

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ
ΣΤΡΟΒΙΛΟΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΩΝ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΜΗΚΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΑΑΝΤ Φ.

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2016

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ
ΣΤΡΟΒΙΛΟΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΜΗΚΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΜ : 4837

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παρακάτω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να καταδείξει την τεχνολογία και να περιγράψει σταδιακά την εξέλιξη των στροβιλοϋπερπληρωτών ή αλλιώς τούρμπο (turbo), βασικών εξαρτημάτων της σύγχρονης τεχνολογίας των ΜΕΚ

(Μηχανών Εσωτερικής Καύσης). Αρχικά αξίζει να σημειωθεί πως η ανακάλυψη και η εγκατάσταση τους στους κινητήρες αποτελεί σημείο καμπής για την παγκόσμια βιομηχανία των ΜΕΚ. Επιπρόσθετα, υπάρχουν διάφορες προϋποθέσεις και όροι που θα πρέπει να εξασφαλιστούν έτσι ώστε να πάρουμε το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα από ένα turbo, καθώς υπάρχουν τεράστιες καταπονήσεις των μετάλλων και υψηλές θερμοκρασίες σε όλο το σύστημα του. Για να έχει λοιπόν κανείς το επιθυμητό αποτέλεσμα από ένα τέτοιο εξάρτημα πρέπει να εξετάσει τόσο τυχόν μικροπροβλήματα που ενδεχομένως θα προκύψουν όσο και τα υλικά – κράματα από τα οποία αποτελείται, αλλά και τα περιθώρια βελτίωσης του. Καταληκτικά, πρέπει να επισημανθεί πως στην συνέχεια της εργασίας θα αναφερθούν καταλεπτώς η δομή, η απαιτούμενη συντήρηση, καθώς και η λειτουργία υπό φυσιολογικές συνθήκες ενός στροβιλοϋπερπληρωτη.

Abstract

The objective of this final work is to demonstrate the technology and to gradually describe the evolution of turbo, one of the most essential components of modern technology internal combustion engine. First and foremost it's worth noting that the discovery and the installation of the motors is a turning point for the world of internal combustion engines industry. Additionally, there are different requirements and conditions that must be guaranteed in order to get the maximum results from a turbo, as there are enormous strains on metal and high temperatures throughout the system. Therefore, to have one the desired effect of such a component needs to consider both any minor problems that may arise and materials - alloys that make up, and its improvement. In conclusion, it should be noted that in the continuation of this work will be mentioned the structure, the required maintenance and the operation under normal conditions of a turbocharger

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο « Τεχνολογία και Εξέλιξη Στροβιλοϋπερπληρωτών (Turbo) » εκπονήθηκε στην Σχολή Μηχανικών ΑΕΝ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ στο πλαίσιο του μαθήματος Μηχανών Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) του καθηγητή Σαάντ Φ. Έπειτα από συζητήσεις με τον κύριο Σαάντ κατάλαβα πως το θέμα της εργασίας ταίριαζε στα ενδιαφέροντα μου και δεδομένου πως είχα τις γνώσεις να το πραγματευτώ αποφάσισα να καταπιαστώ με αυτό το έργο. Έτσι, έπειτα από πολύμηνη ενασχόληση με το συγκεκριμένο θέμα και αφού κατάφερα να συλλέξω υλικό και σχετικές πληροφορίες από διάφορες πηγές (διαδίκτυο, εγκυκλοπαίδειες, σεμινάρια, συζητήσεις με ειδικούς πάνω στο αντικείμενο) είμαι σε θέση να σας παρουσιάσω ολοκληρωμένη την πτυχιακή μου εργασία και να σας μεταδώσω τις γνώσεις που απέκτησα.

Σ' αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως τον επιβλέποντα καθηγητή κ.Σαάντ, καθώς με εμπιστεύτηκε και συνεργάστηκε μαζί μου αλλά και με τροφοδότησε με πολύτιμες γνώσεις , οι οποίες όχι μόνο στην εργασία μου φάνηκαν χρήσιμες, αλλά θα με βοηθήσουν ιδιαίτερα και ως μελλοντικό Αξιωματικό Εμπορικού ναυτικού. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τόσο τους υπόλοιπους καθηγητές του τμήματος και ιδιαίτερα τον Διευθυντή της Σχολής Μηχανικών κ. Γουργούλη Δ. όσο και την οικογένεια μου που στάθηκαν συνοδοιπόροι σ' αυτό το δύσκολο γεμάτο «φουρτούνες» ταξίδι μου.



Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1.1 Η ιστορία των turbo

Πως μπορεί να βελτιωθεί η απόδοση μίας ΜΕΚ δίχως να μεταβληθεί η χωρητικότητα των κυλίνδρων; Με την συμπίεση περισσότερου αέρα, την γνωστή **μέθοδο υπερτροφοδότησης ή υπερπλήρωσης** (turbocharger για στροβιλοσυμπιεστές με κίνηση από καυσαέρια, superchargers για τους μηχανικούς με κίνηση από τον στροφαλοφόρο). Το αξιοθαύμαστο, πάντως, είναι πως η πρώτη εφαρμογή για την υπερτροφοδότηση δεν είχε να κάνει με κάποιο τετράτροχο αλλά με... πλοία! Το 1925 ο Ελβετός μηχανικός Alfred Büchi σχεδίασε και κατασκεύασε πρωτόλεια συστήματα υπερτροφοδότησης για κινητήρες 2.000 PS. Οι κινητήρες τοποθετήθηκαν σε δύο πλοία και ο Büchi πήρε άδεια χρήσης για την εγκατάσταση συστημάτων υπερτροφοδότησης στην Ευρώπη, Αμερική και Ιαπωνία. Αν και η πρώτη πατέντα για την υπερτροφοδότηση κατοχυρώθηκε από τον Büchi το 1905 (δύο χρόνια μετά την αποφοίτησή του από το Πολυτεχνείο της Ζυρίχης) η χρήση του τούρμπο στο αυτοκίνητο εμφανίσθηκε πολύ αργότερα, στους αγώνες τέλη της δεκαετίας του 1930. Ο Büchi είχε νωρίτερα (το 1915) κάνει πολλές παρουσιάσεις και είχε κατασκευάσει πρωτότυπα τούρμπο για κινητήρες αεροσκαφών ώστε να περιορίσει το πρόβλημα της περιορισμένης σε O₂ ποσότητας αέρα στα μεγάλα υψόμετρα. Στην πράξη όμως το βαρύ -τότε- σύστημα δεν λειτούργησε ποτέ για περισσότερο από μερικές ώρες λόγω της υψηλής πίεσης. Τελικά, το 1925 όπως προαναφέραμε, κατάφερε να ταιριάξει με επιτυχία ένα υπερτροφοδοτή σε κινητήρα ντίζελ βελτιώνοντας την απόδοσή του έως 40%! Και πάλι, όμως, η ιδέα του Büchi ήταν για εκείνα τα χρόνια πολύπλοκη και ακριβή. Κάτι πολύ εντυπωσιακό για την εποχή εκείνη αν και αργότερα η χρήση του τούρμπο δεν κατάφερε να διαδοθεί λόγω των πολλών προβλημάτων (αυξημένη πίεση,

κόπωση τουρμπίνας, αντοχή υλικών, υπερθέρμανση κ.α.) μέχρι να διεισδύσουν και να πάρουν τον έλεγχο των κινητήρων τα μικροτσίπ.

1.1.2 Τι είναι turbo

Τα τούρμπο, ή συμπιεστές εξάτμισης, είναι συσκευές υπερτροφοδότησης αέρα. Τροφοδοτούν δηλαδή τον κινητήρα ΜΕΚ με πεπιεσμένο αέρα, αντί να τον αφήνουν να χρησιμοποιεί τον αέρα σε ατμοσφαιρική πίεση. Αυτό δίνει την δυνατότητα στον κινητήρα να αυξήσει πολύ την απόδοσή του. Τα τούρμπο καταφέρνουν να συμπιέζουν τον αέρα χρησιμοποιώντας μια φτερωτή συμπίεσης αέρα, που περιστρέφεται γρήγορα – κάποιες φορές με πάνω από 15.000 rpm. Η φτερωτή συμπίεσης παίρνει κίνηση από την ροή καυσαερίων που περιστρέφει μια δεύτερη φτερωτή που είναι συνδεδεμένη με τον συμπιεστή μέσω ενός σταθερού άξονα.

Ακούγεται απλό, και θεωρητικά είναι. Το να κάνεις όμως ένα τούρμπο να λειτουργεί αποτελεσματικά, πρέπει να ταιριάζει με τα χαρακτηριστικά του κινητήρα και με την χρήση που γίνεται. Αυτό σημαίνει αμέτρητες επιλογές και μεταβλητές που πρέπει να ληφθούν υπόψιν.

1.1.3 Γιατί turbo

Γιατί λοιπόν να χρησιμοποιήσεις συμπιεστή εξάτμισης αντί για μηχανικό συμπιεστή? Όλοι οι τύποι αύξησης της ιπποδύναμης έχουν τα πλεονεκτήματά τους, αλλά συνολικά, ιδιαίτερα στον χώρο των τεραστιων, το τούρμπο είναι ο βασιλιάς.

Οι ατμοσφαιρικοί κινητήρες έχουν, σε σχέση με τα τούρμπο, πλεονεκτήματα λόγω της απλούστερης λειτουργίας τους και της καλής απόκρισης. Ωστόσο είναι πιο δύσκολο να τους βελτιώσεις σε ισχύ και ροπή σε σύγκριση με τους κινητήρες με τούρμπο.

Οι κινητήρες ΜΕΚ με μηχανικό συμπιεστή (κομπρέσορα) έχουν παρόμοια απόκριση με τις ατμοσφαιρικούς και καλή απόδοση σε όλες τις στροφές, αλλά παράγουν λιγότερη δύναμη συνολικά από εκείνους με συμπιεστή εξάτμισης, είναι λιγότερο αποτελεσματικά και από πλευράς βελτίωσης είναι δυσκολότερα στην τοποθέτηση και την τροποποίηση.

