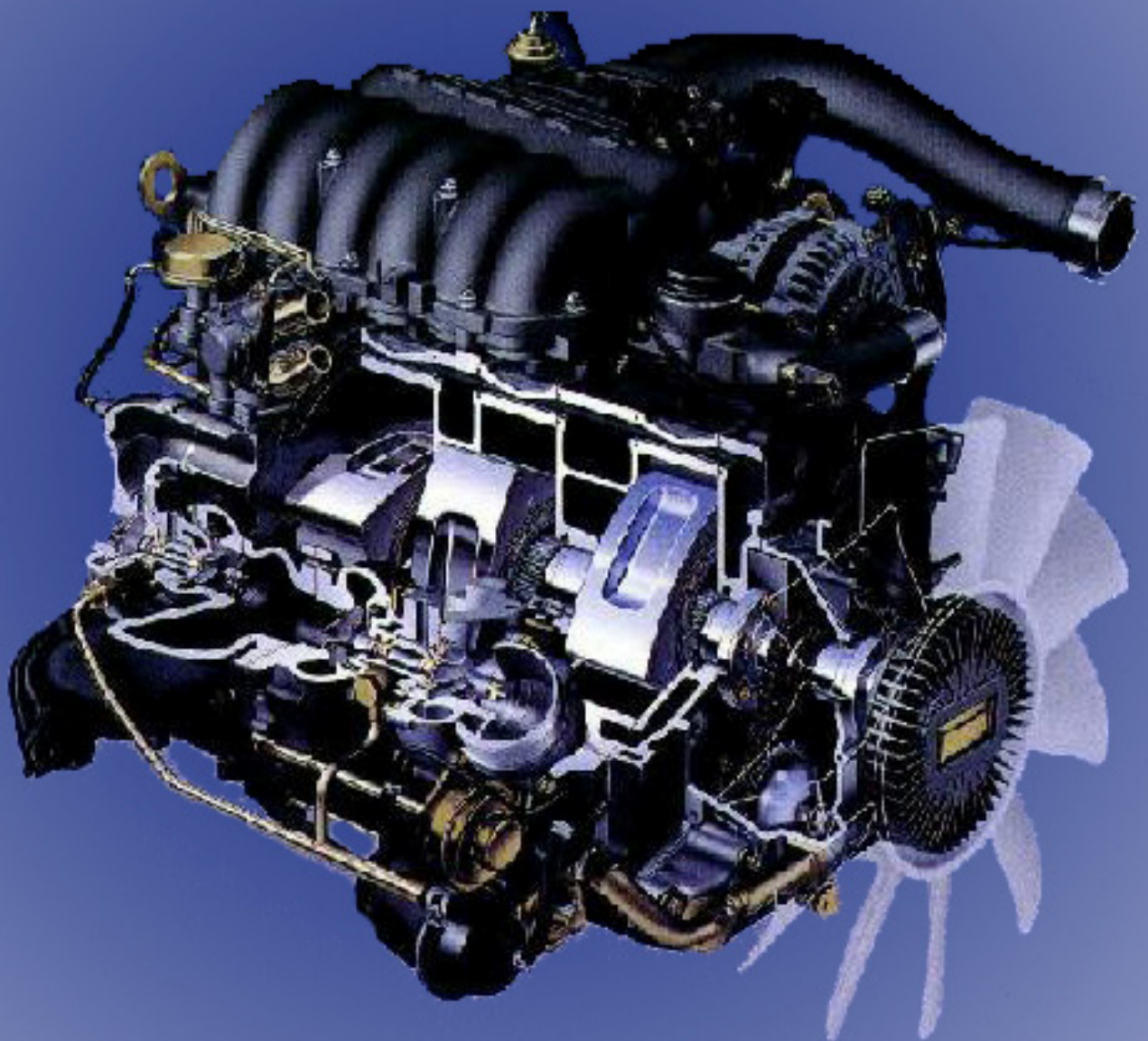


Περιστροφικοί Κινητήρες Wankel



Πτυχιακή Εργασία : Μπούρα Ιωάννη

Εισηγητής Καθηγητής : Οσανλής Ιωάννης

Σχολή : Σ.Τ.Ε.Φ. Τμήμα : Μηχανολογίας

Εισαγωγή.....	Σελ. 1
Ιστορική Αναδρομή.....	Σελ. 4
Εφαρμογές Περιστροφικών Κινητήρων.....	Σελ. 6
Μέρη Περιστροφικού Κινητήρα.....	Σελ. 30
Λειτουργία Περιστροφικού Κινητήρα.....	Σελ. 35
Η γεωμετρία των Περιστροφικών κινητήρων.....	Σελ. 40
Περιστρεφόμενα Μπουζί.....	Σελ. 55
Μετατροπή Σε Diesel.....	Σελ. 57
Διαφορές Στη Λειτουργία.....	Σελ. 63
Πλεονεκτήματα.....	Σελ. 65
Μειονεκτήματα.....	Σελ. 67
Βιβλιογραφία.....	Σελ. 68

Εισαγωγή

Πενήντα έτη πριν, το πρώτο πρωτότυπο ενός συναρπαστικού νέου τύπου μηχανής εσωτερικής καύσεως τέθηκε σε λειτουργία σε μια γερμανική δοκιμή. Ο Felix Wankel απείλησε να εξαλείψει τις μηχανές εμβόλων που τροφοδότησαν σχεδόν κάθε αυτοκίνητο στο δρόμο, αλλά στο τέλος, δεν έζησε ποτέ αρκετά μέχρι την υπόσχεσή του.

