

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ΚΑΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΣΧΙΖΑΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2011

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	4
Εισαγωγή.....	6
Κεφάλαιο 1. Αεριοστρόβιλοι Κινητήρες	8
1.1 Θερμικές Μηχανές και κινητήρες	8
1.2 Αεριοστρόβιλοι	14
1.2 Συνοπτική Ιστορία των Αεριοστρόβιλων.....	17
1.3 Αρχές αεριώθησης.....	20
1.3 Τύποι αεριοστρόβιλων.....	25
1.4 Τύποι Αεριωθητών	28
1.5 Οι τύποι του αεριοστρόβιλου	32
Κεφάλαιο 2. Συστήματα συντήρησης κινητήρων αεροσκαφών	39
2.1 Συστήματα συντήρησης αεροσκαφών	39
2.2 Η παραδοσιακή και η σύγχρονη έννοια της συντήρησης.....	41
2.3 Παρακολούθηση κατάστασης μηχανής	41
2.4 Κινητήρας συστήματος παρακολούθησης	47
Κεφάλαιο 3. Διάγνωση και Εξακρίβωση Βλαβών.....	51
3.1 Ορισμός Διάγνωσης και Εξακρίβωσης βλαβών.....	51
3.2 Βασικός έλεγχος του κινητήρα κατά την εισαγωγή του στο συνεργείο κινητήρων	51
3.3 Αποκατάσταση βλαβών σε τμήματα αεριοστρόβιλων κινητήρων	70
3.4 Έλεγχοι και διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης.....	72
3.5 Παράδειγμα Ανάλυση Βλαβών Πτερυγίων.....	76
Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα.....	92
Βιβλιογραφία.....	93
Λίστα με Εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν.....	95

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή αποτελεί Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πατρών και αναφέρεται στους τρόπους διάγνωσης βλαβών σε Στροβιλομηχανές και ειδικά σε αεροστροβίλους. Οι αεροστρόβιλοι χρησιμοποιούνται κυρίως στα αεροπλάνα. Στα αεροπλάνα η ανάγκη για σωστή διάγνωση βλαβών και σωστή συντήρηση των κινητήρων είναι θέμα ζωής ή θανάτου. Η δε ανάγκη για συνεχή συντήρηση είναι ακόμα μεγαλύτερη και λόγω της πολυπλοκότητας της κατασκευής τους. Η συντήρηση σε αεροπορικούς κινητήρες, καλύπτει από καθημερινές εργασίες, διάρκειας λίγων λεπτών, μέχρι και τη γενική επισκευή του κινητήρα, η οποία πραγματοποιείται σε βιομηχανικό περιβάλλον και διαρκεί, εν γένει, αρκετούς μήνες. Πιο συγκεκριμένα στη εργασία γίνεται αναφορά στους αεριοστρόβιλους κινητήρες, την ιστορική εξέλιξή τους, τις αρχές που διέπουν τη λειτουργία τους καθώς και περιγραφή των διαφόρων τύπων κινητήρων, περιγράφονται αναλυτικά τα μέρη που τους αποτελούν και ο ρόλος τους στην λειτουργία ενός αεριοστρόβιλου κινητήρα. Επίσης αναπτύσσεται η έννοια της συντήρησης των αεριοστρόβιλων και παρουσιάζονται οι βασικές αρχές για την διάγνωση βλαβών σε αεριοστρόβιλους ενώ ταυτόχρονα περιγράφεται η μεθοδολογίες διάγνωση βλαβών.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Καλογήρου Ιωάννη για την πολύτιμη βοήθεια του και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Περίληψη

Ο στόχος της παρούσας πτυχιακής είναι η κατανόηση των αεριοστροβίλων και η διάγνωση των βλαβών που συμβαίνουν σε αυτούς. Οι αεριοστροβίλοι κινητήρες έχουν πάρα πολλές εφαρμογές σε πάρα πολλούς τομείς. Η πιο έντονη χρήση τους είναι η πρόωση αεροπλάνων εκτοπίζοντας συνέχεια από την εμφάνιση τους μέχρι σήμερα τους παλινδρομικούς κινητήρες. Κάθε κατηγορία αεροστροβίλων παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά, τα οποία την κάνουν περισσότερο κατάλληλη για την πρόωση μεσαίων ή μεγάλων αεροπλάνων.

Όταν μιλάμε για αεριοστροβίλους εννοούμε μια μηχανή σχεδιασμένη να μετατρέπει την εσωτερική ενέργεια από ένα καύσιμο σε μια χρήσιμη μορφή ενέργειας όπως μηχανική κίνηση ενός άξονα π.χ. γεννήτριας ή την προωθητή κίνηση αερίων σε έναν κινητήρα jet.

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 (Heron's aeolipile), η οποία θεωρείται πρόδρομος των αεριοστροβίλων κινητήρων. 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, περιστρεφόταν και ο ατμός εύρισκε οδό διαφυγής από τους ακτινικούς αυλούς.

Ο κινητήρας αεριώθησης 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. 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.

Τα αεροπλάνα έχουν ανάγκη από συνεχή συντήρηση και λόγω της πολυπλοκότητας της κατασκευής τους έχουν ανάγκη από γρήγορη και ορθή διάγνωση πιθανών βλαβών. Η συντήρηση σε αεροπορικούς κινητήρες, καλύπτει από καθημερινές εργασίες, διάρκειας λίγων λεπτών, μέχρι και τη γενική επισκευή του κινητήρα, η οποία πραγματοποιείται σε βιομηχανικό περιβάλλον και διαρκεί, εν γένει, αρκετούς μήνες. Η διάκριση του τύπου της συντήρησης, η οποία πραγματοποιείται σε έναν κινητήρα, βασίζεται στο εάν ο κινητήρας όχι βρίσκεται στο αεροσκάφος. Έτσι, η συντήρηση γραμμής (line

maintenance) πραγματοποιείται χωρίς να απομακρυνθεί ο κινητήρας από αυτό. Αντίθετα, για τις συντηρήσεις επιπέδου συνεργείου (shop maintenance) και τη γενική επισκευή (overhaul), απαιτείται η αφαίρεση του κινητήρα από το σκάφος. Οι συντηρήσεις επιπέδου συνεργείου γίνονται σε κατάλληλα εξοπλισμένο χώρο, κοντά εν γένει, στη γραμμή πτήσης. Αντίθετα, οι εργασίες γενικής επισκευής απαιτούν την αποστολή του κινητήρα σε ειδικά εξουσιοδοτημένο και κατάλληλα εξοπλισμένο επισκευαστικό κέντρο. Σε πολλές περιπτώσεις, μέρος των συντηρήσεων επιπέδου συνεργείου, πραγματοποιείται στα κέντρα γενικής επισκευής. Βασική αιτία γι' αυτό αποτελεί συνήθως η έλλειψη επαρκούς εξοπλισμού και εξειδικευμένου προσωπικού.

Όλα τα παραπάνω αναλύονται πλήρως στην παρούσα πτυχιακή εργασία. Πιο συγκεκριμένα η εργασία χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο 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. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται η έννοια της συντήρησης των αεριοστρόβιλων και παρουσιάζονται οι βασικές αρχές για την διάγνωση βλαβών σε αεριοστρόβιλους. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογίες διάγνωση βλαβών.

Τέλος στα συμπεράσματα συνοψίζονται τα κυριότερα σημεία της εργασίας ενώ ταυτόχρονα παρατίθενται και αναλύονται όλα τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το σύνολο της εργασίας ενώ ταυτόχρονα προτείνονται ζητήματα προς περαιτέρω διερεύνηση.

Εισαγωγή

Οι στοβιλομηχανές και οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία αλλά και στα αεροσκάφη. Ειδικά στα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται για την πρόωση των αεροπλάνων και μάλιστα σε τέτοιο βαθμό που σταδιακά εκτοπίζουν τους παλινδρομικούς κινητήρες. Οι αεριοστρόβιλοι ανήκουν σε διάφορες κατηγορίες που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά, τα οποία τους κάνουν περισσότερο κατάλληλους για την πρόωση ανάλογα με το τύπο του αεροσκάφους που χρησιμοποιούνται. Π.χ. οι ελικοστρόβιλοι συνδυάζουν το μικρό βάρος των αεριοστροβίλων και με την καλή απόδοση των ελικοφόρων συστημάτων στις μικρές ταχύτητες πτήσης έχουν πολύ αποτέλεσμα. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην κίνηση μεταφορικών αεροπλάνων μέσης και μεγάλης εμβέλειας σε υψηλές υποηχητικές ταχύτητες. Η μέγιστη ταχύτητα που μπορούν να αποδώσουν καθορίζεται από την απόδοση της έλικας.

Ο τύπος των αεριοστρόβιλων απλής και διπλής ροής χρησιμοποιούνται σε όλα τα αεροπλάνα, όπου υπάρχει η απαίτηση πρόωσης σε υποηχητικές και υπερηχητικές ταχύτητες. Επιπλέον η κατασκευή αεριοστροβίλων διπλής ροής με βελτιωμένη ειδική κατανάλωση και καλύτερα χαρακτηριστικά πτήσης σε χαμηλές ταχύτητες δίνει την δυνατότητα γενικότερης χρήσης αφού επιτρέπει τη χρησιμοποίησή τους σε όλους τους τύπους των αεροπλάνων. Το αν θα χρησιμοποιήσουμε αεριοστρόβιλο απλής ή διπλής ροής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και γενικά η τελική απόφαση είναι μια δύσκολη υπόθεση. Σήμερα πάντως στα αεροπλάνα με ταχύτητες πλεύσης με αριθμό ΜΑΧ μεγαλύτερο από 2,5 χρησιμοποιούνται αποκλειστικά αεριοστρόβιλοι διαφόρων κατηγοριών ενώ παράλληλα η τεχνολογία στους κινητήρες της αεροδιαστημικής βασίζονται κατά πολύ μεγάλο μέρος της τεχνολογίας των αεριοστρόβιλων.

Η απόδοση των αεριοστρόβιλων γίνεται με βάση τα παρακάτω κριτήρια

- Λόγο στην ώθηση του / βάρους.
- Το λόγο Αύξησης της ώσης του κινητήρα / βάρους
- Το δείκτη υψηλής συμπίεσης,
- Το λόγο πίεσης και θερμοκρασίας ψησίματος του στροβίλου.

Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη των αεριοστρόβιλων έχει επικεντρωθεί κυρίως στην αύξηση των επιδόσεων σε όλες τις λειτουργικές φάσεις και προσδοκά στην συνεχόμενη βελτίωση της παραγωγής ενέργειας και την πλήρη μετατροπή της σε ώθηση. Στο παρελθόν, ο αεριοστρόβιλος θεωρήθηκε ως μη αναποτελεσματική πηγή ενέργειας σε σύγκριση με άλλες πηγές ενέργειας. Τα πρώτα χρόνια ειδικά η βελτίωση της αποτελεσματικότητας των αεριοστροβίλων ήταν αρκετά χαμηλά περίπου 15% (μέχρι τις αρχές του 1950). Σήμερα όμως η βελτίωση της αποτελεσματικότητας είναι της τάξεως 45-50%, το οποίο μεταφράζεται σε ένα ποσοστό θερμότητας των 7582 BTU / kW-hr (8000 kJ / kW-hr) σε 6824 BTU / kW-hr (7199 kJ / kW-hr). Η νέοι αεριοστρόβιλοι έχουν καύση θερμοκρασίες εισόδου τόσο υψηλό όπως 2600 ° F (1427 ° C), καθώς και τιμές συμπίεσης 40:1 με αποδόσεις της τάξης του 45% και άνω.

Πέρα από τις χρήσεις τους σε αεροπλάνα οι αεριοστρόβιλοι έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά εκτεταμένα και για την κίνηση ελίκων ελικοπτερίων. Το σύστημα που χρησιμοποιείται μοιάζει με τους ελικοστροβίλους με τη διαφορά, ότι το σύστημα μετάδοσης της κίνησης και υπολλαπλασιασμού στροφών είναι πιο πολύπλοκο. Υπάρχουν επίσης αεριοστρόβιλοι, που χρησιμοποιούνται σαν βοηθητικές πηγές ενέργειας, όταν το αεροπλάνο είναι στο έδαφος ή σε περίπτωση ανάγκης. Αυτοί χρησιμοποιούν καύσιμο από το αεροπλάνο και μπορούν να διατηρούν σε ενέργεια το σύστημα κλιματισμού και να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση βοηθητικών συστημάτων ανάγκης, αν χρειασθεί. (APU).

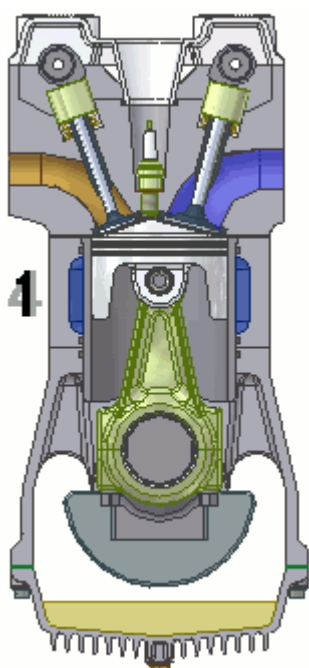
Η ανάγκη για συντήρηση στους στροβιλοκινητήρες και ειδικά στα αεροπλάνα είναι απαραίτητη αφού αποτελεί θέμα ζωής και θανάτου στην κυριολεξία. Μια κακή συντήρηση μπορεί να αποτελέσει αιτία ακόμα και συντριβής του αεροσκάφους με απώλειες ανθρώπινες ζωές. Η συντήρηση σε αεροπορικούς κινητήρες, καλύπτει από καθημερινές εργασίες, διάρκειας λίγων λεπτών, μέχρι και τη γενική επισκευή του κινητήρα, η οποία πραγματοποιείται σε βιομηχανικό περιβάλλον και διαρκεί, εν γένει, αρκετούς μήνες. Η διάκριση του τύπου της συντήρησης, η οποία πραγματοποιείται σε έναν κινητήρα, βασίζεται στο εάν ο κινητήρας όχι βρίσκεται στο αεροσκάφος. Έτσι, η συντήρηση γραμμής (line maintenance) πραγματοποιείται χωρίς να απομακρυνθεί ο κινητήρας από αυτό. Αντίθετα, για τις συντηρήσεις επιπέδου συνεργείου (shop maintenance) και τη γενική επισκευή (overhaul), απαιτείται η αφαίρεση του κινητήρα από το σκάφος. Οι συντηρήσεις επιπέδου συνεργείου γίνονται σε κατάλληλα εξοπλισμένο χώρο, κοντά εν γένει, στη γραμμή πτήσης. Αντίθετα, οι εργασίες γενικής επισκευής απαιτούν την αποστολή του κινητήρα σε ειδικά εξουσιοδοτημένο και κατάλληλα εξοπλισμένο επισκευαστικό κέντρο. Σε πολλές περιπτώσεις, μέρος των συντηρήσεων επιπέδου συνεργείου, πραγματοποιείται στα κέντρα γενικής επισκευής. Βασική αιτία γι' αυτό αποτελεί συνήθως η έλλειψη επαρκούς εξοπλισμού και εξειδικευμένου προσωπικού.

Η εξακρίβωση βλαβών του κινητήρα, ο εντοπισμός τους και η εξεύρεση της διορθωτικής ενέργειας, δεν απαιτούν μόνο ικανοποιητική γνώση των συστημάτων κατασκευής του, αλλά λογική σειρά σκέψεων και γνώση της γενικότερης λειτουργίας του κινητήρα. Ο κατασκευαστής, για τις συνηθισμένες τουλάχιστον βλάβες, δίνει τις πιθανές αιτίες και τις απαραίτητες διορθώσεις σε ειδικά εύκολα χρηστικά διαγράμματα. Η δε γενική αρχή της διάγνωσης είναι να εφαρμόζουμε πρώτα μικρούς ελέγχους και κατόπιν προχωρούμε στις πιο σύνθετες εργασίες.

Κεφάλαιο 1. Αεριοστρόβιλοι Κινητήρες

1.1 Θερμικές Μηχανές και κινητήρες

Σαν Θερμικές μηχανές ή θερμοκινητήρες ονομάζονται οι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την θερμότητα που παράγεται από χημική ενέργεια και συγκεκριμένα την ενέργεια της καύσης, σε μηχανική ενέργεια. Ανάλογα τον τρόπο πραγματοποίησης της καύσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:



Εικόνα 1. Μηχανή εσωτερικής καύσης

στις μηχανές εσωτερικής καύσεως (Μ.Ε.Κ.)

στις μηχανές εξωτερικής καύσεως ή ατμομηχανές.

Μηχανές **εσωτερικής καύσεως** ονομάζονται αυτές όπου ως μέσο για την παραγωγή της μηχανικής ενέργειας χρησιμοποιούνται ο αέρας και το ίδιο το καύσιμο, δηλαδή καυσαέρια π.χ. εμβολοφόρος κινητήρας αυτοκινήτου, αεροστρόβιλος αεροπλάνου.

Πιο συγκεκριμένα, μια μηχανή εσωτερικής καύσης ή κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι ένας κινητήρας στον οποίο η καύση του καυσίμου γίνεται σε ένα θάλαμο καύσης που βρίσκεται ολόκληρος μέσα στο κινητήρα. Με τον όρο μηχανές εσωτερικής καύσης συνήθως εννοούνται κυρίως οι παλινδρομικές-εμβολοφόρες μηχανές και οι κινητήρες Βάνκελ (Wankel).

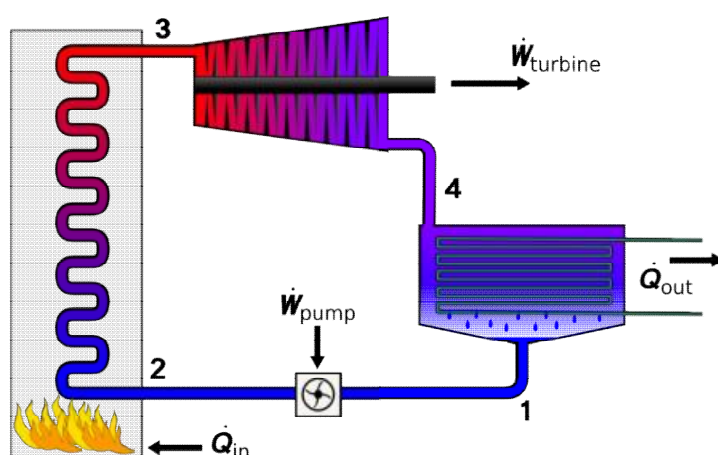
Μία άλλη κατηγορία κινητήρων εσωτερικής καύσης είναι οι κινητήρες τζετ, πύραυλοι και διάφορες τουρμπίνες ώσης και ισχύος που κάνουν χρήση συνεχούς καύσης .

Ο γενικός ορισμός ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι: Κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι μια θερμική μηχανή, στην οποία ένα καύσιμο καίγεται παρουσία αέρα μέσα σε ένα θάλαμο (θάλαμος καύσης) και από την εξώθερμη αντίδραση του καυσίμου με τον οξειδωτή (θερμική καύση ελεύθερης φλόγας σε αέρια κατάσταση), που είναι το οξυγόνο του αέρα, δημιουργώντας θερμά αέρια. Στον κινητήρα εσωτερικής καύσης συμβαίνει η εκτόνωση της πίεσης των αερίων όπου εφαρμόζει δύναμη στο κινητό μέρος του κινητήρα, όπως τα έμβολα ή πτερύγια.

Η διαφορά μιας μηχανής εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) με την μηχανή εξωτερικής καύσης όπως αυτής με ατμό ή κινητήρα Stirling, είναι ότι στις μηχανές εξωτερικής καύσης η ενέργεια μεταφέρεται από ένα υγρό το οποίο θερμαίνεται σε ένα λέβητα (ο οποίος βρίσκεται εκτός του κινητήρα) από ορυκτά καύσιμα ή καύση ξύλου, πυρηνική ενέργεια, ηλιακή κ.λ.π.

Έχουν αναπτυχθεί ένας πολύ μεγάλος αριθμός διαφορετικών σχεδίων για τις ΜΕΚ και ταυτόχρονα έχουν κατασκευαστεί διάφορες ΜΕΚ, με διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα την περίπτωση. Αν και σε πολλές στατικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται οι ΜΕΚ ο μεγαλύτερος όγκος χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κίνησης οπότε εφαρμόζονται σε κινητές εφαρμογές και κυριαρχούν στα αυτοκίνητα, αεροσκάφη και πλοία κ.α.

Σαν μηχανές εξωτερικής καύσεως ονομάζονται οι μηχανές όπου η καύση δεν λαμβάνει μέρος στο χώρο παραγωγής της μηχανικής ενέργειας αλλά έξω από αυτό και στις οποίες το μέσο παραγωγής της ενέργειας δεν είναι το καυσαέριο αλλά κάποιο άλλο στοιχείο όπως π.χ. νερό. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι ατμοστρόβιλοι, οι ατμομηχανές.



Εικόνα 2. Μηχανή εξωτερικής Καύσης

Με βάση τον τρόπο μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανικό έργο οι θερμικές μηχανές διακρίνονται σε:

- εμβολοφόρους ή παλινδρομικές, οι οποίες ισχύουν τόσο για τις μηχανές εσωτερικής καύσεως όσο και για τις εξωτερικής καύσεως και σε
- περιστροφικές ή στροβίλους οι οποίες όταν εφαρμόζονται σε μηχανές εσωτερικής καύσεως ονομάζονται ατμοστρόβιλοι ενώ όταν εφαρμόζονται σε μηχανές εξωτερικής καύσεως ονομάζονται αεριοστρόβιλοι.

Πιο συγκεκριμένα στις εμβολοφόρους - παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσεως η έναυση στον κύλινδρο μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

- με τη βοήθεια εξωτερικού μέσου π.χ. σπινθήρα, όπου σε αυτή περίπτωση υπάγονται οι "κινητήρες Όττο" και διακρίνονται σε αεριομηχανές και σε βενζινομηχανές
- αυτόματα λόγω μεγάλης θέρμανσης του καυσίμου, που τέτοιες είναι οι μηχανές Ντήζελ ή πετρελαιομηχανές.

Εμβολοφόρες - παλινδρομικές θερμικές μηχανές εσωτερικής καύσεως

Η λειτουργία των μηχανών αυτών στηρίζεται στην παραγωγή μηχανικού έργου από τη χημική ενέργεια των καυσίμων και συγκεκριμένα της καύσης τους.

Σαν καύση ονομάζουμε την χημική αντίδραση όπου η καύσιμος ύλη ενώνεται με το οξυγόνο του αέρα για να δώσει νέα συστατικά, με κύρια το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό ενώ ακολουθούν και άλλα ανάλογα την περίπτωση του καυσίμου.

Επειδή η ενέργεια που χρειάζεται για να σχηματιστούν τα μόρια των νέων αυτών συστατικών είναι μικρότερη από αυτή που είχαν τα αρχικά μόρια,

απελευθερώνεται ένα σημαντικό ποσό ενέργειας με την μορφή της θερμότητας (εξώθερμη αντίδραση, αποδιδόμενη ενέργεια). Η παραγωγή θερμότητας μας δίνει την ευκαιρία να την μετατρέψουμε σε άλλες μορφές ενέργειας με στόχο να επιτύχουμε τον τελικό μας στόχο που τις περισσότερες φορές είναι η κίνηση.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση αυτό γίνεται ως εξής. Μέρος της παραγόμενης θερμότητας ανεβάζει την θερμοκρασία των αερίων προϊόντων της καύσης και αυξάνει την πίεσή τους. Τα υπερσυμπιεσμένα αέρια σπρώχνουν προς όλες τις κατευθύνσεις καθώς και την επιφάνεια του εμβόλου το οποίο αρχίζει να κινείται με αποτέλεσμα να έχουμε μετατροπή της θερμότητας σε κινητική ενέργεια όπου τελικά είναι και το ζητούμενο.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι δεν είναι δυνατόν να μετατρέψουμε όλο το ποσό της εκλυόμενης ενέργειας του καύσιμου σε κινητική. Στόχος και μόνιμη πρόκληση των σχεδιαστών είναι να προσπαθήσουν να μειώσουν τις απώλειες και να παρουσιάσουν κινητήρες με τον καλύτερο βαθμό μετατροπής, της προσφερόμενης ενέργειας σε αποδιδόμενη.

Έτσι ορίζεται ο όρος απόδοση των κινητήρων. Σαν απόδοση ενός κινητήρα ονομάζουμε τον λόγο της παραγόμενης ενέργειας με την αρχική ενέργεια που δίνουμε, δηλαδή τον λόγο ανάμεσα στη θερμότητα που αξιοποιείται (μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια) και στη θεωρητικά διαθέσιμη ενέργεια. Όσο πιο υψηλή είναι αυτή η απόδοση ενός κινητήρα (δηλαδή ο λόγος που προαναφέραμε) τόσο πιο αποδοτικός είναι ο κινητήρας.

Σαν βελτίωση της θερμοδυναμικής απόδοσης ενός κινητήρα σημαίνει τελικά η αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος για την ίδια κατανάλωση καυσίμων, ή μείωση της κατανάλωσης για την ίδια απόδοση ισχύος. Οι πιο γνωστοί τύποι κινητήρα που λειτουργούν με αυτό τον τρόπο είναι ο τετράχρονος βενζινοκινητήρας εσωτερικής καύσης και ο κινητήρας Diesel (Ντήζελ).

Αρχικά χρησιμοποιούταν και ο δίχρονος βενζινοκινητήρας εσωτερικής καύσης όμως σήμερα η χρήση του έχει περιοριστεί σε μικρές μηχανές, οικιακής κυρίως χρήσης (πχ. μηχανές κουρέματος του γκαζόν, αλυσοπρίονα) και μικρού κυβισμού μοτοσικλέτες λόγω των αυξημένων ρύπων οι οποίες όμως από το 2008 καταργήθηκαν λόγω μόλυνσης του περιβάλλοντος.

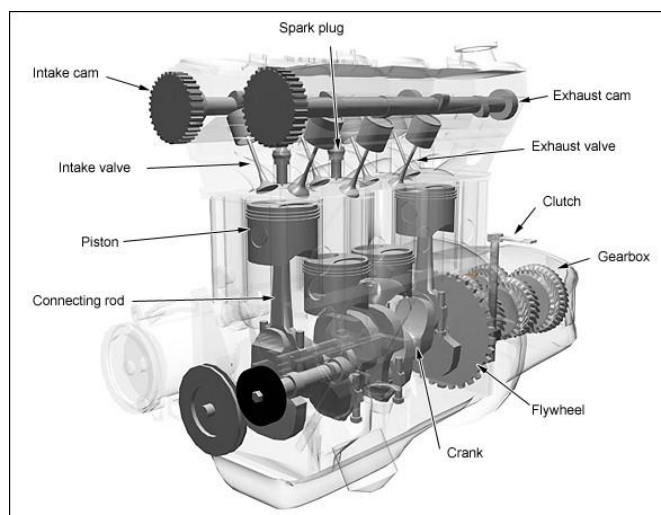
Βενζινοκινητήρες

Ο βενζινοκινητήρας είναι μηχανή εσωτερικής καύσης στην οποία η ισχύς παράγεται με την καύση της βενζίνης. Δηλαδή στον κινητήρα στέλνουμε μείγμα αέρα και βενζίνης όπου τελικά γίνεται η καύση

Οι περισσότεροι βενζινοκινητήρες ανήκουν στην κατηγορία των παλινδρομικών μηχανών. Παρόλα αυτά οι έρευνες και οι τεχνολογικές

εξελίξεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο τύπος στρεφόμενου εμβόλου ή ο τύπος στροβίλου υπερέχουν λειτουργικά οπότε όλη η σύγχρονη τεχνολογία οδηγεί σε αυτή την κατεύθυνση.

Οι βενζινοκινητήρες είναι οι πιο διαδεδομένες μηχανές εσωτερικής καύσης. Το μέγεθος και η ισχύς τους ποικίλλουν από λιγότερο από έναν ίππο για χρήση σε μικρές φορητές συσκευές, μέχρι 35.000 ίππους για αεροπλάνα. Παρόλο που οι περισσότεροι βενζινοκινητήρες χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα, αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το μισό του συνολικού αριθμού που είναι σε χρήση, σε παγκόσμια κλίμακα.



Εικόνα 3. Βενζινοκινητήρας

Η ατμομηχανή θεωρείται σαν ο πρόδρομος του βενζινοκινητήρα η οποία πρωτοεμφανίστηκε τον 18ο αιώνα. Η Μηχανή Εσωτερικής Καύσης, που ακολούθησε τον 19ο αιώνα ως βελτίωση για πολλές εφαρμογές, δε μπορεί να αποδοθεί μόνο σε έναν εφευρέτη. Μάλιστα από τον 17ο αιώνα αρκετοί πειραματιστές προσπάθησαν αρχικά να χρησιμοποιήσουν θερμά καυσαέρια για να κινήσουν αντλίες. Στην Αγγλία μάλιστα το 1820 ένας κινητήρας λειτουργούσε με βάση την έκρηξη μίγματος αέρα-υδρογόνου. Οι κινητήρες αυτοί ήταν βαρείς και χονδροειδείς στην κατασκευή αλλά περιείχαν πολλά βασικά στοιχεία των μετέπειτα, πιο επιτυχημένων συσκευών.

Το 1824, ο Γάλλος φυσικός Σαντί Καρνό δημοσίευσε το σύγγραμμα «Σκέψεις πάνω στην Ωστική δύναμη της θερμότητας» όπου αποτελεί το βασικό σημείο αναφοράς για όλες τις μηχανές εσωτερικής καύσης όπου σε αυτό οποίο περιέγραψε τις βασικές αρχές της θεωρίας εσωτερικής καύσης.

Στην συνέχεια εμφανίστηκαν βελτιωμένοι τύποι, καθώς και κινητήρες στους οποίους το καύσιμο συμπιεζόταν πριν αναφλεγεί. Από όλες αυτές τις προσπάθειες η πιο ικανοποιητική ήταν αυτή του 1860 όπου ο Γάλλος Ετιέν Λενουάρ παρουσίασε έναν κινητήρα με φωταέριο και με σχετικά καλή απόδοση.

Το 1962 στο Παρίσι, μια σημαντικότερη εξέλιξη πραγματοποιήθηκε και δημοσιεύτηκε η περιγραφή του ιδανικού κύκλου λειτουργίας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης από τον Αλφόνς Μπω ντε Ροσά, ο οποίος ήταν και ο πρώτος που διατύπωσε τις συνθήκες για την άριστη απόδοση και όρισε τις αρχές που πρέπει να ισχύσουν ώστε να έχουμε την καλύτερη απόδοση.



