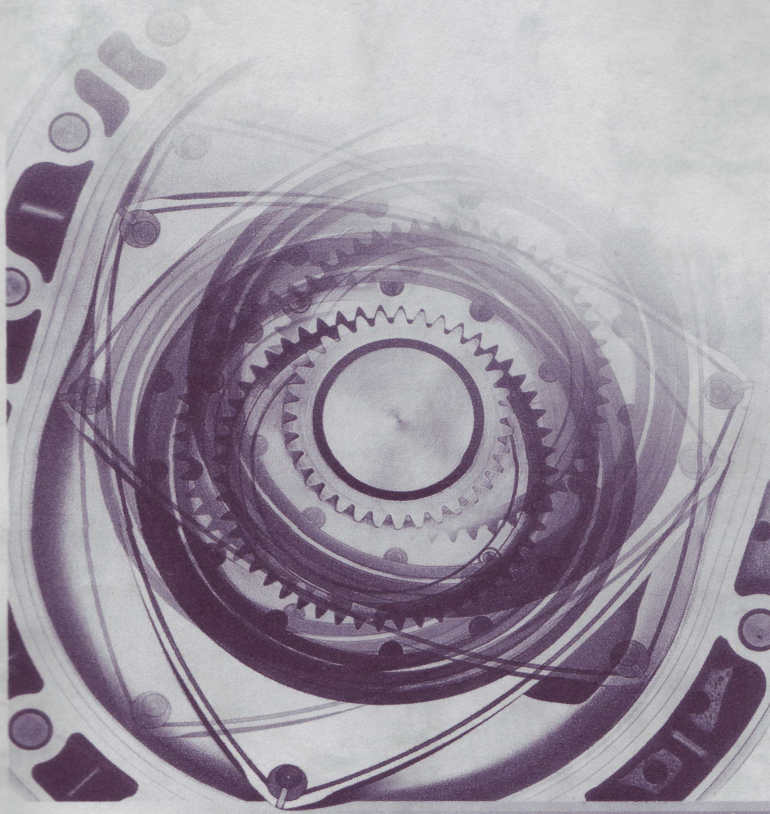


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (Τ.Ε.Ι.) ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ
WANKEL**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΒΛΑΧΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΜΗΛΤΣΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΣΕΡΡΕΣ ΙΟΥΝΙΟΣ 2004

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ	5
Γενικά	5
1.1. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ	5
1.2. ΤΥΠΟΙ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ	14
1.2.1 Ολισθαίνουσα περιστροφική μηχανή	14
1.2.2 Περιστρεφόμενη μηχανή	15
1.2.3 Πλανητικά περιστρεφόμενη μηχανή	16
1.3. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ	16
1.4. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ NSU - WANKEL	16
1.4.1 Βασική δομή	17
1.4.2 Αρχή λειτουργίας	18
1.4.3 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της περιστροφικής μηχανής	19
1.4.4 Εταιρίες κατοχής δικαιωμάτων παραγωγής και έρευνας περιστροφικής μηχανής	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	23
ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ	23
Εισαγωγή	23
2.1 ΣΤΡΟΦΕΑΣ	23
2.1.1 Βασική κατασκευή	24
2.1.2 Υλικό κατασκευής	25
2.2 ΚΕΛΥΦΟΣ	25
2.2.1 Το κέλυφος του στροφέα	26
2.2.2 Πλαϊνό κέλυφος	30
2.3 ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΔΟΝΤΩΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ	31
2.3.1 Δομή του οδοντωτού μηχανισμού	31
2.4 ΑΞΟΝΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	32
2.4.1 Μορφή του άξονα μετάδοσης κίνησης	33
2.4.2 Ισορροπία εσωτερικών δυνάμεων	34
2.4.3 Τριβείς και φορτία	34
2.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΙΩΝ	35
2.5.1 Δομή του μηχανισμού συμπίεσης	36
2.5.2 Ελατήριο κορυφών	36
2.5.3 Πλαϊνά και γωνιακά ελατήρια	37
2.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ	38
2.6.1 Θυρίδες εισαγωγής-εξαγωγής	38
2.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ	39
2.7.1 Ψύξη του κελύφους	40
2.7.3 Ψύξη του στροφέα	42
2.8 ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	46
ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	46
3.1 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΡΙΒΩΝ	46
3.1.1 Επίδοση	47
3.1.2 Εκπομπές ρύπων	47
3.2 ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΘΟΡΥΒΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	48
3.2.1 Ταλαντώσεις στη μηχανή	48

3.2.2	Θόρυβοι κατά τη λειτουργία.....	49
3.2.3	Κρουστική καύση.....	50
3.2.4	Προανάφλεξη	51
3.3	Το σύστημα εισαγωγής – εξαγωγής	51
3.3.1	Σύστημα θυρίδων εισαγωγής – εξαγωγής.....	52
3.3.2	Χρονισμός των θυρίδων	54
3.4	Επίδραση της κοιλότητας του στροφέα.....	55
3.4.1	Διαμόρφωση και τοποθέτηση της κοιλότητας στο στροφέα.....	56
3.4.2	Όγκος της κοιλότητας	57
3.4.3	Προβλήματα σχετικά με την ταχύτητα καύσης.....	58
3.5	Μηχανισμός στεγανότητας.	59
3.6	Σύστημα ελέγχου εκπομπής καυσαερίων.....	62
3.6.1	Σύστημα θερμικού μετατροπέα.	62
3.6.2	Σύστημα καταλυτικού μετατροπέα	64
3.7	Σύστημα εισαγωγής.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4		69
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ		69
4.1	Σύστημα έγχυσης καυσίμου.....	69
4.1.1	Ηλεκτρονική ανάφλεξη καυσίμου (E.F.I.).....	69
4.1.2	Σύστημα συνεχούς έγχυσης κατά τον χρόνο εισαγωγής	70
4.1.3	Σύστημα έγχυσης διακοπτόμενης ροής.....	71
4.2	Στρωματοποιημένη γόμωση	71
4.2.1	Στρωματοποιημένη γόμωση δυο βαθμίδων	72
4.2.2	Στρωματοποίηση κατά την περιστροφή.....	73
4.2.3	Το σύστημα των CURTISS-WRIGHT.....	73
4.2.4	Στάσιμη στρωματοποίηση του καυσίμου μίγματος.....	74
4.2.5	Σύστημα διακοπτόμενης αμέσου εγχύσεως	75
4.3	Υπερλήρωση.....	75
4.3.1	Μηχανική υπερπήρωση.....	76
4.3.2	Σύστημα ζεύγους υπερπήρωσης	76
4.3.3	Διπλό ζεύγος υπερπήρωσης.....	77
4.4	Τεχνικές βελτίωσης των θυρίδων εισαγωγής.....	78
4.4.1	Μέσου μεγέθους θυρίδα.....	79
4.4.2	Εκτεταμένη θυρίδα	79
4.4.3	Θυρίδα “γεφυρών”	80
4.5	Η περιστροφική μηχανή πετρελαίου (Diesel).....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		82
Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΕΝΙΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ		82
5.1	Αποφυγή του φαινομένου της επικάλυψης (overlap)	82
5.2	Μείωση των εκπομπών ρύπων	83
5.3	Σύστημα εισαγωγής.....	84
5.4	Επιδόσεις των περιστροφικών μηχανών δεύτερης γενιάς	85
5.5	Σύγκριση περιστροφικών μηχανών πρώτης και δεύτερης γενιάς	86
5.6	Μελλοντική ανάπτυξη της περιστροφικής μηχανής.....	86
5.7	Άλλες εφαρμογές της περιστροφικής μηχανής.....	88
ΕΠΙΛΟΓΟΣ		91
Παράρτημα Α		92
Παράρτημα Β.....		93

Ευχαριστώ τους γονείς και τον καθηγητή μου για την υποστήριξη τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ

Γενικά

Το 1954, ο Δρ Felix Wankel (Δυτική Γερμανία) έγινε ο πρώτος άνθρωπος στον κόσμο που ανέπτυξε επιτυχώς μια περιστροφική μηχανή σε συνεργασία με την NSU (Δυτική Γερμανία).

Μετά από επίμονες έρευνες και προσπάθειες, αυτή η περιστροφική μηχανή έγινε μια πρακτική μηχανή ως αποτέλεσμα της σταθερής προσπάθειας. Παρά τις πολλές δοκιμές και τις δυσκολίες που συνάντησε, ήρθε βαθμιαία να αναγνωριστεί ως μηχανή εφαρμόσιμη στην αυτοκίνηση καθώς επίσης και στη βιομηχανία. Η εμπορική παραγωγή της περιστροφικής μηχανής άρχισε πριν 30 περίπου χρόνια.

Η περιστροφική μηχανή τύπου NSU - Wankel θα περιγραφεί από την άποψη του ιστορικού υποβάθρου της και τις απαιτήσεις για λειτουργία της ως μηχανής εσωτερικής καύσεως.

1.1. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Πολλοί εφευρέτες έχουν σχεδιάσει διάφορους τύπους μηχανών για την απόκτηση κινητήριας δύναμης. Οι περισσότερες από αυτές ήταν δομής περιστροφικών εμβόλων που αποτελούνταν από κινούμενα περιστροφικά μέρη, επειδή η ιδέα ήταν φυσική και η δομή απλή. Εντούτοις, οι περισσότερες από αυτές τις μηχανές δεν θα μπορούσαν να παρέχουν την ικανοποιητική στεγανότητα και την απαιτούμενη διάρκεια ζωής, καθώς ήταν περίπλοκης διαμόρφωσης. Για τον λόγο αυτόν, οι παλινδρομικές εμβολοφόρες μηχανές αναπτύχθηκαν πρώτα. Αδιάκοπες έρευνες και η ανάπτυξη της παλινδρομικής μηχανής ως μηχανής αυτοκίνησης πραγματοποιήθηκαν από τότε και έκαναν τη μηχανή αυτή αυτό που είναι σήμερα.

Αν και οι παλινδρομικές μηχανές έχουν κάποιες ανεπάρκειες όπως:

(1) Λόγω των παλινδρομικών μερών, οι άδηλες απώλειες από δονήσεις, θορύβους γίνονται μεγαλύτερες καθώς οι στροφές της μηχανής αυξάνονται.

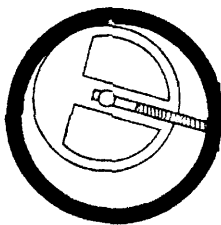
(2) Λόγω του μηχανισμού του στροφάλου, βαραίνει η όλη κατασκευή σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ.

(3) Λόγω των βαλβίδων της εισαγωγής και εξαγωγής, παράγονται θόρυβοι αφού και αυτός ο μηχανισμός επίσης απαιτεί πολλά κινούμενα μέρη. Η περιστροφική μηχανή δεν απαιτεί μηχανισμό βαλβίδων εξαγωγής εισαγωγής και αποδίδει έργο άμεσα από μια περιστρεφόμενη κίνηση. Αυτό έχει αποτελέσει το αντικείμενο της έρευνας και της ανάπτυξης για πολλούς Εφευρέτες και Μηχανικούς της ιδανικής μηχανής που υπερνικά τις προαναφερθείσες ανεπάρκειες των παλινδρομικών μηχανών.

Διάφοροι τύποι περιστροφικών μηχανών αναπτύχθηκαν από τους περιστροφικούς μηχανισμούς των αντλιών και των συμπιεστών μέχρι σήμερα, αλλά πέρασαν πολλά χρόνια μέχρι να μπορέσει να γίνει μια πραγματική περιστροφική μηχανή. Ακολουθεί η ιστορική των περιστροφικών μηχανών κατά χρονολογική σειρά

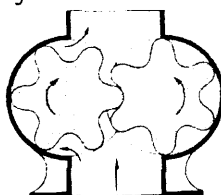
1588: Ο Ramelli εφηύρε το πρώτο περιστροφικό έμβολο αντλίας νερού.

Στο *Σχήμα 1.1* παρουσιάζεται ο μηχανισμός περιστροφικού εμβόλου στον οποίο το κάλυμμα ολισθαίνει ακτινικά και είναι συνδεδεμένο στο στρόφρα.



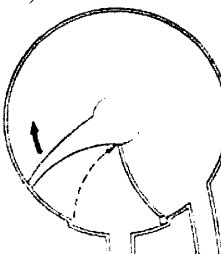
Σχήμα 1.1-Η αντλία του Ramelli [1]

1636: Ο Pappenheim εφηύρε μια γραναζωτή αντλία. Αυτή η αντλία γραναζιών είναι η πρώτη αντλία που αποτελείται από κινούμενα μέρη που περιστρέφονται μόνο. Χρησιμοποιείται ακόμα για τις αντλίες λαδιού στα αυτοκίνητα, κ.λ.π. (*Σχήμα 1.2.*)



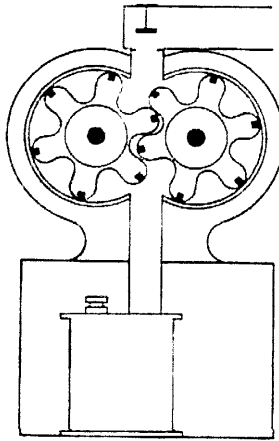
Σχήμα 1.2-Η αντλία Pappenheim [1]

1759: Ο James Watt εφηύρε την πρώτη περιστροφική ατμομηχανή. Αν και σχεδίασε μια μηχανή που έχει έναν στρόφρα και αντλεί την περιστρεφόμενη δύναμή του άμεσα από την πίεση του ατμού, δεν θα μπορούσε να τεθεί σε μακρά λειτουργία λόγω του προβλήματος στεγανότητας. (*Σχήμα 1.3.*)



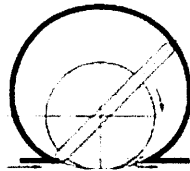
Σχήμα 1.3-Η περιστροφική ατμομηχανή του James Watt [1]

1799: Ο Murdoch εφηύρε επίσης μια περιστροφική ατμομηχανή. Χρησιμοποίησε τα ξύλινα τοιχώματα για να βελτιώσει τη στεγανότητα. (*Σχήμα 1.4.*)



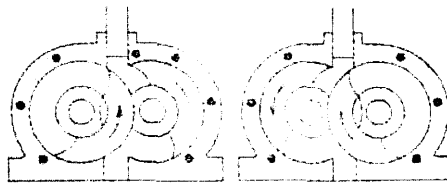
Σχήμα 1.4-Η περιστροφική ατμομηχανή του Murdock[1]

1860: Οι Oldham και Franchot κατασκεύασαν τον πρώτο περιστροφικό συμπιεστή. (Σχήμα 1.5.)

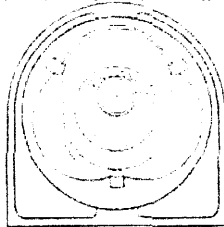


Σχήμα 1.5-Ο περιστροφικός συμπιεστής των Oldham & Franchot[1]

Ο Behrens κατασκεύασε μια περιστροφική ατμομηχανή με βελτιωμένη στεγανότητα. Μια κοιλότητα που αντιστοιχεί στο κυκλικό τόξο του εσωτερικού κελύφους βρίσκεται επάνω σε μέρος του σταθερού άξονα. (Σχήματα 1.6. & 1.7.) Ενώ ο Cooley την ίδια εποχή κατασκεύασε μια περιστροφική ατμομηχανή με κινούμενους και τους δυο στροφείς (ρότορες) της.

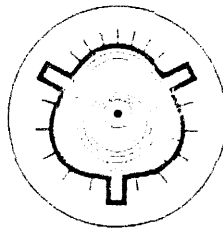


Σχήμα 1.6-Η περιστροφική ατμομηχανή του Behrens[1]



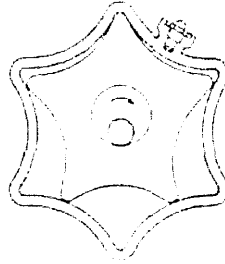
Σχήμα 1.7-Η περιστροφική ατμομηχανή του Cooley[1]

1908: Ο Umpleby μετέτρεψε την ατμομηχανή του Cooley σε περιστροφική μηχανή εσωτερικής καύσης. (Σχήμα 1.8.)



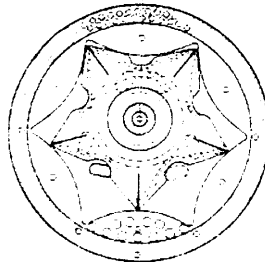
Σχήμα 1.8-Η περιστροφική μηχανή του Umpleby[1]

1923: Οι Wallinder και Skoog ανήγγειλαν την από κοινού έρευνά τους για την περιστροφική μηχανή. (Σχήμα 1.9)



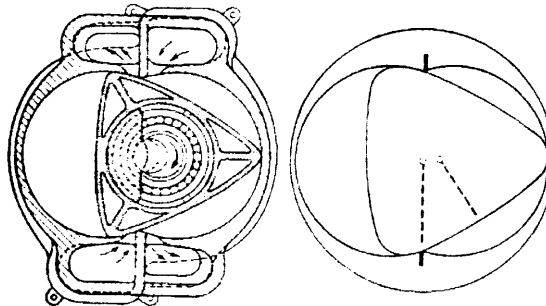
Σχήμα 1.9-Η περιστροφική μηχανή των Wallinder & Skoog[1]

1938: Ο Sensaud de Lavou προώθησε περαιτέρω τη περιστροφική θεωρία εκείνες τις ημέρες. Επινόησε μια μηχανή εσωτερικής καύσης που περνά από τους τέσσερις χρόνους στο σώμα του κινητήρα και δεν απαιτεί τα πρόσθετα εξαρτήματα, όπως οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, αλλά αυτή η μηχανή δεν θα μπορούσε να τεθεί σε λειτουργία επειδή η στεγανότητα του θαλάμου καύσης, η λίπανση, η ψύξη, κ.λ.π., ήταν ανεπαρκή. (Σχήμα 1.10)



Σχήμα 1.10-Η περιστροφική μηχανή των Sensaud de Lavou[1]

1943: Ο maillard επινόησε έναν συμπιεστή με την εφαρμογή της περιστροφικής θεωρίας. (Σχήμα 1.11)



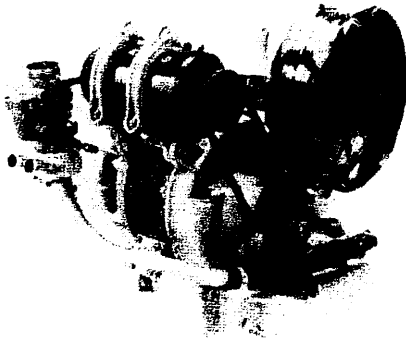
Σχήμα 1.11-Ο περιστροφικός συμπιεστής του Maillard[1]

1951: Ο wankel κατασκεύασε ένα περιστροφικό αεροσυμπιεστή. (Σχήμα 1.12)



Σχήμα 1.12-Ο περιστροφικός συμπιεστής του Wankel[1]

1959: Η περιστροφική μηχανή τύπου NSU-Wankel σε μια δοκιμή διάρκειας. Μια περιστροφική μηχανή με ένα στροφέα NSU, όγκου εμβολισμού 250ccX1 ολοκλήρωσε μια δοκιμή διάρκειας εκατό ωρών και η επιτυχία 'του περιστροφικού κινητήρα' αναγγέλθηκε στον κόσμο. (Σχήμα 1.13)



Σχήμα 1.13 - 250cc X 1 περιστροφική μηχανή[1]

1962: Η NSU ανήγγειλε μια υδρόψυκτη περιστροφική μηχανή με ένα στροφέα όγκου εμβολισμού 150ccX1 που τοποθετήθηκε σε μια λέμβο θαλάσσιου σκι.

1963: Η Toyo Kogyo έκανε ένα αυτοκίνητο πρωτότυπο, Cosmo sports, όγκου εμβολισμού 400ccx2 στο οποίο έγινε εγκατάσταση περιστροφικής μηχανής 2 στροφέων. Επίσημη επίδειξη της μηχανής έγινε για πρώτη φορά στην έκθεση αυτοκινήτων στο Τόκιο. (Σχήμα 1.14)



Σχήμα. 1.14-Cosmo Sports (Toyo Kogyo)[1]

1964: Η NSU ανήγγειλε τη δημιουργία ενός δικού της σπορ αυτοκινήτου στο οποίο εγκατέστησε περιστροφική μηχανή με ένα στροφέα χωρητικότητας 497,5ccX 1. Αυτό ήταν και το πρώτο αυτοκίνητο στην αγορά με περιστροφική μηχανή. (Σχήμα 1.15)



Σχήμα 1.15-Spider (NSU. West Germany)[1]

1967: Η Τοϋο Κοϋϋο εισήγαγε στην αγορά το Cosmo sport (491ccX 2). Ενώ η NSU εισήγαγε επίσης το Ro80 (497, 5cc X2). Από τότε, τα αυτοκίνητα με περιστροφική μηχανή πολλαπλασιάστηκαν και βελτιώνονταν συνέχεια για να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις της αγοράς και για να βελτιώσουν την εμπορευσιμότητά τους. (Σχήμα 1.16)



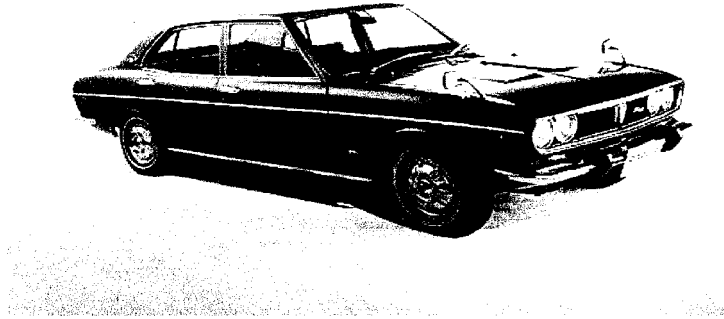
Σχήμα. 1.16-Ro 80 (NSU. West Germany)[1]

1969: Η NSU εισάγει το δεύτερο μοντέλο της με περιστροφικό κινητήρα το R-100(491ccX2) ισχύος 73 ίππων με καρμπυρατέρ. (Σχήμα 1.17)



Σχήμα 1.17-Το R-100 (NSU)[2]

1970: Η MAZDA γίνεται κάτοχος των δικαιωμάτων παραγωγής του περιστροφικού κινητήρα και δημιουργεί το πρώτο της αυτοκίνητο το RX-2 με περιστροφική μηχανή ισχύος 130HP,(573ccX2) με καρμπυρατέρ. (Σχήμα 1.18)



Σχήμα 1.18-Το RX-2 της MAZDA[2]

1972: Η MAZDA πέρασε στην παραγωγή το RX-3 (σχήμα 1.19) το οποίο ήταν διαθέσιμο με δυο τύπους περιστροφικού κινητήρα ισχύος 100HP και 130HP όγκου εμβολισμού (491ccX2) και (573ccX2) αντίστοιχα.



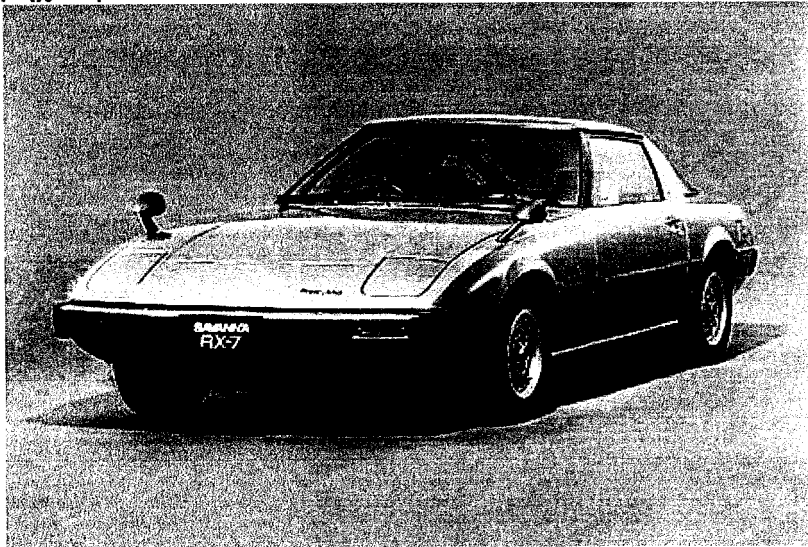
Σχήμα 1.19-Το RX-3 (MAZDA)[2]

1973: Η χρονιά αυτή θεωρείται σταθμός για την περιστροφική μηχανή αφού και άλλοι κατασκευαστές όπως οι NISSAN, GM (General Motors), CITROEN, άρχισαν να ενδιαφέρονται για την έρευνα και την ανάπτυξη της περιστροφικής μηχανής. Έτσι η MAZDA πέρασε στην παραγωγή του RX-4 (Σχήμα 1.20) το οποίο γνώρισε παγκόσμια επιτυχία και ήταν διαθέσιμο με δυο περιστροφικούς κινητήρες ισχύος 125HP και 135HP όγκου εμβολισμού (573ccX2) και (654ccX2) αντίστοιχα.



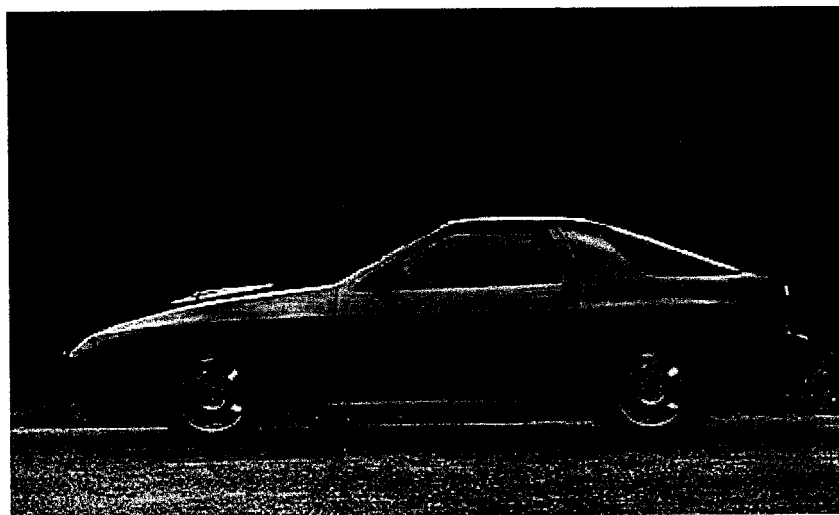
Σχήμα 1.20-Το RX-4 (MAZDA)[2]

1978: Η MAZDA θέλοντας να κατασκευάσει ένα σπορ αυτοκίνητο επιδόσεων δημιούργησε το θρυλικό RX-7 (Σχήμα 1.21) ισχύος 114HP (573ccX2) το οποίο γνώρισε παγκόσμια επιτυχία και θεωρείτο ως το αυτοκίνητο που έκανε παγκοσμίως γνωστό την περιστροφική μηχανή.



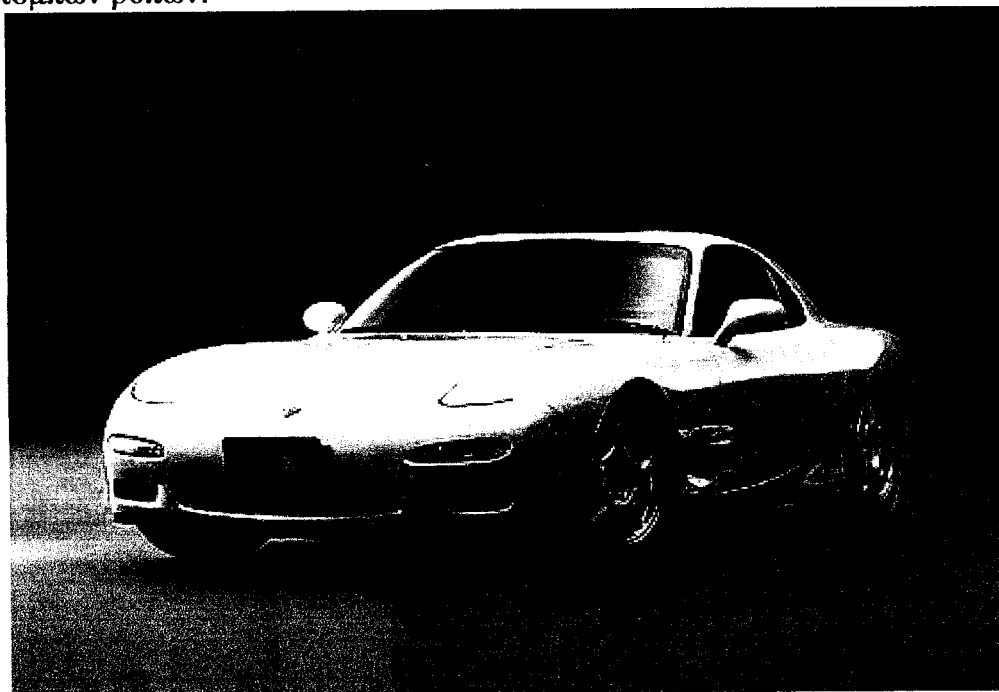
Σχήμα 1.20-Το RX-7 (MAZDA)[2]

1986: Η MAZDA βλέποντας την τόσο επιτυχημένη πορεία του RX-7 προχώρησε στην δεύτερη γενιά FC RX-7 (Σχημα1.21) αλλάζοντας το πλαίσιο αλλά και δημιουργώντας ένα καινούριο τύπο του περιστροφικού κινητήρα τον (13b), ισχύος αρχικά 161HP και αργότερα 191HP με υπερπλήρωση και ψύξη του αέρα εισαγωγής (intercooler) και ηλεκτρονική ανάφλεξη (EFI).



Σχήμα 1.21-Η δεύτερη γενιά RX-7 (MAZDA)(FC RX-7)[2]

1992: Η MAZDA προχωρεί στην παρουσίαση της τρίτης πλέον γενιάς RX-7 (Σχήμα 1.22) το FD RX-7 ισχύος 275HP με διπλό ζεύγος υπερπλήρωσης ηλεκτρονική ανάφλεξη (EFI) και ψύκτη του αέρα εισαγωγής (intercooler) το οποίο είναι ακόμα στην παραγωγή και διατίθεται μόνο για την χώρα της Ιαπωνίας, ενώ για τον υπόλοιπο κόσμο η διάθεση του μοντέλου σταμάτησε το 1997 αφού η Εταιρία αναγκάστηκε να το αποσύρει εξαιτίας των χαμηλών του πωλήσεων και των υψηλών διατάξεων που ίσχυαν περί εκπομπών ρύπων.



Σχήμα 1.22-Η τρίτη και τελευταία γενιά του RX-7 το FD RX-7 (MAZDA)[2]

2003: Η MAZDA στην έκθεση αυτοκινήτου στο Τόκιο παρουσίασε το RX-8 (Σχήμα 1.23) το οποίο διαθέτει την δεύτερη γενιά πλέον του περιστροφικού κινητήρα (RENESIS) ισχύος 246HP (654ccX2), με ηλεκτρονική ανάφλεξη (EFI) και χωρίς υπερπλήρωση.



Σχήμα 1.23-Το RX-8 με περιστροφικό κινητήρα δεύτερης γενιάς[2]

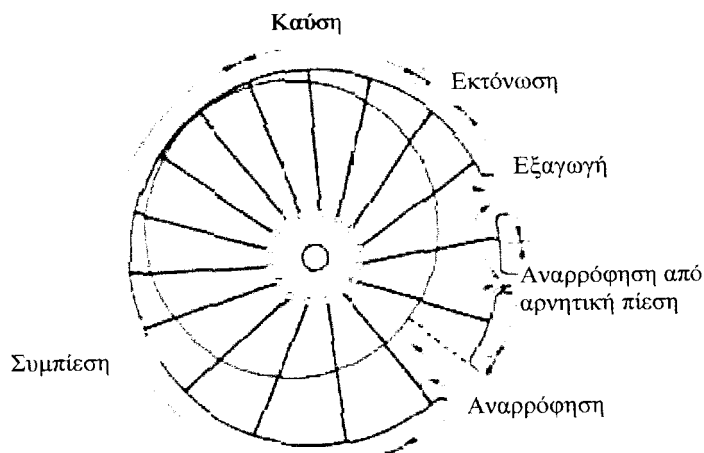
1.2. ΤΥΠΟΙ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Αυτήν την περίοδο, η περιστροφική μηχανή είναι πλέον γνωστή τόσο στην αυτοκινητοβιομηχανία όσο και στο κοινό. Η περιστροφική μηχανή είναι όπως "Μια μηχανή εσωτερικής καύσεως που εκτελεί τους τέσσερις χρόνους της εισαγωγής, της συμπίεσης, της εκτόνωσης και της εξαγωγής ενώ ο θάλαμος καύσης αλλάζει τον όγκο για κάθε λειτουργία του και τα κινούμενα μέρη περιστρέφονται πάντα στην ίδια κατεύθυνση."

Από τότε που ο James Watt επινόησε την πρώτη περιστροφική μηχανή το 1759, πολλές περιστροφικές μηχανές έχουν μελετηθεί στον κόσμο. Δεν είναι εύκολο να ταξινομηθούν οι ιδέες των πολλών περιστροφικών μηχανών συστηματικά, αλλά είναι δυνατό να ομαδοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες —την ολισθαίνουσα περιστροφική μηχανή, την περιστρεφόμενη μηχανή και την πλανητικά περιστρεφόμενη μηχανή.

1.2.1 Ολισθαίνουσα περιστροφική μηχανή

Μια ενιαία περιστροφική μηχανή είναι μια μηχανή στην οποία ο στροφέας περιστρέφεται υπό μια ορισμένη γωνιακή ταχύτητα και το κέντρο της περιστροφής του δεν κινείται. Ένα παράδειγμα είναι η μηχανή Mallory (Ηνωμένες Πολιτείες) που λειτουργεί ως εξής: Ο στροφέας, που διαιρείται με διάφορα μέρη, περιστρέφεται έκκεντρα στο σώμα του κινητήρα. Στο Σχήμα 1.17 φαίνεται πώς λειτουργεί η μηχανή. Η εισαγωγή μίγματος αέρα-καυσίμου γίνεται από έναν ανεμιστήρα και συμπιέζεται καθώς ο στροφέας περιστρέφεται. Το μίγμα, που αναφλέγεται μετά από συμπίεση που διαρκεί περίπου 180 μοίρες της γωνίας περιστροφής του άξονα παραγωγής, ολοκληρώνει διαδοχικά τους χρόνους της εκτόνωσης και της εξαγωγής. Προκειμένου να αποτραπεί η μίξη του καυσαερίου με το καθαρό καύσιμο μίγμα, κατασκευάστηκε μια θυρίδα σάρωσης που απάγει το καυσαέριο εξαιτίας της αρνητικής πίεσης που έχει δημιουργηθεί.



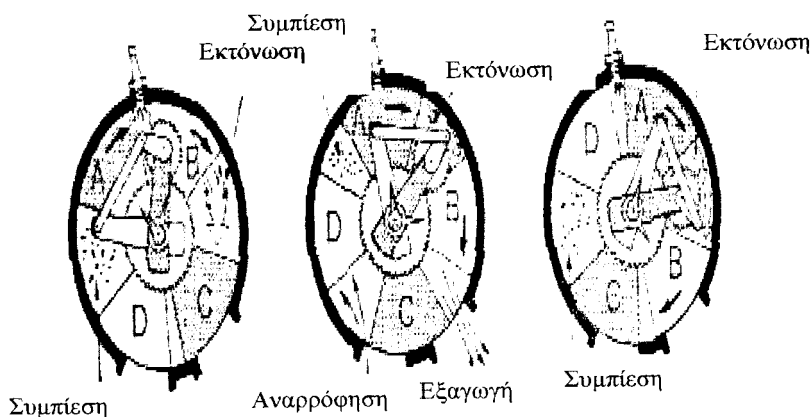
Σχήμα 1.17-Περιστροφική μηχανή από την Mallory Co. (Αρχή λειτουργίας)[1]

1.2.2 Περιστρεφόμενη μηχανή

Μια ταλαντευόμενη περιστροφική μηχανή είναι μια μηχανή στην οποία ένας αριθμός στροφέων περιστρέφεται γύρω από το κέντρο περιστροφής της και έχουν μεταβαλλόμενη τη γωνιακή ταχύτητά τους, καθώς οι αλλαγές όγκου των θαλάμων καύσεως κάνουν τους στροφείς να έρχονται ο ένας κοντά στον άλλο ή χωρίζουν ο ένας από τον άλλον. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του περιστροφικού κινητήρα είναι η μηχανή Kauertz.(Σχήμα 1.18)

Σε αυτήν την μηχανή, ένας ενιαίος περιστρεφόμενος στροφέας και ένας περιστρεφόμενος στροφέας που ολισθαίνει περιστρέφονται ομόκεντρα και εκτελούν μια σχετική κίνηση μέσα σε ένα στρογγυλό κέλυφος. Η σχετική κίνηση των δύο στροφέων συγχρονίζεται από οδοντωτούς τροχούς και τους συνδέσμους, οι οποίοι, ανάλογα με την φάση λειτουργίας, κλείνουν ή ανοίγουν τις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής.

Δεδομένου ότι αυτός ο τύπος μηχανής απαιτεί έναν περίπλοκο ταλαντευόμενο μηχανισμό κινήσεων, τα προβλήματα σχετικά με την αποδιδόμενη ισχύ και το θόρυβο που δημιουργείται κατά την λειτουργία του είναι αρκετά μεγάλα.



Σχήμα 1.18-Μηχανή Kauertz (λειτουργία)[1]

1.2.3 Πλανητικά περιστρεφόμενη μηχανή

Μια πλανητικά περιστρεφόμενη μηχανή είναι μια μηχανή στην οποία ένας στροφέας (ρότορας) περιστρέφεται κάνοντας μια περιστροφική πλανητική κίνηση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού είναι η μηχανή τύπου NSU- Wankel που θα εξηγηθεί λεπτομερώς παρακάτω.

1.3. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Αν και διάφοροι τύποι περιστροφικών μηχανών έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα, υπάρχουν μερικοί οι οποίοι δεν είναι κατάλληλοι για μηχανές εσωτερικής καύσης ή δεν είναι κατάλληλοι για πρακτική εφαρμογή τους ακόμα κι αν έχουν τα χαρακτηριστικά μιας μηχανής εσωτερικής καύσης.

Μια περιστροφική μηχανή για να μπορεί να γίνει μια πρακτική μηχανή εσωτερικής καύσης πρέπει να διαθέτει τα εξής πέντε στοιχεία :

(1) Κάθε κινούμενο μέρος, συμπεριλαμβανομένου του μηχανισμού συγχρονισμού, πρέπει να κάνει μια περιστροφική κίνηση.

(2) Η στεγανότητα του θαλάμου καύσης πρέπει να είναι τρισδιάστατα μελετημένη.

(3) Πρέπει να υπάρχει κατάλληλα μελετημένος μηχανισμός για το άνοιγμα και το κλείσιμο των θυρίδων εξαγωγής και εισαγωγής.