Συνολικά λοιπόν, παρότι υστερούν σε απόκριση σε σχέση με τις άλλες επιλογές, τα τούρμπο προσφέρουν τεράστια κέρδη σε απόδοση με συγκριτική ευκολία, αξιοπιστία και χαμηλότερο κόστος.

Στην ναυτιλία είναι ευρέως διαδεδομένο ότι η μηχανές των πλοίων δεν μπορούν να μην χρησιμοποιήσουν Turbo (Σχήμα 1.1.3) καθώς χωρίς αυτό θα ήταν αδύνατο να παραχθούν αυτές οι τεράστιες υποδυνάμεις που χρειάζονται για την ώση του καραβιού+το φορτίο.



(Σχήμα 1.1.3)

Κεφάλαιο 2

Βασικά εξαρτήματα του turbo

2.1.1 Κέλυφος συμπίεστή

Εδώ μέσα βρίσκεται ο συμπίεστής του αέρα, και είναι η αλουμινένια συσκευή με σχήμα σαλιγκαριού που όλοι συνδέουν με το τούρμπο (σχήμα 2.1.1). Είναι σφραγισμένο, με μια εισαγωγή στο κέντρο (αναρρόφηση) και μια εξαγωγή στο άκρο του σπιδάλ. Το κέλυφος του συμπίεστή καθαυτό, όπως και η εισαγωγή και η εξαγωγή του, μπορεί να διαφέρει τρομερά σε μέγεθος, ανάλογα με το μέγεθος του συμπίεστή και την χρήση για την οποία προορίζεται.



(Σχήμα 2.1.1)

2.1.2 Κέλυφος τουρμπίνας

Το κέλυφος της τουρμπίνας, ή αλλιώς **μαντέμι** (για να αντέχει τις υψηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων), έχει παρόμοιο, σαλιγκαροειδές σχήμα με το κέλυφος του συμπίεστή. Είναι τοποθετημένο αμέσως μετά τον οχετό εξαγωγής της μηχανής. Η ροή καυσαερίων κινείται αντίθετα με την ροή αέρα στον συμπίεστή, με τα καυσαέρια να εισέρχονται από το άνοιγμα στο άκρο του σαλιγκαριού και να εξέρχονται μέσω της τρύπας στο κέντρο.

2.1.3 Φτερωτή συμπιεστή

Πρόκειται για μια φτερωτή (Σχήμα 2.1.3) που, μέσω της περιστροφής του, ρουφά τον αέρα μέσα στο κέλυφος του συμπιεστή και τον στέλνει στην μηχανή.

Είναι συνδεδεμένος με σταθερό άξονα - που διαπερνά κάθετα το κέλυφος - με την φτερωτή της τουρμπίνας και επομένως, όταν τα καυσαέρια περιστρέφουν την τουρμπίνα, εκείνη με την σειρά της περιστρέφει τον συμπιεστή.



(Σχήμα 2.1.3)

2.1.4 Φτερωτή τουρμπίνας

Η τουρμπίνα (Σχήμα 2.1.4) είναι μια φτερωτή παρόμοιου σχεδίου με τον συμπιεστή. Τα καυσαέρια που ρέουν μέσα στο μαντέμι την περιστρέφουν, και εκείνη περιστρέφει τον άξονα του συμπιεστή – και επομένως τον ίδιο τον συμπιεστή.

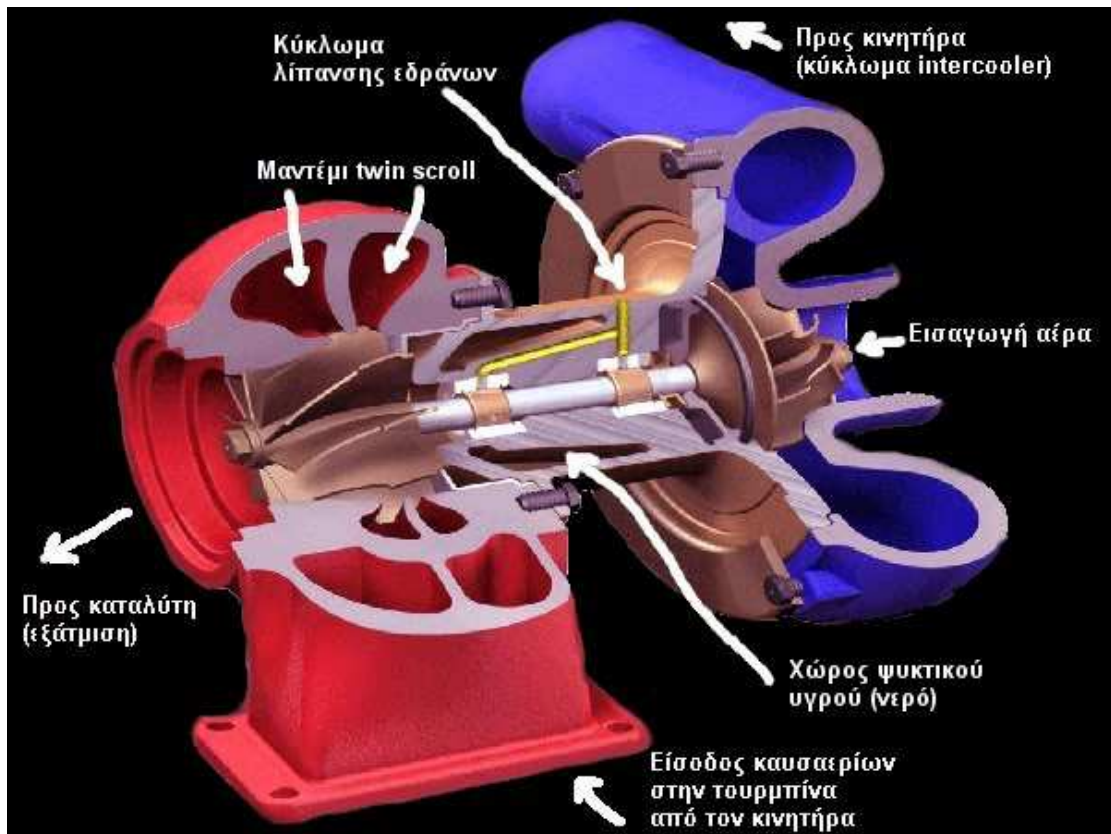


(Σχήμα 2.1.4)

2.1.5 Κεντρικό σώμα

Το σώμα (Σχήμα 2.1.5) βρίσκεται στο κέντρο του τούρμπο, μεταξύ του συμπιεστή και της τουρμπίνας, και μέσα του συμβαίνουν αρκετά που διατηρούν εν ζωή το τούρμπο.

Στην κορυφή του εισέρχεται από τον κινητήρα λάδι υπό πίεση, που ψύχει και λιπαίνει τον άξονα και τα ρουλεμάν, που βρίσκονται τοποθετημένα στο κέντρο του. Μέσα στο σώμα κυκλοφορεί επίσης νερό, για ενίσχυση της ψύξης.



(Σχήμα 2.1.5)

2.1.6 Άξονας τουρμπίνας

Ο άξονας (Σχήμα 2.1.6) αυτός συνδέει την τουρμπίνα με τον συμπιεστή. Μέσα στο σώμα, ο άξονας υποστηρίζεται από δύο ρουλεμάν ή κουζινέτα.



(Σχήμα 2.1.6)

Κεφάλαιο 3

Τύποι ρουλεμάν

3.1.1 Πλεούμενου τύπου

Τέτοιου τύπου εξαρτήματα χρησιμοποιεί η συντριπτική πλειονότητα των κινητήρων με υπερπλήρωση, και λειτουργούν παρόμοια με τα ρουλεμάν στον κινητήρα. Αυτά τα δαχτυλίδια που αγκαλιάζουν τον άξονα είναι συνήθως κατασκευασμένα από μέταλλο και «πατάνε» πάνω σε μια λεπτή στρώση πεπιεσμένου λαδιού. Τα περισσότερα turbo όμως που χρησιμοποιούνται στα πλοία και επειδή έχουν μεγάλο μέγεθος διαθέτουν κουζινέτα για την ολίσθηση τριβής του άξονα. Η λίπανση τους γίνεται από μια δεξαμενή που βρίσκεται ακριβώς πάνω από το turbo και γεμίζει από το ίδιο λάδι που κυκλοφορεί στην ίδια την μηχανή.

Στα συμβατικά τούρμπο υπάρχουν συνήθως τρία ρουλεμάν μέσα στο σώμα: δύο στενά με μεγάλο πάχος σε κάθε πλευρά του άξονα, που τον συγκρατούν από την επίδραση των δυνάμεων περιστροφής και ένα φαρδύ και λεπτό, που λέγεται θρος, και αναλαμβάνει να συγκρατεί τα διαμήκη φορτία στον άξονα.

3.1.2 Ένσφαιρα ρουλεμάν

Αυτός ο τύπος ρουλεμάν γίνεται όλο και διασημότερος στον χώρο της βελτίωσης.

Παρότι θεωρείται “νέος” τύπος ρουλεμάν, είναι ουσιαστικά το ίδιο στυλ που χρησιμοποιείτο συνήθως μέχρι την δεκαετία του '50. Ωστόσο, τότε δεν υπήρχε η κατάλληλη τεχνολογία για να αποδώσει κατάλληλα. Το κεντρικό τμήμα του ρουλεμάν καλύπτει τον άξονα της τουρμπίνας και στις άκρες του περιέχει δύο ένσφαιρους τριβείς, που συγκρατούν τα φορτία που τείνουν να προκαλέσουν περιστροφική και αξονική κίνηση στον άξονα, εκμηδενίζοντας την ανάγκη για χρήση δύο διαφορετικών ρουλεμάν για κάθε είδος φορτίου.

