγίων για 10 λεπτά, περίπου.
- Χρησιμοποιώντας κατάλληλο πλαστικό εργαλείο, αφαιρέστε με προσοχή τα πτερύγια από το δίσκο, Σχήμα 2.220δ. Τοποθετήστε τα πτερύγια σε ειδικό κουτί και το δίσκο σε ειδική βάση.



(α)

(β)



(γ)

(δ)

Σχήμα 2.220 Αποσυναρμολόγηση πτερυγίων βαθμίδας στροβίλου

6. ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ 2ης ΒΑΘΜΙΔΑΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

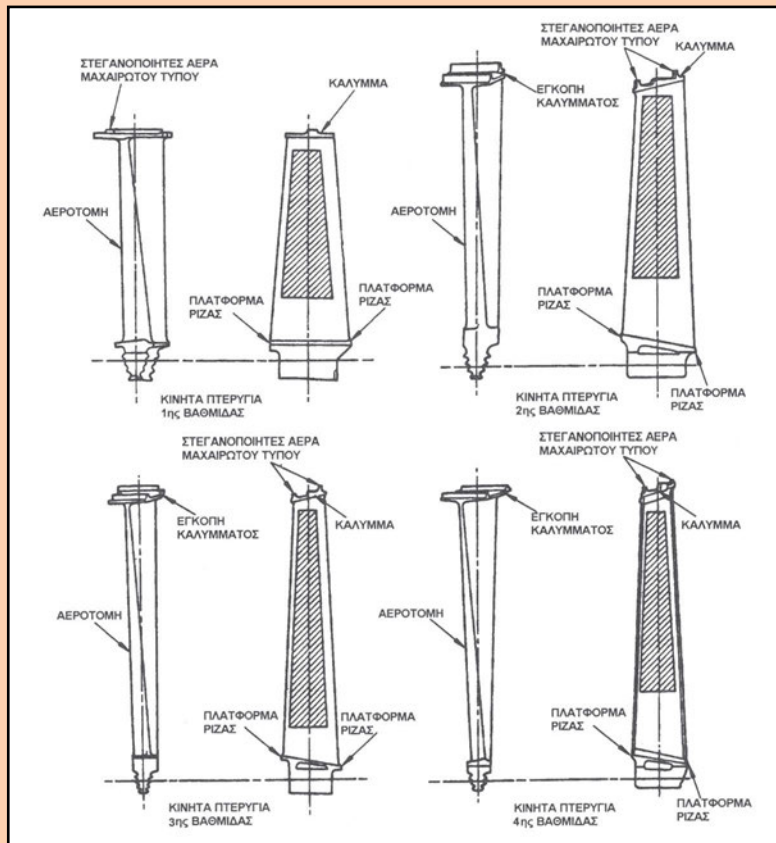
- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
- Αφαιρέστε τα πτερύγια από το δίσκο ακολουθώντας την ίδια διαδικασία όπως παραπάνω, ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.

7. ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ 1ης ΒΑΘΜΙΔΑΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ

- Συγκεντρώστε τα ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την αποσυναρμολόγηση των μερών του τμήματος αυτού.
- Αφαιρέστε τα πτερύγια από το δίσκο ακολουθώντας την ίδια διαδικασία όπως παραπάνω, ακολουθώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου γενικής επισκευής.

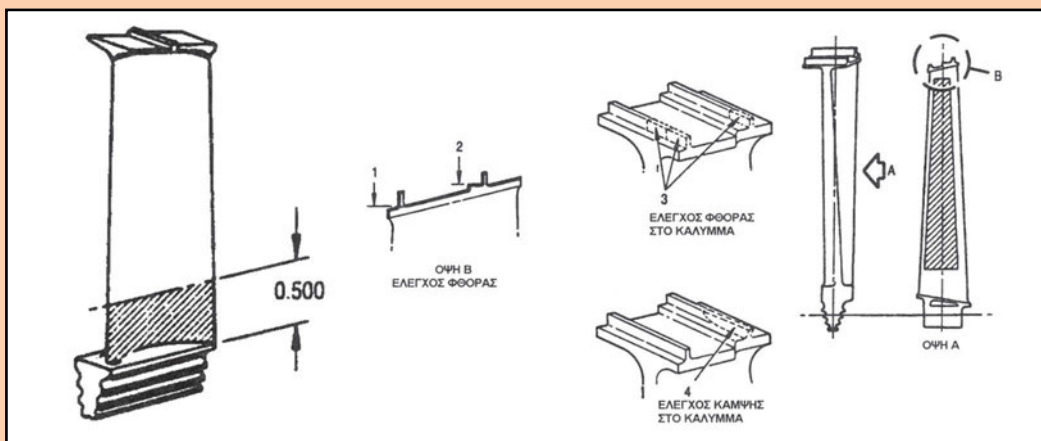
8. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΙΝΗΤΩΝ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

- Συγκεντρώστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της επιθεώρησης.
- Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τις διαδικασίες και τα διαλύματα που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό ο οποίος προηγείται της επιθεώρησης των εξαρτημάτων.
- Στην περίπτωση εμφανών δειγμάτων “καψίματος” σε οποιαδήποτε περιοχή των πτερυγίων, αυτά θα πρέπει να απορρίπτονται.
- Ελέγξτε τα πτερύγια της 1ης βαθμίδας για **πιθανή παραμόρφωση (stretch)**. Τοποθετήστε κάθε πτερύγιο στο κατάλληλο ειδικό εργαλείο και ακολουθήστε τις οδηγίες του εγχειριδίου για τη διαδικασία που θα πρέπει να εφαρμόσετε. Τα πτερύγια που βρίσκονται εκτός ορίων πρέπει να απορρίπτονται.
- Στη συνέχεια, πραγματοποιήστε επιθεώρηση με διεισδυτικό υγρό (FPI). Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για τη διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσετε.
- Χρησιμοποιήστε μεγεθυντικό φακό 3X και πηγή φωτός και εξετάστε προσεκτικά τα πτερύγια της 2ης, 3ης και 4ης βαθμίδας για την ύπαρξη φθορών. Η επιθεώρηση των πτερυγίων της 1ης βαθμίδας απαιτεί τη χρήση μεγεθυντικού φακού 10X. Στο Σχήμα 2.221 παρουσιάζονται οι περιοχές επιθεώρησης για τα πτερύγια της κάθε μίας βαθμίδας του στροβίλου ξεχωριστά.



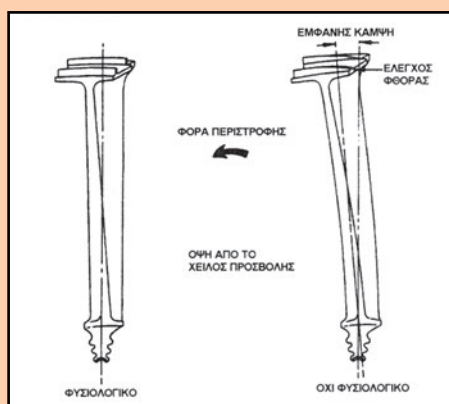
Σχήμα 2.221 Περιοχές επιθεώρησης των κινητών πτερυγίων

- Γενικά, δεν επιτρέπονται εγκοπές στα χείλη προσβολής και εκφυγής. Αυτές θα πρέπει να αφαιρούνται με την κατάλληλη διεργασία επισκευής. Στην περίπτωση όπου κατά την επισκευή απαιτείται η αφαίρεση μεγάλης ποσότητας υλικού, το πτερούγιο θα πρέπει να απορρίπτεται.
- Εγκοπές στις επιφάνειες του πτερυγίου επιτρέπονται μέχρι κάποιο συγκεκριμένο όριο βάθους και ανάλογα τη θέση τους σχετικά με τη ρίζα και το ακροπτερούγιο. Όσο πιο κοντά βρίσκεται μία εγκοπή στη ρίζα του πτερυγίου, τόσο περισσότερο επικίνδυνη είναι για την εξέλιξή της σε ρωγμή κατά τη λειτουργία.
- Στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής θα βρείτε πίνακες και σχήματα (Σχήμα 2.222) με τα επιτρεπόμενα όρια για κάθε φθορά ή ζημία που ίσως παρατηρήσετε στις διάφορες περιοχές επιθεώρησης του πτερυγίου και τις προτεινόμενες επισκευές. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή στις φθορές οι οποίες είναι επιτρεπτές χωρίς επισκευή και στα κριτήρια τα οποία υποστηρίζουν μία τέτοια μεταχείριση.



Σχήμα 2.222 Επιτρεπόμενα όρια και περιοχές ελέγχου σε κινητά πτερύγια στροβίλου

- Ελέγξτε τα πτερύγια όλων των βαθμιδών για πιθανή εμφάνιση **κάμψης (bend)**. Τοποθετήστε κάθε πτερύγιο στο κατάλληλο ειδικό εργαλείο και ακολουθήστε τις οδηγίες του εγχειριδίου για τη διαδικασία που θα πρέπει να εφαρμόσετε. Τα πτερύγια που βρίσκονται εκτός ορίων πρέπει να απορρίπτονται, Σχήμα 2.223.