(4) Κάθε μέρος του κινητήρα πρέπει να είναι κατασκευασμένο και διαμορφωμένο έτσι ώστε να αντέχει σε υψηλές ροπές στρέψης και υψηλές πιέσεις

(5) Πρέπει να υπάρχει ικανοποιητικό σύστημα λίπανσης και ψύξης.

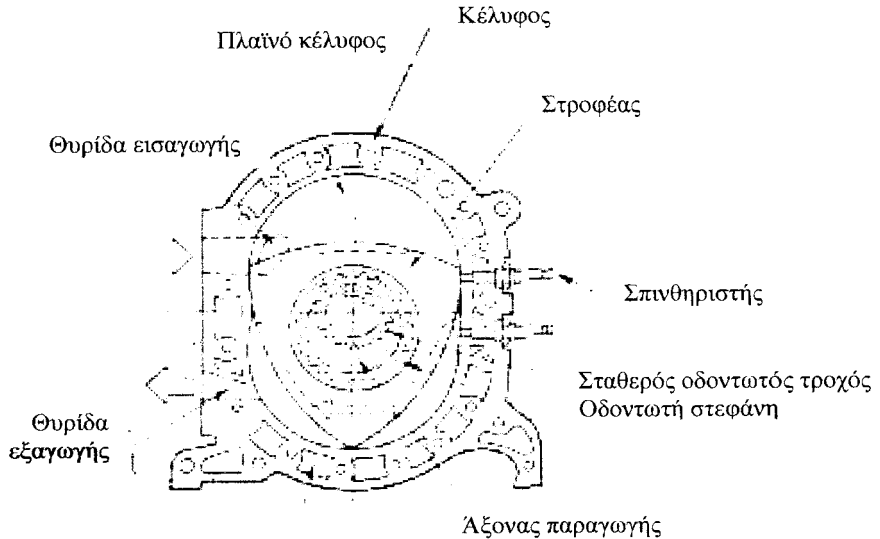
Προκειμένου να είναι κατάλληλη για μηχανή εσωτερικής καύσης, πρέπει επίσης να έχει υψηλή αντοχή σε υψηλά φορτία θερμότητας, χαμηλό συντελεστή τριβής ολίσθησης. Επομένως, η δομή πρέπει να είναι απλή και οι τρόποι σχετικά με την ψύξη στροφέων, τη λίπανση των ελατηρίων, και τη δομή των παρεμβυσμάτων ελαίου είναι εκείνα στα οποία πρέπει να δοθεί επαρκής σκέψη. Επίσης, είναι επιθυμητό για μια πρακτική περιστροφική μηχανή να υπάρχει μια απλή και συμπαγής δομή. Όταν αξιολογούνται οι διάφοροι τύποι περιστροφικών μηχανών που έχουν επινοηθεί μέχρι σήμερα, με κριτήριο τις προαναφερθείσες απαιτήσεις, η NSU - η περιστροφική μηχανή τύπου Wankel-είναι η μηχανή που ικανοποιεί καλύτερα τις απαιτήσεις.

Η περιστροφική μηχανή τύπου NSU - Wankel θα ονομάζεται απλά περιστροφική μηχανή ενώ η παλινδρομική μηχανή εμβόλων θα ονομάζεται εμβολοφόρος παλινδρομική μηχανή.

1.4. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ NSU - WANKEL

1.4.1 Βασική δομή

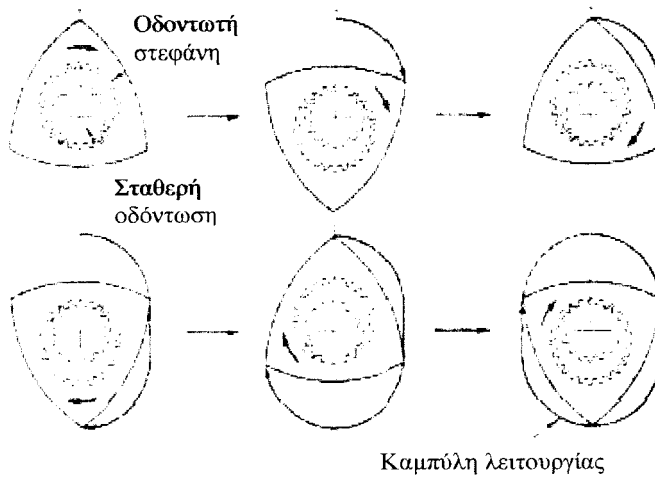
Η βασική δομή της περιστροφικής μηχανής τύπου NSU-Wankel παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.19



Σχήμα 1.19-Βασική κατασκευή περιστροφικής μηχανής τύπου NSU- Wankel[1]

Ο στροφέας εκτελεί μια περιστροφική κίνηση μέσα στο σώμα του κινητήρα. Με την τοποθέτηση των πλάγιων τοιχωμάτων του σώματος του κινητήρα και στις δύο πλευρές των στροφέων, τρεις θάλαμοι καύσης διαμορφώνονται. Έτσι παρομοιάζοντας την με μια παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης μπορεί να λεχθεί ότι το σώμα του κινητήρα που περιβάλλει τον στροφέα (ρότορα) αντιστοιχεί στον κύλινδρο και τον θάλαμο καύσης που διαμορφώνεται στους κυλίνδρους της παλινδρομικής μηχανής, ενώ ο στροφέας αντιστοιχεί στο έμβολο.

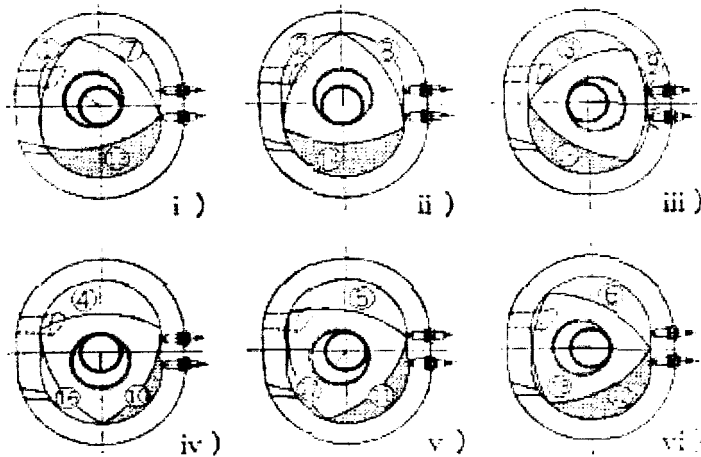
Δεδομένου ότι πρέπει να ελεγχθεί η περιστροφική κίνηση του στροφέα, δημιουργείται μια οδόντωση στην εσωτερική περιφέρεια επάνω στο στροφέα και ένας σταθερός οδοντωτός τροχός τοποθετείται στο σώμα του κινητήρα και χρησιμοποιείται σαν οδηγός του στροφέα με μια αναλογία οδόντωσης μεταξύ του κινούμενου και σταθερού 3:2. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.20, όταν ο στροφέας περιστρέφεται παγιδευμένος από τον σταθερό οδοντωτό τροχό, η κορυφή του στροφέα θα κινείται διαγράφοντας μια καμπύλη (επιτροχιοειδής) που είναι η βασική καμπύλη του σώματος του κινητήρα.



Σχήμα 1.20-Δημιουργία της καμπύλης επιτροχιοειδής (peritrochoid)[1]

1.4.2 Αρχή λειτουργίας

Στο σχήμα 1.21 παρουσιάζει τη λειτουργία του περιστροφικού κινητήρα. Η θυρίδα εισαγωγής ανοίγει (1), οπότε ο χρόνος εισαγωγής αρχίζει. Ο όγκος του ενεργού θαλάμου αυξάνει βαθμιαία, όπως φαίνεται στα (2) και (3). Καθώς ο στροφέας περιστρέφεται, φθάνει τελικώς στο μέγιστο όγκο (4). Η θυρίδα εισαγωγής κλείνει αυτόματα (5). Το μίγμα αέρα-καυσίμου που έχει εισέλθει συμπιέζεται από (6), (7) και (8), και φθάνει στο χρόνο εκτόνωσης αφού προηγουμένως αναφλεγεί κοντά στο σημείο της μέγιστης συμπίεσης (9). Ακολουθεί ο χρόνος της εκτόνωσης του μίγματος το οποίο έχει συμμετάσχει στην καύση (10), εκτόνωση (11), (12) και ανοίγει πλέον η θυρίδα εξαγωγής (13). Ο χρόνος της εξαγωγής συνεχίζεται στα (14), (15), (16), (17), όπου γίνεται πλέον σάρωση από τον στροφέα ο οποίος εκδιώχνει τα καυσαέρια από το θάλαμο καθώς με την περιστροφή μειώνεται ο όγκος του θαλάμου. Η εξαγωγή συνεχίζεται και τελειώνει ως το σημείο (18), από όπου ξεκινάει και πάλι ο χρόνος της εισαγωγής. Όπως περιγράφεται παραπάνω, η περιστροφική μηχανή είναι μηχανή που εκτελεί τέσσερις χρόνους σε ένα κύκλο λειτουργίας (οπότε σαφώς μπορεί να ονομαστεί τετράχρονος κινητήρας) αφού εκτελεί σαφώς τους τέσσερις χρόνους της εισαγωγής, της συμπίεσης, της εκτόνωσης και της εξαγωγής. Έτσι, έως ότου ένας από τους ενεργούς θαλάμους καύσης ολοκληρώσει τους τέσσερις χρόνους λειτουργίας, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1.21) ο άξονας εξόδου του κινητήρα θα κάνει τρεις περιστροφές. Επίσης, οι άλλοι δυο ενεργοί θάλαμοι του στροφέα θα ολοκληρώσουν την τετράχρονη λειτουργία τους σε αυτή την περίοδο. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρξει τρεις φορές έναυση καυσίμου μίγματος στο ίδιο χρονικό διάστημα. Με άλλα λόγια ένας κύκλος λειτουργίας της μιας πλευράς του στροφέα αντιστοιχεί σε μια πλήρη περιστροφή του άξονα του, δηλαδή όπως και στον δίχρονο παλινδρομικό κινητήρα.



Σχήμα 1.21-Αρχή λειτουργίας της περιστροφικής μηχανής[1]

Επιπλέον, δεδομένου ότι ο άξονας παραγωγής περιστρέφεται τρεις φορές ενώ ένας λειτουργών θάλαμος ολοκληρώνει τους τέσσερις χρόνους λειτουργίας μία φορά, ο χρόνος που απαιτείται από ένα χρόνο λειτουργίας θα είναι 270 μοίρες από την άποψη της περιστρεφόμενης γωνίας του άξονα παραγωγής. Σε σύγκριση με μια παλινδρομική μηχανή ισάμενων χρόνων λειτουργίας (180 μοίρες για ένα χρόνο), αυτό σημαίνει ότι οι χρόνοι της περιστροφικής μηχανής θα είναι 1,5 φορές ταχύτεροι από την παλινδρομική.

4.3 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της περιστροφικής μηχανής

Σε σύγκριση με την παλινδρομική μηχανή, η περιστροφική μηχανή έχει τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα:

(1) Δεν υπάρχει κανένα στοιχείο της το οποίο να εκτελεί παλινδρομική κίνηση. Δεδομένου ότι οι παλινδρομικές μηχανές έχουν μέρη τα οποία εκτελούν τέτοιες κινήσεις, υπάρχουν προβλήματα στην εξισορρόπηση των δυνάμεων που προκαλούνται από την αδράνεια της εναλλαγής της κίνησης δημιουργώντας έτσι δονήσεις στη μηχανή. Θεωρώντας ότι μια περιστροφική μηχανή αποτελείται μόνο από περιστρεφόμενα μέρη, τα επίπεδα των δονήσεων είναι πολύ χαμηλά επειδή είναι δυνατό να ισοροπηθεί τέλεια η μηχανή με τη χρησιμοποίηση αντίβαρων.

(2) Δεν υπάρχει κανένας μηχανισμός βαλβίδων εισαγωγής-εξαγωγής.

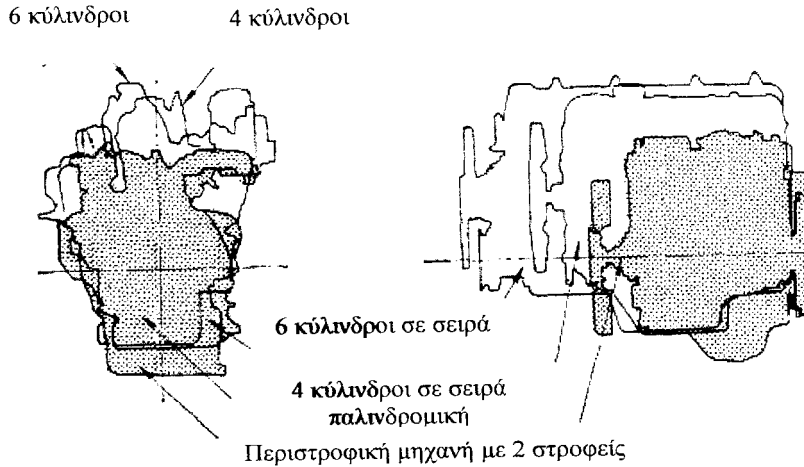
Για εκείνες τις μηχανές που απαιτούν μηχανισμό βαλβίδων εισαγωγής-εξαγωγής, όπως οι παλινδρομικές, ο μηχανικός θόρυβος που παράγεται με το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων είναι σημαντικός, ενώ και οι ίδιες οι βαλβίδες εμποδίζουν τη ροή του αέρα. Υπάρχουν πρόσθετα προβλήματα επίσης αφού οι βαλβίδες αδυνατούν να ακολουθήσουν την κίνηση του εκκεντροφόρου στις υψηλές στροφές.

Δεδομένου ότι η περιστροφική μηχανή έχει έναν στροφέα που ανοίγει άμεσα και κλείνει τις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής, δεν απαιτεί μηχανισμό βαλβίδων αφού ο σωστός συγχρονισμός για το άνοιγμα και το κλείσιμο των θυρίδων μπορεί να διατηρηθεί ακόμη και στις υψηλές ταχύτητες.

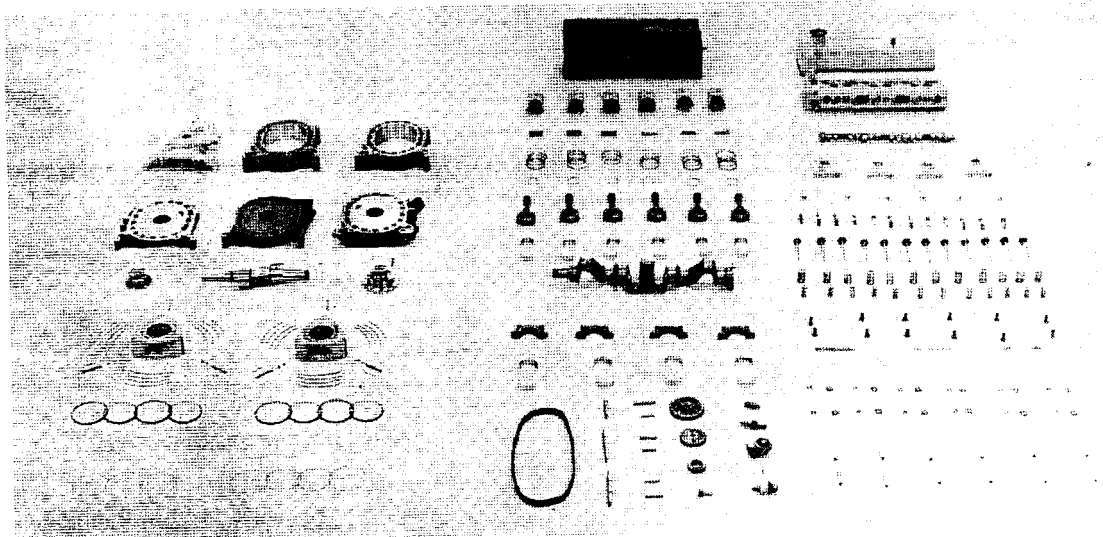
(3) Ο χρόνος για μια καύση είναι κάθε 270 μοίρες από την άποψη της περιστρεφόμενης γωνίας του άξονα παραγωγής, και υπάρχει μια έναυση για κάθε μια περιστροφή του άξονα παραγωγής..

Όπως περιγράφεται στα παραπάνω, η περιστροφική μηχανή έχει τα θαυμάσια χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ελαφριάς και συμπαγούς κατασκευής, λιγότερες δονήσεις και θορύβους, ομοιόμορφη κατανομή της ροπής καθ'όλη την διάρκεια λειτουργίας. Έτσι τα οχήματα που έχουν μια περιστροφική μηχανή παρέχουν

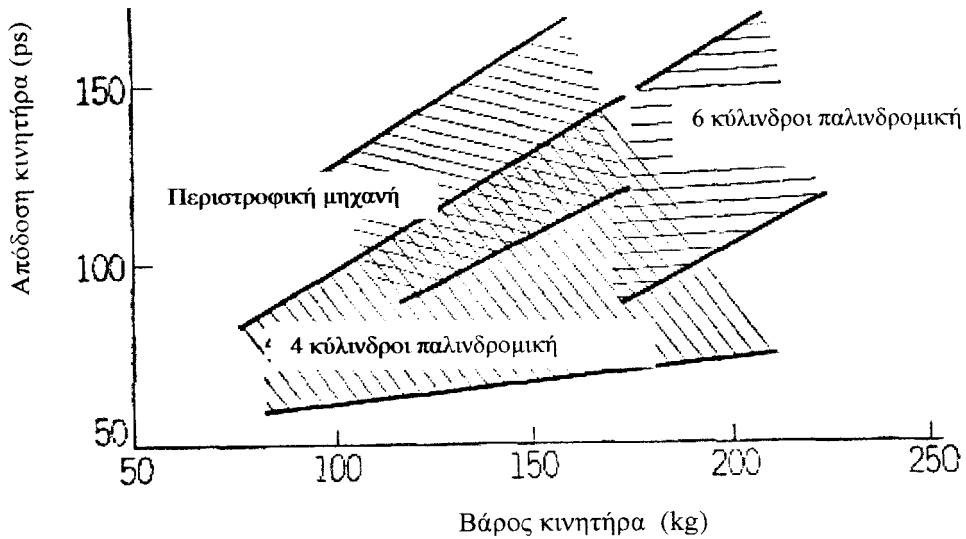
περισσότερη ελευθερία στο σχεδιασμό του σώματος για το ύψος και την άνεση. Αλλά και ο οδηγός θα δοκιμάσει την πιό ήρεμη, πιό άνετη και πιό αποκρινόμενη οδήγηση. Στα Σχήματα 1.22, 1.23, 1.24 και 1.25 υπάρχει η σύγκριση της περιστροφικής μηχανής με την παλινδρομική σε σχέση με το μέγεθος κατασκευής τους, τα μέρη τα οποία αποτελούνται, τις επιδόσεις και την ομαλότητα κατά την λειτουργία τους.



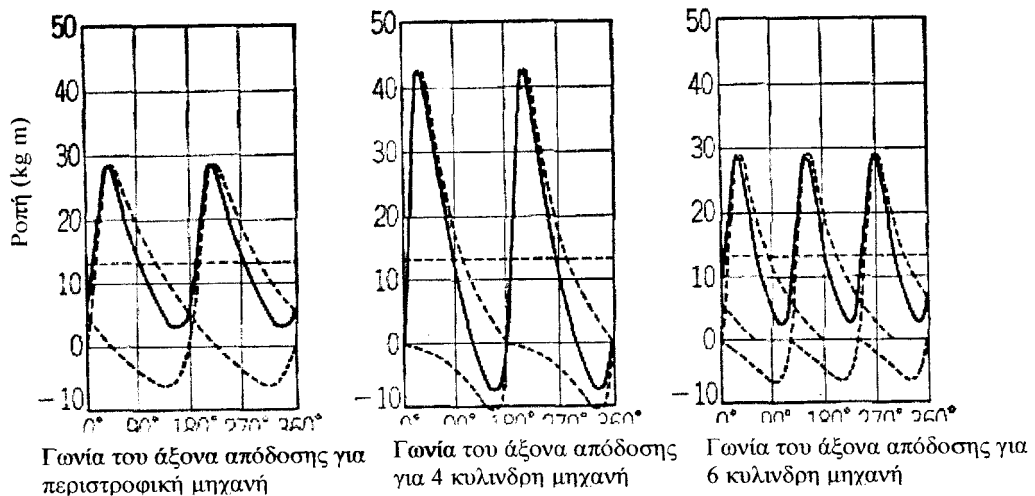
Σχήμα 1.22-Σύγκριση του μεγέθους μηχανών[1]



Σχέδιο 1.23-Σύγκριση των κύριων μερών της μηχανής[1]



Σχήμα 1.24-Σχέση ιπποδύναμης-βάρους της μηχανής[1]



Σχήμα 1.25-Σύγκριση της καμπύλης ροπής[1]

1.4.4 Εταιρίες κατοχής δικαιωμάτων παραγωγής και έρευνας περιστροφικής μηχανής

Είκοσι επιχειρήσεις έξι χωρών είναι αντίστοιχα σε συνεργασία με Audi, NSU, Auto Union AG και Wankel GmbH, και προωθούν την ανάπτυξη της περιστροφικής μηχανής τύπου NSU- Wankel. Αν και υπάρχουν κάτοχοι άδειας που εργάζονται σε διαφορετικούς τομείς, όπως αυτός της μαζικής παραγωγής μηχανών, των ειδών καυσίμων, κ.λ.π., κατευθύνουν το έργο ανάπτυξής τους στους αντίστοιχους τομείς τους ανταλλάσσοντας αμοιβαία τις τεχνικές πληροφορίες με απώτερο σκοπό τους την έρευνα και ανάπτυξη της περιστροφικής μηχανής. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συνοπτικά οι συνεργαζόμενες Εταιρίες αλλά και ο τομέας έρευνας και ενασχόλησής τους με την περιστροφική μηχανή.

Κύριοι κάτοχοι		
Χώρα	Εταιρία	Τομέας ενασχόλησης
Δυτική Γερμανία	Audi NSU Auto Union AG Wankel GmbH	Αυτοκίνητα

Αδειούχοι		
Χώρα	Εταιρία	Τομέας ενασχόλησης
Δυτική Γερμανία	Fichtel & Sachs AG	Οχήματα θαλάσσης, ξηράς και βιομηχανικοί σκοποί
(συνέχεια)	Klockner-Humboldt-Deutz AG Daimler-Benz AG MAN (Maschinenfabrik Nurnberg AG) Friedrich Krupp GmbH Dr. Ing. h.c.F. Porsche AG Johannes Graupner	Για όλες τις χρήσεις Μηχανοκίνητα οχήματα Μηχανές μοντέλων
Λουξεμβούργο	Comotor S.A. (Peugeot/	Μηχανοκίνητα οχήματα
Μεγάλη Βρετανία	Rolls-Royce Motors Limited NVT Motorcycles Ltd.	Για όλες τις χρήσεις Μοτοσυκλέτες
Ελβετία	CROCO Engines GmbH	Οχήματα εκτός δρόμου
Η.Π.Α.	Cumtiss-Wright Corporation Outboard Marine Corporation Ingersoll-Rand Company American Motors Corporation General Motors Corporation	Για όλες τις χρήσεις Οχήματα θαλάσσης Βιομηχανικοί σκοποί Μηχανοκίνητα οχήματα Για όλες τις χρήσεις εκτός αεροπλάνων
Ιαπωνία	Yanmar Diesel Co., Ltd. Toyo Kogyo Co., Ltd. Nissan Motor Co., Ltd. Toyota Motor Co., Ltd.	Για όλες τις χρήσεις εκτός από μηχανοκίνητα οχήματα Για όλες τις χρήσεις Επιβατικά οχήματα Επιβατικά οχήματα

Υποσημείωση: Η NSU μετονομάστηκε σε Audi NSU

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

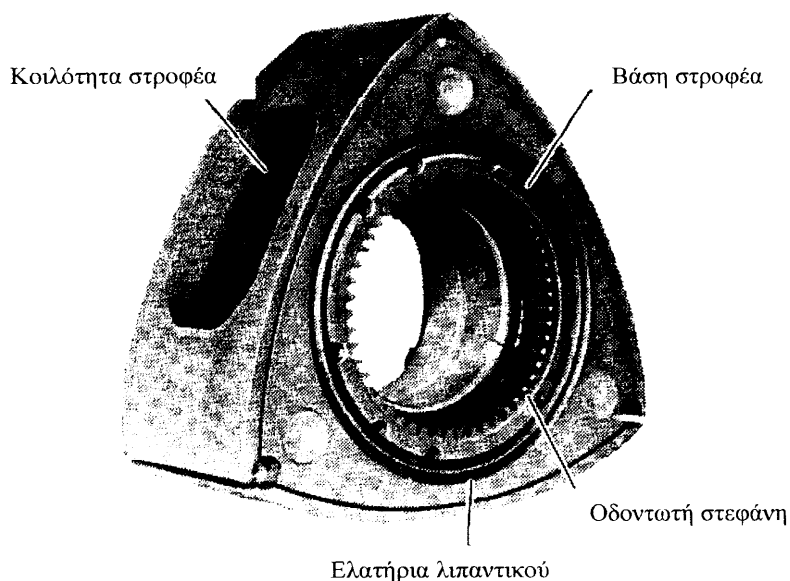
Εισαγωγή

Η περιστροφική μηχανή αποτελείται από το σύστημα των κελύφων, το σύστημα περιστροφής, το σύστημα εισαγωγής-εξαγωγής, το σύστημα ψύξης και το σύστημα λίπανσης. Δεν έχει μηχανισμό βαλβίδων και μπορεί να μεταφέρει την ισχύ μόνο με τη βοήθεια της περιστροφικής κίνησης, πράγμα που της επιτρέπει να είναι συμπαγέστερη και απλούστερα κατασκευασμένη από την παλινδρομική μηχανή.

Ένας σημαντικός αριθμός εξαρτημάτων του περιστροφικού κινητήρα έχει την ίδια μορφή κατασκευής και την ίδια λειτουργία με τον παλινδρομικό κινητήρα. Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τη βασική κατασκευή της περιστροφικής μηχανής, κυρίως την κατασκευή και τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελείται.

2.1 ΣΤΡΟΦΕΑΣ

Ο στροφέας εκτελεί μια λειτουργία που αντιστοιχεί στο έμβολο και στο διωστήρα μιας παλινδρομικής μηχανής, με την διαφορά πως στην περιστρεφόμενη μηχανή διαβιβάζεται άμεσα η πίεση του (εκτονωμένου) αερίου καύσης στον άξονα παραγωγής ως ροπή. Επίσης, ο στροφέας κάνει την εργασία των βαλβίδων εισαγωγής-εξαγωγής. Ο στροφέας ανοίγει αυτόματα και κλείνει τις θυρίδες εισαγωγής-εξαγωγής καθώς περιστρέφεται. Ο στροφέας είναι εξοπλισμένος με στεγανοποιητικά γωνιών σε κάθε κορυφή, τα πλαϊνά στεγανοποιητικά και τα στεγανοποιητικά ελαίου των οποίων ο αριθμός είναι δυο για κάθε πλευρά του στροφέα. Το Σχήμα 2.1 παρουσιάζονται τα εξαρτήματα του στροφέα. Η οδοντωτή στεφάνη των στροφέων και οι τριβείς ολίσθησης ενσωματώνονται στο κέντρο του.



Σχήμα 2.1-Δομή του στροφέα[1]

2.1.1 Βασική κατασκευή

Σε μια πρακτική μηχανή, η εσωτερική επιφάνεια στην οποία εργάζεται ο στροφέας γίνεται σύμφωνα με την ωσειδή διάταξη η οποία διαγράφεται από τον στροφέα κατά την λειτουργία του. Ενώ η εξωτερική επιφάνεια, αυτή του κελύφους του κινητήρα, διαμορφώνεται με τον ίδιο τρόπο.

Επίσης, κατά την φάση της κατασκευής του στροφέα και του εσωτερικού κελύφους υπάρχει μια ανοχή η οποία είναι επιθυμητή από την άποψη απόδοσης του κινητήρα. Η ανοχή αυτή είναι της τάξης των 0,5 mm. αφού λαμβάνεται υπόψη η εκτροπή του άξονα παραγωγής, οι θερμικές παραμορφώσεις, η διαδικασία του ρονταρίσματος, οι ανοχές του κατασκευαστή, κ.λ.π.

Οι τρεις πλευρές της περιφέρειας των στροφέων ονομάζονται πλευρές στροφέων, τα οποία κατασκευάζονται από μηχανές πολλαπλών λειτουργιών η από τόνους αντιγραφής. Ο στροφέας είναι κοίλης κατασκευής για την επίτευξη της ψύξης του, ενώ το βάρος του είναι και αυτό μικρό. Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ο στροφέας είναι:

(1) **Κοιλότητα στροφέα.** Μια κοιλότητα που υπάρχει σε κάθε πλευρά των στροφέων καλείται κοιλότητα στροφέων. Ο όγκος του καθορίζει τον λόγο συμπίεσης της μηχανής. Επιπλέον, η διαμόρφωση και η θέση της κοιλότητας αυτής έχουν μια μεγάλη επίδραση στα χαρακτηριστικά καύσης της μηχανής. Επομένως, μια βέλτιστη κοιλότητα στους στροφείς έχει επιλεχτεί για να καλύψει τις ιδιαίτερες απαιτήσεις για την βέλτιστη απόδοση της μηχανής, την χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, την τέλεια απαγωγή των καυσαερίων από το θάλαμο καύσης της μηχανής, κ.λ.π.

Η κοιλότητα στροφέων μπορεί να διαμορφωθεί στη μηχανή από μια μηχανή πολλαπλών δυνατοτήτων ή τους τόνους αντιγραφής. Συνήθως η όλη κατασκευή γίνεται με χύτευση με αποτέλεσμα η κατεργασία από μηχανήματα να γίνεται σε πολύ μικρό βαθμό.

(2) **Βάση στροφέων.** Μια προβολή που υπάρχει στο πλαϊνό μέρος του στροφέα καλείται βάση στροφέων και καθορίζει τη θέση της επαφής μεταξύ του στροφέα και του πλαϊνού κελύφους του κινητήρα για την καλύτερη και ευνοϊκότερη λίπανση. Η βάση αυτή βρίσκεται γενικά στην εσωτερική πλευρά του παρεμβύσματος ελαίου όπου υπάρχει ικανοποιητική παρουσία λιπαντικού αλλά και η αναπτυσσόμενη ταχύτητα ολίσθησης με το πλαϊνό κέλυφος του κινητήρα είναι μικρή συνεπώς μικρή είναι και η αναπτυσσόμενη μεταξύ των δυο αυτών επιφανειών τριβή. Η προβολή αυτή επάνω στον στροφέα βρίσκεται μεταξύ της τάξης του 0, 1~0. 15mm. Μια μικρότερη προβολή θα προκαλέσει επαφή και άλλων μερών στο πλαϊνό κέλυφος εκτός από την βάση του στροφέα, ενώ μια μεγαλύτερη προβολή θα αυξήσει την περιοχή του δευτερεύον στεγανοποιητικού που εκτίθεται άμεσα στο καυσαέριο προκαλώντας έτσι τη διαρροή καυσαερίου, την άνοδο θερμοκρασίας ελατηρίων, κ.λ.π.

Η απόσταση μεταξύ της βάσης των στροφέων και της πλαϊνού κελύφους είναι σε γενικές γραμμές μεταξύ 0, 1~0. 2 mm. αφού με τον τρόπο αυτό αποτρέπει τα δύο μέρη να κολλήσουν μεταξύ τους καθώς επίσης και για να διατηρήσει ένα ελάχιστο επίπεδο θορύβου λόγω της κλίσης και της αξονικής μετακίνησης του στροφέα.

(3) **Αυλάκι αποκατάστασης αερίου απωλειών συμπίεσης.** Μια διαφορά στην πίεση του αερίου το οποίο υπάρχει μεταξύ των δυο πλαϊνών επιφανειών του στροφέα αλλά και στις κορυφές του στροφέα μπορεί να προκαλέσουν τον στροφέα να πιέσει στην μια πλευρά του πλαϊνού κελύφους περισσότερο. Για να εξαλειφθεί μια τέτοια διαφορά πίεσης, μπορεί να ζυγοσταθμιστεί ο στροφέας αφαιρώντας του υλικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια περίπλοκη κατασκευή του στροφέα. Αντί

αυτής της ζυγοστάθμισης ένα αυλάκι εκτόνωσης αερίου λόγω απωλειών συμπίεσης έχει δημιουργηθεί. Ένα τέτοιο αυλάκι αποκατάστασης αερίου απωλειών συμπίεσης θα μειώσει επίσης την εναλλαγή της πίεσης αερίου στα δευτερεύοντα διαστήματα των στροφέων και θα σταθεροποιήσει τη λειτουργία των ελατηρίων ελαίου.

2.1.2 Υλικό κατασκευής

Οι απαιτήσεις για το υλικό στροφέων είναι:

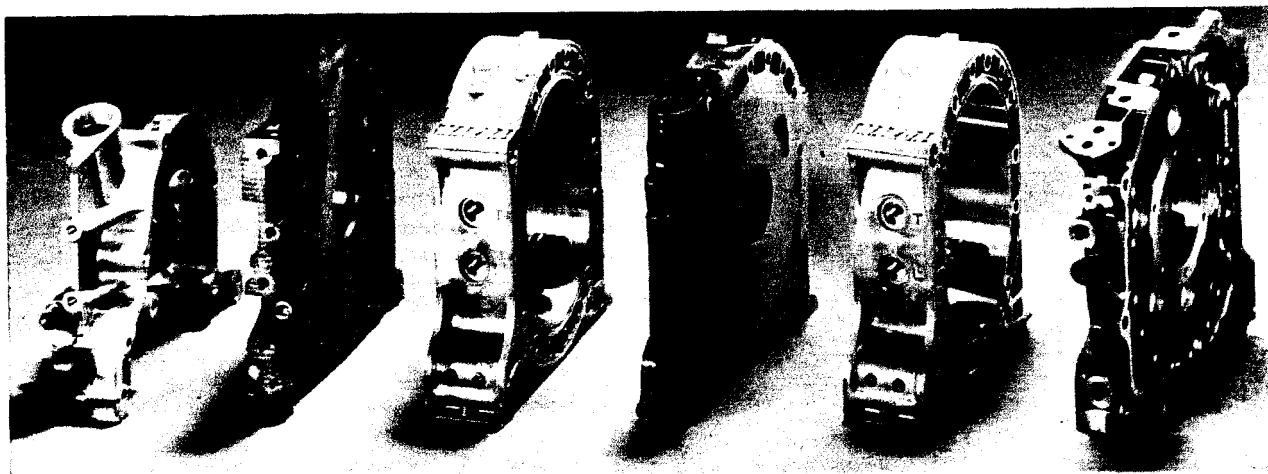
- (1) Αντοχή του υλικού στις υψηλές θερμοκρασίες
- (2) Μικρός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- (3) Υψηλή αντοχή στην φθορά και
- (4) Καλύτερη δυνατή λειτουργικότητα των εξαρτημάτων κ.λ.π....

Γενικά, το υλικό κατασκευής του στροφέα είναι ο κονδυλώδους χυτοσίδηρος από γραφίτη. Εντούτοις, από την άποψη του βάρους στροφέων αυτός ο κονδυλώδους γραφίτη χυτοσίδηρος έχει το μειονέκτημα της μεγάλης πυκνότητάς του άρα του μεγάλου βάρους του. Το μικρότερο δυνατό βάρος του στροφέα θα μειώσει το φορτίο στους τριβείς ολίσθησής του, το οποίο είναι σημαντικό, και έτσι θα επιτευχθεί μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής της μηχανής. Για το λόγο αυτό, η κατασκευή ενός στροφέα που χρησιμοποιεί ένα πιο ελαφρύ υλικό, όπως κράματα αργιλίου κ.λ.π., μελετάται.

2.2 ΚΕΛΥΦΟΣ

Το κέλυφος της περιστροφικής μηχανής, που αντιστοιχεί στο σώμα και την κεφαλή μιας παλινδρομικής μηχανής, αποτελείται από ένα βασικό κέλυφος, μέσα στο οποίο λειτουργεί ο στροφέας, και τα δευτερεύοντα (πλαϊνά) κελύφη διαμορφώνοντας έτσι τα πλευρικά τοιχώματα του κινητήρα.

Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζεται η δομή των κελύφων της περιστροφικής μηχανής.



Σχήμα 2.4-Δομή των κελύφων του περιστροφικού κινητήρα[1]

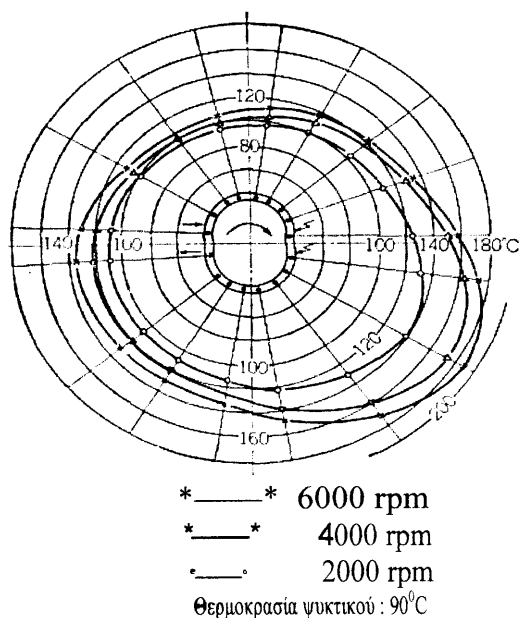
2.2.1 Το κέλυφος του στροφέα

Στην παλινδρομική μηχανή, κάθε χρόνος όπως αυτός για την εισαγωγή, τη συμπίεση, την εκτόνωση και την εξαγωγή πραγματοποιείται στον ίδιο όγκο. Το φορτίο θερμότητας διανέμεται κατά κύριο μέρος στην κεφαλή των κυλίνδρων και στον κορμό της μηχανής.

Στην περιστροφική μηχανή, ο λειτουργών θάλαμος καύσης κινείται και μεταβάλλει τον όγκο του καθ'όλη την διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα. Ο χώρος στο μέρος της εισαγωγής έχει την δυνατότητα ψύξης αφού ο αέρας κατά την φάση της εισαγωγής ψύχει την περιοχή αυτή. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και με την περιοχή εξαγωγής των καυσαερίων αφού είναι συνεχώς εκτεθειμένη σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις από το καυσαέριο.

Επιπλέον, λόγω των φυγοκεντρικών δυνάμεων που δημιουργούνται κατά την περιστροφή η πίεση αερίου ενεργεί στην εσωτερική επιφάνεια του κελύφους του στροφέα, παρουσιάζοντας πάντα μεγαλύτερη τιμή σε μια ιδιαίτερη θέση.

Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της διανομής θερμοκρασίας στην εσωτερική επιφάνεια του κελύφους της περιστροφικής μηχανής,



Σχήμα 2.5-Κατανομή θερμοκρασίας στην εσωτερική επιφάνεια του κελύφους[1]

Όπως φαίνεται παραπάνω, το κέλυφος εκτίθεται σε διαφορετικές θερμοκρασίες και πιέσεις σε διάφορες περιοχές και σε όλη την επιφάνεια του. Επομένως, για την σωστή αντοχή του κελύφους της περιστροφικής μηχανής θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη τα ακόλουθα στοιχεία σχετικά με το υλικό, τη δομή, την επεξεργασία επιφάνειας, κ.λ.π. Το κέλυφος θα πρέπει να είναι έτσι διαμορφωμένο ώστε :

(1) Να είναι στιβαρή και συμπαγής κατασκευή ώστε να αντέχει τις δυνάμεις που δρουν επάνω του.

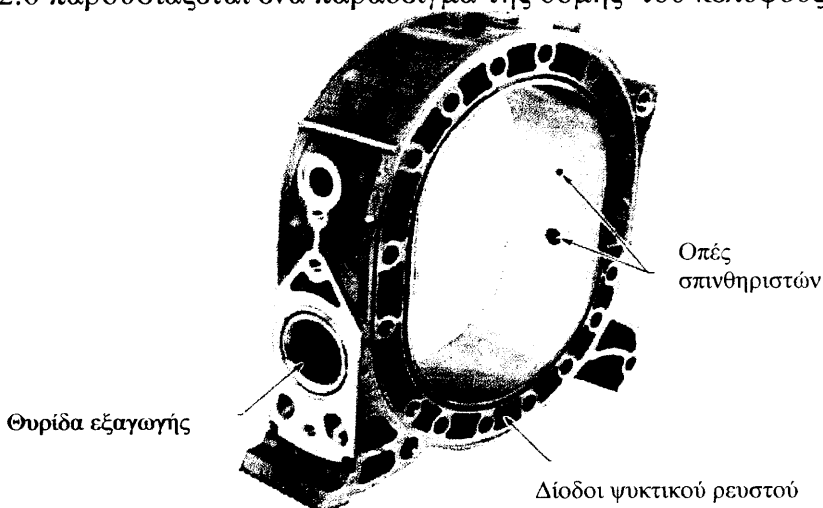
(2) Να ελαχιστοποιείται η διαφορά θερμοκρασίας καθώς επίσης και να εξισορροπούνται οι θερμικές τάσεις που προκαλούνται λόγω της μη ομαλής κατανομής θερμοκρασίας. Επίσης, να εξασφαλισθεί ικανοποιητικός βαθμός θερμικής αποσυμφόρησης στην περιοχή των σπινθηριστών που εκτίθενται στην υψηλότερη θερμοκρασία.

(3) Να ελαχιστοποιηθεί η παραμόρφωση της εσωτερικής επιφάνειας του κελύφους των στροφέων, αφού με αυτόν τον τρόπο θα αποτραπεί η διαρροή καυσαερίου στα στεγανοποιητικά των κορυφών, πράγμα μη επιθυμητό γιατί δημιουργεί μείωση της απόδοσης μηχανών.

2.2.1.1 Βασική δομή

Το στεγανοποιητικό των κορυφών του στροφέα ολισθαίνει σε όλο το μήκος της εσωτερικής επιφάνειας του κελύφους των στροφέων.

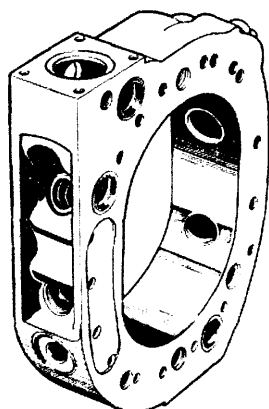
Γύρω από την εξωτερική επιφάνεια του εσωτερικού μέρους του κελύφους δημιουργούνται οι δίοδοι κυκλοφορίας ψυκτικού μέσου ανάλογα με τον τύπο της μηχανής. Στη συνέχεια, στο κέλυφος των στροφέων δημιουργούνται οι οπές για τους πινθηριστές, την θυρίδα εξαγωγής, κ.λ.π. οι οποίες παρέχονται στις αντίστοιχεςέλτιστες θέσεις τους που καλύπτουν τις απαιτήσεις για τα χαρακτηριστικά μηχανών. το σχήμα 2.6 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της δομής του κελύφους των στροφέων.



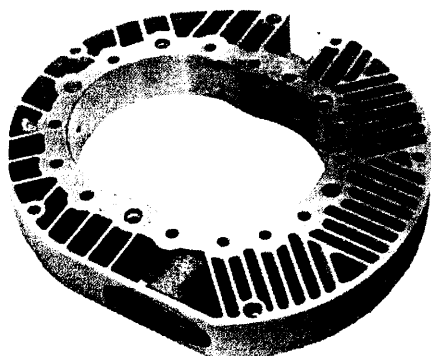
Σχήμα 2.6-Κατασκευή του κελύφους των στροφέων[1]

Ανάλογα με την ροή κατεύθυνσης του ψυκτικού υγρού, η μέθοδος ψύξης για το κέλυφος των στροφέων μπορεί να ταξινομηθεί στο σύστημα ψύξης περιφερειακής ροής και το σύστημα ψύξης αξονικής ροής.

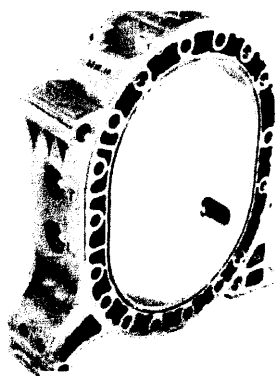
Στο σύστημα ψύξης περιφερειακής ροής, η κυκλοφορία γίνεται γύρω από την εξωτερική πλευρά. Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα του κελύφους των στροφέων για την ψύξη περιφερειακής ροής.



Σχήμα 2.7-Σχηματική παράσταση κελύφους με περιφερειακή ροή ψυκτικού υγρού[1]



(α) Αερόψυκτο κέλυφος



(β) Υδρόψυκτο κέλυφος

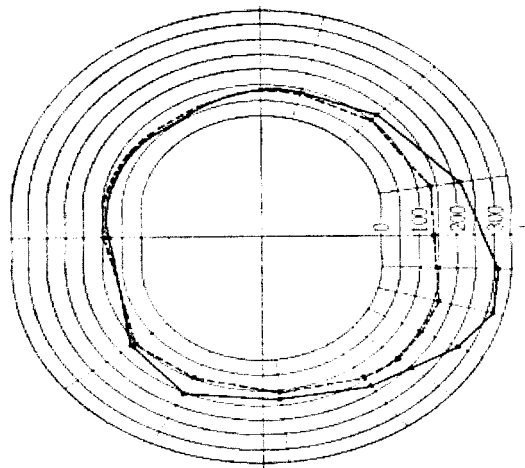
Σχήμα 2.8-Κέλυφος ψύξης στροφέων με αξονική ροή[1]

Στο σύστημα ψύξης αξονικής ροής, ο αέρας ή ρευστό διέρχεται ακτινικά από το κέλυφος του κινητήρα. Στο Σχήμα 2.8 παρουσιάζονται παραδείγματα κελύφους στροφέων για αερόψυκτη (α) και υδρόψυκτη (β) μηχανή. Στους κινητήρες αυτοκίνητων χρησιμοποιείται κυρίως το σύστημα ψύξης αξονικής ροής υγρού, διότι είναι ευκολότερο στην κατασκευή.

2.2.1.2 Υλικό κατασκευής

Επειδή το κέλυφος των στροφών καταπονείται σε μεγαλύτερα θερμικά φορτία από τα πλαϊνά κέλυφη, το υλικό κατασκευής του θα πρέπει να είναι υψηλής αντοχής, μικρό συντελεστή διαστολής και μεγάλη θερμική αγωγιμότητα.

Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται η κατανομή θερμοκρασιών σε ένα χυτοσίδηρο κέλυφος και σε ένα κέλυφος κράματος αλουμινίου. Το κέλυφος από χυτοσίδηρο ανεβάζει θερμοκρασία, περίπου 150°C υψηλότερη από αυτή της κελύφους το οποίο είναι κατασκευασμένο από κράμα αλουμινίου και υπερβαίνει την οριακή θερμοκρασία για την διατήρηση του λιπαντικού φιλμ. Σημειώνεται, ότι ο χυτοσίδηρος έχει μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής από το κράμα αλουμινίου το οποίο παρουσιάζει καλύτερη θερμική κατανομή και μικρότερη θερμική παραμόρφωση, αν και ο χυτοσίδηρος έχει χαμηλότερο κόστος..



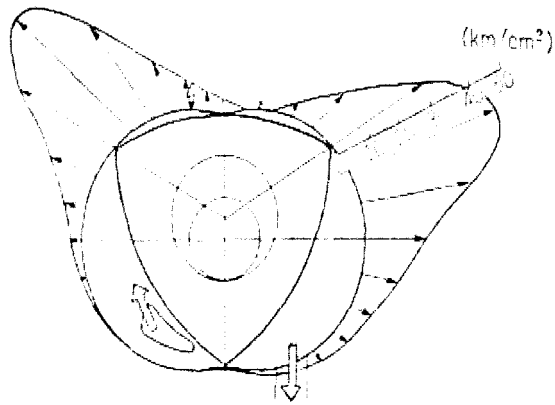
— Χυτοσίδηρος •••••••• Κράμα αλουμινίου

Σχήμα 2.9-Διάγραμμα κατανομής θερμοκρασιών[1]

Στο κέλυφος από κράμα αλουμινίου, η εσωτερική του επιφάνεια, πάνω στην οποία ολισθαίνει το στεγανοποιητικό των κορυφών του στροφέα, επιχρωμίζεται για να αυξηθεί η αντοχή στην τριβή.

2.2.1.3 Τοποθέτηση των σπινθηριστών

Η τοποθέτηση του σπινθηριστή στις περιστροφικές μηχανές είναι απαραίτητο να γίνει στο εξωτερικό μέρος της εσωτερικής πλευράς του κελύφους, γιατί θα πρέπει να αποφευχθεί η οποιαδήποτε επαφή του στεγανοποιητικού κορυφής με τον σπινθηριστή. Η τοποθέτηση του σπινθηριστή παίζει σημαντικό ρόλο αφού επηρεάζει την αναφλεξιμότητα, την σωστή καύση του μίγματος κ.λ.π. Για τους κινητήρες αυτοκινήτων χρησιμοποιείται το σύστημα διπλού σπινθηριστή. Ο ένας βρίσκεται κοντά στην κορυφή του στροφέα ενώ ο δεύτερος προς το τέλος αυτού, για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή καύση. Αν και ένας σπινθηριστής μεγάλης διαμέτρου μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη καύση αυτό αποφεύγεται. Εξαιτίας της διαφοράς πίεσης που υπάρχει στους δυο εργαζόμενους θαλάμους καύσης, είναι δυνατό να υπάρξει διαρροή μίγματος κατά την φάση που το στεγανοποιητικό κορυφής περνά από την εσοχή που είναι τοποθετημένος ο σπινθηριστής. Στο Σχήμα 2.10 φαίνεται η διαφορά πίεσης στους θαλάμους καύσης.



Σχήμα 2.10-Διαφορά πίεσης μεταξύ των εργαζόμενων θαλάμων καύσης[1]

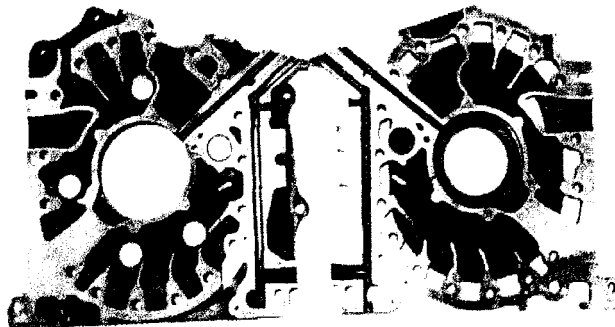
Επομένως, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις μηχανικές δυνάμεις και στην θερμική καταπόνηση της εσοχής των σπινθηριστών.

2.2.2 Πλαϊνό κέλυφος

Το πλαϊνό κέλυφος έχει λεία επιφάνεια όπου ολισθαίνει η πλαϊνή πλευρά του στροφέα και πιο συγκεκριμένα τα πλαϊνά στεγανοποιητικά και τα ελατήρια λαδιού. Παρόλα αυτά ο βαθμός λίπανσής του δεν είναι και τόσο σημαντικός όσο του κελύφους του στροφέα, αφού η θερμική καταπόνηση είναι μικρότερη και υπάρχει πάντα πίεση ανάμεσα στις ολισθαίνουσες επαφές.

2.2.2.1 Βασική δομή

Στο Σχήμα 2.11 παρουσιάζεται σε τομή το πλαϊνό κέλυφος ενός υδρόψυκτου κινητήρα ακτινικής ροής.



Σχήμα 2.11-Τομή υδρόψυκτου κελύφους ακτινικής ροής[1]

Στο πλαϊνό κέλυφος τοποθετείται και η θυρίδα εισαγωγής. Το εσωτερικό του είναι κοίλο έχοντας διαμορφωμένες διόδους για το ψυκτικό υγρό, ενώ τα υπάρχουν διαμορφωμένα πλευρά στο εσωτερικό για μεγαλύτερη ακαμψία και καλύτερη επίδραση ψύξης.

Επίσης, στο κεντρικό μέρος του πλαϊνού κελύφους υπάρχει και μια δίοδος λιπαντικού η οποία ψύχει το εσωτερικό των στροφέων και επιστρέφει στην ελαιολεκάνη.

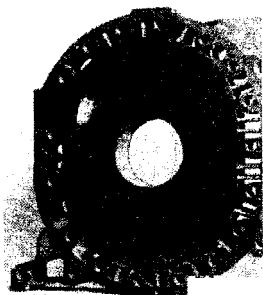
Περαιτέρω, στο πλαϊνό κέλυφος μπορεί να τοποθετηθεί και μια δευτερεύουσα θυρίδα εισαγωγής αέρα ή ανακύκλωσης καυσαερίου (EGR) για καλύτερες εκπομπές ρύπων.

2.2.2.2 Υλικό κατασκευής-Επεξεργασία επιφάνειας ολίσθησης

Για τη κατασκευή του πλαϊνού κελύφους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί χυτοσίδηρος ή κράμα αλουμινίου. Γενικά, ο χυτοσίδηρος έχει χαμηλότερο κόστους και χρησιμοποιείται λόγω του ότι εκτίθεται σε μικρότερο θερμικό φορτίο από αυτό του κελύφους των στροφών.

Για ένα πλαϊνό κέλυφος που χρησιμοποιείται σε κινητήρα που λειτουργεί κάτω από σχετικά ελαφρύ φορτίο, καμία ειδική επεξεργασία επιφάνειας δεν απαιτείται δεδομένου ότι έχει γίνει σωστή επεξεργασία της επιφάνειας ολίσθησης και έχουν επιλεγθεί τα κατάλληλα παρεμβύσματα ελαίου. Όμως, για μια μηχανή υψηλής απόδοσης καταπονούμενη στα υψηλά θερμικά φορτία, η επιφάνεια ολίσθησης πρέπει να σκληρυνθεί.

Το κράμα αλουμινίου είναι γενικά καλύτερο από άποψη ψύξης και βάρους, αλλά είναι μικρής αντοχής και απαιτεί μεθόδους ανόπτησής του. Σε αυτή την περίπτωση, μια αποτελεσματική μέθοδος για να βελτιωθεί η συγκολλητική ικανότητα του κράματος αλουμινίου είναι να γίνει ψεκασμός από μολυβδαίνιο και κατόπιν με ανθρακούχο χάλυβα. Στο Σχήμα 2.12 φαίνεται η επιφάνεια ολίσθησης του πλαϊνού κελύφους μετά από ψεκασμό με ανθρακούχο χάλυβα.



Σχήμα 2.12-Επιφάνεια του πλαϊνού κελύφους[1]

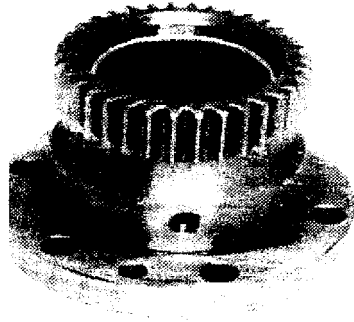
Αλλά, ο ψεκασμός μετάλλων προκαλεί προβλήματα στο εργασιακό περιβάλλον. Επομένως, οι μέθοδοι τοποθέτησης ενός φύλλου χάλυβα πάνω από το κράμα αλουμινίου και η διαμόρφωση ενός στρώματος στην επιφάνεια χωρίς την χημική επεξεργασία, κ.λ.π., μελετώνται.

2.3 ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΟΔΟΝΤΩΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ

Η περιστροφική μηχανή είναι εξοπλισμένη με έναν οδοντωτό μηχανισμό συγχρονισμού για τον ακριβή έλεγχο της περιστροφικής κίνησης του στροφέα. Η οδόντωση συγχρονισμού αποτελείται από μια εξωτερική οδόντωση (σταθερή οδόντωση) που στερεώνεται στο πλαϊνό κέλυφος και μια εσωτερική οδόντωση (οδόντωση στροφέα) που τοποθετείται στο στροφέα και παράγει τον βασικό κύκλο λειτουργίας, όπως έχει περιγράψει στο 1.1. Οι οδόντωση αυτή που χρησιμοποιείτε για συγχρονισμό κατασκευάζεται με αναλογία του στροφέα προς τον άξονα παραγωγής 1: 3.

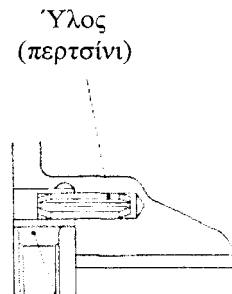
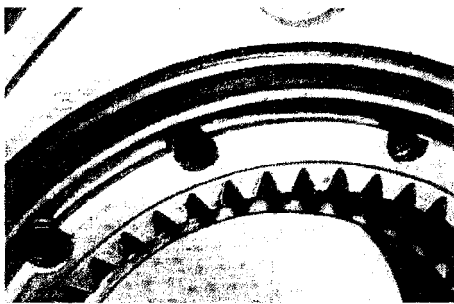
2.3.1 Δομή του οδοντωτού μηχανισμού

Το σταθερό γρανάζι (οδηγός) είναι στερεωμένο στο πλαϊνό κέλυφος του κινητήρα και μέσα σε αυτό λειτουργεί και ο κινητήριος άξονας. Στο Σχήμα 2.13 φαίνεται το σταθερό γρανάζι, πριν στερεωθεί όμως στο πλαϊνό κέλυφος. Η σύνδεσή του γίνεται με κοχλίες.



Σχήμα 2.13-Σταθερό γρανάζι (οδηγός)[1]

Το γρανάζι του στροφέα είναι συνήθως μια στεφάνη με την οδόντωση στο εσωτερικό της. Η κατασκευή της οδόντωσης μπορεί να γίνει και επάνω στο στροφέα αλλά συνήθως κατασκευάζεται επάνω σε μια στεφάνη και συνδέεται επάνω στο στροφέα με ύλους (περτσίνια), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.14.



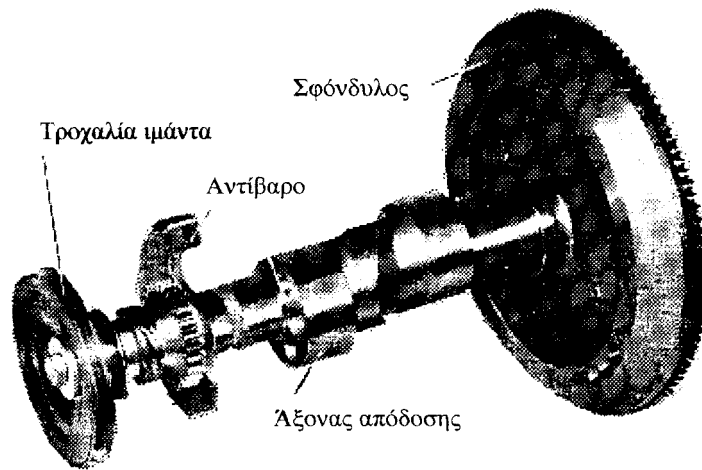
Στάσιμος οδοντωτός τροχός

Σχήμα 3.14-Στερέωση της οδόντωσης στο στροφέα[1]

Το υλικό κατασκευής των γραναζιών είναι συνήθως ανθρακούχος χάλυβας. Για κινητήρες όμως αγωνιστικούς και υψηλών επιδόσεων χρησιμοποιούνται χαλυβοκράματα ή γίνεται επισκλήρυνση της επιφάνειας για μεγαλύτερη αντοχή.

2.4 ΑΞΟΝΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Ο άξονας μετάδοσης της κίνησης αντιστοιχεί στον στροφαλοφόρο άξονα των παλινδρομικών μηχανών. Η λειτουργία του είναι να παράγει περιστροφική κίνηση μέσω των διαμορφωμένων έκκεντρων που υπάρχουν επάνω σε αυτόν λαμβάνοντας ροπή από τον στροφέα κατά την καύση. Στο Σχήμα 3.15 φαίνεται ο άξονας μετάδοσης κίνησης για ένα κινητήρα με δυο στροφείς.

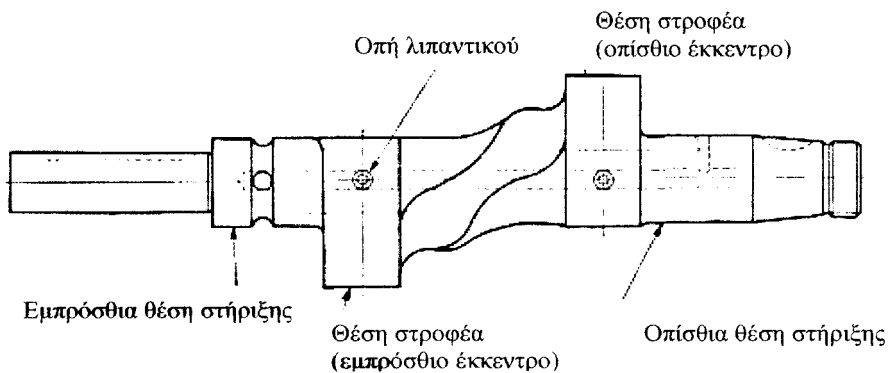


Σχήμα 2.15-Δομή του άξονα μετάδοσης κίνησης[1]

Ο άξονας μετάδοσης κίνησης στηρίζεται σε δυο τριβείς ολίσθησης τοποθετημένους στο εμπρόσθιο και οπίσθιο μέρος μέσα στους σταθερούς οδοντωτούς τροχούς που είναι συνδεδεμένοι επάνω στα πλαϊνά κελύφη του κινητήρα. Πάνω στο εμπρόσθιο μέρος του άξονα τοποθετούνται επίσης το αντίβαρο, η τροχαλία του μάντα, κ.λ.π. Ενώ στο οπίσθιο μέρος εγκαθίσταται ο σφόνδυλος (βολάν).

2.4.1 Μορφή του άξονα μετάδοσης κίνησης

Στο Σχήμα 2.16 παρουσιάζεται η μορφή του άξονα παραγωγής μιας μηχανής δυο στροφών.



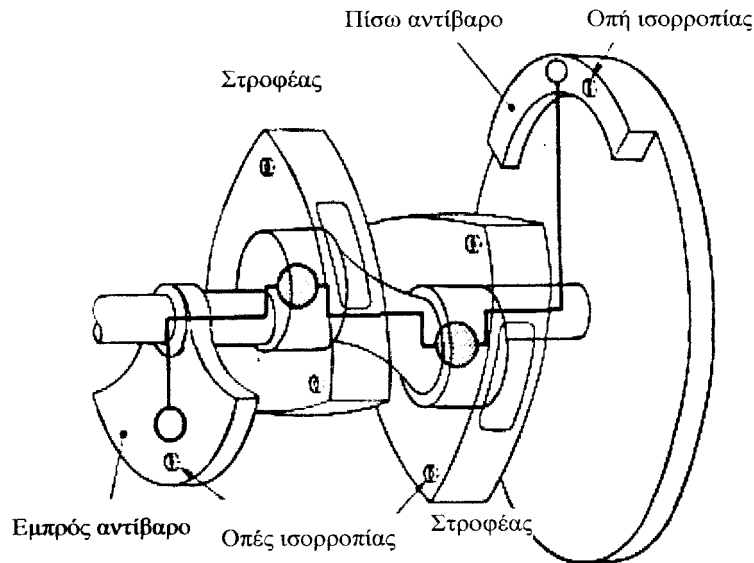
Σχήμα 2.16-Άξονας παραγωγής[1]

Κατά μήκος του άξονα υπάρχει διόδος ροής λιπαντικού για την λίπανση των τριβών και για την ψύξη του εσωτερικού των στροφών. Η διάμετρος του έκκεντρο επάνω στον άξονα γίνεται σύμφωνα με το μέγεθος των ελατηρίων λιπαντικού που χρησιμοποιούνται την κατασκευή του μηχανισμού συγχρονισμού κ.τ.λ.

Ο άξονας μετάδοσης κίνησης έχει μεγαλύτερη ακαμψία από τον στροφαλοφόρο άξονα της παλινδρομικής μηχανής και δεν απαιτεί καμία μελέτη για δονήσεις. Το υλικό κατασκευής του είναι σφυρήλατος χρωμιούχος χάλυβας ή χρωμιομολυβδούχος χάλυβας μεγάλης ακαμψίας με επισκλήρυση στις βάσεις των στροφών.

2.4.2 Ισορροπία εσωτερικών δυνάμεων

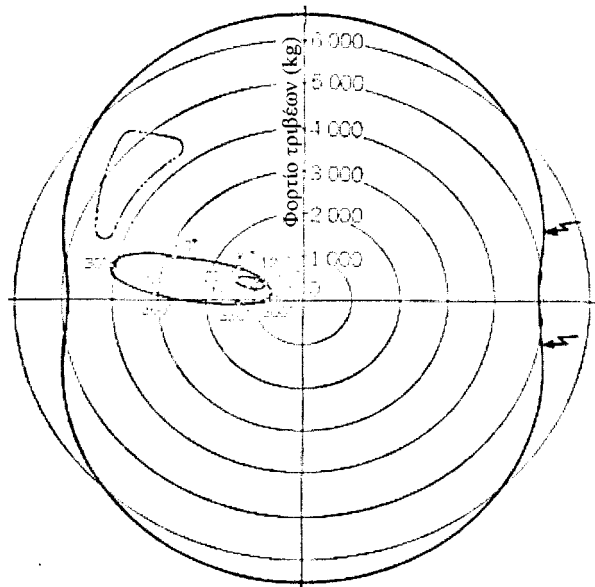
Για την εξισορρόπηση των εσωτερικών δυνάμεων αδρανείας που δημιουργούνται από τα κινούμενα μέρη του κινητήρα δυνάμεις που οφείλονται σε μάζες που περιστρέφονται και δυνάμεις από μάζες που παλινδρομούν. Η περιστροφική μηχανή δεν έχει κανένα παλινδρομικό στοιχείο, συνεπώς δεν υπάρχουν και αδρανειακές δυνάμεις από μάζες που παλινδρομούν. Ενώ, για την ισορροπία των μαζών που περιστρέφονται, γίνεται χρήση αντιβάρων τα οποία τοποθετούνται στο εμπρός και πίσω μέρος του άξονα μετάδοσης κίνησης αντίστοιχα. Το εμπρός αντίβαρο τοποθετείται επάνω στον άξονα, ενώ το πίσω διαμορφώνεται επάνω στο σφόνδυλο (βολάν). (Σχήμα 2.17).



Σχήμα 2.17-Τοποθέτηση αντιβαρων[1]

2.4.3 Τριβείς και φορτία

Για μικρούς κινητήρες, στα σημεία έδρασης των αξόνων τους χρησιμοποιούνται ένσφαιρα ή κυλινδρικά ρουλεμάν συνήθως. Για τους κινητήρες αυτοκινήτων, όμως, οι οποίοι προορίζονται για χρήση και λειτουργία σε ευρύ φάσμα στροφών, γίνεται χρήση τριβέων ολίσθησης. Το υλικό των τριβέων είναι λευκό μέταλλο ή κράμα αλουμινίου. Στο Σχήμα 2.18 φαίνεται το φορτίο στον τριβέα ολίσθησης μιας περιστροφικής μηχανής.



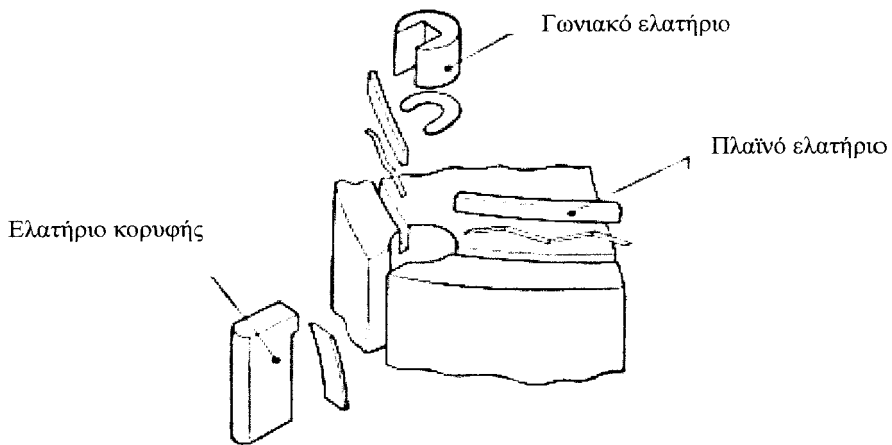
Σχήμα 2.18-Φορτίο τριβέα ολίσθησης[1]

Στον περιστροφικό κινητήρα οι αδρανειακές δυνάμεις από περιστρεφόμενες μάζες εξουδετερώνονται εντελώς. Το μόνο φορτίο το οποίο δέχεται ο τριβέας είναι αυτό της πίεσης αερίου που ασκείται στο στροφέα κατά την καύση. Στο τριβέα του στροφέα ενεργούν οι δυνάμεις από αέρια κατά την καύση και φυγόκεντρικές δυνάμεις που οφείλονται στην κίνηση του στροφέα. Αλλά οι δυνάμεις αυτές κατά την λειτουργία σχεδόν ισορροπούν αφού αλληλοεξουδετερώνονται, οι δυνάμεις των αερίων είναι μεγαλύτερες για χαμηλές στροφές, ενώ περί το μέσο των στροφών ισορροπούν τελείως. Στο μέγιστο το στροφών, όμως, οι φυγόκεντρες δυνάμεις που δημιουργούνται από την κίνηση του στροφέα υπερισχύουν.

2.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΙΩΝ

Ο μηχανισμός στεγανότητας αερίων για την περιστροφική μηχανή αντιστοιχεί στα ελατήρια συμπίεσης του εμβόλου της παλινδρομικής μηχανής. Αποτελείται από τρία ελατήρια διαφορετικών διαστάσεων και σχήματος με ειδικές συνδέσεις για την στεγανοποίηση του θαλάμου.

Τα ελατήρια συμπίεσης του κινητήρα καταπονούνται σε μεγάλα φορτία από αέρια αλλά και από θερμικά φορτία. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στο υλικό κατασκευής τους και στην διαμόρφωση των επιφανειών ολίσθησης. Στο Σχήμα 2.19 βλέπουμε τη δομή των ελατηρίων συμπίεσης στο στροφέα του περιστροφικού κινητήρα.



Σχήμα 2.19-Δομή μηχανισμού ελατηρίων[1]

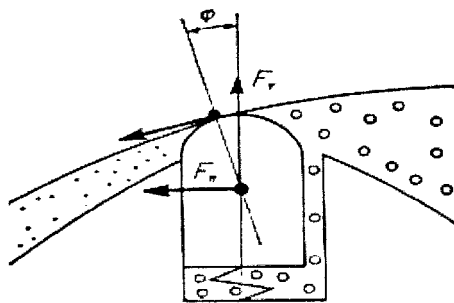
2.5.1 Δομή του μηχανισμού συμπίεσης

Ο μηχανισμός συμπίεσης για την περιστροφική μηχανή αποτελείται από ένα ελατήριο κορυφής για την στεγανότητα κάθε εργαζόμενου θαλάμου, ένα πλάγιο ελατήριο και ένα γωνιακό το οποίο συνδέει τα δυο προηγούμενα. Έτσι, όλος αυτός ο μηχανισμός αντιστοιχεί, όπως αναφέρθηκε στα ελατήρια του εμβόλου μιας παλινδρομικής μηχανής.

Σε κάθε ελατήριο το οποίο τοποθετείται αντιστοιχεί ένα έλασμα στην πίσω πλευρά του. Έτσι θα υπάρχει πάντα ασκούμενη πίεση στο ελατήριο, ώστε να βρίσκεται πάντα σε επαφή με την επιφάνεια την οποία συνεργάζεται. Με αυτό το τρόπο ο μηχανισμός συμπίεσης αερίων για την περιστροφική μηχανή NSU-Wankel μπορεί να καταστήσει κάθε εργαζόμενο θάλαμο απολύτως ανεξάρτητο από τους άλλους. Αυτός ο τρόπος στεγανοποίησης αερίων ονομάζεται “Πλέγμα Wankel”.

2.5.2 Ελατήριο κορυφών

Το ελατήριο κορυφών υπάρχει σε κάθε κορυφή του στροφέα. Επίσης παίζει τον ρόλο των βαλβίδων εισαγωγής-εξαγωγής το οποίο είναι μοναδικό για την περιστροφική μηχανή. Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 2.20, το ελατήριο κορυφής δρά με την πλαγιομετωπική πλευρά του.



Σχήμα 2.20-Μηχανισμός ελατηρίου κορυφής[1]

Καταπονείται σε υψηλά φορτία από την πίεση των αερίων αλλά και από τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται. Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών αλλά και των

ανοχών κατά την κατασκευή προκαλείται διαστολή του ελατήριου, με αποτέλεσμα την μη καλή εφαρμογή του. Για το λόγο αυτό μπορεί να γίνει κατασκευή του ελατηρίου κορυφής διαιρούμενο. Επίσης το ελατήριο κορυφής κρατά απολύτως ανεξάρτητους τους θαλάμους καύσης, όπου ο κύκλος καύσης συνεχώς επαναλαμβάνεται. Κάθε εργαζόμενος θάλαμος έχει μια διαφορά φάσης 360° , προκαλώντας μια διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο παρακείμενων θαλάμων. Η αναπτυσσόμενη πίεση στο θάλαμο κατά την καύση είναι μεγαλύτερη από την από αυτήν που αναπτύσσεται κατά την φάση της συμπίεσης. Επομένως, αυτό σημαίνει ότι η διαφορά στους εργαζόμενους θαλάμους θα αναγκάσει το ελατήριο κορυφής να κινηθεί πέρα δώθε στο αυλάκι έδρασης του.

Πολλές διαμορφώσεις για το ελατήριο κορυφής έχουν επινοηθεί και μελετηθεί για την βελτίωση της συμπίεσης. Εντούτοις, από την άποψη διάρκειας ζωής, κατασκευής και τοποθέτησης, η υπερβολικά περίπλοκη κατασκευή δεν είναι επιθυμητή.

Η διάρκεια ζωής του ελατηρίου κορυφής είναι σημαντική για να αποφευχθεί η καταστροφή του. Πολλά είδη υλικών κατασκευής του έχουν μελετηθεί. Ένα αυτολιπανόμενο κράμα άνθρακα συχνά χρησιμοποιείτε για την επαφή του ελατηρίου με την χρώμιο καλυμμένη εσωτερική επιφάνεια του κελύφους των στροφέων. Αλλά με τις τεχνικές επεξεργασίας μετάλλου χρησιμοποιήθηκε κράμα χυτοσιδήρου το οποίο διαμορφώνεται και κατόπιν ψύχεται για την ανόπτηση του ελατηρίου κορυφής. Στο Σχήμα 2.21 φαίνεται η τεχνική αυτή .

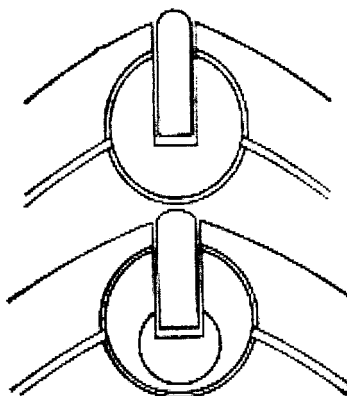


Σχήμα 2.21-Υλικό του ελατηρίου κορυφής[1]

2.5.3 Πλαϊνά και γωνιακά ελατήρια

Το πλαϊνό ελατήριο τοποθετείται στην πλαϊνή πλευρά του στροφέα για να αποτρέψει την διαρροή υψηλής πίεσης αερίου από τον λειτουργούντα θάλαμο καύσης στο πλαϊνό μέρος του στροφέα. Επίσης κατά την κατασκευή του έχει ένα κενό της τάξεως των 0,05 ~0.15 mm. από το ελατήριο γωνίας, επιτρέποντας την πιθανή θερμική διαστολή. Το γωνιακό ελατήριο διατηρεί την στεγανότητα και ενώνει παράλληλα το ελατήριο κορυφής με τα πλαϊνά ελατήρια.

Το πλαϊνό ελατήριο και το ελατήριο γωνιών κατασκευάζονται από ειδικό κράμα χυτοσιδήρου με επιχρωμιωμένη την εξωτερική τους πλευρά για να βελτιωθεί η αντίσταση τους στην τριβή. Στο Σχήμα 2.22 φαίνονται διάφοροι τύποι γωνιακών ελατηρίων.



Σχήμα 2.22-Γωνιακό ελατήριο στροφέα[1]

2.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Ο λειτουργών θάλαμος του περιστροφικού κινητήρα κινείται εντός του κελύφους καθώς ο όγκος του μεταβάλλεται. Οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής δημιουργούνται σε κατάλληλες θέσεις στο κέλυφος ώστε να εξασφαλίζουν κατάλληλη εναλλαγή των αέριων.

Οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής ανοίγουν και κλείνουν αυτόματα καθώς ο στροφέας περιστρέφεται, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη του συστήματος βαλβίδων οι οποίες υπάρχουν στην παλινδρομική μηχανή. Αυτό αποτελεί και πλεονέκτημα της περιστροφικής μηχανής αφού γίνεται απλούστερη κατασκευή, υπάρχουν λιγότεροι μηχανικοί θόρυβοι και άριστη απόδοση στις υψηλές στροφές.

2.6.1 Θυρίδες εισαγωγής-εξαγωγής

Οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής μπορούν να διαμορφωθούν είτε στο κέλυφος των στροφέων είτε στα πλαϊνά κελύφη. Το σύστημα για θυρίδες διαμορφωμένες στο κέλυφος των στροφέων ονομάζεται σύστημα περιφερειακών θυρίδων και έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- (1) Οι θυρίδες ανοίγουν και κλείνουν από το ελατήριο κορυφής που βρίσκεται στο στροφέα.
- (2) Οι δυο παρακείμενοι θάλαμοι καύσης επικοινωνούν μέσω των θυρίδων κατά την διάρκεια που το ελατήριο κορυφής διαπερνά τις θυρίδες.
- (3) Η κατεύθυνση της ροής αερίου είναι ίδια με την κατεύθυνση των στροφέων και έτσι δεν προκαλεί μεγάλη αντίσταση στη ροή του αερίου.