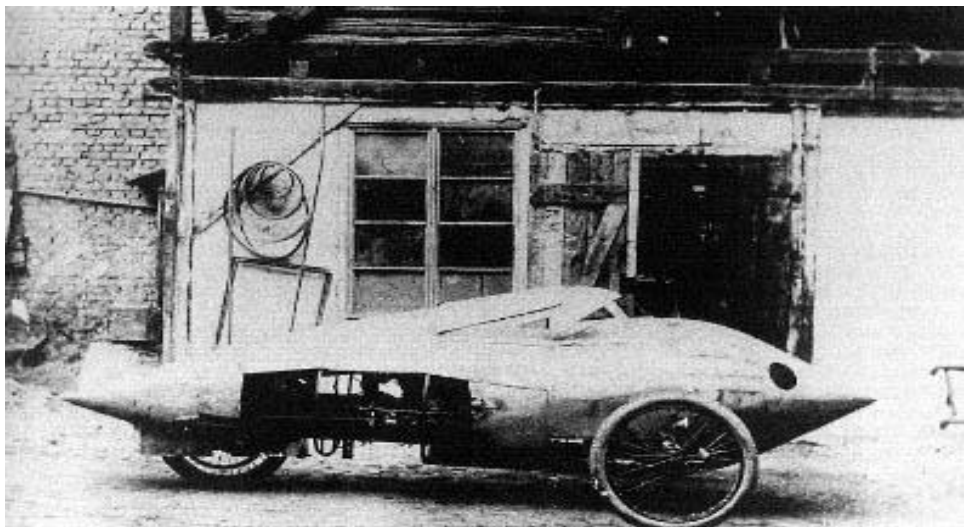


Γεννήθηκε: 13 Αυγούστου 1902

Απεβίωσε: 9 Οκτωβρίου 1988

Μετά από πολλά έτη έρευνας, ο Wankel βρήκε τη λύση για έναν νέο τύπο μηχανής. Σε αντίθεση με τη συμβατική μηχανή εμβόλων, όπου το έμβολο εκτελεί μια γραμμική μετακίνηση, η μηχανή Wankel χρησιμοποιεί μια αποκαλούμενη περιστροφή ή ένα περιστροφικό έμβολο που περιστρέφεται στην αίθουσα καύσης.

Ο Wankel εγκατέλειψε το σχολείο, άρχισε μια επαγγελματική κατάρτιση σε έναν εκδοτικό οίκο στη Χαϊδελβέργη. Συγχρόνως, ίδρυσε ένα εργαστήριο μαζί με φίλους του, όπου συγκέντρωναν τα αγωνιστικά αυτοκίνητα και τις βάρκες αγώνων. Το 1924 κατασκεύασαν το "Teufelskäfer" (κάνθαρος του διαβόλου), ένα τρίτροχο βελτιωμένο όχημα με μέγιστη ταχύτητα 110 km/h.



Teufelskäfer

Εκείνη την περίοδο, πήρε την απόφαση να σχεδιάσει έναν κινητήρα που θα εκτελούσε περιστροφική κίνηση. Ο Wankel υπέθεσε ότι οι νέοι τύποι μηχανών μπορούν να βασιστούν στις πλήρως σφραγισμένες, αεροστεγής αίθουσες καύσης. Εργάστηκε για δέκα έτη για να βρει μια λύση. Από το 1936 το Reichsluftfahrtministerium (υπουργείο Αεροπορίας) χρηματοδότησε την έρευνά του, επιτρέποντάς του να δημιουργήσει ένα κέντρο δοκιμών. Ο Wankel ανέπτυξε τις περιστροφικές βαλβίδες για τις μηχανές αεροσκαφών, τις μηχανές καύσεως για τις κινήσεις τορπιλών και τους υδροολισθητήρες. Το 1944, ο πρώτος συμπιεστής περιστροφικών εμβόλων εκτέλεσε επιτυχώς μια δοκιμαστική λειτουργία. Το 1951 ήταν τελικά ικανός να ιδρύσει ένα νέο εργαστήριο για να συνεχίσει την έρευνα μηχανών. Εκείνη την περίοδο, η εργασία του χρηματοδοτήθηκε από τον κατασκευαστή NSU μοτοσικλετών. Μια μηχανή που χαρακτηρίζει ένα περιστρεφόμενο έμβολο κατασκευάστηκε το 1954. Το πρώτο "Wankelmotor", ο τύπος DKM 54, προωθήθηκε το 1958.

Είχε, βέβαια, κάπως υψηλή - ανά αποδιδόμενο ίππο - κατανάλωση καυσίμου και σχετικά αξιοπρόσεκτη κατανάλωση λαδιού. Εντούτοις, όλοι πίστευαν ότι όλα αυτά δεν ήταν παρά μικρολεπτομέρειες που θα έπαυαν, οριστικά, να μας απασχολούν ύστερα από λίγη «έρευνα και εξέλιξη».

Κάποια στιγμή, η μεγαλύτερη αυτοκινητοβιομηχανία του κόσμου, η General Motors, θεώρησε τη δημιουργία του Felix Wankel ως τον απόλυτο μονόδρομο για το μέλλον της αυτοκίνησης. Αυτός άλλωστε ήταν κι ο λόγος που πλήρωσε αδιαμαρτύρητα ένα μεγάλο ποσό, στη δεκαετία του '60, ώστε να αποκτήσει τα (όχι αποκλειστικά) δικαιώματα αυτής της καινοτομίας. Στη συνέχεια, για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, δαπάνησε έναν πακτωλό χρημάτων, στην προσπάθεια της να λύσει τα «αρχικά μικροπροβλήματα» του κινητήρα Wankel, πριν τον βάλει στην παραγωγή.

Όπως όμως αποδείχθηκε, αυτά τα «αρχικά μικροπροβλήματα» δεν ήταν ούτε., μικρά ούτε «αρχικά»: ήταν μεγάλα και μόνιμα, και θα έπρεπε να προχωρήσει αρκετά η επιστήμη των υλικών προκειμένου να πάψουν να αποτελούν μείζον θέμα.

Η (GM άργησε να το καταλάβει, αλλά όταν το κατάλαβε, δεν είχε τον παραμικρό δισταγμό για το τι έπρεπε να κάνει. Έτσι, από τη μια στιγμή στην άλλη, αποφασίζει να αποσυνδέσει το μέλλον της από τον κινητήρα Wankel και τελικά δικαιώθηκε.

Αλλά και ο ίδιος ο εφευρέτης του Wankel , ο Δρ Felix , άρχισε, από κάποια στιγμή και μετά, να πιστεύει στο κομπιουτερίστικο δόγμα: «Αν κολλήσεις, βγες και ξαναμπές!».

Κι αυτός ακριβώς ήταν ο λόγος που, μέχρι το τέλος της ζωής του, πίστευε ότι, αν ο περιστροφικός κινητήρας, στη «μορφή WANKEL», δεν μπορεί να εξελιχθεί άλλο, δεν θα πρέπει να σταματήσει κι η έρευνα για τη δημιουργία μίας άλλης μορφής περιστροφικού κινητήρα, ο οποίος θα είχε τη δυνατότητα να συνεχίσει από το σημείο ακριβώς που ο Wankel συνάντησε τα ανυπέρβλητα εμπόδια του.