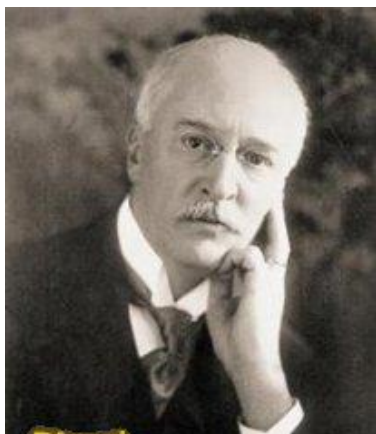
Εικόνα 4. Νικόλαους Ότο

Ο Μπω ντε Ροσά στον κινητήρα του προέβλεπε τετράχρονο κύκλο, σε αντίθεση με το δίχρονο κύκλο (είσοδος-ανάφλεξη και ισχύς-έξοδος) της προσπάθειας του Λενουάρ. Παρόλα αυτό όμως για τα επόμενα 14 χρόνια ο τετράχρονος κινητήρας έμεινε στα χαρτιά και μάλιστα εμφανίστηκε ως κατασκευή του Γερμανού μηχανικού Νικολάους Ότο, του οποίου η εταιρία Ότο και Λάνγκεν στο Ντόιτς είχε προηγουμένως κατασκευάσει έναν βελτιωμένο δίχρονο κινητήρα. Ο κινητήρας ήταν πολύ θορυβώδης και μικρής ισχύος, όμως η κατανάλωση καυσίμου ανά μονάδα ισχύος ήταν μικρότερη από τη μισή κατανάλωση του κινητήρα του Λενουάρ, γι' αυτό και τελικά οδήγησε σε μεγάλημπορική επιτυχία. Το 1867 μάλιστα παρουσιάστηκε αυτός ο κινητήρας στην παγκόσμια έκθεση του Παρισιού και παρά τη θορυβώδη λειτουργία του, πήρε ένα χρυσό βραβείο, γιατί είχε κατά 60% μειωμένη κατανάλωση καυσίμου.

Αυτό έφερε σαν αποτέλεσμα την μεγάλη ζήτηση για τους κινητήρες του Ότο και οδήγησε στην ίδρυση από τον Λάνγκεν της ανώνυμης εταιρίας Deutz AG στην Κολωνία, το έτος 1872, η οποία είχε στόχο τη μαζική παραγωγή κινητήρων. Το 1876 η εταιρεία χρησιμοποίησε το τετράχρονο κύκλο του Μπω ντε Ροσά στον σχεδιασμό ενός νέου κινητήρα και όπως ήταν αναμενόμενο η επιτυχία ήταν άμεση.

Έτσι παρά το μεγάλο βάρος και τη μέτρια οικονομία στα επόμενα 17 χρόνια πουλήθηκαν σχεδόν 50.000 κινητήρες συνολικής ισχύος 200.000 περίπου ίππων, ενώ ακολούθησε μια ραγδαία εξελισσόμενη ποικιλία μηχανών του τύπου αυτού. Η κατασκευή του κινητήρα Ότο στις Η.Π.Α ξεκίνησε το 1878, έναν χρόνο μετά την κατοχύρωση από τον Ότο της σχετικής ευρεσιτεχνίας.

Στην συνέχεια το 1892 ο Γερμανός μηχανικός Ρούντολφ Ντήζελ (Rudolf Diesel 1858-1913) ανακοινώσε την δική τους ευρεσιτεχνία όπου παρουσίασε τον ομόνυμο κινητήρα που μελετήθηκε στα έτη 1893-1897 με χρηματική υποστήριξη της εταιρίας Friedrich Krupp AG.



Εικόνα 5. Ρούντολφ Ντήζελ

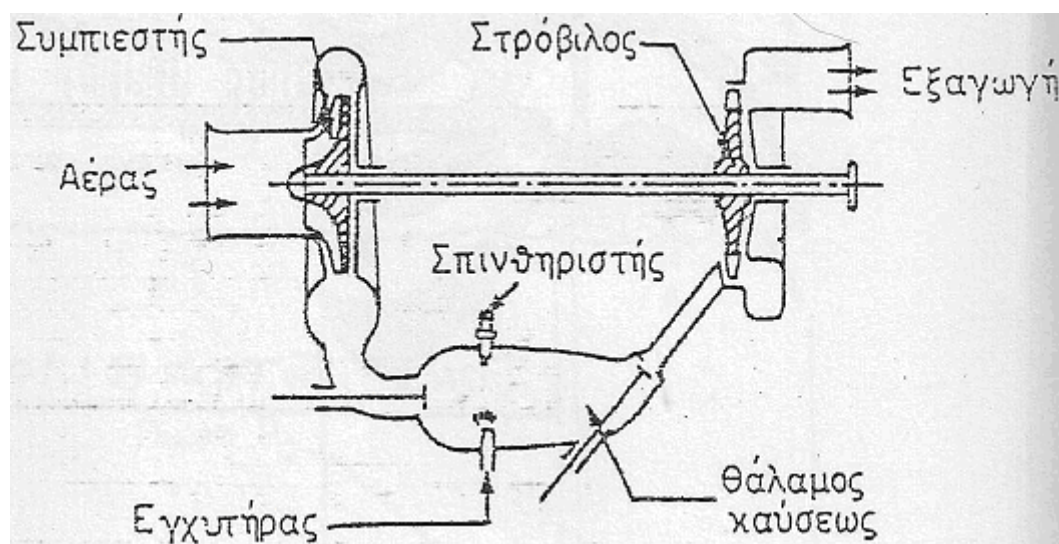
Το πρώτο λειτουργικά ολοκληρωμένο δείγμα αυτού του κινητήρα με καλό βαθμό αποδόσεως και εξοικονόμηση καυσίμου, κατασκευάστηκε στο εργοστάσιο της εταιρίας MAN στην πόλη Augsburg της Βαυαρίας. Στην συνέχεια ιδρύθηκαν εργοστάσια σε διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις για τη μαζική παραγωγή κινητήρων Diesel τα οποία είχαν τελικά μεγάλα κέρδη και καθιέρωσαν τον

κινητήρα ντιζελ σαν το βασικό πρότυπο κινητήρων εσωτερικής καύσης.

1.2 Αεριοστρόβιλοι

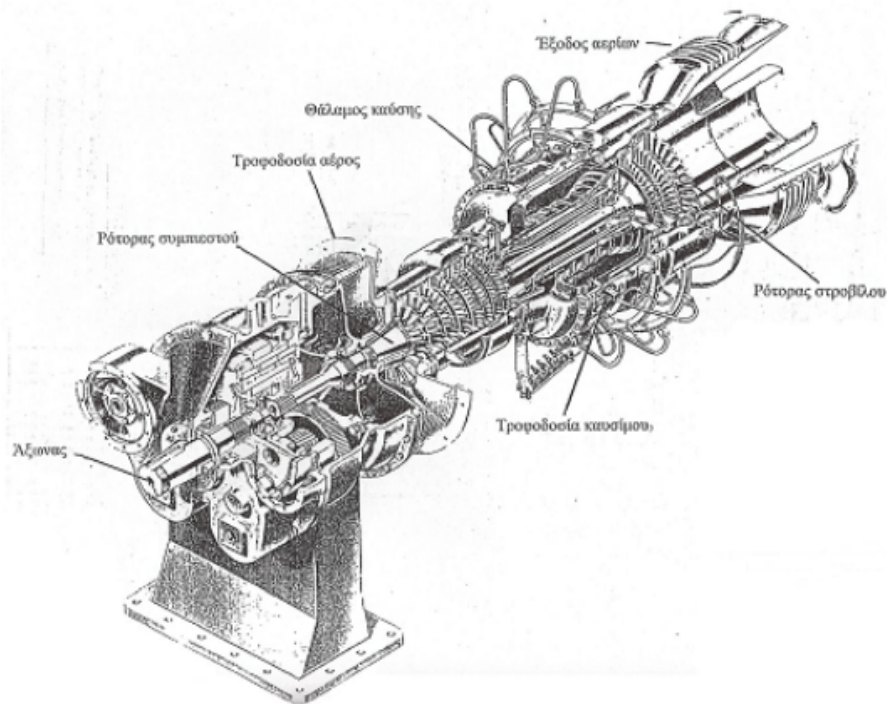
Όταν μιλάμε για αεριοστρόβιλους εννοούμε μια ειδική μηχανή σχεδιασμένη να μετατρέπει την εσωτερική ενέργεια από ένα καύσιμο σε μια χρήσιμη μορφή ενέργειας που κυρίως αυτή είναι η μηχανική ενέργεια που εκφράζεται με την μηχανική κίνηση ενός άξονα π.χ. γεννήτριας ή την προωθητική κίνηση αερίων σε έναν κινητήρα jet.

Οι αεριοστρόβιλοι γενικά είναι κινητήριες μηχανές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κινητικής ενέργειας από κάποιο καύσιμο αέριο ή υγρό. Συνήθως το καύσιμο στις περισσότερες περιπτώσεις είναι αέριο. Το καύσιμο αυτό καίγεται στον θάλαμο καύσης παράγοντας απαέρια υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Οι ουσίες που παράγονται που οι περισσότερες από αυτές είναι αέρια εκτονώνονται στα περύγια του στρόβιλου προκαλώντας την περιστροφή του. Στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες διατάξεις για περαιτέρω ανάκτηση της θερμότητάς τους. Ο άξονας του στρόβιλου κινεί και τον συμπιεστή αέρος καύσης για μείωση των ιδιοκαταναλώσεων. Η αρχή λειτουργίας των αεριοστρόβιλων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 6. Αρχή λειτουργίας των αεριοστρόβιλων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια τομή του αεριοστρόβιλου:



Εικόνα 7. Τομή του αεριοστρόβιλου

Τα κυριότερα τμήματα που απαρτίζουν έναν αεριοστρόβιλο είναι ο **συμπιεστής θάλαμος καύσεως και ο στρόβιλος.**

Ο συμπιεστής και ο στρόβιλος συνδέονται με μια ή περισσότερες ατράκτους, που μεταδίδουν τη κίνηση από το στρόβιλο στο συμπιεστή. Μετά από το στρόβιλο στους αεροπορικούς κινητήρες ακολουθεί το ακροφύσιο, το οποίο επιταχύνει τη ροή των καυσαερίων, ώστε να προσδώσει την απαραίτητη ώση για τη κίνηση του αεροσκάφους. Στους επίγειους ή ναυτικούς αεριοστρόβιλους στη θέση του ακροφυσίου υπάρχει ο στρόβιλος ισχύος ο οποίος απορροφά την ενέργεια των καυσαερίων που απομένει, για να την μετατρέψει σε μηχανική ισχύ.

Στους αεριοστρόβιλους ο αέρας εισέρχεται από κατάλληλα διαμορφωμένο αγωγό (αγωγός εισόδου) στο συμπιεστή. Ο συμπιεστής μπορεί να είναι φυγοκεντρικός (στις μικρές μηχανές) ή αξονικός (στις περισσότερες των περιπτώσεων), με μια ή περισσότερες βαθμίδες συμπίεσεων. Κάθε βαθμίδα αποτελείται από μια σειρά κινητών πτερυγίων (ρότορας) και μια σειρά σταθερών πτερυγίων (στατορας). Οι ροτορες των βαθμίδων συνδέονται στον άξονα (ή τους άξονες) της μηχανής και περιστρέφονται προσδίδουν κινητική ενέργεια στον αέρα, ενώ αυξάνουν και τη πίεση. Στη συνέχεια, στο στάτορα που ακολουθεί, μέρος της κινητικής ενεργείας του αέρα μετατρέπεται σε πίεση. Έτσι, σταδιακά, η πίεση του αέρα αυξάνεται μέσα στο συμπιεστή και ο αέρας εξέρχεται από το συμπιεστή με μεγαλύτερη πίεση και μεγαλύτερη πυκνότητα, από ότι στη είσοδο του.

Μετά το συμπιεστή, ο αέρας οδηγείται στο θάλαμο καύσεως. Εκεί εγχύεται από κατάλληλες διατάξεις το καύσιμο και αναμειγνύεται με τον εισερχόμενο συμπιεσμένο αέρα. Ο θάλαμος καύσεως μπορεί να έχει διαφορετικές μορφές, αλλά κατά βάση μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας διπλός σωλήνας. Ο εξωτερικός σωλήνας διαχωρίζει το ρευστό από το περιβάλλον και αποτελεί το κέλυφος του θαλάμου καύσεως. Σε αυτόν οδηγείται ο συμπιεσμένος αέρας μετά την έξοδο του από το συμπιεστή. Ο εσωτερικός σωλήνας (φλογοσωλήνας) είναι διάτρητος, ώστε να εισέρχεται ο αέρας στο εσωτερικό του, στροβιλιζόμενος. Εκεί πραγματοποιείται η καύση, ενώ τα καυσαέρια εξέρχονται από το πίσω άνοιγμα του φλογοσωλήνα. Η καύση του καύσιμου πραγματοποιείται σχεδόν υπό σταθερή πίεση, ενώ λαμβάνει χώρα συνεχώς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην επιτρέπεται να αυξηθεί η θερμοκρασία των καυσαερίων σε πολύ υψηλό επίπεδο, λόγω του κινδύνου καταστροφής των υλικών του θαλάμου καύσεως και κυρίως του στροβίλου που ακολουθεί. Αντιθέτως, στις εμβολοφόρους ΜΕΚ, λόγω της παρεμβολής των φάσεων εισαγωγής και εξαγωγής, τα χιτώνια έχουν τη δυνατότητα να ψηχθούν, οπότε οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες στο εσωτερικό τους μπορεί να είναι μεγαλύτερες. Αυτός είναι ο λόγος που οι αεριοστρόβιλοι δεν μπορούν να επιτύχουν τους βαθμούς αποδόσεως που επιτυγχάνουν οι κινητήρες Diesel.

Μετά το θάλαμο καύσεως το καυσαέριο οδηγείται στο στρόβιλο καυσαερίων. Ο στρόβιλος είναι συνήθως αξονικής ροής, παρόμοιος με τους στροβίλους καυσαερίων των στροβιλουπερπληρωτών. Αποτελείται από μια ή (συνήθως) περισσότερες βαθμίδες. Κάθε βαθμίδα αποτελείται από μια σειρά σταθερών πτερυγίων (οδηγία πτερύγια), ακολουθούμενη από μια σειρά κινητών πτερυγίων (ρότορας). Τα οδηγία πτερύγια παραλαμβάνουν το καυσαέριο και το επιταχύνουν, προσδίδοντας του συστροφή (περιφερειακή συνιστώσα ταχύτητας). Το καυσαέριο περιστρεφόμενο προσπίπτει στα πτερύγια του ρήτορα και προκαλεί τη περιστροφή τους. Ο ρότορας, λόγω της σχεδιάσεως του, αφαιρεί τη συστροφή από το καυσαέριο και μαζί αφαιρεί και μέρος της ενεργείας του. Έτσι μειώνεται σταδιακά η ενεργειακή στάθμη των καυσαερίων σε κάθε βαθμίδα του στροβίλου. Η πτώση αυτής της ενεργειακής στάθμης εμφανίζεται ως μείωση της πίεσεως και της θερμοκρασίας των καυσαερίων.

Στους κινητήρες αντιδράσεως (κινητήρες jet), η ισχύς που απορροφά ο στρόβιλος από τα καυσαέρια είναι ακριβώς αυτή που χρειάζεται ο συμπιεστής για τη περιστροφή του και τη συμπίεση του αέρα (αν δεν ληφθούν υπόψη οι μηχανικές απώλειες στον άξονα που τους συνδέει και η χρήση ισχύος για βοηθητικούς μηχανισμούς). Αυτός ακριβώς είναι ο λόγος υπάρξεως του στροβίλου, δηλαδή να απορροφά τόση ενέργεια από τα καυσαέρια όση απαιτείται για την περιστροφή του συμπιεστή.

Τα καυσαέρια εξερχόμενα από το στρόβιλο έχουν ακόμη πολύ υψηλή ενεργειακή στάθμη. Αυτή τους ή ενέργεια είναι η ωφέλιμη ενέργεια που παράγει ο αεριοστρόβιλος. Ανάλογα με τη χρήση του αεριοστροβίλου πραγματοποιείται με διαφορετικό τρόπο η εκμετάλλευση της ενεργείας αυτής. Στην περίπτωση ενός κινητήρα αεροσκάφους, τα θερμά καυσαέρια οδηγούνται σε ένα ακροφυσίου, όπου επιταχύνονται και εξέρχονται από το πίσω μέρος του ακροφυσίου στην ατμόσφαιρα με πολύ υψηλή ταχύτητα και

ορμή, η μεταβολή της ορμής που πραγματοποιείται στο εργαζόμενο μέσο (αέρας-καυσαέρια) μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του κινητήρα προκαλεί την ωστική δύναμη που κινεί το αεροσκάφος.

Στην περίπτωση που ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιείται για τη παραγωγή μηχανικής ισχύος (κίνηση έλικας ή ηλεκτρογεννήτριας), τα καυσαέρια διέρχονται μέσα από δεύτερο στρόβιλο (στρόβιλος ισχύος), ο οποίος απορροφά επιπλέον τμήμα της ενεργείας, το οποίο αποδίδει ως μηχανική ισχύ στον άξονα περιστροφή του. Ο στρόβιλος ισχύος μπορεί να είναι συνδεδεμένος στον ίδιο ή σε διαφορετικό άξονα από το στρόβιλο που κινεί το συμπιεστή. Τα καυσαέρια μετά το στρόβιλο ισχύος έχουν χαμηλή πίεση (λίγο πάνω από την ατμοσφαιρική) και αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτήν του θαλάμου καύσεως, και οδηγούνται μέσω κατάλληλου αγωγού στην ατμόσφαιρα. Η θερμοκρασία τους, αν και μειωμένη, είναι ακόμα αρκετά υψηλή, συνεπώς τα καυσαέρια έχουν ακόμα αρκετή ενέργεια. Χρησιμοποιούνται διάφορες διατάξεις για την εκμετάλλευση της ενεργείας αυτής, η οποία διαφορετικά απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα.

Τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των αεριοστρόβιλων είναι:

- Η κατανάλωση και το είδος καυσίμου
- Η πραγματική ισχύς τους.

Ο τρόπος λειτουργίας του αεριοστρόβιλου συνοψίζεται στα εξής: Η μονάδα ξεκινά με την χρήση του κινητήρα εκκίνησης. Ο ατμοσφαιρικός αέρας οδηγείται στον συμπιεστή και από εκεί ο αέρας υψηλής πίεσης που προκύπτει κατευθύνεται στον θάλαμο καύσης όπου με ψεκασμό του καυσίμου γίνεται η καύση. Τα αέρια προϊόντα που παράγονται έχουν θερμοκρασία – άνω των 800°C – και εκτονώνονται στον αεριοστρόβιλο που μετατρέπουν μέρος της ενέργειας τους σε μηχανική. Ο στρόβιλος, λοιπόν, κινεί την γεννήτρια η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια, αλλά κινεί και τον συμπιεστή. Μετά τον στρόβιλο τα καυσαέρια εξέρχονται σε θερμοκρασία μεταξύ 480°C – 600°C και αυτό αποτελεί ένα από τα βασικά μειονεκτήματα των αεριοστροβιλικών σταθμών

Πολλές από τις ατέλειες του παλινδρομικού κινητήρα οφείλονται στην ασυνεχή κίνηση και την περιοδική καύση.

1.2 Συνοπτική Ιστορία των Αεριοστρόβιλων

Στην ιστορία είναι δύσκολο να 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., 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 αεριοστροβίλων κινητήρων. 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, περιστρεφόταν και ο ατμός εύρισκε οδό διαφυγής από τους ακτινικούς αυλούς.

Παρόλα αυτά μπορούμε να πούμε ότι η ιστορία των αεριοστροβίλων (gas turbines , GT) ξεκινάει το 1791 όπου εμφανίζεται η πρώτη κατοχυρωμένη πατέντα από τον John Barber. Βέβαια είναι αμφίβολο εάν κατόρθωσε να λειτουργήσει ο αεριοστροβίλος του Barber πράγμα το οποίο θα συμβεί και με άλλες πατέντες για αρκετά χρόνια ακόμη. Αυτό οφείλονταν στο γεγονός ότι για την λειτουργία των συστημάτων υπήρχε το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο και η γνώση για τις αρχές λειτουργίας ,αλλά δεν υπήρχε η απαραίτητη τεχνογνωσία πάνω στα μηχανικά μέρη, καθώς και δεν είχε αναπτυχθεί καμιά τεχνολογία πάνω σε υλικά που θα μπορούσαν να αντέξουν τις απαιτούμενες θερμοκρασίες και πιέσεις.

Το 1872, κατατέθηκε μια πατέντα από τον Stolze στην Γαλλία την οποία κατάφερε να την υλοποιήσει το 1900. Αυτή ήταν η πρώτη μονάδα που πραγματικά λειτούργησε με αποθαρρυντικά, δυστυχώς, αποτελέσματα.

Από εκεί και πέρα έχουμε την δημιουργία αρκετών συστημάτων και μόλις το 1932 παρουσιάζεται η πρώτη μονάδα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την Brown Boveri .Βέβαια στην αρχική σχεδίαση το σύστημα χρειαζόταν εξωτερική ενέργεια για να δουλέψει αφού η κατανάλωση του συμπιεστή ξεπερνούσε την παραγόμενη ισχύ ,αλλά με κάποιες επιτυχείς τροποποιήσεις υπήρξε επιτυχής η έκβαση του όλου εγχειρήματος. Επόμενος σταθμός στην ιστορία των αεριοστροβίλων είναι το 1939 με την δημιουργία από την ίδια εταιρεία του πρώτου ηλεκτρικού σταθμού με καύσιμο πετρέλαιο και ισχύ 2 MW.

Καθώς ο πόλεμος πλησίαζε πολύ λίγες εταιρείες ασχολούνταν με την δημιουργία αεριοστροβίλων ηλεκτροπαραγωγής παρά με την δημιουργία μηχανών jet. Έτσι είχαμε πολύ μεγάλη πρόοδο σε jet gas turbines αλλά και σε συστήματα κίνησης τρένων και πλοίων.

Χρειάστηκαν 10 ολόκληρα χρόνια για να γίνει το επόμενο βήμα και να έχουμε την δημιουργία του πρώτου αεριοστροβιλικού σταθμού στην Αμερική από την General Electric και την Oklahoma Gas and Electric,Co. Ο συγκεκριμένος σταθμός, ισχύος 3,5 MW, λειτουργούσε έως το 1980 και στην συνέχεια μεταφέρθηκε στη Νέα Υόρκη όπου και εκτίθεται ως το 73ο σημαντικότερο μηχανολογικό επίτευγμα αναγνωρισμένο από την ένωση μηχανολόγων μηχανικών των ΗΠΑ .

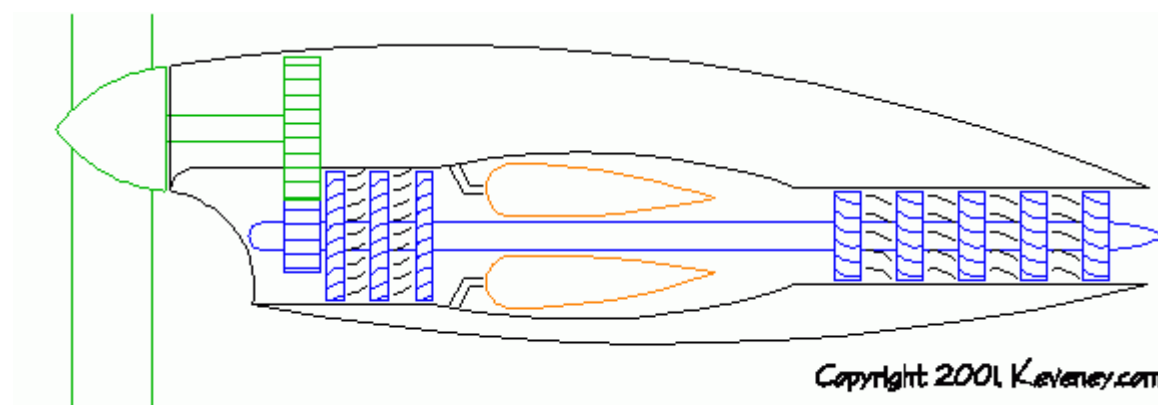
Στα επόμενα χρόνια έχουμε μια συνεχή βελτίωση των επιδόσεων των αεριοστροβίλων που οφείλεται και στην κατακόρυφη ανάπτυξη της τεχνολογίας των υλικών. Στα τέλη της δεκαετίας του '50 έχουμε τον πρώτο σταθμό με απόδοση άνω του 25%.Από εκεί και πέρα η δημιουργία τέτοιων

σταθμών είναι συνεχής καθώς και οι βελτιώσεις οπότε το 1971 εγκαθίσταται σε λειτουργία ο πρώτος σταθμός συνδυασμένου κύκλου στο New Jersey. Αυτός ο σταθμός είχε 15 μονάδες και ισχύς εξόδου μεταβαλλόταν σε ένα εύρος από 105 MW έως 640 MW.

Από τότε έως σήμερα οι βαθμοί απόδοσης σε συστήματα συνδυασμένου κύκλου βελτιώνονται συνεχώς και στα τέλη της δεκαετίας του 80 άγγιξαν το 50%.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι το 1992 η General Electric ανακοίνωσε την επιτυχημένη λειτουργία κυκλώματος αεριοστροβίλου με βαθμό απόδοσης άνω του

Είναι φανερό ότι μόνο η πρώτη μορφή αφορά τους αεριοστροβιλικούς σταθμούς ενέργειας. Ένα τέτοιο σύστημα χωρίζεται σε δυο βασικά κυκλώματα. Στο κύκλωμα των αερίων και στο τμήμα μετατροπής της ενέργειας. Το πρώτο αποτελείται από τον συμπιεστή του αέρα καύσης, τον θάλαμο καύσης και τον αεροστρόβιλο. Το ενεργειακό μέρος αποτελείται από την γεννήτρια της οποίας ο άξονας κινείται από τον άξονα του στροβίλου και από έναν κινητήρα εκκίνησης. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στον αεροστρόβιλο είναι συνήθως πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κηροζίνη, δηλαδή καθαρά καύσιμα ώστε να μην έχουμε επικαθίσεις στον στρόβιλο



Εικόνα 8. Αεροστρόβιλος Αεροπορικής Χρήσης

Οι Αεροστρόβιλοι αεροπορικής χρήσης χρησιμοποιούνται κύρια για τη δημιουργία αερίωσης είτε απ' ευθείας με την ενέργεια των καυσαερίων είτε με την περιστροφή μιας έλικας.

Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι το μικρό βάρος, ο μικρός όγκος και η απαίτηση αποδοτικής λειτουργίας τους σε μεγάλη ποικιλία συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Το σχήμα τους πρέπει να προσαρμόζεται προς τις απαιτήσεις μιας αεροπορικής κατασκευής και η αξιοπιστία τους να είναι αυξημένη λόγω της χρησιμοποίησής τους σε αεροπλάνα.

Ο αεροστρόβιλος, μπορεί να είναι τόσο ακτινικής όσο και αξονικής ροής.

Ο αεριοστρόβιλος ακτινικής ροής χαρακτηρίζεται από το συμπαγές και στιβαρό της κατασκευής του, ενώ πλεονεκτεί και ως προς τη μέθοδο κατασκευής αφού κατασκευάζεται με χύτευση. Έχει λοιπόν εφαρμογή σε μικρού μεγέθους στροβιλοσυμπιεστές και για κινητήρες που χρησιμοποιούν ελαφρά κλάσματα, αφού παρουσιάζονται δυσκολίες, στην απομάκρυνση κατά τη λειτουργία, σωματιδίων που επικάθονται σε αυτόν. Για μεγαλύτερες κατασκευές το βάρος αυξάνεται σημαντικά ενώ και η χύτευση μεγάλων κομματιών παρουσιάζει δυσκολίες. Οι απώλειες πίεσης που οφείλονται στη μείωση του μεγέθους για τους αξονικούς στροβίλους δεν επηρεάζουν την λειτουργία τους σε υψηλές πιέσεις. Στους αεριοστροβίλους ακτινικής ροής τα καυσαέρια οδηγούνται στο στροφέιο μέσω ενός σπειροειδούς κελύφους το οποίο δίνει τη συστροφή στη ροή. Πριν το στροφέιο μπορεί να παρεμβάλλεται μια σταθερή πτερύγωση η οποία χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τη γωνία προσπτώσεως της ροής στα κινητά πτερύγια. Με κατάλληλη ρύθμιση της κλίσεως των σταθερών πτερύγιων είναι δυνατή η ρύθμιση της παροχής καυσαερίων, της ισχύος και των στροφών του στροβίλου.

Οι αεριοστρόβιλοι αξονικής ροής μπορεί να είναι μίας ή δυο βαθμίδων. Οι αεριοστρόβιλοι αξονικής ροής δύο βαθμίδων είναι πιο σπάνιοι. Κάθε βαθμίδα αποτελείται από μια σειρά σταθερών πτερύγιων που ακολουθείται από μια σειρά κινητών πτερύγιων. Μέσα στον στάτορα η ροή αποκτά συστροφή την οποία αφαιρεί το στροφέιο απορροφώντας ενέργεια από το ρευστό. Τα πτερύγια του στροβίλου επειδή διαβρέχονται από τα καυσαέρια, λειτουργούν σε ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες. Η μεγάλη ταχύτητα περιστροφής τους δημιουργεί ισχυρές φυγοκεντρικές δυνάμεις οι οποίες σε συνδυασμό με τη υψηλή θερμοκρασία καταπονούν ιδιαίτερα τα πτερύγια. Επιπλέον στην περίπτωση υπάρξεως συστήματος παλμών δημιουργούνται ισχυρές ταλαντώσεις στα πτερύγια. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας και της οριακής φορτίσεως θα πρέπει να ελέγχεται συνεχώς η μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων.

1.3 Αρχές αεριώθησης

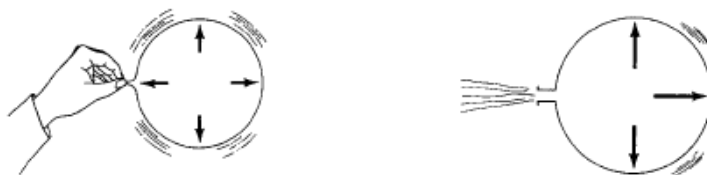
Η αρχή της αεριώθησης είναι απλή. Στη ουσία ένας κινητήρας αεριώθησης παράγει προωθητική δύναμη (ώση, thrust), προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, εξαναγκάζοντας μία μάζα αερίου να κινηθεί προς την αντίθετη κατεύθυνση. Εφαρμόζει, δηλαδή, τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα τον γνωστό νόμο δράσης αντίδρασης. Ως δράση θεωρούμε τη δύναμη που εξασκείται σε μία μάζα καυσαερίων προς το οπίσθιο τμήμα του κινητήρα του αεροσκάφους. 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.

Το πιο γνωστό παράδειγμα στην αρχή της αεριώθησης είναι το παράδειγμα του μπαλονιού. Αρχικά θεωρούμε ένα μπαλόνι το οποίο γεμίζουμε με αέρα και κρατάμε, 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.

Στην κατάσταση ισορροπίας δεν εξασκείται δύναμη που θα μπορούσε να κινήσει το μπαλόνι.

Στη συνέχεια, απελευθερώνοντας το στόμιο του μπαλονιού οπότε 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.



Εικόνα 9. Αρχή Αερίωθησης. Παράδειγμα Μπαλονιού

Όλες οι άλλες δυνάμεις βρίσκονται σε ισορροπία, αλλά η δύναμη στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του στομίου δεν εξισορροπείται. 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. Έτσι παράγεται κίνηση και το μπαλόνι κινείται σε κατεύθυνση αντίθετη του εξερχόμενου αέρα.