Τα ένσφαιρα ρουλεμάν αντέχουν περισσότερες πιέσεις από τα συμβατικά δαχτυλίδια και μειώνουν επίσης την ανάγκη για λίπανση χάρη στην έμφυτα μικρή τριβή που δημιουργείται από την επαφή των μεταλλικών σφαιρών στον άξονα. Το πιο διάσημο πλεονέκτημα των ρουλεμάν τέτοιου τύπου είναι το γρηγορότερο «γέμισμα» του τούρμπο λόγω μικρότερης αντίστασης και η μικρότερη υστέρηση λόγω της μικρότερης ανάγκης για λίπανση. Στην πραγματικότητα η διαφορά δεν είναι μεγάλη αν χρησιμοποιήσεις τέτοια ρουλεμάν, αλλά πρόκειται για μια πολύ χρήσιμη προσθήκη σε οποιοδήποτε τούρμπο.

Κεφάλαιο 4

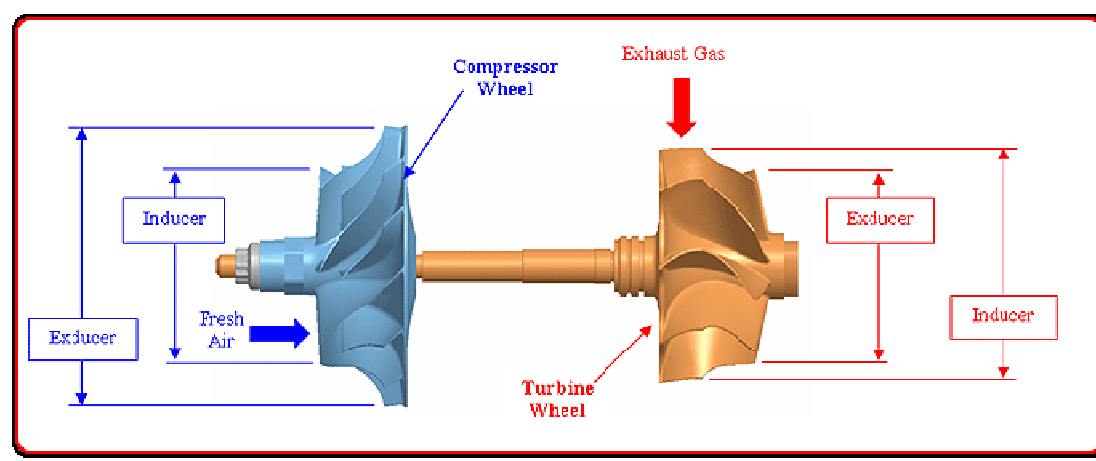
Πως επηρεάζουν τα εξαρτήματα την λειτουργία του turbo

4.1.1 Διάμετρος inducer

ο inducer είναι το πρώτο νοητό επίπεδο των λεπίδων του συμπιεστή, και το μέγεθός του δίνει μια σχετικά ακριβή ένδειξη για την ισχύ που μπορεί να παράγει ένας συμπιεστής συγκεκριμένης διαμέτρου. όσο μεγαλύτερη η διάμετρος του inducer τόσο μεγαλύτερη η ροή και επομένως η παραγόμενη ισχύς.

4.1.2 Διάμετρος exducer

Πρόκειται για το εξωτερικό άκρο του συμπιεστή, όπου “βρίσκει” ο αέρας πριν βγει από το τούρμπο. Το μέγεθός του σε σχέση με την διάμετρο του inducer είναι σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό της μέγιστης πίεσης που αντέχει να χρησιμοποιήσει ένας συμπιεστής. Όσο μεγαλύτερος exducer, τόσο μεγαλύτερη και η πίεση που μπορεί να παραχθεί.



4.1.3 Wheel trim συμπίεστή

Το wheel trim είναι ο όρος για την διαφορά μεταξύ του μεγέθους του inducer και του exducer – και αυτή η διαφορά στο μέγεθος προκαλεί αρκετά πράγματα να συμβούν. Όπως ανέφερα νωρίτερα, όσο μεγαλύτερο το inducer του συμπίεστή, τόσο μεγαλύτερη η ροή που μπορεί να διαχειριστεί ο συμπίεστής. Όμως, όσο μεγαλύτερο το inducer σε σχέση με το exducer (που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερο αριθμό wheel trim, αν και δεν θα σε κάνω να βαρεθείς με υπολογισμούς), τόσο πιο αργή η απόκριση του τούρμπο, αλλά και τόσο μεγαλύτερες οι πιθανότητες να συμβεί το compressor surge, δηλαδή να βγει η τουρμπίνα εκτός χάρτη λειτουργίας και να ρουφάει κενό αντί για αέρα με καταστροφικές συνέπειες για αυτήν. Από την άλλη, αν αυξήσεις το μέγεθος του exducer χωρίς να αυξήσεις το inducer (δηλαδή, χαμηλότερος αριθμός wheel trim), το τούρμπο θα υστερεί λιγότερο και θα είναι λιγότερο επιρρεπές στο compressor surge. Στην πραγματικότητα όλα τα τούρμπο πρέπει να διαθέτουν την κατάλληλη αναλογία μεταξύ των μεγεθών inducer και exducer, και η αλλαγή του wheel trim συνήθως χρησιμοποιείται για μικρορυθμίσεις όμοιων τούρμπο για κάποια συγκεκριμένη χρήση – κάτι ανάλογο με την αλλαγή της αναλογίας A/R στην πλευρά της τουρμπίνας.

4.1.4 Λόγος A/R

Ο λόγος A/R είναι βασικά ένα νούμερο που δείχνει το μέγεθος του κελύφους της τουρμπίνας. Το A είναι το εμβαδόν της διατομής του κελύφους και το R είναι η ακτίνα – δηλαδή η απόσταση μεταξύ του κέντρου περιστροφής του άξονα του τούρμπο και του κέντρου της διατομής. Οι τιμές A/R εκφράζονται ως ,63, 85, 1,15 κ.λπ.: όσο μεγαλύτερη η τιμή A/R, τόσο μεγαλύτερη η χωρητικότητα του κελύφους. Το μεγαλύτερο A/R σημαίνει ότι η ροή καυσαερίων στην τουρμπίνα είναι μεγαλύτερη – και επομένως η παραγόμενη δύναμη περισσότερη, αλλά εις βάρος της απόκρισης. Ο υπερβολικά μεγάλος A/R θα αυξήσει τρομερά την υστέρηση, αλλά και υπερβολικά μικρή τιμή A/R μειώνει την απόδοση στις ψηλές στροφές. Με παρόμοιο τρόπο με το wheel trim του συμπίεστή, τα περισσότερα τούρμπο μπορούν να... οικειοποιηθούν τρεις ή τέσσερις τιμές A/R για να ρυθμιστούν κατάλληλα για την

εκάστοτε χρήση τους. Και τα κελύφη των συμπιεστών διαθέτουν τιμές A/R: αγνόησέ τις. Ο λόγος A/R επηρεάζει ελάχιστα την πλευρά της συμπίεσης.

4.1.5 Σχήμα λεπίδων συμπιεστή

Άλλο ένα πράγμα που διαφέρει από τούρμπο σε τούρμπο, ακόμα και μεταξύ εκείνων με ίδια διάμετρο φτερωτής και wheel trim, είναι το σχήμα των λεπίδων της φτερωτής. Παρότι είναι ένα θέμα πολύ σύνθετο για να εξηγηθεί με λεπτομέρεια, αυτές οι λεπίδες διαθέτουν καμπύλες διαφόρων ακτίνων και γωνίες διαφόρων μοιρών, σχεδιασμένες ώστε να ταιριάζουν στην χρήση κάθε τούρμπο.

4.1.6 Κομμένες λεπίδες

Συχνά ακούς τον όρο κομμένες λεπίδες (ή λεπίδες cut back) που χρησιμοποιείται όταν η συζήτηση αναφέρεται σε υβριδικά τούρμπο. Αυτό που εννοεί ο όρος είναι ότι οι λεπίδες της τουρμπίνας είναι “ψαλιδισμένες”, κάνοντας ουσιαστικά μικρότερη την φτερωτή της τουρμπίνας, πράγμα που αυξάνει την ροή στο μαντέμι και πιθανώς και την ισχύ. Δυστυχώς, μειώνει την αποτελεσματικότητα του τούρμπο και αυξάνει την υστέρησή του – γενικά, δεν συνιστάται για σύγχρονα τούρμπο.

4.1.7 Τρυπημένο κέλυφος συμπιεστή

Κοιτώντας την αναρρόφηση στον συμπιεστή, το τρυπημένο κέλυφος συμπιεστή είναι οι θύρες τριγύρω από την αναρρόφηση του συμπιεστή. Αυτές οι θύρες είναι τοποθετημένες σε ύψος μεταξύ του ορίου της εισαγωγής αέρα και της εξωτερικής διαμέτρου του συμπιεστή και είναι σχεδιασμένες ώστε να εμποδίζουν το compressor surge.

4.1.8 Χωρισμένη διατομή τουρμπίνας

Για να χρησιμοποιήσεις τουρμπίνα με την διατομή του κελύφους του μαντεμιού χωρισμένη σε δύο τομείς, πρέπει και να την συνδυάσεις και με χωρισμένη στα δύο πολλαπλή εξαγωγή. Το χώρισμα στα δύο είναι χρήσιμο επειδή, διαχωρίζοντας την ροή των καυσαερίων, “ταΐζεις” την τουρμπίνα με πιο διακριτούς παλμούς καυσαερίων, αντί να της παρέχεις ένα μεγάλο κύμα καυσαερίων – και αυτό βοηθά το τούρμπο να γεμίζει πιο εύκολα, ιδιαίτερα στις χαμηλές στροφές. Το δεύτερο

πλεονέκτημα της χωρισμένης διατομής και πολλαπλής εξαγωγής είναι ότι αυξάνει την ισχύ, διατηρώντας χωριστά την ροή καυσαερίων που προέρχεται από κάθε κύλινδρο.