Οι πατέντες του για «εναλλακτικές» μορφές περιστροφικών κινητήρων άρχισαν να «λήγουν», η μία μετά στην άλλη, χωρίς να υπάρχει ενδιαφέρον ώστε να αξιοποιηθούν, μετά την αυτόματη λήξη της κατοχύρωσης πολλοί από αυτούς τους κινητήρες συνέχισαν να λειτουργούν στα εργαστήρια του ιδρύματος του FELIX WANKEL (το οποίο χρηματοδοτείτο, κατά ένα μεγάλο μέρος, από τη Mercedes). Και οι περισσότεροι έδωσαν αρκετά ελπιδοφόρα αποτελέσματα, διαφορετικά ο Wankel δεν θα έμπαινε στα τεράστια έξοδα μιας διεθνούς πατέντας.

Ιστορική Αναδρομή

Ας ξεκινήσουμε με μια αναφορά στις βελτιώσεις του ίδιου του κινητήρα Wankel, τις οποίες πρότεινε ο ίδιος ο δημιουργός του, λίγο πριν ή λίγο μετά την οικονομική κατάρρευση της NSU, στο ξεκίνημα της δεκαετίας του 70.

Δύο είναι τα στοιχεία που οι περισσότεροι αγνοούν, όποιος τα γνωρίζει, μπορεί και να αντιληφθεί καλύτερα τον τρόπο σκέψης του, ειδικά από το 1971 και μετά την εξαφάνιση της NSU, λίγοι ήταν αυτοί που έδειχναν πλέον ενδιαφέρον για την εξέλιξη του (αμφιλεγόμενου, από τότε και μετά) επαναστατικού κινητήρα του.

Το πρώτο ήταν η πλήρης ανυπαρξία ακαδημαϊκών σπουδών. Πιο συγκεκριμένα από το έτος 1921, όπου ο WANKEΛ, ο 19χρονος μοναχογιός του δασάρχη RUDOLF WANKEΛ παράτησε το Γυμνάσιο. Δεν γράφτηκε στο Πανεπιστήμιο, όπως θα περίμενε κανείς, κρίνοντας την μετέπειτα πορεία του ο FELIX WANKEΛ ουδέποτε προχώρησε τις σπουδές του πέραν του γυμνασιακού επιπέδου. Αυτό που αναγκάστηκε να κάνει ήταν να πιάσει δουλειά σε ένα τυπογραφείο της Χαϊδελβέργης, όπου και εργάστηκε, μέχρι το 1924, ως αποθηκάριος και πωλητή, ταυτόχρονα εξελισσόταν και ως αυτοδίδακτος μηχανικός.

Το 1924, όταν απολύθηκε εξαιτίας των περικοπών που επέβαλε τότε η οικονομική κρίση, ο Felix Wankel άνοιξε το δικό του μηχανουργείο, όπου παράλληλα με τις δουλειές που αναλάμβανε για την επιβίωση του, ξεκίνησε και τις προσωπικές του έρευνες για τη δημιουργία ενός περιστροφικού κινητήρα. Ο τίτλος του «Δόκτορα» του απονεμήθηκε τιμής ένεκεν, από Πολυτεχνείο του Μονάχου το 1969, σε αναγνώριση του έργου του και όχι των σπουδών του.

Ως προς το δεύτερο στοιχείο, τώρα. Ο τύπος περιστροφικού κινητήρα που γνωρίζουμε σήμερα, πρωτολειτούργησε μέσα στα εργαστήρια της NSU το 1958 και ονομάστηκε KKM (Kreiskolben Motor ή Κινητήρας με Πλανητική Περιστροφή Εμβόλου). Εκείνο όμως που αποσιωπάται είναι το γεγονός ότι, ένα χρόνο νωρίτερα, μέσα στα ίδια εργαστήρια, είχε λειτουργήσει ένας άλλος τύπος κινητήρα Wankel, ο DKM (Drehkolben Machine ή Μηχανή Απλής Περιστροφής) ο οποίος είχε πολύ πιο απαλή λειτουργία, απέδιδε πολύ περισσότερη ισχύ και είχε την ικανότητα να περιστραφεί σε

απίστευτα υψηλούς ρυθμούς περιστροφής, στις δοκιμές του 1951 ξεπέρασε τις 11.000 σ.α.λ., με περιθώριο να φτάσει ακόμα και τις 25.000!

Στον ΚΚΜ, όπως γνωρίζουμε, περιστρέφεται ο ρότορας και ο κεντρικός άξονας, ενώ το επιτροχοειδές περίβλημα παραμένει ακίνητο και φέρει επάνω του τις θυρίδες εισαγωγής - εξαγωγής και τα μπουζί.

Στον DKM, αντίθετα, ο κεντρικός άξονας παραμένει ακίνητος και γύρω του περιστρέφονται προς την ίδια κατεύθυνση (και με σχέση ταχυτήτων 2:3) ο ρότορας και το επιτροχοειδές περίβλημα, από το οποίο και παραλαμβάνεται η ισχύς.

Η ιστορική αλήθεια είναι ότι ο DKM απετέλεσε την πρωτογενή ιδέα του Felix Wankel για περιστροφικό κινητήρα, ενώ ο ΚΚΜ προέκυψε από την πίεση (και την ουσιαστική συμβολή στη σχεδίαση) του Dr. Froed, του αρχιμηχανικού της Nsu. Ο οποίος αναζητούσε μια πιο «πρακτική» μορφή περιστροφικού κινητήρα για τα αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής.

Ο κινητήρας Wankel δούλευε σε υψηλές στροφές και ήταν ελαφρύς και μικρός στο μέγεθος σε σχέση με την δύναμή του. Είχε επίσης τη μηχανική απλότητα με το μέρος του, δεδομένου ότι είχε πολύ λιγότερα εξαρτήματα σε σχέση με τις μηχανές εμβόλων.

Ο Wankel ξεκίνησε συνεργασία με την NSU το 1950 και το Φεβρουάριο του 1957 έγινε στα εργαστήρια η πρώτη δοκιμή περιστροφικής μηχανής. Το πρώτο αυτοκίνητο που έφερε κινητήρα Wankel ήταν ένα NSU Prinz το οποίο κυκλοφόρησε το 1960 και το 1964 βγήκε στη παραγωγή το NSU Spider. Το 1967 κυκλοφόρησε το NSU RO80 με δισκόφρενα μπροστά και ημιαυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων. Την ίδια χρονιά η NSU συνεργάστηκε με τη Citroën ώστε να τοποθετήσει στα αυτοκίνητά της κινητήρες Wankel για να αποκτήσουν τις επιδόσεις που αναζητούσε η Citroën.