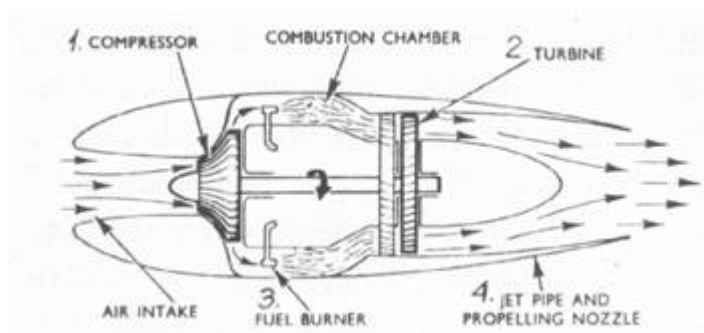
Αντίστοιχα ένας κινητήρας αερίωθησης κινείται κάτω από την επίδραση παρόμοιων δυνάμεων. Η πτήση όμως του μπαλονιού είναι σύντομη λόγω της πολύ γρήγορης πτώσης πίεσης του αέρα στα τοιχώματά του. Αν όμως χρησιμοποιήσουμε μία αντλία αέρα π.χ. μια αντλία ποδηλάτου για να εξασφαλίσουμε συνεχή, σταθερή πίεση στα εμπρόσθια τοιχώματα του μπαλονιού 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. Αν συνδέσουμε το σύστημα, μέσω ενός άξονα, με ένα στρόβιλο τότε 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 αερίωθησης. 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 παρακάτω σχήμα



Εικόνα 10. Εξαγωγή (δράση) , Ώση (αντίδραση) σε κινητήρα 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.

Ορισμός Ώσης

Όπως αναφέραμε παραπάνω, η ώση είναι μία δύναμη αντίδρασης. Επειδή η ώση είναι αρκετά σημαντική στην παραγωγή της κινητικής ενέργειας αξίζει να την ορίσουμε πιο συγκεκριμένα. Η Ώση λοιπόν είναι μια δύναμη η οποία μετριέται σε kp , $rounds$ ή lbf . Εξαρτάται δε από την επιτάχυνση μίας μάζας αερίου, σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα. Π.χ. 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.

Επίσης σαν 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 ενώ 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.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ώση ενός κινητήρα αεριώθησης διακρίνονται σε δύο τύπους:

α) αυτούς που έχουν σχέση με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του κινητήρα και

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

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 ποσότητα 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.

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

Πίεση περιβάλλοντος αέρα.

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

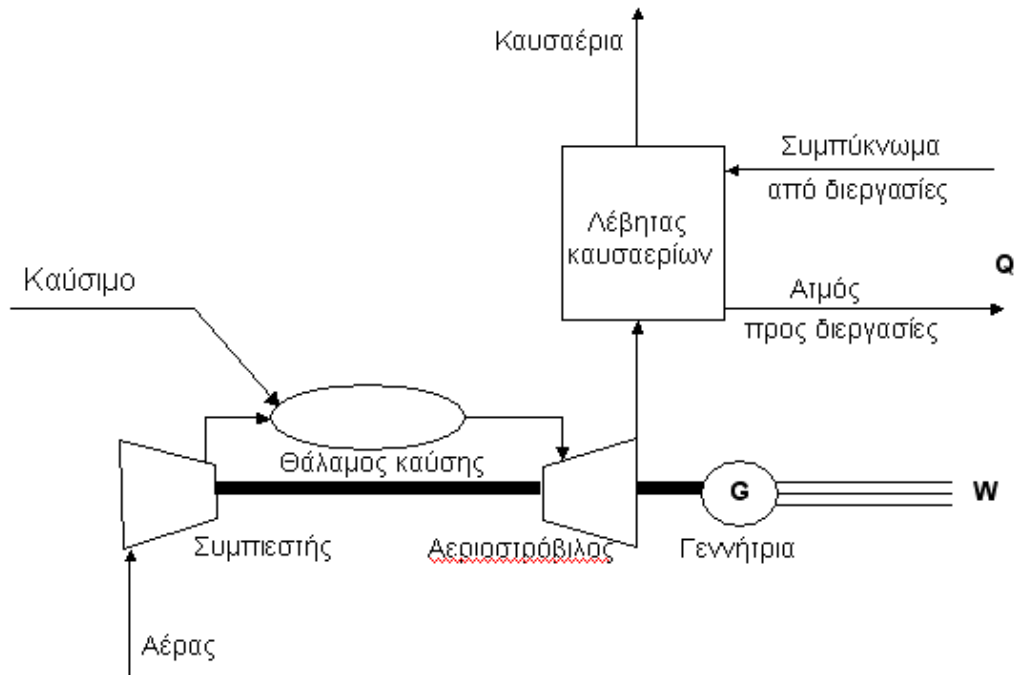
1.3 Τύποι αεριοστρόβιλων

Οι βασικοί τύποι αεριοστρόβιλων είναι οι παρακάτω:

- Αεριοστρόβιλος ανοικτού κυκλώματος.
- Αεριοστρόβιλος κλειστού κυκλώματος.
- Αεριοστρόβιλος μεικτού κυκλώματος.

Αεριοστρόβιλος ανοικτού κυκλώματος

Οι περισσότερες αεριοστροβιλικές μονάδες είναι ανοικτού τύπου, όπου αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια εκτονώνονται στον αεριοστρόβιλο (που κινεί τη γεννήτρια), από τον οποίο βγαίνουν σε θερμοκρασία 300-600 οC. Η σημαντική ισχύς που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή και η υψηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι οι κύριες αιτίες του μικρού βαθμού απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (25-35% και σε σύγχρονες προηγμένες μονάδες 40%).



Εικόνα 11. Αεριοστρόβιλος ανοικτού κυκλώματος

Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων κάνει τις μονάδες αυτές ιδανικές για συμπαραγωγή, γεγονός που αυξάνει το βαθμό απόδοσης στο 60-80%. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της θερμότητας των καυσαερίων:

Άμεση χρήση σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση, ξήρανση, κ.λ.π.).

Διοχέτευση των καυσαερίων σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας (λέγεται και λέβητας καυσαερίων). Εκεί παράγεται ατμός υψηλών χαρακτηριστικών, που είναι κατάλληλος όχι μόνο για θερμικές διεργασίες αλλά και για την κίνηση ατμοστρόβιλου (συνδεδεμένου με γεννήτρια ή άλλο μηχάνημα). Στη δεύτερη περίπτωση πρόκειται για σύστημα συνδυασμένου κύκλου, που περιγράφεται εκτενέστερα σε επόμενη ενότητα.

Και στους δύο τρόπους, είναι δυνατή η αύξηση του θερμικού περιεχομένου (δηλ. της θερμοκρασίας) των καυσαερίων, και επομένως της αποδιδόμενης θερμότητας, όταν απαιτείται. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου των καυσαερίων. Καυστήρες τοποθετημένοι μετά τον αεριοστρόβιλο χρησιμοποιούν τα καυσαέρια για την καύση πρόσθετου καυσίμου.

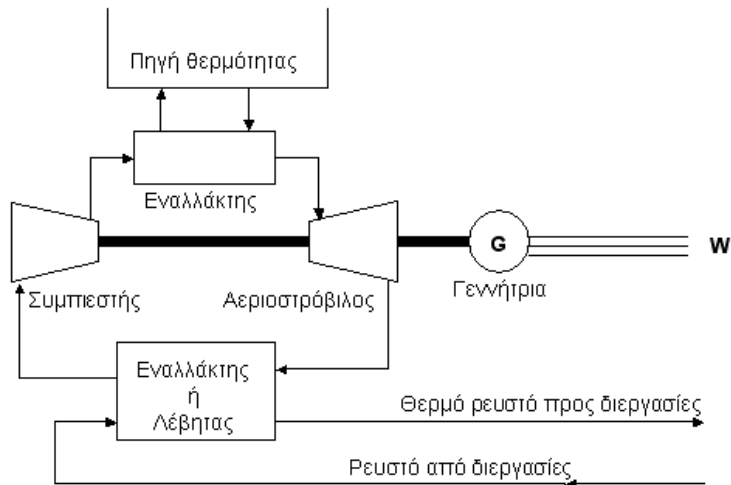
Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου έχουν ισχύ 100 kW - 100 MW. Λειτουργούν συνήθως με φυσικό αέριο ή ελαφρά

αποστάγματα πετρελαίου (π.χ. καύσιμο Diesel), ενώ ευοίωνες παρουσιάζονται οι προοπτικές για χρήση προϊόντων εξαερίωσης γαιανθράκων. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν καύσιμα αέρια που παράγονται, π.χ., κατά την καταλυτική σχάση υδρογονανθράκων σε διυλιστήρια πετρελαίου. Γενικά, πάντως, χρειάζεται προσοχή: επειδή τα πτερύγια του αεριοστροβίλου είναι εκτεθειμένα στα προϊόντα της καύσης και τα προϊόντα αυτά πρέπει να μην έχουν συστατικά που προκαλούν διάβρωση (νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, βανάδιο, θείο, κ.λ.π.), καθώς και τα στερεά σωματίδια πρέπει να είναι αρκετά μικρού μεγέθους ώστε να μην προκαλούν φθορά κατά την πρόσκρουσή τους στα πτερύγια. Εάν το καυσαέριο περιέχει τέτοια συστατικά, πρέπει να καθαριστεί με ειδικές διατάξεις, πριν οδηγηθεί στον αεριοστρόβιλο. Είναι επίσης ενδεχόμενο το καύσιμο να χρειασθεί καθαρισμό πριν από την εισαγωγή του στο θάλαμο καύσης.

Ο χρόνος εγκατάστασης των συστημάτων συμπαραγωγής αεριοστροβίλων είναι 9-14 μήνες για ισχύς μέχρι 7 MW και φθάνει τα δύο έτη για μεγαλύτερες μονάδες. Η αξιοπιστία και η μέση ετήσια διαθεσιμότητα συστημάτων αεριοστροβίλου που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο είναι συγκρίσιμες με εκείνες των συστημάτων αμμοστροβίλου. Οι μονάδες που λειτουργούν με υγρό καύσιμο απαιτούν πιο συχνές συντηρήσεις, με συνέπεια τη χαμηλότερη διαθεσιμότητα. Η χρήσιμη διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και μπορεί να μειωθεί σημαντικά από καύσιμο κακής ποιότητας ή ανεπαρκή συντήρηση.

Αεριοστρόβιλος κλειστού κυκλώματος

Στα συστήματα κλειστού κύκλου το εργαζόμενο ρευστό (συνήθως ήλιο ή αέρας) κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλάκτη θερμότητας πριν από την είσοδο στον αεριοστρόβιλο και ψύχεται μετά την έξοδό του από αυτόν. Καθώς το ρευστό δε συμμετέχει στην καύση, διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και χημική διάβρωση του αεριοστροβίλου από τα προϊόντα της καύσης. Η εξωτερική καύση επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε καυσίμου στα συστήματα αυτά: άνθρακα, απόβλητα βιομηχανιών ή πόλεων, βιομάζα, υγρά ή αέρια καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα, κ.λ.π. Πυρηνική ή ηλιακή ενέργεια μπορούν επίσης να αποτελέσουν την πηγή θερμότητας.



Εικόνα 12. Αεριοστρόβιλος κλειστού κυκλώματος

Στην Ευρώπη και Ιαπωνία λειτουργούν συστήματα αυτού του τύπου με ισχείς 2-50 MW, ο αριθμός τους όμως είναι περιορισμένος. Μετά την απόκτηση αρκετής εμπειρίας, η αξιοπιστία των συστημάτων κλειστού κύκλου προβλέπεται ότι θα είναι τουλάχιστον ίση με εκείνη των συστημάτων ανοικτού κύκλου, ενώ η διαθεσιμότητα θα είναι υψηλότερη χάρη στις μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης, που οφείλονται στην καθαρότητα του εργαζόμενου ρευστού.

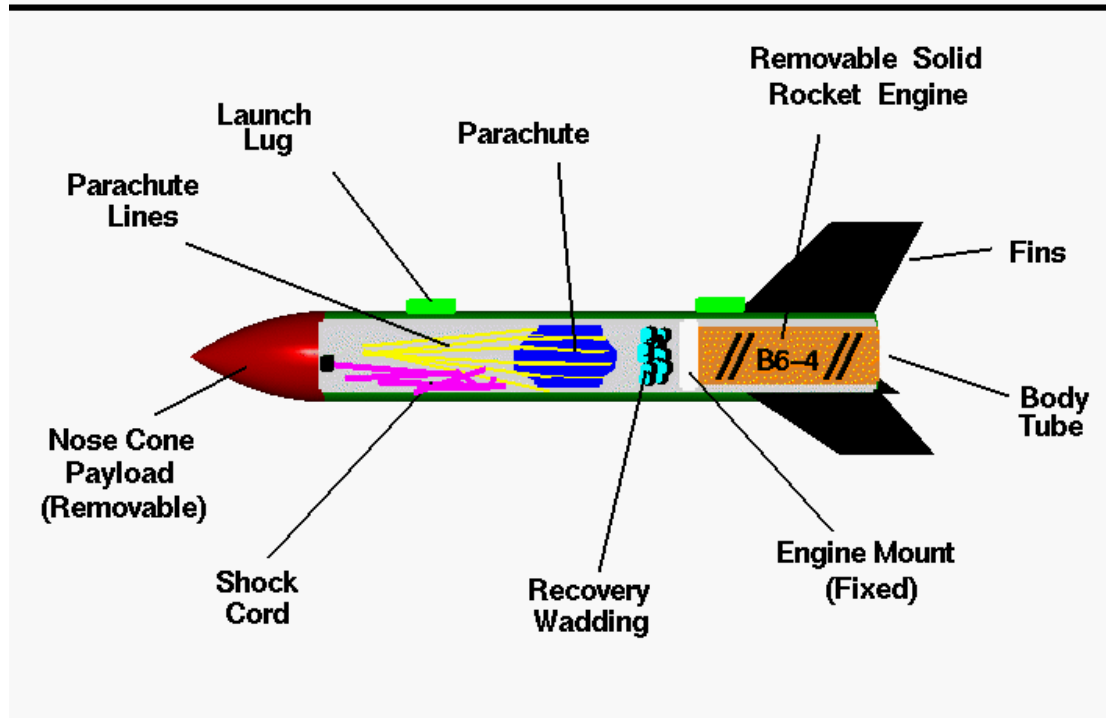
1.4 Τύποι Αεριοθωτών

Πύραυλος (rocket)

Ο πύραυλος δε χρησιμοποιεί ατμοσφαιρικό αέρα για την καύση. Μεταφέρει στο εσωτερικό του φιάλες οξυγόνου (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 και στερεών καυσίμων. Στον πρώτο τύπο, σύνηθες καύσιμο είναι η υδραζίνη (N_2H_4) και συνηθέστερο οξειδωτικό το υγρό οξυγόνο ή το νιτρικό οξύ (HNO_3). στερεών καυσίμων



Model Rockets

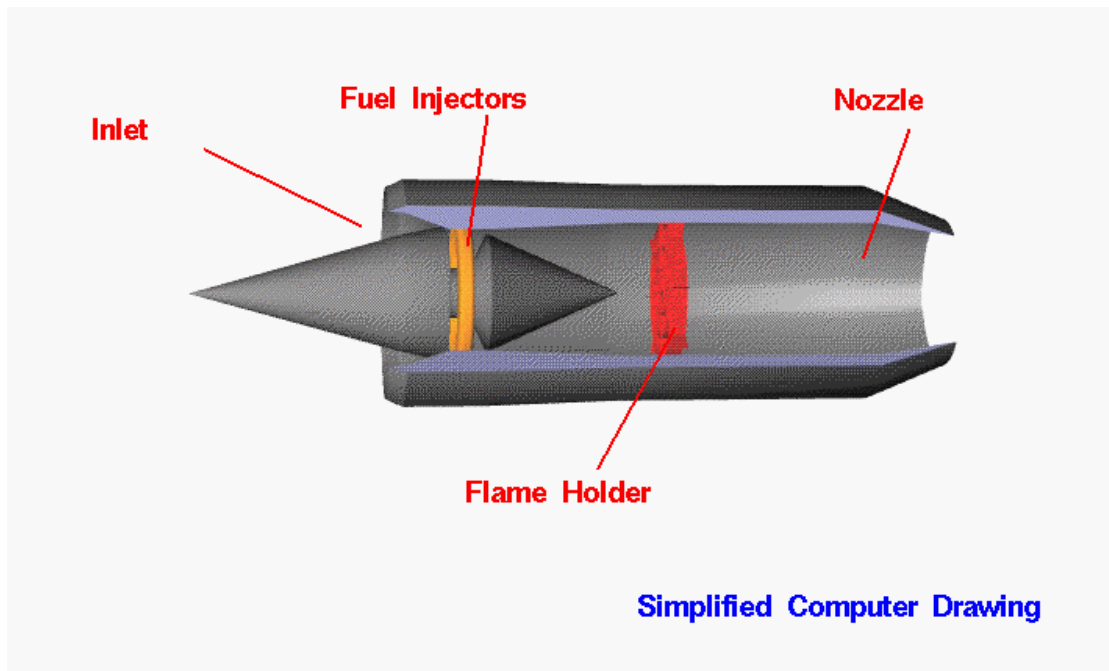


Εικόνα 13. Πύραυλος

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. Συνήθως χρησιμοποιείται βαλιστίτης ως στερεό καύσιμο και είναι αναμειγμένος με το οξειδωτικό.

Αθόδουλος (ram jet)

Ο αθόδουλος ονομάζεται και αερο-θερμοδυναμικός αυλός (aerothermodynamic duct). Αποτελεί τον απλούστερο κινητήρα αερίωσης 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.



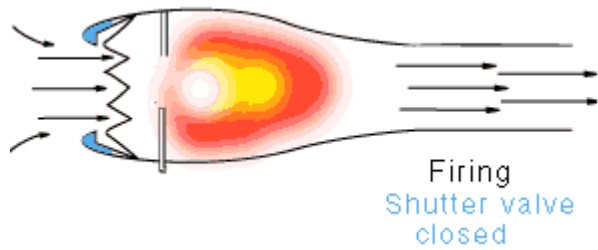
Εικόνα 14. Αθόδυλος (ram jet)

Η απουσία περιστρεφόμενου συμπιεστή 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 αέρα 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.

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

Παλμικός αθόδυλος (Pulse jet)

Ο παλμικός αθόδυλος διαφέρει από τον αθόδυλο μόνο στην κατασκευή της εισαγωγής του αέρα. Εκεί, τοποθετούνται βαλβίδες εισαγωγής που διατηρούνται στην ανοικτή θέση με ελατήρια. 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.



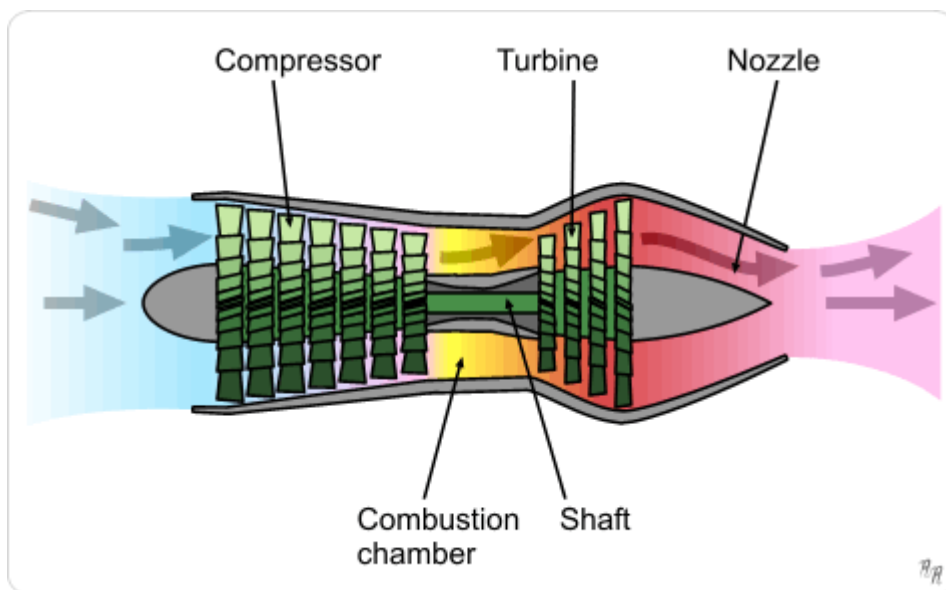
Εικόνα 15. Παλμικός αθόδυλος (Pulse jet)

Σε αντίθεση με τον αθόδυλο όπου παροχή ισχύος είναι συνεχής, στον παλμικό αθόδυλο 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 2^ο Παγκόσμιο πόλεμο με την ονομασία «ιπτάμενη βόμβα». Βρίσκει κάποιες εφαρμογές στην περιστροφή πτερυγίων ελικοπτέρων.

1.5 Οι τύποι του αεριοστρόβιλου

Στροβιλοαντιδραστήρας (turbojet engine)

Η αρχή λειτουργίας του είναι παρόμοια με αυτήν που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ο στροβιλοαντιδραστήρας αποτελεί την απλούστερη μορφή αεριοστρόβιλου 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.



Εικόνα 16. Στροβιλοαντιδραστήρας (turbojet engine)

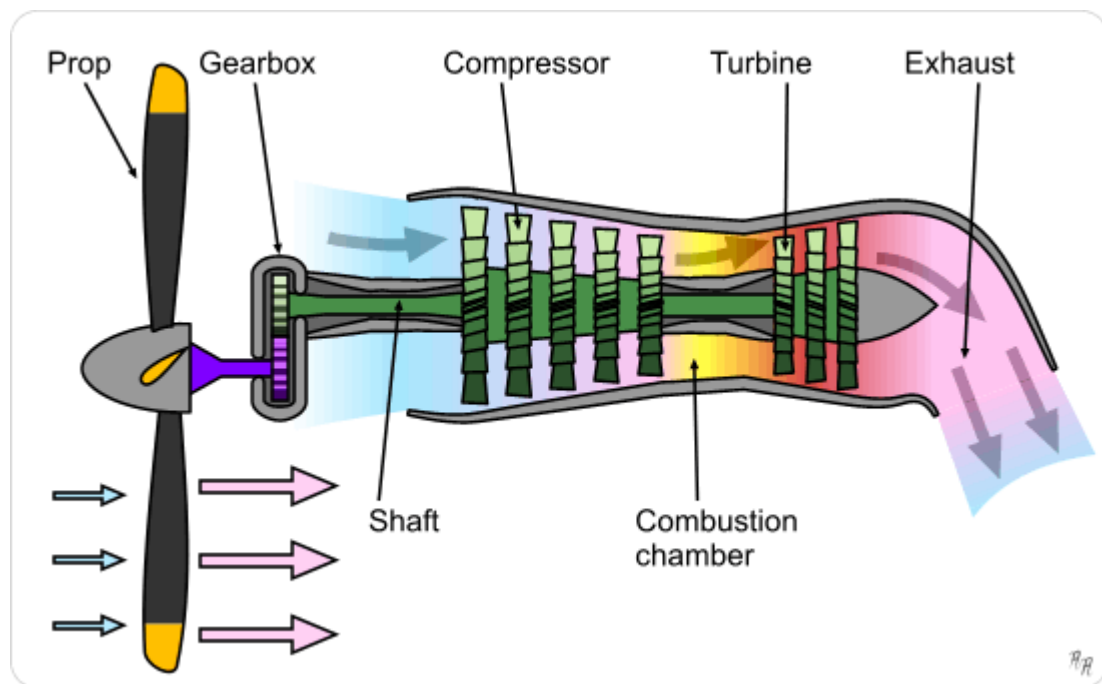
Μία χαρακτηριστική παράμετρος του στροβιλοαντιδραστήρα είναι ο λόγος συμπίεσης ή λόγος πίεσης μηχανής (engine pressure ratio – EPR). Το μέγεθος αυτό αποτελεί το λόγο της πίεσης εξαγωγής των καυσαερίων από το στρόβιλο προς την πίεση του εισερχόμενου αέρα στον κινητήρα. Η τιμή του EPR αποτελεί ένδειξη 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. Καθώς η απόδοση του έλικα που συνεργάζεται με τον ελικοφόρο κινητήρα μειώνεται σε ταχύτητες πτήσης άνω των 550km/h², αναπτύχθηκαν νέοι τύποι αεροστροβίλων για την πιο αποτελεσματική λειτουργία σε αυτό το εύρος των ταχυτήτων πτήσης

Ελικοστρόβιλος (turboprop engine)

Ο κινητήρας αυτός έχει ευρεία εφαρμογή. Ουσιαστικά, είναι όμοιος με το στροβιλοαντιδραστήρα με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται ένα σύστημα γραναζιών ως μειωτήρας στροφών για τη μετάδοση κίνησης σε έναν έλικα. 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.



Εικόνα 17. Ελικοστρόβιλος (turboprop engine)

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 της λειτουργίας του κινητήρα.

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.

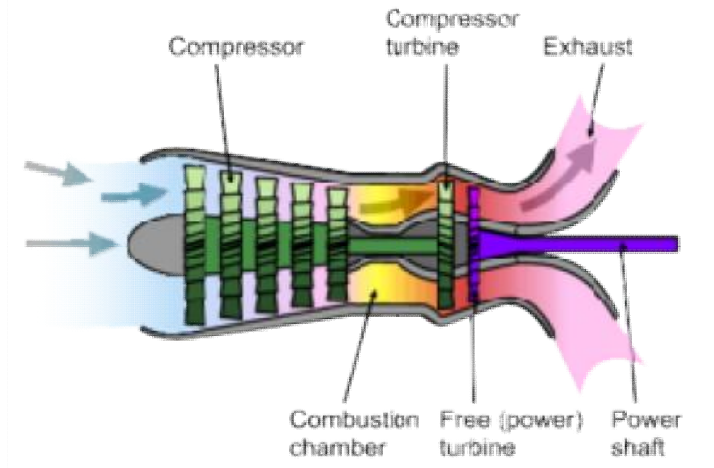
Σε ορισμένους ελικοστρόβιλους χρησιμοποιείται ξεχωριστός στρόβιλος για την κίνηση του έλικα. Αυτός ονομάζεται ελεύθερος στρόβιλος (free turbine ή power turbine) και είναι συνδεδεμένος με ξεχωριστό άξονα με το μειωτήρα στροφών. Τα άλλα μέρη του κινητήρα (συμπιεστής, θάλαμος καύσης και στρόβιλος καυσαερίων - 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.

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, ταχύτητες. Η παραγόμενη ώση είναι μεγάλη και το αεροσκάφος έχει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά στην απογείωση (μικρός διάδρομος) και στην άνοδο. Επιπλέον, η απόδοση του είναι ικανοποιητική ακόμη και σε σχετικά μεγάλα ύψη πτήσεων (6.000 m).

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα μειώνονται όταν αυξάνεται η ταχύτητα (άνω των 650km/h) και το ύψος της πτήσης (άνω των 7.000 m). 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.

Αξονοστρόβιλος (turboshaft engine)

Αυτός ο τύπος αεριοστρόβιλου παρέχει ισχύ σχεδόν αποκλειστικά στον άξονα του ενώ ελάχιστη είναι η παραγωγή ώσης. Όταν το αεροσκάφος κινείται με μικρές, ως προς το έδαφος, ταχύτητες.

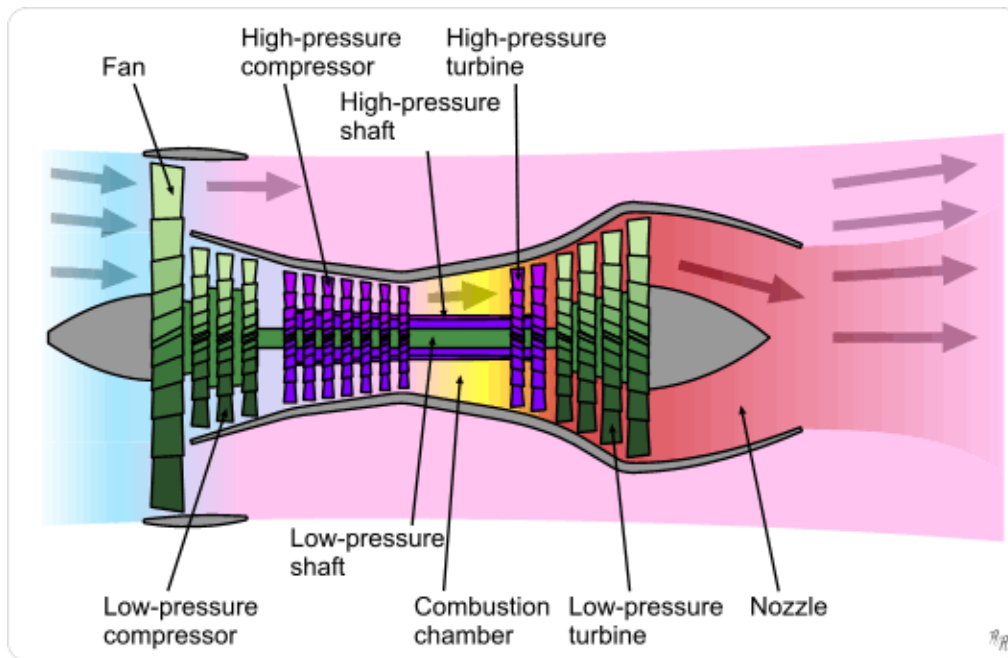


Εικόνα 18. Αξονοστρόβιλος (turboshaft engine)

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 ελικοπτερου 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.

Στροβιλοανεμιστήρας (turbofan engine)

Η παραλλαγή αυτή του στροβιλοαντιδραστήρα αποτελεί μία από τις σπουδαιότερες τεχνικές εξελίξεις του αεριοστρόβιλου. Ο κινητήρας αυτός συνδυάζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του στροβιλοαντιδραστήρα και ελικοστρόβιλου. 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.



Εικόνα 19. Στροβιλοανεμιστήρας (turbofan engine)

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 ή στο οπίσθιο τμήμα του κινητήρα.

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 10:12. Ανάλογα με τις τιμές του λόγου, ένας στροβιλοανεμιστήρας χαρακτηρίζεται ως υψηλού ή χαμηλού λόγου παράκαμψης. Γενικά, η ώση που παράγει ο ανεμιστήρας κυμαίνεται μεταξύ 30 – 80% της ολικής, ανάλογα με το λόγο παράκαμψης.

Αντίστοιχα, ο λόγος της ροής αέρα από την έλικα προς τη ροή αέρα μέσα σε έναν ελικοστρόβιλο είναι της τάξης του 50:1.

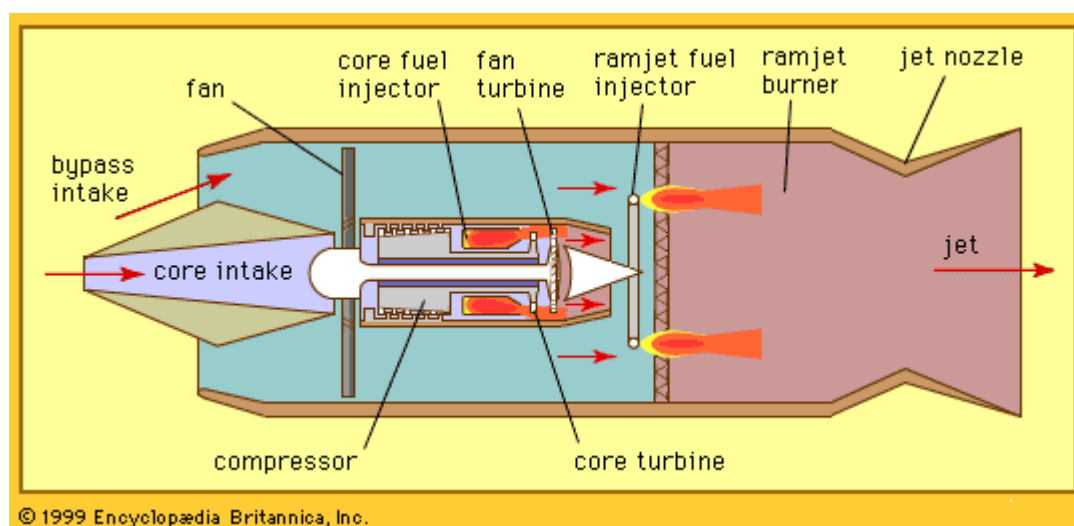
Η έξοδος του αέρα παράκαμψης πραγματοποιείται από ειδικό αγωγό (duct) που βρίσκεται περιφερειακά του κύριου σώματος του κινητήρα. Το μήκος του αγωγού είναι μικρό – συνήθως στην περίπτωση χρήσης ανεμιστήρα μεγάλης διαμέτρου ή μεγάλο - ο αγωγός εκτείνεται σε όλο το μήκος του κινητήρα – κατά περίπτωση. 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.