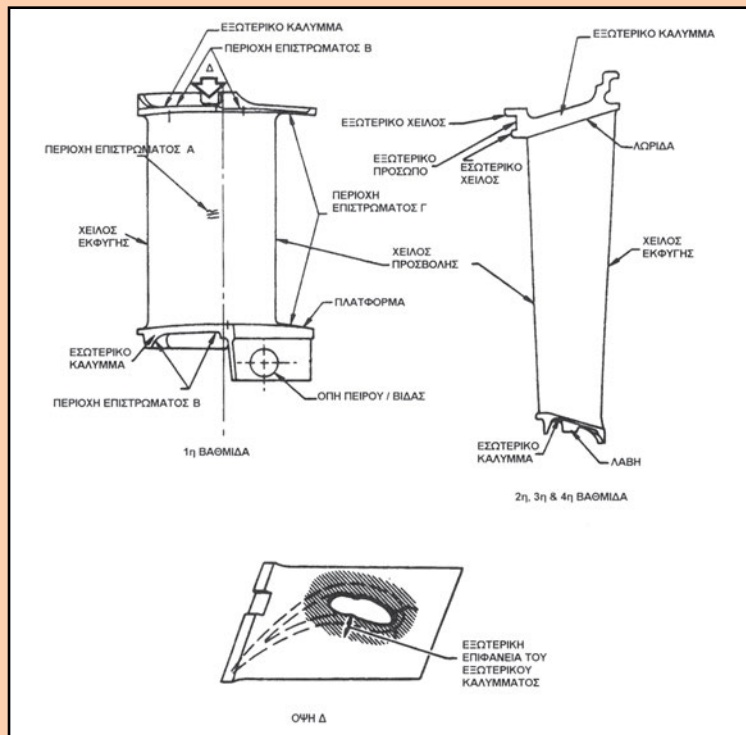


Σχήμα 2.223 Το φαινόμενο της κάμψης κινητού πτερυγίου στροβίλου

- Επιθεωρήστε προσεκτικά κάθε πτερύγιο για την ύπαρξη φθορών λόγω επαφής με τα γειτονικά του πτερύγια. Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τα επιτρεπόμενα όρια ανάλογα με την περιοχή του πτερυγίου που παρουσιάζει φθορά.
- Επιθεωρήστε προσεκτικά τη βάση κάθε πτερυγίου για την ύπαρξη ρωγμών. Αυτές δεν επιτρέπονται σε καμία έκταση.

9. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

- Συγκεντρώστε τα γενικά και ειδικά εργαλεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των εργασιών της επιθεώρησης.
- Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο γενικής επισκευής για τις διαδικασίες και τα διαλύματα που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό ο οποίος προηγείται της επιθεώρησης των εξαρτημάτων.
- Στην περίπτωση εμφανών δειγμάτων “καψίματος” σε οποιαδήποτε περιοχή των πτερυγίων, αυτά θα πρέπει να απορρίπτονται.
- Πραγματοποιήστε επιθεώρηση με διεισδυτικό υγρό (FPI). Συμβουλευτείτε το εγχειρίδιο για τη διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσετε.
- Χρησιμοποιήστε μεγεθυντικό φακό 3X και πηγή φωτός και εξετάστε προσεκτικά τα πτερύγια όλων των βαθμιδών για την ύπαρξη φθορών. Στο Σχήμα 2.224 παρουσιάζονται οι περιοχές επιθεώρησης.

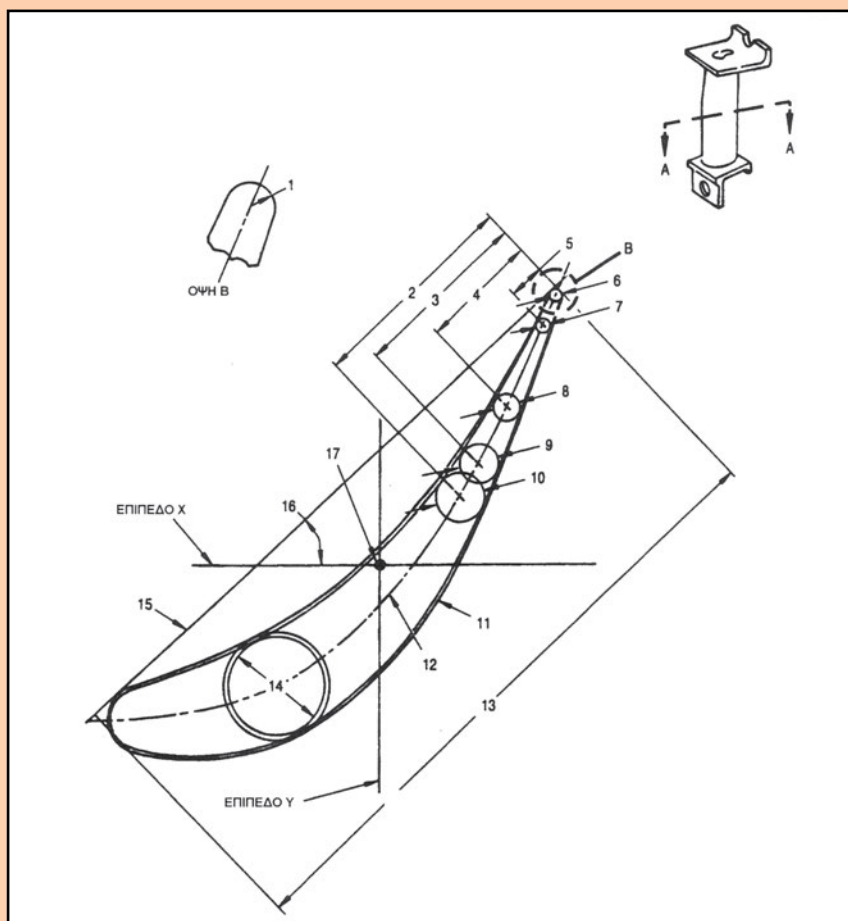


Σχήμα 2.224 Περιοχές επιθεώρησης σταθερών πτερυγίων στροβίλου

- Στο εγχειρίδιο γενικής επισκευής θα βρείτε πίνακες με τα επιτρεπόμενα όρια για κάθε φθορά ή ζημία που ίσως παρατηρήσετε στις διάφορες περιοχές επιθεώρησης του πτερυγίου και τις προτεινόμενες επισκευές.

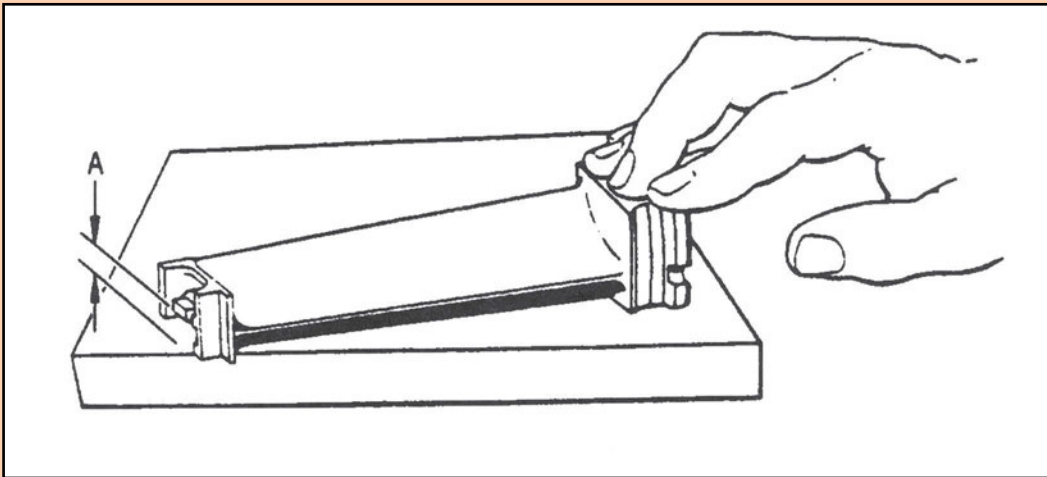
Δώστε ιδιαίτερη προσοχή στις φθορές οι οποίες είναι επιτρεπτές χωρίς επισκευή και στα κριτήρια τα οποία υποστηρίζουν μία τέτοια μεταχείριση. Επίσης, προσέξτε ιδιαίτερα τα επιτρεπόμενα όρια για τις ενδεχόμενες φθορές στην επίστρωση θερμικής προστασίας των πτερυγίων.

- Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο ειδικό εργαλείο, ελέγξτε ότι τα πτερύγια της 1ης βαθμίδας διατηρούν την καμπυλότητά τους μετρώντας τις διαστάσεις που υποδεικνύονται από τους αριθμούς, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.225.