Στο μεταξύ, διάφορες άλλες επιχειρήσεις είχαν αποκτήσει επίσης τις άδειες Wankel. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων όπως Daimler-Benz, Alfa Romeo και Toyo Kogyo (Mazda) υπέγραψαν, αλλά μερικές εταιρίες είχαν σαφώς άλλες εφαρμογές στα σχέδια τους. Όπως η Curtiss-Wright, μια αμερικανική αεροδιαστημική επιχείρηση αλλά και η γερμανική MAN κατασκευάστρια φορτηγών. Το πρώτο αυτοκίνητο Mazda με περιστροφική μηχανή κυκλοφόρησε το 1967, το Cosmo. Η Mercedes το 1969 παρουσίασε το C111 με περιστροφικό κινητήρα στο κέντρο.

Κατόπιν όλα άρχισαν να πηγαίνουν στραβά. Οι πρώτες μηχανές που εγκαταστάθηκαν στο R080 αποδείχθηκαν αναξιόπιστες για αυτό έφταιγαν συνήθως οι κορυφές των στροφών, αν και τα προβλήματα που προκαλούνταν ήταν κυρίως από την άγνοια συντήρησης των μηχανικών αλλά και των ιδιοκτητών. Η NSU δεν άντεξε όλες αυτές τις δαπάνες που είχε κάνει για την εξέλιξη των περιστροφικών κινητήρων και έτσι το 1969 την αγόρασε η Audi, η Citroën, εν τω μεταξύ, είχε ετοιμάσει την έκδοση Wankel του GS, η οποία κατέρρευσε λόγω της κρίσης πετρελαίου το 1973. Αυτό έδωσε έμφαση στην κύρια αδυναμία του Wankel, την μεγάλη κατανάλωση καυσίμου, ο βασικός παράγοντας που απέτρεψε τη υιοθέτησή του. Οι περισσότεροι κατασκευαστές αυτοκινήτων άφησαν τη μηχανή Wankel, ακόμα και τα πιο πρόσφατα C111 πρωτότυπα της Mercedes άρχισαν να χρησιμοποιούν μηχανές εμβόλων diesel.

Τα οχήματα που χρησιμοποίησαν περιστροφικούς κινητήρες παρουσιάζονται στις παρακάτω σελίδες.

Spider NSU Wankel 1963



Η NSU παρουσίασε το Σεπτέμβριο του 1963 την Spider NSU/Wankel στο σαλόνι αυτοκινήτου Φρανκφούρτης. Ήταν το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής στον κόσμο που έφερε περιστροφικό κινητήρα.

NSU Ro 80 1967



Το φθινόπωρο του 1967 το NSU Ro 80 παρουσιάστηκε στο κοινό στο σαλόνι αυτοκινήτου Φρανκφούρτης. Παρέμεινε στην παραγωγή για δέκα έτη, και πούλησε 31.295 μονάδες .

Mercedes C111 1969



Η Mercedes-Benz δοκίμασε το C111, σε ένα κινητό εργαστήριο για να πραγματοποιήσει τα πειράματα που στοχεύουν πάντα στην ώθηση της τεχνολογίας των αυτοκινήτων. Πριν το τέλος της δεκαετίας του '60, το C111 χρησιμοποιήθηκε αρχικά για να αναπτύξει τους νέους κινητήρες Wankel. Η περιστροφική μηχανή του Wankel θεωρήθηκε ως πιθανός διάδοχος των εμβολοφόρων μηχανών και η Mercedes, μαζί με τη General Motors, τη Peugeot, τη Mazda και NSU, δούλεψαν σκληρά για να λύσουν τα έμφυτα προβλήματα με τη στεγανοποίηση και τη μεγάλη κατανάλωση καυσίμου.

Το πρώτο C111, κατασκευάστηκε το 1969, με μια μηχανή Wankel τεσσάρων ρότορων με ιπποδύναμη 280 BHP και με τελική ταχύτητα 160 m/h χάρη στην αεροδυναμική σχεδίαση του με αεροδυναμικό συντελεστή Cd 0,35. Η πίσω ανεξάρτητη ανάρτηση που εξελίχτηκε για το C111 αποτέλεσε τη βάση του συστήματος πολλαπλών συνδέσμων.

Περίπου πέντε μήνες αργότερα το C111-II είχε μια ισχυρότερη μηχανή 350 BHP και βελτιωμένο αεροδυναμικό συντελεστή (Cd: 0.325) δίνοντας του μια τελική ταχύτητα πάνω από 185 m/h και ενός αξιοπρόσεκτου χρόνου 0-62m/h 4,8 δευτερολέπτων.

GS (GZ) Birotor 1973-1975



Συνολικά 813 GZ Birotors κατασκευάστηκαν το διάστημα μεταξύ 1973 και 1975.

Εξοπλισμένο με μια περιστροφική μηχανή που κατασκευάστηκε από τη Comotor, μια κοινοπραξία μεταξύ Citroen και NSU, το αυτοκίνητο είχε αρκετά προβλήματα όπως μεγάλη κατανάλωση καυσίμου, ρυπογόνο λειτουργία, και έλλειψη αξιοπιστίας.

Μηχανή	Περιστροφική μηχανή Wankel με δύο ρότορες, 1990 CC, 101 bhp DIN/6500 στροφές/λεπτό, υδρόψυξη, Bosch ηλεκτρονική ανάφλεξη, διπλό καρμπυρατέρ Solex
Μετάδοση	Κίνηση στον εμπρός άξονα μέσω ημιαυτόματο κιβώτιο 3 ταχυτήτων
Φρένα	Δισκόφρενα εμπρός πίσω
Ανάρτηση	Υδροπνευματική ανεξάρτητη
Διαστάσεις	Μήκος: 4.12 μ, πλάτος: 1.64 μ
Κατανάλωση καυσίμων	13 λίτρα ανά 100 χλμ
Κορυφαία ταχύτητα	115 Km/h
Ρεζερβουάρ	56 λίτρα

DKW W2000 1970-1975



Το W2000 έφερε ένα περιστροφικό κινητήρα χωρητικότητας 294cc, κιβώτιο 6 ταχυτήτων, ιπποδύναμη 21bhp και τελική ταχύτητα 90mph. Το Hercules/Sachs W2000 πωλήθηκε ως DKW για τη βρετανική αγορά από το 1974. Η Sachs ήταν ένας από τους πρώτους κατόχους άδειας της μηχανής Wankel που αναπτύχθηκε από την NSU & χρησιμοποίησε την αερόψυκτη έκδοση 294cc της περιστροφικής μηχανής για το W2000. Παρουσιάστηκε το 1970 ενώ στην πλήρη παραγωγή βγήκε το 1974. Μόνο 1184 μονάδες πωλήθηκαν. Ήταν μια μηχανή χωρίς κραδασμούς ενώ ο θόρυβος την μηχανής ήταν έντονος στις χαμηλές στροφές .