Το σύστημα στο οποίο οι θυρίδες εισαγωγής διαμορφώνονται στο πλαϊνό κέλυφος ονομάζεται σύστημα πλαϊνών θυρίδων και έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

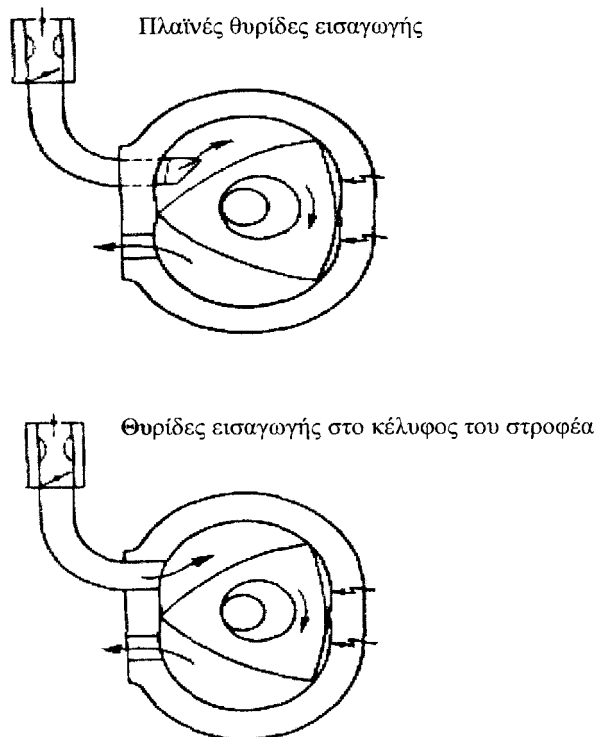
- (1) Η θυρίδα δημιουργείται σε ακριανή θέση ώστε κατά την κίνηση του στροφέα να μην έρχεται σε επαφή με τα ελατήρια λαδιού.
- (2) Ο χρόνος εισαγωγής είναι μικρότερος από ό,τι στο σύστημα περιφερειακών θυρίδων, γιατί η θυρίδα κλείνει και ανοίγει από την πλαϊνή πλευρά του στροφέα.
- (3) Η κατεύθυνση ροής του αερίου είναι διαφορετική και ο στροφέας προκαλεί μεγαλύτερη αντίσταση ροής.

Για την θυρίδα εξαγωγής επιλέγεται συνήθως να τοποθετείται όπως στο σύστημα περιφερειακών θυρίδων, δηλαδή επάνω στο κέλυφος των στροφέων. Αυτό γίνεται γιατί με την θυρίδα εξαγωγής στο πλαϊνό κέλυφος θα προκληθεί διαρροή αερίου υψηλής

θερμοκρασίας στο πλάγιο μέρος του στροφέα καταπονώντας τα πλαϊνά ελατήρια και τα ελατήρια λαδιού. Για την θυρίδα εισαγωγής γίνεται επιλογή χρήσης του ενός από τα δυο συστήματα ανάλογα με τον τρόπο χρήσης της μηχανής.

Στο σύστημα με θυρίδες περιφερειακά, η κοινή ροή του καυσίμου μίγματος και του στροφέα συντελούν σε καλύτερη καύση και απόδοση του κινητήρα στις υψηλές στροφές και σε μεγάλα φορτία. Αλλά για χαμηλές στροφές η καύση γίνεται ασταθής γιατί προκαλείται διαρροή καυσαερίου από τον διπλανό θάλαμο καύσης κατά την διάρκεια που το ελατήριο κορυφής αρχίζει να κλείνει την θυρίδα εισαγωγής το λεγόμενο φαινόμενο επικάλυψης (overlap). Στο σύστημα με πλαϊνές θυρίδες εισαγωγής, αν και η απόδοσή του στις υψηλές στροφές δεν είναι τόσο μεγάλη όσο στο σύστημα περιφερειακών θυρίδων υπάρχει μικρότερο διάστημα ανοίγματος και κλεισίματος της θυρίδας, έτσι ώστε να μην υπάρχει μεγάλη διαρροή καυσαερίου μέσα στον θάλαμο, αφού ο χρόνος της επικάλυψης (overlap) είναι μικρότερος εξασφαλίζοντας, έτσι, σταθερή καύση και στις χαμηλές στροφές του κινητήρα.

Για όλους τους παραπάνω λόγους το σύστημα με θυρίδες εισαγωγής περιφερειακά χρησιμοποιείται περισσότερο σε αγωνιστικού τύπου κινητήρες, όπου δίνεται μεγαλύτερη σημασία στην απόδοση τους σε υψηλές στροφές και φορτία. Ενώ για τους συμβατικούς κινητήρες στην αυτοκίνηση χρησιμοποιείται το σύστημα πλαϊνών θυρίδων το οποίο έχει σταθερή απόδοση σε όλο το φάσμα των στροφών. Παρακάτω στο Σχήμα 2.23 φαίνεται οι διαμόρφωση των θυρίδων για τα δυο συστήματα.



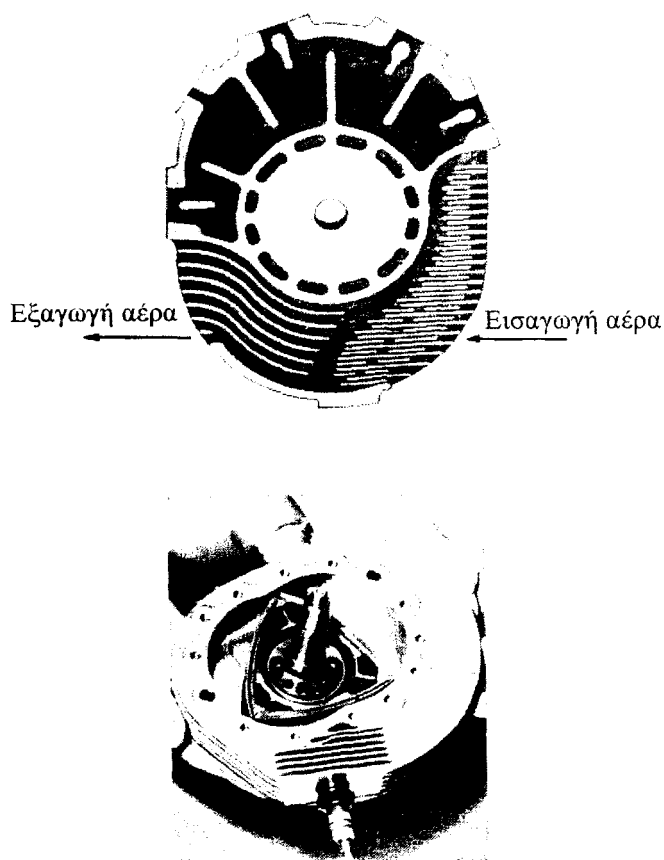
Σχήμα 2.23-Συστήματα θυρίδων εισαγωγής[1]

2.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ

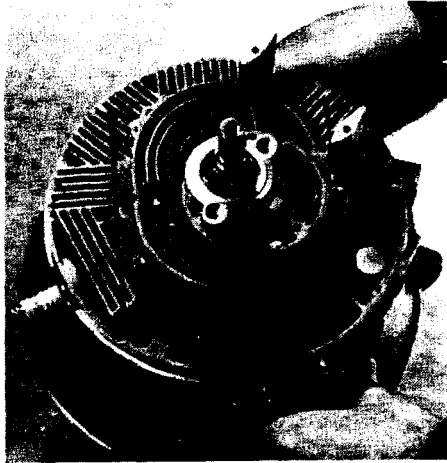
Στο περιστροφικό κινητήρα οι χρόνοι της εισαγωγής, συμπίεσης, εκτόνωσης και εξαγωγής γίνονται πάντα σε σταθερές θέσεις προκαλώντας έτσι μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας στα σημεία των κελύφων. Η θερμοκρασία στην εσωτερική επιφάνεια του κελύφους έχει σοβαρές επιπτώσεις στο σχηματισμό του λιπαντικού φιλμ αλλά και στην συμπίεση των αερίων, αφού η στεγανότητα του ελατηρίου θα μειώνεται από την θερμική παραμόρφωση. Ο στροφέας καταπονείται σε υψηλές θερμοκρασίες από τα καυσαέρια και μάλιστα σε μεγαλύτερη επιφάνεια από αυτή του εμβόλου των παλινδρομικών μηχανών. Η θερμοκρασία του στροφέα επηρεάζει την διάρκεια ζωής των ελατηρίων κορυφής, αλλά και την τάση του κινητήρα για κρουστική καύση. Για το λόγο αυτό απαιτείται ψύξη του στροφέα.

2.7.1 Ψύξη του κελύφους

Οι περιστροφικές μηχανές ανάλογα με τον τρόπο ψύξης του κελύφους, διακρίνονται σε υδρόψυκτες και αερόψυκτες και, ανάλογα με τον τρόπο ροής του ψυκτικού μέσου σε ακτινική ροή και φυγόκεντρης ροής. Στα Σχήματα 2.24 και 2.25 φαίνεται η διαμόρφωση των πτερυγίων για αερόψυκτες περιστροφικές μηχανές με φυγόκεντρική ροή και αξονική ροή του ψυκτικού μέσου, αντίστοιχα.

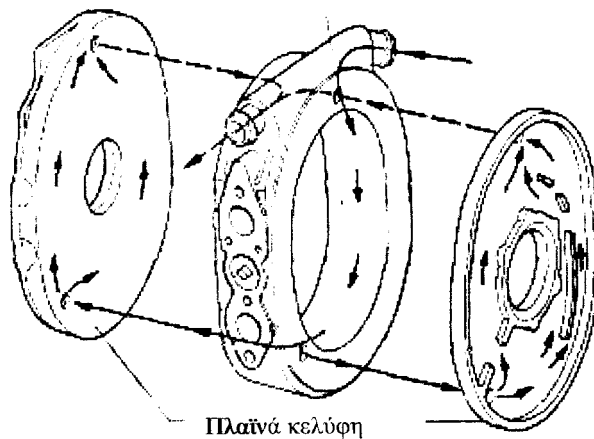


Σχήμα 2.24-Αερόψυκτη περιστροφική μηχανή φυγόκεντρης ροής[1]

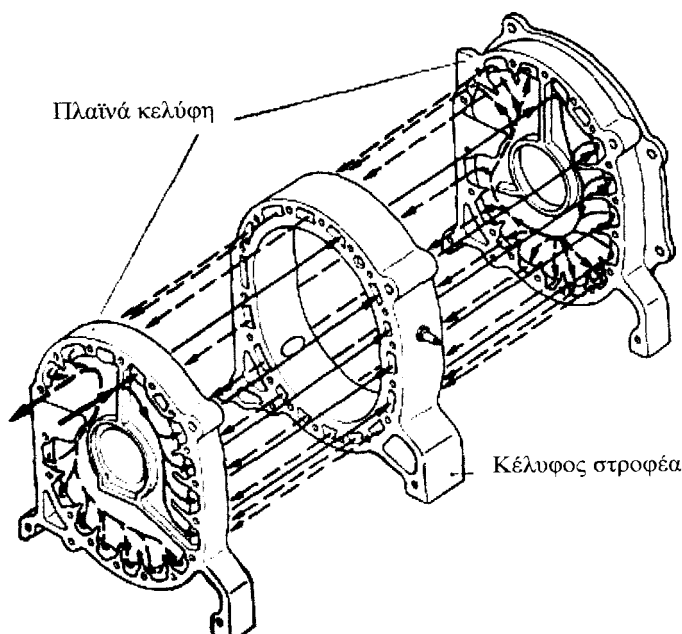


Σχήμα 2.25-Αερόψυκτη περιστροφική μηχανή αξονικής ροής[1]

Στις περιοχές που αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες διαμορφώνεται ο μέγιστος δυνατός αριθμός πτερυγίων, έτσι ώστε να αυξηθεί η επιφάνεια ψύξης για καλύτερη ψύξη. Οι αερόψυκτοι περιστροφικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται για μικρού μεγέθους και φορτίων κινητήρες. Για κινητήρες αυτοκινήτων και κινητήρες υψηλών θερμικών φορτίων χρησιμοποιείται το νερό ως ψυκτικό μέσο. Στα Σχήματα 2.26 και 2.27 φαίνεται ο τρόπος που διαμορφώνονται οι δίοδοι του ψυκτικού ρευστού στα κελύφη του κινητήρα για υδρόψυκτες περιστροφικές μηχανές με φυγόκεντρη ροή και με αξονική ροή ψυκτικού ρευστού, αντίστοιχα.



Σχήμα 2.26-Υδρόψυκτη περιστροφική μηχανή φυγόκεντρης ροής[1]



Σχήμα 2.27-Υδροψυκτική περιστροφική μηχανή αξονικής ροής[1]

Στο σύστημα ψύξης με φυγόκεντρη ροή, το ψυκτικό ρευστό διαπερνά ξεχωριστά το κάθε κελύφος δίνοντάς του την δυνατότητα να μειώνει την θερμοκρασία μεταξύ των κελύφων, πράγμα που κάνει τον τρόπο αυτό ικανό για εφαρμογή σε κινητήρες με πολλούς στροφείς. Όμως, η κατασκευή του κελύφους φυγόκεντρης ροής είναι αρκετά δύσκολη εξαιτίας της ιδιορρυθμίας των διόδων του ψυκτικού υγρού. Γι'αυτό στους κινητήρες αυτοκινήτων χρησιμοποιείται κυρίως ψύξη με αξονική ροή. Στην περιοχή των σπινθηριστών διαμορφώνονται επίσης πτερύγια για να αυξήσουν την επιφάνεια ψύξης.

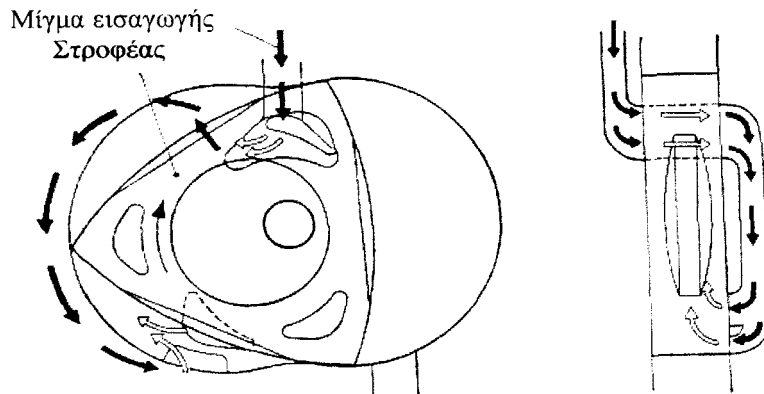
2.7.2 Μηχανισμός στεγανότητας του ψυκτικού υγρού.

Για να μην υπάρχει διαρροή ψυκτικού υγρού στο θάλαμο καύσης στα σημεία ενώσεως των κελύφων του κινητήρα χρησιμοποιούνται παρεμβύσματα στην μεταξύ των κελύφων επαφή. Για την ψύξη με φυγόκεντρη ροή ψυκτικού ρευστού η δίοδος σύνδεσης των μεταξύ κελυφών πρέπει να γίνει σε σημείο που δεν αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες. Για την ψύξη με αξονική ροή ψυκτικού υγρού τοποθετείται ένα ελαστικό παρέμβυσμα κατά μήκος όλου του κελύφους. Το κέλυφος του στροφέα και τα πλαϊνά κελύφη έχουν διαφορετικό βαθμό διαστολής εξαιτίας του διαφορετικού υλικού κατασκευής τους. Επομένως με την χρήση του στεγανοποιητικού παρεμβύσματος απαλείφονται και οι θερμικές διαστολές στα σημεία επαφής των κελύφων.

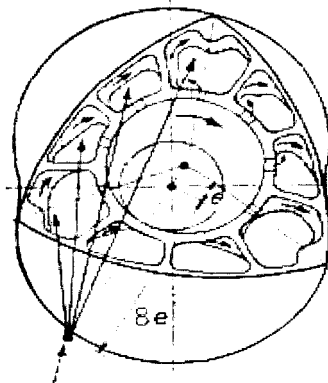
2.7.3 Ψύξη του στροφέα

Ο στροφέας ψύχεται από το καύσιμο μίγμα κατά τον χρόνο της εισαγωγής και θερμαίνεται από το καυσαέριο κατά την καύση. Ο στροφέας είναι απαραίτητο να ψυχθεί για την καλύτερη απόδοση των ελατηρίων αλλά και προς αποφυγή κρουστικής καύσης. Το νερό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο ψύξης του στροφέα στις περιστροφικές μηχανές, γιατί απαιτεί ένα τέλειο σύστημα στεγανοποίησης εξαιτίας της ρευστότητάς του. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ορυκτέλαιο ή το μίγμα εισαγωγής.

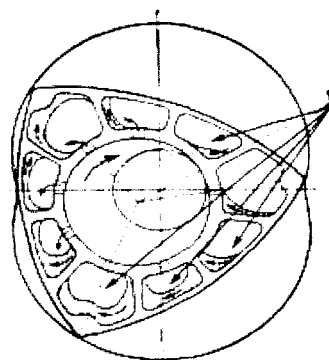
Στο Σχήμα 2.28 φαίνεται η μέθοδος ψύξης του στροφέα με το μίγμα εισαγωγής. Καθώς το καύσιμο μίγμα εισέρχεται στον θάλαμο καύσης περνάει μέσω των οπών οι οποίες έχουν διαμορφωθεί επάνω στο στροφέα ψύχοντας με τον τρόπο αυτό το στροφέα. Ο τρόπος αυτός δεν απαιτεί τρόπο πρό-ψύξης του ρευστού και χρησιμοποιείται σε μικρού μεγέθους περιστροφικούς κινητήρες. Η ψύξη του στροφέα με το μίγμα εισαγωγής απαιτεί μεγαλύτερη θυρίδα εισαγωγής, το οποίο με την σειρά του προκαλεί μείωση της απόδοσης εξαιτίας της μεγαλύτερης αντίστασης ροής. Για τους κινητήρες αυτοκινήτων χρησιμοποιείται ψύξη του στροφέα με ορυκτέλαιο. Στο Σχήμα 2.29 φαίνεται ο τρόπος που διαμορφώνεται ο στροφέας εσωτερικά για ψύξη με ορυκτέλαιο.



Σχήμα 2.28-Ψύξη στροφέα με το μίγμα εισαγωγής[1]



Δίοδοι λιπαντικού



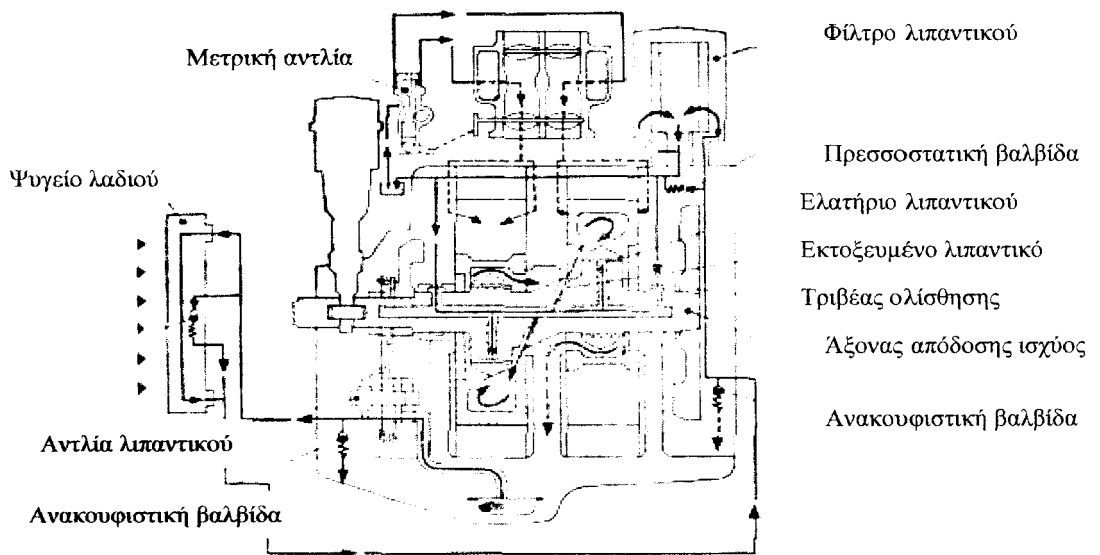
Σχήμα 2.29-Διαμόρφωση του εσωτερικού του στροφέα[1]

Το λιπαντικό εκτοξεύεται στο στροφέα δια μέσου του άξονα μετάδοσης κίνησης. Το λιπαντικό ρέει κατά μήκος του εσωτερικού εξαιτίας της φυγόκεντρης δύναμης που

αναπτύσσεται από την κίνηση του στροφέα παράγοντας θερμότητα από αυτόν και διαφεύγει από το στροφέα στο πλαϊνό κέλυφος μέσω των διαμορφωμένων διόδων καταλήγοντας στην ελαιολεκάνη. Για να διατηρηθεί το ιξώδες του λιπαντικού και για την ικανοποιητική ψύξη του στροφέα, στο μηχανισμό λίπανσης παρεμβάλλεται και ένα ψυγείο λαδιού.

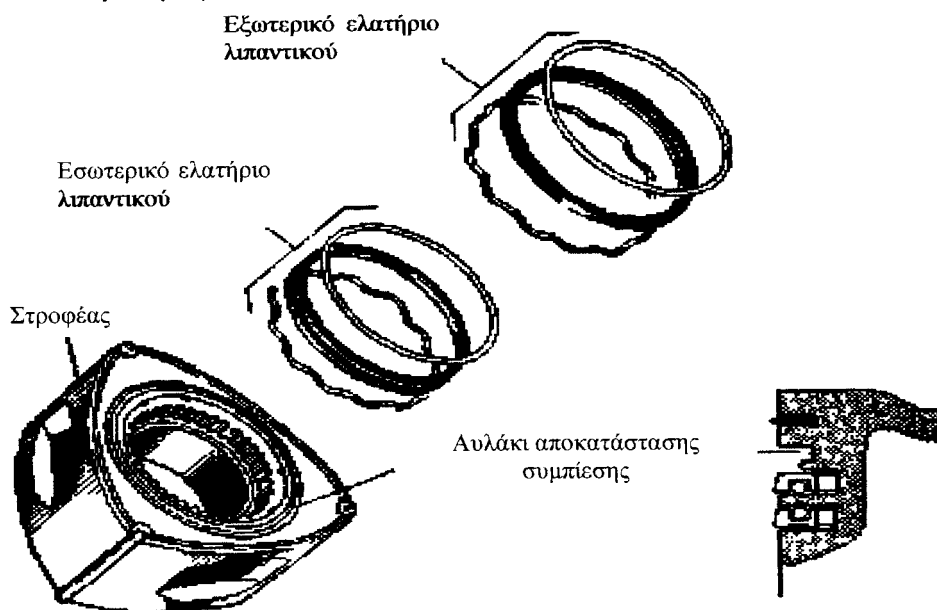
2.8 ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

Γενικά για μικρού μεγέθους περιστροφικούς κινητήρες το λιπαντικό αναμειγνύεται με το καύσιμο και εισέρχεται στο κινητήρα εξασφαλίζοντας έτσι απλούστερη κατασκευή. Για κινητήρες αυτοκινήτων χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός εξαναγκασμένης κυκλοφορίας λιπαντικού για την παροχή του κατάλληλου ποσού λιπαντικού στα σημεία λίπανσης του κινητήρα και ένα ξεχωριστό σύστημα λίπανσης στα τριβόμενα μέρη των ελατηρίων συμπίεσης. Στο Σχήμα 2.29 βλέπουμε τον τρόπο εξαναγκασμένης κυκλοφορίας λιπαντικού στον περιστροφικό κινητήρα.



Σχήμα 2.29-Δίκτυο λίπανσης[1]

Οι περιστροφικοί κινητήρες αυτοκινήτων εξοπλίζονται με εναλλάκτη λιπαντικού για να μην προκληθεί υπερθέρμανσή του. Στο σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας λιπαντικού ο στροφέας εξοπλίζεται με ελατήρια λιπαντικού για την αποτροπή διαρροής λιπαντικού στο θάλαμο καύσης. Στο Σχήμα 2.30 βλέπουμε τα ελατήρια λαδιού στο στροφέα του περιστροφικού κινητήρα.



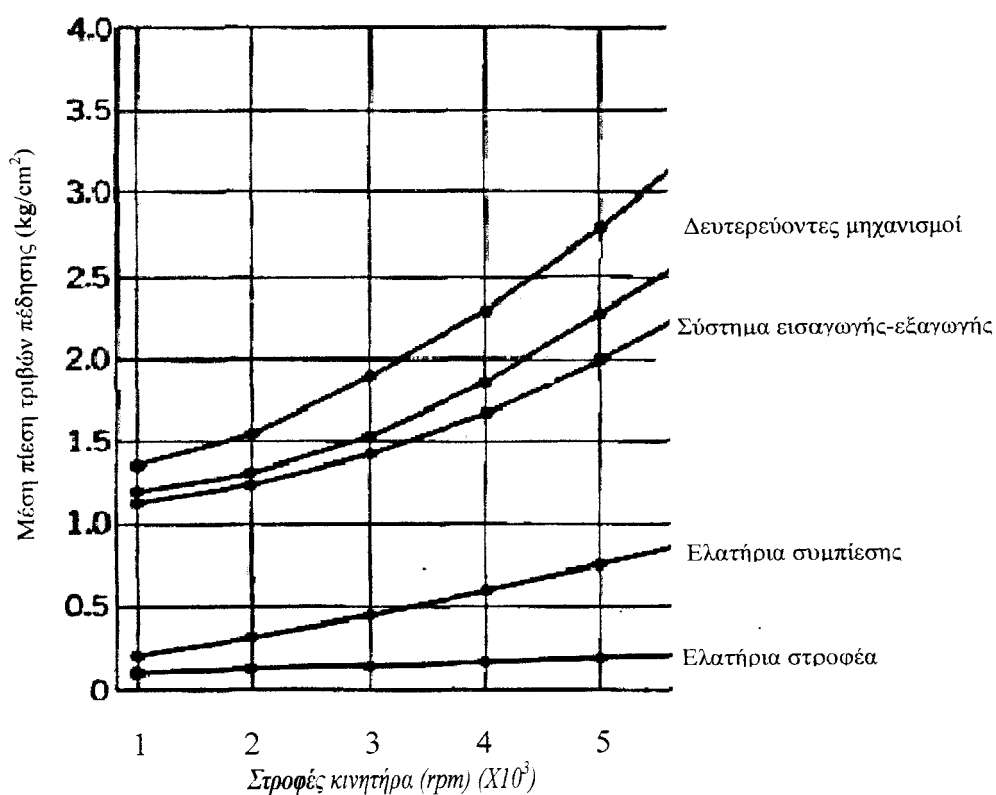
Σχήμα 2.30-Δομή των ελατηρίων λιπαντικού[1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

3.1 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΡΙΒΩΝ

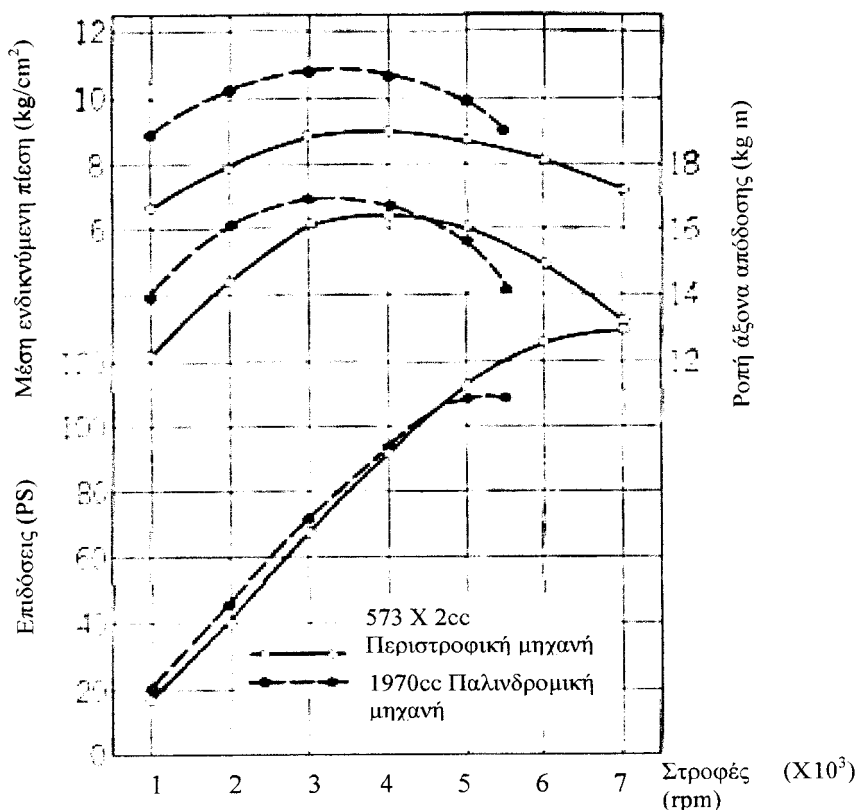
Ο περιστροφικός κινητήρας έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά επιδόσεων εξαιτίας της διαφορετικής κατασκευής του, αφού απουσιάζουν τα παλινδρομικά μέρη, έχει σχετικά επίπεδο θάλαμο καύσης και μεγάλη αναλογία της επιφάνειας ως προς τον όγκο του. Επιπλέον, η διάρκεια κάθε χρόνου λειτουργίας είναι 1,5 φορές μεγαλύτερη από τον χρόνο λειτουργίας της παλινδρομικής μηχανής. Στο Σχήμα 3.1 φαίνονται οι απώλειες τριβών που οφείλονται στην τριβή των ελατηρίων κορυφών, των ελατηρίων λιπαντικού, στις τριβές στην εισαγωγή-εξαγωγή, κ.τ.λ. κατά την λειτουργία του περιστροφικού κινητήρα.



Σχήμα 3.1 Σχεδιάγραμμα απωλειών τριβών

3.1.1 Επίδοση

Στο Σχήμα 3.2 βλέπουμε την σύγκριση επιδόσεων για το μέγιστο των στροφών μιας περιστροφικής και μιας παλινδρομικής μηχανής. Όπως προκύπτει από το Σχήμα 3.2, για τις χαμηλές στροφές ο περιστροφικός κινητήρας έχει λίγο μικρότερη απόδοση αλλά έχει μεγάλες επιδόσεις στις υψηλές στροφές. Οι μικρότερες επιδόσεις στις χαμηλές στροφές οφείλονται στο ότι οι χρόνοι της συμπίεσης και της έναυσης είναι μεγαλύτεροι για την περιστροφική μηχανή από ό,τι στην παλινδρομική κατά 1,5 φορά, προκαλώντας συγχρόνως και απώλειες από διαρροή αερίων. Στις υψηλές στροφές, όμως, η περιστροφική μηχανή έχει μεγαλύτερες επιδόσεις. Αυτό οφείλεται στις μικρότερες απώλειες τριβών, στην απουσία μαζών που παλινδρομούν, στην απουσία μηχανισμού βαλβίδων που προκαλούν αντίσταση ροής και στην μεγαλύτερη διάρκεια των χρόνων της εισαγωγής, που έχουν ως αποτέλεσμα καλύτερη πλήρωση του θαλάμου.

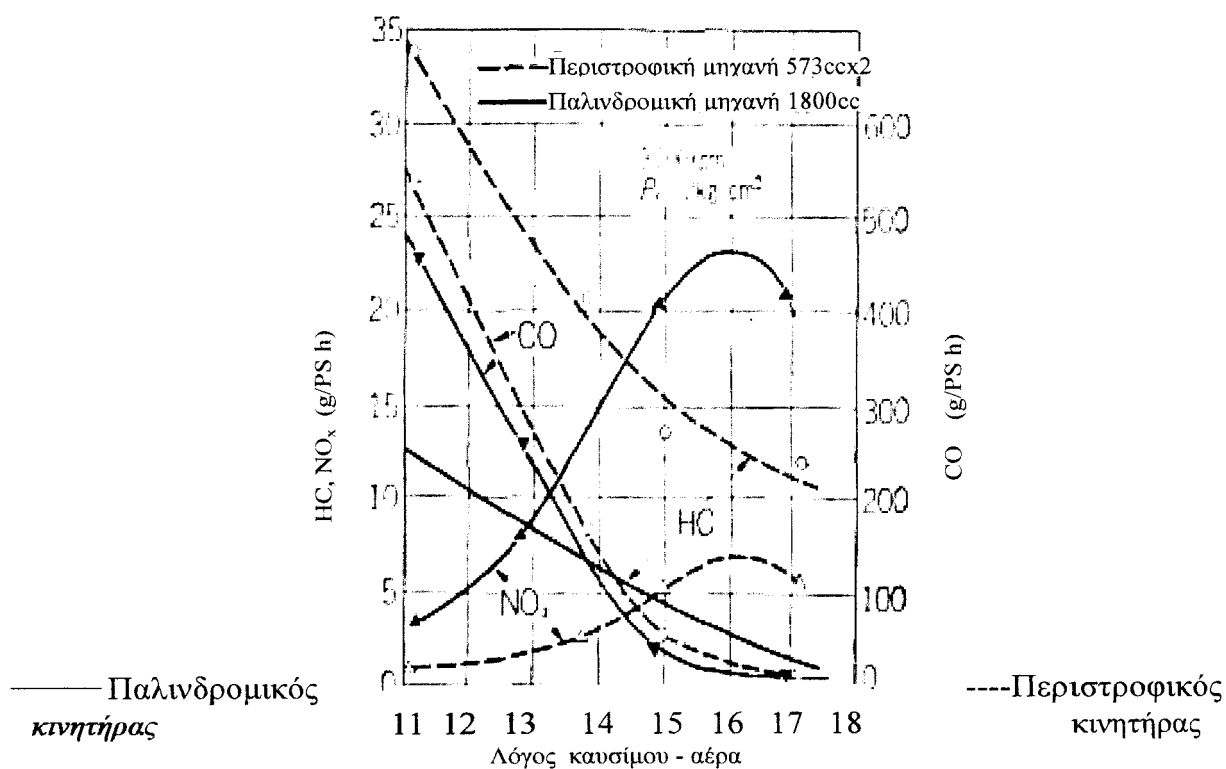


Σχήμα 3.2 Σύγκριση των επιδόσεων για το μέγιστο των στροφών μιας περιστροφικής και μιας παλινδρομικής μηχανής[1]

3.1.2 Εκπομπές ρύπων

Η περιστροφική μηχανή γενικά έχει τις ίδιες σχεδόν εκπομπές ρύπων με την παλινδρομική μηχανή σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO), μεγαλύτερη εκπομπή άκαυστων υδρογονανθράκων (HC) και μικρότερη εκπομπή οξειδίων του αζώτου (NO_x). Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες στον περιστροφικό κινητήρα είναι αυξημένοι εξαιτίας της διαρροής άκαυστου μίγματος από τον ενεργό θάλαμο καύσης κατά τον χρόνο της έναυσης στον παρακείμενο θάλαμο που εκτελεί τον χρόνο της εξαγωγής, αυξάνοντας έτσι την παραγωγή άκαυστων υδρογονανθράκων. Μια πολύ αποτελεσματική μέθοδος του μείωσης των άκαυστων υδρογονανθράκων είναι

ελάττωση του χρόνου της επικάλυψης των θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής, θερμική μόνωση στο σώμα του πλαινού κελύφους και βελτίωση του μηχανισμού στεγανότητας. Η μικρή συγκέντρωση οξειδίων του αζώτου οφείλεται στη μικρή θερμοκρασία καύσης λόγω της ύπαρξης μεγάλου ποσοστού καυσαερίου στο καύσιμο μίγμα. Στο Σχήμα 3.3 φαίνονται οι εκπομπές καυσαερίων μιας περιστροφικής και μιας παλινδρομικής μηχανής.



Σχήμα 3.3-Εκπομπες καυσαερίων[1]

3.2 ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΘΟΡΥΒΟΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Πρόσφατα, ο θόρυβος αυτοκινήτων έχει θεωρηθεί ως ένα από τα περιβαλλοντικά προβλήματα που ενοχλεί μεγάλο μέρος του πληθυσμού στις αστικές περιοχές καθώς παρατηρείται συνεχής αύξηση των μηχανοκίνητων οχημάτων. Ο θόρυβος των μηχανών είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας που προκαλεί το θόρυβο στα αυτοκίνητα και συνεπώς είναι αναγκαίο να μειωθεί στο ελάχιστο. Η δόνηση και ο θόρυβος των μηχανών έχουν μια μεγάλη επίδραση στην άνεση και στην κούραση του οδηγού, αλλά και στη διάρκεια ζωής των διαφόρων μερών της μηχανής και του σώματος αυτής. Η μείωση του θορύβου, συνεπώς, είναι ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα για τις αυτοκινητοβιομηχανίες.

3.2.1 Ταλαντώσεις στη μηχανή

Οι κύριος λόγος της δημιουργίας δονήσεων σε μια μηχανή είναι εξαιτίας των δυνάμεων αδρανείας που δημιουργούνται από τα διάφορα κινούμενα μέρη της μηχανής. Αφού στην περιστροφική μηχανή δεν υπάρχει καμία δύναμη αδρανείας από

μάζες που παλινδρομούν, αφού απουσιάζουν τα παλινδρομικά μέρη, μένουν μόνο οι αδρανειακές δυνάμεις από μάζες που περιστρέφονται. Οι δυνάμεις αυτές είναι δυνατόν να εξαλειφθούν πλήρως με την χρήση αντίβάρων. Αυτό αποτελεί προνόμιο της περιστροφικής μηχανής, κάνοντας την να έχει πολύ ομαλή και ήσυχη λειτουργία σε όλο το φάσμα των στροφών της.