Σχήμα 2.225 Περιοχές ελέγχου καμπυλότητας σε τομή σταθερού πτερυγίου στροβίλου

- Ελέγξτε τα πτερύγια όλων των βαθμιδών για πιθανή εμφάνιση **κάμψης (bend)**. Τοποθετήστε κάθε πτερύγιο στο κατάλληλο ειδικό εργαλείο και μετρήστε τη διάσταση A, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου (Σχήμα 2.226). Ελέγξτε τις μετρήσεις με τον πίνακα που παρέχεται στο εγχειρίδιο. Τα πτερύγια που βρίσκονται εκτός ορίων πρέπει να απορρίπτονται.



Σχήμα 2.226 Έλεγχος σταθερού πτερυγίου στροβίλου για κάμψη

Εργαστηριακή άσκηση 2.8:

Αφαίρεση - αποσυναρμολόγηση - συναρμολόγηση - τοποθέτηση μετακαυστήρα, αγωγού και ακροφυσίου εξαγωγής.

Επιδιωκόμενοι στόχοι

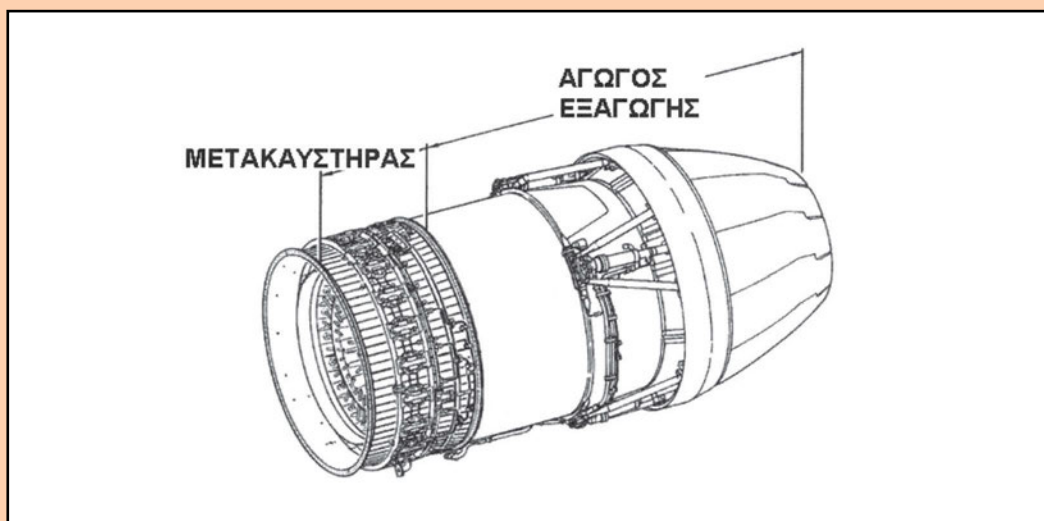
Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να αφαιρείτε και να επανατοποθετείτε τον μετακαυστήρα, τον αγωγό εξαγωγής και το ακροφύσιο ενός αεριοστρόβιλου αεροπορικού κινητήρα.
- β) Να αποσυναρμολογείτε τον μετακαυστήρα, τον αγωγό εξαγωγής και το ακροφύσιο ενός αεριοστρόβιλου αεροπορικού κινητήρα.

- γ) Να εφαρμόζετε τις διαδικασίες επιθεώρησης και επισκευής των πτερυγίων.
- δ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

Η διαδικασία αφαίρεσης - αποσυναρμολόγησης - συναρμολόγησης και τοποθέτησης μετακαυστήρα, αγωγού και ακροφυσίου εξαγωγής (Σχήμα 2.227) έχει ως αναφορά το στροβιλοανεμιστήρα χαμηλού λόγου παράκαμψης, στρατιωτικής χρήσης. Το ακροφύσιο εξαγωγής είναι μεταβλητής διατομής και χαρακτηρίζεται ως συγκλίνον-αποκλίνον.



Σχήμα 2.227 Υποσυγκρότημα μετακαυστήρα - αγωγού εξαγωγής

Απαιτούμενα μέσα

- Κινητήρας τύπου στροβιλοανεμιστήρα με μετακαυστήρα.
- Κατάλληλη κλίνη για την τοποθέτησή του.
- Κατάλληλες κλίνες για την τοποθέτηση του μετακαυστήρα και του αγωγού εξαγωγής.
- Τα απαραίτητα τεχνικά εγχειρίδια από την κατασκευάστρια εταιρεία.

- Μία σειρά των απαραίτητων ειδικών εργαλείων για την διαδικασία της αποσυναρμολόγησης.
- Γενικά εργαλεία (συγκράτησης, μέτρησης, κλπ.).
- Μικρός γερανός με σχοινιά ανάρτησης (“σαμπάνια”) ή αλυσίδες ή ιμά-ντες βαρούλκων.

Μέτρα ασφάλειας

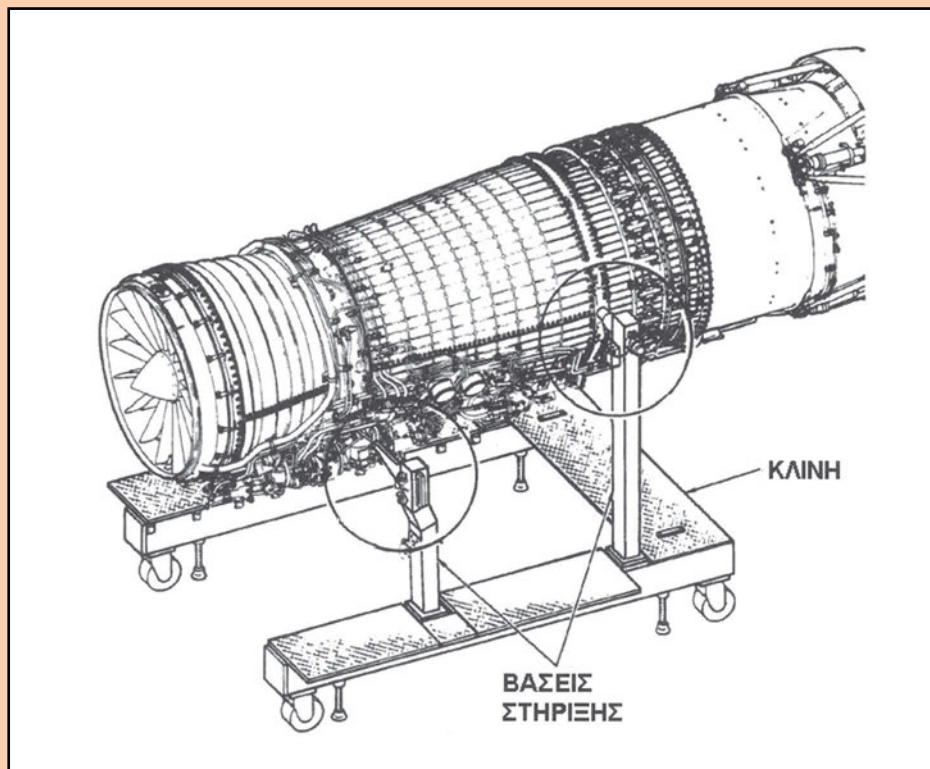
Ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α.

Πορεία εργασίας

1. Μελετήστε τα τεχνικά εγχειρίδια. Προδιαγράψτε τη σειρά των εργασιών που θα πραγματοποιήσετε στα πλαίσια της αποσυναρμολόγησης των βαθμιδών, της επιθεώρησης, των πιθανών επισκευών και της επανασυναρμολόγησης τους. Βεβαιωθείτε για την ύπαρξη των κλινών, των ειδικών εργαλείων και όλου γενικότερα του εξοπλισμού, που θα απαιτηθεί για την απρόσκοπτη διεξαγωγή τους.
2. Εξασφαλίστε ικανό αριθμό πάγκων εργασίας, χωρίς αντικείμενα στην επιφάνειά τους.

3. ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΥΠΟΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