1967 – 1972

Cosmo Sport/Mazda 110S



Το πρώτο αυτοκίνητο με δύο ρότορες βγήκε στη παραγωγή το Μάιο του 1961. Τον Ιούλιο του 1968, η βελτιωμένη έκδοση sport Cosmo βγήκε στη παραγωγή και το χαρακτήριζε μια ενισχυμένη L10B περιστροφική μηχανή 128PS. Το μεταξόνιο αυξήθηκε κατά 150mm. Πουλήθηκαν 1.116 μονάδες στα 5 έτη παραγωγής του.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: 4140×1595×1165mm
- Μεταξόνιο 2200mm ■ Βάρος οχήματος 940kg
- Τύπος κινητήρα 10A
- Κυβισμός 491cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 110PS/1000rpm:
- Μέγιστη ταχύτητα 185km/h ■ Μέγιστη ροπή 13.3kgm/3500rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 4 σχέσεων

1970 – 1978

Capella Rotary/Mazda RX-2



Η σειρά Capella, βγήκε στη παραγωγή το Μάιο του 1970. Προωθήθηκε ως αυτοκίνητο υψηλών προδιαγραφών στην μεσαία κατηγορία. Με μια νέα περιστροφική μηχανή, τύπου 12A, ήταν το πρώτο αυτοκίνητο με περιστροφικό κινητήρα με αυτόματη μετάδοση, κατασκευάστηκε το 1977. Ο υψηλής απόδοσης GSII με χειροκίνητο κιβώτιο 5 σχέσεων κυκλοφόρησε το 1972, και το AP, με οικολογικό για εκείνη την εποχή κινητήρα βγήκε στην παραγωγή το 1974. Το 1972 αναδείχτηκε αυτοκίνητο της χρονιάς. Η παραγωγή του κράτησε 5 χρόνια και παράχθηκαν 1136 μονάδες.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: 4150×1580×1395mm
- Μεταξόνιο : 2410mm ■ Βάρος οχήματος 950kg
- Τύπος κινητήρα 12A
- Κυβισμός 513cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη ■ 120PS/6500rpm:
- Μέγιστη ταχύτητα 185km/h ■ Μέγιστη ροπή 16.0kg-m/3500rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 4 σχέσεων

1971 – 1978

Savanna/Mazda RX-3



Ένα спор coupe βγήκε στη γραμμή παραγωγής το Σεπτέμβριο του 1971, με περιστροφική μηχανή τύπου 10A. Το 1972 άρχισε να βγαίνει το πρώτο sport wagon με περιστροφικό κινητήρα και με αυτόματο κιβώτιο. Προστέθηκε επίσης η GT, με το 12A περιστροφικό κινητήρα και το χειροκίνητο κιβώτιο. Το 1973 προστέθηκε, το AP, με σύστημα κατά της μόλυνσης. Το 1975, αναδεικνύεται η περιστροφική μηχανή, που επέτυχε τις χαμηλότερες εκπομπές ρύπων και την καλύτερη οικονομία καυσίμων.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: : 4065×1595×1350mm
- Μεταξόνιο : 2310mm ■ Βάρος οχήματος 815kg
- Τύπος κινητήρα 12A
- Κυβισμός 491cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 105PS/1000rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 115km/h ■ Μέγιστη ροπή 13.1kg-m/3500rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 4 σχέσεων

1969 – 1972

Luce Rotary Coupe/Mazda R130 Coupe



Αυτό το μοντέλο είναι βασισμένο στο πρωτότυπο Mazda RX-81, παρουσιάστηκε το 1968 στο 15ο σαλόνι αυτοκινήτου στο Τόκιο. Με κίνηση στον εμπρόσθιο άξονα βγήκε στην παραγωγή τον Οκτωβρίου 1969. Η περιστροφική μηχανή τύπου 13A που παράγαγε 126PS στις 6000rpm προωθήθηκε ως ένα φιλικό για τον οδηγό όχημα κι γι αυτό έγινε δημοφιλές.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: : 4585×1635×1385mm
- Μεταξόνιο : 2580mm ■ Βάρος οχήματος 1185kg
- Τύπος κινητήρα 13A
- Κυβισμός 655cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 126PS/6000rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 190km/h ■ Μέγιστη ροπή 11.5kg-m/3500rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 4 σχέσεων

1972 – 1977

Luce Rotary/Mazda RX-4



Η δεύτερη γενιά Luce, με 12A την περιστροφική μηχανή της, βγήκε στην παραγωγή τον Οκτωβρίου 1972 και ήταν διαθέσιμη σε δύο μορφές αμαξώματος: σεντάν και κουπέ. Αυτά τα πρότυπα άνοιξαν το δρόμο στην αγορά των πολυτελών σπορ κουπέ αυτοκινήτων με περιστροφική μηχανή.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: : 4240×1610×1410mm
- Μεταξόνιο : 2510mm ■ Βάρος οχήματος 1035kg
- Τύπος κινητήρα 13A
- Κυβισμός 513cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 130PS/1000rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 185km/h ■ Μέγιστη ροπή : 16.5kg-m/4000rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 4 σχέσεων/3 σχέσεων αυτόματο

1974 – 1976

Parkway Rotary 26



Το πρώτο λεοφορείο με περιστροφικό κινητήρα βγήκε στην παραγωγή τον Ιουλίου 1974. Εξοπλίστηκε με τη πιο ισχυρή περιστροφική μηχανή ισχύος 135PS, πρόσφερε μια ταχύτητα ταξιδιού 120km/h με χαμηλό θόρυβο και λίγων ταλαντώσεων, χάρη στα πλεονεκτήματα της περιστροφικής μηχανής. Δύο έκδοσης ήταν διαθέσιμες: μια Deluxe έκδοση 26 θέσεων με τον προαιρετικό κλιματισμό που έπαιρνε κίνηση από μια υπό-μηχανή, και η έκδοση λουξ έκδοση 13 επιβατών, με πλήρη εξοπλισμό πολυτέλειας. Αυτό ήταν το μοναδικό μοντέλο που απέδειξε ότι η περιστροφική μηχανή δεν ήταν μόνο για τα επιβατικά αυτοκίνητα.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος:6195×1980×2290mm
- Μεταξόνιο : 3285mm ■ Βάρος οχήματος 2885kg
- Τύπος κινητήρα 13B
- Κυβισμός 654cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 135PS/6500rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 120km/h ■ Μέγιστη ροπή 18.3kg-m/4000rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 4 σχέσεων