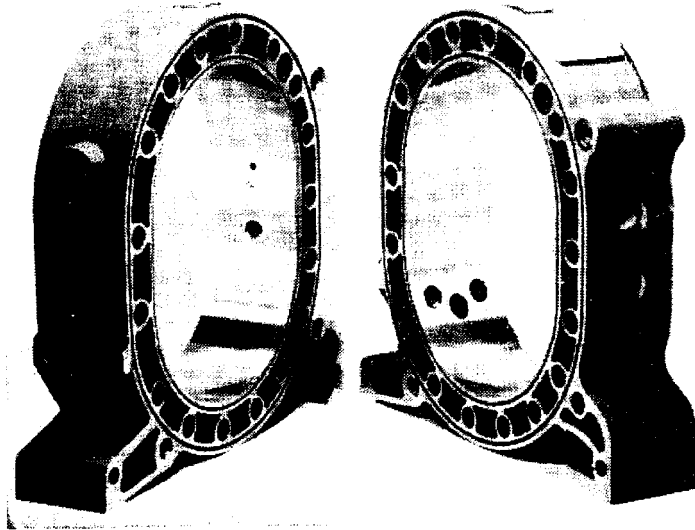
3.2.2 Θόρυβοι κατά τη λειτουργία

Τα πολύ χαμηλά επίπεδα θορύβου στην περιστροφική μηχανή σε σύγκριση με την παλινδρομική μηχανή είναι ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά, αλλά, ταυτόχρονα, και ένα από τα βασικά της πλεονεκτήματα. Ο θόρυβος που παράγεται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως: θόρυβοι κατά την καύση, μηχανικοί θόρυβοι, θόρυβοι στα συστήματα εισαγωγής και εξαγωγής και θόρυβοι που οφείλονται σε διάφορα άλλα μέρη της μηχανής.

Ο θόρυβος καύσης προκαλείται από τις διακυμάνσεις πίεσης μέσα στο θάλαμο καύσης. Η περιστροφική μηχανή παρουσιάζει πιο αργή αλλαγή πιέσεων από την παλινδρομική μηχανή, με συνέπεια την παραγωγή χαμηλότερου θορύβου κατά την καύση. Για την περιστροφική μηχανή υπάρχουν πλεονεκτήματα στο θόρυβο καύσης λόγω της υψηλής ακαμψίας του εξωτερικού κελύφους του. Η περιοχή επιφάνειας όπου ο θόρυβος μπορεί να μεταδοθεί εξωτερικά είναι μικρή, ενώ στις υδρόψυκτες μηχανές υπάρχει ένα επιπλέον στρώμα γύρω από αυτές που σχηματίζει το ψυκτικό ρευστό, κάνοντας έτσι αδύνατη την εκπομπή οποιουδήποτε ήχου.

Επειδή η περιστροφική μηχανή δεν απαιτεί κανέναν μηχανισμό βαλβίδων εισαγωγής-εξαγωγής, ο μηχανικός θόρυβος είναι πολύ χαμηλός. Στην παλινδρομική μηχανή, ο μηχανισμός του εμβόλου είναι μια σημαντική πηγή θορύβου. Στην περιστροφική μηχανή, δεν υπάρχει σχεδόν καμία αλλαγή στο φορτίο ώθησης στο στροφέα. Έτσι, κανένας θόρυβος από αέρια δεν θα παράγεται. Ο κύριος μηχανικός θόρυβος της περιστροφικής μηχανής είναι: ο οδοντωτός μηχανισμός χρονισμού του στροφέα, ο θόρυβος από την ολίσθηση του πλαϊνού και του ελατήριου κορυφής και ο θόρυβος της καδένας και των οδοντωτών τροχών που κινούν τους μηχανισμούς λίπανσης, ανάφλεξης, κ.λ.π. Πάντως, το μέγεθος αυτών των θορύβων που διαδίδονται εξωτερικά είναι πολύ μικρότερο από τον θόρυβο του βοηθητικού μηχανισμού που εγκαθίσταται έξω από τη μηχανή.

Ο θόρυβος στο σύστημα εισαγωγής-εξαγωγής προκαλείται από τους παλμούς και την αναταραχή στις ροές του μίγματος εισαγωγής και του καυσαερίου κατά την εξαγωγή. Όσον αφορά το θόρυβο εισαγωγής, η περιστροφική μηχανή με το σύστημα θυρίδων εισαγωγής δεν έχει καμία ευδιάκριτη διαφορά από την παλινδρομική μηχανή. Ο θόρυβος κατά την εξαγωγή αυξάνεται σε πολύ υψηλά επίπεδα κατά τη στιγμή που ανοίγει η θυρίδα εξαγωγής. Στην περιστροφική μηχανή με το σύστημα των θυρίδων εξαγωγής στο κέλυφος του στροφέα παράγεται υψηλής συχνότητας ήχος κατά την εξαγωγή και οφείλεται στο γρήγορο άνοιγμα του θυρίδας. Σε μερικές περιστροφικές μηχανές υπάρχει θυρίδα εξαγωγής σε κυψελωτή μορφή, όπως φαίνεται στο σχέδιο 3.4, για να μειωθεί ο ήχος εξαγωγής στην θυρίδα.

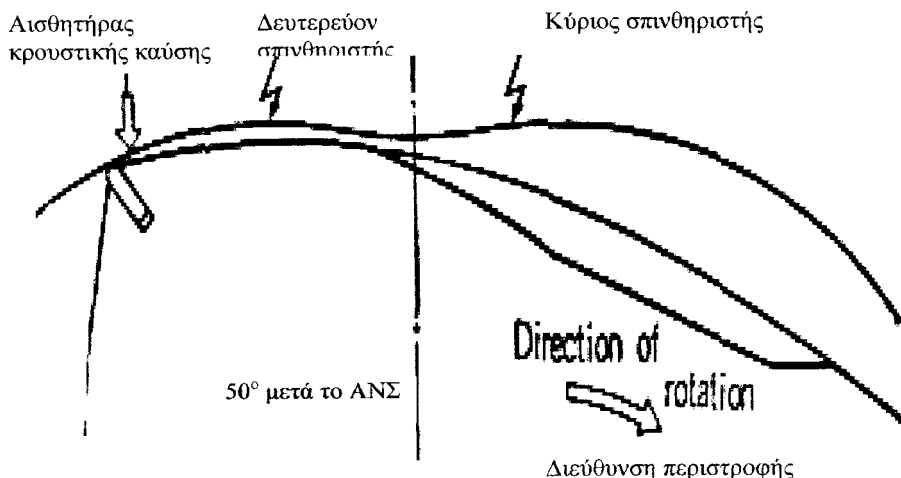


Σχήμα 3.4-Κυβελωτή θυρίδα εξαγωγής στο κέλυφος του στροφέα[1]

3.2.3 Κρουστική καύση

Για λειτουργία της μηχανής σε χαμηλό αριθμό στροφών, αλλά με μεγάλο φορτίο, το καύσιμο μίγμα στο πίσω μέρος του θαλάμου καύσης συμπιέζεται και αυταναφλέγεται (εξαιτίας της κίνησης του στροφέα) πριν δοθεί η έναυση του μίγματος από τον σπινθηριστή προκαλώντας έναν έντονο μεταλλικό ήχο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται κρουστική καύση. Η περιστροφική μηχανή παρουσιάζει μειονεκτήματα έναντι της κρουστικής καύσης αφού η απόσταση διάδοσης της φλόγας είναι μεγαλύτερη εξαιτίας του σχεδόν επίπεδου θαλάμου καύσης.

Τα πλεονεκτήματα της περιστροφικής μηχανής όσον αφορά την κρουστική καύση είναι η ψύξη του καυσίμου μίγματος, αλλά και ο μεγάλος λόγος της επιφάνειας του στροφέα προς τον θάλαμο καύσης. Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται η θέση του στροφέα και η γωνία που σχηματίζει με τον άξονα μετάδοσης κίνησης της μηχανής (50°), καθώς και την θέση του αισθητήρα κρουστικής καύσης. Η κρουστική καύση προκαλείται στο φάσμα μεταξύ των (45° και 50°) και είναι ανεξάρτητη με τον χρονισμό των σπινθηριστών.



Σχήμα 3.5 Θέσεις του στροφέα και του αισθητήρα κρουστικής καύσης[1]

Η μεγάλη διάρκεια λειτουργίας με κρουστική καύση στις παλινδρομικές μηχανές μπορεί να προκαλέσει κάψιμο ή ακόμα και καταστροφή των βαλβίδων εξαγωγής. Αντιθέτως, στην περιστροφική μηχανή δεν υπάρχει περίπτωση να προκληθεί κανένα πρόβλημα αφού δεν παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας.

3.2.4 Προανάφλεξη

Κατά την λειτουργία σε υψηλά φορτία και στροφές ένα μεγάλο ποσοστό θερμότητας συγκεντρώνεται στον ενεργό θάλαμο καύσης. Όποιο τμήμα του θαλάμου δεν ψύχεται συμβάλει και αυτό στην αύξηση της θερμοκρασίας, με συνέπεια το μίγμα να αναφλέγεται πριν από τον χρόνο έναυσης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται προανάφλεξη.

Στην περιστροφική μηχανή η μόνη πηγή μεγάλης θερμότητας που μπορεί να προκαλέσει προανάφλεξη στο καύσιμο μίγμα είναι η θέση γύρω από τον σπινθηριστή. Με την προανάφλεξη προκαλείται απότομη αύξηση της πίεσης με αποτέλεσμα την χαλάρωση του ελατηρίου κορυφής και την διαρροή ενός μεγάλου μέρους του αερίου αλλά και δραματική μείωση της ισχύος. Κατά την προανάφλεξη η μεγάλη θερμοκρασία που αναπτύσσεται θερμαίνει απότομα τον σπινθηριστή καταστρέφοντας το μονωτικό του υλικό. Τα σπασμένα κομμάτια από το μονωτικό υλικό μπορεί να εισέλθουν στον ενεργό θάλαμο καύσης και να καταστρέψουν το ελατήριο κορυφής. Για το λόγο αυτό η προανάφλεξη δεν είναι επιθυμητή σε καμία περίπτωση.

Ο σπινθηριστής στις περιστροφικές μηχανές είναι εκτεθειμένος σε υψηλές θερμοκρασίες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ότι στις παλινδρομικές μηχανές. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα τύπος σπινθηριστή εξαιρετικά υψηλής θερμικής αντοχής για την αποτροπή του φαινομένου της προανάφλεξης.

3.3 Το σύστημα εισαγωγής – εξαγωγής

Ο ρόλος και ο σκοπός του συστήματος εισαγωγής και εξαγωγής στην περιστροφική μηχανή ως προς την απόδοσή της είναι σχεδόν ο ίδιος τόσο για τις περιστροφικές μηχανές όσο και για τις παλινδρομικές. Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του συστήματος είναι η παροχή ικανοποιητικού καυσίμου μίγματος στη μηχανή κατά το μέγιστο των στροφών της αλλά και η μεγαλύτερη μείωση καυσαερίου στο άκαυστο μίγμα κατά την εισαγωγή.

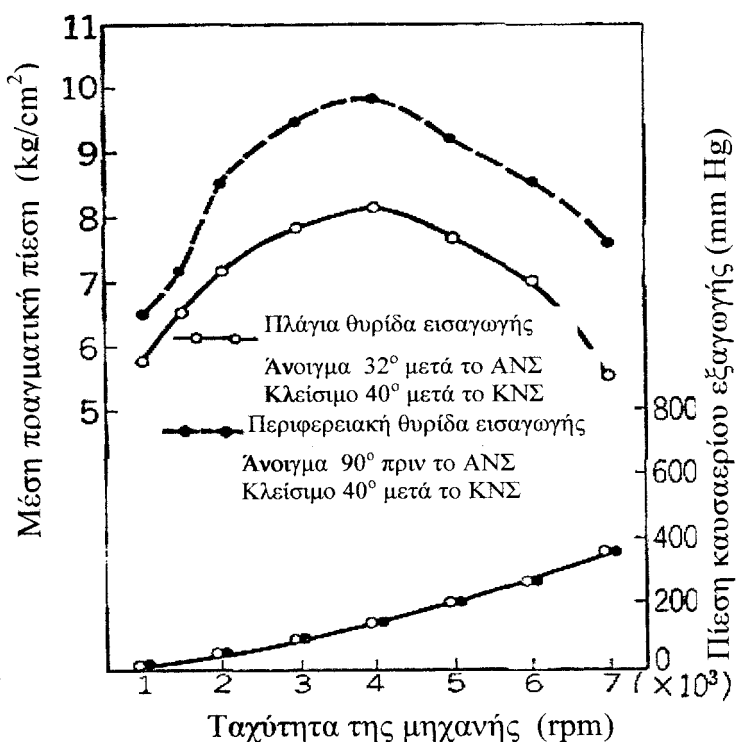
Στην περιστροφική μηχανή οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής ανοίγουν και κλείνουν αυτόματα καθώς ο στροφέας περιστρέφεται κατά την λειτουργία. Ο χρονισμός των θυρίδων καθορίζεται ανάλογα με την θέση και την διαμόρφωση των θυρίδων στο κέλυφος της μηχανής. Οι όροι και οι τρόποι χρονισμού των θυρίδων ποικίλουν ανάλογα με το σύστημα θυρίδων που χρησιμοποιείται στην μηχανή. Επομένως το σύστημα των θυρίδων και ο βέλτιστος χρονισμός αυτών επιλέγονται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά και τον τρόπο λειτουργίας της μηχανής.

3.3.1 Σύστημα θυρίδων εισαγωγής – εξαγωγής

Υπάρχουν δύο συστήματα θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής στην περιστροφική μηχανή, το περιφερειακό σύστημα θυρίδων με θυρίδες στο κέλυφος των στροφών και το σύστημα με πλαϊνές θυρίδες οι οποίες βρίσκονται στα πλαϊνά κελύφη.

Για θυρίδες εξαγωγής χρησιμοποιείται κυρίως το σύστημα με τις θυρίδες τοποθετημένες στο κέλυφος των στροφών. Το σύστημα με τις θυρίδες εξαγωγής στο πλάι έχει καταστρεπτική επίδραση στα πλαϊνά ελατήρια στεγανοποίησης αλλά και στο ελατήριο λιπαντικού, ενώ παράλληλα, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, καταστρέφεται το λιπαντικό φιλμ αφού ένα μεγάλο μέρος του υψηλής θερμοκρασίας καυσαερίου έρχεται σε επαφή με την πλαϊνή πλευρά του στροφέα.

Για θυρίδες εισαγωγής χρησιμοποιούνται τόσο το περιφερειακό σύστημα όσο και το πλαϊνό σύστημα θυρίδων, ανάλογα με την λειτουργία και της απαιτήσεις της μηχανής. Στο Σχήμα 3.6 υπάρχει σύγκριση των επιδόσεων μιας περιστροφικής μηχανής με στο πλήρες φορτίο και για θυρίδες εισαγωγής διαμορφωμένες περιφερειακά στο κέλυφος του στροφέα και για θυρίδες στο πλαϊνό κέλυφος των στροφών.



Σχήμα 3.6-Επιδόση της περιστροφικής μηχανής[1]

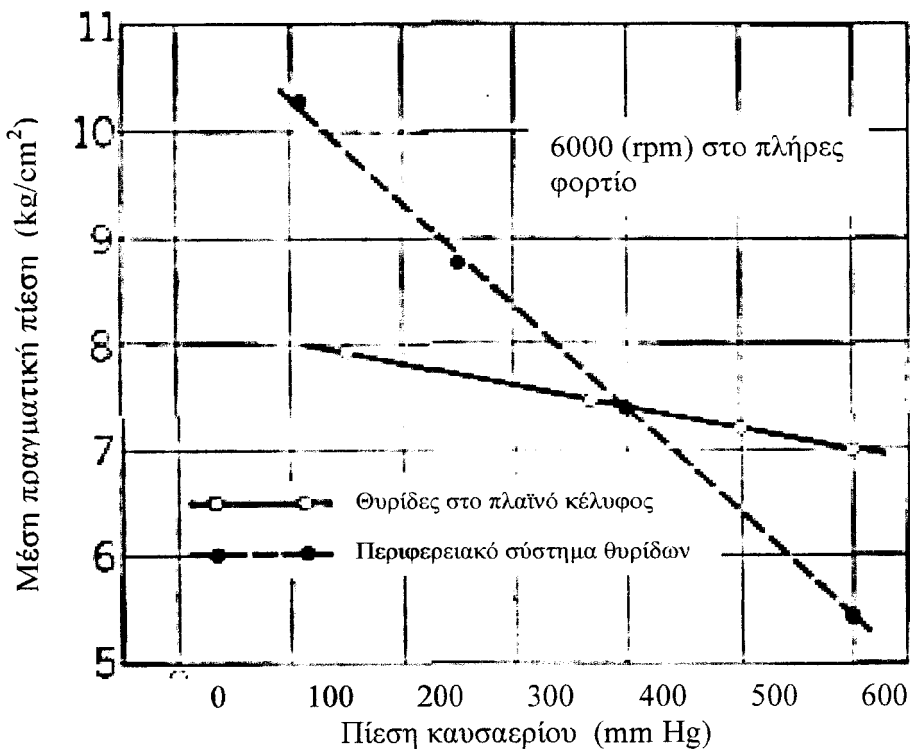
Το σύστημα με τις θυρίδες περιφερειακά παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση εξαιτίας του μεγαλύτερου χρόνου ανοίγματος της θυρίδας εισαγωγής, την μικρότερη αντίσταση λόγω τριβών του μίγματος κατά την εισαγωγή, αφού και ο στροφέας έχει και αυτός την ίδια διεύθυνση περιστροφής.

Σε αντίθεση με το σύστημα θυρίδων που βρίσκονται στο πλαϊνό κέλυφος, υπάρχει μεγαλύτερος χρόνος επικάλυψης των θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής, με αποτέλεσμα να υπάρχει εισροή καυσαερίου στην εισαγωγή και αυτή να αυξάνεται καθώς οι ταχύτητες περιστροφής αυξάνονται, μειώνοντας έτσι τις επιδόσεις της μηχανής. Για να χρησιμοποιηθούν τα χαρακτηριστικά της υψηλής απόδοσης του κινητήρα είναι

αναγκαίο να υιοθετηθεί ένα σύστημα συνδυασμένης εισαγωγής και ένα σύστημα εξαγωγής με μικρή αντίσταση τριβών.

Στο Σχήμα 3.7 υπάρχει σύγκριση του περιφερειακού και του πλαϊνού συστήματος θυρίδων στον τρόπο που επηρεάζουν την πίεση του καυσαερίου κατά την εξαγωγή για το πλήρες φορτίο.

Το σύστημα με τις θυρίδες διαμορφωμένες περιφερειακά στο κέλυφος των στροφέων έχει πολύ καλή απόδοση σε μεγάλα φορτία λειτουργίας. Σε μικρά φορτία όμως μπορεί να προκληθεί ακόμη και ασταθής καύση εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού καυσαερίου το οποίο εισέρχεται στο καύσιμο μίγμα. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο της επικάλυψης των θυρίδων αφού υπάρχει μεγάλος χρόνος ανοίγματος των θυρίδων.



Σχήμα 3.7-Επίδοση της περιστροφικής μηχανής ανάλογα με τη διαμόρφωση των θυρίδων[1]

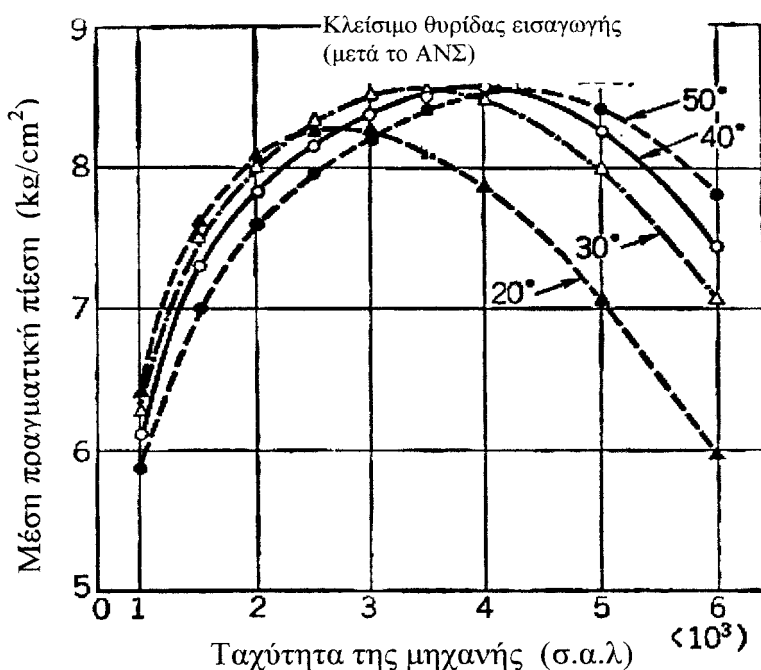
Στο σύστημα όμως με τις θυρίδες εισαγωγής διαμορφωμένες στο πλαϊνό κέλυφος των στροφέων υπάρχει μείωση του χρόνου επικάλυψης των θυρίδων, οπότε μειώνεται η εισροή καυσαερίου στο καύσιμο μίγμα κατά την φάση της εισαγωγής. Επιπλέον η διαφορετική διεύθυνση του καυσίμου μίγματος και της φοράς του στροφέα διευκολύνει τον στροβιλισμό του καυσίμου μίγματος κατά τον χρόνο της εισαγωγής για την καλύτερη εξάτμιση και διασπορά του καυσίμου σε όλο το μίγμα.

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι το σύστημα εισαγωγής με τις θυρίδες διαμορφωμένες στο πλαϊνό κέλυφος των στροφέων προσδίδει μια ισορροπημένη απόδοση σε όλο το φάσμα λειτουργίας της μηχανής και είναι ως επί το πλείστον το κύριο σύστημα που χρησιμοποιείται σε μηχανές αυτοκίνητων.

3.3.2 Χρονισμός των θυρίδων

Ιδανικός χρονισμός των θυρίδων απαιτείται για να επιτευχθεί ικανοποιητικός χρόνος ανοίγματος της θυρίδας εισαγωγής για το μέγιστο της λειτουργίας της μηχανής και για την ελάχιστη δυνατή μείωση του φαινομένου της επικάλυψης των θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής στα χαμηλά φορτία.

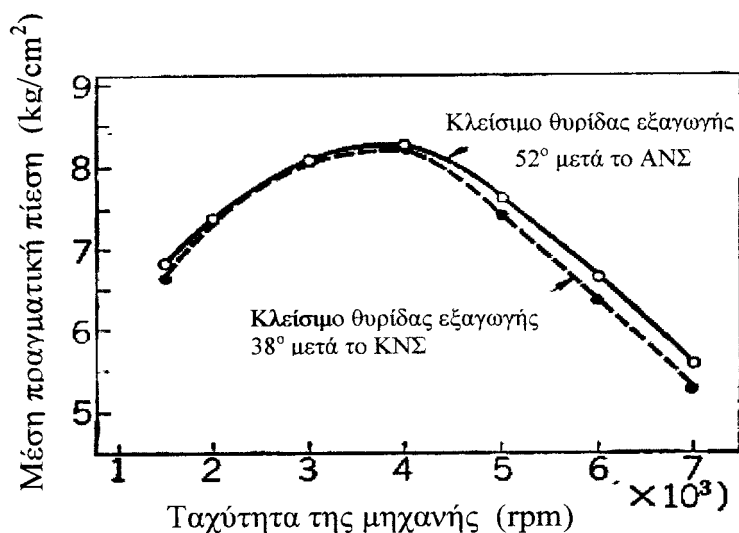
Το σύστημα με πλαϊνές θυρίδες έχει μικρό χώρο διαμόρφωσης γιατί πρέπει να είναι έτσι ώστε κατά την εισαγωγή το πλαϊνό και γωνιακό ελατήριο να μην πέσουν μέσα στην θυρίδα. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και ο χρόνος κλεισίματος της θυρίδας εισαγωγής. Στο Σχήμα 3.8 φαίνεται η επίδοση της περιστροφικής μηχανής για διάφορες γωνίες κλεισίματος της θυρίδας.



Σχήμα 3.8-Διάγραμμα επίδοσης για διάφορες γωνίες κλεισίματος της θυρίδας εισαγωγής[1]

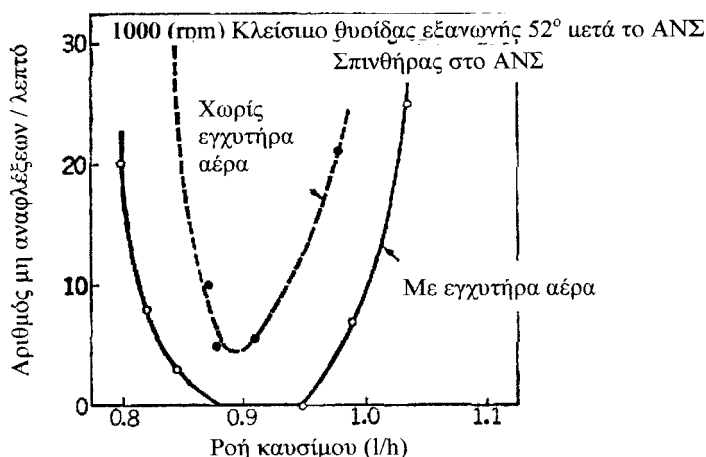
Σε μεγάλες ταχύτητες περιστροφής το καθυστερημένο κλείσιμο της θυρίδας αυξάνει την απόδοση της μηχανής αφού υπάρχει μεγαλύτερος χρόνος για την πλήρωση του θαλάμου και είναι καλύτερο το άνοιγμα της θυρίδας. Σε μικρές ταχύτητες όμως ο χρόνος της εισαγωγής είναι υπερβολικά μεγάλος πράγμα που προκαλεί αναστροφή του καυσίμου μίγματος, με αποτέλεσμα την μείωση της επίδοσης.

Ο χρόνος κατά τον οποίο γίνεται το άνοιγμα της θυρίδας εξαγωγής δεν πρέπει να είναι υπερβολικά προηγμένος εξαιτίας της απώλειας πίεσης κατά την εξαγωγή. Στο Σχήμα 3.9 γίνεται σύγκριση επιδόσεων για θυρίδες εξαγωγής διαμορφωμένες στο πλάγιο κέλυφος και για διαφορετικές γωνίες κλεισίματος αυτών.



Σχήμα 3.9-Διάγραμμα επίδοσης των θυρίδων εξαγωγής για διάφορες γωνίες κλεισίματος[1]

Ο καθυστερημένος χρόνος κλεισίματος της θυρίδας εξαγωγής μπορεί να βελτιώσει τις επιδόσεις της μηχανής στις υψηλές στροφές. Όμως κάτι τέτοιο θα έχει ως αποτέλεσμα τον μεγαλύτερο χρόνο της επικάλυψης της θυρίδας εισαγωγής με αποτέλεσμα μεγάλη εισροή καυσαερίου στο μίγμα κατά την εισαγωγή προκαλώντας έτσι ασταθή καύση σε χαμηλά φορτία. Για τον λόγο αυτό συνήθως επιλέγεται σύντομος χρόνος κλεισίματος της θυρίδας εξαγωγής ώστε να υπάρχει ικανοποιητική επίδοση ακόμη και στα χαμηλά φορτία. Ένας τρόπος για την βελτίωση της ποιότητας του καυσίμου μίγματος είναι με ένα εγχυτήρα αέρα στην θυρίδα εξαγωγής απάγοντας έτσι ένα μεγάλο ποσοστό καυσαερίου το οποίο μεταφέρεται συνεχώς από κύκλο σε κύκλο. Στο Σχήμα 3.10 φαίνεται η επίδραση του εγχυτήρα αέρα στην έναυση του καυσίμου μίγματος κατά την λειτουργία της περιστροφικής μηχανής.



Σχήμα 3.10-Επίδραση του εγχυτήρα στην θυρίδα εξαγωγής[1]

3.4 Επίδραση της κοιλότητας του στροφέα

Η κοιλότητα που υπάρχει στην επιφάνεια των στροφέων έχει μεγάλη επίδραση στην περιστροφική μηχανή. Η θέση, η διαμόρφωση και ο όγκος είναι σημαντικοί

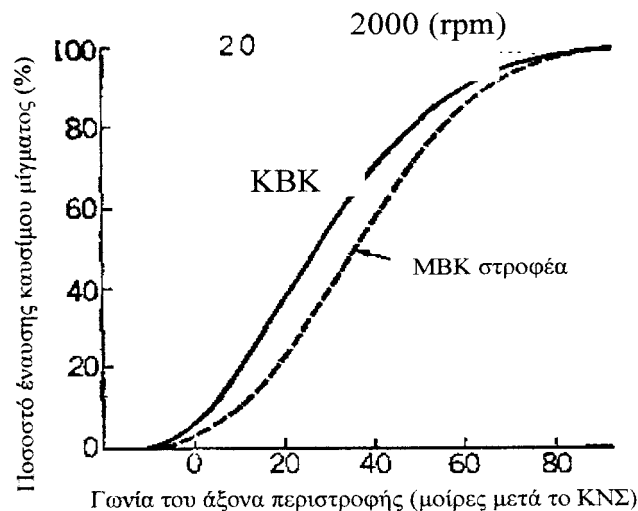
παράγοντες που έχουν επιπτώσεις πολύ στην ταχύτητα καύσης της περιστροφικής μηχανής. Η υψηλότερη ταχύτητα καύσης είναι προτιμητέα, σε γενικές γραμμές, από τις άποψη επιδόσεων από την άλλη όμως, αν είναι υπερβολικά υψηλή, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κατά την λειτουργία, όπως ρετάρισμα της μηχανής σε χαμηλά φορτία λειτουργίας και κρουστική καύση σε υψηλά φορτία.

Για μηχανές αυτοκινήτων που λειτουργούν σε ευρύ φάσμα στροφών και φορτίων η κοιλότητα του στροφέα έχει επιλεγεί για την καλύτερη δυνατή ταχύτητα καύσης χωρίς διαταράξεις κατά την οδήγηση.

3.4.1 Διαμόρφωση και τοποθέτηση της κοιλότητας στο στροφέα

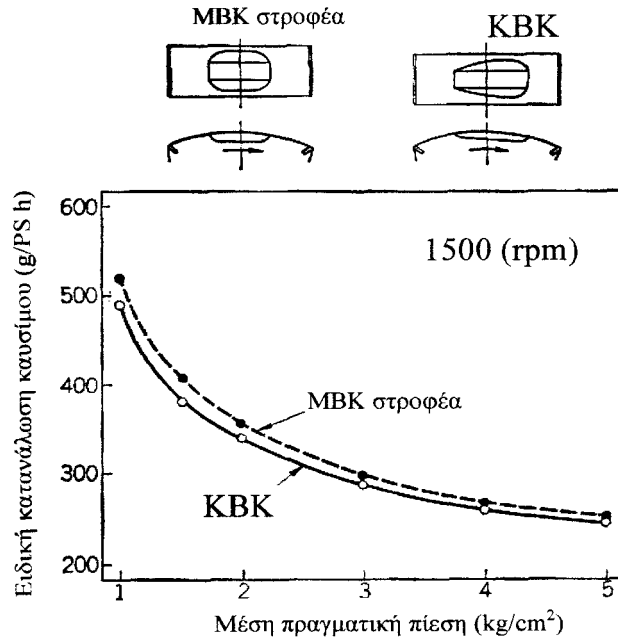
Η θέση της κοιλότητας των στροφέων πιο κοντά στην κύρια πλευρά του στροφέα μπορεί να παρέχει μια αποδοτικότερη και μεγαλύτερη ταχύτητα καύσης στην μηχανή. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την εισαγωγή υπάρχει μεγαλύτερο ποσοστό καυσίμου μίγματος στην κύρια πλευρά του στροφέα από όπου και ξεκινά η καύση. Ο στραγγαλισμός της ροής του μίγματος γίνεται εντονότερος όταν προκαλείται μια διαφορά πίεσης μεταξύ της μπροστινής και πίσω πλευράς του στροφέα στον θάλαμο καύσης.

Όταν ο όγκος εμβολισμού είναι ο ίδιος σε σχέση με το μέγεθος της κοιλότητας του στροφέα ο στραγγαλισμός της ροής θα είναι πιο έντονος με μια πιο ρηχή κοιλότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί ο όγκος εμβολισμού γίνεται μικρότερος ενώ η διαφορά πίεσης μεταξύ της μπροστινής και πίσω πλευράς του στροφέα γίνεται μεγαλύτερη. Η διατομή της κοιλότητας του στροφέα σε επαρκές βάθος προτιμάται από την κοιλότητα με μικρότερο βάθος αλλά μεγαλύτερο πλάτος για να παρέχει μεγαλύτερη περιοχή επιφάνειας φλογών. Επιπλέον, για πιο αποδοτική καύση, μέσα στην κοιλότητα του στροφέα υπάρχει και μια σχετική διαμόρφωση για την επίτευξη στραγγαλισμού ροής. Η παραπάνω έννοια ονομάζεται LDR (κύρια βαθιά κοιλότητα στροφέα) (KBK) και παρέχει μια κοιλότητα στο στροφέα που είναι βαθύτερη στην κύρια πλευρά. Στο Σχήμα 3.11 υπάρχει σύγκριση σε ταχύτητα καύσης της LDR (κύρια βαθιά κοιλότητα στροφέα) (KBK) και της MDR (μέση βαθιά κοιλότητα στροφέα) (MBK).

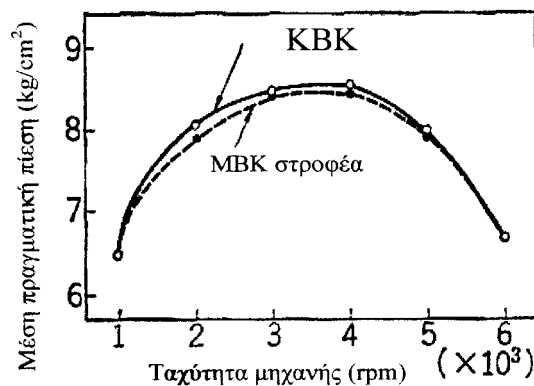


Σχήμα 3.11-Το διάγραμμα επίδοσης για τις 2 κοιλότητες[1]

Ενώ στα παρακάτω Σχήματα 3.12 και 3.13 βλέπουμε την ειδική κατανάλωση καυσίμου των δυο κοιλότητων και τις επιδόσεις τους αντίστοιχα.



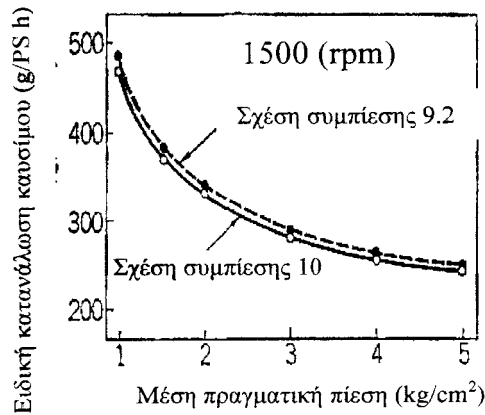
Σχήμα 3.12-Διάγραμμα της ειδικής κατανάλωσης των δυο κοιλοτήτων[1]



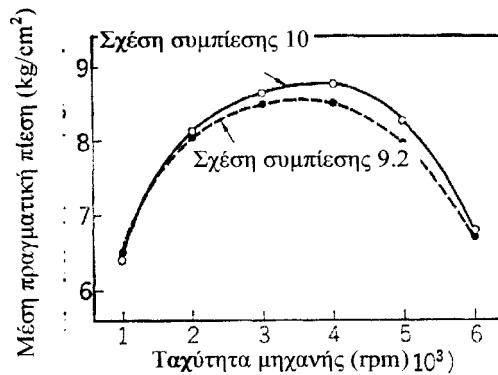
Σχήμα 3.13-Διάγραμμα επίδοσης των δυο κοιλοτήτων[1]

3.4.2 Όγκος της κοιλότητας

Η σχέση συμπίεσης εξαρτάται κυρίως από τον όγκο της κοιλότητας του στροφέα. Με μια κοιλότητα μικρού όγκου αυξάνεται η σχέση συμπίεσης βελτιώνοντας έτσι την έναυση του καυσίμου μίγματος. Ένας υπερβολικά μικρός όγκος της κοιλότητας θα μεγαλώσει ακόμη περισσότερο την σχέση συμπίεσης αλλά θα προκαλέσει προβλήματα στην σωστή διάδοση της φλόγας σε όλο το καύσιμο μίγμα. Γενικά, ο όγκος της κοιλότητας του στροφέα επιλέγεται για μια σχέση συμπίεσης από 8 έως 10. Στα Σχήματα 3.14 και 3.15 φαίνεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου και οι επιδόσεις της μηχανής αντίστοιχα ανάλογα με την σχέση συμπίεσής της.



Σχήμα 3.14-Σύγκριση της κατανάλωσης καυσίμου ανάλογα με την σχέση συμπίεσης[1]

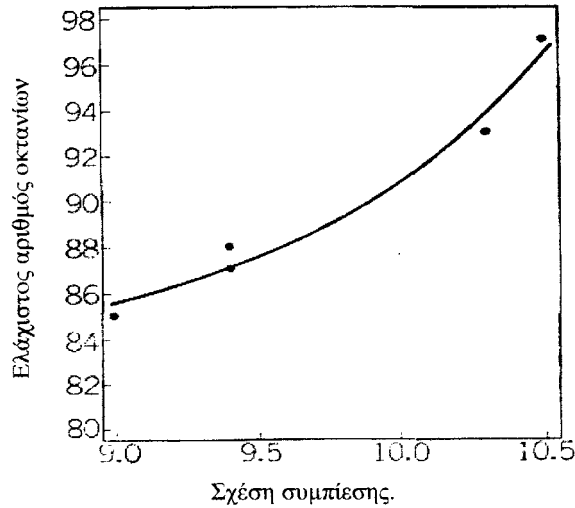


Σχήμα 3.15-Σύγκριση της επίδοσης της μηχανής[1]

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, ο μικρός όγκος της κοιλότητας του στροφέα βελτιώνει την κατανάλωση καυσίμου και την επίδοση της μηχανής.

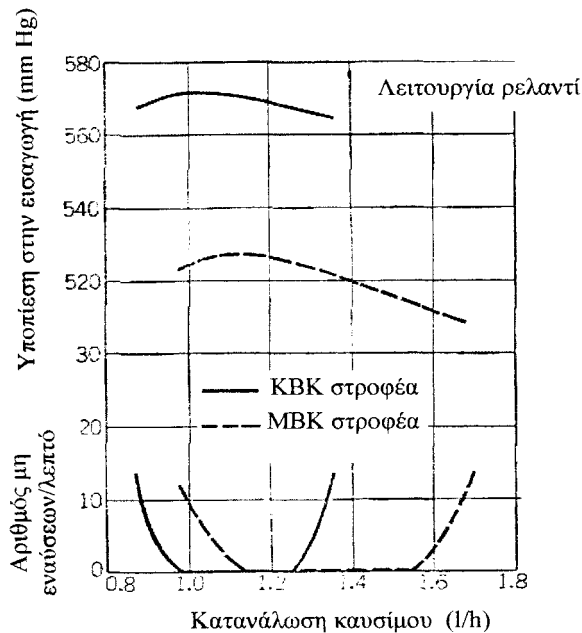
3.4.3 Προβλήματα σχετικά με την ταχύτητα καύσης.