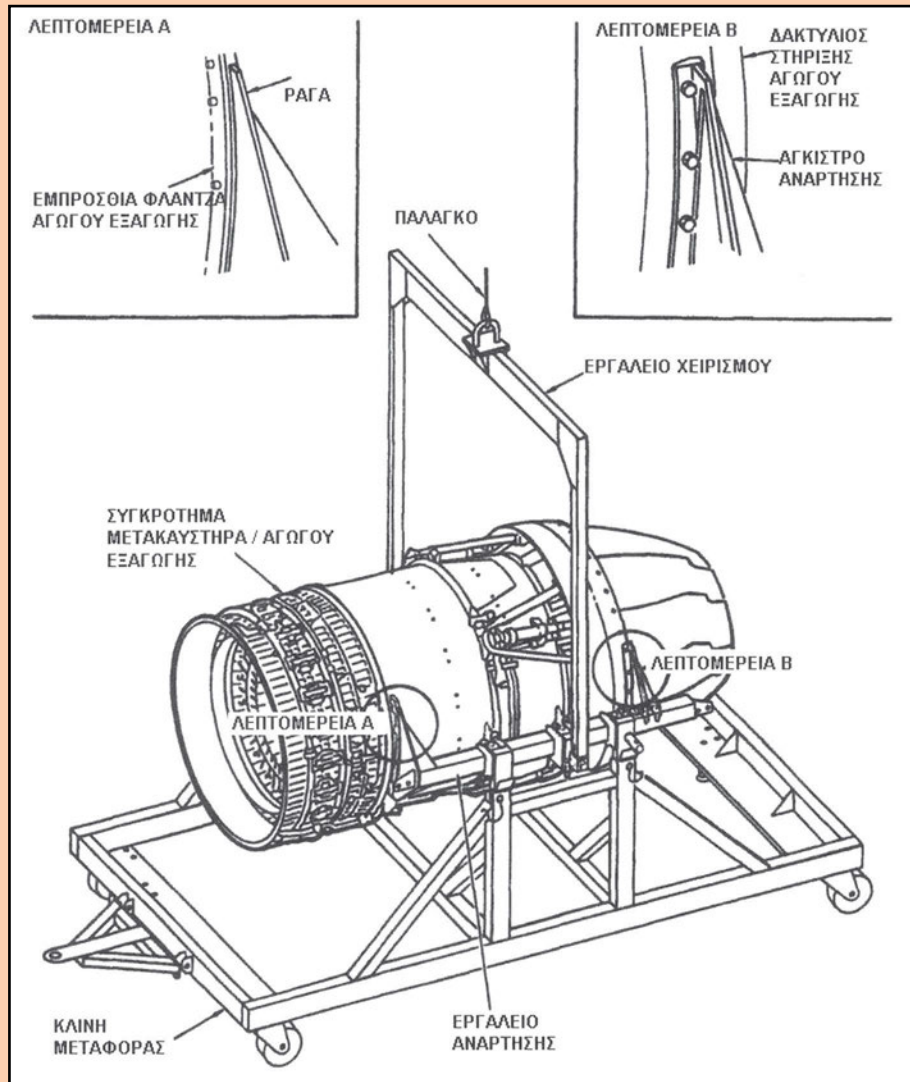
- Ο κινητήρας θα πρέπει να βρίσκεται στην κατάλληλη κλίση (Σχήμα 2.228)
- Αφαιρέστε τις ηλεκτρικές καλωδιώσεις και τις καλωδιώσεις ανάφλεξης, ακολουθώντας τις ειδικές οδηγίες του κατασκευαστή.
- Αφαιρέστε τους εξωτερικούς αγωγούς, ελαστικούς σωλήνες και συνδέσμους, όπου είναι απαραίτητο, ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή.



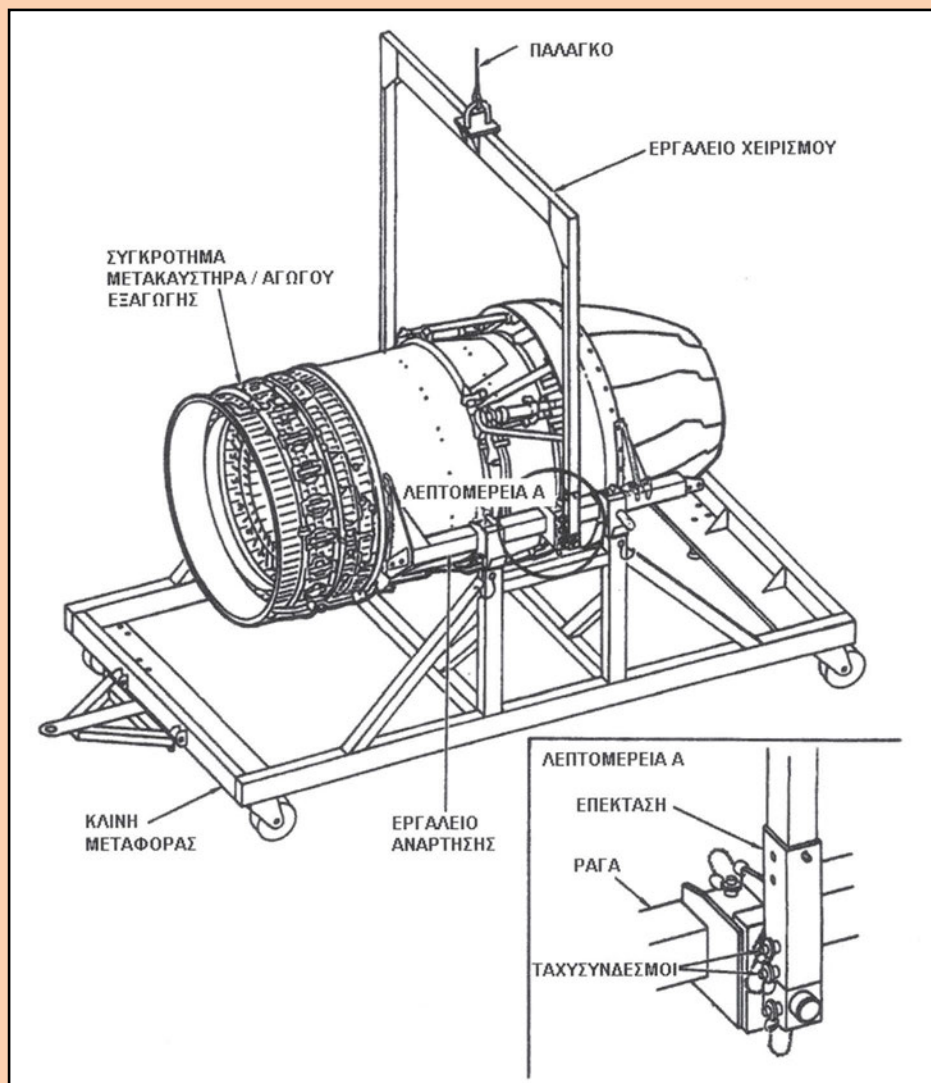
Σχήμα 2.228 Κινητήρας σε κλίνη

- Αφαιρέστε κοχλίες και περικόχλια, από τις φλάντζες, στις οποίες θα προσαρμοσθεί το ειδικό εργαλείο ανάρτησης του υποσυγκροτήματος.
- Προσαρμόστε το ειδικό εργαλείο ανάρτησης, τοποθετώντας τα απαραίτητα άγκιστρα και ροπομετρώντας τους κοχλίες σύνδεσης, σύμφωνα με τις οδηγίες του εγχειριδίου (Σχήμα 2.229).
- Τοποθετήστε το παλάγκο στο ειδικό εργαλείο ανάρτησης (Σχήμα 2.229).
- Αφαιρέστε τους κοχλίες και τα άγκιστρα, τα οποία συνδέουν την μπροστινή φλάντζα του μετακαυστήρα με τον υπόλοιπο κινητήρα.
- Ρυθμίστε το γερανό, όπως απαιτείται, έτσι ώστε να αποφευχθεί σφώνωμα των αφαιρούμενων κοχλιών.

- Βεβαιωθείτε, ότι έχουν αποσυναρμολογηθεί οι συνδέσεις με τον υπόλοιπο κινητήρα, όλων των σωλήνων που είναι αναρτημένοι στο αφαιρούμενο συγκρότημα.
- Χρησιμοποιώντας το γερανό, μετακινήστε το υποσυγκρότημα προς τα πίσω, μέχρις ότου απομακρυνθεί αρκετά από τον υπόλοιπο κινητήρα.
- Τοποθετήστε το υποσυγκρότημα στην κλίνη μεταφοράς (Σχήμα 2.230).



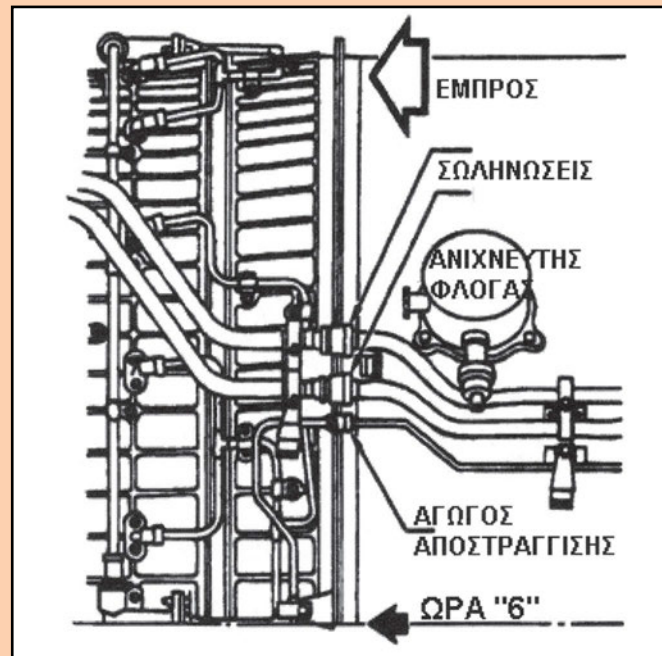
Σχήμα 2.229 Τοποθέτηση ειδικού εργαλείου ανάρτησης



Σχήμα 2.230 Τοποθέτηση του υποσυγκροτήματος στην κλίνη μεταφοράς

4. ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΜΕΤΑΚΑΥΣΤΗΡΑ ΑΠΟ ΤΟ ΥΠΟΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ

- Αποσυνδέστε τις σωληνώσεις υδραυλικού μεταξύ μετακαυστήρα και αγωγού εξαγωγής (Σχήμα 2.231).
- Ταπώστε όλες τις σωληνώσεις που αποσυνδέετε, χρησιμοποιώντας πλαστικά πώματα.