Στην περίπτωση αυτή επιτυγχάνεται μείωση της αεροδυναμικής αντίστασης και του θορύβου του κινητήρα.

Στις μέρες μας οι στροβιλοανεμιστήρες θεωρούνται ως οι πιο αξιόλογοι τύποι κινητήρων αερίωθησης για μεγάλα αεροσκάφη.

Στροβιλο-αθόδουλος (turboramjet)

Αποτελεί συνδυασμό του στροβιλοαντιδραστήρα και του αθόδουλου. Ο κινητήρας διαθέτει αγωγό μεταβλητού ανοίγματος εισαγωγής, μετακαυστήρα και ακροφύσιο μεταβλητής διατομής, εκτός από τη διάταξη του στροβιλοαντιδραστήρα. 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 στροβιλοαντιδραστήρας 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.

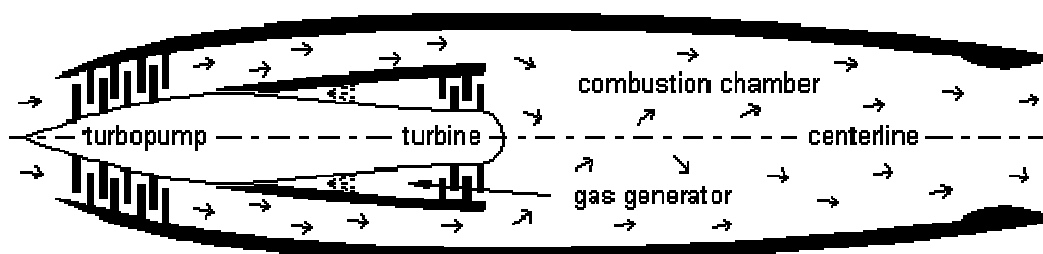


Εικόνα 20. Στροβιλο-αθόδουλος (turboramjet)

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.

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.



Εικόνα 21. Πυραυλοστρόβιλος (turborocket)

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 30.000 m) ώστε να μην απαιτηθεί κατανάλωση τεράστιας ποσότητας προωθητικής ύλης, όπως στους πυραύλους.

Κεφάλαιο 2. Συστήματα συντήρησης κινητήρων αεροσκαφών

2.1 Συστήματα συντήρησης αεροσκαφών

Σαν «συντήρηση σε αεροπορικούς κινητήρες» εννοούμε όλες τις μικρές καθημερινές εργασίες μικρής ή μεγάλης διάρκειας αλλά ακόμα και τη γενική επισκευή του κινητήρα η οποία πραγματοποιείται σε βιομηχανικό περιβάλλον και μπορεί να διαρκέσει ακόμα και μήνες.

Ο τρόπος που διακρίνουμε τον τύπο της συντήρησης του κινητήρα βασίζεται στο εάν ο κινητήρας κατά την διάρκεια της συντήρησης βρίσκεται στο αεροσκάφος ή όχι. Υπάρχουν λοιπόν δύο τύποι συντήρησης:

- Η συντήρηση γραμμής (line maintenance) που γίνεται χωρίς την απομάκρυνση του κινητήρα και την συντήρηση επιπέδου συνεργείου (shop maintenance)
- Γενική επισκευή (overhaul) που απαιτείται η αφαίρεση του κινητήρα από το σκάφος.

Επίσης έχουμε και τις συντηρήσεις επιπέδου συνεργείου που γίνονται σε εξοπλισμένο χώρο συνήθως κοντά στη γραμμή πτήσης.

Οι εργασίες γενικής επισκευής απαιτούν την αφαίρεση του κινητήρα και την μεταφορά του σε ειδικά εξουσιοδοτημένο και κατάλληλα εξοπλισμένο επισκευαστικό κέντρο. Πάρα πολλές φορές επίσης πολλές εργασίες των συντηρήσεων επιπέδου συνεργείου πραγματοποιείται στα κέντρα όπου γίνεται και η γενική επισκευή. Αυτό γίνεται γιατί πολλές φορές ή αιτία των βλαβών που βρίσκονται ή η συντήρηση σε κάποια μέρη του κινητήρα χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό ή έλλειψη επαρκούς εξοπλισμού.

Οι παραπάνω τύποι συντήρησης είναι επίσης γνωστοί και ως:

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

Υπάρχουν κι άλλοι τρόποι για την διάκριση της συντήρηση σε κινητήρες των μαχητικών αλλά και πολιτικών αεροσκαφών. Έτσι έχουμε διάκριση συντήρησης κινητήρων αεροσκαφών που βασίζεται στον διαγνωστικό εξοπλισμό και τα συστήματα διάγνωσης που πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

Επίσης έχουμε διάκριση συντήρησης κινητήρων αεροσκαφών που βασίζεται στο συνολικό χρονικό διάστημα συντήρησης. Έτσι διαχωρίζεται σε προκαθορισμένη συντήρηση βάση των αριθμό ωρών εργασίας που χρειάζεται και σε συντήρηση ανάλογα με τον απαιτούμενο χρόνο για την συντήρηση κάθε περίπτωσης.



Εικόνα 22. Συντήρηση Αεροσκάφους

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 σημειώθηκαν και συμβαίνουν ακόμα σημαντικές αλλαγές στην συντήρηση κινητήρων αεροσκαφών κυρίως στους κινητήρες μαχητικών αεροσκαφών αλλά και στους κινητήρες πολιτικών και εμπορικών αεροσκαφών. Λόγω των εξελίξεων αυτών απαιτείται πλέον πιο ακριβής διαγνωστικός έλεγχος και αμέσως πιο κατάλληλος εξοπλισμός και εξελιγμένα συστήματα διάγνωσης.

Τα νέα σύγχρονα συστήματα παρέχουν αξιόπιστες και σταθερές διαγνωστικές ενδείξεις και ελαχιστοποιούν τις απαιτήσεις συντήρησης και εκπαίδευσης προσωπικού. Η χρήση των σύγχρονων διαγνωστικών συστημάτων και των συστημάτων ψηφιακού ηλεκτρονικού ελέγχου του κινητήρα ξεκίνησε στις αρχές του 1980 μαζί με την έντονη ανάπτυξη της πληροφορικής. Επίσης οι εξελίξεις στις εφαρμογές αισθητήρων είναι χαρακτηρισικά στη δεκαετία του 1990 ενώ η εξέλιξη των αυτόματων προγνωστικών για την υγεία των κινητήρων εμφανίστηκε και εξελίχθηκε μετά το 2000.

2.2 Η παραδοσιακή και η σύγχρονη έννοια της συντήρησης

Η παραδοσιακή έννοια της συντήρησης εφαρμόζεται για δεκαετίες και βασίζεται σε περιοδικές επιθεωρήσεις μετά από ένα συγκεκριμένο αριθμό ωρών πτήσης ή τη χρονική περίοδο της χρήσης αεροσκαφών. Στην παραδοσιακή συντήρηση γίνονται έλεγχοι σε τακτά χρονικά διαστήματα και όπου χρειάζεται αντικατάσταση των εξαρτημάτων που μπορούν να δημιουργήσουν πρόβλημα όπου κρίνει ο ειδικός που κάνει την συντήρηση.

Στη σύγχρονη συντήρηση γίνεται τοποθέτηση ενός σύγχρονο συστήματος, γενικώς αποδεκτού, σύμφωνα με προϋποθέσεις που έχουν τεθεί για κάθε κινητήρα. Το σύστημα είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο των εξαρτημάτων και για την περιοδικότητα των ελέγχων καθώς και για την υγεία κάθε σημείου του κινητήρα.

Η έννοια αυτή έχει εφαρμοστεί από το 1980 με ένα νέο σπονδυλωτό σχεδιασμό κινητήρων που προσφέρει γρήγορη και απλή πρόσβαση σε τμήματα του κινητήρα και σημαντική χρήση του διαγνωστικού εξοπλισμού για την παρακολούθηση της κατάστασης.

Η έννοια αυτή έχει οδηγήσει στην αύξηση της αποδοτικότητας, την αξιοπιστία και την ασφάλεια των πτήσεων. Χρησιμοποιώντας αυτή την έννοια, είναι δυνατόν να αποφευχθεί έκτακτη μετακίνηση τού κινητήρα, η οποία θα έχει σημαντική αύξηση των λειτουργικών δαπανών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση της απομάκρυνσης του κινητήρα από τη μονάδα λειτουργίας γεγονός που αυξάνει σημαντικά το κόστος συντήρησης λόγω της υψηλής τιμής της μεταφοράς του κινητήρα.

Όσον αφορά την εναέρια παρακολούθηση οι παράμετροι που εξετάζονται περισσότερο από είκοσι χρόνια παραμένουν αλλά, είναι αναγκαίο να πούμε ότι οι δυνατότητες και η ποσότητα των επεξεργασμένων δεδομένων αυξάνεται συνεχώς αφού συνεχώς νέοι παράμετροι προστίθενται προς εξέταση. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας ηλεκτρονικών και πληροφορικής, καθώς και η ανάπτυξη των εφαρμοζόμενων λογισμικών, τα τελευταία δέκα χρόνια έχει προφανώς συμβάλει στο να αντιμετωπιστεί αυτό το φαινόμενο.

2.3 Παρακολούθηση κατάστασης μηχανής

Σαν παρακολούθηση της κατάστασης μιας μηχανής ή ενός κινητήρα είναι η συλλογή δεδομένων και η παρακολούθηση ορισμένων παραμέτρων κατά τη διάρκεια της πτήσης η γενικότερα κατά την διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα. Αυτό γίνεται συνήθως αυτόματα μέσω των αισθητήριων συστημάτων δίνοντας έτσι τη δυνατότητα καθημερινής παρακολούθησης της πραγματικής κατάστασης του κινητήρα. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση και λήψη αποφάσεων για το αν πρέπει ο κινητήρας να προβεί σε άμεση

συντήρηση ή επισκευή άμεσα μετά την προσγείωση τού αεροσκάφους ή πριν από την επόμενη πτήση.

Ο κύριος στόχος της παρακολούθησης του κινητήρα είναι να αυξηθεί η αποδοτικότητα της συντήρησης, η αξιοπιστία και η ασφάλεια πτήσης. Με τη έννοια της παρακολούθησης της κατάστασης, είναι δυνατό να αποφευχθεί έκτακτη αντικατάσταση του κινητήρα με αποτέλεσμα να έχουμε σημαντική συγκράτηση του κόστους.

Ανάλογα με τους κατασκευαστές κινητήρων συνήθως συλλέγονται οι ακόλουθοι παράμετροι: υψόμετρο και ταχύτητα της πτήσης εξωτερική θερμοκρασία μάζα των αεροσκαφών, στροφές κινητήρα, θερμοκρασία τουρμπίνας καυσαερίων, ροή του καυσίμου θερμοκρασία, πίεση λαδιού κινητήρα, κραδασμοί, κλπ.

Οι πιο σύγχρονες μηχανές παρακολούθησης παρέχουν και πρόσθετες παραμέτρους παρακολούθησης και δίνουν μια πιο πλήρη εικόνα της κατάστασης του κινητήρα. Τα συλλεγόμενα δεδομένα υποβάλλονται συνεχώς σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας σειρά από πακέτα λογισμικού υπολογιστών με στόχο τον υπολογισμό αριθμητικών τιμών και δημιουργία διαγραμμάτων κάθε παραμέτρου με στόχο την πλήρη διάγνωση κατάστασης επιδόσεων του κινητήρα.

Στη παρακολούθηση των κινητήρων υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των στροβιλοκινητήρων. Οι στροβιλοκινητήρες των πολιτικών αεροσκαφών και στροβιλοκινητήρες των στρατιωτικών αεροσκαφών και ιδιαίτερα στροβιλοκινητήρες των μαχητικών έχουν αρκετές μεγάλες διαφορές. Στα αεροσκάφη της πολιτικής αεροπορίας ένα χαμηλό επίπεδο φόρτισης χαρακτηρίζει τους κινητήρες τους. Στα πολιτικά αεροσκάφη οι κινητήρες λειτουργούν συνήθως πέντε λεπτά στη μέγιστη ισχύ κατά τη διάρκεια της απογείωσης, ενώ στη συνέχεια, με μειωμένη την ισχύ κατά την ανύψωση και τελικά σε χαμηλότερη ισχύ κατά τη διάρκεια του ταξιδιού το οποίο μπορεί να διαρκέσει για 12 ή περισσότερες ώρες.

Οι στροβιλοκινητήρες στρατιωτικών αεροσκαφών λειτουργούν σε καταστάσεις πολύ κοντά στο όριο ισχύος κατά τη διάρκεια της πτήσης. Η χρήση τους, σε ώρες πτήσης, είναι πολύ λιγότερες από τα αεροσκάφη της πολιτικής αεροπορίας, η οποία μπορεί να έχει πάνω από 5000 ώρες ετησίως. Σύμφωνα με στοιχεία αρκετών χρόνων πριν, ο μέσος όρος είναι 2,700 και 3,500 ώρες.

Λόγω των υφιστάμενων διαφορών μεταξύ των κινητήρων των πολιτικών και στρατιωτικών αεροσκαφών, υπάρχουν διαφορετικές απαιτήσεις σχετικά με την παρακολούθηση ορισμένων παραμέτρων κατά τη διάρκεια της πτήσης. Για τους κινητήρες των πολεμικών αεροσκαφών επειδή υπάρχουν αρκετά διαφορετικά ετερογενή δεδομένα συχνής εμφάνισης καθ' όλη την πτήση συλλέγονται σχετικά σύντομα, ενώ για τους κινητήρες εμπορικών αεροσκαφών ορισμένες παράμετροι καταγράφονται κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης πτήσης.

Η συλλογή δεδομένων γίνεται αυτόματα μέσω των αισθητήριων συστημάτων δίνοντας έτσι τη δυνατότητα καθημερινής παρακολούθησης της πραγματικής κατάστασης του κινητήρα και τη λήψη μιας απόφασης να προβεί σε άμεση δράση, εφόσον είναι αναγκαίο μετά την προσγείωση του αεροσκάφους ή πριν από την επόμενη πτήση.

Όσον αφορά την παρακολούθηση των παραμέτρων κατά τη διάρκεια μιας πτήσης, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ποσότητα των επεξεργασμένων στοιχείων είναι διαρκώς αυξανόμενη. Ο λόγος είναι η ανάπτυξη της τεχνολογίας της πληροφορικής καθώς και της εφαρμοσμένης ανάπτυξη λογισμικού κατά τη διάρκεια των τελευταίων δέκα ετών. Ανάλογα με τους κατασκευαστές κινητήρων συλλέγονται διαφορετικές παράμετροι, συμπεριλαμβανομένων ύψος πτήσης, ταχύτητας, εξωτερικής θερμοκρασίας, τη μάζα του αεροσκάφους, ταχύτητα κινητήρα, θερμοκρασία των καυσαερίων του στροβίλου, η ροή του καυσίμου, η πίεση λαδιού και θερμοκρασίας, οι κραδασμοί του κινητήρα, κλπ.

Στις σύγχρονες εκδόσεις περιλαμβάνεται σημαντικός αριθμός για παρακολούθηση των παραμέτρων που παρουσιάζουν πληρέστερη εικόνα της κατάστασης του κινητήρα. Έτσι, γίνεται επεξεργασία των δεδομένων με τη χρήση προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή και τα αποτελέσματα είναι σε μορφή αριθμητικών τιμών και διαγράμματα που δείχνουν μια ιδιαίτερη κατάσταση της απόδοσης του κινητήρα.

Αρχικά λογισμικό για παρακολούθηση της κατάστασης του κινητήρα αναπτύχθηκε για τα μεγάλα υπολογιστικά συστήματα. Ωστόσο, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των μικροϋπολογιστών, αυξήθηκαν οι αιτήσεις για χρήση υπολογιστών. Τρεις γνωστοί κατασκευαστές κινητήρων: General Electric, η Pratt & Whitney και Rolls Royce είναι οι βασικοί κατασκευαστές λογισμικού και έχουν αναπτύξει ξεχωριστά συστήματα προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Τα βασικότερα από αυτά είναι τρία. Το πρώτο είχε χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των επιδόσεων κατά τη διάρκεια πτήσης, το δεύτερο για την απόδοση σπονδυλωτής παρακολούθησης κατά τη διάρκεια της πτήσης, και το τρίτο για την ανάλυση των δοκιμών του κινητήρα στον πάγκο. Ωστόσο, με την ανάπτυξη του νέων τύπων κινητήρων με ειδικές απαιτήσεις και επεκτάσεις λογισμικού απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη των υφιστάμενων προγραμμάτων αφού εισέρχεται έντονη πολυπλοκότητα με την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών. Για το λόγο αυτό τα νέα προγράμματα λογισμικού δημιουργήθηκαν με δυνατότητα χρήσης πιο λεπτομερών βάσεων δεδομένων. Τα νέα προγράμματα καταστούν δυνατή την παρακολούθηση και ανάλυση των κραδασμών του κινητήρα ενώ ταυτόχρονα συστήματα εμπειρογνομώνων χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη στοιχείων τεχνητής νοημοσύνης. Έτσι η ενσωμάτωση νέων δεδομένων και η εμπειρία από τη ζωή των υπηρεσιών μπορούν να παρέχουν πρόοδο όσον αφορά ορισμένες διορθωτικές ενέργειες.

Εκτός από την παρακολούθηση των παραμέτρων κατάστασης του κινητήρα, άλλες πρότυπες διαδικασίες χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες. Αυτές είναι, πρώτον, η ανάλυση της κατανάλωσης πετρελαίου και της ποιότητας του, η επιθεώρηση συντριμμίων μετάλλου στο λάδι όπου χρησιμοποιούνται

μαγνητικές ανιχνεύσεις, καθώς και περιοδικές επιθεωρήσεις και δοκιμές συντήρησης γραμμής. παρακολούθηση εργασιών και δυνατοτήτων του κινητήρα. Επίσης εξετάζεται η ζωή των περιστρεφόμενων εξαρτημάτων των κινητήρων αεροσκαφών, όπως δίσκοι στροβίλου και συμπιεστή, άξονες κ.λπ. που εξαρτώνται σημαντικά από τις αποστολές αεροσκαφών. Π.χ στο αεροσκάφος τύπου των μεταφορών, η κίνηση του μοχλού ισχύος δεν είναι τόσο απότομη οπότε έχουμε λιγότερες βλάβες στο μοχλό με συνέπεια να μην υπάρχει ανάγκη για καθημερινή παρακολούθηση και ελέγχους σε αντίθεση με τα μαχητικά.

Ο κατασκευαστής θα πρέπει να καθορίσει το όριο ζωής του κινητήρα και την χρήση του κατά την παράδοσή του. Επίσης ο καθορισμός των θεωρητικών τιμών είναι απαραίτητος αφού η απόκλιση των πραγματικών τιμών των παραμέτρων από τις θεωρητικές τιμές αυξάνει τον κίνδυνο απρόβλεπτων δυσλειουργιών.

Π.χ. η κίνηση του μοχλού ισχύος στο φάσμα των στροφών του κινητήρα 0-100% μπορεί να εκφράζεται με οριακό φορτίο ισοδύναμων κύκλων.

Η Rolls-Royce έχει αναλύσει την κίνηση του μοχλού ισχύος από την εμπειρία συντήρησης αεροσκαφών που χρησιμοποιείται σε διάφορους λειτουργικούς ρόλους και έλαβε τα ακόλουθα ποσοστά κατά προσέγγιση.

	Τυπος αποστολής	Number of equivalent cycles per hour
1.	Σχηματισμός ακροβατικών	10-14
2.	Εκπαίδευση	5 – 10
3.	Βομβαρδισμος και αποστολές μάχης	5
4.	Επίγεια υποστήριξη	3.8
5.	Αναγνώριση	3.5

Η Rolls-Royce προέβλεψε ένα όριο ασφάλειας για συγκεκριμένα τμήματα του κινητήρα που παράγει η ίδια και από δοκιμές που παρακολούθησε. Τα τμήματα του κινητήρα τα χώρισε σε ομάδες την Α και Β. Η ομάδα Α αποτελείται από τα μέρη με περιορισμένη μικρής διάρκειας ζωής των οποίων η παράλειψη της θα μπορούσε να προκαλέσει την βλάβη του αεροσκάφους. Η ομάδα Β από μέρη που έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής.

Ο συντηρητής πρέπει να παρακολουθήσει τη λήξη ζωής. Όταν ο κινητήρας έχει περάσει σε άλλο χρήστη, τα στοιχεία για τη λήξη του κύκλου ζωής πρέπει επίσης να μεταφερθούν. Γι' αυτό το λόγο ο χρήστης είναι υπεύθυνος για τη ζωή της μηχανής κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσής του. Όταν ο κινητήρας

έχει παραδοθεί στην αποθήκη αναθεώρησης, ο χρήστης πρέπει να αναφέρει στα πιστοποιητικά έγγραφα το συνολικό χρόνο λειτουργίας και τον αριθμό των ισοδύναμων κύκλων. Στο χώρο συντήρησης οι συντηρητές είναι υπεύθυνοι για την συντήρηση του συστήματος του κάθε τμήματος. Το αρχείο πρέπει να είναι οργανωμένο σύμφωνα με την ονομασία τμήματος, να έχει σήμανση και αύξοντα αριθμό, ώστε να καταστεί δυνατή η ταχεία αντιμετώπιση όλων των τμημάτων.

Η φυγόκεντρος δύναμη είναι μια σημαντική πηγή πίεσης στα περιστρεφόμενα μέρη του κινητήρα. Η ανάλυση των τάσεων στα περιστρεφόμενα μέρη γίνεται ως συνάρτηση του αριθμού στροφών του κινητήρα. Για παράδειγμα, ο ρυθμός φυγόκεντρης επιτάχυνσης είναι 28,460 g ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) στα πτερύγια του κινητήρα στις 13.760 στροφές/μιν του κινητήρα με 134,6 χιλιοστά κέντρο μάζας, περίπου. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες επιρροές στη ζωή των περιστρεφόμενων στοιχείων:

- Η πίεση που οφείλεται στην ροπή κάμψης που εμφανίζεται ως αποτέλεσμα της διαφοράς πίεσης στο δίσκο
- Η πίεση λόγω κραδασμών όταν τα πτερύγια έχουν ομοιόμορφη ροή
- Στρέψη η οποία είναι αναπόφευκτη κατά τη διάρκεια παροχής ισχύος
- Θερμοκρασιακές κλίσεις, σε διάφορα μέρη αεριοστρόβιλου. Είναι ιδιαίτερα σημαντικές παράμετροι και μπορούν να αυξηθούν από την πίεση που οφείλεται στην τοπική διαστολή. Οι θερμικές καταπονήσεις οδηγούν σε χαμηλές τιμές κόπωσης που είναι προφανώς ο μεγαλύτερος παράγοντας για την μείωση της ζωής του κινητήρα ειδικά στα ζεστά τμήματα των κινητήρων.
- Τοπική πίεση. Υπάρχουν πολλές αιτίες που οδηγούν σε τοπική αύξηση πίεσης. Η πλαστική παραμόρφωση μπορεί να διπλασιάσει το ποσοστό πίεσης. Αυτές είναι τρύπες, αυλάκια, εξωτερικές και εσωτερικές γωνίες, επαφή της επικάλυψης και των βασικών υλικών, ρωγμές, κλπ.
- Κτυπήματα ή ζημιές που προκλήθηκαν από έναν εξωτερικό παράγοντα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη φάση του σχεδιασμού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο σχεδιασμός του πτερύγιου του ανεμιστήρα όπου πρέπει να είναι ανθεκτικός στις προσκρούσεις των πτηνών.
- Κατά τη διάρκεια ελιγμών ο κινητήρας επηρεάζεται από άλλες δυνάμεις, όπως για αδρανειακές και γυροσκοπικές δυνάμεις.
- Επιπλέον, υπάρχουν ορισμένες χημικές επιδράσεις, όπως η π.χ. η διάβρωση.

Υπολογιστής ζωής Κινητήρα

Σαν υπολογιστής ζωής του κινητήρα χαρακτηρίζεται η συσκευή που υπολογίζει και ελέγχει κατά πόσο ο κινητήρας είναι σε κατάσταση «υγιούς».

Συνήθως χρησιμοποιείται συνήθως χρησιμοποιείται η σειρά 0700 υπολογιστών Smiths οι οποίοι μπορούν να πάρουν μέχρι και 12 σήματα (αναλογικά και ψηφιακά). Επιτελούν δε σε διαφορετικό πραγματικό χρόνο πράξεις υπολογισμού και χρησιμοποιούν το λογισμικό του πελάτη, αποθηκεύουν στη μνήμη τα αποτελέσματα και παρουσιάζουν στην οθόνη και για τις παραμέτρους του κινητήρα.

Η βιομηχανία Smiths είναι μια κορυφαία αγγλική εταιρία για τον σχεδιασμό και την παραγωγή των συστημάτων παρακολούθησης που εφαρμόζονται και τα δύο σε στρατιωτικά και πολιτικά αεροσκάφη. Τα συστήματα των Smiths έχουν τον υπολογισμό σε πραγματικό χρόνο το χαμηλό κόστος του κύκλου.

Επίσης έχει δράση στο σχεδιασμό και την παραγωγή σε αισθητήρες και μετατροπείς για τους κινητήρες μετάδοσης και τον σκελετού από τις παραμέτρους πτήσεων, για σχεδόν ογδόντα χρόνια

Οι κύριες παράμετροι είναι :

- Η ταχύτητα του κινητήρα (η σύγκριση των στροφών του κινητήρα με εύρος ανάλυσης 0,1%)

- Συνολική διάρκεια ζωής του κινητήρα και τα στάδια κόπωσης

Επίσης παρουσιάζουν τις δέκα τελευταίες υπερβάσεις των στροφών του κινητήρα (ή υπέρβαση των καθορισμένων τιμών μεταξύ 100% και 110% των στροφών του κινητήρα). Τα στοιχεία σχετικά με την υπέρβαση των στροφών του κινητήρα περιέχουν τον αριθμό εκκινήσεων του κινητήρα, το χρόνο διάρκειας της υπέρβασης και την μέγιστη υπέρβαση.

- Ξαφνικές αλλαγές των στροφών του κινητήρα.

- Συνολικός αριθμός εκκινήσεων του κινητήρα (ο κινητήρας θεωρείται ότι είναι σε λειτουργία όταν ο άξονας του κινητήρα είναι πάνω από 30%)

- Τεστ για τον έλεγχο κατάστασης του κινητήρα.



Εικόνα 23. Σειρά 0700 υπολογιστών Smiths

Οι διαστάσεις του υπολογιστή ζωής του κινητήρα είναι: 84 χιλιοστά ύψος, 58 χιλιοστά πλάτος και 319 χιλιοστά μήκος. Το βάρος του είναι 1.8kg.

Ο υπολογιστής δέχεται ένα σήμα εισόδου από γεννήτριες για καθέναν από τους δύο κινητήρες. Η δειγματοληψία του σήματος εισόδου πραγματοποιείται τουλάχιστον δέκα φορές το δευτερόλεπτο υπό όλες τις συνθήκες λειτουργίας. Ο φορέας εκμετάλλευσης διαβάζει δεδομένα από τον υπολογιστή σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (μετά από κάθε πτήση, κάθε μέρα, κλπ.), ανάλογα με το αίτημα του χρήστη. Τα στοιχεία καταγράφονται σε έντυπα αυτόματα στη βάση δεδομένων.

2.4 Κινητήρας συστήματος παρακολούθησης

Το πιο γνωστό και καθιερωμένο σύστημα παρακολούθησης είναι το TR473 σύστημα παρακολούθησης του κινητήρα της Αγγλικής αεροπορικής εταιρείας Negretti.

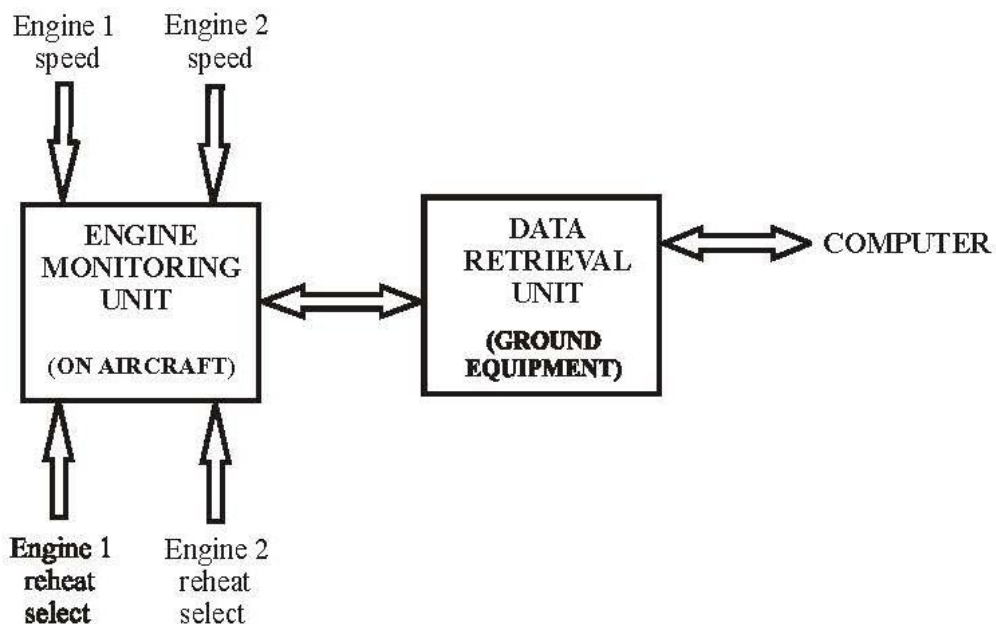
Αποτελείται δε από δύο ενότητες: Την μονάδα μηχανής παρακολούθησης και την Μονάδα και ανάκτησης στοιχείων. Είναι δε σε θέση να χειρίζεται τα δεδομένα από διάφορα συστήματα αερομεταφορών. Κατά την λειτουργία του καταγράφονται επεξεργασίες δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της κατάσταση του εν λόγω κινητήρα.

Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται ώστε να μπορεί να γίνει εξαγωγή μετά την πτήση και στη επεξεργασία έδαφος. Η εξαγωγή μπορεί να είναι μια απλή εκτυπωτή για καταμέτρηση των αποτελεσμάτων των υπολογιστικών συστημάτων για τη διαχείριση δεδομένων βάσης δεδομένων και την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων, εφόσον απαιτείται. Επίσης επιτρέπει την πρόσβαση σε στοιχεία, έτσι ώστε αυτά μπορούν να επανέλθουν στην

μηδενική ή στις προεπιλεγμένες τιμές το οποίο απαιτείται μετά την συντήρηση ή αλλαγή του κινητήρα. Η μονάδα δέχεται σήματα εισόδου από τις ακόλουθες πηγές: δύο ταχογεννήτριες, δύο αναθερμενόμενους διακόπτες και την Μονάδα ανάκτησης στοιχείων.