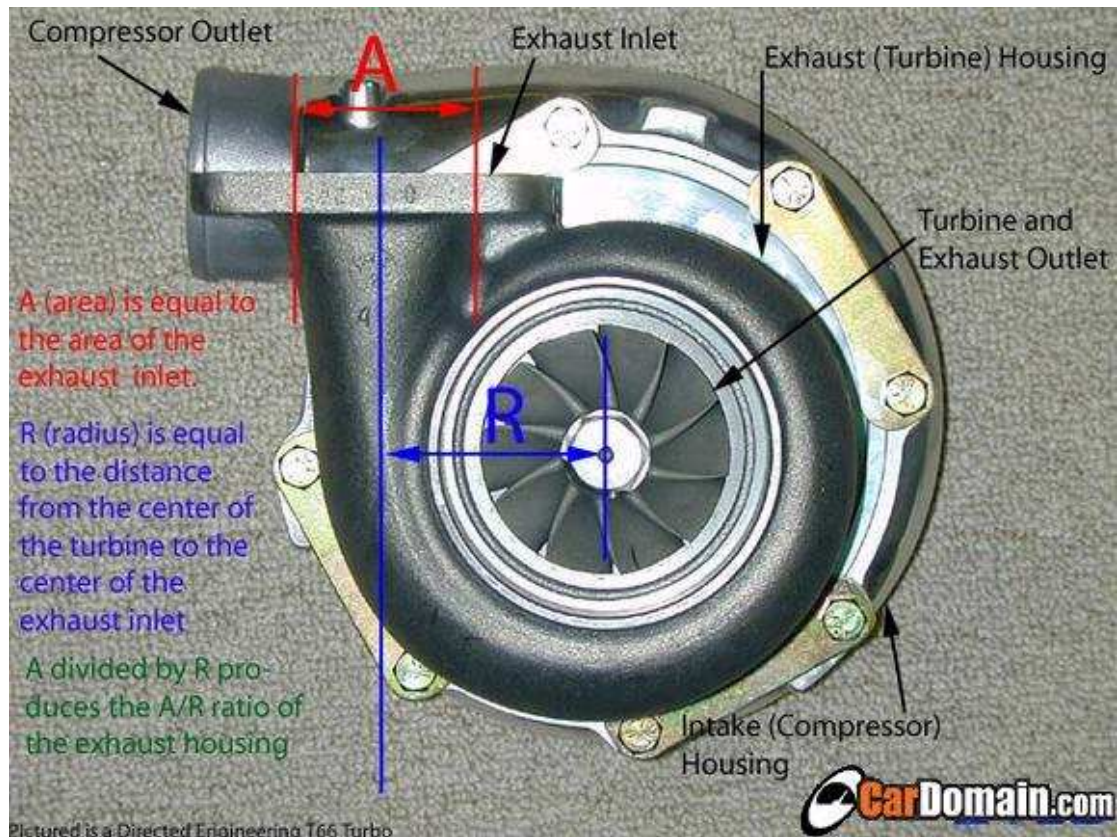
4.1.9 Εσωτερική wastegate

Οι wastegates χρησιμοποιούνται για να επιτρέπουν στα καυσαέρια να παρακάμπτουν την τουρμπίνα εμποδίζοντάς την να υπερστρέφει και συνεπώς δίνοντάς σου την δυνατότητα να ελέγχεις την πίεση. Η εσωτερική wastegate είναι ένα διάφραγμα τοποθετημένο στο κέλυφος της τουρμπίνας, που πιέζεται από ένα ελατήριο που ελέγχεται από έναν actuator, την πίεση του οποίου πρέπει να υπερνικήσει η πίεση των καυσαερίων, ώστε να ανοίξει το διάφραγμα. Οι εσωτερικές wastegates τοποθετούνται συνήθως σε μικρά τούρμπο, επειδή ο ρυθμός αποβολής των καυσαερίων που μπορούν να επιτύχουν είναι μικρότερος από ότι των εξωτερικών wastegates, που για αυτόν τον λόγο προτιμώνται σε μεγαλύτερους στροβιλοσυμπιεστές.

4.1.10 Εξωτερική wastegate

Οι εξωτερικές wastegates υπηρετούν τον ίδιο σκοπό με τις εσωτερικές, αλλά είναι ξεχωριστά εξαρτήματα.

Γενικά αποβάλλουν μεγαλύτερο όγκο καυσαερίων από τις εσωτερικές. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται είναι επειδή τα μεγάλα τούρμπο χρειάζονται μεγαλύτερη παράκαμψη καυσαερίων για να μην καταστραφούν από την υπερβολική αύξηση της πίεσης (overboosting), ιδιαίτερα σε τουρμπίνες που λειτουργούν σε χαμηλές πιέσεις υπερπλήρωσης. Το δεύτερο πλεονέκτημα των εξωτερικών wastegates είναι πως, αν το σύστημα εξαγωγής είναι σχεδιασμένο καλά, παρέχουν καλύτερη ροή καυσαερίων, αυξάνοντας συνολικά την απόδοση – ιδιαίτερα όταν το τούρμπο βρίσκεται στα όριά του.



Κεφάλαιο 5

Η βασική λειτουργία του

5.1 Γενικά

Ο σκοπός του turbo είναι να καταφέρει να τροφοδοτήσει τον κινητήρα ΜΕΚ, στην περίπτωση μας την μηχανή του πλοίου με περισσότερο αέρα, τον οποίο μπορούμε να τον αξιοποιήσουμε μαζί με παραπάνω καύσιμο ώστε να αποδώσει η μηχανή μας μεγαλύτερη ισχύ.

Το turbo αποτελείται από 2 μέρη , τον στρόβιλο και τον συμπιεστή (Σχήμα 5.1). Ο στρόβιλος και ο συμπιεστής έχουν πανομοιότυπη μορφή , στρογγυλό σχήμα με μία είσοδο και μία έξοδο για το καθένα (μοιάζουν με το σχήμα του σαλιγκαριού) καθώς και από μία φτερωτή που εδράζεται πάνω σε έναν άξονα.



(Σχήμα 5.1)

Η διαφορά τους εντοπίζεται στο υλικό κατασκευής τους καθώς και στην αρχή λειτουργίας τους (Σχήμα 5.2).



(Σχήμα 5.2)

Στο παρακάτω βίντεο μπορούμε να δούμε λεπτομερώς την βασική λειτουργία ενός στροβιλουπερπληρωτή.

Κεφάλαιο 6

Υλικά εξαρτημάτων

6.1 Γενικά

Παρότι η πλειονότητα των τούρμπο αποτελείται από φτερωτές και κελύφη συμπιεστή από αλουμίνιο, ατσάλινους άξονες και σιδερένια κελύφη τουρμπίνας, υπάρχουν αμέτρητες παραλλαγές στα υλικά ανάλογα με τα θερμικά φορτία και την εκάστοτε εφαρμογή για την οποία προορίζονται.

Οι πετρελαιοκινητήρες κανονικά αρκούνται στην χρήση συμβατικών υλικών, επειδή τα καυσαερίά τους έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία από ότι των κινητήρων βενζίνης. Ωστόσο, σε βενζινοκινητήρες υψηλής απόδοσης συνήθως χρησιμοποιούνται πιο εξωτικά υλικά, που αντέχουν περισσότερη θερμότητα.

6.1.2 Κράματα Κελυφών

Τα κελύφη τουρμπινών υψηλής απόδοσης συνήθως αποτελούνται από ένα κράμα σιδήρου ονόματι 'Ni Resist', που περιέχει μεγάλο ποσοστό νικελίου για αντοχή σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες, ενώ κάποια κατασκευάζονται ακόμα και από HK30, ένα πανάκριβο κράμα ατσαλιού και 'Inconel' (που είναι και αυτό ένα κράμα που περιέχει νικέλιο).

6.1.3 Κράματα φτερωτών τουρμπίνας

Οι φτερωτές τουρμπινών υψηλής απόδοσης συνήθως κατασκευάζονται από ‘Inconel’, αλλά σε ακραίες καταστάσεις κατασκευάζονται από MarM247, που διαθέτει εξαιρετικά υψηλό σημείο τήξης. Επίσης, κάποιες φορές κατασκευάζονται από τιτάνιο ή ακόμα και από κεραμικά υλικά για μικρότερο βάρος και καλύτερη απόκριση – αν και οι κεραμικές φτερωτές είναι αρκετά εύθραυστες σε σχέση με τις μεταλλικές.

6.1.4 Κράματα φτερωτών συμπιεστή

Οι φτερωτές και τα κελύφη συμπιεστή δεν δέχονται τόσο μεγάλα θερμικά φορτία όσο η τουρμπίνα, και έτσι είναι εφικτό να κατασκευάζονται από μαγνήσιο σε ακραίες περιπτώσεις, εξοικονομώντας αρκετό βάρος συγκριτικά με τα συμβατικά κράματα.