1975 – 1981

Cosmo AP/Mazda RX-5



Αυτό το ιδιαίτερα εκλεπτυσμένο αυτοκίνητο βγήκε στην παραγωγή τον Οκτώβριο 1975. Ήταν διαθέσιμο με 12A και 13B περιστροφικούς κινητήρες, σύστημα χαμηλής εκπομπής ρύπων, και 10 διαφορετικές εκδόσεις. Το 1977, το Cosmo L, έγινε πρότυπο ειδικότερα στην Ιαπωνία για τα αυτοκίνητα υψηλής απόδοσης.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: : 4545×1685×1325mm
- Μεταξόνιο : 2510mm ■ Βάρος οχήματος 1220kg
- Τύπος κινητήρα 13B
- Κυβισμός 654cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 135PS/6000rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 190km/h ■ Μέγιστη ροπή : 19kg-m/4000rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 4 σχέσεων

1975 – 1977
Roadpacer AP



Ένα κανονικών διαστάσεων σεντάν βγήκε στη γραμμή παραγωγής το Μάρτιο 1975. Μερικά μέρη του αμαξώματος και της μηχανής κατασκευάστηκαν από τη GM-Holden της Αυστραλίας. Το AP Roadpacer πωλήθηκε κυρίως γιατί προσφερόταν με σοφέρ για τους ανώτερους υπαλλήλους επιχειρήσεων, αλλά ήταν επίσης ελκυστικό ως αριστοκρατικό προσωπικό αυτοκίνητο. Παρήχθησαν πάνω από 800 μονάδες σε τρία έτη.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: : 4850×1885×1465mm
- Μεταξόνιο : 2830mm ■ Βάρος οχήματος 1515kg
- Τύπος κινητήρα 13B
- Κυβισμός 654cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 135PS/6000rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 165km/h ■ Μέγιστη ροπή : 19kg-m/4000rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 4 σχέσεων

1977 – 1981

Luce Legato/Mazda 929L



Βγήκε στην παραγωγή ως το κορυφαίο μοντέλο της σειράς Luce. Οι έννοιες ανάπτυξης του Luce Legato ήταν η υψηλή ποιότητα και κομψότητα. Υπήρχαν διαθέσιμες δύο επιλογές περιστροφικών μηχανών, ο τύπος 13B με 135PS και ο 12A με 125PS.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: 4625×1690×1385mm
- Μεταξόνιο : 2610mm ■ Βάρος οχήματος 1225kg
- Τύπος κινητήρα 13B
- Κυβισμός 654cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 135PS/6000rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 165km/h ■ Μέγιστη ροπή : 19kg-m/4000rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 4 σχέσεων / Αυτόματο 3 σχέσεων

1978 – 1985

Savanna RX7/Mazda RX7



Η πρώτη γενιά RX7 βγήκε στην παραγωγή το Μάρτιο 1978. Ο σχεδιασμός μπροστά με μια βελτιωμένη 12A μηχανή και τα ανακλινόμενα φωτιστικά σώματα συνετέλεσαν σε ένα αεροδυναμικό σχεδιασμό. Αυτό το πρότυπο έγινε εξαιρετικά δημοφιλές όχι μόνο στην Ιαπωνία αλλά και στη Βόρεια Αμερική. Το 1981 εγκαταστάθηκε ένας νέος τύπος μηχανής ο 6PI, και το 1983 του προστέθηκε υπερσυμπιεστής εξάτμισης ανεβάζοντας την απόδοση στους 165ps.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: 4285×1615×1260mm
- Μεταξόνιο : 2420mm ■ Βάρος οχήματος 1005kg
- Τύπος κινητήρα 12A
- Κυβισμός 513cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 130PS/1000rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 185km/h ■ Μέγιστη ροπή : 16.5kg-m/4000rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 5 σχέσεων / Αυτόματο 3 σχέσεων

1981– 1990

Cosmo



Η Τρίτη γενιά Cosmo, που βγήκε στην παραγωγή τον Οκτώβριο 1981, αναπτύχθηκε ως προσωπικό αυτοκίνητο για να καλύψει τις καθημερινές ανάγκες. Προσφέρθηκαν τρεις παραλλαγές αμαξωμάτων: 2πόρτα και 4πόρτα. Εγκαταστάθηκε αρχικά ο 6PI περιστροφικός κινητήρας τύπου 12A, ο τύπος 13B, με το ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα ψεκασμού, και ο τύπος 12A με το τούρμπο. Εξοπλισμένο με ανεξάρτητη και ηλεκτρονικά ελεγχόμενη ανάρτηση, το Cosmo ήταν γρήγορο και μια καθαρή ευχαρίστηση για αυτόν που το οδηγούσε.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: 4640×1690×1340mm
- Μεταξόνιο : 2615mm ■ Βάρος οχήματος 1110kg
- Τύπος κινητήρα 12A
- Κυβισμός 513cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 130PS/1000rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 185km/h ■ Μέγιστη ροπή : 16.5kg-m/4000rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 5 σχέσεων / Αυτόματο 3 σχέσεων

1981 – 1986

Luce/Mazda 929



Η 3η γενιά Luce βγήκε στη παραγωγή τον Οκτώβριο 1981, ταυτόχρονα με το Cosmo. Η σειρά περιελάμβανε ένα 4πορτο αμάξωμα το οποίο ήταν εξοπλισμένο με έναν κινητήρα παλινδρομικό 2 λίτρων και μια 12Α περιστροφική μηχανή. Το Cosmo ήταν το πρώτο όχημα με περιστροφικό κινητήρα με ανεξάρτητη ανάρτηση. Αργότερα, το Luce υποβλήθηκε σε ένα εκτεταμένο facelift και τροποποιήθηκε στο εμπρός και πίσω μέρος. Τα νέα κορυφαία μοντέλα της σειράς, ήταν εξοπλισμένα με 12Α κινητήρα τούρμπο ή με την 13B περιστροφική μηχανή η οποία έφερε κομπρέσορα, έγινε δημοφιλής στην αγορά ως αυτοκίνητο πολυτέλειας και υψηλής απόδοσης.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: 4640×1690×1360mm
- Μεταξόνιο : 2615mm ■ Βάρος οχήματος 1165kg
- Τύπος κινητήρα 12Α
- Κυβισμός 513cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 130PS/1000rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 185km/h ■ Μέγιστη ροπή : 16.5kg-m/4000rpm
- Κιβώτιο : χειροκίνητο 5 σχέσεων / Αυτόματο 3 σχέσεων