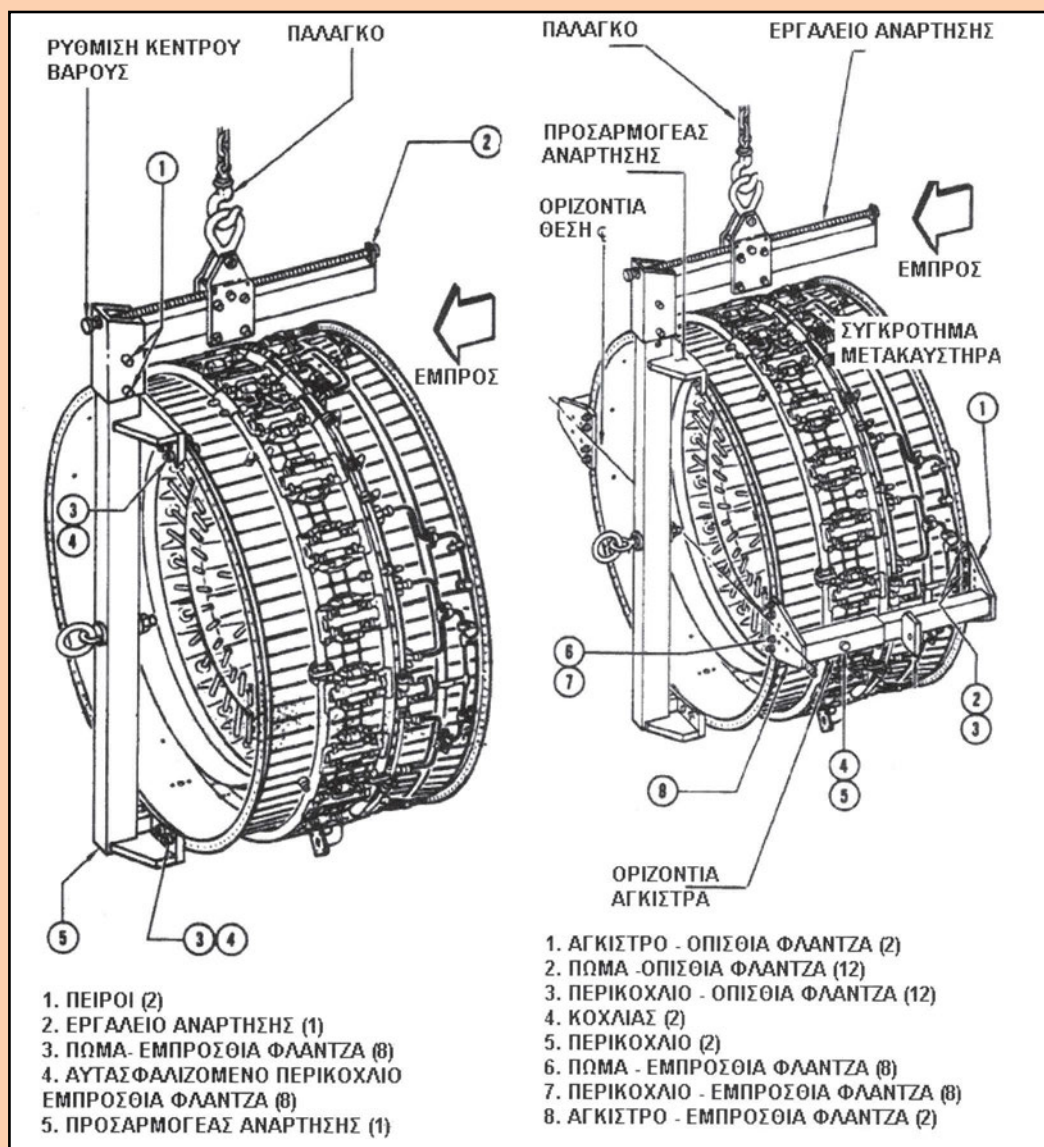


Σχήμα 2.231 Αφαίρεση σωληνώσεων υδραυλικού

- Προσαρμόστε το ειδικό εργαλείο ανάρτησης (με μεταβαλλόμενη θέση του κέντρου βάρους) στην μπροστινή φλάντζα του μετακαυστήρα (Σχήμα 2.232). Ροπομετρήστε όλους του κοχλίες σύνδεσης.
- Αφαιρέστε όλους κοχλίες, περικόχλια και άγκιστρα, τα οποία συγκρατούν τον μετακαυστήρα στον αγωγό εξαγωγής.
- Μετακινήστε τον μετακαυστήρα προς τα εμπρός και απομακρύνετε τον από τον αγωγό εξαγωγής.
- Τοποθετήστε τα δύο οριζόντια άγκιστρα (ειδικό εργαλείο) στις θέσεις "Ωρα 3" και "Ωρα 9" (Σχήμα 2.233).
- Ρυθμίστε το άνοιγμα της ειδικής κλίνης, όπου θα τοποθετηθεί ο μετακαυστήρας (Σχήμα 2.234).
- Χρησιμοποιώντας το γεράνο, τοποθετήστε το μετακαυστήρα στην ειδική κλίνη (Σχήμα 2.234). Ασφαλίστε το μετακαυστήρα στην κλίνη.
- Απομακρύνετε το ειδικό εργαλείο ανάρτησης (Σχήμα 2.234).

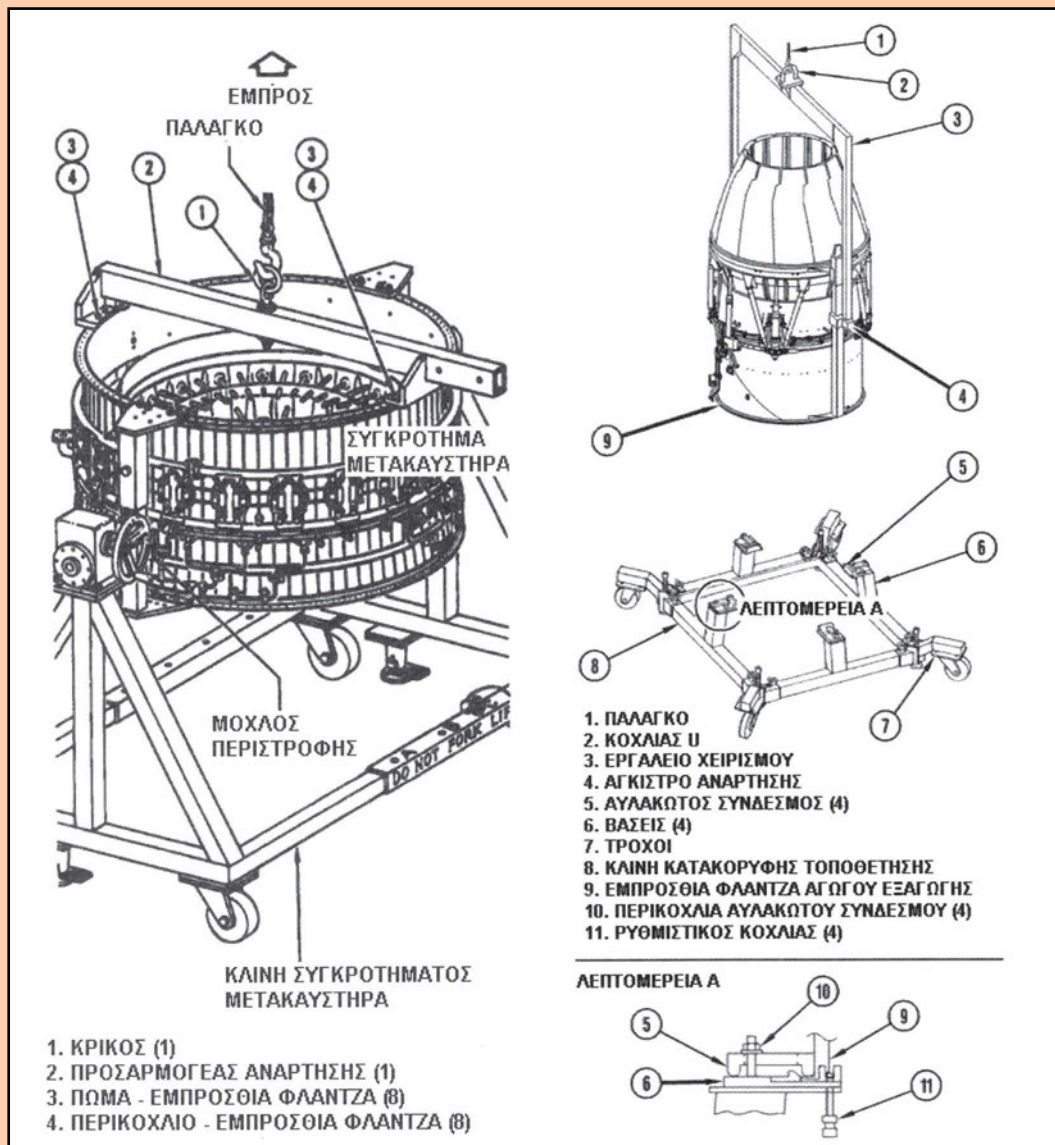
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ Ι

Ο αγωγός εξαγωγής βρίσκεται στην κλίνη μεταφοράς (Σχήμα 2.230). Μπορεί να μεταφερθεί, εάν απαιτείται, σε κατακόρυφη κλίνη αποθήκευσης (Σχήμα 2.235).