Η μονάδα ανάκτησης στοιχείων εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Αποκτά δεδομένα από δύο αεριοστρόβιλους και δύο διακόπτες από το πιλοτήριο.
- Ελέγχει τα δεδομένα εισόδου για προκαθορισμένες ανώμαλες συνθήκες των δεδομένων του κινητήρα
- Αποθηκεύει τον αριθμό εκκινήσεων του κινητήρα
- Αποθηκεύει υπερβάσεις ταχύτητας εισόδου για κάθε κινητήρα
- Αποθηκεύει την ταχύτητα και για τους δύο κινητήρες
- Ανιχνεύει την παρουσία χτυπημάτων



Εικόνα 24. Κινητήρας Συστήματος Παρακολούθησης

Η ελάχιστη εγγραφή στροφών του κινητήρα είναι 12%. Κάτω από αυτό το ποσοστό όλες οι ταχύτητες είναι στο 0%. Οι καταγεγραμμένες παράμετροι ενός κινητήρα αποθηκεύονται στη μνήμη κάθε 5 λεπτά αμέσως μετά την εκκίνηση του κινητήρα. Ο μέγιστος αριθμός των δειγμάτων είναι 16 ανά δευτερόλεπτο για την ταχύτητα του κινητήρα (ανά κινητήρα). Όταν αυξηθεί η ταχύτητα σήματος εισόδου από το $60\% \pm 2\%$ σε $73\% \pm 2\%$ σε διάστημα ενός δευτερολέπτου, η παρουσία θορύβου κατά την επιτάχυνση εντοπίζεται. Επίσης γίνεται μηδενισμός δεδομένων εκ νέου πριν από την έναρξη του

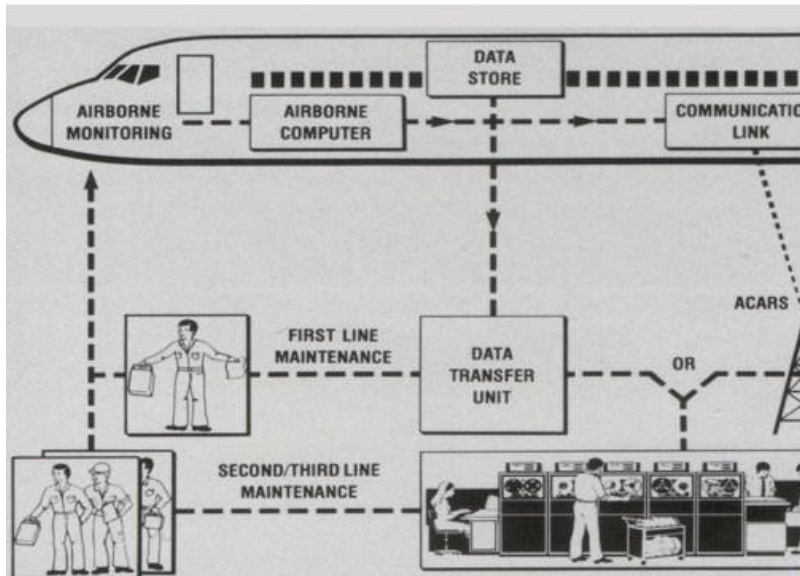
κινητήρα, γίνεται υπολογισμός σε πραγματικούς χρόνους και περιοδικές εγγραφές στη μνήμη. Έτσι για κάθε κινητήρα δίνει τα ακόλουθα δεδομένα:

- Αριθμός ενάρξεων
- Σύνολο χρήσεων ή λειτουργιών του κινητήρα
- Συνολικός χρόνος για υπέρβαση ταχύτητας του κινητήρα ή κάθε κινητήρα

Η μονάδα αυτή είναι σε θέση να αποθηκεύσει ένα μεγάλο αριθμό των επιμέρους στοιχείων σχετικά με έως και 3 άξονες του κάθε κινητήρα. Ο χρόνος τάσης-παραμόρφωσης χωρίζεται σε μια σειρά από κύκλους ποικίλης έντασης. Αυτοί οι κύκλοι βρίσκονται αποθηκευμένοι στη μνήμη, όπου εκτελούνται και εξάγεται η ιστορία του σήματος από επαναλαμβανόμενους κύκλους. Παρακάτω δίνονται οι παράμετροι εξόδου:

- Αριθμός σειράς αεροσκάφους
- Αριθμός εκκινήσεων (σύνολο εκκινήσεων του κινητήρα)
- Διάρκεια (ώρες λειτουργίας κινητήρα)
- Διάρκεια Υπέρβασης των στροφών του κινητήρα
- Μέγιστη υπέρβαση των στροφών του κινητήρα
- Συσσώρευση μετρήσεων στο χαμηλό κόπωσης κύκλου.

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ένα εναέριου συστήματος παρακολούθησης που εφαρμόζονται σε αεροσκάφη της πολιτικής αεροπορίας. Τα δεδομένα από τον υπολογιστή που χρησιμοποιείται, για την πρώτη και δεύτερη γραμμή συντήρησης.



Εικόνα 25. Εναέριου συστήματος παρακολούθησης

Κεφάλαιο 3. Διάγνωση και Εξακρίβωση Βλαβών

3.1 Ορισμός Διάγνωσης και Εξακρίβωσης βλαβών

Σαν εξακρίβωση βλαβών ενός κινητήρα ονομάζουμε τον εντοπισμό και την εξεύρεση ανεπιθύμητων αίτιων και συμπτωμάτων που έχουν προκαλέσει ή μπορούν να προκαλέσουν βλάβες ή ανεπιθύμητες ενέργειες στην λειτουργία ενός κινητήρα.

Η εξακρίβωση βλαβών του κινητήρα, ο εντοπισμός τους και η εξεύρεση της διορθωτικής ενέργειας, απαιτούν ικανοποιητική γνώση των συστημάτων κατασκευής του, λογική σειρά σκέψεων και γνώση της γενικότερης λειτουργίας του κινητήρα καθώς και σωστή και μεθοδική εργασία.

Η γενική αρχή της διάγνωσης είναι να εφαρμόζουμε πρώτα μικρούς ελέγχους και κατόπιν προχωρούμε στις πιο σύνθετες εργασίες.

Από την μεριά τους οι κατασκευαστές, για τις συνηθισμένες τουλάχιστον βλάβες, δίνουν σειρά με τις πιθανότερες αιτίες και τις απαραίτητες διορθώσεις σε ειδικά εύκολα χρηστικά διαγράμματα και πίνακες.

Πέρα όμως από τους πίνακες και τα διαγράμματα υπάρχουν σειρά συσκευών όπου η προοδευτική εισαγωγή βελτιωμένων και αξιόπιστων συσκευών ελέγχου της κατάστασης του κινητήρα, επηρεάζει τις διαδικασίες διερεύνησης βλαβών. Αυτό γιατί κύριος σκοπός αυτών των συσκευών είναι ο προσδιορισμός του συστήματος ή συγκροτήματος που έχει πρόβλημα έγκαιρα. Η ανάπτυξη κατάλληλων δοκιμαστικών συσκευών επίσης, μπορεί να απαλείψει την ανάγκη επίγειας δοκιμής του κινητήρα μετά την διερεύνηση και επισκευή της βλάβης.

3.2 Βασικός έλεγχος του κινητήρα κατά την εισαγωγή του στο συνεργείο κινητήρων

Κατά την εισαγωγή του κινητήρα στο συνεργείο κινητήρων καταγράφονται οι ώρες λειτουργίας του γιατί από τις ώρες καθορίζεται και το φάσμα των εργασιών που θα γίνουν στον κινητήρα. Οι εργασίες που αφορούν τον βασικό έλεγχο του κινητήρα είναι:

- Εξωτερικό τμήμα του Στροβίλου
- Πίσω μέρος του συμπιεστή υψηλής πίεσης

- Στρόβιλος χαμηλής πίεσης (L.P.T.)
- Σύστημα παρελκόμενων
- Σύστημα καύσιμου
- Σύστημα ανάφλεξης
- Σύστημα ένδειξης ταχύτητας περιστροφής αξόνων
- Σύστημα λαδιού
- Ρυθμίσεις
- Συντήρηση του συμπιεστή
- Συντήρηση θαλάμων καύσης
- Συντήρηση στροβίλου
- Καθαρισμός
- Έλεγχος οργάνων

Έλεγχος Εξωτερικού τμήματος του Στροβίλου

Τα βήματα για τον έλεγχο του εξωτερικού τμήματος του Στροβίλου είναι:

1. Αρχικά γίνεται οπτικός έλεγχος ολόκληρης της επιφάνειας του στροβίλου και του μπροστινού σημείου στήριξης του κινητήρα τόσο στο πάνω στο αεροσκάφος για σπασίματα όσο και διαβρώσεις και ασφάλεια τοποθέτησης (δηλ. αν τα διάφορα εξαρτήματα είναι τοποθετημένα σωστά).
2. Γίνεται οπτικός έλεγχος και στο κιβώτιο ταχυτήτων του κινητήρα που είναι τοποθετημένο κάτω από τον κινητήρα.
3. Ελέγχεται ο συμπιεστής υψηλής πίεσης
4. Γίνεται οπτικός έλεγχος ολόκληρης της επιφάνειας εξωτερικά.

5. Γίνεται ενδοσκοπικός έλεγχος στον οποίο ελέγχονται τα πτερύγια του συμπιεστή για σπασίματα, χτυπήματα, διάβρωση.
6. Γίνεται ειδικός έλεγχος σε συγκεκριμένο σημείο στο κέλυφος με διεισδυτικό υγρό (συνήθως φθοριούχο υγρό), γιατί έχει παρατηρηθεί ότι στο σημείο αυτό δημιουργούνται σπασίματα και γι' αυτό γίνεται και λεπτομερής έλεγχος.
7. Γίνεται οπτικός έλεγχος στα συστήματα συμπιεστή υψηλής πίεσης για φθορές και για χαλάρωμα

Έλεγχος πίσω μέρους του συμπιεστή υψηλής πίεσης

Τα βήματα για τον έλεγχο του πίσω μέρους του συμπιεστή υψηλής πίεσης είναι

1. Αρχικά γίνεται οπτικός έλεγχος στο πίσω μέρος του συμπιεστή που είναι το σημείο που εδράζονται οι ψεκασθήρες καυσίμων, οι θάλαμοι καύσεων και ο στρόβιλος χαμηλής πίεσης
2. Γίνεται ενδοσκοπικός έλεγχος του θαλάμου καύσεως και του στροβίλου υψηλής πίεσης.

Έλεγχος στροβίλου χαμηλής πίεσης

Τα βήματα για τον έλεγχο του στροβίλου χαμηλής πίεσης είναι:

1. Αρχικά γίνεται οπτικός και ενδοσκοπικός έλεγχος του στροβίλου χαμηλής πίεσης.
2. Στην συνέχεια γίνεται έλεγχος των αισθητήρων θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων του κινητήρα.
3. Γίνεται έλεγχος της τελευταίας βαθμίδας του στροβίλου χαμηλής πίεσης.
4. Γίνεται αφαίρεση των σωληνώσεων λαδιού που βρίσκονται στο τελευταίο μέρος του κινητήρα. Αυτό γίνεται γιατί λόγω αυξημένων θερμοκρασιών πιάνουν εσωτερικά κάρβουνο που έχει σαν αποτέλεσμα την μη σωστή λίπανση.



Εικόνα 26.Στρόβιλος χαμηλής πίεσης (L.P.T.)

Έλεγχος Συστήματος παρελκόμενων

Για τον έλεγχο του συστήματος παρελκόμενων γίνεται οπτικός έλεγχος όλων των μονάδων για την σωστή εγκατάστασή τους δηλαδή στην αντλία καυσίμου, την αντλία λαδιού, τον ρυθμιστή καυσίμου, την γεννήτρια, τον εκκινητήρα, την αντλία υδραυλικού. Επίσης στο κιβώτιο ταχυτήτων γίνεται έλεγχος πίεσης για διαπίστωση διαρροών λαδιού ή όχι.

Για να γίνει αυτό κάνουμε εισαγωγή συγκεκριμένης πίεσης αέρα μέσα στο κιβώτιο ταχυτήτων 24 P.S.I.

Έλεγχος Σύστημα καύσιμου

Για να κάνουμε έλεγχο του συστήματος καυσαερίων κάνουμε τα παρακάτω:

1. Αρχικά γίνεται έλεγχος των σωληνώσεων καυσίμου για λύσιμο ή σπάσιμο ή για διαρροή στις συνδέσεις και επίσης ελέγχουμε τις επαφές των σωληνώσεων για περιπτώσεις πιθανόν δημιουργούνται τριβές με στόχο την αποφυγή τους.
2. Επίσης γίνεται έλεγχος του σωλήνα παροχής καυσίμου, την ημερομηνία λήξης αυτής ελέγχοντας η κατασκευή του ελαστικού τμήματος να μην ξεπερνά τους 60 μήνες το οποίο φαίνεται από την ταμπέλα αναγνώρισης. Σε περίπτωση που τους ξεπερνά αντικαθίσταται.
3. Γίνεται έλεγχος του συστήματος κίνησης των μοχλών των σταθερών πτερυγίων μεταβλητής γωνίας για ζημιά ή πιθανή διαρροή και επίσης για πιθανή διάβρωση ή χαλάρωση των μοχλών.
4. Γίνεται οπτικός έλεγχος του κυρίου φίλτρου της αντλίας καυσίμου και επιθεώρηση της αντλίας για διαρροές. Επίσης αν η αντλία έχει αφαιρεθεί ελέγχεται ο άξονας οπτικά της μετάδοσης της κίνησης από το κιβώτιο ταχυτήτων στην αντλία για φθορά.

5. Επίσης γίνεται έλεγχος του αισθητήρα διαφοράς πίεσης, εισόδου εξόδου, καυσίμου, από το κυρίως φίλτρο καυσίμου, πριν την αντλία καυσίμου, σε ειδικό συνεργείο.
6. Γίνεται οπτικός έλεγχος σε όλα τα έμβολα των σταθερών πτερυγίων και αυτών μεταβλητής γωνίας τόσο για ασφάλεια όσο και για διαρροή και φθορές.
7. Γίνεται έλεγχος των συνδέσεων των μοχλών συστημάτων μεταβλητής γωνίας και σταθερών πτερυγίων με προκαθορισμένη μέτρηση ώστε να μην έχουμε διάκενο πάνω από 0,100 inches.
8. Γίνεται ηλεκτρικός έλεγχος του οργάνου μεταφοράς πίεσης καυσίμου στο πιλοτήριο.

Έλεγχος Συστήματος ανάφλεξης

Για να κάνουμε έλεγχο του συστήματος ανάφλεξης ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

1. Γίνεται ηλεκτρικός έλεγχος όλων των μπουζί και των καλωδίων που συνδέονται με τον πολλαπλασιαστή
2. Γίνεται έλεγχος του ηλεκτρικού πολλαπλασιαστή.
3. Γίνεται Οπτικός έλεγχος στα ακροφύσια των καλωδίων, που αποτελούνται από κεραμικές ακίδες.

Έλεγχος συστήματος ένδειξης ταχύτητας περιστροφής αξόνων

Για να κάνουμε έλεγχο του συστήματος ένδειξης της ταχύτητας περιστροφής των αξόνων ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

1. Αρχικά ελέγχουμε την συγκράτηση του αισθητήρα, ταχύτητας περιστροφής του άξονα βασικού άξονα (άξονας N1), ώστε να βρίσκεται στη σωστή θέση και να είναι σωστά τοποθετημένος σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
2. Επίσης γίνεται έλεγχος του αισθητήρα περιστροφικής ταχύτητας στο δευτερεύοντα άξονα ο οποίος βρίσκεται στον συμπιεστή υψηλής πίεσης.
3. Επίσης γίνεται έλεγχος των καλωδίων των αισθητήρων για τυχόν φθορές.

Έλεγχος συστήματος λαδιού

Για να ελέγξουμε το σύστημα λαδιού ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

Αρχικά ελέγχουμε το λάδι της δεξαμενής για να δούμε αν έχει αναμιχθεί με καύσιμο όπου σε αυτή την περίπτωση διαπιστώνουμε πιθανή διαρροή στον θερμοαντήρα καυσίμου.

1. Ελέγχουμε τα φίλτρα και τους μαγνήτες της αντλίας λαδιού και ανάλογα τα αντικαταστούμε
2. Ελέγχουμε το φίλτρο επιστροφής και συνήθως το αντικαταστούμε, αφαιρούμε τον εναλλάκτη καυσίμου-λαδιού και τον δοκιμάζουμε κάνοντας χρήση πίεσης αέρα για να ελέγξουμε πιθανές ρωγμές ή σπασίματα, και τον επανατοποθετούμε πάνω στην αντλία καυσίμου
3. Ελέγχουμε τον μαγνήτη στο κυρίως σύστημα λαδιού για τυχόν ρινίσματα.
4. Κάνουμε οπτικό έλεγχο της δεξαμενής λαδιού.
5. Ελέγχουμε τον αισθητήρα χαμηλής πίεσης λαδιού από τον οποίο παίρνουμε σήμα στο πιλοτήριο αν δεν λειτουργεί σωστά το σύστημα λίπανσης όταν η πίεση του λαδιού πέσει κάτω από 28 P.S.I.

Διαδικασία Ρυθμίσεων

Οι ρυθμίσεις που πρέπει να κάνουμε σε ένα αεριοστρόβιλο είναι αρκετές αλλά εγγυούνται την σωστή και ασφαλή λειτουργία του.

Γενικά υπάρχουν συνήθως αρκετές ρυθμίσεις, που μπορούν να γίνουν στα συστήματα ελέγχου του αεριοστρόβιλου π.χ. υπάρχει για τις στροφές βραδείας λειτουργίας, για τις μέγιστες στροφές, για τους χρόνους επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, για την λειτουργία της βαλβίδας απαέρωσης του συμπιεστή κ.λ.π.

Ρύθμιση σε ένα κινητήρα πρέπει να κάνουμε μόνο, αν είναι σίγουρο, ότι δεν υπάρχει κάποια βλάβη, που να προκαλεί το συγκεκριμένο σύμπτωμα. Σε κάθε περίπτωση όμως πρέπει να ακολουθούμε τις οδηγίες του κατασκευαστή. Μερικές φορές μπορεί να γίνει ρύθμιση με τον κινητήρα σε λειτουργία στο έδαφος.

Τα ρυθμιστικά συνήθως σχεδιάζονται με κάποια πρόβλεψη ασφάλισης, όπως ασφαλιστικά περικόχλια, πλάκες, σύρμα ασφαλείας κ.λ.π. Μερικοί κινητήρες έχουν πρόβλεψη προσαρμογής συσκευών ρύθμισης από μακριά κατά την διάρκεια της επίγειας δοκιμής του αεριοστρόβιλου.

Χρήση συσκευής έλεγχου καυσαερίων για την ρύθμιση των καυσαερίων

Όταν θέλουμε να κάνουμε έλεγχο καυσαερίων συνήθως χρησιμοποιούμε κατάλληλη συσκευή. Η πιο συνηθισμένη συσκευή είναι μια φορητή συσκευή γνωστή με το όνομα Jetcal.

Η συσκευή Jetcal είναι μια συσκευή, που συνδέεται κατάλληλα με τα ενδεικτικά συστήματα του κινητήρα και μας επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο ορισμένων λειτουργικών στοιχείων του κατά τις επίγειες δοκιμές. Κύρια τμήματα της είναι οι δείκτες θερμοκρασίας καυσαερίων και στροφών και τα κυκλώματα δοκιμής της αντίστασης και μόνωσης των θερμοηλεκτρικών ζευγών.

Στην συσκευή υπάρχουν απαραίτητοι διακόπτες, καλωδιώσεως προσαρμογής κ.α.

Στην συσκευή αυτή μπορούμε να πραγματοποιήσουμε πάρα πολλούς ελέγχους. Μερικοί από τους ελέγχους, που μπορούμε να εκτελέσουμε με την συσκευή είναι οι παρακάτω:

- Έλεγχος στροφών και θερμοκρασίας καυσαερίων με μεγάλη ακρίβεια
- Έλεγχος του συστήματος ένδειξης θερμοκρασιών σε χρόνο μη λειτουργείας ο αεριοστρόβιλου.
- Έλεγχος αντίστασης και μόνωσης του συστήματος.
- Έλεγχος των οργάνων θερμοκρασίας
- Έλεγχος των συστημάτων ανακάλυψης πυρκαγιάς και υπερθέρμανσης καθώς και του συστήματος πρόληψης παγοποίησης με την χρησιμοποίηση καταλλήλων βυσμάτων (tempcal probes)
- Εξασφάλιση κανονικής σχέσης μεταξύ στροφών και θερμοκρασιών κατά την ρύθμιση της διατομής σταθερού ακροφύσιου εξαγωγής (με προσθήκη ή αφαίρεση ειδικών ελασμάτων).

Συντήρηση του συμπιεστή

Η συντήρηση του συμπιεστή αποτελεί βασική εργασία, γιατί η καταστροφή ενός πτερυγίου του μπορεί να προκαλέσει σημαντική βλάβη του κινητήρα.

Μία από τις σημαντικότερες αιτίες καταστροφής των πτερυγίων είναι η αναρρόφηση ξένων σωμάτων από την εισαγωγή. Η αναρρόφηση ακαθαρσιών δημιουργεί σοβαρά προβλήματα, γιατί αυτές που συνήθως είναι σκόνη ή λάδι συγκεντρώνονται στην περιφέρεια και επικάθονται στα πτερύγια ή το περίβλημα και μεταβάλλουν εντελώς τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά του συμπιεστή.

Μ' αυτόν τον τρόπο προκαλείται ανύψωση των θερμοκρασιών εξαγωγής και επίσης μη ικανοποιητική επιτάχυνση. Η επικάθηση αυτή των ξένων σωμάτων μπορεί να προκαλέσει κακή λειτουργία του αεροστροβίλου ακόμα και την καταστροφή του.

Αν θέλουμε να αποφύγουμε τα παραπάνω πρέπει να επιθεωρούμε τακτικά τα πτερύγια και να εκτελούμε καθαρισμό και τα επισκευάζουμε ακόμα και να τα αντικαταστήσουμε.

Επιθεώρηση και καθαρισμός στα πτερύγια

Μικρές βλάβες στα πτερύγια μπορούν να επισκευασθούν οπότε αποφεύγουμε την αντικατάστασή τους. Επίσης πρέπει κάθε φορά να περνάμε σε καθαρισμό του τόσο με χρήση πίεσης αέρα όσο και με χρήση ειδικών καθαριστικών διαλυμάτων σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Αν θεωρήσουμε ότι χρειάζονται αντικατάσταση τότε γίνεται αφαίρεση τους χωρίς όμως να υπερβούμε τα όρια που ορίζει ο κατασκευαστής.

Συντήρηση θαλάμων καύσης

Η επιθεώρηση και επισκευή των φθορών των θαλάμων καύσης αποτελεί βασικό παράγοντα για την ζωή του κινητήρα.

Η πιο συνηθισμένη βλάβη στο θάλαμο καύσης είναι ρωγμές που μπορούν να παρουσιαστούν από διάφορες αιτίες και σε διάφορες μορφές. Η επισκευή των ρωγμών γίνεται με τρόπο που καθορίζεται από τον κατασκευαστή.

Για να γίνει η συντήρηση του θαλάμου καύσης συνήθως γίνεται αφαίρεση του. Μετά την αφαίρεση του καθαρίζεται με καθαριστικά τύπου γαλακτώματος ή με χλωριούχα διαλυτικά. Μετά τον καθαρισμό εφαρμόζουμε ψεκασμό με διάφορα αντιδιαβρωτικά διαλυτικά με στόχο να προστατεύσουμε τα καθαρισμένα τμήματα από διάβρωση και σκουριά.

Η επιθεώρηση του θερμού τμήματος των θαλάμων γίνεται αφαιρόντας το εξωτερικό περίβλημα. Όταν αφαιρούμε το θερμό τμήμα πρέπει να προσέξουμε την τοποθέτηση των τμημάτων που βγάζουμε από πιθανή παραμόρφωση. Στην επανατοποθέτηση δεν πρέπει να παραμείνει στο σύστημα κανένα ξένο αντικείμενο και αυτό το ελέγχουμε τόσο κατά την διάρκεια της επανατοποθέτησης όσο και στο τέλος αυτής. Επίσης αν χρειαστεί σημαδεύουμε μερικά από τα συγκροτήματα που βγάλαμε ώστε να μπορούμε να έχουμε καλύτερο έλεγχο στην επανατοποθέτησή τους. Κατά την σηματοδότηση τους χρησιμοποιούμε κιμωλία και όχι κοινά μολύβια ώστε να μπορούν εύκολα να καθαριστούν αλλά κυρίως γιατί τα κοινά μολύβια μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση.

Η επιθεώρηση των θαλάμων καύσης και των περιβλημάτων γίνεται συνήθως με διεισδυτικό υγρό. Τα επιτρεπτά όρια επισκευών καθορίζονται από τον κατασκευαστή. Αν υπάρχουν δυο ρωγμές από ελεύθερο άκρο και τείνουν να συναντηθούν, τότε απορρίπτουμε το θάλαμο.

Οι ρωγμές στο διάτρητο διάφραγμα εισαγωγής επιτρέπονται. Αν μια ρωγμή συνδέει περισσότερες από δύο οπές πρέπει να επισκευασθεί. Σε περίπτωση που παρουσιασθούν ρωγμές στον κώνο, τότε αντικαθιστούμε αμέσως όλο το θάλαμο. Επίσης αν εντοπίσουμε ρωγμές στα πτερύγια στροβιλισμού τότε και πάλι προχωρούμε σε αντικατάσταση των αντίστοιχων πτερυγίων ή ολόκληρου του περιβλήματος ανάλογα με τις οδηγίες τους κατασκευαστή. Ρωγμές στο μπροστινό περίβλημα, που ξεκινούν από τις οπές, επιτρέπονται, εφ' όσον δεν υπερβαίνουν τα καθορισμένα όρια. Στις περιπτώσεις που ενώνονται δύο ή περισσότερες ρωγμές ή αν από την ίδια οπή ξεκινούν δύο αντιδιαμετρικές πρέπει να επισκευασθούν. Οι ρωγμές, στο περίβλημα είναι αποδεκτές.

Ακτινικές ρωγμές που ξεκινούν από την οπή του σπινθηριστή ή από την οπή του συνδετικού σωλήνα επιτρέπονται εφ' όσον δεν τέμνονται μεταξύ τους. Περιφερειακές οπές στην οπή του σπινθηρισμού, πρέπει να επισκευάζονται, πριν την χρησιμοποίηση του περιβλήματος.

Οποιοδήποτε τμήμα του θαλάμου, που κατά λάθος έπεσε σε σκληρό δάπεδο κατά την συντήρηση, θα πρέπει να επιθεωρείται προσεκτικά για μικρές ρωγμές, που μπορούν να επιμηκυνθούν με την χρήση.

Συντήρηση στροβίλου

Για την συντήρηση του στροβίλου κάνουμε τα παρακάτω:

1. Επιθεώρηση του δίσκου του στροβίλου για ρωγμές. Γίνεται οπτικός έλεγχος με χρήση συνήθως μεγεθυντικού φακού. Όπως προαναφέραμε σε περίπτωση, που θα βρεθούν ρωγμές ο δίσκος χρειάζεται αντικατάσταση.
2. Καθαρίζονται και επιθεωρούνται τα πτερύγια του στροβίλου όπως και αυτά του συμπιεστή. Εξαιτίας των ψηλών θερμοκρασιών στις οποίες εργάζονται υπόκεινται ευκολότερα σε φθορές. Οι φθορές συνήθως

είναι ή μικρές ρωγμές στα χείλη προσβολής και φυγής ή παραμόρφωση του χείλους προσβολής. Η παραμόρφωση παρουσιάζεται σαν κυμάτωση μιας περιοχής ή σαν μεταβολή του πάχους της αεροτομής κατά μήκος του χείλους προσβολής της.

3. Σε περίπτωση που βρεθεί παραμόρφωση πτερυγίων τότε κάνουμε έλεγχο υπερθέρμανσης. Σε περίπτωση που αφαιρέσουμε πτερύγια για λεπτομερέστερη επιθεώρηση, τότε τα αριθμούμε και τα σημαδεύουμε με κιμωλία για να τα επανατοποθετήσουμε στην αρχική τους θέση.

Δεν μπορούμε να αντικαταστήσουμε όσα πτερύγια θέλουμε. Μπορούμε να αντικαταστήσουμε πτερύγια του στροβίλου μέχρις ένα ορισμένο αριθμό. Όταν αντικαθιστούμε ένα πτερύγιο πάντα αντικαθιστούμε και το αντιδιαμετρικό του. Τα αντιδιαμετρικά πτερύγια είναι πάντα ίδια. Κάθε πτερύγιο στην βάση του έχει γραμμένα κώδικα γράμματα, που δείχνουν το βάρος του.

Όταν τοποθετούμε νέα πτερύγια ελέγχουμε ορισμένες ανοχές. Αρχικά ελέγχουμε την ανοχή μεταξύ του αγκώνα του πτερυγίου και του δίσκου, την ανοχή μεταξύ των αγκώνων δύο διαδοχικών πτερυγίων σπρώχνοντας το νέο κατά την διεύθυνση περιστροφής και την περιφερειακή ανοχή του ακροπετρυγίου. Αν κάποια από αυτές είναι έξω από τα όρια τότε μπορούμε να αφαιρέσουμε υλικό από την βάση του πτερυγίου για να το φέρουμε στην κανονική ανοχή. Οι ανοχές δίδονται στα εγχειρίδια του κατασκευαστή.

Η πρώτη βαθμίδα σταθερών πτερυγίων του στροβίλου μπορεί να επιθεωρηθεί μετά την αφαίρεση του περιβλήματος του θαλάμου καύσης. Η τελευταία βαθμίδα σταθερών πτερυγίων μπορεί να επιθεωρηθεί με ισχυρό φως μέσω της τελευταίας βαθμίδας των κινητών πτερυγίων.

Διαδικασία καθαρισμού Η.Ρ.Τ. (κινητού μέρους) πρώτης και δεύτερης βαθμίδας

Το τμήμα του Η.Ρ.Τ. αποτελείται από διάφορα εξαρτήματα και είναι τοποθετημένο σε ειδικές ξύλινες βάσεις. Οι βάσεις αυτές έχουν σχεδιασθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα διάφορα εξαρτήματα να μην χτυπιούνται μεταξύ τους και δημιουργούν διάφορες ρωγμές και άλλες φθορές οπότε γίνεται περισσότερο δύσκολο το έργο της επιθεώρησης.

Στο παραπάνω τμήμα τοποθετούνται οι διάφορες κάρτες που θα συνοδεύσουν τα εξαρτήματα ώστε να πηγαίνουν σχεδόν ταυτοχρόνως στα διάφορα συνεργεία.