Η κοιλότητα του στροφέα η οποία αποφέρει υψηλή συμπίεση αυξάνει την πίεση του καυσίμου μίγματος, ειδικότερα στην πίσω πλευρά του θαλάμου καύσης, ειδικά σε μεγάλα φορτία, με αποτέλεσμα την πιθανή εμφάνιση κρουστικής καύσης κατά την διάρκεια λειτουργίας της μηχανής. Για τον λόγο αυτό η κοιλότητα του στροφέα πρέπει να διαμορφωθεί έτσι ώστε η πίεση του καυσίμου μίγματος να μην αυξάνεται περισσότερο από όσο πρέπει. Στο Σχήμα 3.16 βλέπουμε την απαίτηση ελαχίστου αριθμού οκτανίου καυσίμου ανάλογα με την σχέση συμπίεσης της μηχανής.



Σχήμα 3.16-Απαίτηση ελάχιστου αριθμού οκτανίων ανάλογα με την σχέση συμπίεσης [1]

Το ποσοστό του καυσαερίου στο καύσιμο μίγμα γίνεται μεγάλο για λειτουργία σε χαμηλά φορτία και στο ρελαντί, πράγμα το οποίο μειώνει την εναυσιμότητα του καυσίμου μίγματος. Στο Σχήμα 3.17 φαίνεται η σύγκριση στην κατανάλωση καυσίμου μίγματος για λειτουργία στο ρελαντί, για τους δυο τύπους κοιλότητας του στροφέα LDR και MDR.

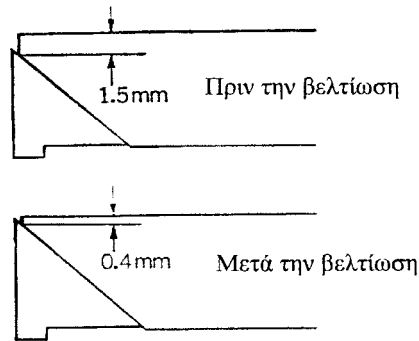


Σχήμα 3.17-Σύγκριση της εναυσιμότητας[1]

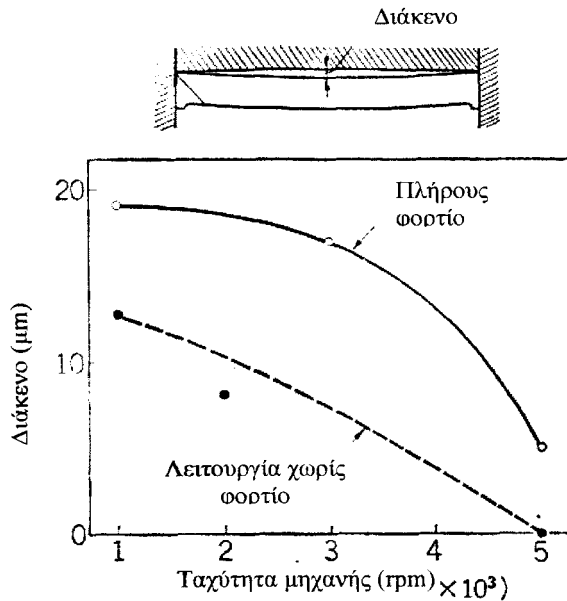
3.5 Μηχανισμός στεγανότητας.

Η περιστροφική μηχανή κατασκευάζεται με ειδικά διαμορφωμένα ελατήρια για να διατηρήσει την στεγανότητα των θαλάμων καύσης της. Για τον λόγο αυτό τα ελατήρια συμπίεσης παίζουν σπουδαίο ρόλο στην κατανάλωση καυσίμου, στην

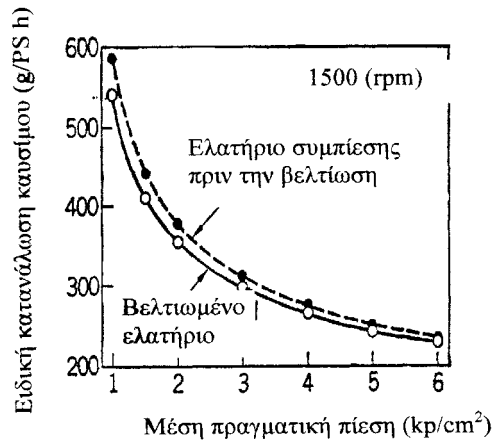
επίδοση της μηχανής και στην εκπομπή καυσαερίων. Πολλές προσπάθειες γίνονται για την βελτίωση των ελατηρίων συμπίεσης της περιστροφικής μηχανής και έχουν επιτευχθεί μεγάλες βελτιώσεις σε σχέση με το αρχικό στάδιο αναπτυξής της. Στα παρακάτω Σχήματα βλέπουμε την βελτίωση των ελατηρίων κορυφών, τα κενά με το κέλυφος, κατά την λειτουργία της μηχανής, την κατανάλωση καυσίμου, την επίδοση και τις εκπομπές ρύπων.



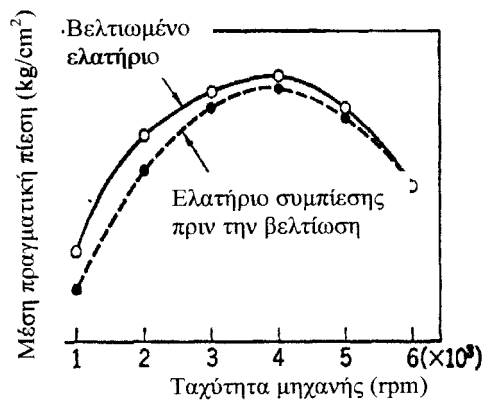
Σχήμα 3.18-Βελτιωμένα ελατήρια κορυφών[1]



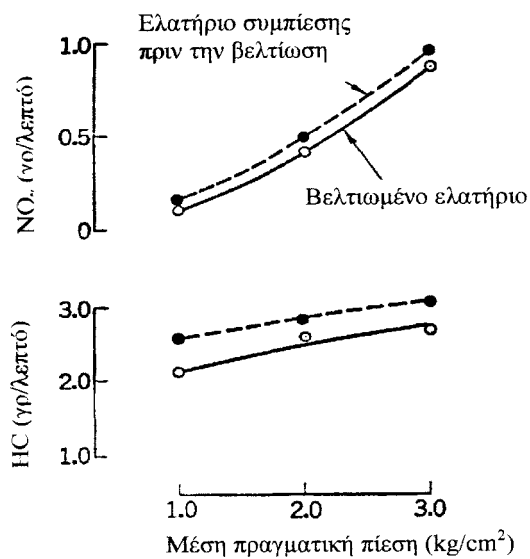
Σχήμα 3.19-Διάκενο κατά την λειτουργία μεταξύ του κελύφους του στροφέα και του ελατηρίου κορυφής[1]



Σχήμα 3.20-Σύγκριση της κατανάλωσης καυσίμου[1]



Σχήμα 3.21-Σύγκριση επίδοσης της μηχανής[1]



Σχήμα 3.22-Σύγκριση των εκπομπών ρύπων[1]

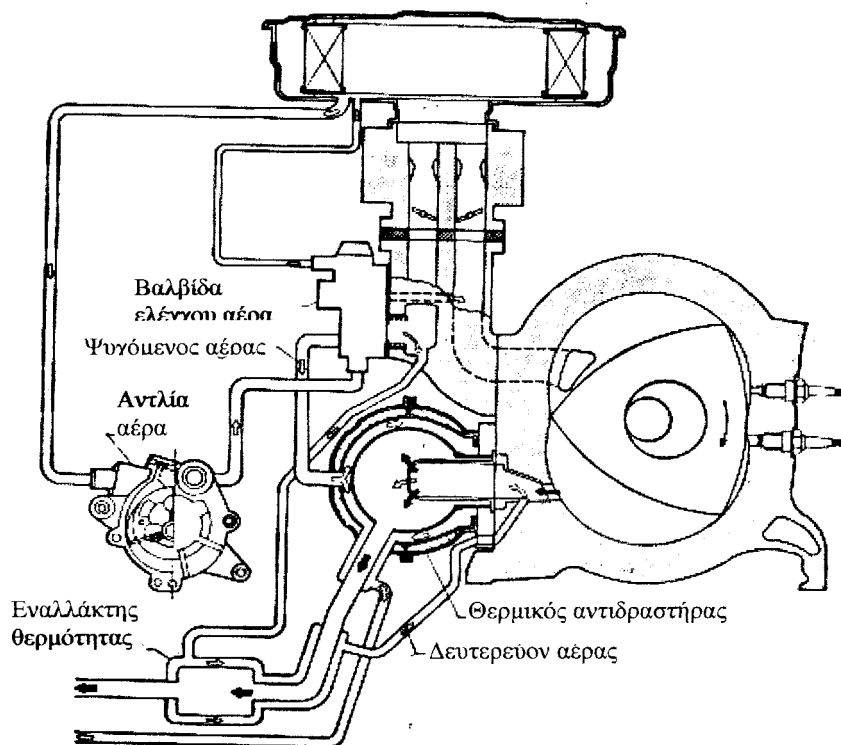
3.6 Σύστημα ελέγχου εκπομπής καυσαερίων.

Λόγω της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα καυσαέρια έχουν θεσπιστεί κανονισμοί για μηχανές πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Οι κανονισμοί εκπομπών ρύπων ξεκίνησαν από τις Η.Π.Α. το 1968 και υιοθετήθηκαν από όλες τις χώρες, ενώ κάθε χρόνο γίνονται και πιο αυστηροί.

Η έννοια του συστήματος ελέγχου των καυσαερίων είναι στο πώς θα επιτευχθούν οι προδιαγραφές εκπομπών ρύπων χωρίς όμως παράλληλα να επηρεαστεί η επίδοση, η οικονομία καυσίμων και η διάρκεια ζωής της μηχανής. Για τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων της περιστροφικής μηχανής υπάρχουν δύο μέθοδοι, το σύστημα θερμικού μετατροπέα για παλαιότερες περιστροφικές μηχανές με εξαερωτή και το σύστημα με καταλυτικό μετατροπέα το οποίο χρησιμοποιείται σήμερα.

3.6.1 Σύστημα θερμικού μετατροπέα.

Το σύστημα θερμικού μετατροπέα είναι αυτό που κυρίως χρησιμοποιείται για τον αποτελεσματικό έλεγχο των εκπομπών ρύπων της περιστροφικής μηχανής. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για μολυβούχα καύσιμα όπως η βενζίνη σούπερ. Στο Σχήμα 3.23 παρουσιάζεται το σύστημα θερμικού μετατροπέα εγκατεστημένο στην περιστροφική μηχανή ενός αυτοκίνητου RX-7 πρώτης γενιάς της MAZDA.



Σχήμα 3.23-Το σύστημα θερμικού μετατροπέα[1]

Τα χαρακτηριστικά από τον συνδυασμό του συστήματος θερμικού μετατροπέα με την περιστροφική μηχανή είναι:

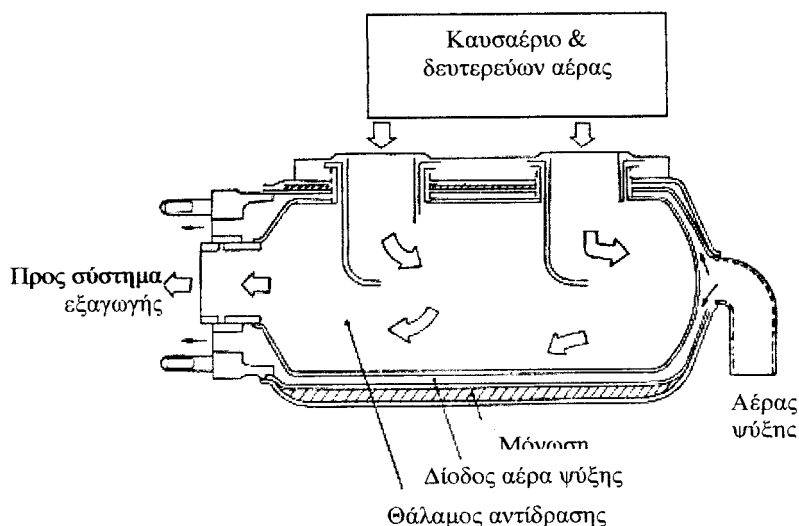
- Με βάση τις εκπομπές ρύπων της περιστροφικής μηχανής, οι οποίες είναι μικρότερες σε οξείδια του αζώτου (NO_x) και αυξημένες σε άκαυστους υδρογονάνθρακες (HC) η εισροή του δευτερεύοντος αέρα στον μετατροπέα προκαλεί μια σταθερή διαδικασία καθαρισμού με την αποβολή των καυσαερίων.
- Η συνεχής εκπομπή καυσαερίων από κάθε θυρίδα εξαγωγής και η σχετικά υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων ευνοούν την λειτουργία οξείδωσης αυτών στον μετατροπέα.
- Ο μετατροπέας μπορεί να εγκατασταθεί σε άμεση επαφή με την μηχανή έχοντας έτσι μικρότερη θερμική απώλεια και καλύτερη απόδοση στον καθαρισμό των καυσαερίων.
- Ο μικρός αριθμός θυρίδων εξαγωγής βοηθά στην συμπαγή κατασκευή του μετατροπέα.
- Ο θερμικός μετατροπέας τοποθετείται στο κατώτερο μέρος της μηχανής το οποίο είναι καλό για την μη διάδοση της θερμότητας στο εσωτερικό της μηχανής.

Κατά συνέπεια το σύστημα θερμικού μετατροπέα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πλήρως συμβατικό σύστημα ελέγχου εκπομπών ρύπων στην περιστροφική μηχανή.

Οι απαιτήσεις για την ικανοποιητική οξείδωση των καυσαερίων στον θερμικό μετατροπέα είναι:

- Η μέγιστη δυνατή παραμονή του καυσαερίου στον μετατροπέα.
- Να κρατηθεί η θερμοκρασία των καυσαερίων όσο το δυνατόν πιο ψηλά.
- Να αναμιχθεί το καυσαέριο με το δευτερεύον ρεύμα αέρα όσο το δυνατόν καλύτερα.

Στο Σχήμα 3.24 βλέπουμε την σχηματική παράσταση λειτουργίας του θερμικού μετατροπέα.



Σχήμα 3.24-Σχεδιάγραμμα θερμικού μετατροπέα [1]

Ακόμη, για ανθεκτικότερη κατασκευή του συστήματος πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής:

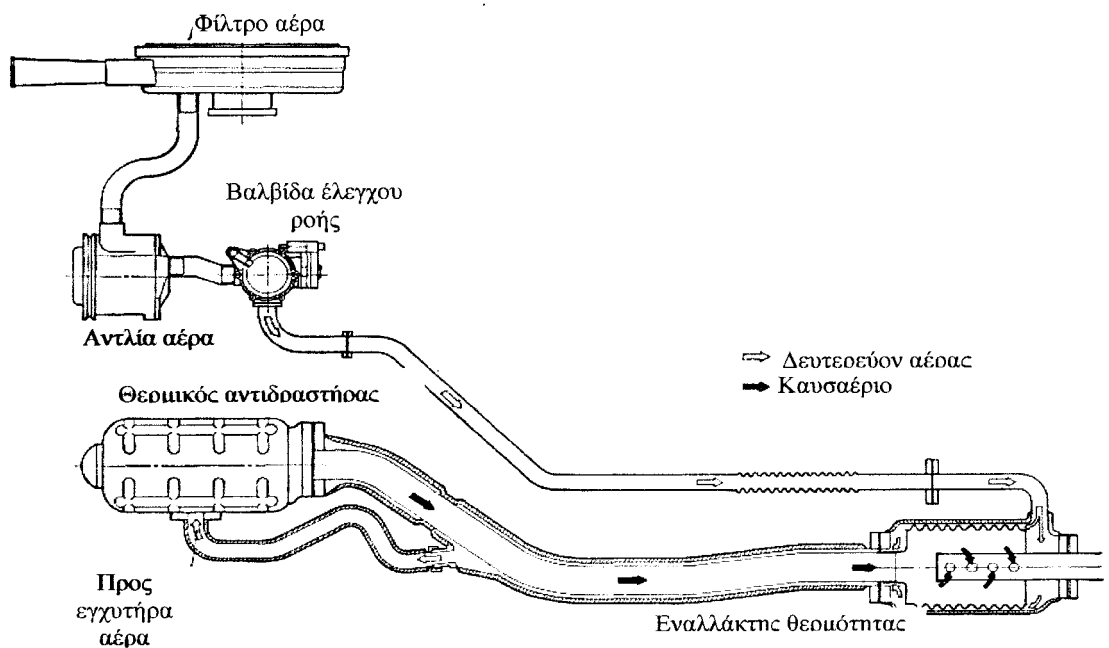
- Η διάβρωση από την οξείδωση που προκαλείται από το καυσαέριο
- Ρωγμές και ζημιές από θερμικές παραμορφώσεις.

- Παραμόρφωση του εσωτερικού τοιχώματος από θερμικές και μηχανικές τάσεις.

Για την αποτροπή όλων των παραπάνω, το υλικό κατασκευής του μετατροπέα έχει επιλεγεί έτσι ώστε να αντέχει σε υψηλές καταπονήσεις. Επιπλέον, για την αποτροπή της υπερθέρμανσης του εσωτερικού τοιχώματος κατά την διάρκεια υψηλών φορτίων και ταχυτήτων έχουν ληφθεί ορισμένα μέτρα για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του, π.χ. ψύξη του εξωτερικού τοιχώματος με το δευτερεύον ρεύμα αέρα που ρέει ανάμεσα στον μετατροπέα και το τοίχωμα.

Η λειτουργία του μετατροπέα έχει σχέση με την θερμοκρασία. Για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του καυσαερίου υψηλά έχει διαμορφωθεί μια θυρίδα εισαγωγής στον μετατροπέα που συνδέεται με την θυρίδα εξαγωγής της μηχανής.

Αυτό το σύστημα αποτελείται και από ένα εναλλάκτη θερμότητας και μια δευτερεύουσα παροχή αέρα που καλύπτει τον σωλήνα εξαγωγής όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.25.

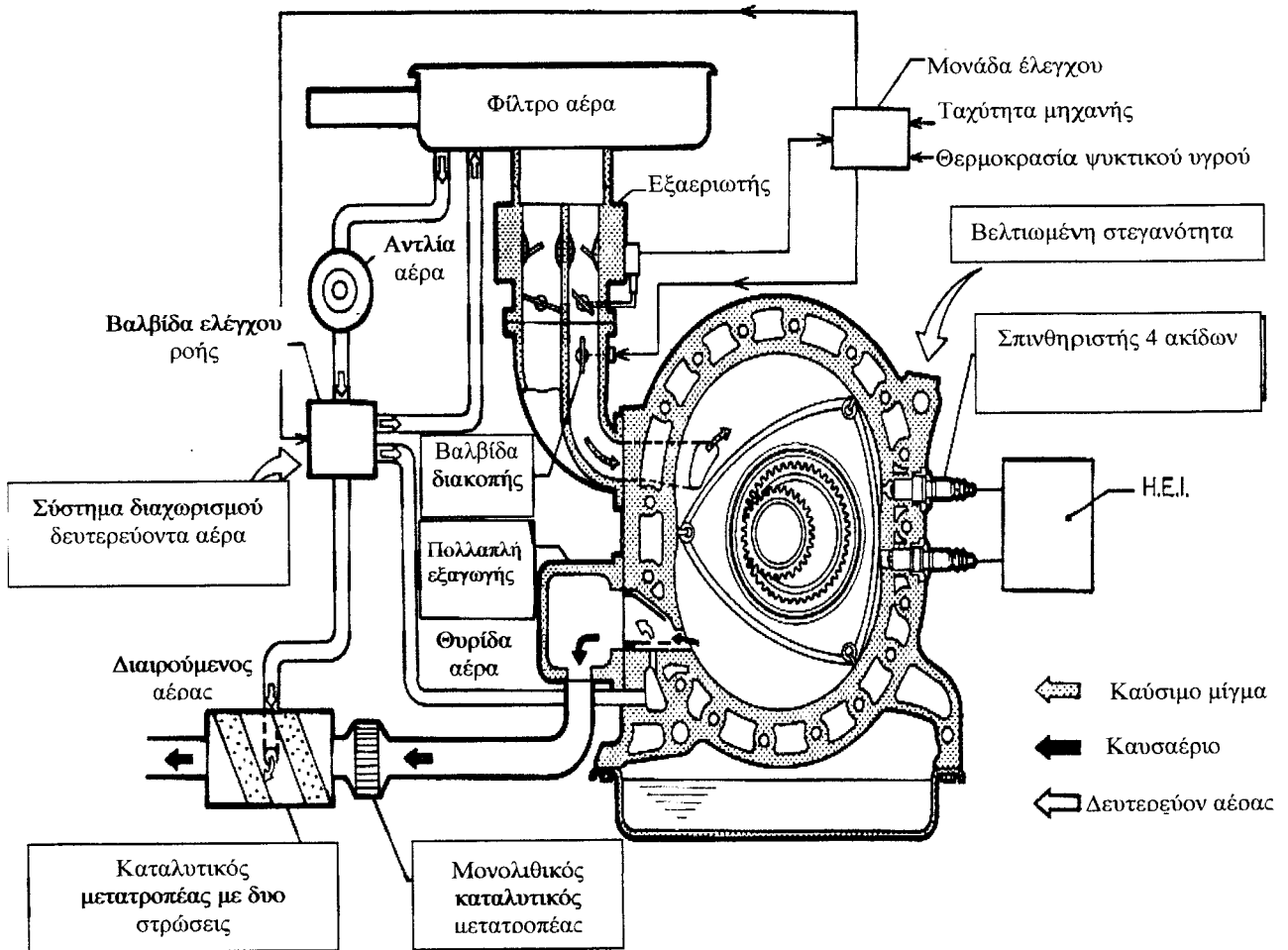


Σχήμα 3.25-Προθέρμανση του δευτερεύοντα αέρα[1]

Ο δευτερεύον αέρας, δια μέσου της βαλβίδας ελέγχου ροής, εισέρχεται στον εναλλάκτη θερμότητας, όπου και θερμαίνεται από τα καυσαέρια. Ο θερμός αέρας εκτοξεύεται στην εισαγωγή της θυρίδας εξαγωγής από το ακροφύσιο που υπάρχει στο κέλυφος του στροφέα.

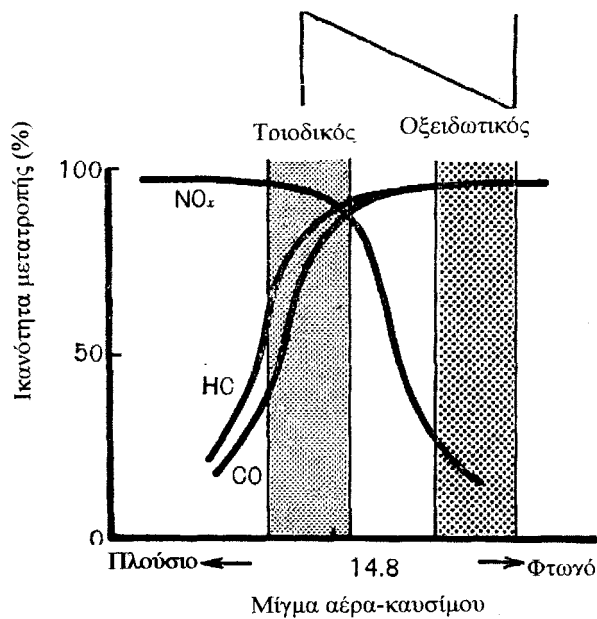
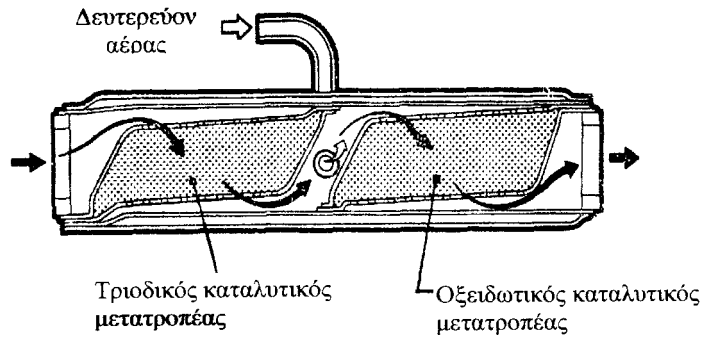
3.6.2 Σύστημα καταλυτικού μετατροπέα

Το σύστημα καταλυτικού μετατροπέα έχει καταστήσει μεγαλύτερη βελτίωση της οικονομίας καυσίμων της περιστροφικής μηχανής έναντι του θερμικού συστήματος μετατροπέα. Η χρήση του συστήματος αυτού γίνεται σε μηχανές που χρησιμοποιούν ως καύσιμο την αμόλυβδη βενζίνη. Η συνεχής εξέλιξη της περιστροφικής μηχανής απαιτήσε ακόμη μικρότερο λόγο αέρα-καυσίμου για την λειτουργία της μηχανής αλλά και για μικρότερες εκπομπές ρύπων. Κατόπιν, το σύστημα καταλυτικού μετατροπέα απαιτήθηκε για την περαιτέρω βελτίωση της οικονομίας καυσίμου. Στο Σχήμα 3.26 φαίνεται το σύστημα καταλυτικού μετατροπέα που χρησιμοποιήθηκε για περιστροφικές μηχανές στο RX-7 με καύσιμο αμόλυβδη βενζίνη.



Σχήμα 3.26-Σύστημα καταλυτικού μετατροπέα[1]

Το σύστημα του καταλυτικού μετατροπέα αποτελείται από δυο μέρη έναν προ-καταλυτικό μετατροπέα και τον κύριο καταλυτικό μετατροπέα. Ο προ-καταλυτικός μετατροπέας παίζει το ρόλο καθαρισμού του καυσαερίου. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται ένας τύπος μονόλιθου καταλυτικού μετατροπέα μικρού όγκου για την διευκόλυνση των αντιδράσεων στον κύριο καταλυτικό μετατροπέα. Ο κύριος καταλυτικός μετατροπέας έχει δύο στρώσεις για τον αποτελεσματικό καθαρισμό των άκαυστων υδρογονανθράκων (HC), του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x). Ένα πολυδιάτρητο ακροφύσιο χρησιμοποιείται για την παροχή του δευτερεύοντα αέρα ανάμεσα στις δυο στρώσεις του καταλυτικού μετατροπέα. Ο κύριος καταλυτικός μετατροπέας του συστήματος είναι μια συμπαγής κατασκευή με δύο στάδια καθαρισμού καυσαερίων ικανός για υψηλό ποσοστό καθαρισμού των καυσαερίων. Στο Σχήμα 3.27 φαίνεται ο κύριος καταλυτικός μετατροπέας και ο τρόπος λειτουργίας του.

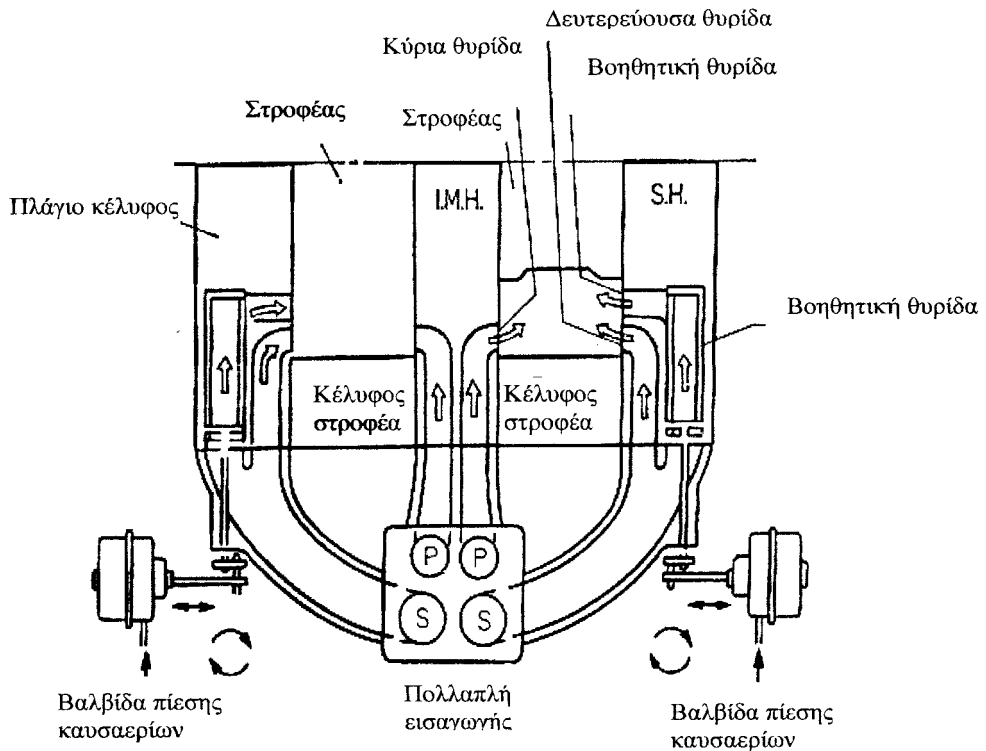


Σχήμα 3.27-Ο κύριος καταλυτικός μετατροπέας[1]

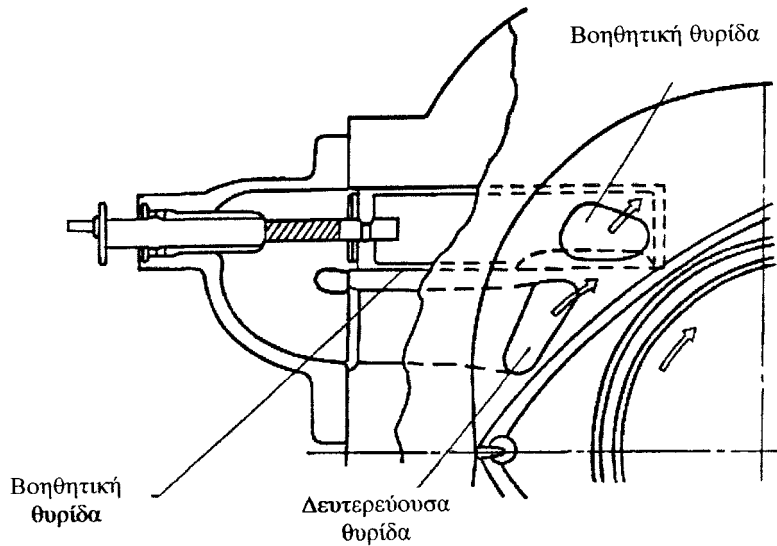
Για τον αποδοτικότερο καθαρισμό του καυσαερίου χρησιμοποιείται μια βαλβίδα ελέγχου ροής του δευτερεύοντος αέρα ανάμεσα στον αέρα που θα εγχυθεί στην θυρίδα εξαγωγής και στον αέρα που θα εισέλθει στον καταλυτικό μετατροπέα κατά την περίοδο λειτουργίας της μηχανής. Κατά την διάρκεια λειτουργίας της μηχανής σε χαμηλές στροφές ή κατά την περίοδο προθέρμανσης, όπου το ποσοστό των άκαυστων υδρογονανθράκων και του μονοξειδίου του άνθρακα είναι σχετικά υψηλό το μεγαλύτερο ποσοστό διοχετεύεται στον εγχυτήρα της θυρίδας εξαγωγής για την καλύτερη ανάμιξη του καυσαερίου με αέρα λειτουργώντας το όλο σύστημα ως οξειδωτικό καταλύτη. Για κανονικά φορτία και λειτουργία, όμως, όπου το ποσοστό των οξειδίων του αζώτου είναι σχετικά υψηλό ο αέρας παρέχεται στον καταλυτικό μετατροπέα για την μείωση των οξειδίων του αζώτου γίνεται ένας μικρός εμπλουτισμός με αέρα των άκαυστων υδρογονανθράκων και του μονοξειδίου του άνθρακα σε συνδυασμό με τον προ-καταλυτικό μετατροπέα και στη μια εκ των δυο στρώσεων του κύριου καταλυτικού μετατροπέα. Το δεύτερο στρώμα χρησιμοποιείται κυρίως για τον εμπλουτισμό με αέρα των άκαυστων υδρογονανθράκων και του μονοξειδίου του άνθρακα, λειτουργεί δηλαδή ως οξειδωτικός καταλύτης.

3.7 Σύστημα εισαγωγής.

Προκειμένου να βελτιωθεί η οικονομία καυσίμου, αλλά και να παραμείνει η επίδοση της μηχανής σε ικανοποιητικά επίπεδα, επιλέχθηκε ένα σύστημα εισαγωγής, το σύστημα (RE 6PI) 6 θυρίδων εισαγωγής. Για κάθε έναν από τους στρόφους υπάρχουν τρεις θυρίδες εισαγωγής διαμορφωμένες στα πλάγια κελύφη της μηχανής και είναι: η κύρια θυρίδα, η δευτερεύουσα θυρίδα και η δευτερεύουσα βοηθητική θυρίδα. Μια κυλινδρική βαλβίδα (βοηθητική βαλβίδα θυρίδων) με μια εγκοπή παρεμβάλλεται στη βοηθητική θυρίδα, και η βαλβίδα περιστρέφεται ανοίγει η κλείνει την θυρίδα. Η βαλβίδα λειτουργεί από την πίεση των αερίων εξαγωγής. Σε μεγάλα φορτία και ταχύτητες, η πίεση εξαγωγής γίνεται υψηλότερη και η βαλβίδα ανοίγει βαθμιαία στη δευτερεύουσα βοηθητική θυρίδα. Έτσι, για μια μηχανή δυο στρόφων το σύστημα εισαγωγής αποτελείται από έξι θυρίδες εισαγωγής. Στο Σχήμα 3.28 φαίνεται η δομή και η λειτουργία του συστήματος αυτού.

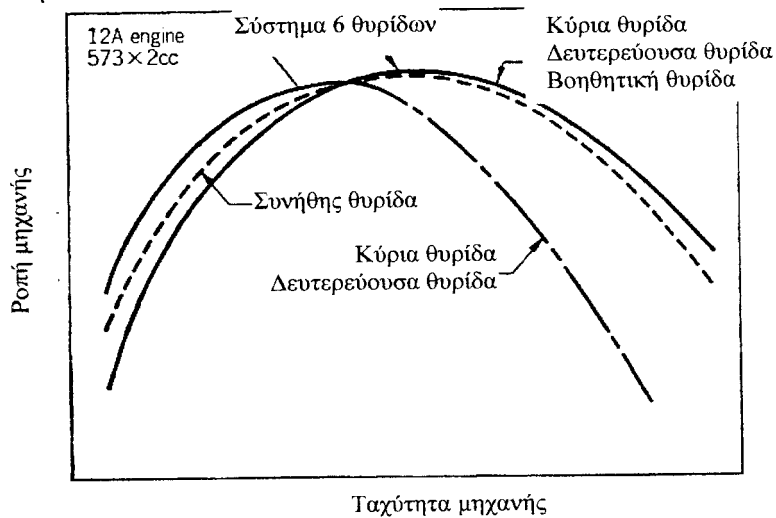


Σχήμα 3.28-Το σύστημα 6 θυρίδων (κύρια όψη)[1]



Σχήμα 3.28-Το σύστημα 6 θυρίδων (πλάγια όψη)[1]

Στο Σχήμα 3.29 φαίνεται η επίδοση του συστήματος αυτού εφαρμοσμένο στην ελαστροφική μηχανή



Σχήμα 3.29-Διάγραμμα επίδοσης του συστήματος εισαγωγής με 6 θυρίδες[1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται μερικές άλλες τεχνικές που εφαρμόζονται ή μελετώνται να εφαρμοστούν στην περιστροφική μηχανή. Επειδή η ανάπτυξη των μηχανών βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη, πολλές μέθοδοι βελτίωσης έχουν μελετηθεί για την οικονομία καυσίμου, την μεγαλύτερη επίδοση, την μεγαλύτερη αξιοπιστία, αλλά και την ακόμα μικρότερη εκπομπών ρύπων. Στην περιστροφική μηχανή, αν και βρίσκεται ακόμα στα πρώτα στάδια ανάπτυξής της, έχουν μελετηθεί και εφαρμοστεί πολλά από τα υπάρχοντα συστήματα των παλινδρομικών μηχανών.

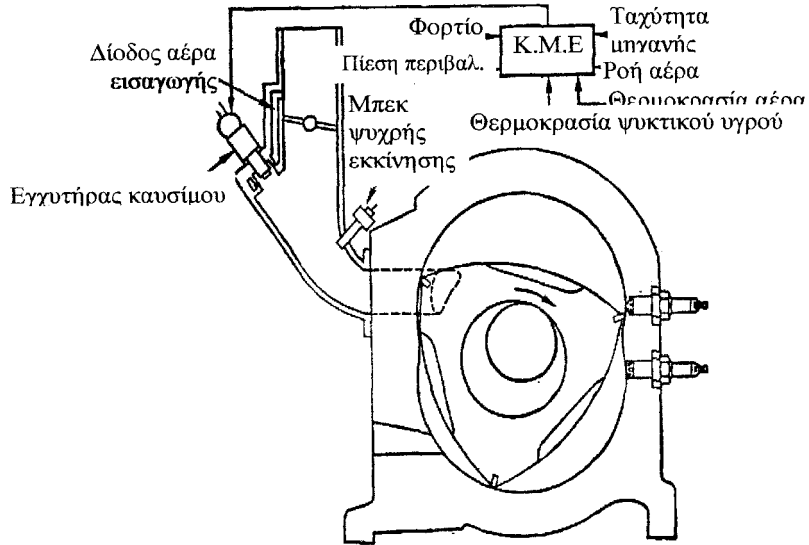
4.1 Σύστημα έγχυσης καυσίμου

Το πλεονέκτημα του συστήματος έγχυσης έναντι του εξαεριωτή είναι η ικανότητα ελέγχου της ποσότητας και του χρόνου έγχυσης του καυσίμου με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή του συστήματος έγχυσης καυσίμου έγινε για την βελτίωση της επίδοσης, της οικονομίας καυσίμου και της καλύτερης εκπομπής ρύπων της περιστροφικής μηχανής.

Τα συστήματα έγχυσης καυσίμου γενικά κατατάσσονται, ως προς τον τρόπο διαχείρισης της έγχυσης, σε μηχανικής εγχύσεως και ηλεκτρονικής εγχύσεως. Ως προς τον τρόπο έγχυσης σε συνεχούς εγχύσεως και διακοπτόμενης εγχύσεως και τέλος ως προς το σημείο εγχύσεως σε σύστημα έγχυσης στην πολλαπλή εισαγωγή και σε σύστημα έγχυσης στον θάλαμο καύσης της μηχανής. Αυτά τα συστήματα μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους, ανάλογα με τις απαιτήσεις από την μηχανή.

4.1.1 Ηλεκτρονική ανάφλεξη καυσίμου (E.F.I.)