Σχήμα 2.232 Τοποθέτηση εργαλείου ανάρτησης

Σχήμα 2.233 Τοποθέτηση οριζόντιων αγκίστρων



Σχήμα 2.234 Κλίνη μετακαυστήρα Σχήμα 2.235 Τοποθέτηση αγωγού εξαγωγής σε κατακόρυφη κλίνη

5. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΑΚΑΥΣΤΗΡΑ - ΑΓΩΓΟΥ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Για τη συναρμολόγηση του μετακαυστήρα με τον αγωγό εξαγωγής ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία της παραγράφου 4.

Περιληπτικά, αυτή η διαδικασία έχει ως εξής:

- Μεταφέρετε τον αγωγό εξαγωγής από την κατακόρυφη κλίση (Σχήμα 2.235) στην οριζόντια κλίση μεταφοράς (Σχήμα 2.230).
- Ανασηκώστε με την χρήση γερανού το μετακαυστήρα από την κλίση του (Σχήμα 2.234).
- Αφαιρέστε τα άγκιστρα που είναι τοποθετημένα στις ώρες 3 και 9 του μετακαυστήρα.
- Τοποθετήστε τον μετακαυστήρα μπροστά από τον αγωγό εξαγωγής (Σχήμα 2.229).
- Ευθυγραμμίστε τα ειδικά σημάδια που υπάρχουν στις φλάντζες συναρμογής του μετακαυστήρα και του αγωγού εξαγωγής.
- Τοποθετήστε και ροπομετρήστε τους κοχλίες, περικόχλια και άγκιστρα σύνδεσης του μετακαυστήρα και του αγωγού εξαγωγής.
- Συνδέστε τις σωληνώσεις που διατρέχουν το μετακαυστήρα και τον αγωγό εξαγωγής.

6. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΕΤΑΚΑΥΣΤΗΡΑ - ΑΓΩΓΟΥ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Για τη τοποθέτηση του υποσυγκροτήματος μετακαυστήρα - αγωγού εξαγωγής στον κινητήρα ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία της παραγράφου 3.

Περιληπτικά, αυτή η διαδικασία έχει ως εξής:

- Ο κινητήρας θα πρέπει να βρίσκεται στην κατάλληλη κλίση (Σχήμα 2.228).
- Το υποσυγκρότημα μετακαυστήρα - αγωγού εξαγωγής θα πρέπει να βρίσκεται στην οριζόντια κλίση μεταφοράς (Σχήμα 2.230).
- Αφαιρέστε το υποσυγκρότημα μετακαυστήρα - αγωγού εξαγωγής από την οριζόντια κλίση με την χρήση γερανού και των απαραίτητων εργαλείων ανάρτησης.
- Μετακινήστε προσεκτικά το υποσυγκρότημα μετακαυστήρα - αγωγού εξαγωγής πίσω από τον κινητήρα, έτσι ώστε η μπροστινή φλάντζα του μετακαυστήρα να έρθει σε επαφή με την οπίσθια φλάντζα του συγκροτήματος του στροβίλου.

- Ρυθμίστε το γερανό, έτσι ώστε να επιτύχετε ευθυγράμμιση των δύο συγκροτημάτων.
- Τοποθετήστε και ροπομετρήστε τους κοχλίες, περικόχλια και άγκιστρα σύνδεσης.
- Απομακρύνετε το γερανό (αφού βέβαια αφαιρέσετε τα ειδικά εργαλεία ανάρτησης).
- Συνδέστε τις ηλεκτρικές καλωδιώσεις και τις καλωδιώσεις ανάφλεξης.
- Συνδέστε τους εξωτερικούς αγωγούς, ελαστικούς σωλήνες και συνδέσμους, όπου είναι απαραίτητο.

Εργαστηριακή άσκηση 2.9:

Σκληρομέτρηση - Έλεγχος σκληρότητας εξαρτημάτων αεριοστρόβιλου κινητήρα

Επιδιωκόμενοι στόχοι

Μετά την πραγματοποίηση της άσκησης αυτής θα είστε ικανοί:

- α) Να πραγματοποιείτε σκληρομετρήσεις σε κομμάτια αεριοστρόβιλων κινητήρων.
- β) Να αξιολογείτε τις πληροφορίες που προκύπτουν από μια σκληρομέτρηση, όσον αφορά την ευχρηστότητα του κομματιού.
- γ) Να εφαρμόζετε τα μέτρα ασφαλείας και να χρησιμοποιείτε όλα τα μέσα ατομικής προστασίας κατά την εκτέλεση των εργασιών.

Εισαγωγικές πληροφορίες

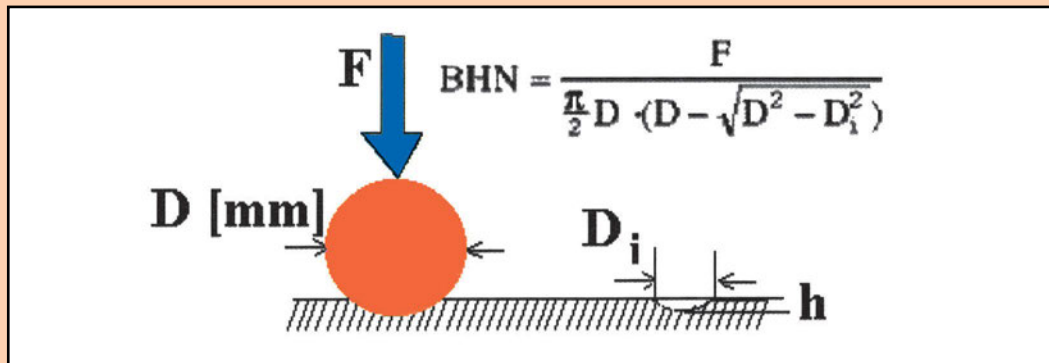
Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των αεριοστρόβιλων κινητήρων υπόκεινται σε μεγάλες καταπονήσεις (μηχανικές, θερμικές, χημικές), οι οποίες τείνουν να τα παραμορφώσουν, να τα φθείρουν ή ακόμη και να τα καταστρέψουν. Κατά τη σχεδίαση του κινητήρα, οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των υλικών λαμβάνονται υπόψη και εκλέγονται τα μέταλλα, τα οποία θα πρέ-

πει να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή κάθε εξαρτήματος, ανάλογα με τον τρόπο και την περιοχή λειτουργίας τους. Ο προσδιορισμός αυτών των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων γίνεται με διάφορες δοκιμές: εφελκυσμού, κρούσης, σκληρότητας, κ.ά.

Η σκληρότητα ενός μετάλλου (ή ενός κράματος) είναι από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες αυτού και προσδιορίζεται από την αντίσταση που παρουσιάζει στη διείδυση ενός άλλου, σκληρότερου από αυτό μετάλλου, το οποίο προωθείται με πίεση (στατική δοκιμή) ή με κρούση (δυναμική δοκιμή). Η **δοκιμή σκληρότητας (hardness test)** ή **σκληρομέτρηση** είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα και χρησιμοποιείται πολύ συχνά, στην επιθεώρηση εξαρτημάτων κατά τη γενική επισκευή ενός αεροστρόβιλου κινητήρα ή και κατά τη διερεύνηση αστοχιών: Τυχόν μεταβολή της σκληρότητας του μετάλλου, σε σχέση με τις κατασκευαστικές προδιαγραφές, μπορεί να παράσχει ασφαλείς πληροφορίες αναφορικά με την ευχρηστότητα ή μη του υλικού αλλά και τις συνθήκες λειτουργίας.

Συνηθέστερες είναι οι στατικές δοκιμές σκληρότητας: **Brinell, Vickers, Rockwell, Knoop**. Οι δοκιμές αυτές μας επιτρέπουν να μετρήσουμε τη σκληρότητα που έχει ένα μέταλλο, ή τη σκληρότητα που απέκτησε μετά από βαφή, εναζώτωση, ενανθράκωση, κλπ., ή μετά από πολλές ώρες λειτουργίας.