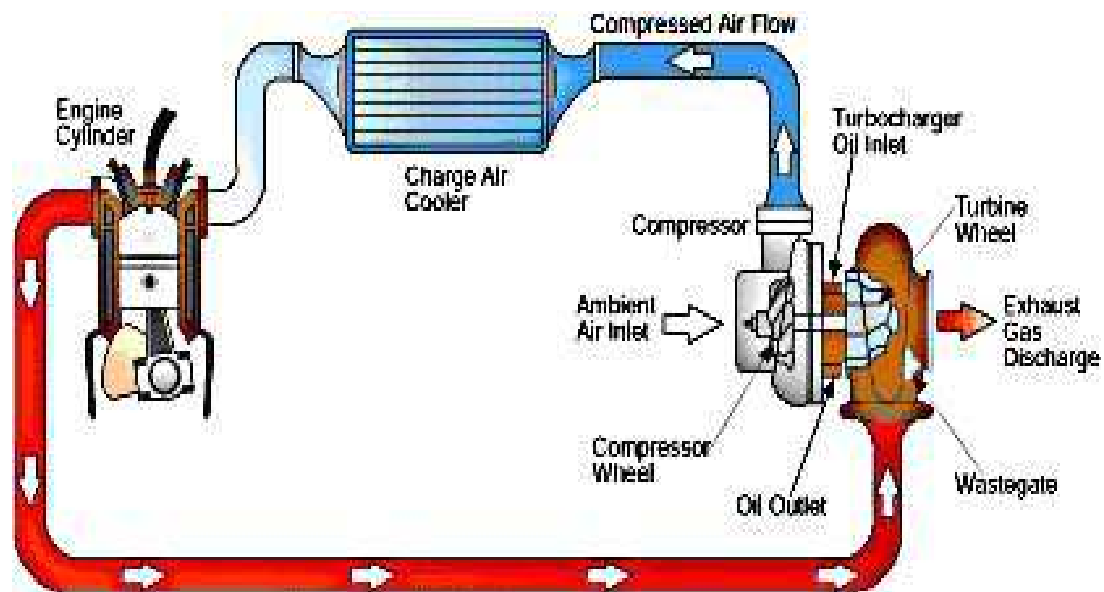
6.1.5 Κράματα στροβίλου

Ο στρόβιλος , είναι κατασκευασμένος από μαντέμι (ώστε να αντέχει τις υψηλές θερμοκρασίες) . Έχει στο ένα μέρος του σαλιγκαριού του μία είσοδο , στην οποία διοχετεύονται τα καυσαέρια που έρχονται από την πολλαπλή εξαγωγής .Τα καυσαέρια συνεχίζουν την πορεία τους μέσα στο σαλιγκάρι και προσδίδουν μέρος της κινητικής τους ενέργειας στην φτερωτή αναγκάζοντάς την να περιστραφεί και έπειτα βγαίνουν από την έξοδο του στροβίλου , η οποία βρίσκεται στο πίσω μέρος του , και συνεχίζουν μέσω του down pipe την πορεία τους προς την ατμόσφαιρα.

6.1.6 Κράματα Συμπιεστή

Ο συμπιεστής είναι φτιαγμένος από αλουμίνιο . Η φτερωτή που έχει μέσα του , λόγω του ότι συνδέεται με έναν άξονα με την φτερωτή του στροβίλου , αναγκάζεται να περιστραφεί μιας και η φτερωτή του στροβίλου με την οποία συνδέονται περιστρέφεται. Έτσι η φτερωτή προσδίδει μέρος της κινητικής της ενέργειας στον εισερχόμενο αέρα (αυξάνει δηλαδή την πίεση στον αέρα που είναι μετά την φτερωτή) και έτσι ο συμπιεστής ρουφάει αέρα τον οποίο στέλνει πρώτα στο aircooler

(Σχήμα 6.1.6) για να ρίξει την θερμοκρασία του και έπειτα μέσω των σωληνώσεων οδηγείται στον χώρο καύσης.



(Σχήμα 6.1.6)

Οι περωτές των συμπιεστών κατασκευάζονται είτε από χυτά υλικά είτε από σφυρήλατα, όπως κράματα αλουμινίου χάλυβας (για υψηλή αντοχή), ή ακόμη και τιτάνιο (λύση υψηλότερου κόστους). Το κέλυφος του συμπιεστή κατασκευάζεται συνήθως από χυτό αλουμίνιο. Περωτή ακτινικού συμπιεστή κατασκευασμένη από αλουμίνιο. 27 Οι περωτές των στροβίλων παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες ως προς την επιλογή των υλικών, καθώς ανήκουν στο θερμό τμήμα του στροβιλο-υπερπληρωτή, και συνεπώς οι απαιτήσεις τόσο θερμικής όσο και μηχανικής αντοχής είναι ιδιαίτερα υψηλές. Οι ακτινικοί στρόβιλοι κατασκευάζονται μέσω χύτευσης ακριβείας, ενώ οι αξονικοί στρόβιλοι αποτελούνται από σφυρήλατο δίσκο με ξεχωριστά περύγια. Ο δίσκος του ρότορα συνήθως αποτελείται από κράμα χάλυβα – χρωμίου - νικελίου (chrome – nickel steel) και τα περύγια από Nimonic 80A (τυπική σύσταση 50%Ni-20%Cr με προσμίξεις τιτανίου και αλουμινίου). Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή του υλικού εξαρτάται από το πεδίο χρήσης του εκάστοτε στροβιλο-υπερπληρωτή. Για παράδειγμα, σε μεγάλους 2-X κινητήρες η θερμοκρασία των καυσαερίων που διέρχονται απ το στρόβιλο δεν ξεπερνά τους 500οC, ενώ σε 2-X Otto κινητήρες στοιχειομετρικής καύσης οι θερμοκρασίες μπορεί να ξεπεράσουν τους 1000οC. Συνεπώς έχουμε διαφορετικά κριτήρια επιλογής υλικού λόγω των διαφορετικών θερμοκρασιακών συνθηκών στα περύγια. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια κερδίζουν συνεχώς έδαφος τα κεραμικά υλικά. Περωτή αξονικού στροβίλου κατασκευασμένη από κεραμικό υλικό. Όσον αφορά το κέλυφος του στροβίλου,

χρησιμοποιούνται υλικά όπως σίδηρος με προσμίξεις σφαιροειδή γραφίτη ώστε να αντιμετωπιστούν οι δυσμενείς θερμικές καταπονήσεις.

Στα παρακάτω βίντεο μπορούμε να δούμε με ποιον τρόπο γίνεται η χύτευση των μετάλλων και η κατασκευή ενός στροβιλουπερπληρωτή (Turbo).

<https://www.youtube.com/watch?v=0oXMH9sp7LM>

<https://www.youtube.com/watch?v=Ri7XTYbBlhg>

Κεφάλαιο 7

Συντήρηση

7.1 Γενικά

1. Καθαρίζουμε το φίλτρο του αέρα σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Αν η μηχανή δουλεύει σε περιβάλλον, που δεν είναι καθαρό, επιβάλλεται συχνότερος καθαρισμός.
2. Ελέγχουμε τακτικά τα συστήματα εισαγωγής και εξαγωγής για διαρροές ή φθορές στις ενώσεις των σωληνώσεων. Οποιαδήποτε φθορά ή διαρροή επιβάλλεται να διορθώνεται άμεσα, με μεγάλη σχολαστικότητα στο λύσιμο και δέσιμο.
3. Κατά τη διάρκεια της συντήρησης, παίρνουμε προσεκτικά μέτρα για να μην πέσει σκόνη, σκουπίδια ή μικροαντικείμενα στα συστήματα εισαγωγής και εξάτμισης, γιατί μπορεί να καταστρέφουν το συμπιεστή και την τουρμπίνα

Κεφάλαιο 8

Σημεία που θέλουν προσοχή!

8.1 Γενικά

1. Οι κραδασμοί από την κύρια μηχανή πολλές φορές έχουν σαν συνέπεια να παθαίνουν ζημιά οι ενώσεις των σωληνώσεων του αέρα και του λαδιού λίπανσης. Καθημερινά θα πρέπει να ελέγχουμε για διαρροές στα παραπάνω, αλλά και στην κυκλοφορία του νερού, αν το turbo μας είναι υδρόψυκτο.
2. Φραγμένα φίλτρα αέρα, ασυγχρόνιστες αντλίες πετρελαίου και υπερβολική αντίθλιψη στο σύστημα εξαγωγής, που προκαλεί μερικό φράξιμο, μπορεί να κάνει το turbo να καπνίζει.
3. Το ξαφνικό σταμάτημα του turbo από έλλειψη λίπανσης ή υπερβολικό παίξιμο του άξονα, μπορεί να προκαλέσει ζημιά στα στρεφόμενα μέρη του, που συνήθως κτυπούν στο κάλυμμα.
4. Αν υπάρχει ανάγκη και εφόσον δεν υπάρχουν σκουπίδια, είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε τη μηχανή για μικρό χρονικό διάστημα, σε χαμηλές όμως στροφές.
5. Ο καθαρός αέρας είναι το παν για το turbocharger. Οι τεράστιες ποσότητες αέρα, που μπαίνουν στον αεροσυμπιεστή, επιβάλλουν να είμαστε σχολαστικοί στην καθαρότητά του. Ελέγχουμε συχνά τις ελαστικές σωληνώσεις μεταξύ του φίλτρου του αέρα και του συμπιεστή. Καταλαβαίνετε τι συμβαίνει όταν ένα κομματάκι περάσει μέσα! Με τις στροφές, που στρέφεται, θα το τινάζει.
6. Μάθετε πώς αφαιρείται το κάλυμμα του συμπιεστή. Έτσι μόνο θα μπορείτε να καθαρίζετε συχνά τα στρεφόμενα μέρη.
7. Η τουρμπίνα, ο συμπιεστής και ο άξονας είναι κατασκευασμένο με πολύ μικρές ανοχές, γι αυτό θέλουν χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας. Ελέγχουμε, λοιπόν, τακτικά το ψυγείο για να βεβαιωθούμε πως λειτουργούν κανονικά.

8. Η λίπανση του turbo, ειδικά επειδή λειτουργεί σε πολλές στροφές, χρειάζεται μεγάλη προσοχή. Με μεγάλη σχολαστικότητα πρέπει να αλλάζουμε τα φίλτρα, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και να χρησιμοποιούμε πάντα λάδια καλής ποιότητας, όπως είπαμε παραπάνω, ειδικά για μηχανές εφοδιασμένες με turbocharger.