Όπως έχουμε προαναφέρει δίνεται πάρα πολύ μεγάλη σημασία στον καθαρισμό των δίσκων του Η.Ρ.Τ., διότι απ' αυτόν εξαρτώνται οι περαιτέρω έλεγχοι που θα γίνουν. Πρέπει να αναφέρουμε ότι εάν οι δίσκοι μετά τον πρώτο καθαρισμό παρουσιάζουν διάφορα σημεία με ενδείξεις προερχόμενες λόγω μη καλού καθαρισμού τότε πρέπει δίσκοι να πάνε πάλι στο τμήμα καθαρισμού δυο ή τρεις φορές ώστε να καθαριστούν πιο σωστά ώστε και έτσι

να καταστεί το δυνατόν το έργο της επιθεώρησης και συντήρησης πιο σωστό και αποτελεσματικό

Το τμήμα καθαρισμού γνωρίζει τις δυσκολίες που αντιμετωπίζει η επιθεώρηση ως προς την αξιολόγηση των ενδείξεων και έτσι ο επαναλαμβανόμενος καθαρισμός δεν αποτελεί γι αυτούς πρόσθετη εργασία. Έτσι με τον τρόπο αυτό οι δίσκοι και τα διάφορα εξαρτήματα αυτού βγαίνουν από τον καθαρισμό σε πάρα πολύ καλή κατάσταση.

Στο τμήμα καθαρισμού οι δίσκοι βυθίζονται με σειρά προτεραιότητας σε δεξαμενές που περιέχουν διάφορα χημικά καθαρισμού.

Στην συνέχεια οι δίσκοι βυθίζονται σε ειδική δεξαμενή η οποία έχει το όνομα J-84 και περιέχει διάφορα αλκαλικά για αφαίρεση της οξειδωσης. Ο χρόνος παραμονής είναι 1 ώρα και στη συνέχεια πηγαίνει στην δεξαμενή με κρύο νερό και χρόνο παραμονής 5 λεπτά.

Βγαίνοντας στραγγίζεται και βυθίζεται στην δεξαμενή J-88 που περιέχει υπερμαγκανικό κάλιο. Ο χρόνος παραμονής είναι 1 ώρα. Η διαδικασία αυτή δύο φορές και τελικά ο δίσκος μπαίνει σε δεξαμενή με κρύο νερό όπου αφού στραγγίσει πάει σε τμήμα καθαρισμού που χρησιμοποιούνται ειδικές βούρτσες καθαρισμού με ειδικό σαπουνόνερο που τρίβουν για αρκετό χρόνο τον δίσκο και στις δύο όψεις επιμένοντας κυρίως στην επιφάνεια επαφής και στη συνέχεια γίνεται στέγνωμα με ξηρό αέρα. Στην συνέχεια ο δίσκος πάει για αμμοβολή που γίνεται με μεγάλη πίεση. Στην συνέχεια βυθίζεται σε ζεστό νερό για πολύ μικρό χρονικό διάστημα καθαρίζεται από την σκόνη και πάει στο σε ειδικό τμήμα το τμήμα P.P.I. όπου εφαρμόζεται η μέθοδος επιθεώρησης με φθορειούχο υλικό.

Τα πτερύγια του H.P.T. ακολουθούν διαφορετική διαδικασία καθαρισμού από τους δίσκους.

Η διαδικασία αυτή είναι η κατωτέρω:

Τα πτερύγια τοποθετούνται σε μεταλλικά δικτυωτά καλάθια και βυθίζονται στη δεξαμενή για απολίπανση χρόνος παραμονής 1 ώρα, εν συνεχεία μπαίνουν μέσα σε μια συσκευή υπερήχων όπου περιέχει νερό και διάφορα χημικά καθαρισμού και δια των υπερήχων βομβαρδίζονται 20 λεπτά από κάθε πλευρά.

Κατόπιν γίνεται επικάλυψη με θερμοπλαστικό με ειδικές πλαστικές θήκες στα χείλη προσβολής αυτών και τοποθετούνται σε ειδικές συσκευές που δονούνται και δια της δονήσεως τα κεραμικά ειδικά υλικά μαζί με ειδικό καθαριστικό υγρό C-1102 (ειδικό σαπούνι) δια της τριβής καθαρίζονται, χρόνος παραμονής 45 λεπτά. Εδώ πρέπει να θέσουμε σε κίνηση τις συσκευές και σιγά σιγά να τοποθετούνται δύο δύο μέσα όχι όλα μαζί.

Στην συνέχεια τοποθετούνται σε μια συσκευή ψεκασμού με πίεση, χρόνος παραμονής 10 -20 λεπτά.

Τέλος με ειδικό εργαλείο που εφαρμόζεται ακριβώς στην βάση του πτερυγίου όπου δια μέσο αυτού διέρχεται νερό με πίεση που κυμαίνεται από 20 έως 35 ατμόσφαιρες παρακολουθούμε όλες τις τρύπες ψύξης κοιτώντας εάν το νερό βγαίνει κανονικά.

Διαδικασία καθαρισμού για τις βίδες και τα σημεία ένωσης του H.P.T

Οι βίδες και τα σημεία ένωσης του H.P.T ακολουθούν διαφορετική διαδικασία καθαρισμού από τους δίσκους και τα πτερύγια.

Συγκεκριμένα τοποθετούνται σε δικτυωτούς σάκους όπου αρχικά βυθίζονται στην δεξαμενή J-84. Αν έχουν αρκετή σκόνη, λάδια ή άλλα βυθίζονται σε αντίστοιχη δεξαμενή την λεγόμενη J-88 και εάν έχουν γράσα στη δεξαμενή για απολίπανση. Ο χρόνος παραμονής σε όλες τις περιπτώσεις είναι μία ώρα.

Στη συνέχεια βυθίζονται για μικρό χρονικό διάστημα σε κρύο νερό και μπαίνουν σε ειδικές συσκευές δόνησης. Οι συσκευές αυτές είναι μικρότερες από αυτές των πτερυγίων. Στην συνέχεια ρίχνουμε και ειδικό καθαριστικό υγρό το λεγόμενο C-1102. Ο χρόνος παραμονής σε αυτό το στάδιο είναι 2-3 ώρες.

Αφού καθαριστούν καλά, τις βυθίζουμε σε ζεστό νερό, τις στραγγίζουμε και στη συνέχεια τις στέλνουμε σε αντίστοιχο τμήμα ώστε να γίνει επιθεώρηση με την μέθοδο Επιθεώρησης με φθοριούχο υλικό.

Για να ελέγξουμε το αν έχουμε σωστό ή όχι καθαρισμό χρησιμοποιούμε την μέθοδο BLACK LIGHT όπου φαίνονται με χρήση ειδικών ακτινών φαίνονται οι ατέλειες. Συγκεκριμένα όταν βυθιστεί σε φθορίζων υλικό σχηματίζεται φθορίζον στρώμα. Έτσι σ' αυτήν την περίπτωση από το τμήμα F.P.I. πάει στο CLEANINE και ξεκινά η διαδικασία καθαρισμού, όπου με βούρτσες καθαρισμού και ειδικό σαπουνόνερο τρίβουν τις περιοχές που το τμήμα F.P.I. έχει δυσκολίες αναγνωρίσεως των διαφόρων ενδείξεων. Εν συνεχεία γίνεται βύθιση σε ζεστό νερό στιγμιαία και μετά απολύμανση, για χρόνο παραμονής μία ώρα. Τέλος στέλνεται στο τμήμα αμμοβολής για να καθαριστεί στην επιφάνεια επαφής των δίσκων, μετά βυθίζεται σε ζεστό νερό για να καθαριστεί από την σκόνη αμμοβολής, και ξαναέρχεται τ όπου ξεκινάει η χημική χάραξη και να ακολουθήσει η επιθεώρηση με φθοριούχο υλικό.

Συντήρηση εξαγωγής

Στο τμήμα της εξαγωγής γίνεται η επιθεώρηση για εντοπισμό ρωγμών, λόγω υπερθερμάνσεων. Ρωγμές είναι πολύ πιθανό να συμβούν στο τμήμα του

αναστροφέα ώσης. Ο κατασκευαστής έχει ορίσει τα επιτρεπτά όρια και ανάλογα προχωρούμε σε επισκευή η όχι. Ο τρόπος επισκευή περιγράφεται κι αυτός στο αντίστοιχο βιβλίο συντήρησης του κάθε κατασκευαστή.

Καθαρισμός διόδων αέρα

Οι δίοδοι αέρα σε έναν αξονικό συμπιεστή είναι πολύ σημαντικές και πρέπει να καθαρίζονται ώστε να μην δημιουργούνται επιπλοκές. Ο καθαρισμός τους μπορεί να γίνει με την εισαγωγή ειδικού καθαριστικού υγρού κατά την λειτουργία του αεριοστρόβιλου. Ο καθαρισμός διόδων αέρα χρησιμοποιείται σε αεριοστρόβιλους που παρουσιάζουν μείωση των επιδόσεων της λειτουργίας τους η οποία οφείλεται στην επικάθηση ακαθαρσιών στα σταθερά και κινητά πτερύγια.

Η μείωση επιδόσεων σημαίνει την ανάγκη αύξησης των στροφών ρύθμισης του κινητήρα για να διατηρήσουμε τα όρια ώσης του που καθορίζονται από τον κατασκευαστή. Όταν κάνουμε όλες τις ρυθμίσεις τότε δεν μπορούμε πια να αυξήσουμε τις στροφές ρύθμισης χωρίς να υπερβούμε το ανώτερο όριο ρύθμισης τότε πρέπει να καθαρίσουμε τις διόδους του συμπιεστή. Αν δεν επιτευχθεί η σωστή ρύθμιση των στροφών του αεριοστρόβιλου στα κανονικά του όρια πρέπει να τον αντικαταστήσουμε.

Ο τρόπος καθαρισμού του αεριοστρόβιλου πρέπει να συμφωνεί με απόλυτα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η διαδικασία είναι η παρακάτω:

Αρχικά αφαιρούμε από τον κινητήρα όλα τα τμήματα τα οποία μπορούν να υποστούν βλάβη από την επίδραση του καθαριστικού υγρού.

Καλύπτουμε τα ανοίγματα απαέρωσης στην συνέχεια το δοχείο με το καθαριστικό τοποθετείται ψηλότερα και λίγο μπροστά από την εισαγωγή και από το κάτω μέρος του εκκινούν δύο σωλήνες που καταλήγουν μπροστά στην εισαγωγή και έχουν ροή που ελέγχεται μέσω αντίστοιχων βαλβίδων.

Θέτουμε σε λειτουργία τον αεριοστρόβιλο για καθορισμένη διάρκεια σε χαμηλές αρχικά στροφές και στη συνέχεια σε ψηλές στροφές ώστε να αναρροφήσει καθαριστικό υγρό. Μετά τον καθαρισμό σβήνει ο κινητήρας και αφαιρούνται τυχόν πρόσθετα προστατευτικά καλύμματα. Στην συνέχεια θέτουμε και πάλι σε λειτουργία τον κινητήρα ώστε να απομακρυνθούν και οι μικρές ποσότητες υγρού που έχουν τυχόν απομείνει. Στην συνέχεια τοποθετούμε και πάλι όλα τα εξαρτήματα του αεριοστρόβιλου που είχαν αφαιρεθεί.

Μετά τον καθαρισμό ακολουθεί πάντα ρύθμιση του κινητήρα. Ειδικά στα πολεμικά αεροπλάνα συνήθως υφίστανται τέτοιο καθαρισμό σε τακτικά χρονικά διαστήματα ειδικά όταν λειτουργούν σε περιοχές με μεγάλη υγρασία

και ειδικά σε θαλάσσιες περιοχές όπου υπάρχει περίπτωση συσσώρευσης ακαθαρσιών που περιέχουν άλατα.

Τελικοί έλεγχοι συναρμογής

Μετά το τέλος της συντήρησης των τμημάτων του κινητήρα ακολουθεί η επιθεώρηση αυτών και η συναρμολόγηση τους. Όταν αρχίσει η συναρμολόγηση αλλά και κατά την διάρκεια της έχουμε συνεχείς ελέγχους και δοκιμές για την επιβεβαίωση της σωστής συναρμογής και λειτουργίας τους, καθώς και οι ανοχές που επιτρέπει ο κατασκευαστής είναι πολύ μικρές.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος ελέγχου είναι το Leak Test. Το Leak Test στο σύστημα, καυσίμου, με ειδική συσκευή και συγκεκριμένα στις σωληνώσεις καυσίμου από την αντλία καυσίμου προς τα μπεκ. Το Leak Test γίνεται δύο φορές γιατί ο σωλήνας είναι διπλός ο ένας μέσα στον άλλο και πραγματοποιείται με αέρα.

Πιο συγκεκριμένα στις ενώσεις των σωλήνων τοποθετείται ειδικό υγρό το οποίο σε περίπτωση διαρροής αφρίζει. Ο εσωτερικός σωλήνας ελέγχεται στα 200 P.S.I. (σε κινητήρα CFG -50 c2), ενώ η αντίστοιχη εξωτερική στα 50-55 P.S.I. Με παρόμοιο τρόπο κάνουμε έλεγχο και στο σύστημα λίπανσης με παροχή αέρα στους 80° F.

Επίσης γίνεται έλεγχος για την φθορά που έχει υποστεί το κέλυφος του στροβίλου η οποία μετρείται με μετρητικό ρολόι αφού οι ανοχές τους είναι πολύ μικρές.

Τέλος κατά την τοποθέτηση της τουρμπίνας παίρνουμε μετρήσεις για την σωστή συναρμογή της, οι οποίες πρέπει να βρίσκονται εντός ορίων που έχει δώσει ο κατασκευαστής.

Στις τελικές επιθεωρήσεις ελέγχονται όλες οι ασφάλειες των κοχλιών και γίνονται οι τελευταίοι οπτικοί έλεγχοι. Στην συνέχεια ο κινητήρας πηγαίνει για δοκιμή.

Δοκιμές στο έδαφος

Η επίγεια δοκιμή είναι απαραίτητη μετά την αντικατάσταση ή και συντήρηση του κινητήρα. Παρόλα αυτά για λόγους οικονομίας και λόγω του προβλήματος του θορύβου οι επίγειες δοκιμές γίνονται μόνον όταν είναι εντελώς απαραίτητες. Με τις βελτιωμένες μεθόδους συντήρησης και την ύπαρξη ειδικών δοκιμαστικών συσκευών ελέγχου, η ανάγκη για επίγεια δοκιμή αρχίζει να μειώνεται.

Πριν εκτελεσθεί μια επίγεια δοκιμή πρέπει να ακολουθηθούν ορισμένες διαδικασίες και να ληφθούν ορισμένα μέτρα για αποφυγή βλάβης του κινητήρα ή του αεροπλάνου ή του προσωπικού.

Λόγω της μεγάλης μάζας του αέρα που απορροφάται και της ταχύτητας και θερμοκρασίας των καυσαερίων υπάρχουν επικίνδυνες περιοχές και μπροστά και πίσω από τον αεριοστρόβιλο. Έτσι δεν πρέπει να υπάρχουν κτίρια αεροπλάνα ή άλλος εξοπλισμός και οι τεχνικοί που ασχολούνται με την δοκιμή δεν πρέπει να φορούν ενδύματα χαλαρά που μπορεί να απορροφηθούν. Επίσης για δοκιμές μέγιστης ισχύος υπάρχουν ειδικές θέσεις του χώρου στάθμευσης. Σε μερικά αεροδρόμια υπάρχουν και ειδικές εγκαταστάσεις αντίστοιχες προς τις εξαγωγές του αεροπλάνου, που μειώνουν σημαντικά τον θόρυβο δοκιμής χωρίς να επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του αεροπλάνου.

Στην δοκιμή πρέπει να υπάρχουν και να έχουν προβλεφθεί τα απαραίτητα προσιτά πυροσβεστικά μέσα. Πριν γίνει η εκκίνηση ελέγχονται η εισαγωγή και η εξαγωγή του αεριοστρόβιλου και γίνεται η απαραίτητη από κάθε κατασκευαστή επιθεώρηση. Κατά τις δοκιμές του κινητήρα το αεροπλάνο πρέπει πάντα να είναι στραμμένο προς τον άνεμο που πνέει και να είμαστε βέβαιοι για την καλή του ασφάλιση πέρα από την χρήση των φρένων του.

Ο κινητήρας θα περάσει στην φάση της συντήρησης στο συνεργείο κινητήρων αφού έχει συναρμολογηθεί έχουν τοποθετηθεί όλες οι μονάδες και έχουν γίνει οι απαραίτητοι έλεγχοι και επιθεωρήσεις τότε αυτός οδηγείται στο δοκιμαστήριο κινητήρων.

Ο κινητήρας συνδέεται με παροχή καυσίμου με παροχή αέρα για την εκκίνηση με διάφορα όργανα ελέγχου αισθητήρες κ.α. Όταν είναι δύσκολη η τοποθέτηση του κινητήρα σε δοκιμαστήριο ή όταν αυτό δεν υπάρχει τότε ο κινητήρας τοποθετείται πάνω στο αεροσκάφος αφού αυτό έχει ασφαλισθεί ώστε να μην μπορεί να κυλήσει. Αφού γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις, πάνω στον κινητήρα και αφού πάρουμε μετρήσεις θερμοκρασίας και πίεσης περιβάλλοντος θέτουμε τον κινητήρα σε λειτουργία. Βάζοντας τον κινητήρα να δουλεύει σε διαφορετικές συνθήκες δοκιμής παίρνουν τις απαραίτητες μετρήσεις.

Οι τιμές που παίρνουμε κατά την δοκιμή του κινητήρα ελέγχονται αν βρίσκονται μέσα στα όρια που μας δίνει ο κατασκευαστής μέσα από διαγράμματα, πίνακες, ή τυπολόγια, ανάλογα.

Έλεγχος και όργανα

Η παρακολούθηση της λειτουργίας του κινητήρα γίνεται με ορισμένα όργανα στο πιλοτήριο. Τα όργανα που χρησιμοποιούμε για τις μετρήσεις είναι συγκεκριμένα και στο δοκιμαστήριο χρησιμοποιούνται όργανα όμοια με αυτά που έχει στην διάθεση του ο πιλότος.

Δεν απαιτείται ιδιαίτερος μοχλός στους ελικοστρόβιλους για την επίτευξη αναστροφής ώσης. Αυτό γιατί ότι ο μοχλός ισχύος συνδέεται με το σύστημα ελέγχου της έλικας.

Ειδικά οι ελικοστρόβιλοι έχουν ειδικό μηχανισμό με τον οποίο αφού επιλέξουμε την δεδομένη θερμοκρασία του αέρα και το ύψος πτήσης ρυθμίζεται αυτόματα η ροή καυσίμου, ώστε να μην έχουμε υπερθέρμανση.

Συγχρονισμός λειτουργίας κινητήρων

Στα αεροσκάφη με πολλούς κινητήρες-αεριοστρόβιλους ή ελικοστρόβιλους-υπάρχουν συστήματα, που εξασφαλίζουν, ότι όλοι οι κινητήρες έχουν τις ίδιες στροφές στην ίδια θέση των μοχλών ισχύων τους.

Ο συγχρονισμός ελέγχεται με βάση ένα κύριο κινητήρα. Έτσι αν κάποιος κινητήρας βρεθεί έξω από συγχρονισμό το σύστημα προκαλεί ηλεκτρική ρύθμιση του μέχρι την εξίσωση των στροφών του με τον κύριο κινητήρα. Σε κινητήρες διπλού ή τριπλού άξονα συγχρονίζεται μόνο το ένα στρεπτό τμήμα. Στην αρχική ρύθμιση της σύγχρονης λειτουργίας των κινητήρων δεν χρησιμοποιούνται τα στροφόμετρα τους, γιατί δεν δίνουν την απαιτούμενη ακρίβεια, αλλά ειδικές συσκευές.

Έλεγχος Οργάνων έλεγχου κινητήρα

Οι επιδόσεις του κινητήρα απεικονίζονται και ελέγχονται σε διάφορα όργανα. Τα όργανα αυτά υπάρχουν στους πίνακες οργάνων των μελών του πληρώματος. Τα κύρια όργανα ενός αεριοστρόβιλου είναι:

- Το στροφόμετρο
- Το όργανο θερμοκρασιών

- Το όργανο ροής καυσίμου.
- Όργανο θερμοκρασίας λιπαντικού
- Όργανο πίεσης λιπαντικού
- Όργανο θερμοκρασίας καυσίμου
- Όργανο πίεσης καυσίμου.

Επιπλέον υπάρχουν όργανα για την μέτρηση της ώσης ενός αεριοστρόβιλου ώσης ή της ροπής στρέψης των ελικοστρόβιλων. Τέλος υπάρχουν πολλές διατάξεις προειδοποιητικές για την λειτουργία ορισμένων συστημάτων ή για την κακή λειτουργία άλλων.

Στροφόμετρο

Το στροφόμετρο μετρά τις στροφές του κινητήρα. Η ένδειξη των στροφών εξασφαλίζεται από μια μικρή γεννήτρια, που κινείται από τον κινητήρα που ανάλογα με το ρεύμα που παράγεται, κινείται ο δείκτης του στροφόμετρου. Η ένδειξη είναι επί τοις εκατό (%) των μέγιστων στροφών όπου οι μέγιστες στροφές αναφέρονται από τον κατασκευαστή. Οι στροφές δεν είναι μέτρο της ώσης που παράγεται γιατί αυτή επηρεάζεται από την θερμοκρασία και πίεση εισαγωγής.

Η γεννήτρια παράγει τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα που μεταβάλλεται ανάλογα προς την ταχύτητα του κινητήρα. Ανάλογα προς αυτή την μεταβολή στρέφεται ένας μικρός σύγχρονος κινητήρας στο όργανο που με κατάλληλο σύστημα κινεί τον δείκτη του.

Ένδειξη θερμοκρασιών

Το όργανο που δείχνει την ένδειξη της θερμοκρασίας αναφέρεται σε θερμοκρασίες της περιοχής του στροβίλου και είναι από τα πιο κρίσιμα σημεία της παρακολούθησης της λειτουργίας του κινητήρα. Ιδανικό είναι να έχουμε την ένδειξη θερμοκρασίας των καυσαερίων στην εισαγωγή του στροβίλου αυτό όμως είναι πολύ δύσκολο λόγω του μεγάλου ύψους της. Γνωρίζοντας όμως την πτώση θερμοκρασίας κατά μήκος του στροβίλου και τον τρόπο εξαγωγής της, αρκούμαστε σε ένδειξη θερμοκρασιών σε ενδιάμεση βαθμίδα του στροβίλου ή μετά από κάποια απόσταση από αυτόν. Η θερμοκρασία αυτή αναφέρεται σαν θερμοκρασία καυσαερίων στροβίλου (T.G.T) ή σαν

θερμοκρασία καυσαερίων εξαγωγής (E.G.T.) ή σαν θερμοκρασία σωλήνα εξαγωγής (J.P.T.).

Ένδειξη ροής καύσιμου

Βασικό χαρακτηριστικό της καλής λειτουργίας του κινητήρα είναι επίσης και η ροή του καυσίμου. Η μονάδα μέτρησης του είναι σε χιλιόγραμμα ή λίβρες ή γαλόνια ανά ώρα.

Το σύστημα ένδειξης ροής καυσίμου αποτελείται από ένα στοιχείο λήψης της ροής και ηλεκτρικής μέτρησης της και μια ηλεκτρονική μονάδα.

Επίσης υπάρχει και μία διάταξη ένδειξης της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου σε κάποια από τις προηγούμενες μονάδες.

Ένδειξη ώσης

Η ένδειξη ώσης γίνεται με δύο βασικούς έμμεσους τρόπους:

Οι τρόποι είναι οι παρακάτω

- Λήψη της πίεσης εξαγωγής
- Λήψη του λόγου πιέσεων εξαγωγής και εισαγωγής.

Στην περίπτωση Λήψη της πίεσης εξαγωγής ο υπολογισμός ώσης δεν είναι πολύ αξιόπιστος γιατί δεν λαμβάνει υπόψη του την θερμοκρασία και πίεση εισαγωγής. Στην περίπτωση Λήψη του λόγου πιέσεων εξαγωγής και εισαγωγής παίρνουμε υπόψη την πίεση εισαγωγής, αλλά όχι την θερμοκρασία.

Είναι δυνατό σε πολλούς δείκτες να υπάρξει ειδική υποκλίμακα του οργάνου ώστε να λαμβάνεται διορθωτικός αριθμός. Αυτό γίνεται για να ανταποκρίνεται στις συγκεκριμένες ατμοσφαιρικές συνθήκες που είναι απαραίτητο σε πολλούς δείκτες. Είναι δυνατόν αυτός ο αριθμός να αποτελεί βασικό στοιχείο ρύθμισης της ώσης του κινητήρα. Αυτόν τότε διαλέγει ο χειριστής ανάλογα με την επιθυμητή ώση.

Αν ο κινητήρας είναι διπλής ροής (με ανεμιστήρα) τότε σαν πίεση εισαγωγής θεωρείται η πίεση εισαγωγής του συμπιεστή και σαν πίεση εξαγωγής ο

συνδυασμός της πίεσης εξαγωγής καυσαερίων από τον στρόβιλο και της πίεσης εξαγωγής αέρα από τον ανεμιστήρα. Σαν πίεση εισαγωγής παίρνεται συνήθως η πίεση πριν το συμπιεστή και σαν πίεση εξαγωγής η πίεση σε κάποιο σημείο του σωλήνα εξαγωγής.

Για τη λήψη των πιέσεων υπάρχουν σωλήνες (pitot tubes) με κατάλληλη διάταξη. Συνδέονται δε σε ευθεία με το όργανο ή με ειδική διάταξη μετατροπής της πίεσης σε ηλεκτρική ένδειξη, που μεταδίδεται προς το όργανο.

Το σχετικό όργανο είναι βαθμολογημένο ή σε psi ή σε ίντσες Hg ή σε ποσοστό επί τοις εκατό της μέγιστης ώσης.

Ένδειξη ροπής (ελικοστρόβιλοι)

Το αποτέλεσμα της ένδειξης ροπής είναι φυσικά μέτρο της ισχύος, που μεταδίδεται από τον κινητήρα προς την έλικα.

Η σχετική διάταξη έχει σχέση με τη διάταξη υποπολλαπλασιασμού στροφών και μετάδοσης της κίνησης προς την έλικα. Σ' αυτή η αξονική ώση που δημιουργείται από τα ελικοειδή γρανάζια, παραλαμβάνεται από πίεση λιπαντικού, που ενεργεί σε μερικά έμβολα. Αυτή η πίεση μεταδίδεται προς το όργανο μέτρησης της ροπής.

Η ίδια διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτόματη λειτουργία του συστήματος πτέρωσης σε περίπτωση πτώσης της πίεσης του λιπαντικού, λόγω μείωσης της ισχύος του κινητήρα.

Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται για την αυτόματη λειτουργία του συστήματος έγχυσης νερού, για αύξηση της ισχύος απογείωσης σε ψηλές θερμοκρασίες ή ύψη.

Ένδειξη θερμοκρασίας λιπαντικού

Η διάταξη ένδειξης θερμοκρασίας λιπαντικού αποτελείται από ένα στοιχείο ευαίσθητο σε αλλαγές θερμοκρασίας, το όργανο και την ηλεκτρική σύνδεσή τους. Αλλαγές θερμοκρασίας προκαλούν μεταβολή στην αντίσταση του κυκλώματος, που τροφοδοτείται με ρεύμα από το ηλεκτρικό σύστημα ή το σύστημα του αεροπλάνου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεταβολή στο ρεύμα του κυκλώματος και μετακίνηση του δείκτη σε μια ένδειξη θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου.

Ένδειξη πίεσης λιπαντικού

Η διάταξη ένδειξης πίεσης λιπαντικού αποτελείται από ένα όργανο και μια καλωδίωση που τροφοδοτείται από το ρεύμα του κυκλώματος του αεροπλάνου.

Η ένδειξη του λαδιού μπορεί να αντιστοιχεί στην απόλυτη πίεση του λιπαντικού ή της διαφορικής πίεσης μεταξύ της πίεσης εξόδου από την αντλία και εισόδου σ' αυτήν.

Οι μεταβολές της πίεσης προκαλούν ανάλογες μεταβολές στην αντίσταση του κυκλώματος ένδειξης και μετακίνηση του δείκτη στην ανάλογη θέση, που δείχνει το P.S.I. Υπάρχουν περιπτώσεις, που δεν έχουμε κανονικό δείκτη, αλλά ένδειξη μόνο χαμηλής, κανονικής ή υψηλής πίεσης.

3.3 Αποκατάσταση βλαβών σε τμήματα αεριοστροβίλων κινητήρων

Για να γίνει η αποσυναρμολόγηση των αεριοστροβίλων φέρνουμε τον κινητήρα σε οριζόντια ή σε κατακόρυφη κλίση. Συνήθως σε μικρότερους κινητήρες κάνουμε χρήση οριζόντιας κλίσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι πιθανόν η κλίση να φέρει τροχούς, οι οποίοι επιτρέπουν τη μετακίνησή της, ενώ και ο κινητήρας μπορεί να περιστρέφεται (rollover) για ευκολότερη πρόσβαση στα διάφορα εξαρτήματά του.

Οι μεγαλύτεροι κινητήρες τοποθετούνται σε κατακόρυφες σταθερές κλίνες, με το ψυχρό τμήμα προς τα κάτω. Για να έχουμε πρόσβαση σε όλα τα σημεία του κινητήρα επιτυγχάνεται με σκαλωσιές ή σε οριμένες περιπτώσεις με ανελκυστήρα.

Η αποσυναρμολόγηση σημαίνει το να διαχωρίσουμε τα κύρια υποσυγκροτήματα του κινητήρα τα οποία τοποθετούνται σε ειδικές κλίνες πριν την περαιτέρω αποσυναρμολόγησή τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις για την ανύψωση των υποσυγκροτημάτων χρησιμοποιείται κατά κανόνα γερανός.

Όταν διαπιστώνεται ότι η φθορά υπερβαίνει τα προβλεπόμενα από τον κατασκευαστή όρια, το πτερύγιο ή τα πτερύγια απορρίπτονται και κάνουμε αλλαγή. Επίσης πιθανές φθορές μπορούν να παρουσιασθούν και στους δίσκους των συμπιεστών. Η επαφή του πτερυγίου με το δίσκο είναι πιθανόν να προκαλεί φθορές στην επιφάνεια του δίσκου (γνωστό σαν fretting wear). Η

πιο γνωστή και συνήθης επισκευή σε αυτή την περίπτωση είναι ο λεγόμενος «βομβαρδισμός» της περιοχής με σφαιρίδια (shot-peening).

Αν και η επιθεώρηση των δίσκων ελέγχει όλη την επιφάνειά τους, είναι σύνηθες να εμφανίζονται προβλήματα στις περιοχές τοποθέτησης των πτερυγίων (τις ονομαζόμενες «περιστεροουρές» – dovetail slots),

Συντήρηση και επισκευές θερμού τμήματος

Τα συνήθη ευρήματα κατά την επιθεώρηση των θαλάμων καύσης, περιλαμβάνουν ρωγμές, «καψίματα» (burns), ενδείξεις υπερθέρμανσης (hot spots), στρεβλώσεις (warpage) και μηχανική διάβρωση (erosion).

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι συγκολλήσεις κατά την κατασκευή του θαλάμου είναι πιθανόν να είναι ατελείς (π.χ. μεγάλη ποσότητα του υλικού συγκόλλησης γύρω από τη ραφή), οπότε απαιτείται η επανασυγκόλληση της περιοχής. Η επισκευασιμότητα ενός ρηγματωμένου θαλάμου καύσης, εξαρτάται από την έκταση, την θέση και τον αριθμό των ρωγμών.