Η **δοκιμή Brinell (HB)** πραγματοποιείται με τη διείδυση μιας σφαίρας από βαμμένο χάλυβα στην επιφάνεια του εξαρτήματος που θέλουμε να μετρήσουμε (Σχήμα 2.236). Για να πραγματοποιήσουμε τη δοκιμή, εφαρμόζουμε προοδευτικά δύναμη, μέγιστης τιμής P στη σφαίρα (διαμέτρου D). Η μέγιστη τιμή της δύναμης εφαρμόζεται μετά από 15 δευτερόλεπτα. Αυτή η μέγιστη τιμή διατηρείται για 15 δευτερόλεπτα, στην περίπτωση των σιδηρούχων υλικών και για 30 δευτερόλεπτα, στην περίπτωση των μη σιδηρούχων. Η **σκληρότητα Brinell** προκύπτει ως το πηλίκο της εφαρμοζόμενης δύναμης προς την επιφάνεια του αποτυπώματος (βλέπε και Σχήμα 2.236).



Σχήμα 2.236 Δοκιμή σκληρότητας Brinell

Για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, θα πρέπει η δύναμη P να είναι τέτοια, ώστε η διάμετρος του αποτυπώματος D_i να κυμαίνεται από 0,3 έως 0,6 της διαμέτρου της σφαίρας D . Θα πρέπει επίσης να δημιουργούνται δύο ή τρία αποτυπώματα, τα οποία θα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους, καθώς επίσης και από τα άκρα του κομματιού, τουλάχιστον δύο ή τρεις φορές τη διάμετρο του αποτυπώματος.

Η δοκιμή Brinell γίνεται με την χρήση διαφόρων συνδυασμών διαμέτρου σφαίρας, φορτίου και χρόνου εφαρμογής, όπως:

- με σφαίρα διαμέτρου 10mm, φορτίο 3000kp και χρόνο πίεσης 15sec (HB), ή,
- με σφαίρα διαμέτρου 5mm, φορτίο 750kp και χρόνο πίεσης 15sec (HB/5/750/15).

Το Σχήμα 2.237 παρουσιάζει μία τυπική μηχανή μέτρησης σκληρότητας Brinell. Συγκρινόμενη με άλλες μεθόδους σκληρομέτρησης, η μέθοδος Brinell προκαλεί το βαθύτερο και πλατύτερο ίχνος. Αν και αυτό μπορεί να μην είναι επιθυμητό, είναι όμως αναμφισβήτητο, ότι βελτιώνει την αξιοπιστία της μεθόδου.

Στη **δοκιμή Rockwell** χρησιμοποιούνται, ανάλογα με τη σκληρότητα των δοκιμών που πρόκειται να ελεγχουμε, δύο ειδών **δεισδυτές**¹:

- δεισδυτής από βαμμένο χάλυβα, για τον έλεγχο κοινών χαλύβων. Ο δεισδυτής είναι σφαιρικός, διαμέτρου 1/16in (1.59mm). Πρόκειται για τη **μέτρηση σκληρότητας Rockwell B (HRB)**.

¹ Πρόκειται για το μέταλλο που εισχωρεί στο δοκίμιο

- διεισδυτής από διαμάντι με γωνία κορυφής 120° , για τον έλεγχο πολύ σκληρών και ειδικών χαλύβων. Πρόκειται για τη μέτρηση σκληρότητας **Rockwell C (HRC)**.

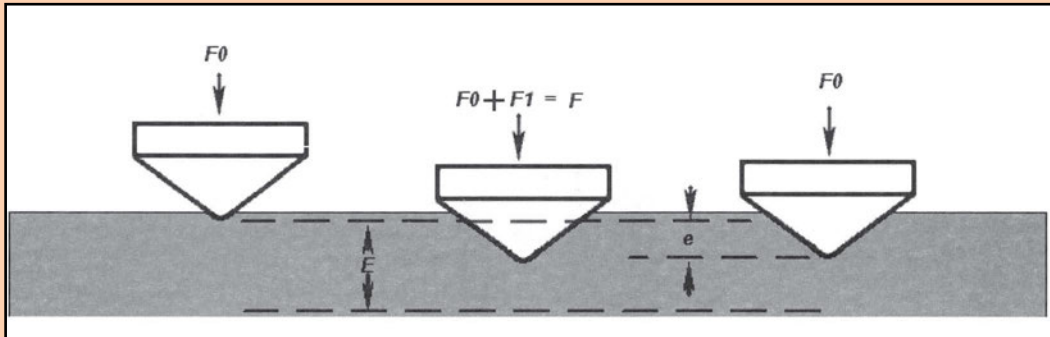


Σχήμα 2.237 Μηχανή μέτρησης σκληρότητας Brinell

Στη μέθοδο Rockwell μετράμε το βάθος του αποτυπώματος και όχι την επιφάνειά του, όπως στη μέθοδο Brinell. Το βάθος αυτό μετριέται με ειδικά μετρητικά ρολόγια, τα οποία μας επιτρέπουν να διαβάζουμε απευθείας τη σκληρότητα Rockwell.

Ο διεισδυτής πιέζεται στο δοκίμιο με μία αρχική δύναμη F_0 (Σχήμα 2.238). Η δύναμη αυτή είναι συνήθως ίση με 10kp. Αφού σταθεροποιηθεί ο διεισδυτής, επιβάλλουμε μία συμπληρωματική, κύρια, δύναμη F_1 . Στην περίπτωση της μεθόδου HRB η συμπληρωματική δύναμη είναι 90kp, ενώ για τη μέθοδο HRC, αυτή είναι 140kp. Μετά από την παρέλευση του απαραίτητου χρόνου σταθεροποίησης, αποσύρουμε το κύριο φορτίο F_1 . Το βάθος του αποτυπώματος σε αυτή την κατάσταση εκφράζεται σαν πολλαπλάσιο των 0,002mm (**e**). Η σκληρότητα Rockwell είναι η διαφορά **E-e**, όπου **E** είναι το “βάθος αναφοράς” (130 για HRB και 100 για HRC).

Το Σχήμα 2.239 παρουσιάζει μία μηχανή μέτρησης σκληρότητας Rockwell, στην οποία έχει τοποθετηθεί ένας άξονας για μέτρηση. Η μέθοδος Rockwell είναι γρήγορη, προσφέρει άμεσο καθορισμό της σκληρότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εξαρτήματα μικρού πάχους. Τα ίχνη του διεισδύτη είναι πολύ μικρά και ως εκ τούτου η παραμόρφωση του υλικού σχεδόν αμελητέα. Οι κλίμακες B και C που προαναφέρθηκαν είναι οι πιο συνηθισμένες. Πρέπει όμως να σημειώσουμε, ότι υπάρχουν πολλές ακόμη κλίμακες Rockwell (A, D, E, F, κλπ.).



Σχήμα 2.238 Μέτρηση σκληρότητας Rockwell



Σχήμα 2.239 Μηχανή μέτρησης σκληρότητας Rockwell

Απαιτούμενα μέσα

- Μηχανή σκληρομέτρησης Brinell
- Σετ εργαλείων / διεισδυτών της μηχανής Brinell
- Μικροσκόπιο
- Μηχανή σκληρομέτρησης Rockwell
- Σετ εργαλείων / διεισδυτών της μηχανής Rockwell
- Εξαρτήματα αεριοστρόβιλου κινητήρα ή δοκίμια από διάφορα υλικά
- Εγχειρίδια λειτουργίας των μηχανών
- Τεχνικά εγχειρίδια επιθεώρησης του αεριοστρόβιλου κινητήρα

Μέτρα ασφάλειας

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών σκληρομέτρησης θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη λήψη των απαραίτητων μέτρων ασφάλειας ώστε να εξαλειφθεί η οποιαδήποτε πιθανότητα πρόκλησης ζημιάς στις συσκευές μέτρησης. Επιπρόσθετα, η αποφυγή καταστροφής των εξαρτημάτων θεωρείται αυτονόητη. Εξασφαλίστε την καλή κατάσταση των συσκευών σκληρομέτρησης και βεβαιωθείτε, ότι έχουν πραγματοποιηθεί οι απαραίτητες εργασίες συντήρησης και διακρίβωσης. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή στη διακίνηση, την τοποθέτηση και εν γένει χειρισμό των εξαρτημάτων που θα σκληρομετρηθούν. Γενικά, ακολουθήστε τα βασικά μέτρα ασφάλειας που αναφέρονται στο Παράρτημα Α, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση των προστατευτικών γυαλιών.

Πορεία εργασίας

Περιγράφουμε στη συνέχεια τη διαδικασία πραγματοποίησης μετρήσεων σύμφωνα με τις μεθόδους Brinell και Rockwell:

- Οι οδηγίες που αναφέρουμε είναι γενικές.
- Εφαρμόστε τις για την μέτρηση της σκληρότητας διαφόρων εξαρτημάτων, αφού βέβαια φροντίσετε να προσαρμόσετε στη συσκευή τον κατάλληλο διεισδυτή, όπως προκύπτει από τα τεχνικά εγχειρίδια των εξαρτημάτων και από τις ιδιότητες των υλικών.
- Πριν από τις μετρήσεις, ενημερωθείτε για τις ιδιότητες των υλικών κατασκευής και καταγράψτε τις αναμενόμενες σκληρότητες.
- Μετά τις μετρήσεις, συζητήστε τυχόν διαφοροποιήσεις της μετρηθείσας σκληρότητας από την αναμενόμενη - Αναζητήστε τις αιτίες.