1986 – 1991

Luce



Η 5 γενιά Luce, βγήκε στη γραμμή παραγωγής το Σεπτέμβριο 1986, είχε ως σκοπό να συνδυάσει την πολυτέλεια του σεντάν με τις σπορ επιδόσεις της περιστροφικής μηχανής. Εγκαταστάθηκε η ισχυρή 13B περιστροφική μηχανή, με μέγιστη δύναμη 180PS, Συνδυασμένο με μια πρόσφατα αναπτυσσόμενη αυτόματη μετάδοση, πραγματοποιούσε ομαλότερη και γρηγορότερη επιτάχυνση. Το ιδιαίτερα άκαμπτο αμάξωμα λόγω των δοκών οροφής και μετώπης. Οδήγησε έτσι σε ένα υψηλό επίπεδο απόδοσης και άνεσης.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: 4690×1695×1395mm
- Μεταξόνιο : 2110mm ■ Βάρος οχήματος 1500kg
- Τύπος κινητήρα 13B
- Κυβισμός 654cc×2 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 180PS/6500rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 190km/h ■ Μέγιστη ροπή : 25.0kg-m/3500rpm
- Κιβώτιο : Αυτόματο 4 σχέσεων

1990 – 1995

Eunos Cosmo



Το Eunos Cosmo βγήκε στην γραμμή παραγωγής το 1990. Ήταν το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής με τρεις ρότορες. Ο τύπος 20B-REW με το διαδοχικό δίδυμο τούρμπο, είχε απόδοση 280ps. Η μηχανή, η ανάρτηση, η αυτόματη μετάδοση, και το σύστημα κλιματισμού ήταν ηλεκτρονικά ελεγχόμενα.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος: 4815×1195×1305mm
- Μεταξόνιο : 2150mm ■ Βάρος οχήματος 1610kg
- Τύπος κινητήρα 20B-REW
- Κυβισμός 654cc×3 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 280PS/6500rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 240km/h ■ Μέγιστη ροπή : 41.0kgm/3000rpm
- Κιβώτιο : Αυτόματο 4 σχέσεων

1985 – 1992

Savanna RX-7/Mazda RX-7



Τα δεύτερης γενεάς RX7 βγήκε στην παραγωγή τον Οκτώβριο του 1985. Η 13B περιστροφική μηχανή με το διπλό τούρμπο και intercooler είχε ιπποδύναμη 185PS. Η οπίσθια ανάρτηση πολλαπλών συνδέσμων είναι πλέον στον στάνταρ εξοπλισμό. Το 1987, το 1989 προστέθηκε η έκδοση κάμπριο, και η ιπποδύναμη της αυξήθηκε στους 205PS.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος 4310×1690×1210mm
- Μεταξόνιο : 2430mm ■ Βάρος οχήματος 1240kg
- Τύπος κινητήρα 13B-turbo
- Κυβισμός 654cc×3 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 185ps/6500rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 220km/h ■ Μέγιστη ροπή : 25.0kg-m/3500rpm
- Κιβώτιο : Χειροκίνητο 5 σχέσεων Αυτόματο 4 σχέσεων

1991 – 2002

Mazda RX-7



Η 3^η γενιά RX7 βγήκε στη γραμμή παραγωγής το Δεκέμβριο του 1991. Διέθετε έναν ισχυρό περιστροφικό κινητήρα 13B-REW με διαδοχικό δίδυμο τούρμπο και έναν εξαιρετικό σχεδιασμό. Διέθετε σε όλους τροχούς ανάρτηση με διπλά ψαλίδια και τον πρόσφατα αναπτυγμένο δυναμικό μηχανισμό ελέγχου γεωμετρίας της ανάρτησης με αντιστρεπτικές ράβδους. Ακολούθησαν τα facelift το 1996 και το 1998. Η ιπποδύναμη του 13B REW αυξήθηκε σε 280PS.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος 4295×1160×1230mm
- Μεταξόνιο : 2425mm ■ Βάρος οχήματος 1250kg
- Τύπος κινητήρα 13B- REW
- Κυβισμός 654cc×3 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 255PS/6500rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 240km/h ■ Μέγιστη ροπή : 30.0kgm/5000rpm
- Κιβώτιο :Χειροκίνητο 5 σχέσεων Αυτόματο 4 σχέσεων

2003 – present

RX-8



Το RX-8 βγήκε στη παραγωγή τον Απρίλιο 2003. Είναι εξοπλισμένο με την περιστροφική μηχανή νέας γενιάς RENESIS. Αν και το νέο RENESIS μεγιστοποιεί τα οφέλη της περιστροφικής μηχανής, όντας συμπαγέστερη, ελαφρύτερη και υψηλότερης απόδοσης από τους προκατόχους του. Επίσης προσφέρει περισσότερους χώρους καμπίνας, που φιλοξενεί μέχρι τέσσερις ενηλίκους με άνεση.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Υψος 4435×1110×1340mm
- Μεταξόνιο : 2100mm ■ Βάρος οχήματος 1310kg
- Τύπος κινητήρα 13B- MSP
- Κυβισμός 654cc×3 ■ Μέγιστη ιπποδύναμη 250PS/8500rpm
- Μέγιστη ταχύτητα 240km/h ■ Μέγιστη ροπή : 22.0kg/3000rpm
- Κιβώτιο :Χειροκίνητο 6 σχέσεων

2003 – present
RX-8 Hydrogen RE



Το τροφοδοτούμενο με υδρογόνο RX-8 Hydrogen RE άρχισε να κυκλοφορεί στους δρόμους της Ιαπωνίας για να πάρει έγκριση από τα υπουργεία Περιβάλλοντος και Μεταφορών τον Οκτωβρίου 2004. Με μηδενικές εκπομπές CO₂, η περιστροφική μηχανή υδρογόνου εκθέτει την εξαιρετική περιβαλλοντική προστασία ενώ διατηρεί την ιδιότητα της μηχανής εσωτερικής καύσης . Για να επιτρέψει στα RX-8 Hydrogen RE να οδηγούνται στις περιοχές που δεν υπάρχουν ακόμα σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου, η μηχανή χρησιμοποιεί ένα σύστημα διπλού καυσίμου το οποίο ελέγχεται από έναν διακόπτη .Το αυτοκίνητο μένει ανέπαφο όσον αφορά τον χώρο τον επιβατών και τον εξοπλισμό άνεσης. Το RX-8 Hydrogen RE μισθώνεται στις επιχειρήσεις και τις τοπικές κυβερνήσεις , και έτσι κερδίζει μια ευνοϊκή φήμη και κεντρίζει την έρευνα και την ανάπτυξη προς την πραγματοποίηση μιας ενεργειακής κοινωνίας υδρογόνου.