Κεφάλαιο 9

Έξι βασικές αιτίες ζημιών ενός στροβιλοϋπερπληρωτή

9.1 Γενικά

- Έλλειψη λαδιού
- Καθυστέρηση λαδιού
- Είσοδος ακαθαρσιών
- Εισαγωγή ξένων αντικειμένων
- Υπερθέρμανση
- Μη ζυγοστάθμιση

Κεφάλαιο 10

Βελτίωση απόδοσης

10.1 Γενικά

Γνωρίζοντας πλέον τους μηχανισμούς αστοχίας που μπορούν να αναπτυχθούν σε καθεμιά περίπτωση ξεχωριστά λόγω του περιβάλλοντος λειτουργίας, η γενική απόδοση ενός κράματος είναι δυνατό να βελτιωθεί με προσθήκες κατάλληλα επιλεγμένων μετάλλων. Οι προσθήκες αυτές, φυσικά θα επιλεγούν λαμβάνοντας υπόψη τα συγκεκριμένα προβλήματα και τους μηχανισμούς που το υλικό πρόκειται να αντιμετωπίσει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Ακολουθεί μια σύντομη αναφορά των μεταλλικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της

απόδοσης των κραμάτων καθώς και μια περιγραφή της φύσης των επιμέρους πλεονεκτημάτων που επιφέρουν:

- **Νικέλιο:** Παρέχει μεταλλουργική σταθερότητα, βελτιώνει τη θερμική σταθερότητα και την ικανότητα συγκόλλησης, καθώς επίσης και την αντίσταση στο φαινόμενο της εργοδιάβρωσης.
- **Χρώμιο:** Βελτιώνει την αντίσταση ενάντια στην οξείδωση λόγω της παρουσίας καυστικών ουσιών και στο φαινόμενο της οξείδωσης λόγω της έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, ενισχύει την αντίσταση στη ρηγμάτωση της επιφάνειας και στο σκάσιμο του μετάλλου λόγω διάβρωσης.
- **Μολυβδαίνιο:** Βελτιώνει την αντίσταση στη ρηγμάτωση της επιφάνειας και στο σκάσιμο του μετάλλου λόγω διάβρωσης σε υδατικό περιβάλλον που περιέχει χλωρίδια. Συμβάλλει επίσης, στην αύξηση της αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες
- **Σίδηρος:** Βελτιώνει την αντίσταση στη δημιουργία καρβιδίων σε υψηλές θερμοκρασίες, μειώνει το κόστος των κραμάτων και ελέγχει το συντελεστή θερμικής διαστολής.
- **Χαλκός:** Βελτιώνει την αντίσταση στη διάβρωση λόγω παρουσίας οξέων και αλάτων. Οι προσθήκες χαλκού σε κράματα νικελίου–χρωμίου–μολυβδαινίου–σιδήρου παρέχουν βελτιωμένη αντίσταση σε υδροχλωρικά, φωσφορικά και θειικά οξέα.
- **Αλουμίνιο:** Βελτιώνει την αντίσταση σε οξείδωση στις υψηλές θερμοκρασίες και ευνοεί τη σκλήρυνση του κράματος μέσω της δυναμικής του γήρανσης.
- **Τιτάνιο:** Συνδυαζόμενο με τον άνθρακα μειώνει την τάση του υλικού για διάβρωση στα όρια των κόκκων και ενισχύει τη σκλήρυνση του κράματος μέσω της δυναμικής του γήρανσης.
- **Νιόβιο (κολόβιο):** Συνδυαζόμενο με τον άνθρακα μειώνει την τάση του υλικού για διάβρωση στα όρια των κόκκων, βελτιώνει την αντίσταση στη ρηγμάτωση της

επιφάνειας και στην αποφλοιώση του μετάλλου λόγω διάβρωσης. Συνολικά βελτιώνει την αντοχή του υπερκράματος σε υψηλές θερμοκρασίες.

- **Ταντάλιο:** Βελτιώνει την αντίσταση στην τοπική διάβρωση, και ενισχύει την αντοχή και την ικανότητα συγκόλλησης.
- **Αζωτο:** Ενισχύει τη μεταλλουργική σταθερότητα, βελτιώνει την αντίσταση στη ρηγματώση της επιφάνειας και στην αποφλοιώση του μετάλλου λόγω διάβρωσης και ενισχύει την αντοχή του κράματος.
- **Κοβάλτιο:** Παρέχει υψηλή αντοχή για λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς και αντίσταση σε περιβάλλον καυτής διάβρωσης.

Κεφάλαιο 11

Ονοματολογία turbo

11.1 Γενικά

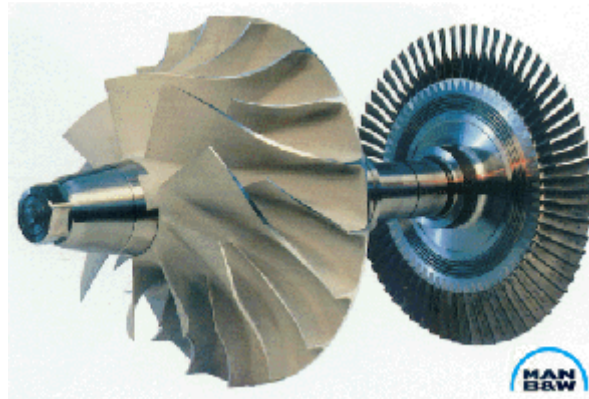
Τα ονόματα των τούρμπο είναι απίστευτα μπερδεμένα και αντιφατικά και, δυστυχώς, αν δεν διαθέτεις τα τεχνικά χαρακτηριστικά μιας τουρμπίνας, δεν μπορείς να είσαι σίγουρος αν είναι κατάλληλη για τον κινητήρα σου κρίνοντας από το όνομά της και μόνο.

Ονόματα όπως π.χ ABB T3 και T4 είναι απλά πρόχειρες εκτιμήσεις μεγεθών, βασισμένες στην εισαγωγή της τουρμπίνας – ακόμα και αυτό όμως δεν είναι πάντα σωστό. Και τα πράγματα μπερδεύονται ακόμα περισσότερο - τουρμπίνες όπως η T28, η T3/4 ή ακόμα και η T4 είναι συνήθως τουρμπίνες εισαγωγής T2 και T3 με μεγαλύτερα κελύφη συμπιεστή που προσφέρουν μεγαλύτερη δύναμη από ότι οι συμβατικές T2 και T3.

Συζητώντας για μεγάλα τούρμπο T4 και T6, θα ακούσεις να αποκαλούνται ως T610, T880 κλπ. Αυτή είναι η διάμετρος inducer σε χιλιοστά και είναι μια χρήσιμη ένδειξη, επειδή προσφέρει μια γενική εκτίμηση για την μέγιστη ισχύ που μπορεί να δώσει ένα τούρμπο.

Πρόσεξε όμως: τα ονόματα τούρμπο Trust/ GReddy T780 και T880 δεν αναφέρονται στην διάμετρο inducer και είναι στην πραγματικότητα αρκετά μικρότερα από ότι τα τούρμπο ABB T780 και T880.

Βασικά, είναι πολύ δύσκολο να βγάλεις άκρη, αλλά με λίγη εμπειρία και κοινή λογική σύντομα θα τα καταφέρεις. Το σημαντικό είναι, αν δεν καταλαβαίνεις κάτι, να διαβάσεις το manual του κατασκευαστή.



Κεφάλαιο 12

Χάρτες λειτουργίας

12.1 Γενικά

Η αποτελεσματικότητα των τούρμπο αφορά βασικά το πόσο καλά λειτουργεί συνολικά ένα τούρμπο και ο μόνος εφικτός τρόπος να την προβλέψεις είναι με την εμπειρία και με υποθέσεις. Το μοναδικό μέρος που μπορείς να προβλέψεις με ευκολία είναι η αποτελεσματικότητα του συμπιεστή, χάρη στους χάρτες λειτουργίας.

Ο χάρτης λειτουργίας είναι μια διδιάστατη γραφική απεικόνιση που δείχνει την πίεση του αέρα (συνήθως σε bar) στον κάθετο άξονα και την ροή αέρα (συνήθως σε λίμπρες ανά λεπτό) στον οριζόντιο. Το πλάτος από το “νησάκι” που σχηματίζεται στο γράφημα δείχνει την μέγιστη πιθανή ροή του συγκεκριμένου συμπιεστή –για παράδειγμα τα 60 lb/min, αντιστοιχούν σε περίπου 600 άλογα. Το ύψος του “νησιού” από την άλλη δείχνει την μέγιστη πιθανή πίεση υπερπλήρωσης για τον συγκεκριμένο συμπιεστή, πλην ένα bar (επειδή 1 bar είναι η ατμοσφαιρική πίεση στο επίπεδο της θάλασσας. Έτσι, για παράδειγμα, μια ένδειξη τεσσάρων bar σημαίνει πίεση υπερπλήρωσης τριών bar.

Εκτός από τις εξωτερικές γραμμές του “νησιού” στην γραφική παράσταση, θα προσέξεις και εσωτερικές γραμμές. Αυτές δείχνουν τα επίπεδα αποτελεσματικότητας με διαφορετικές πιέσεις και ροές αέρα. Μικρότερη αποτελεσματικότητα του συμπιεστή σημαίνει γενικά περισσότερη θερμότητα, οπότε χρειάζεσαι καλύτερο intercooler.

Το τελευταίο πράγμα που αξίζει να παρατηρήσεις σε έναν χάρτη λειτουργίας είναι η περιοχή αριστερά από το «νησάκι», που αντιπροσωπεύει την περιοχή του surge. Αν το τούρμπο σου λειτουργεί υπό αυτές τις συνθήκες, θα έχει φτωχή απόδοση και η πιθανότητα για βλάβη είναι μεγάλη.