Η αποκατάσταση των ρωγμών γίνεται συνήθως με συγκόλληση (inert gas, electron beam ή akku-welding). Σε κάθε περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιείται υλικό (σύρμα) συγκόλλησης συμβατό με το υλικό του εξαρτήματος, ενώ συνήθως απαιτείται θερμική κατεργασία πριν και μετά την επισκευή. Οι θάλαμοι καύσης «κινδυνεύουν» επίσης από τους ψεκαστήρες καυσίμου. Διαταραχή της ροής καυσίμου σε έναν ψεκαστήρα, μπορεί να οδηγήσει σε ανάφλεξη του καυσίμου πολύ κοντά ή και σε άμεση επαφή με τους δακτυλίους (liners) του θαλάμου καύσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προκληθεί επέκταση της φλόγας στην περιοχή του στροβίλου, με καταστρεπτικές φυσικά συνέπειες για τη σταθερή βαθμίδα ή και τα κινητά πτερύγια του στροβίλου.

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

Τα πτερύγια των σταθερών βαθμίδων λειτουργούν κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες ιδιαιτέρως βέβαια η πρώτη βαθμίδα, η οποία βρίσκεται αμέσως

μετά τον θάλαμο καύσης. Για την προφύλαξη των βαθμίδων, χρησιμοποιούνται θερμοπροστατευτικές επιστρώσεις (Thermal Barrier Coatings). Ρωγμές, οι οποίες πιθανόν εντοπίζονται στα σταθερά πτερύγια, μπορούν να γίνουν αποδεκτές, εφόσον ικανοποιούν συγκεκριμένα κριτήρια αποδοχής (π.χ. «μικρές» ρωγμές, οι οποίες δεν συγκλίνουν). Αμυχές και σχισίματα συνήθως επισκευάζονται με τρόχισμα και εξομάλυνση της μορφής της περιοχής. Αποφραγμένες οπές ψύξης καθαρίζονται με την χρήση λεπτού σύρματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, πτερύγια τα οποία έχουν υποστεί μηχανική διάβρωση, μπορεί να επισκευασθούν με τη μέθοδο της επικάλυψης πλάσματος (plasma coating)

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

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

Τα πτερύγια των πρώτων κινητών βαθμίδων των στροβίλων φέρουν συνήθως θερμοπροστατευτικές επιστρώσεις, εξαιτίας των μεγάλων θερμοκρασιών που υφίστανται από τα καυσαέρια. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το φαινόμενο του ερπυσμού (creep) το οποίο παρατηρείται στα περιστρεφόμενα πτερύγια. Ο συνδυασμός των φυγοκεντρικών τάσεων με τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας προκαλεί επιμήκυνση του πτερυγίου σε κάθε κύκλο λειτουργίας. Αν και αυτή η επιμήκυνση είναι απειροελάχιστη σε κάθε κύκλο, το αθροιστικό αποτέλεσμα πολλών κύκλων λειτουργίας μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση του διακένου μεταξύ πτερυγίου και περιβλήματος. Σε άλλες περιπτώσεις τα άκρα των πτερυγίων μπορεί να έχουν υποστεί διάβρωση, εξαιτίας των συνθηκών λειτουργίας (π.χ. πάνω από θάλασσα). Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατή η ανάκτηση του φθαρμένου άκρου με συγκόλληση.

3.4 Έλεγχοι και διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης

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

προδιαγράψει ο κατασκευαστής είναι ο φασματοσκοπικός έλεγχος λιπαντικού.

Οι πιο γνωστοί έλεγχοι για την διερεύνηση των βλαβών είναι:

- Διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης
 - Απώλεια πίεσης λαδιού (χωρίς ίχνη διαρροής)
 - Χαμηλή πίεση λαδιού
 - Υψηλή πίεση λαδιού
 - Διακύμανση πίεσης λαδιού
 - Υπερβολική κατανάλωση λαδιού
 - Ένδειξη αυξημένης ποσότητας λιπαντικού
- Σύστημα Ψύξης

Πιο συγκεκριμένα έχουμε

Διερεύνηση βλαβών συστήματος λίπανσης

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

Απώλεια πίεσης λαδιού (χωρίς ίχνη διαρροής)

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

Χαμηλή πίεση λαδιού

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

\

Υψηλή πίεση λαδιού

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

Διακύμανση πίεσης λαδιού

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

Υπερβολική κατανάλωση λαδιού

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

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

Ένδειξη αυξημένης ποσότητας λιπαντικού

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

Σύστημα Ψύξης

Η θερμοκρασία όπως έχουμε προαναφέρει είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες για την σωστή λειτουργία αλλά και την ζωή του κινητήρα. Έτσι για να λειτουργήσει καλά ένας αεροστρόβιλος και να παράγει το μέγιστο έργο με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου θα πρέπει να λειτουργεί με τη μεγαλύτερη δυνατή θερμοκρασία εισαγωγής στροβίλου.

Η αύξηση της θερμοκρασίας όμως δεν πρέπει να είναι απεριόριστη καθώς συνδέεται άμεσα με το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν τα υπόλοιπα εξαρτήματα όπως οι θάλαμοι καύσης και τα σταθερά πτερύγια της πρώτης βαθμίδας στροβίλου.

Όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων πλησιάζει ή και υπερβαίνει τη θερμοκρασία τήξης των μετάλλων κατασκευής τους τότε έχουμε καταστροφή των εξαρτημάτων και τελικά καταστροφή του κινητήρα.

Έτσι η αναγκαιότητα ψύξης ευαίσθητων περιοχών και εξαρτημάτων ενός αεροστρόβιλου κινητήρα είναι επιβεβλημένη γιατί αλλιώς έχουμε καταστροφικά αποτελέσματα. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούμε ψυχρό αέρα τόσο στο δακτύλιο μεταξύ του εξωτερικού περιβλήματος και του αεροδυναμικού καλύμματος του κινητήρα όσο και στο εσωτερικό του. Ο αέρας αυτός αποδεδειγμένα από το συμπιεστή και έτσι έχουμε ψύξη.

Το σύστημα ψύξης πρέπει να ελέγχεται πάντα γιατί αποτελεί από τα βασικότερα στοιχεία κάθε κινητήρα.

3.5 Παράδειγμα Ανάλυση Βλαβών Πτερυγίων

Για να περιγράψουμε την ανάλυση των βλαβών των πτερυγίων χρησιμοποιούμε παράδειγμα πάνω σε πτερύγια από κράμα νικελίου από την έρευνα των Mehdi Tofighi Naeem, Seyed Ali Jazayeri, Nesa Rezamahdi που παρουσίασαν στο συνέδριο IAJC-IJME International Conference με τίτλο Failure Analysis of Gas Turbine Blades

Η ανάλυση εφαρμόστηκε στην βλάβη των πτερυγίων των αεριοστρόβιλων από κράμα νικελίου και πραγματοποιήθηκε σε δύο διακριτά τμήματα:

- μηχανική ανάλυση
- μεταλλουργική ανάλυση

Η μεταλλουργική έρευνα διεξήχθη με οπτικό έλεγχο, φωτογραφικό υλικό, με μικροσκοπία, σάρωση με μικροσκόπιο ηλεκτρονίων, και με διασπορά φασματοσκοπικής ενέργειας.

Η επιφάνεια των πτερυγίων που εξετάστηκαν ήταν ποικιλοτρόπως χρωματισμένη, η οποία μπορεί να αντιπροσωπεύει την παρουσία κάποιων οξειδίων μετάλλων, όπως το νάτριο, και το θείο. Τα πτερύγια μπορούν να υποστούν διάφορα είδη διάβρωσης. Οι δοκιμές έδειξαν ότι υπήρξαν ρωγμές και στις δύο πλευρές του πτερυγίου.

Πραγματοποιήθηκε λεπτομερής ανάλυση όλων των στοιχείων που είχαν επιρροή στην έναρξη της αστοχίας. Δηλαδή, μικρό-κοιλότητες βρέθηκαν σε επιφάνειες θραύσης οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν μηχανική βλάβη, μείωση ολκιμότητας του κράματος και της σκληρότητας λόγω πτώσης καρβιδίων (σχηματισμός συνεχούς ταινίας και διάσπαρτα σωματίδια και την υποβάθμιση του 3ου τύπου κράματος (ακανόνιστη αύξηση των σωματιδίων γ')).

Διαπιστώνεται ότι οι ρωγμές στην πράξη με την επίστρωση αποτελούν το έναυσμα για τη θερμική ρωγμή κόπωσης. Το περικρυσταλλικό υπόστρωμα με την εμφάνιση της ρωγμής και διάδοσης της οφείλονται σε μηχανισμό ερπυσμού. Επίσης, λόγω της λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες, παρατηρήθηκε ανόπτηση σε διαφορετικά σημεία. Βλάβη στα πτερύγια μπορεί ακόμη να προκληθεί από μια σειρά μηχανισμών στο πλαίσιο της λειτουργίας στροβίλου, όπως συνθήκες υψηλής ταχύτητας περιστροφής σε υψηλές θερμοκρασίες. Σε γενικές γραμμές, οι βλάβες μπορεί να ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες: (α) κόπωση, και (β) ρήξη από ερπυσμό. Έρευνες σχετικά με την αξιολόγηση της θερμομηχανικής συμπεριφοράς για τα υλικά πτερυγίων αεριοστρόβιλων που αποτελούνται από υπερκράματα νικελίου έχουν κερδίσει αυξημένο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Τα υπερκράματα αυτά είναι τα τυποποιημένα υλικά για θερμές επιφάνειες αεριοστρόβιλων, όπου τα πτερύγια εκτίθενται σε υψηλές μηχανικές καταπονήσεις και επίθεση

περιβαλλοντολογικών σωμάτων. Σε υπερκράματα βάσης νικελίου, η παρουσία του χρωμίου είναι αναγκαία για να εξασφαλιστεί αντίσταση στην οξείδωση, ενώ τα άλλα στοιχεία κραμάτων είναι σημαντικά για να διασφαλίζεται αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.

Οπτική Επιθεώρηση

Τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά των πτερυγίων παρατηρήθηκαν με οπτική εξέταση και φωτογραφική τεκμηρίωση. Οι έλεγχοι αυτοί έδειξαν τις διάφορες περιοχές στην επιφάνεια των πτερυγίων στις κυρτές και κοίλες πλευρές.

Στην περιοχή της πλατφόρμας οι δύο πλευρές του πτερυγίου είναι τραχείς και παρουσιάζουν διάφορα χρώματα, κυρίως κοκκινωπό, πρασινωπό, και σκούρο καφέ περιοχές.



Εικόνα 27. Οπτική Επιθεώρηση

Χρησιμοποιώντας περίθλαση ακτίνων Χ (XRD) και Φθορισμός ακτίνων Χ (XRF), Διαπιστώθηκε ότι τα χρώματα αυτά εκπροσωπούν την παρουσία οξειδίων του σιδήρου, όπως νάτριο, χρώμιο κ.α.



Εικόνα 28. Οπτική Επιθεώρηση μετά από περίθλαση ακτίνων Χ

Απώλεια των υλικών και του πάχους που μπορεί να έχει προκληθεί από την αλληλεπίδραση των διαφορετικών μηχανισμών όπως διάβρωση, καθώς και ερπυσμού ή κόπωσης παρατηρήθηκε κατά το σύνολο των πτερυγίων. Επίσης, με διεισδυτικό υγρό ελέγχου (DPI) κατά τη δοκιμή διαπιστώθηκε ότι υπήρχε μια ρωγμή και στις δύο πλευρές του πτερυγίου.

Πειραματική Διαδικασία

Η χημική σύνθεση του υλικού καθορίζεται από την ενέργεια ως μέσο διασποράς της φασματοσκοπίας (EDS). Η μικροδομή των πτερυγίων παρατηρήθηκε από την οπτική μικροσκοπία και σάρωση και της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας (SEM). Για αυτές τις έρευνες, έχουμε ετοιμάσει αρκετές διαμήκεις και εγκάρσιες τομές από τα πτερύγια. Αυτά τα δείγματα είναι παρασκευασμένα από συνήθεις τεχνικές.

Μικροδομική Αξιολόγηση



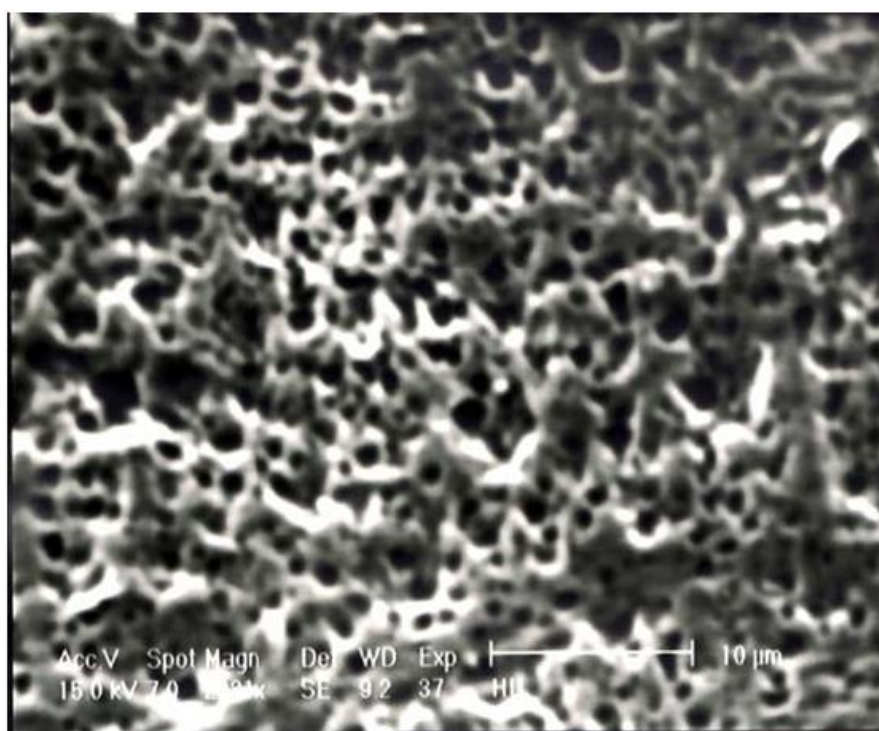
Εικόνα 29. Μικροδομική Αξιολόγηση

Τα μεταλλογραφικά παρασκευασμένα τμήματα αρχικά εξετάστηκαν σε οπτικό μικροσκόπιο και, στη συνέχεια, αξιολογούνται με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης που είναι εξοπλισμένο με φασματόμετρο EDS.

Η εκτράχυνση των κόκκων ιζημάτων στο πάνω μέρος της υπηρεσίας εκτίθενται στο δεύτερο στάδιο των πτερυγίων λόγω της υποβάθμισης που ελήφθη από οπτικό μικροσκόπιο. Η κατανομή και η μορφολογία τη ενισχυμένης γ φάσης ιζημάτων στο πάνω μέρος του δίσκου δευτέρου σταδίου. Όπως φαίνεται, το μέγεθος της εκτράχυνσης είναι της 3ης τάξης των $0,5 - 2 \mu\text{m}$ στο παρόν τμήμα.

Ρωγμές και Αξιολόγηση

Παρατηρούμε μία περικρυσταλλική ρωγμή στο πρώτο στάδιο επίστρωσης του ππερυγίου και αρκετές περικρυσταλλικές ρωγμές που βρίσκονται σε εγκάρσια τομή της επιφάνειας του ππερυγίου. Η δημιουργία της ρωγμών πιθανότατα οφείλονται σε ένα θερμικό μηχανισμό κόπωσης, ως αποτέλεσμα των υψηλών παροδικών θερμικών φορτίων (π.χ. ταξίδια.)

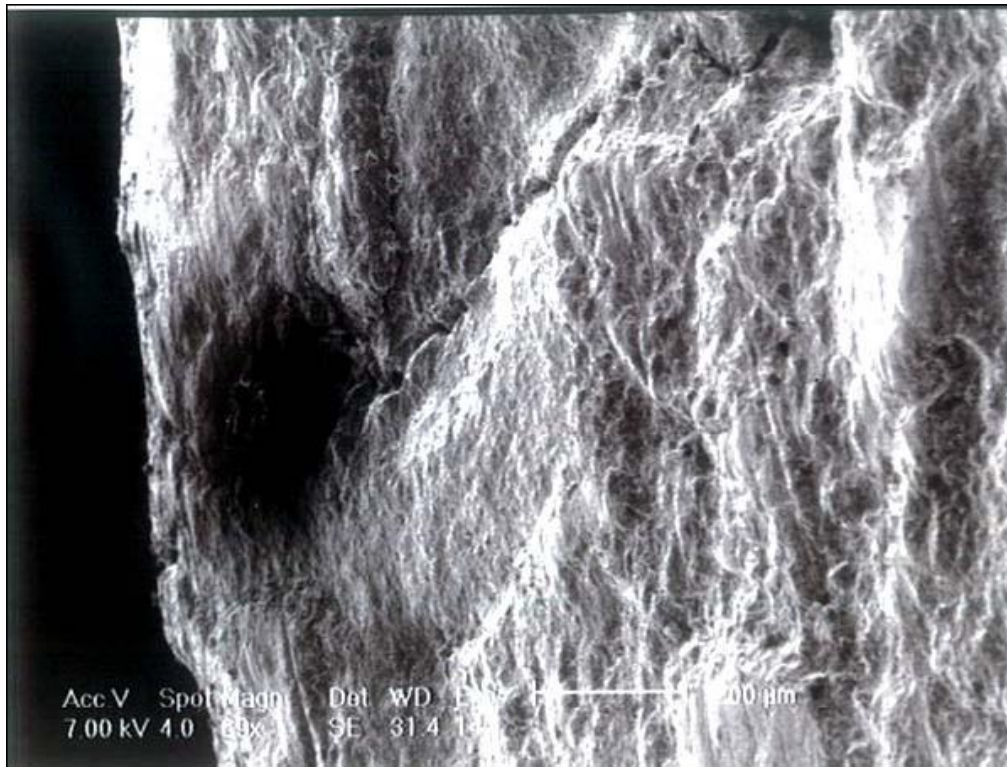


Εικόνα 30. Ρωγμές και Αξιολόγηση

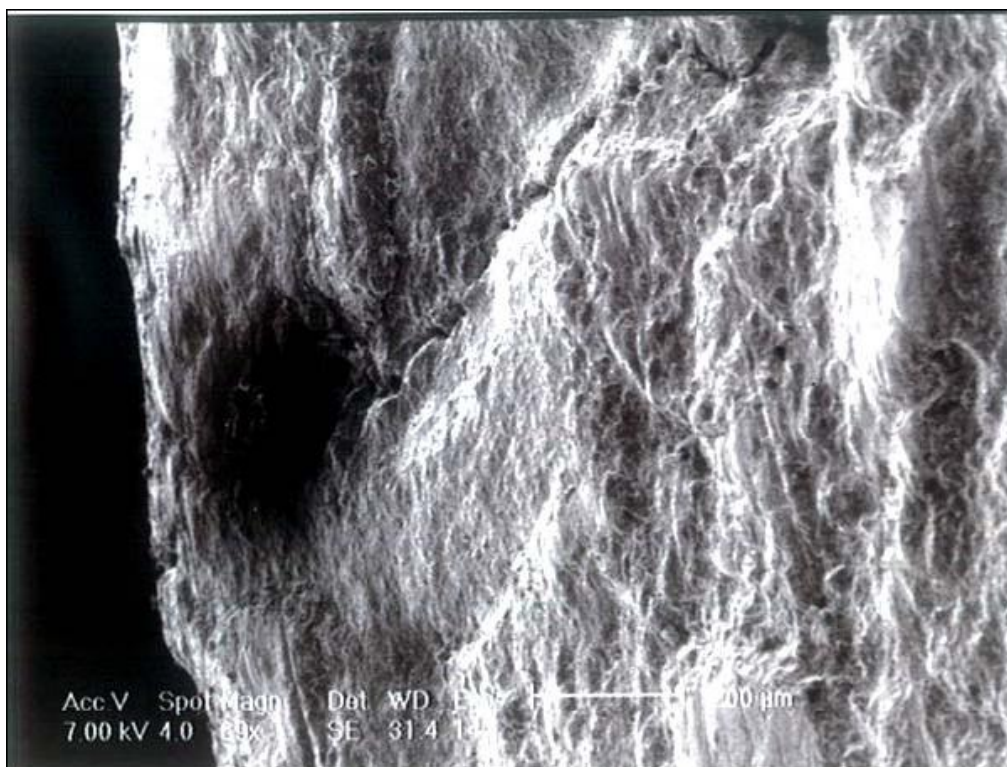
Δεδομένου ότι στο άλλο αποτέλεσμα αποτυχίας μηχανικού ερπυσμού, βρέθηκαν αποκόλληση κόκκων κατά το δεύτερο στάδιο του ππερυγίου. Όπως φαίνεται στο σχήμα αυτό, υπήρξαν διάφορες μεγάλο-ρωγμές στα όρια των κόκκων. Ένα σημαντικό στις παραμορφώσεις των μετάλλων είναι η διαδικασία που είναι γνωστή ως αδελφοποίηση. Δηλαδή μπορεί να παράγονται δύο ίδιες παραμορφώσεις ως αποτέλεσμα της απόπτωσης. Παρακάτω έχουμε πλαστική παραμόρφωση. Το πρώτο είδος είναι γνωστό ως μηχανικά δίδυμα, και οι τελευταίοι αποκαλούνται ανόπτηση. Σε αυτή τη μελέτη, πολλά δίδυμα ανόπτησης παρατηρήθηκαν σε διαφορετικές περιφέρειες.



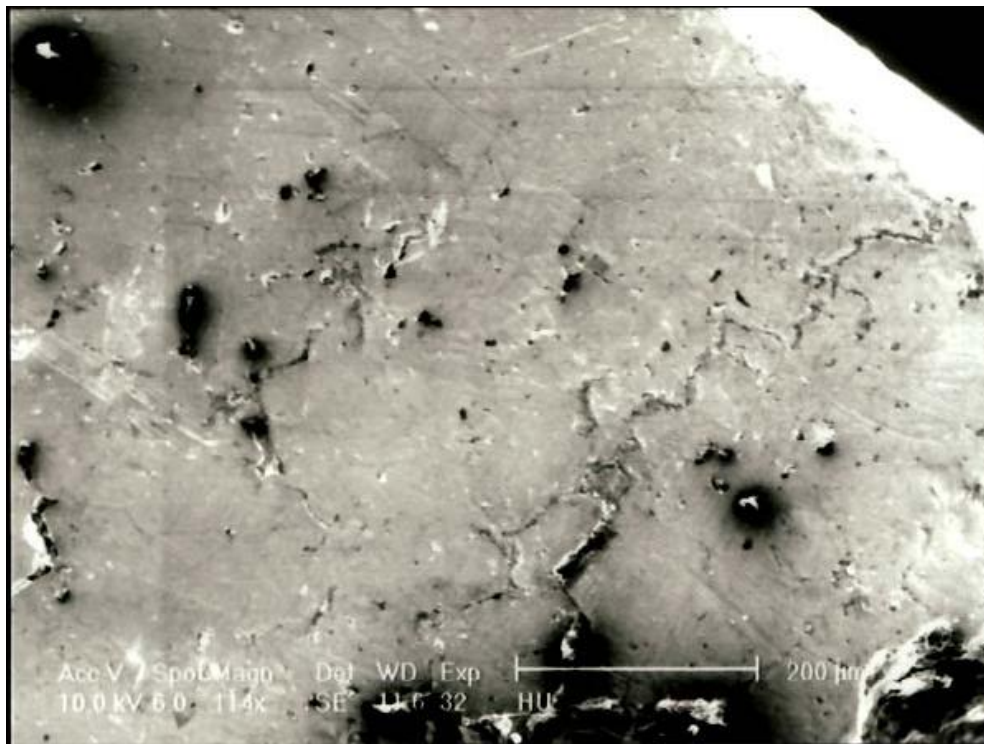
Εικόνα 31. Ρωγμές και Αξιολόγηση (πλαστική παραμόρφωση)



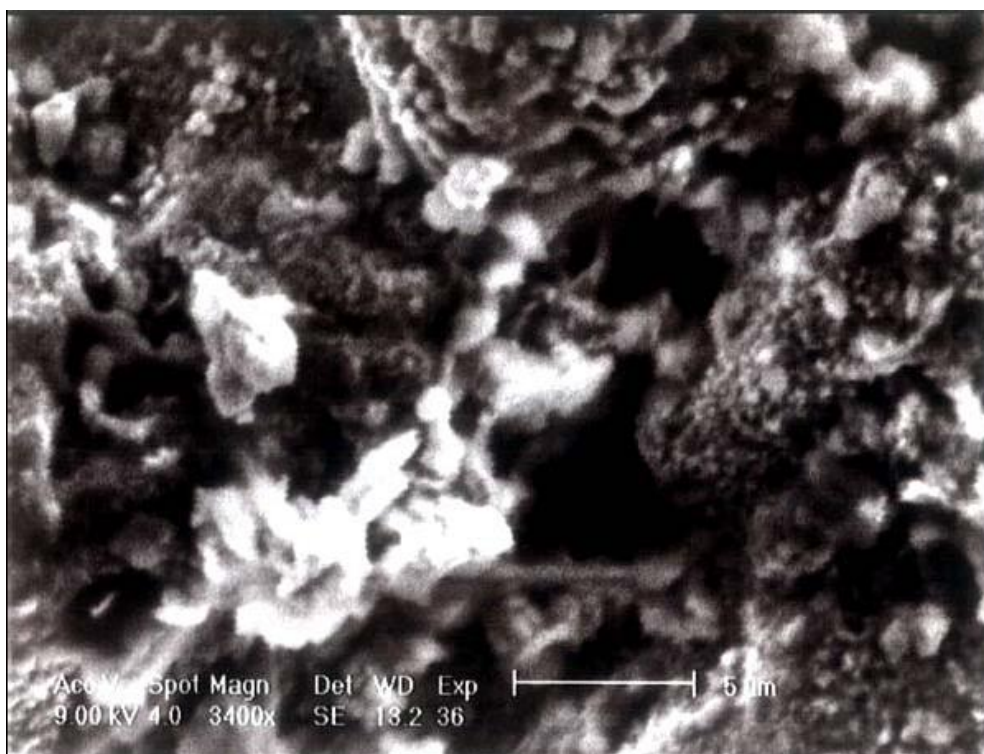
Εικόνα 32. Μικροκοιλότητες οπού βρέθηκαν σε σπασμένη επιφάνεια



Εικόνα 33. Περικρυσταλλική ρωγμή στην επίστρωση



Εικόνα 34. Αρκετές περικρυσταλλικές ρωγμές σε εγκάρσια τομή της επιφάνειας του πτερυγίου.



Εικόνα 35. Αρκετές ρωγμές στα όρια των κόκκων λόγω του μηχανισμού παραμόρφωσης.

Μηχανική Ανάλυση

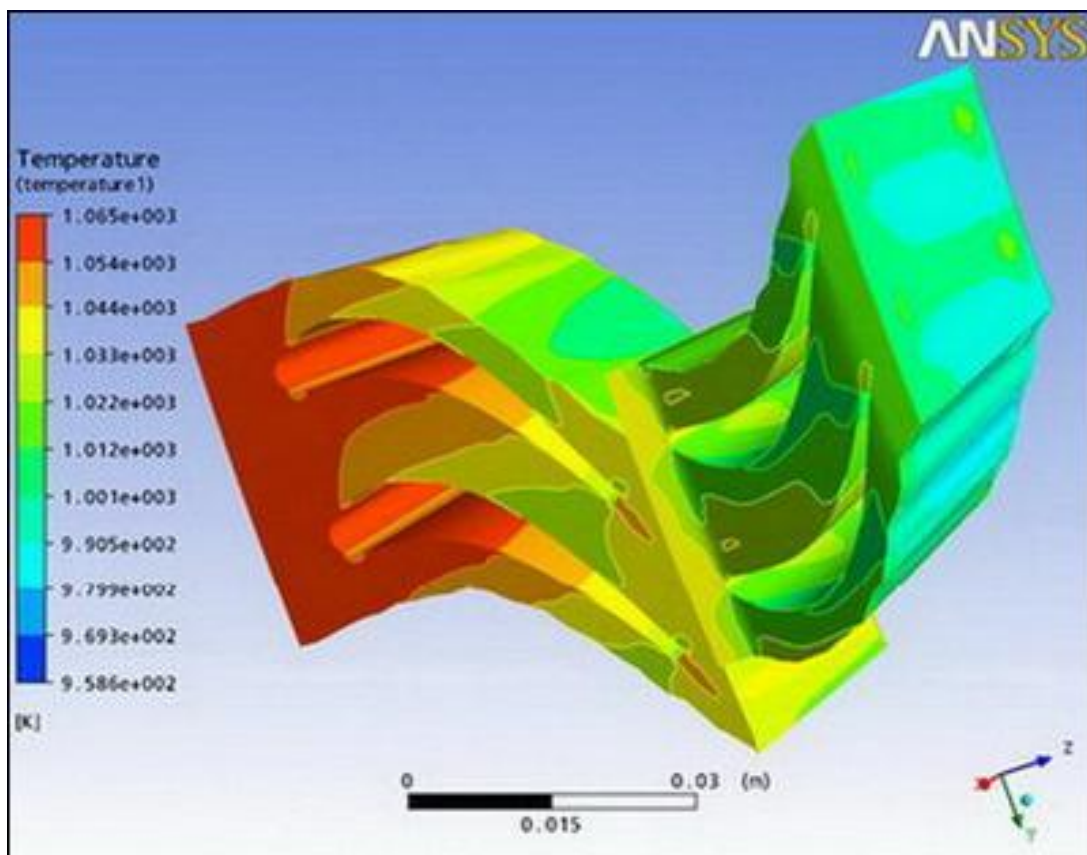
Μια σταθερή κατάσταση του φυσικού αερίου ανάλυση ροής πραγματοποιείται με τη βοήθεια της προηγμένης CFD, η οποία είναι ένα τμήμα του λογισμικού ANSYS Workbench 11,0, στην συνέχεια με τη χαρτογράφηση των αποτελεσμάτων αυτών στο τμήμα προσομοίωσης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των τάσεων. Δεδομένου του παρόντος ρότορα και στάτη της τουρμπίνας είχε 83 και 76 πτερύγια αντίστοιχα, μια πλήρης λύση μοντελοποίησης πήρε πολύ χρόνο, οπότε έχουμε ως πρότυπο δύο πτερυγία του ρότορα και στάτη με την εξέταση των οριακών συνθήκων. Η Θερμοκρασία και η πίεση στις καμπύλες έδειξε ταύτιση με τις πραγματικές συνθήκες. Ας σημειωθεί ότι, αυτά τα δεδομένα, τα πτερύγια του στάτη και ρότορα βρίσκονταν αριστερά προς τα δεξιά, αντίστοιχα και δείχνουν το μέγεθος και την κατεύθυνση της ταχύτητας ροής με τη χρήση διανυσμάτων ταχύτητας. Η ανάγκη για ανάλυση και προσομοίωση της κατάστασης και συμπεριφοράς του στροφείου του πρώτου σταδίου του πτερυγίου υπό τις προϋποθέσεις συντήρησης όταν, το φυσικό αέριο, το φορτίο πίεσης, καθώς και η θερμική διαστολή είναι παρόντες.

Η αιτία της αποτυχίας πτερυγίου του ρότορα μπορεί να αυξάνεται σε μήκος και την επαφή μεταξύ άκρης πτερυγίου και περίβλημα ως συνέπεια την εμφάνιση ερπυσμού μετά από μια παρατεταμένη περίοδο σε λειτουργία.