- Στην περίπτωση που έχετε διαθέσιμα εξαρτήματα από διαφορετικά συγκροτήματα του κινητήρα (συμπιεστή, θάλαμο καύσης, στρόβιλο, κλπ.) συζητήστε τη διαφοροποίηση των υλικών κατασκευής και των ιδιοτήτων τους.

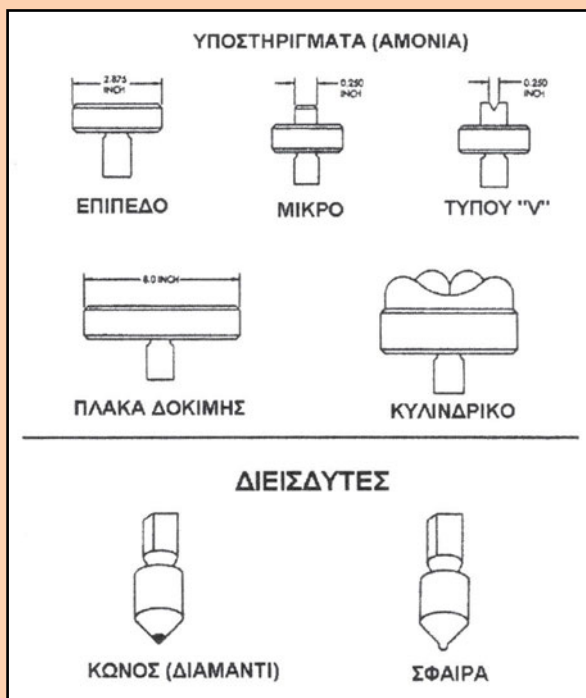
Γενικές οδηγίες σκληρομέτρησης Brinell

- Χρησιμοποιήστε σφαίρα ακρίβειας, διαμέτρου 10mm.
 - Επιλέξτε το φορτίο της δοκιμής (π.χ. 500, 1500, 3000kp).
 - Χρησιμοποιήστε τους κατάλληλους πίνακες ή σχέσεις μετατροπής για τον υπολογισμό της σκληρότητας Brinell.
 - Λειτουργήστε προσεκτικά το σύστημα φόρτισης για την αποφυγή υπερφορτίσεων, ή μεγάλων επιταχύνσεων.
 - Χρησιμοποιήστε κατά προτίμηση μικροσκόπιο για τη μέτρηση της διαμέτρου του αποτυπώματος. Η χρήση της μεθόδου συνιστάται για τη μέτρηση σκληρότητας έως 450HB.
5. Τοποθετήστε το εξάρτημα με τέτοιο τρόπο, ώστε η επιφάνεια μέτρησης να είναι κάθετη στον άξονα του διεισδυτή.
 6. Καθαρίστε τις επιφάνειες δοκιμής. Αφαιρέστε ξένα σώματα και ενδείξεις οξειδωσης.
 7. Βεβαιωθείτε για την καλή συγκράτηση του εξαρτήματος πριν από την έναρξη της δοκιμής.
 8. Η τοποθέτηση θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι η απόσταση του αποτυπώματος από το άκρο του εξαρτήματος θα είναι μεγαλύτερη των 25mm (2.5 φορές η διάμετρος της σφαίρας). Θα πρέπει επίσης, η ακτίνα καμπυλότητας της επιφάνειας σκληρομέτρησης να είναι μεγαλύτερη των 25mm.
 9. Επιλέξτε κατά το δυνατόν επίπεδες επιφάνειες, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ακριβής μέτρηση των διαμέτρων των αποτυπωμάτων.
 10. Εφαρμόστε το απαραίτητο φορτίο, στην πρώτη περιοχή για 10-12 δευτερόλεπτα.
 11. Πριν επαναλάβετε σε επόμενες περιοχές, βεβαιωθείτε, ότι αυτές απέχουν μεταξύ τους, τουλάχιστον τρεις φορές τη διάμετρο του αποτυπώματος. Δημιουργήστε δύο ακόμη αποτυπώματα. Μετρήστε τις διαμέτρους των αποτυπωμάτων και υπολογίστε τη σκληρότητα Brinell ως ακολούθως:
 1. Μετρήστε τη διάμετρο κάθε αποτυπώματος χρησιμοποιώντας μικροσκόπιο. Μετρήστε δύο κάθετες διαμέτρους κάθε αποτυπώματος και υπολογίστε και καταγράψτε τον μέσο όρο.

2. Υπολογίστε τη σκληρότητα Brinell χρησιμοποιώντας πίνακες, ή σύμφωνα με τη σχέση που φαίνεται στο Σχήμα 2.236.
12. Επαναλάβετε τον υπολογισμό για τις τρεις μετρήσεις. Ο μέσος όρος των τριών αποτελεσμάτων είναι η σκληρότητα Brinell.
13. Για την επιβεβαίωση της μέτρησης, συνιστάται να μετρήσετε και δοκίμιο που πιθανόν διαθέτει το εργαστήριό σας, εγνωσμένης σκληρότητας, στην περιοχή της παρούσας μέτρησης.

Γενικές οδηγίες σκληρομέτρησης Rockwell

- Η μηχανή μέτρησης σκληρότητας Rockwell διαθέτει συνήθως βάσεις διαφόρων τύπων (Σχήμα 2.240). Επιλέξτε και προσαρμόστε την κατάλληλη.
- Εξασφαλίστε την παραλληλότητα της επιφάνειας μέτρησης προς τη βάση στήριξης και την καθετότητά της προς τον διεισδύτη.
- Ακολουθήστε τις οδηγίες της μηχανής για την πραγματοποίηση των σκληρομετρήσεων.
- Χρησιμοποιήστε τους κατάλληλους πίνακες ή σχέσεις μετατροπής για τον υπολογισμό της σκληρότητας Rockwell.



Σχήμα 2.240 Βάσεις δοκιμής και διεισδύτες για τη σκληρομέτρηση Rockwell

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:

ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

Κατά τη διάρκεια των εργασιών που 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 σπρέι 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.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βελαώρας, Ι.Χ., “Στοιχεία Μηχανών - Επίτομο”, Εκδόσεις ΙΩΝ, 7η Έκδοση, Αθήνα, 1991.
2. Γεωργίου, Δ., “Εισαγωγή στους Θερμοκινητήρες”, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 1993.
3. Δανιήλ, Γ., Φ., Ρεβίδης, Φ., Κ., “Κινητήρια Μηχαναί”, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 1992.
4. Καραπάνος, Χ., Κοτσιλιέρης, Α., Κουντουράς, Λ., “Μηχανές Εσωτερικής Καύσης ΙΙ”, Ο.Ε.Δ.Β., Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Έκδοση Β’, Αθήνα, 2002.
5. Καρκανιάς, Κ., “Αεροστρόβιλοι κινητήρες”, Εκδόσεις ΑΛΦΑ, Αθήνα.
6. Καρκανιάς, Κ., Γούλιος, Γ., “Εμβολοφόροι Αεροπορικοί Κινητήρες”, Εκδόσεις ΑΛΦΑ, Αθήνα.
7. Κουμούτσος, Ν., Γ., “Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική”, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 1986.
8. Κουρεμένος, Δ., Α., “Σημειώσεις Θερμοδυναμικής Ι”, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 1978.
9. Κούτμος, Π., “Θεωρία Μηχανών Εσωτερικής Καύσης”, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 1993.
10. Κούτμος, Π., “Θεωρία Αεροστρόβιλων”, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 1992.
11. Λαζαρίδης, Λ., Ε., “Μηχανουργική Τεχνολογία. Εργαστήριο ΙΙ”, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου, 1985.
12. Παπαηλιού, Κ., Μαθιουδάκης, Κ., Γιαννάκογλου, Κ., “Εισαγωγή στις Θερμικές Στροβιλομηχανές”, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1996.
13. Τομπόπουλος, Μ., “Κινητήρες Τζετ (Αεροστρόβιλοι)”, Τεχνικές Σχολές Κρόνος.
14. De Remer, D., “Aircrafts systems for pilots”, Jeppesen Sanderson Inc., 1996.
15. Huenecke, K., “Jet engines. Fundamentals of theory, design and operation”, Motorbooks International Publishers & Wholesalers, 1997.
16. Kroes, M. J., Wild, T., W., “Aircraft Powerplants”, McGraw-Hill, INTERNATIONAL EDITIONS, Seventh Edition, 1994.
17. Treager, I., E., “Aircraft Gas Turbine Engine Technology”, Glencoe McGraw-Hill, Third Edition, 1996.
18. “A & P Technician Powerplant Textbook”, Jeppesen Sanderson Inc., 2003.

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.

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').

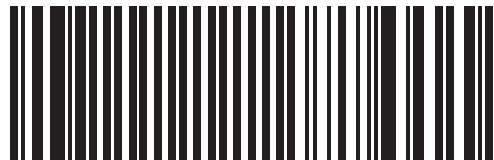
Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.

ITYE
"ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ"



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ & ΕΚΔΟΣΕΩΝ

Κωδικός βιβλίου: 0-24-0079
ISBN 978-960-06-2866-1



(01) 000000 0 24 0079 2