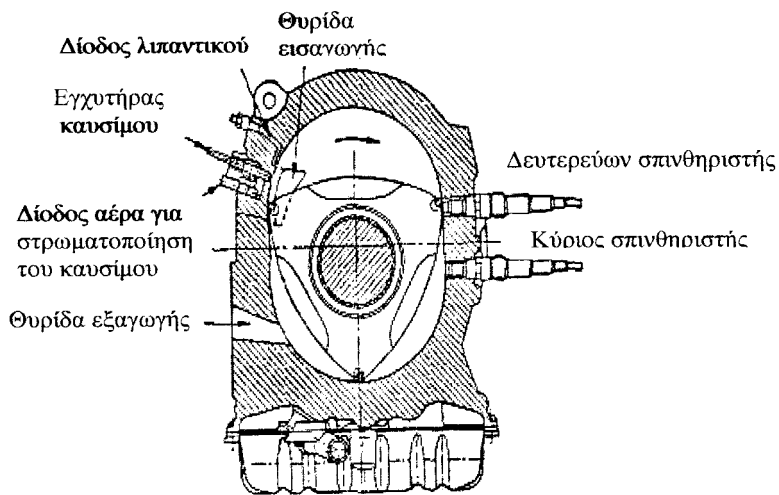
Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται το σύστημα με ηλεκτρονική ανάφλεξη καυσίμου και με έγχυση καυσίμου στην πολλαπλή εισαγωγή. Το ίδιο σύστημα χρησιμοποιείται και στις παλινδρομικές μηχανές όπου το καύσιμο εγχέεται προς την θερμή βαλβίδα εισαγωγής για την καλύτερη εξάτμιση του και ανάμειξή του με τον αέρα εισαγωγής. Στην περιστροφική μηχανή δεν υπάρχει κανένα τέτοιο θερμό μέρος (βαλβίδα) στην εισαγωγή της, αλλά και να εγκατασταθεί κάτι τέτοιο είναι επίσης δύσκολο. Έτσι, για να διευκολυνθεί η καλύτερη διάσπαση του καυσίμου και ο καλύτερος διασκορπισμός του στον αέρα εισαγωγής, δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στην διαμόρφωση της πολλαπλής εισαγωγής, αλλά και στη θέση του ακροφυσίου εγχύσεως.



Σχήμα 4.1-Το σύστημα ηλεκτρονικής ανάφλεξης καυσίμου (E.F.I.) [1]

4.1.2 Σύστημα συνεχούς έγχυσης κατά τον χρόνο εισαγωγής

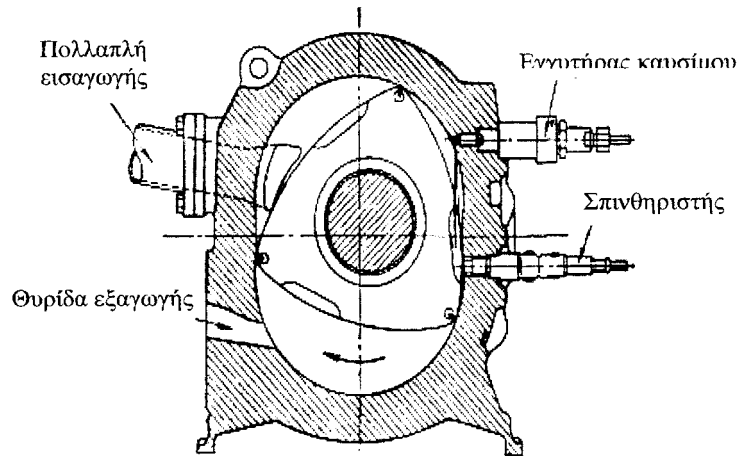
Στο Σχήμα 4.2 φαίνεται το ηλεκτρονικό σύστημα συνεχούς έγχυσης καυσίμου κατά τον χρόνο της εισαγωγής της περιστροφικής μηχανής. Στο σύστημα αυτό ο εγγυτήρας καυσίμου βρίσκεται επάνω στο κέλυφος του στροφέα και εγχέει το καύσιμο κατά την φάση της εισαγωγής. Το σύστημα είναι συνεχούς έγχυσης χαμηλής πίεσεως, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε η έγχυση να αρχίζει στο χρόνο της εισαγωγής για να αποτρέπει την πίεση που δημιουργείται κατά την συμπίεση να εφαρμόζεται στον εγγυτήρα.



Σχήμα 4.2-Σύστημα συνεχούς εγχύσεως καυσίμου [1]

4.1.3 Σύστημα έγχυσης διακοπτόμενης ροής

Στο Σχήμα 4.3 φαίνεται το σύστημα έγχυσης καυσίμου διακοπτόμενα στον θάλαμο καύσης. Στο σύστημα αυτό ο εγχυτήρας βρίσκεται κοντά στην θέση του δεύτερου σπινθηριστή ο οποίος δεν υπάρχει και εγχέει το καύσιμο με υψηλή πίεση στον θάλαμο καύσης κατά την φάση της συμπίεσης, ενώ ο χρόνος είναι και αυτός ηλεκτρονικά ελεγχόμενος.



Σχήμα 4.3-Σύστημα διακοπτόμενης ροής καυσίμου[1]

Από τα παραπάνω συστήματα έγχυσης καυσίμου μπορεί εύκολα να προκύψει το συμπέρασμα ότι η περιστροφική μηχανή έχει σαφώς ένα πιο ευρύ φάσμα από την παλινδρομική μηχανή ως προς την επιλογή και τον τρόπο τοποθέτησης του εγχυτήρα καυσίμου. Πολλές μελέτες διεξάγονται για τον καλύτερο τύπο έγχυσης καυσίμου, αλλά και για την επίτευξη ενός όσο το δυνατόν καλύτερα αναμιγμένου καυσίμου μίγματος κατά την εισαγωγή.

4.2 Στρωματοποιημένη γόμωση

Ο τύπος περιστροφικής μηχανής με στρωματοποιημένη γόμωση είναι αυτός ο οποίος μελετάται κυρίως για την εφαρμογή του στην περιστροφική μηχανή, για τον καλύτερο έλεγχο της έναυσης και της καύσης του καυσίμου μίγματος, της μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου, της καλύτερης ποιότητας καυσαερίων και της μεγαλύτερης επίδοσης της μηχανής, με την κατάλληλη διανομή του καυσίμου μίγματος για διαφορετικούς λόγους αέρα-καυσίμου στο θάλαμο καύσης.

Γενικά, το μίγμα κατανέμεται στο θάλαμο έτσι ώστε το πλούσιο μίγμα καυσίμου να βρίσκεται κοντά στον σπινθηριστή ενώ το πιο φτωχό μίγμα να γεμίζει τον υπόλοιπο θάλαμο καύσης. Όταν το μίγμα είναι μικρής αναλογίας αέρα-καυσίμου (φτωχό) το ποσοστό αέρα που εισέρχεται από την πολλαπλή εισαγωγή αυξάνεται.

Για το λόγο αυτό οι μηχανές με στρωματοποιημένη γόμωση μειώνουν τον ρυθμό εκπομπής των άκαυστων υδρογονανθράκων (HC) και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και έχουν

καλύτερη καύση του μίγματος και οικονομία καυσίμου. Στην περιστροφική μηχανή η διάδοση της φλόγας κατά την έναυση στο θάλαμο καύσης γίνεται γρηγορότερα προς την κύρια πλευρά του στροφέα από ότι στην οπίσθια. Αξιοποιώντας αυτό το χαρακτηριστικό μελετάται μια περιστροφική μηχανή στην οποία το πλούσιο μίγμα κατανέμεται περισσότερο στην κύρια πλευρά του στροφέα ενώ το φτωχό μίγμα στο οπίσθιο και πλάγιο μέρος.

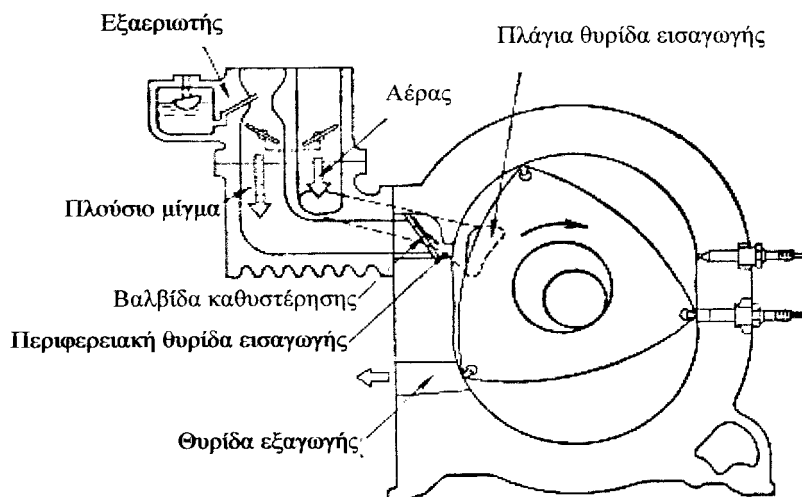
Για την στρωματοποίηση του μίγματος χρησιμοποιούνται κυρίως δυο συστήματα:

- Αυτά που διαμορφώνουν τη στρωματοποίηση του καυσίμου στον αέρα που εισέρχεται κατά την φάση της εισαγωγής
- Αυτά που έχουν διαμορφωμένο ένα προθάλαμο όπου γίνεται η στρωματοποίηση του καυσίμου μίγματος πριν εισέλθει στο θάλαμο καύσης.

Οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής της περιστροφικής μηχανής ανοίγουν και κλείνουν από την κίνηση του στροφέα. Η βασική διαφορά από την παλινδρομική μηχανή είναι ότι ο χρονισμός των θυρίδων γίνεται από το σχήμα και το σημείο τοποθέτησης των θυρίδων αφού ο θάλαμος καύσης κινείται πάντα περιστροφικά προς μια κατεύθυνση. Για το λόγο αυτό πολλοί τρόποι μελετώνται για την στρωματοποιημένη γόμωση της περιστροφικής μηχανής.

4.2.1 Στρωματοποιημένη γόμωση δυο βαθμίδων

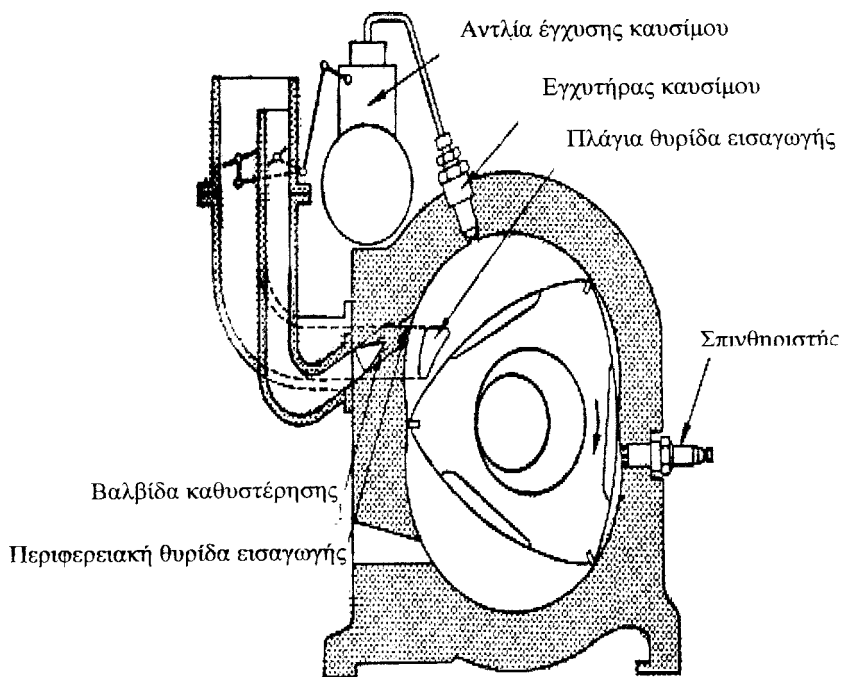
Στο Σχήμα 4.4 βλέπουμε την δομή του συστήματος στρωματοποιημένης γόμωσης περιστροφικής μηχανής (SCRE) το οποίο αναπτύχθηκε από την Toyota. Στο σύστημα αυτό, το πλούσιο μίγμα κατά την εισαγωγή εισέρχεται στην μηχανή από την περιφερειακή θυρίδα, ενώ από τις πλάγιες θυρίδες εισέρχεται μόνο αέρας με μια μικρή καθυστέρηση. Με τον τρόπο αυτό το μίγμα στρωματοποιείται έτσι ώστε το πλούσιο μίγμα να πάει προς την κύρια πλευρά του στροφέα, (μπροστινή σύμφωνα με την φορά περιστροφής) ενώ το φτωχό να καταλάβει θέση στα υπόλοιπα του σημεία. Ένα τέτοιο σύστημα εισαγωγής μίγματος διαφορετικών αναλογιών ονομάζεται στρωματοποιημένη γόμωση δυο βαθμίδων. Πολλά ακόμη τέτοιου είδους συστήματα στρωματοποιημένης γόμωσης μελετώνται.



Σχήμα 4.4-Το σύστημα στρωματοποίησης δυο βαθμίδων (Toyota)[1]

4.2.2 Στρωματοποίηση κατά την περιστροφή

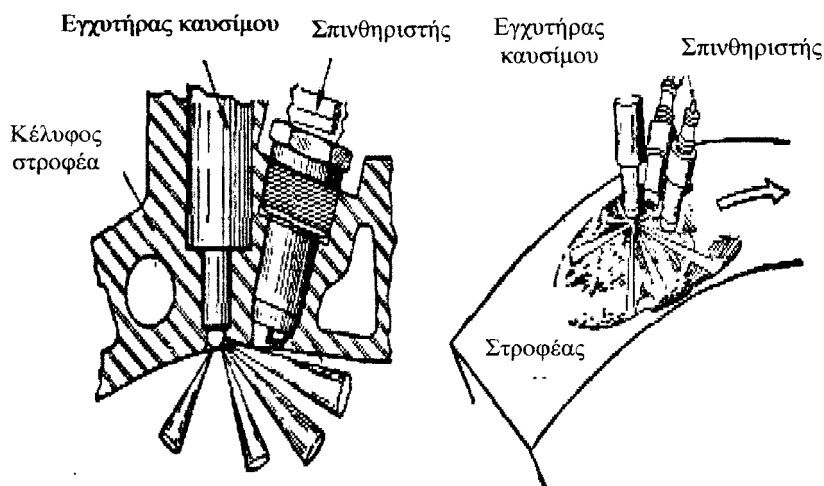
Στο Σχήμα 4.5 βλέπουμε την δομή του συστήματος στρωματοποίησης του καυσίμου κατά την περιστροφή της μηχανής (ROSCO) το οποίο αναπτύχθηκε από την (Toyo Kogyo). Για μικρά φορτία ο αέρας εισέρχεται στην μηχανή από την περιφερειακή μόνο θυρίδα εισαγωγής και το καύσιμο εγχέεται και καθώς προσκρούει στην κοιλότητα του στροφέα διαχέεται στον αέρα ενώ παράλληλα ένα μέρος του καυσίμου συγκεντρώνεται στην κύρια πλευρά του στροφέα σχηματίζοντας έτσι πλούσιο μίγμα για καύση. Στα βαριά φορτία επειδή το ποσό του αέρα που εισέρχεται είναι ανεπαρκές ένα πόσο αέρα εισέρχεται από της πλάγιες θυρίδες.



Σχήμα 4.5-Σύστημα στρωματοποίησης κατά την περιστροφή (Toyo Kogyo)[1]

4.2.3 Το σύστημα των CURTISS-WRIGHT

Στο Σχήμα 4.6 βλέπουμε την δομή του συστήματος της στρωματοποιημένης γόμωσης των Curtiss-Wright. Το καύσιμο εγχέεται στην διάμετρο της κοιλότητας του στροφέα από έναν εγχυτήρα σε καθορισμένο χρόνο κατά τον χρόνο της συμπίεσης για να δημιουργηθεί το πλούσιο μίγμα στην κοιλότητα του στροφέα.

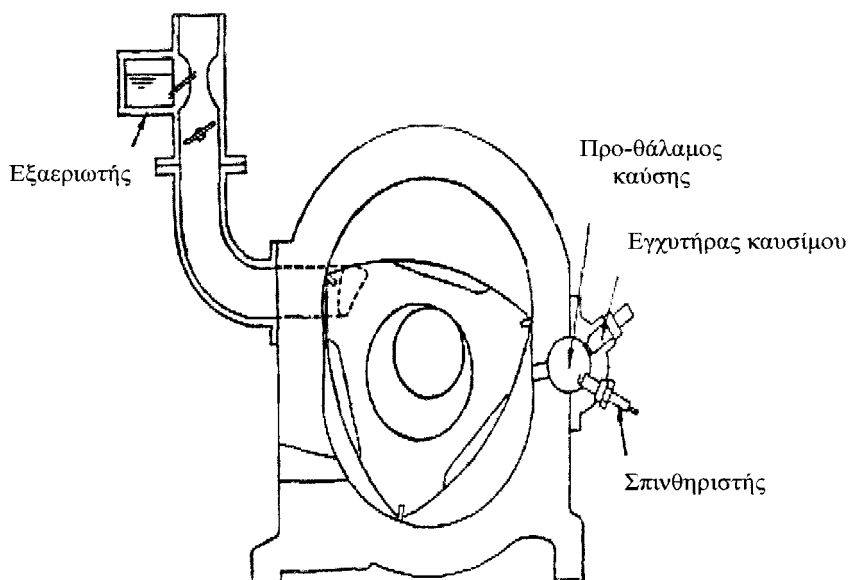


Σχήμα 4.6-Το σύστημα με στρωματοποιημένης γόμωσης Curtiss-Wright[1]

4.2.4 Στάσιμη στρωματοποίηση του καυσίμου μίγματος

Στο Σχήμα 4.7 φαίνεται η δομή του συστήματος της στάσιμης στρωματοποίησης του καυσίμου μίγματος με προθάλαμο καύσης (SCP) το οποίο επίσης αναπτύχθηκε από την (Toyo Kogyo). Για λειτουργία της μηχανής σε μικρά φορτία το καύσιμο διοχετεύεται στο σφαιρικό προθάλαμο καύσης όπου δίδεται ο σπινθήρας και καίγεται. Το καυσαέριο στον προθάλαμο καύσης θα εκτονώνεται στον κυρίως θάλαμο της μηχανής. Οποιοδήποτε άκαυστο στοιχείο στο καυσαέριο καίγεται εντελώς μόλις έρθει σε επαφή με τον καθαρό αέρα που βρίσκεται στον κυρίως θάλαμο.

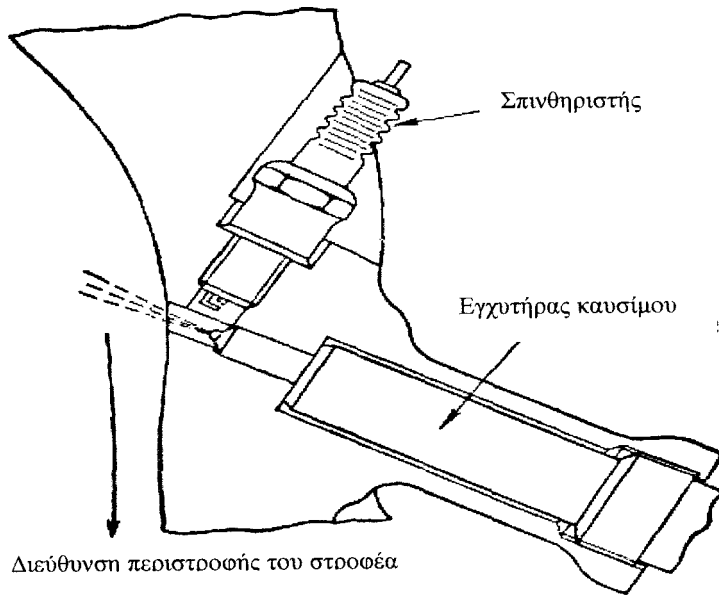
Για λειτουργία, όμως, σε μεγάλα φορτία, η απαιτούμενη επίδοση δεν μπορεί να επιτευχθεί μόνο με έγχυση καυσίμου στο προθάλαμο καύσης, γι'αυτό σ'αυτή την περίπτωση παρέχεται μίγμα καυσίμου-αέρα και στον κυρίως θάλαμο καύσης της μηχανής.



Σχήμα 4.7-Σύστημα στάσιμης στρωματοποίησης (Toyo Kogyo)[1]

4.2.5 Σύστημα διακοπτόμενης αμέσου εγχύσεως

Στο Σχήμα 4.8 φαίνεται η δομή του συστήματος αμέσου εγχύσεως του καυσίμου με διακοπτόμενη λειτουργία (PDI). Το καύσιμο μίγμα παρέχεται στον θάλαμο καύσης από ένα τυπικό εξαεριωτή ο οποίος έχει ρυθμιστεί αρχικά για δημιουργία φτωχού μίγματος καυσίμου-αέρα ενώ ένα μικρό ποσοστό καυσίμου εγχέεται από έναν εγχυτήρα τοποθετημένο κάθετα στον σπινθηριστή για να σχηματιστεί έτσι το πλούσιο μίγμα για την έναυση.



Σχήμα 4.8-Σύστημα διακοπτόμενης αμέσου εγχύσεως (Audi-NSU, West Germany)[1]

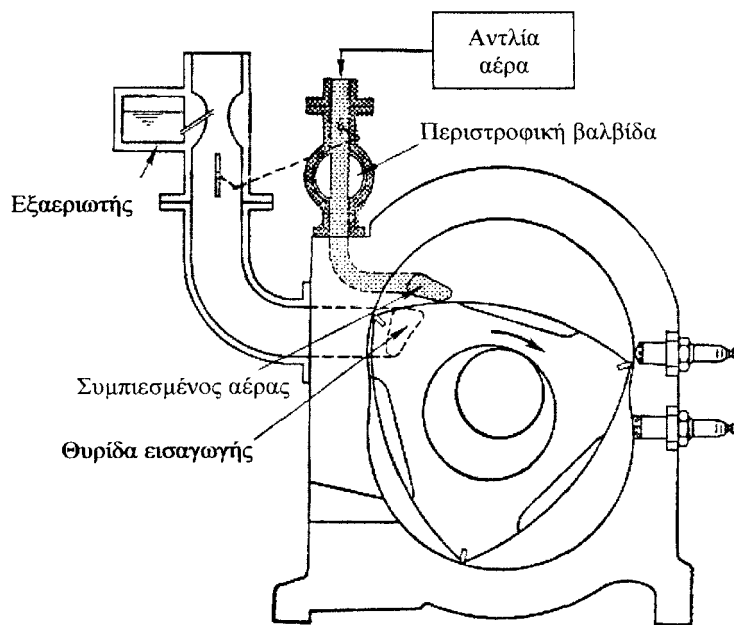
4.3 Υπερλήρωση.

Με υπερλήρωση της περιστροφικής μηχανής, δηλαδή με την συμπίεση του αέρα ή του καυσίμου μίγματος, μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη πλήρωση της μηχανής αλλά και μεγαλύτερες επιδόσεις. Η υπερλήρωση είναι η μέθοδος η οποία είναι ευρύτερα διαδεδομένη στις παλινδρομικές μηχανές για αγωνιστικές μηχανές και μεγάλες μηχανές diesel. Σήμερα έχει αρχίσει και η ανάπτυξη συστημάτων υπερλήρωσης ακόμα και σε μικρές μηχανές αφού έτσι επιτυγχάνεται οικονομία καυσίμου με μεγαλύτερες επιδόσεις των μηχανών. Τα συστήματα υπερλήρωσης επιτρέπουν σε μια μικρή μηχανή να έχει επίδοση συγκρίσιμη με μια μεγάλη μηχανή.

Δυο είναι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για την συμπίεση του αέρα εισαγωγής. Ο ένας τρόπος είναι με την χρήση ενός συμπιεστή ο οποίος λειτουργεί από την περιστροφική κίνηση του άξονα της μηχανής (μηχανική υπερλήρωση), ο δεύτερος τρόπος είναι με την χρήση συστήματος ζεύγους υπερλήρωσης.

4.3.1 Μηχανική υπερπλήρωση

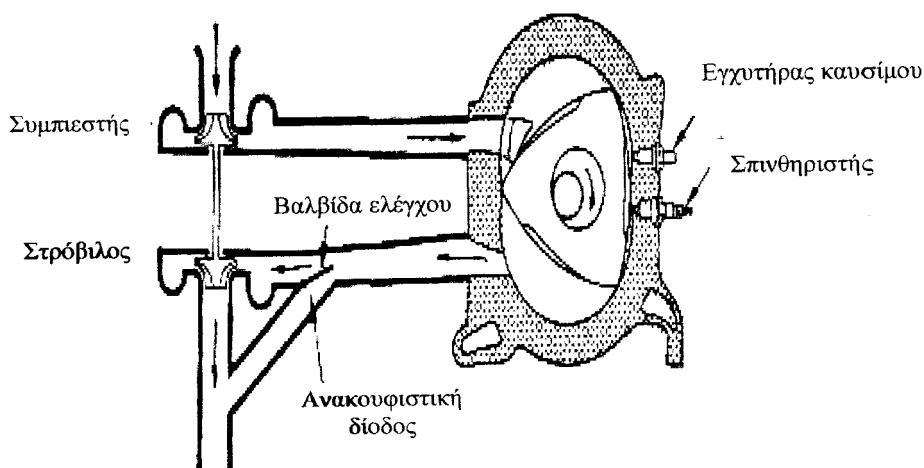
Στο Σχήμα 4.9 βλέπουμε το σύστημα μηχανικής υπερπλήρωσης της περιστροφικής μηχανής το οποίο αναπτύχθηκε από την Toyo Kogyo. Το σύστημα αυτό είναι σχεδιασμένο για μεγαλύτερες επιδόσεις, κυρίως στις χαμηλές και μικρές ταχύτητες περιστροφής της μηχανής. Ένα μέρος του αέρα εισαγωγής συμπιέζεται από τον φυγοκεντρικό συμπιεστή ο οποίος παίρνει κίνηση από τον άξονα της μηχανής με ένα ιμάντα και εξαναγκάζεται να εισέλθει στο θάλαμο καύσης από δίοδο εισαγωγής διαφορετική όμως από αυτήν που εισέρχεται το καύσιμο μίγμα που παρασκευάζεται στον εξαεριωτή, ενώ ο συμπιεσμένος αέρας που εισέρχεται ελέγχεται από μια χρονικά ελεγχόμενη περιστροφική βαλβίδα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ικανοποιητική πλήρωση του θαλάμου καύσης, αλλά και αρκετά καλή επίδοση της μηχανής σε χαμηλά και μέτρια φορτία.



Σχήμα 4.9-Σύστημα μηχανικής υπερπλήρωσης (Toyo Kogyo)[1]

4.3.2 Σύστημα ζεύγους υπερπλήρωσης

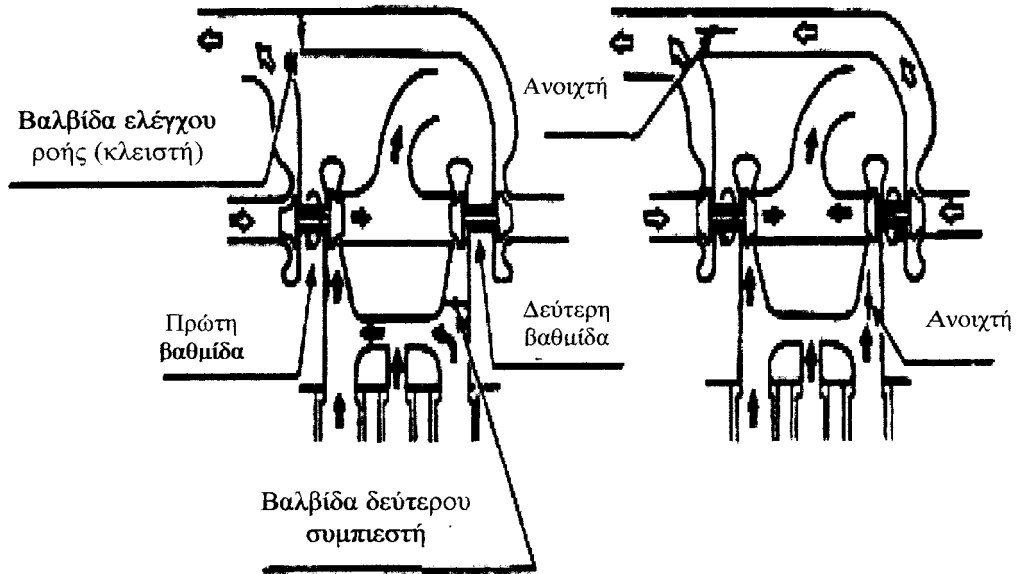
Στο Σχήμα 4.10 φαίνεται η δομή του συστήματος ζεύγους υπερπλήρωσης για την περιστροφική μηχανή, το οποίο αποτελείται από ένα συμπιεστή και ένα στρόβιλο που συνδέονται μεταξύ τους με ένα κοινό άξονα. Τα καυσαέρια κινούν το στρόβιλο, ο οποίος με την σειρά του κινεί τον συμπιεστή που συμπιέζει τον αέρα εισαγωγής. Το σύστημα αυτό έχει μικρές επιδόσεις για χαμηλές στροφές της μηχανής αφού το ποσοστό καυσαερίου είναι μικρό, αλλά βελτιώνει κατά πολύ τις επιδόσεις στις μεγάλες ταχύτητες της μηχανής αφού το ποσοστό καυσαερίων είναι μεγάλο. Στην δίοδο της διαφυγής του καυσαερίου προς τον στρόβιλο παρεμβάλλεται μια βοηθητική δίοδος με μια ανακουφιστική βαλβίδα (σκάστρα) για τον αποσυμφόρηση του στρόβιλου από μεγάλες πιέσεις στις μεγάλες ταχύτητες.



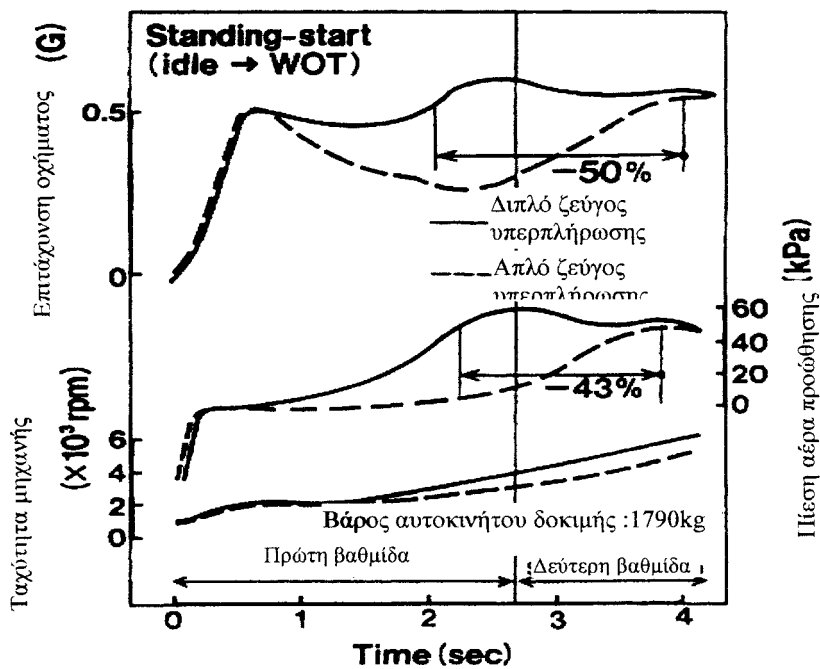
Σχήμα 4.10-Το σύστημα ζεύγους υπερπλήρωσης[1]

4.3.3 Διπλό ζεύγος υπερπλήρωσης

Μια από τις καλύτερες και ευρύτερα διαδεδομένες μεθόδους υπερπλήρωσης που χρησιμοποιούνται στην περιστροφική μηχανή είναι η εφαρμογή διπλού ζεύγους υπερπλήρωσης. Το σύστημα αποτελείται από δύο ζεύγη υπερπλήρωσης, ένα χαμηλής πίεσης που εκμεταλλεύεται την κίνηση των καυσαερίων στις χαμηλές στροφές της μηχανής και ένα υψηλής πίεσης το οποίο λειτουργεί όταν αυξάνεται η ταχύτητα λειτουργίας της μηχανής. Οι δυο στρόβιλοι υψηλής και χαμηλής πίεσης είναι συνδεδεμένοι από κοινού με την πολλαπλή εξαγωγή της μηχανής και μια βαλβίδα, ανάλογα με την ταχύτητα της μηχανής, ελέγχει την λειτουργία του στρόβιλου και, κατά συνέπεια, του ζεύγους υπερπλήρωσης υψηλής πίεσης. Το σύστημα αυτό είναι το μόνο στο οποίο, ακόμα και κατά τις μεγάλες ταχύτητες της μηχανής, δουλεύουν και τα δυο ζεύγη υπερπλήρωσης, χαμηλής και υψηλής πίεσης, εξασφαλίζοντας έτσι την καλύτερη πλήρωση του θαλάμου καύσης αλλά και την καλύτερη επίδοση της μηχανής. Στο Σχήμα 4.10 φαίνεται η δομή του συστήματος διπλού ζεύγους υπερπλήρωσης και στο Σχήμα 4.11 το διάγραμμα σύγκρισης της επίδοσης του με ένα απλό συμβατικό ζεύγος υπερπλήρωσης.



Σχήμα 4.10-Λειτουργία συστήματος διπλού ζεύγους υπερπλήρωσης[4]



Σχήμα 4.11-Διάγραμμα σύγκρισης των δυο υπερπληρωτών[4]

4.4 Τεχνικές βελτίωσης των θυρίδων εισαγωγής

Ένας τρόπος βελτίωσης των επιδόσεων της περιστροφικής μηχανής είναι και αυτός της κατεργασίας και διαμόρφωσης του μεγέθους και σχήματος της θυρίδας

εισαγωγής. Πολλοί τρόποι έχουν αναπτυχθεί για την διαμόρφωση του σχήματος των θυρίδων εισαγωγής για να παρέχουν καλύτερη πλήρωση του θαλάμου καύσης, αλλά και μικρότερη τριβή ροής, με το καύσιμο μίγμα κατά τον χρόνο της εισαγωγής. Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από τους πιο διαδεδομένους τρόπους διαμόρφωσης και κατεργασίας της θυρίδας εισαγωγής για καλύτερη πλήρωση.

4.4.1 Μέσου μεγέθους θυρίδα

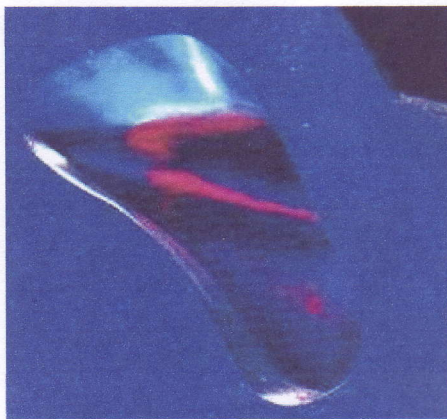
Η δημιουργία της μέσης θυρίδας θεωρείται ως η πιο απλή και κατεργασία της θυρίδας εισαγωγής για καλύτερη πλήρωση του θαλάμου και συνεπώς της αύξησης των επιδόσεων της περιστροφικής μηχανής. Η θυρίδα διαμορφώνεται όπως στο Σχήμα 4.12, με ένα εργαλείο αφαίρεσης υλικού, στο επάνω μέρος της πλευράς της. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι τριβές του καυσίμου μίγματος κατά την εισαγωγή, επιτυγχάνεται αύξηση των επιδόσεων της μηχανής χωρίς να επηρεάσουν σημαντικά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της, παρά μόνο με μικρή αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου.



Σχήμα 4.12-Μέσου μεγέθους θυρίδα εισαγωγής[2]

4.4.2 Εκτεταμένη θυρίδα

Η εκτεταμένη θυρίδα εισαγωγής είναι μια μεγαλύτερη εκδοχή της θυρίδας μέσου μεγέθους, αλλά για την καλύτερή της λειτουργία απαιτείται αλλαγή του συστήματος εισαγωγής-εξαγωγής της μηχανής. Για λειτουργία της μηχανής κάτω από 4000 (rpm) παρατηρείται μείωση της ροπής της, βέβαια αν και η επέκταση της θυρίδας είναι σχετικά μικρή η συνολική αύξηση της επίδοσης της μηχανής υπολογίζεται σε 220 ίππους αν και παρατηρείται αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και δημιουργία θορύβων κατά την λειτουργία. Στο Σχήμα 4.13 βλέπουμε την εκτεταμένη θυρίδα.



Σχήμα 4.13-Εκτεταμένη θυρίδα εισαγωγής[2]

4.4.3 Θυρίδα “γεφυρών”

Στη θυρίδα “γεφυρών”, ακριβώς επάνω από την υπάρχουσα θυρίδα δημιουργείται μια σχισμή (“φρύδι”) δίνοντας έτσι την δυνατότητα κατά την εισαγωγή να εισέλθει ακόμα περισσότερο καύσιμο μίγμα στον θάλαμο καύσης, με αποτέλεσμα την αύξηση της επίδοσης στους 260 ίππους, αλλά με παράλληλη αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου και των θορύβων κατά την λειτουργία. Η γέφυρα που έχει διαμορφωθεί τώρα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.14, έχει ως σκοπό να μην φύγουν κατά την λειτουργία τα ελατήρια γωνιών και τα ελατήρια κορυφών.



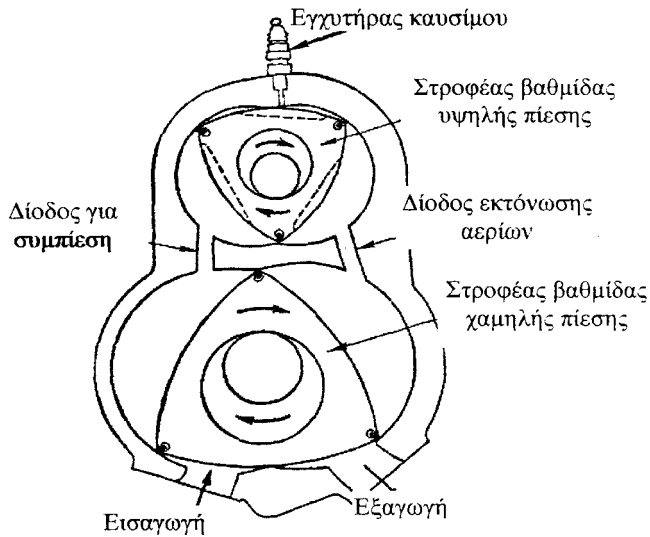
Σχήμα 4.14-Η θυρίδα “γεφυρών”[2]

4.5 Η περιστροφική μηχανή πετρελαίου (Diesel)

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μηχανής πετρελαίου (Diesel) είναι η χρήση χαμηλής ποιότητας καυσίμων και η χαμηλή κατανάλωση. Η εφαρμογή της περιστροφικής μηχανής με καύσιμο μέσο το πετρέλαιο μελετάται. Για μια τέτοια κατασκευή πρέπει να επιτευχθεί υψηλή συμπίεση για την αυτανάφλεξη του μίγματος. Στην περιστροφική μηχανή η σχέση συμπίεσης καθορίζεται από την επιτροχιοειδή κίνηση του στροφέα και από τον όγκο της κοιλότητάς του. Για την επίτευξη μεγάλης σχέσης συμπίεσης γίνεται ένας συνδυασμός των δυο παραπάνω τρόπων, δηλαδή με την δημιουργία μικρής

κοιλότητας στο στροφέα και με αύξηση του όγκου εμβολισμού του στροφέα, δηλαδή της πορείας που διαγράφει κατά την λειτουργία του ο στροφέας.