Για να χρησιμοποιήσεις οποιοδήποτε κομμάτι του χάρτη χρειάζεσαι εμπειρία με υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες MEK και την προβλεπόμενη ροή αέρα, ιδιαίτερα όταν υπολογίζεις το surge. Για παράδειγμα, το σημείο 10 lb και 2,2 bar, στα αριστερά του σχήματος, σημαίνει ότι αν έχεις έναν μικρό κινητήρα με περιορισμένη ροή αέρα που χρειάζεται 1,2 bar για να παράγει 100 ίππους, είναι πιθανόν το τούρμπο του να παρουσιάσει compressor surge – και μάλλον θα είναι καλύτερα να το αντικαταστήσεις με κάποιο άλλο, πιθανώς μικρότερο.

Κεφάλαιο 13

Θερμοκρασίες εισαγωγής και γέμισμα turbo

13.1 Γενικά

Ανεξάρτητα από την ατμοσφαιρική του θερμοκρασία, όταν ο αέρας συμπιεστεί από το τούρμπο βγαίνει από μέσα του καυτός, ίσως και πάνω από 300 βαθμούς Κελσίου σε κινητήρες με υψηλή πίεση υπερπλήρωσης. Αυτό όχι μόνο μειώνει την δυναμική ιπποδύναμη, αλλά και βλάπτει την αξιοπιστία, επειδή ο κινητήρας τροφοδοτείται με υπερβολικά ζεστό αέρα. Όσο γρηγορότερα γυρίζει ένα τούρμπο και όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση υπερπλήρωσης, τόσο υψηλότερες γίνονται οι θερμοκρασίες του εισερχόμενου αέρα, πράγμα που σημαίνει ότι η ανάγκη για ψύξη αυξάνεται όταν αυξάνεται η πίεση υπερπλήρωσης. Ο γενικός κανόνας λέει ότι, όσο πιο κρύος ο αέρας στην μηχανή, τόσο καλύτερα για το τούρμπο - και για αυτό τοποθετούμε aircoolers, charge coolers και συστήματα ψεκασμού νερού.

Όπως μάλλον θα γνωρίζεις, η χωρητικότητα του κινητήρα είναι ο βασικότερος παράγοντας που επηρεάζει το πόσο γρήγορα γεμίζει το τούρμπο, με την μεγαλύτερη χωρητικότητα να σημαίνει μεγαλύτερη κατανάλωση αέρα/ παραγωγή καυσαερίων ανά στροφή του κινητήρα για να γεμίσει το τούρμπο. Οι εκκεντροφόροι μικρής διάρκειας και οι μικροί αυλοί εξαγωγής βοηθούν επίσης, αφού κρατούν την ταχύτητα της ροής καυσαερίων ψηλά (στις τετράχρονες μηχανές).

Ακόμα και απλά πράγματα, όπως η “καθαρή” διαδρομή εισαγωγής και εξαγωγής, βελτιώνουν την ταχύτητα με την οποία γεμίζει το τούρμπο, όπως και η διατήρηση της διαμέτρου των σωληνώσεων στο κατάλληλο μέγεθος και της απόστασης που έχει να διανύσει η ροή αέρα από και προς τον κινητήρα στο μικρότερο δυνατό μήκος.

Το κατά πόσο γρήγορα γεμίζει κάθε τούρμπο δεν επηρεάζεται μόνο από τις ταχύτητες της ροής αλλά και την θερμότητα.. Στην πραγματικότητα, το βασικό χαρακτηριστικό που βοηθά το τούρμπο να γεμίσει μόνο αυτή. Οπότε, η χρήση κεραμικής επίστρωσης ή το τύλιγμα με heat wrap στον οχετό εξαγωγής ή ακόμα και στο κέλυφος της τουρμπίνας βοηθά, αν και πιθανώς εις βάρος της αξιοπιστίας, λόγω της επιπλέον θερμότητας που δημιουργείται.

Περιέργως, ο παράγοντας που αρκετοί θεωρούν σημαντικότερο, η υψηλή σχέση συμπίεσης, επηρεάζει μακράν λιγότερο την κατάσταση σε σχέση με τους υπόλοιπους.

Κεφάλαιο 14

Προηγμένη τεχνολογία

14.1 Γενικά

Τα τελευταία 25 χρόνια οι κατασκευαστές τούρμπο πειραματίζονται με αρκετούς ανορθόδοξους τρόπους βελτίωσης της διαδικασίας γεμίσματος του τούρμπο, με ποικίλα αποτελέσματα.

Οι περισσότερες παραλλαγές της βασικής ιδέας του τούρμπο βασίζονται στην χρήση κινούμενων ελασμάτων που αλλάζουν τον λόγο A/R, κάνοντάς τον μικρότερο στις χαμηλές στροφές για να μειώσουν την υστέρηση, ενώ προοδευτικά, καθώς

αυξάνονται οι στροφές και η πίεση υπερπλήρωσης, τον μεγαλώνουν για καλύτερη ισχύ.

Αυτά τα τούρμπο, αποκαλούμενα συνήθως ως τούρμπο μεταβλητής διαμέτρου, χρησιμοποιούνται ευρέως σε σύγχρονους πετρελαιοκινητήρες, επειδή οι χαμηλές θερμοκρασίες των καυσαερίων του diesel εμποδίζουν την δημιουργία προβλημάτων αξιοπιστίας, που συναντώνται όταν χρησιμοποιούνται σε βενζινοκινητήρες..

Κατά καιρούς έχουν κατασκευαστεί διάφορα στυλ τούρμπο μεταβλητής διαμέτρου. Ωστόσο, τα ελάσματα κολλάνε εύκολα και είναι δύσκολο να τα ελέγξεις - είτε ηλεκτρονικά, είτε μέσω ενός actuator που λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο με την μια wastegate – και έτσι δεν χρησιμοποιούνται ακόμα ευρέως στον χώρο της βελτίωσης, όπως μάλλον θα συμβεί στο μέλλον.

Άλλες παραλλαγές τούρμπο περιλαμβάνουν χωρισμένη στα δύο διατομή πολλαπλής εξαγωγής, με την μία της μεριά να παραμένει κλειστή σε χαμηλές στροφές/ πιέσεις υπερπλήρωσης. Αυτό αναγκάζει τα καυσαέρια να εξέρχονται μόνο από μία δίοδο, γεμίζοντας το τούρμπο γρηγορότερα, με την άλλη δίοδο να ανοίγει προοδευτικά σε υψηλές στροφές/ πιέσεις υπερπλήρωσης για βέλτιστη ροή.

Οι τελευταίες εξελίξεις στο θέμα αφορούν τουρμπίνες με ηλεκτρική υποβοήθηση, όπου ηλεκτροκινητήρες βοηθούν το τούρμπο να γεμίσει, αλλά δυστυχώς δεν έχουμε δει τούρμπο παραγωγής βασισμένα στο συγκεκριμένο σχέδιο.

14.1.2 Διπλά τούρμπο

Σε υπερτροφοδοτούμενες μηχανές π.χ. τετραχρονης μηχανές πλοίων (ηλεκτρομηχανές) με επίπεδους ή V κινητήρες είναι πιο αποτελεσματικό να έχεις από ένα τούρμπο σε κάθε πλευρά κυλίνδρων, επειδή έτσι μπορείς να τα τοποθετήσεις πολύ πιο κοντά στην εξαγωγή του κινητήρα, βοηθώντας τα να γεμίζουν ευκολότερα. Στους επίπεδους εξακύλινδρους κινητήρες κάποιες φορές προτιμάται η χρήση δύο μη σειριακά τοποθετημένων μικρών τούρμπο από την χρήση ενός μεγάλου, αν και στις μέρες μας η γκάμα σε τουρμπίνες είναι τόσο μεγάλη, που ένα μονό τούρμπο μπορεί να έχει ίδια απόκριση με δύο μικρότερα ίσης συνολικά παραγόμενης ισχύος.

14.1.3 Σειριακά διπλά τούρμπο

Τα περισσότερα container ships με διπλά τούρμπο χρησιμοποιούν σειριακή διάταξη. Αυτό σημαίνει ότι τα τούρμπο γεμίζουν πρώτα το ένα και μετά το άλλο. Το ένα γεμίζει γρήγορα σε χαμηλές στροφές και μετά, καθώς αυξάνεται ο ρυθμός περιστροφής, τα καυσαέρια διοχετεύονται και στο δεύτερο τούρμπο, αυξάνοντας την ισχύ στις ψηλές στροφές. Αυτό αποδίδει πολύ καλά, παρότι το σύστημα μπορεί να γίνει πολύ περίπλοκο, που σημαίνει ότι είναι δύσκολο να μετατρέψεις συμβατικά συστήματα σε σειριακά και να έχεις μεγάλα κέρδη σε ιπποδύναμη.

14.1.4 Σύνθετη υπερτροφοδότηση

Τα περισσότερα τούρμπο δεν αποδίδουν καλά όταν τους ζητείται να παράγουν τεράστιες πιέσεις υπερπλήρωσης και, παρότι ένα μονό τούρμπο μπορεί να δώσει μέχρι και πέντε bar σε ακραίες εφαρμογές, αυτό θα πρέπει να είναι τεράστιο και με μεγάλη υστέρηση.

Κάποιοι ισχυροί diesel και αγωνιστικοί κινητήρες λύνουν αυτό το πρόβλημα με την χρήση σύνθετης υπερτροφοδότησης, που βασικά αφορά τούρμπο που στέλνουν αέρα σε άλλα τούρμπο.

Αντί να διαμοιράζεις τα καυσαέρια και τον αέρα εισαγωγής σε δύο τούρμπο σύμφωνα με τα συμβατικά συστήματα διπλών τούρμπο, το σύνολο της ροής καυσαερίων και αέρα περνά από το ένα τούρμπο και κατόπιν από το άλλο. Σε επίπεδο εισαγωγής αέρα αυτό σημαίνει ότι το δεύτερο τούρμπο συμπιέζει ήδη πεπιεσμένο αέρα, δημιουργώντας πίεση ακόμα και μεγαλύτερη από 10 bar σε ακραίες περιπτώσεις, υποκείμενο σε μια λογική υστέρηση. Ωστόσο, εκτός από το ότι χρειάζεσαι και έναν κινητήρα που να μπορεί να αντέχει αυτές τις απίστευτα μεγάλες πιέσεις, η συμπίεση του αέρα σε τέτοιο βαθμό δημιουργεί τεράστιες ποσότητες θερμότητας που απαιτούν τρομερά αποτελεσματικό σύστημα ψύξης.