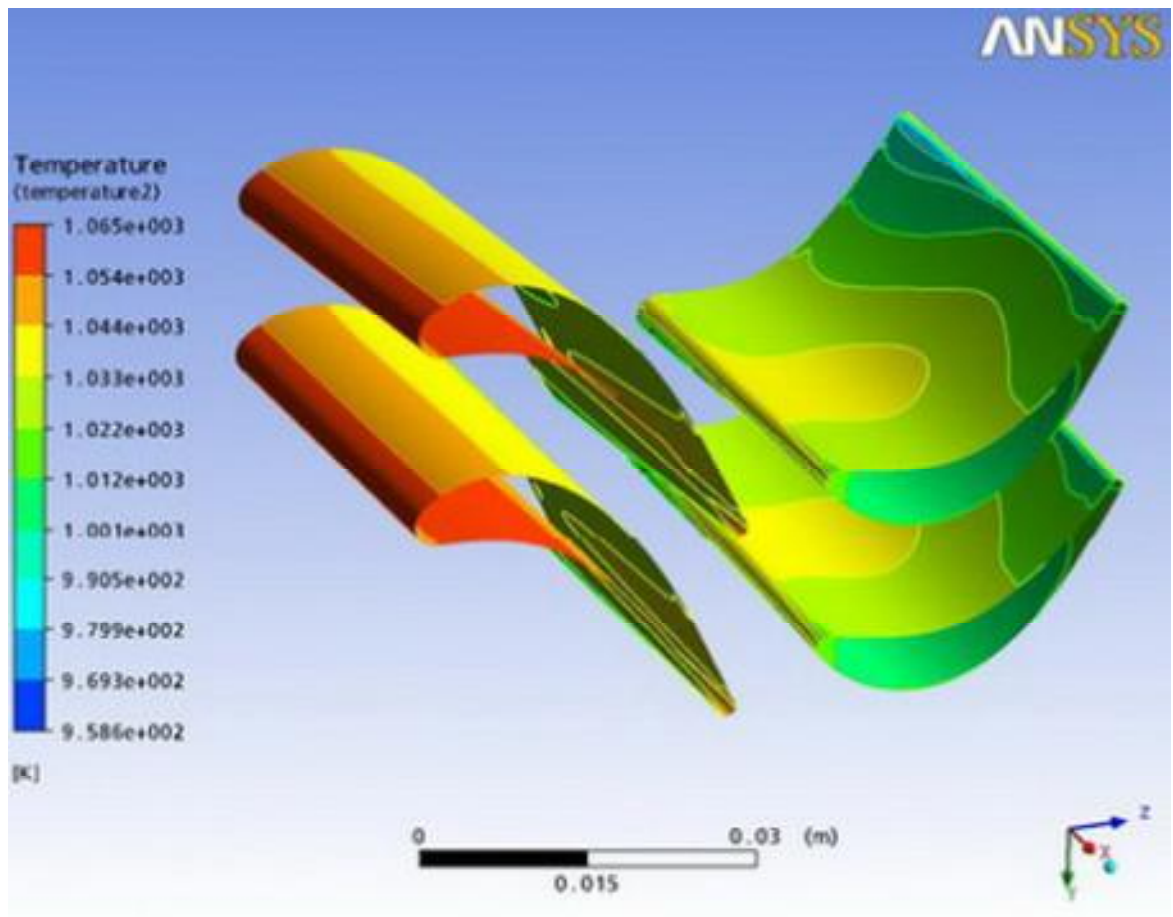
Μετά την οπτική εξέταση και φωτογραφική τεκμηρίωση, διαπιστώνεται ότι η επιφάνεια των πτερυγίων εμφανίζουν ποικίλα χρώματα που μπορεί να αντιπροσωπεύουν την παρουσία οξειδίων του σιδήρου,. Επίσης, στην περιοχή της πλατφόρμας, τόσο οι κυρτές και κοίλες πλευρές αυτών των πτερυγίων φαίνεται να έχουν υποστεί διάβρωση. Η διερεύνηση αυτή των πτερυγίων αποκάλυψε την παρουσία της συνεχούς και διάσπαρτης ταινίας των καρβιδίων στους κόκκους και εκτράχυνσης των ιζημάτων που προκύπτουν από την έκθεση σε ακραίες θερμοκρασίες και της μεταγενέστερης λειτουργίας. Υπήρχαν πολλές ρωγμές σε διάφορες περιοχές των πτερυγίων, λόγω της λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες και για μεγαλοχρονικό διάστημα. Μια ρωγμή περικρυσταλλική βρέθηκε στον χαλασμένη επίστρωση του πτερυγίου, υπήρχαν ορισμένες μικρο-κοιλότητες στην επιφάνεια του κατάγματος που χρησίμευαν ως προέλευση του μηχανισμού ερπυσμού, υπήρξαν αρκετές περικρυσταλλικές ρωγμές σε εγκάρσια τομή του πρώτου σταδίου του πτερυγίου.

Επίσης, λόγω της λειτουργίας σε υψηλές θερμοκρασίες, παρατηρήθηκαν πολλά δίδυμα ανόπτησης. Μια σταθερή κατάσταση του καυσίμου και ανάλυση ροής πραγματοποιείται με τη βοήθεια των προηγμένων CFD, η οποία είναι ένα τμήμα του Workbench ANSYS 11,0 λογισμικού. Στη συνέχεια, με τη χαρτογράφηση αποτελεσμάτων αυτών στο τμήμα προσομοίωσης αυτού

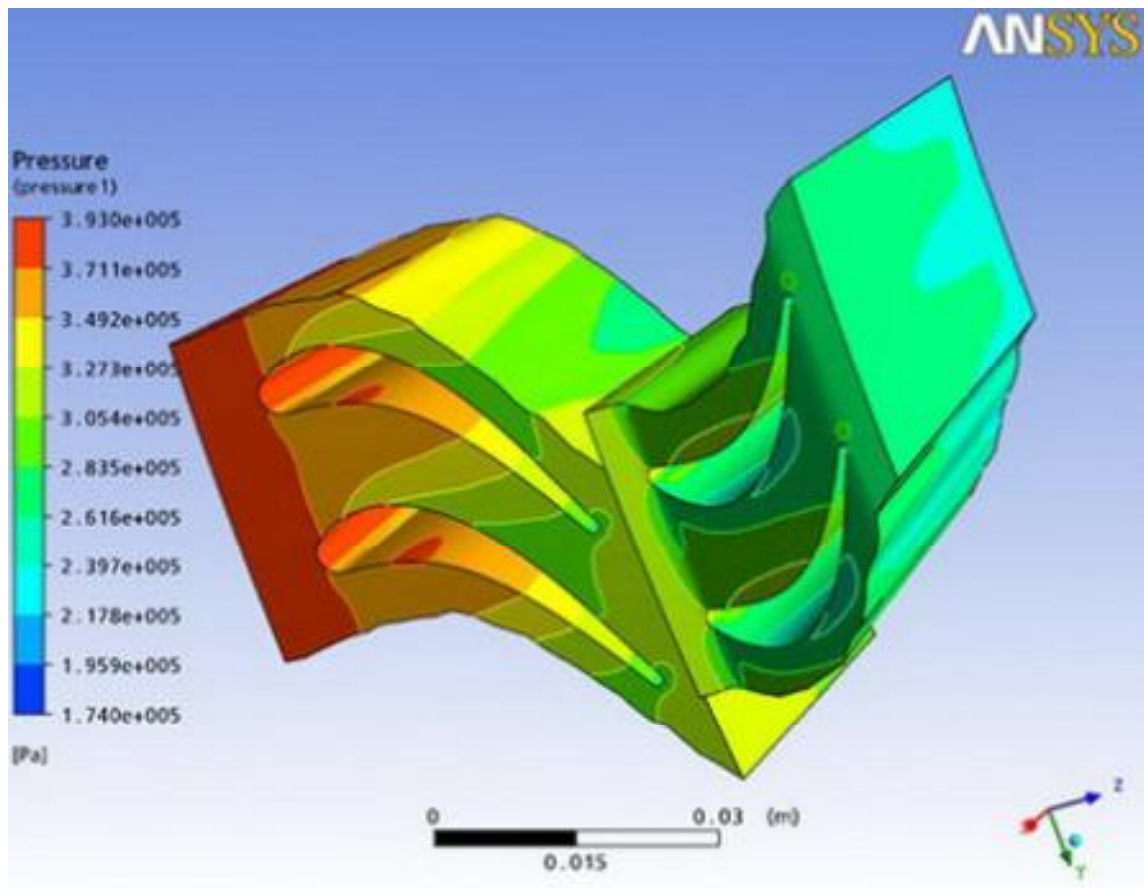
του λογισμικού πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των τάσεων. Θερμοκρασία και περιγράμματα πίεσης και το μέγεθος και η κατεύθυνση της ταχύτητας ροής έδειξε συνέπεια με τις πραγματικές συνθήκες. Διαπιστώνεται ότι η βλάβη του πτερυγίου που δεν είχε άμεση σχέση με τις φυγόκεντρες και φόρτωσης αερίου. Τέλος, θεωρείται ότι η αιτία της βλάβης των πτερυγίων του ρότορα μπορεί να αυξηθεί σε μήκος του πτερυγίου και την επαφή μεταξύ πτερυγίου στο άκρο και στο περίβλημα ως συνέπεια του ερπυσμού μετά από μια παρατεταμένη χρονική περίοδο σε λειτουργία.



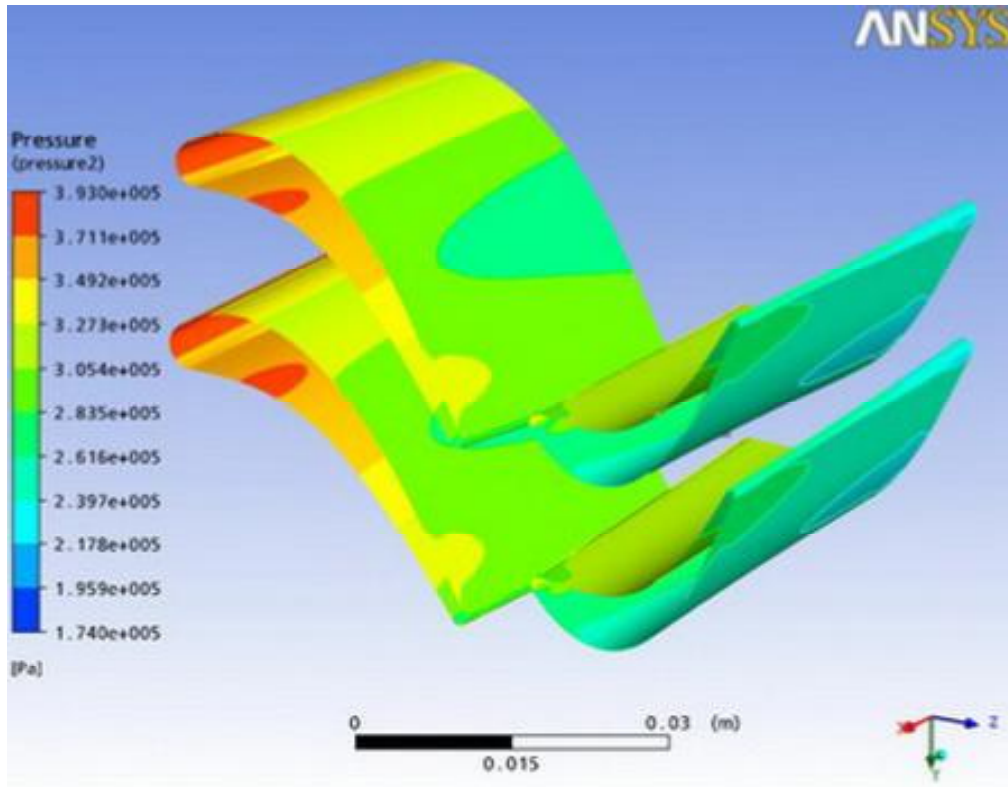
Εικόνα 36. Ροή Ρευστου και κατανομή θερμοκρασίας γύρω από το Πρώτο Στάδιο πτερυγίου



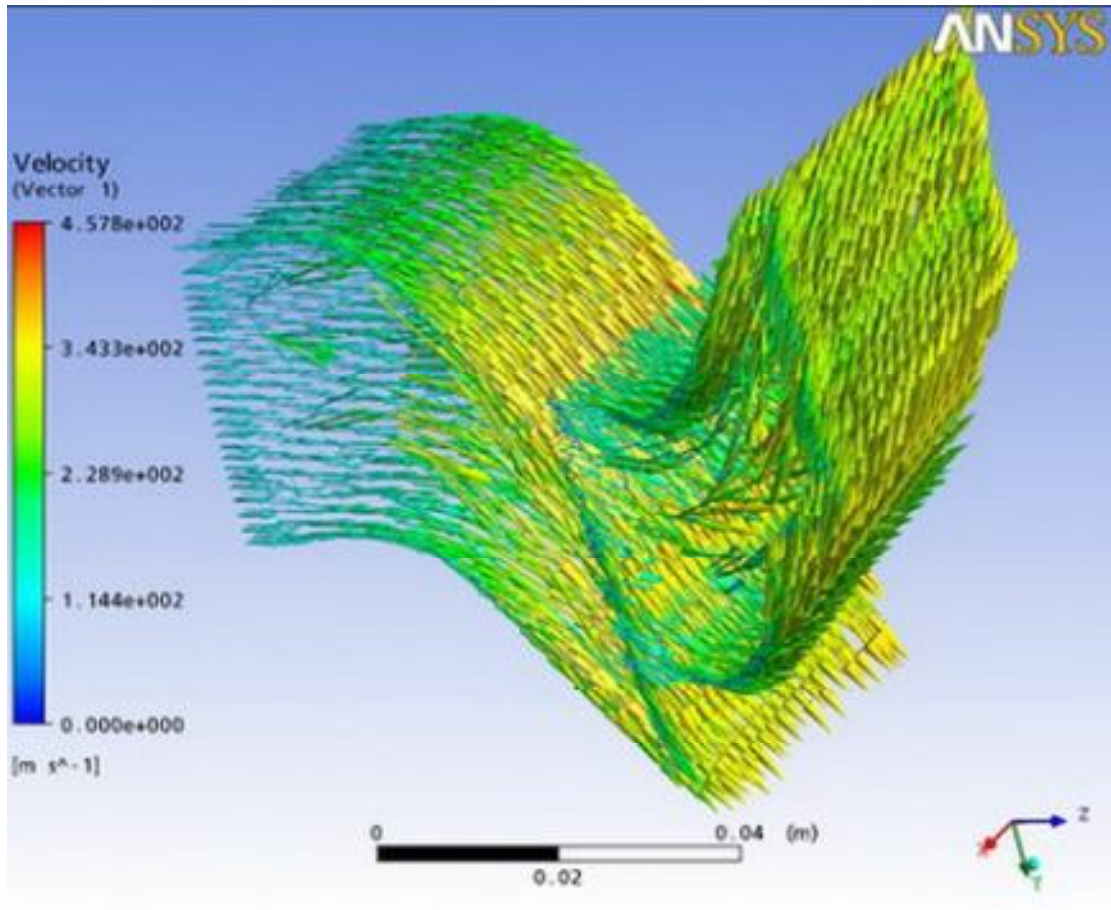
Εικόνα 37. Κατανομή θερμοκρασίας ρευστού και προσαγωγής στο στάτη των πτερυγίων



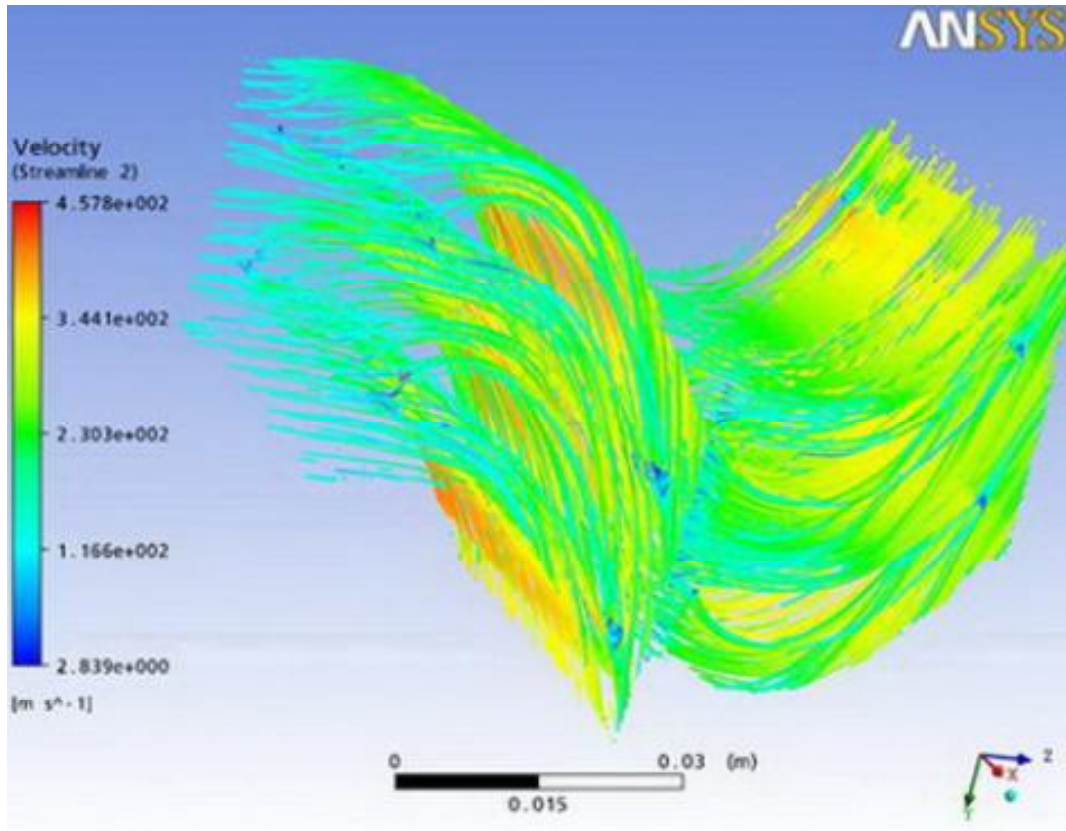
Εικόνα 38. Κατανομή πίεσης ρευστού της ροής γύρω από το Πρώτο Στάδιο Πτερυγίου



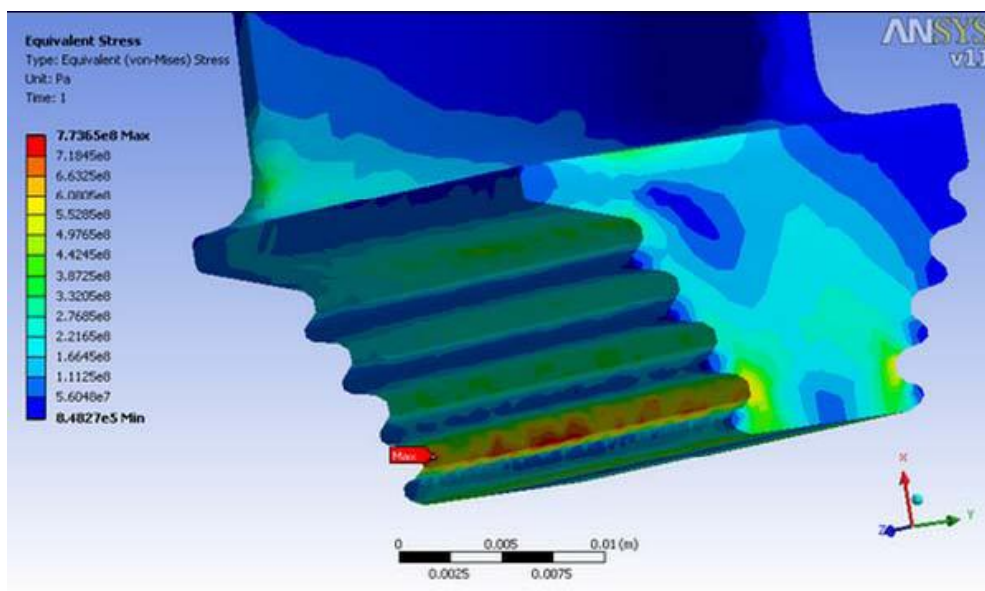
Εικόνα 39. Κατανομή πίεσης του ρευστού της ροής για τα περύγια του στάτη και του ρότορα



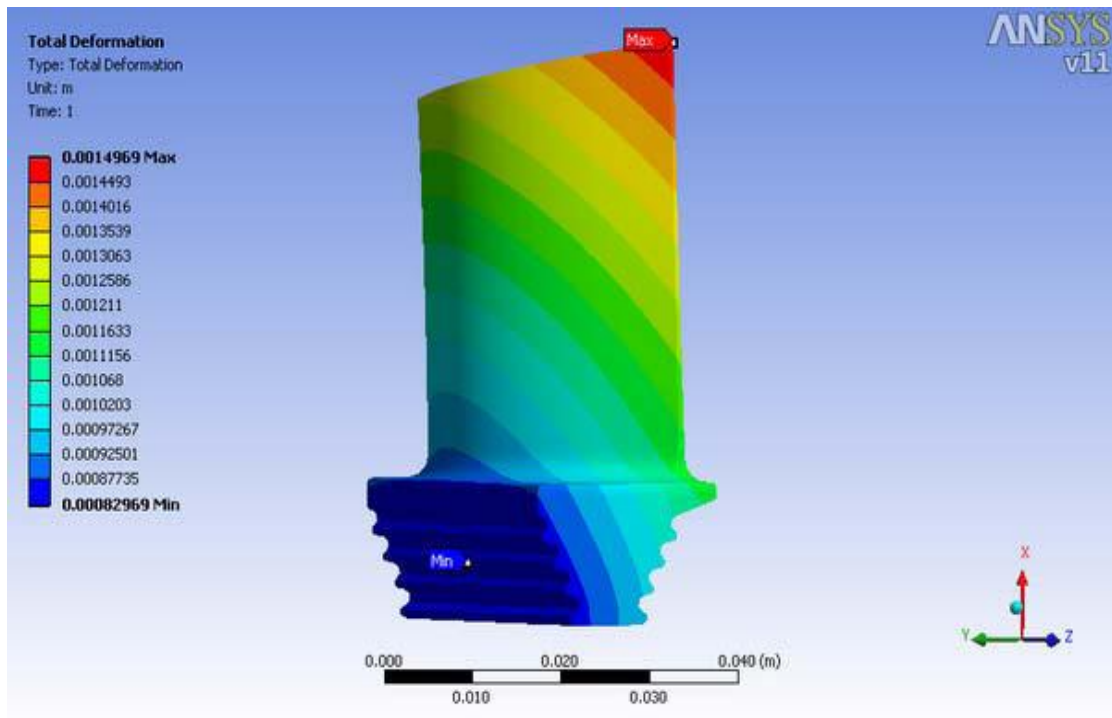
Εικόνα 40. Διάγραμμα ταχυτήτων ροής



Εικόνα 41. Οι ρευματικές γραμμές του ρευστού



Εικόνα 42. Συνισταμένη κατανομή των τάσεων για τα πτερύγια του ρότορα



Εικόνα 43. Συνολική παραμόρφωση των πτερυγίων του ρότορα

Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρθηκαν η διάγνωση βλαβών και συντήρηση αεροστροβίλων. Συγκεντρώθηκαν πληροφορίες για την λειτουργία, διάγνωση βλαβών και συντήρηση αυτών των κινητήρων τόσο σε θεωρία όσο και σε πράξη.

Έτσι δίνεται λεπτομερή γνώση για το κόσμο των αεροστροβίλων, την σημασία της συντήρησης και της ανάγκης οργανωμένης εξακρίβωσης των βλαβών με αποτέλεσμα την αποφυγή πολλών ατυχημάτων. Επίσης δίνεται εκτενώς η έννοια της αναγνώρισης βλαβών, που αποτελεί ένα από μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η βιομηχανία.

Προτείνονται επίσης νέοι τρόποι συντήρησης και ανάγνωσης βλαβών που πέρα από την αύξηση της αποδοτικότητας των μονάδων έχουν μεγάλα οικονομικά κέρδη για τις εκάστοτε εταιρίες.

Δίνεται παράδειγμα για την ανάλυση βλαβών σε αποτυχία ενός αεροστροβίλου σε πρώτο και δεύτερο στάδιο σε πτερύγια από κράμα νικελίου. Έτσι ο συσσωρευμένος χρόνος υπηρεσίας των εν λόγω πτερυγίων είναι περισσότερο από 10 χρόνια.

Στο ίδιο παράδειγμα δόθηκε ο τρόπος οπτικής εξέτασης και φωτογραφικής τεκμηρίωσης και διαπιστώθηκε ότι στην επιφάνεια των πτερυγίων εμφανίζονται ποικίλα χρώματα που μπορεί να αντιπροσωπεύουν την παρουσία οξειδίων του σιδήρου,.

Στη δε περιοχή της πλατφόρμας, τόσο οι κυρτές και κοίλες πλευρές αυτών των πτερυγίων δείχνουν την περίπτωση να έχουν υποστεί διάβρωση. Η διερεύνηση αυτή των πτερυγίων αποκάλυψε την παρουσία της συνεχούς και διάσπαρτης ταινίας των καρβιδίων στους κόκκους και εκτράχυνσης των ιζημάτων που προκύπτουν από την έκθεση σε ακραίες θερμοκρασίες και της μεταγενέστερης λειτουργίας.

Επίσης παρατηρήθηκε ότι όταν υπάρχουν πολλές ρωγμές σε διάφορες περιοχές των πτερυγίων, οφείλονται στη λειτουργία κάτω από υψηλές θερμοκρασίες για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Έγινε δε φανερό ότι η αιτία της βλάβης των πτερυγίων του ρότορα μπορεί να αυξηθεί σε μήκος του πτερυγίου και την επαφή μεταξύ πτερυγίου στο άκρο και στο περίβλημα ως συνέπεια του ερπυσμού μετά από μια παρατεταμένη χρονική περίοδο σε λειτουργία.

Τέλος γίνεται φανερό ότι κάθε εταιρία πρέπει είτε στην βιομηχανία είτε στην αεροναυπηγική να αναπτύξει ειδικά τμήματα διάγνωσης βλαβών, με κύριο στόχο την αποφυγή ατυχημάτων αλλά και την καλύτερη απόδοση των κινητήρων.

Βιβλιογραφία

1. Αεριοστρόβιλοι κινητήρες: Κ. Καρκανίας, Αερ. Μηχανικός ΣΜΑ
Εκδόσεις «ΑΛΦΑ»
2. Συντήρηση αεροσκαφών: Κ. Καρκανίας, Αερ. Μηχανικός ΣΜΑ
Εκδόσεις «ΑΛΦΑ»
3. A & P Mechanics Power plant handbook, FAA
4. The design of High – Efficiency Turbomachinery, David Gordon Wilson,
Theodosios Korinitis
5. Κ. Δ. Ρακόπουλος, “Αρχές Βιομηχανικών Αεριοστροβίλων”, Εκδοτικός
Οργανισμός Γρηγ. Φούντας, Έκδοση 2η, Αθήνα 2001.
6. Κ. Μαθιουδάκης, «Λειτουργία Αεριοστροβίλων & Ατμοστροβίλων»,
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Ρευστών, Εργαστήριο
Θερμικών Στροβιλομηχανών, Αθήνα 1997. 9. W. W. Bathie,
“Fundamentals of Gas Turbines”, econd Edition, John Wiley & Sons,
Inc., 1996.
7. M. P. Boyce, “Gas Turbine Engineering Handbook”, Gulf Publishing
Company, 1982.
8. Mehdi Tofighi Naeem, Seyed Ali Jazayeri, Nesa Rezamahdi, Failure
Analysis of Gas Turbine Blades, Proceedings of The 2008 IAJC-IJME
International Conference
9. Dragoljub Vujić, Diagnostic systems in aircraft engines maintenance,
Scientific-Technical Review, Vol.LV, No.1, 2005

Λίστα με Εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν

Εικόνα 1. Μηχανή εσωτερικής καύσης.....	8
Εικόνα 2. Μηχανή εξωτερικής Καύσης.....	9
Εικόνα 3. Βενζινοκινητήρας.....	12
Εικόνα 4. Νικόλαους Ότο	13
Εικόνα 5. Ρούντολφ Ντήζελ.....	13
Εικόνα 6. Αρχή λειτουργίας των αεριοστρόβιλων.....	14
Εικόνα 7. Τομή του αεριοστροβίλου.....	15
Εικόνα 8. Αεριοστρόβιλος Αεροπορικής Χρήσης	19
Εικόνα 9. Αρχή Αερίωθησης. Παράδειγμα Μπαλονιού.....	21
Εικόνα 10. Εξαγωγή (δράση) , Ώση (αντίδραση) σε κινητήρα αεροσκάφους .	22
Εικόνα 11. Αεριοστρόβιλος ανοικτού κυκλώματος	26
Εικόνα 12. Αεριοστρόβιλος κλειστού κυκλώματος	28
Εικόνα 13. Πύραυλος.....	29
Εικόνα 14. Αθόδυλος (ram jet).....	30
Εικόνα 15. Παλμικός αθόδυλος (Pulse jet).....	31
Εικόνα 16. Στροβιλοαντιδραστήρας (turbojet engine)	32
Εικόνα 17. Ελικοστρόβιλος (turboprop engine).....	33
Εικόνα 18. Αξονοστρόβιλος (turboshaft engine)	35
Εικόνα 19. Στροβιλοανεμιστήρας (turbofan engine).....	36
Εικόνα 20. Στροβιλο-αθόδυλος (turboramjet).....	37
Εικόνα 21. Πυραυλοστρόβιλος (turborocket)	38
Εικόνα 22. Συντήρηση Αεροσκάφους	40
Εικόνα 23. Σειρά 0700 υπολογιστών Smiths.....	47
Εικόνα 24. Κινητήρας Συστήματος Παρακολούθησης.....	48
Εικόνα 25. Εναέριου συστήματος παρακολούθησης	50

Εικόνα 26. Στρόβιλος χαμηλής πίεσης (L.P.T.)	54
Εικόνα 27. Οπτική Επιθεώρηση.....	77
Εικόνα 28. Οπτική Επιθεώρηση μετά από περίθλαση ακτίνων Χ	78
Εικόνα 29. Μικροδομική Αξιολόγηση	79
Εικόνα 30. Ρωγμές και Αξιολόγηση.....	80
Εικόνα 31. Ρωγμές και Αξιολόγηση (πλαστική παραμόρφωση).....	81
Εικόνα 32. Μικροκοιλοτήτες οπου βρέθηκαν σε σπασμένη επιφάνεια.....	82
Εικόνα 33. Περικρυσταλλική ρωγμή στην επίστρωση.....	82
Εικόνα 34. Αρκετές περικρυσταλλικές ρωγμές σε εγκάρσια τομή της επιφάνειας του πτερυγίου.	83
Εικόνα 35. Αρκετές ρωγμές στα όρια των κόκκων λόγω του μηχανισμού παραμόρφωσης.	83
Εικόνα 36. Ροή Ρευστου και κατανομή θερμοκρασίας γύρω από το Πρώτο Στάδιο πτερυγίου	85
Εικόνα 37. Κατανομή θερμοκρασίας ρευστού και προσαγωγής στο στάτη των πτερυγίων	86
Εικόνα 38. Κατανομή πίεσης ρευστού της ροής γύρω από το Πρώτο Στάδιο Πτερυγίου.....	87
Εικόνα 39. Κατανομή πίεσης του ρευστού της ροής για τα πτερύγια του στάτη και του ρότορα	88
Εικόνα 40. Διάνυσμα ταχυτήτων ροής	89
Εικόνα 41. Οι ρευματικές γραμμές του ρευστού.....	90
Εικόνα 42. Συνισταμένη κατανομή των τάσεων για τα πτερύγια του ρότορα .	90
Εικόνα 43. Συνολική παραμόρφωση των πτερυγίων του ρότορα	91