Η ικανοποιητική συμπίεση είναι δύσκολο να επιτευχθεί με μια μόνο βαθμίδα γιατί ο θάλαμος καύσης γίνεται στενός κατά τον ΑΝΣ με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η ομοιόμορφη κατανομή και καύση του καυσίμου. Για το λόγο αυτό, έχει αναπτυχθεί μια περιστροφική μηχανή δυο βαθμίδων. Στο Σχήμα 4.15 φαίνεται μια περιστροφική μηχανή πετρελαίου δυο βαθμίδων την οποία έχει αναπτύξει η αγγλική Rolls Royce.



Σχήμα 4.15-Η περιστροφική μηχανή πετρελαίου δυο βαθμίδων
(Rolls Royce, Great Britain)[1]

Οι δυο στροφείς έχουν την ίδια φορά κίνησης η οποία συγχρονίζεται με οδόντωση. Η επάνω μικρή βαθμίδα χρησιμοποιείται για την αυτανάφλεξη και την αρχική καύση, ενώ η κατώτερη βαθμίδα για την αρχική συμπίεση του αέρα και για την ολοκλήρωση της εκτόνωσης. Αν και μια τέτοια κατασκευή είναι πιο περίπλοκη και βαρύτερη από την περιστροφική μηχανή μιας βαθμίδας, σε σύγκριση με την παλινδρομική μηχανή πετρελαίου συνεχίζει να έχει τα πλεονεκτήματα, όπως μικρότερο βάρος της όλης κατασκευής, πιο ομαλή λειτουργία, λιγότερους θορύβους κατά την λειτουργία

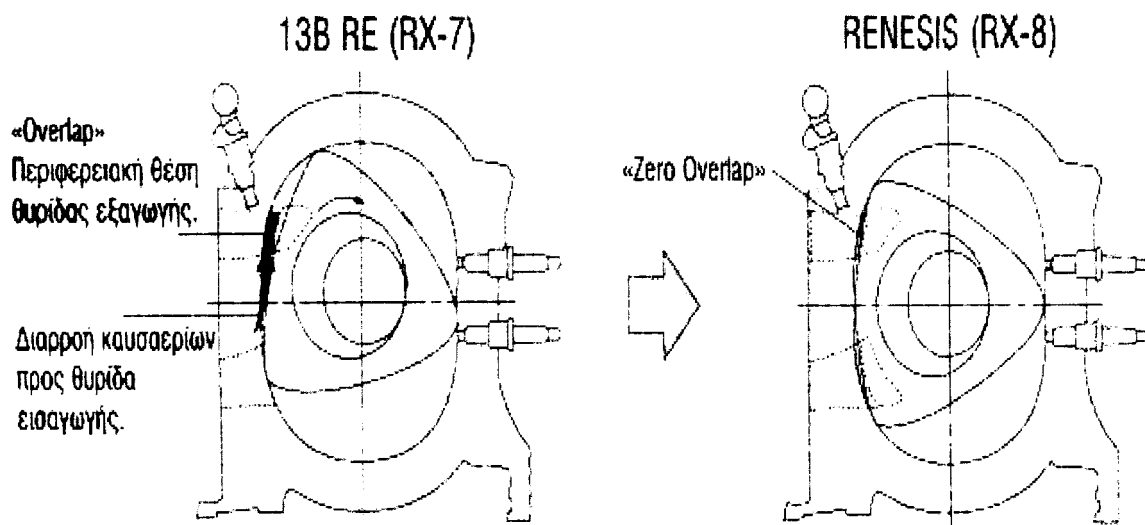
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΕΝΙΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Το 2003 και μετά από απουσία έξι χρόνων της περιστροφικής μηχανής από την παγκόσμια αγορά η Mazda παρουσίασε την δεύτερη γενιά περιστροφικών μηχανών (wankel) η οποία αρχικά είναι διαθέσιμη σε ένα μόνο μοντέλο αυτοκινήτου μαζικής παραγωγής, το Rx-8. Η μηχανή αυτή θεωρείται ως η αναγέννηση των περιστροφικών μηχανών, από όπου πήρε και το όνομα της (ReGenesis). Ενώ διατηρεί τον αρχικό όγκο εμβολισμού της προηγούμενης μηχανής (654ccX2), έχει υποστεί πολλές βελτιώσεις έχοντας ξεπεράσει τα προβλήματα της προηγούμενης γενιάς περιστροφικών μηχανών, όπως οικονομία καυσίμου, μείωση των εκπομπών ρύπων, βελτίωση του συστήματος εισαγωγής, μεγαλύτερη αξιοπιστία της μηχανής και αύξηση της ισχύος. Παρακάτω αναφέρονται τα βασικά πλεονεκτήματα της δεύτερης γενιάς περιστροφικών μηχανών.

5.1 Αποφυγή του φαινομένου της επικάλυψης (overlap)

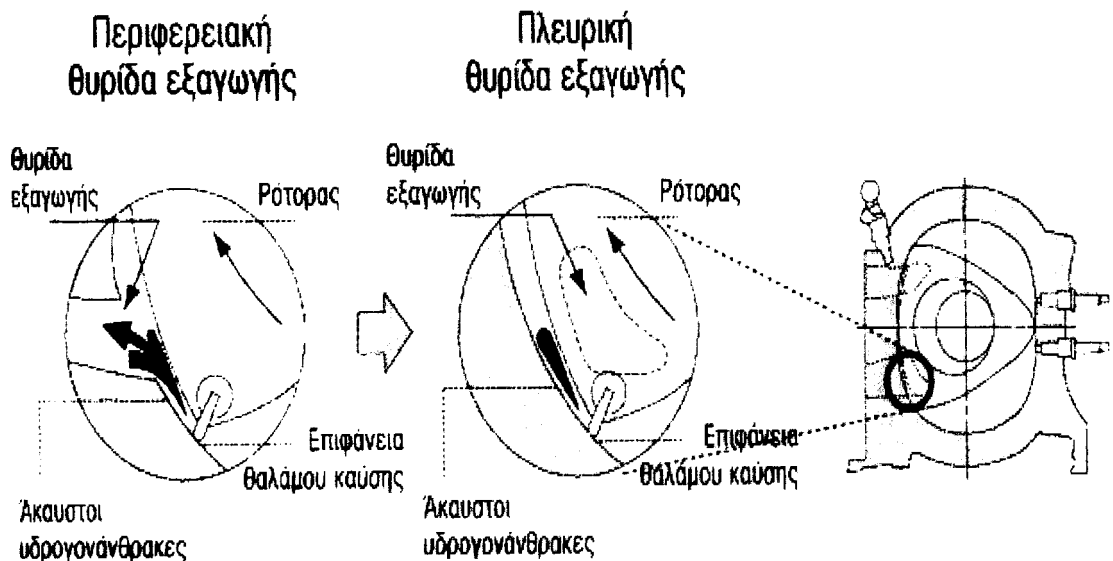
Το βασικό πλεονέκτημα της δεύτερης γενιάς περιστροφικών μηχανών είναι ότι έχει εξαφανιστεί το φαινόμενο της επικάλυψης των θυρίδων, δηλαδή δεν υπάρχει επικάλυψη των θυρίδων μεταξύ των χρόνων εισαγωγής και εξαγωγής. Στην προηγούμενη γενιά της περιστροφικής μηχανής με υπερπλήρωση με την ονομασία 13B RE, με την οποία εξοπλιζόταν το τελευταίας γενιάς Rx-7 της Mazda, υπήρχε ένα πολύ μικρό διάστημα κατά τον κύκλο λειτουργίας όπου και οι δυο θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής ήταν ταυτόχρονα ανοιχτές, με αποτέλεσμα την διαρροή καυσαερίων στον χρόνο της εισαγωγής, αφού στην 13B RE η θυρίδα εξαγωγής βρισκόταν τοποθετημένη περιφερειακά επάνω στο κέλυφος του στροφέα, ενώ στον RENESIS βρίσκεται τοποθετημένη στο πλάγιο κέλυφος του στροφέα, εκμηδενίζοντας έτσι το φαινόμενο επικάλυψης. Στο Σχήμα 5.1 υπάρχει σύγκριση των δυο μηχανών και την στιγμή κατά την οποία παρατηρείται το φαινόμενο της επικάλυψης.



Σχήμα 5.1-Το φαινόμενο της επικάλυψης των θυρίδων (overlap)[3]

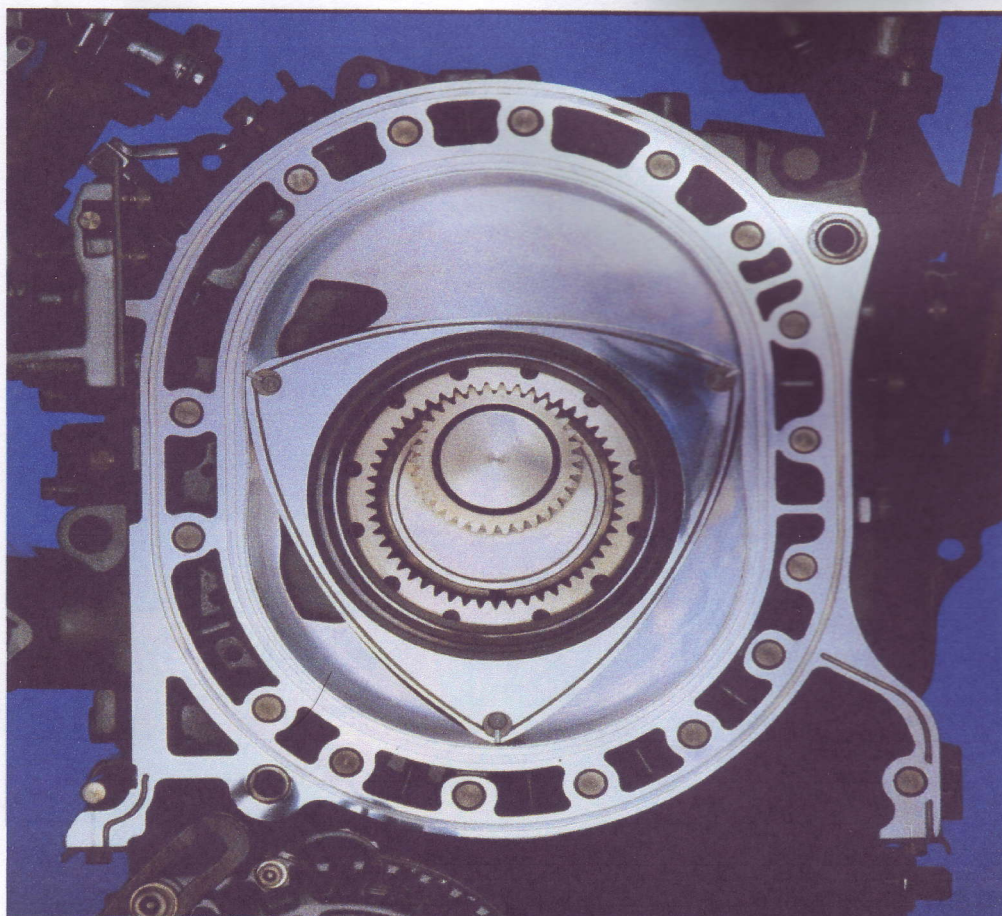
5.2 Μείωση των εκπομπών ρύπων

Στην προηγούμενης γενιάς περιστροφική μηχανή οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC) εύρισκαν διέξοδο διαφυγής προς την ατμόσφαιρα, ενώ στον RENESIS μεταφέρονται στον επόμενο κύκλο λειτουργίας αφού πλέον η θυρίδα εξαγωγής είναι τοποθετημένη στο πλάγιο κέλυφος, με αποτέλεσμα να υπάρχει μείωση της κατανάλωσης καυσίμου αλλά και καύση καλύτερης ποιότητας. Στο Σχήμα 5.2 φαίνεται η διαφυγή των άκαυστων υδρογονανθράκων (HC) του θαλάμου καύσης στην προηγούμενης γενιάς μηχανή 13B RE με θυρίδες εξαγωγής διαμορφωμένες περιφερειακά στο κέλυφος του στροφέα και η ανακύκλωσή τους με τις θυρίδες διαμορφωμένες στο πλάγιο κέλυφος του στροφέα του RENESIS.



Σχήμα 5.2-Η τεχνική μείωσης των εκπομπών ρύπων[3]

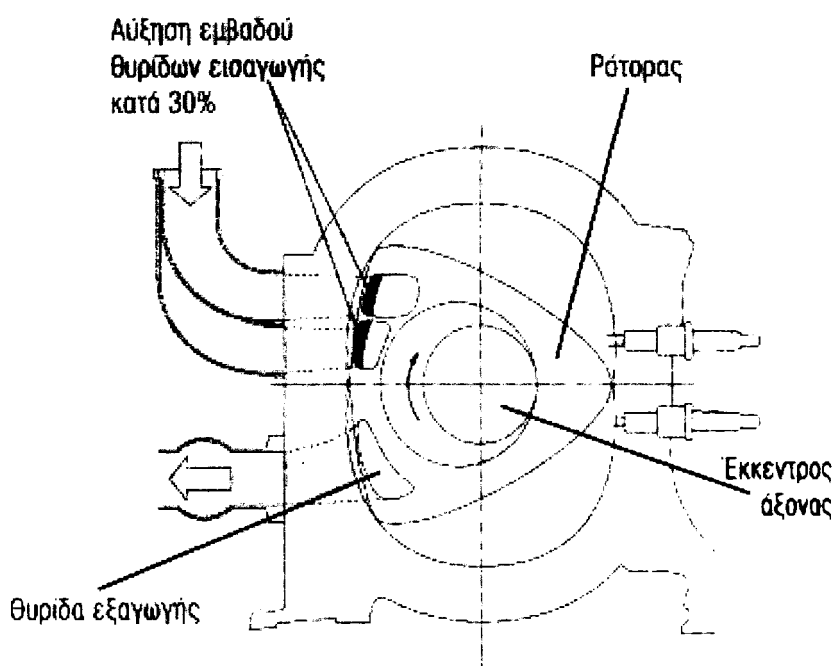
Επίσης, με την ύπαρξη του τρίτου ελατηρίου στεγανοποίησης λιπαντικού επιτυγχάνεται ακόμα μικρότερη κατανάλωση λιπαντικού, άρα και μείωση της παραγωγής ρύπων, αφού ενδεικτικά η περιστροφική μηχανή της προηγούμενης γενιάς είχε μέση κατανάλωση λιπαντικού 250ml/5000 χλμ. Στο Σχήμα 5.3 φαίνεται η περιστροφική μηχανή δεύτερης γενιάς όπου διακρίνεται το τρίτο ελατήριο λιπαντικού.



Σχήμα 5.3-Η περιστροφική μηχανή RENESIS[3]

5.3 Σύστημα εισαγωγής

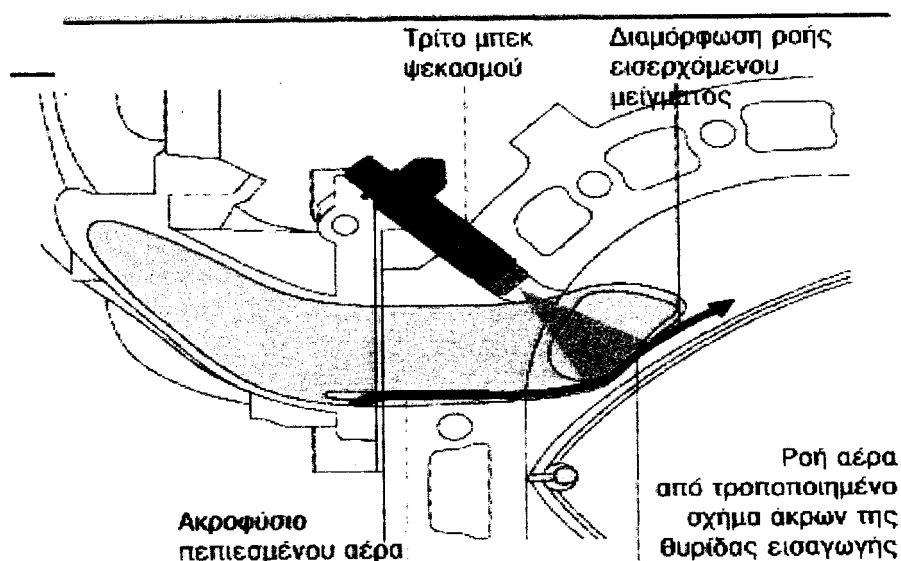
Με την διαμόρφωση των θυρίδων εξαγωγής στο πλάγιο κέλυφος του στροφέα και την απαλοιφή του φαινομένου της επικάλυψης έγινε δυνατό να μεγαλώσει η θυρίδα εισαγωγής κατά 30%, με αποτέλεσμα την καλύτερη πλήρωση του θαλάμου καύσης. Επίσης το σύστημα των θυρίδων εξαγωγής έχει επανασχεδιαστεί ώστε να ανοίγουν πιο αργά με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερο χρόνο για την εκτόνωση, ενώ το άνοιγμα τους να γίνεται ακαριαία. Τα παραπάνω δυο πλεονεκτήματα οδήγησαν στο καλύτερο κύκλο εκτόνωσης της μηχανής, βελτιώνοντας την απόδοση του κινητήρα και μειώνοντας παράλληλα τους εκπομπόμενους ρύπους προς το περιβάλλον αφού ένας από τους λόγους απόσυρσης της προηγούμενης γενιάς περιστροφικών μηχανών και του αυτοκίνητου που εξοπλιζόταν με αυτήν (FDRx-7) ήταν και οι υψηλές εκπομπές ρύπων. Στο Σχήμα 5.4 φαίνονται οι νέες θυρίδες εισαγωγής με μεγαλύτερο εμβαδόν κατά 30%.



Σχήμα 5.4-Το νέο σύστημα θυρίδων εισαγωγής[3]

5.4 Επιδόσεις των περιστροφικών μηχανών δεύτερης γενιάς

Η περιστροφική μηχανή δεύτερης γενιάς έχει και αυτή υψηλή επίδοση ισχύος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αποδίδει 246 ίππους στις 8500 (rpm). Για την επίτευξη της υψηλής ισχύος υπάρχει και ένας τρίτος εγχυτήρας καυσίμου ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος στο κέλυφος του στροφέα και ενεργοποιείται μετά τις 6.250 (rpm), ενώ ένα βοηθητικό ακροφύσιο αέρα ομογενοποιεί το μίγμα στον θάλαμο καύσης. Με αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε ισχύς ίση με αυτήν της υπερπληρούμενης περιστροφικής μηχανής προηγούμενης γενιάς 13B RE, αλλά με φυσική αναπνοή της μηχανής (NA). Στο Σχήμα 5.5 φαίνεται το νέο σύστημα για την αύξηση της ισχύος της περιστροφικής μηχανής δεύτερης γενιάς.



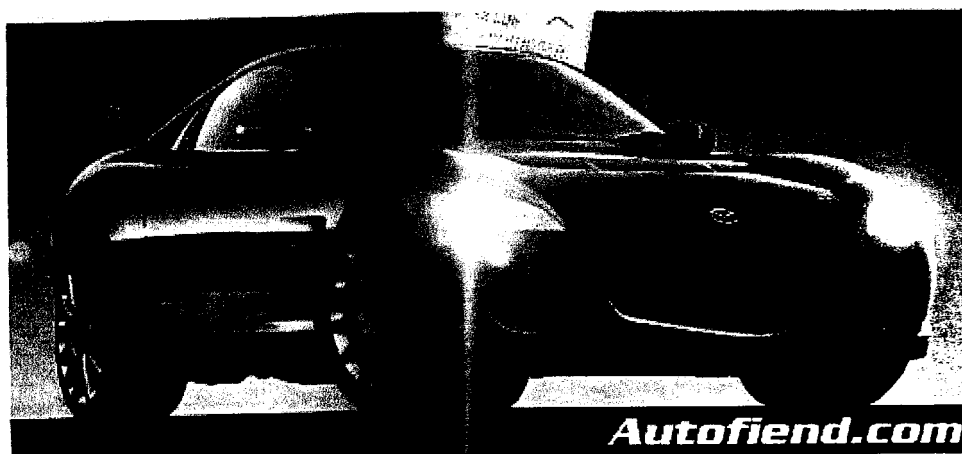
Σχήμα 5.5-Ο τρόπος της αύξησης ισχύος της μηχανής δεύτερης γενιάς[3]

5.5 Σύγκριση περιστροφικών μηχανών πρώτης και δεύτερης γενιάς

Από τα προαναφερόμενα προκύπτει ότι η δεύτερη γενιά περιστροφικών μηχανών έχει να επιδείξει πολλά πλεονεκτήματα έναντι της προηγούμενης γενιάς. Αξίζει να αναφερθεί ότι η κατανάλωση καυσίμου μειώθηκε και αυτή κατά 40% περίπου, αφού ενδεικτικά η κατανάλωση καυσίμου βρίσκεται στα 12,5 λίτρα/100 χλμ., σε αντίθεση με την υπερπληρούμενη περιστροφική μηχανή προηγούμενης γενιάς η οποία άγγιζε τα 23,4 λίτρα/100 χλμ. Πολύ βελτιώθηκε και η διάρκεια ζωής της μηχανής αφού από την Mazda έχει ανακοινωθεί επίσημα ότι η μηχανή αντέχει μέχρι τις 250.000 χλμ, ενώ το μέγιστο της προηγούμενης γενιάς έφτανε το πολύ ως τις 150.000 χλμ.

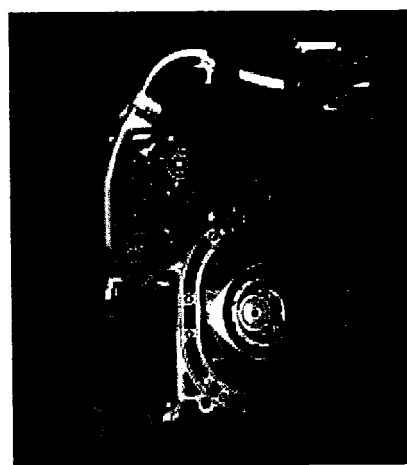
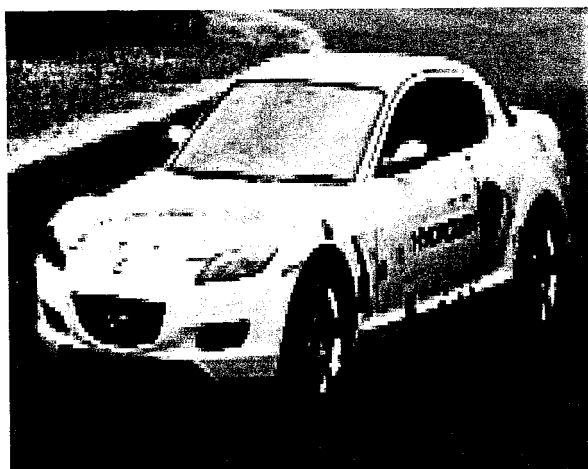
5.6 Μελλοντική ανάπτυξη της περιστροφικής μηχανής

Το 2006-2007 αναμένεται η υπερπλήρωση της περιστροφικής μηχανής δεύτερης γενιάς, αλλά και η δημιουργία μιας ακόμα περιστροφικής μηχανής με όγκο εμβολισμού 1600cc, η οποία υπολογίζεται ότι θα δώσει ισχύ 300 ίπων στην έκδοση με φυσική αναπνοή και 400 ίπους στην υπερπληρούμενη έκδοση της με την οποία και θα εφοδιαστεί το Rx-7 τέταρτης γενιάς. Στο Σχήμα 5.6 φαίνεται μια φωτογραφία του πρωτοτύπου το οποίο πιθανολογείται να βγει στην παραγωγή το 2006.



Σχήμα 5.6-Το Πρωτότυπο του 2006[2]

Μια ακόμα μελλοντική εφαρμογή της περιστροφικής μηχανής είναι και αυτή με καύσιμο το υδρογόνο, αφού μελλοντικά υπάρχει προοπτική όλες οι συμβατικές μηχανές που χρησιμοποιούν ως καύσιμο την βενζίνη να αντικατασταθούν από τις μηχανές με καύσιμο το υδρογόνο. Η περιστροφική μηχανή θεωρείται η καλύτερη μηχανή για το συγκεκριμένο καύσιμο, αφού λειτουργεί καλύτερα ακόμα και με φτωχά μίγματα και στρωματοποιημένη καύση. Το πρωτότυπο WR-H έχει μηχανή υδρογόνου που είναι βασικά η ίδια κατασκευή με τη διάσημη περιστροφική μηχανή 13B, εκτός από το μέγεθός της. Ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής δύο-στροφών, με συνολικό όγκο εμβολισμού 998cc, αποδίδει ισχύ 100 ίππων που είναι το 80% της επίδοσης μιας περιστροφικής μηχανής βενζίνης του ίδιου μεγέθους. Η δεξαμενή υδρογόνου επιτρέπει αυτονομία μέχρι 200km. Μια μέγιστη ταχύτητα 150km/h μπορεί να επιτευχθεί εύκολα, όπως επιβεβαιώνεται σε μια δοκιμή από τον Kenichi Yamamoto, πρόεδρο της Mazda και <<πατέρα της περιστροφικής μηχανής>>, που επέμεινε στην προσωπική εξέταση του αυτοκινήτου πριν από την παρουσίαση του στο κοινό. Στο παρακάτω Σχήμα 5.7 φαίνεται το πρωτότυπο με την μηχανή υδρογόνου και στον πίνακα 5.8 τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δοκιμών.



Σχήμα 5.7-Το πρωτότυπο με την περιστροφική μηχανή υδρογόνου[2]

Γενική περιγραφή

**Πέντε-επιβάτες, υβριδικό όχημα μηχανή-σφονδύλων
Μηχανή εσωτερικής καύσης υδρογόνου
Κρυογονικό υδρογονοαποθηκευτικό σύστημα ή διατηρημένης
σταθερής ατμοσφαιρικής πίεσης
Πρόσθετο αξεσουάρ: Κλιματισμός**

Επιλεγμένα χαρακτηριστικά οχήματος

Συνολικό βάρος οχήματος	(1140 kg)
Δύναμη – πρόσθετο βάρος	(263 kg)
Καύσιμα - βάρος δεξαμενών υδρογόνου	(4.75 kg)
Υγρό - όγκος δεξαμενών υδρογόνου	100 PSI 28 GAL (106 lit)
Υγρό - βάρος δεξαμενών υδρογόνου	100 PSI 79 lb (36 kg)
Διατηρημένος σταθερή ατμοσφαιρική πίεση - όγκος δεξαμενών υδρογόνου	5000 PSI (235 lit)
Διατηρημένος σταθερή ατμοσφαιρική πίεση - βάρος δεξαμενών υδρογόνου	5000 PSI (64 kg)
Αεροδυναμικός - συντελεστής έλξης	0.24
Συντελεστής τριβής	0,007
Ηλεκτροκινητήρας	
Μέγιστη ροπή	100 Nm
Μέγιστη ταχύτητα μηχανής	11000 rpm
Ρυθμός απόδοσης μετάδοσης	95%
Υδρογόνο - αποδοτικότητα μηχανών	46%

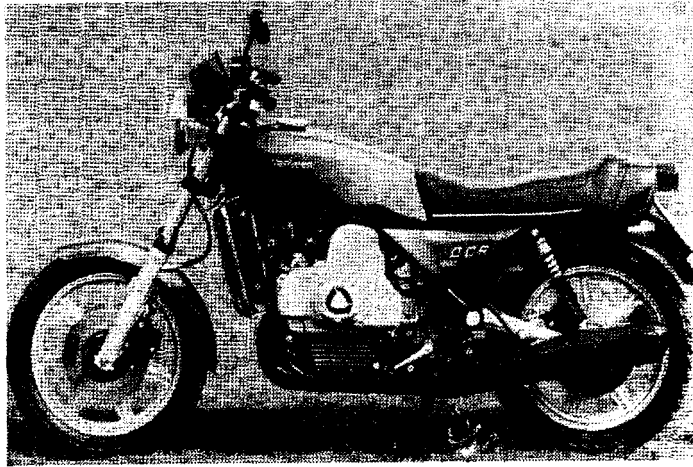
Υπολογισμένη απόδοση

Συνδυασμένο 55% αστικό, αυτοκινητόδρομοι	45%
βενζίνη-ισοδύναμη απόσταση σε μίλια	80 mpg (34 km/lit)
Αυτονομία καυσίμου	380 miles (608 km)
Χρόνος να επιτευχθούν 96 km/h (60 mph)	9.7 sec

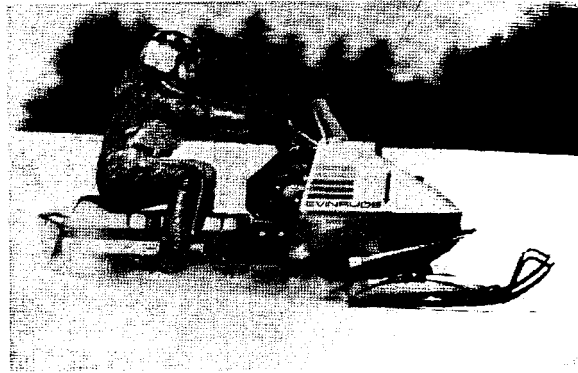
Πίνακας 5.8-Τεχνικά χαρακτηριστικά της περιστροφικής μηχανής υδρογόνου[2]

5.7 Άλλες εφαρμογές της περιστροφικής μηχανής

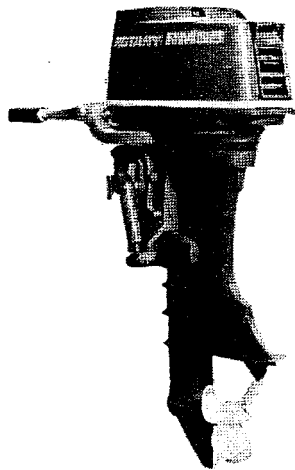
Η περιστροφική μηχανή είναι ευρύτερα διαδεδομένη ως μηχανή αυτοκινήτων με χαρακτηριστικά γνωρίσματα το μικρό της βάρος, την πολύ ομαλή λειτουργία, τις μεγάλες επιδόσεις, χαρακτηριστικά που την κάνουν να έχει εφαρμογή και σε άλλους τομείς. Επομένως, οι διάφοροι τύποι περιστροφικών μηχανών έχουν αναπτυχθεί και για εφαρμογή σε τομείς εκτός από τα αυτοκίνητα. Μερικές από τις εφαρμογές της περιστροφικής μηχανής είναι, όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.9-5.14, η χρήση της για βιομηχανικούς σκοπούς, για οικιακή χρήση σε μικρές συσκευές, αλλά και σε οχήματα ειδικού τύπου.



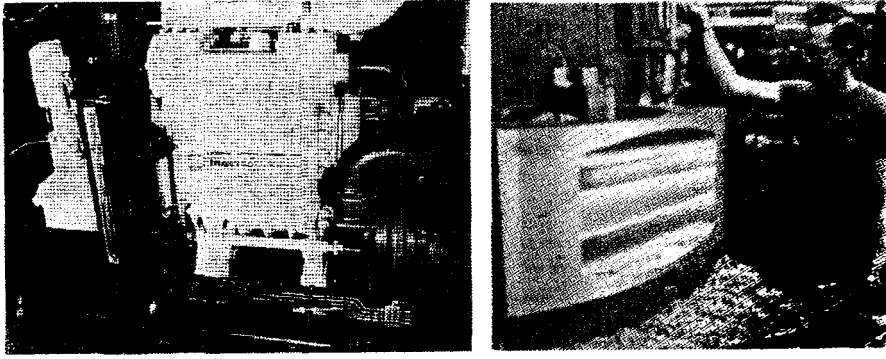
Σχήμα 5.9-Εφαρμογή της περιστροφικής μηχανής σε μοτοσυκλέτα (Comotor, 900ccX2)[1]



Σχήμα 5.10-Εφαρμογή σε όχημα χιονιού (Outboard Marine, Η.Π.Α., 530ccX1)[1]



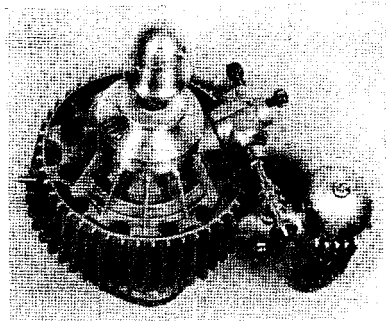
Σχήμα 5.11-Εφαρμογή σαν μηχανή εξωτερικής χρήσης σε λέμβο (Yanmar, 300ccX2)[1]



Σχήμα 5.12-Εφαρμογή σε βαριά Βιομηχανία (Ingersoll-Rand, Η.Π.Α.. 41.000ccX2)[1]



Σχήμα 5.13-Εφαρμογή σε μικρά αλυσοπρίονα (Yanmar, 60ccX1)[1]



Σχήμα 5.14-Εφαρμογή σε κατασκευές μοντέλων αεροπλάνων (Ogawa Seiki, 5ccX1)[1]

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η περιστροφική μηχανή από πολλούς θεωρείται ως ο αντικαταστάτης των παλινδρομικών μηχανών βενζίνης, αφού οι εμβολοφόρες μηχανές οι οποίες υπάρχουν από το 1876 οπότε και ο Nicolaus Otto έφτιαξε την πρώτη 4-χρονη μηχανή με καύσιμο μίγμα την βενζίνη. Ο James Watt κατοχύρωσε πολλές πατέντες περιστροφικών μηχανών από το 1772, αλλά η πρώτη λειτουργική περιστροφική μηχανή ήταν αυτή του Felix Wankel το 1930, που κατασκευάστηκε το 1957 με τον ίδιο να είναι επικεφαλής του όλου εγχειρήματος. Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, προκύπτει ότι, στα 128 περίπου χρόνια της εφαρμογής μηχανών εσωτερικής καύσης, η περιστροφική μηχανή (Wankel) υπάρχει μόνο 47, σε αντίθεση με τις εμβολοφόρες παλινδρομικές οι οποίες είναι στην παραγωγή και εξέλιξη επί 128 χρόνια. Συνεπώς και η εξέλιξη της παλινδρομικής μηχανής, σε σύγκριση με την περιστροφική, είναι πολύ μεγαλύτερη. Επιπλέον, ελάχιστες είναι και οι εταιρίες έρευνας και ανάπτυξης της περιστροφικής μηχανής, σε αντίθεση με τις παλινδρομικές όπου είναι όλες οι εταιρίες. ενώ για να κατασκευάσει μια εταιρία περιστροφική μηχανή πρέπει να αγοράσει τα δικαιώματα τα οποία κατέχει η Mazda, πρέπει να αλλάξει την όλη γραμμή παραγωγής της, να βρει Μηχανικούς που να γνωρίζουν από περιστροφικές μηχανές, να επανασχεδιάσει τα μοντέλα της λόγω της εφαρμογής νέας μηχανής σε αυτά, να βρει άλλους προμηθευτές για εξαρτήματα και υλικά, γενικά να αρχίσει από την αρχή την λειτουργία και εξέλιξη της περιστροφικής μηχανής, την στιγμή που τόσα χρόνια έχει ήδη διαθέσει υπέρογκα ποσά για την έρευνα και ανάπτυξη της παλινδρομικής μηχανής. Οι παλινδρομικές μηχανές έχουν φτάσει στο όριο της εξέλιξής τους αν και έχουν αναπτυχθεί πολλά εξαρτήματα, όπως τα ελαστικά έμβολα, τα έμβολα από καθαρό άνθρακα για σχεδόν μηδενική διαστολή και ελαχιστοποίηση των τριβών, οι πνευματικές βαλβίδες, οι βαλβίδες παλμών στην εισαγωγή και πολλά άλλα. Όλα αυτά τα συστήματα απλά επιλύουν κάποια προβλήματα, χωρίς όμως να δίνουν οριστική λύση. Επειδή ο τύπος μηχανής που θα επικρατήσει θα πρέπει να έχει λίγα κινούμενα μέρη, μικρό βάρος, ευστροφία, υψηλές επιδόσεις, χαμηλή κατανάλωση, αξιοπιστία, χαμηλές εκπομπές ρύπων, έτσι δεν είναι καθόλου απίθανο στο μέλλον να δούμε την επικράτηση της περιστροφικής μηχανής WANKEL.

Παράρτημα Α

Επεξήγηση των διαφόρων συμβολισμών της εργασίας

ΑΝΣ = Άνω νεκρό σημείο

ΚΝΣ = Κάτω νεκρό σημείο

LDR (leading deep recess) = Κύρια βαθιά κοιλότητα

MDR (medium deep recess) = Μέση βαθιά κοιλότητα

Βιβλιογραφία

1. Kenichi Yamamoto, “Rotary Engine”, Toyo kogyo Co., 1981.
2. Ιστοσελίδες: www.mazdarotary.net, www.rx7club.com.
3. Περιοδικό “Car & Driver”, Ιαν.2003.
4. Seji Tashima, Tomoo Taqdokoro, Haruo Okimoto, Yassushi Niwa. “Development of Sequential Twin Turbo System for Rotary Engine”. SAE paper 910624, from “Transactions Vol.100 Journal of Engines”. 1991.
5. J. Danniell Britton, “Cepstal Analysis for The Recovery of Apex Seal Interaction Forces in Rotary Engines”, SAE paper 910624, from “Transactions Vol.100 Journal of Engines”, 1991.
6. T. Rachel & H. Shock, “Analysis of Frictional Power Losses Associated with the Side and Apex Seals of Wankel Rotary Engine”, SAE paper 910624, from “Transactions Vol.100 Journal of Engines”, 1991.

Παράρτημα Β

Παράλληλα με την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας έγινε και κατασκευή μοντέλου περιστροφικής μηχανής Wankel. Η μηχανή αυτή προέρχεται από το αυτοκίνητο Mazda Rx-7 (1^{ης} γενιάς), συνολικού όγκου εμβολισμού (573ccX2). Αφού έγιναν οι απαραίτητες διεργασίες καθαρισμού των εξαρτημάτων, δημιουργίας τομών, βαφής των διαφόρων μερών, συναρμολογήθηκε, τοποθετήθηκε επάνω σε βάση και έγινε πλήρως λειτουργικό μοντέλο περιστροφικής μηχανής στο οποίο μπορεί κανείς να διακρίνει τον όλο τρόπο λειτουργίας της μηχανής. Παρακάτω φαίνονται μερικές φωτογραφίες του μοντέλου το οποίο κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Μηχανών Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ.).