14.1.5 Συμπιεστής τύπου Comprex

Αυτός ο ασυνήθιστος συνδυασμός τούρμπο και κομπρέσορα είναι σπάνιος, αλλά διαθέτει αρκετές προοπτικές και έχει δοκιμαστεί από την δεκαετία του '80 στους κινητήρες της Ferrari για την F1. Ποτέ όμως δεν προχώρησε στην αγορά κυρίως επειδή είναι τόσο πολύπλοκος, που δεν θα προσπαθήσω καν να τον εξηγήσω με λεπτομέρειες!

Οι συμπιεστές αυτοί παίρνουν κίνηση από ιμάντα, όπως οι κομπρέσορες, και χρησιμοποιούν τα καυσαέρια για να συμπιέζουν τον αέρα, όπως τα τούρμπο, αλλά στην ουσία δεν λειτουργούν σαν κανένα από τα δύο.

Το σύστημα ιμάντων περιστρέφει τον συμπιεστή, αλλά η περιστροφή καθαυτή δεν συμπιέζει τον αέρα, οπότε δεν μειώνει την ισχύ του κινητήρα σαν τον κομπρέσορα. Στην πραγματικότητα, τα καυσαέρια χρησιμοποιούνται ως κύμα υψηλής πίεσης που συγκρούεται με την ροή αέρα περίπου στην ταχύτητα του ήχου, συμπιέζοντάς την μέχρι δύο ή και τρία bar και στέλνοντάς την στον κινητήρα.

Ακούγεται σαν το τέλειο σύστημα, αλλά η πραγματικότητα είναι διαφορετική. Η πολυπλοκότητα και το μικρό παράθυρο θερμοκρασιών και στροφών βέλτιστης λειτουργίας το κάνουν λιγότερο αποτελεσματικό από τα τούρμπο και τους κομπρέσορες, και αυτό είναι που μέχρι τώρα το εμποδίζει να χρησιμοποιηθεί ευρέως.

14.1.6 Διπλή υπερτροφοδότηση

Η διπλή υπερτροφοδότηση είναι η χρήση μηχανικού συμπιεστή και συμπιεστή εξαγωγής, που μαζί στέλνουν συμπιεσμένο αέρα στον κινητήρα και βελτιώνουν συνολικά την απόκριση. Οι κομπρέσορες παρέχουν άμεσα θετική πίεση υπερπλήρωσης ανεξαρτήτως ρυθμού περιστροφής, ενώ οι συμπιεστές εξάτμισης δίνουν την καλύτερη απόδοση από όλες τις μορφές υπερπλήρωσης σε υψηλές στροφές και πιέσεις, οπότε ο συνδυασμός των δύο φαίνεται ιδανική λύση. Στην πραγματικότητα το σύστημα αυτό δεν είναι όσο τέλειο φαίνεται, αλλά αν εφαρμοστεί σωστά σου δίνει έναν κινητήρα με τρομερή ιπποδύναμη.

Υπάρχουν τρεις τρόποι να χρησιμοποιήσεις διπλή υπερτροφοδότηση στον κινητήρα σου, όλοι τους με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Ο πιο κοινός και αποτελεσματικός τρόπος είναι να χρησιμοποιείς το τούρμπο και τον κομπρέσορα “εν σειρά”, με το τούρμπο να τροφοδοτεί τον κομπρέσορα με αέρα (στα αμάξια μόνο). Τα κύρια πλεονεκτήματα είναι ότι αυτή είναι η απλούστερη μέθοδος και, επειδή ο κομπρέσορας συμπιέζει ήδη πεπιεσμένο αέρα, οι υψηλές πιέσεις υπερπλήρωσης έρχονται χωρίς μεγάλη προσπάθεια, μειώνοντας το backpressure. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της λύσης είναι η παραγωγή εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών, που κάνει την χρήση πολύ μεγάλου και αποτελεσματικού intercooler απαραίτητη.

Ένας άλλος τρόπος εφαρμογής διπλής υπερτροφοδότησης είναι η τοποθέτηση των δύο συμπιεστών παράλληλα και η συνεργασία τους – κάποιες φορές λειτουργεί πρώτο το τούρμπο, κάποιες άλλες ο κομπρέσορας - αλλά με την ύπαρξη μιας βαλβίδας που επιτρέπει στον αέρα να παρακάμπτει τον κομπρέσορα στις υψηλές στροφές. Ο λόγος για αυτό είναι ότι οι κομπρέσορες είναι λιγότερο αποτελεσματικοί από τα τούρμπο σε υψηλές πιέσεις. Οπότε, όταν ο κομπρέσορας παρακάμπτεται - και ίσως αποσυνδέεται μέσω κάποιου ηλεκτρομαγνητικού συμπλέκτη - υπό τέτοιες συνθήκες, αφήνει το τούρμπο να κάνει όλη την δουλειά και έτσι μειώνονται οι θερμοκρασίες και οι απώλειες που προκαλεί ο κομπρέσορας, με αποτέλεσμα την μείωση της κατανάλωσης. Προφανώς έτσι χάνεις τα πλεονεκτήματα της σύνθετης υπερτροφοδότησης και αυξάνεις την πολυπλοκότητα, αλλά αυτό το σύστημα ταιριάζει καλύτερα σε αυτοκίνητα παραγωγής.

Η τελευταία μέθοδος είναι η πιο σπάνια, αλλά συναντάται σε εφαρμογές aftermarket. Εδώ, τούρμπο και κομπρέσορας διαθέτουν διαφορετικά κυκλώματα, και οι ξεχωριστές σωληνώσεις του αέρα συναντιούνται λίγο πριν το intercooler.

Συνήθως ο κομπρέσορας παρακάμπτεται ή αποσυνδέεται στις υψηλές πιέσεις υπερπλήρωσης και χρησιμοποιούνται βαλβίδες ενός δρόμου για να εμποδίσουν την ροή να επιστρέφει από τον ένα συμπιεστή στον άλλον. Κύριο πλεονέκτημα του εν λόγω συστήματος είναι πως οι δύο συμπιεστές δεν περιορίζουν ο ένας την λειτουργία του άλλου, αλλά η μέθοδος αυτή είναι αρκετά περίπλοκη και για αυτό δεν χρησιμοποιείται και πολύ.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Είδαμε λοιπόν πόσο σημαντικός παράγοντας είναι ο στροβιλουπερπληρωτής ή αλλιώς ‘Turbo’ για την λειτουργία των κινητήρων ΜΕΚ. Είδαμε από τι εξαρτήματα αποτελείται, τι πρέπει να προσέχουμε, πως πρέπει να συντηρείται και πόσο σημαντικό ρόλο παίζουν τα μέταλλα-κράματα κατασκευής αυτού, εργοστασιακά ή ‘after market’ (αγοράς βελτίωσης), καθώς όσο εξελίσσεται η τεχνολογία τόσο περισσότερα περιθώρια βελτίωσης μπορούν να υπάρξουν.



ΤΕΛΟΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://www.burnout.gr/articles/tehnika-themata/turbo-technologies-part-i>
2. <http://www.burnout.gr/articles/tehnika-themata/turbo-technologies-part-ii>
3. <http://www.burnout.gr/articles/features/lexiko-tis-veltiosis-part-iii>
4. <https://www.google.gr/search?biw=1366&bih=667&noj=1&site=webhp&q=nimentis+%CE%B2%CE%BF%CF%85%CE%B3%CE%B9%CE%BF%CF%85%CE%BA%CE%BB%CE%B1%CE%BA%CE%B7%CF%82+%CE%BA%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1+%CF%83%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%B2%CE%B9%CE%BB%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CF%89%CE%BD&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwjN87Snz5jKAhUBXiwKHVjbDfEQBQgYKAA>
6. <https://www.youtube.com/watch?v=DqWKNuTppmU>
7. <https://www.youtube.com/watch?v=Ri7XTYbBlhg>
8. <https://www.youtube.com/watch?v=0oXMH9sp7LM>
9. <http://www.caroto.gr/2013/04/07/%CF%80%CE%BF%CE%B9%CE%BF%CF%82-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%B7%CF%83%CE%B5-%CF%84%CE%BF-%CF%84%CE%BF%CF%8D%CF%81%CE%BC%CF%80%CE%BF/>

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Πρόλογος.....	5
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 2: Βασικά εξαρτήματα του turbo.....	10
Κεφάλαιο 3: Τύποι ρουλεμάν.....	14
Κεφάλαιο 4: Πώς επηρεάζουν τα εξαρτήματα την λειτουργία του turbo.....	16
Κεφάλαιο 5: Η βασική λειτουργία του.....	20
Κεφάλαιο 6: Υλικά εξαρτημάτων.....	22
Κεφάλαιο 7: Συντήρηση.....	25
Κεφάλαιο 8: Σημεία που θέλουν προσοχή.....	26
Κεφάλαιο 9: Έξι βασικές αιτίες ζημιών ενός στροβιλοϋπερπληρωτή.....	27
Κεφάλαιο 10: Βελτίωση απόδοσης.....	27
Κεφάλαιο 11: Ονοματολογία turbo.....	29
Κεφάλαιο 12: Χάρτες Λειτουργίας.....	30
Κεφάλαιο 13: Θερμοκρασίες εισαγωγής και γέμισμα turbo.....	31
Κεφάλαιο 14: Προηγμένη τεχνολογία.....	32
Επίλογος – Συμπεράσματα.....	37
Βιβλιογραφία.....	38