Σημαντικές προδιαγραφές:

- Μήκος×Πλάτος×Ύψος: 4435×1110×1340mm
- Μεταξόνιο 2100mm ■ Βάρος οχήματος: 1460kg
- τύπος μηχανών :13B ■ Κυβισμός 654cc×2
- Μέγιστη ιπποδύναμη Υδρογόνο 109PS, βενζίνη 210PS
- Μέγιστη ροπή: Υδρογόνο 14.3kgm, βενζίνη 22.6kgm
- Κιβώτιο :Αυτόματο 4 σχέσεων

Οι κινητήρες Wankel έχουν βρει εφαρμογή και σε εναλλακτικά μεταφορικά μέσα που στο μέλλον μπορεί να βγουν στην ευρεία παραγωγή!



Φανταστείτε αυτό: το καθημερινό ταξίδι σας στο γραφείο με 350mph χωρίς την κυκλοφοριακή συμφόρηση, κανένα οδικό έργο και μία πτήση σε ύψος 30.000 ποδιών. Η Moller International ιδρύθηκε το 1983 από το Δρ Paul Moller, έναν Αμερικανό μηχανικό γεννημένο στον Καναδά, για να σχεδιάσει, να αναπτύξει, να κατασκευάσει και να εμπορευτεί ο ίδιος αεροσκάφη με κάθετη απογείωση και προσγείωση (VTOL). Οι συνάδελφοί του είπαν ότι δεν θα μπορούσε να γίνει, αλλά όπως πολλές μεγαλοφυΐες, ο Δρ Moller εργάστηκε ακούραστα για να πραγματοποιήσει το όνειρό του: ένα προσωπικό αυτοκίνητο που θα μπορούσε να απογειωθεί από οποιαδήποτε οδό και κήπο και ο χειρισμός του να είναι το ίδιο εύκολος με αυτόν ενός αυτοκινήτου.

Το 1989, ο Moller παρήγαγε τον προκάτοχο του Skycar, το M200. που μοιάζει με ένα ιπτάμενο πιάτο που ο κυβερνήτης κάθεται στο κέντρο του σκάφους το οποίο φέρει έξι προωστήρες οι οποίοι προσφέρουν την άνοση. Ο Moller έχει πετάξει το M200 πάνω από 150 φορές σε ύψος μέχρι 50 πόδια. Εντούτοις, όμως οι προωστήρες μπορούν μόνο να έχουν ώθηση προς τα κάτω, η πρόωση είναι αργή και επομένως δεν ήταν και τόσο πρακτικό για μεγάλης απόστασης ταξίδι. Εντούτοις, η γνώση που αποκτήθηκε από αυτό το project βοήθησε σημαντικά στην κατασκευή του M400.

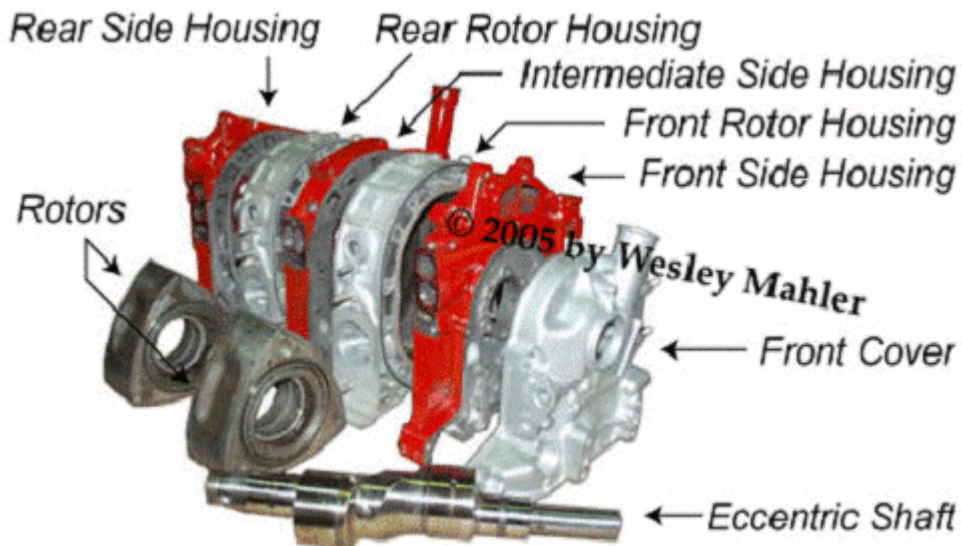
Η δύναμη για το όχημα προέρχεται από οκτώ μικρές μηχανές 120hp Rotapower, ένα παράγωγο της μηχανής Wankel που σχεδιάστηκε το 1951 από Felix Wankel και που ήταν γνωστή για τη χρήση της στο Mazda RX7. Ο Δρ Moller, αγόρασε τα δικαιώματα στη μηχανή Wankel και διαμόρφωσε γρήγορα τις Freedom Motors για να αναπτύξει τη μηχανή Wankel για τη χρήση στο Skycar. Οι μηχανές Rotapower θα επιτρέψουν στο M400 Skycar να πετάξει με 350 mph και να έχει κατανάλωση ένα γαλόνι ανά δεκαπέντε μίλια και μία αυτονομία 900 μιλίων, αν και οι μελλοντικές προβολές δείχνουν ότι θα μπορούσε να επιτύχει το κατανάλωση δεκατέσσερα μίλια ανά γαλόνι με τέσσερις επιβάτες και δεκαοκτώ για έναν. Ένα από τα πλεονεκτήματα για μία ελαφριά περιστροφική μηχανή είναι ότι προκαλεί πολύ λιγότερη ρύπανση από μια κανονική μηχανή.

Το Skycar θα είναι σε θέση να απογειωθεί και να προσγειωθεί κάθετα. Το Moller M400 είναι κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το σύστημα εκτροπής ώθησης που εναλλάσσει την ώθηση, επιτρέποντας να αιωρηθεί ή να απογειωθεί και να προσγειωθεί κάθετα από σχεδόν οποιαδήποτε επιφάνεια. Τα αρχικά οχήματα δοκιμής θα χρειαστούν εκπαιδευμένους πιλότους, αλλά το όραμα Moller είναι αυτοματοποιημένα skyways όπου οι υπολογιστές πλοήγησης κάνουν όλη την εργασία, και τα σχέδια του Moller για τρεις υπολογιστές βεβαιώνουν τον πλεονασμό. Εντούτοις, κάποιο επίπεδο γνώσεων θα είναι ακόμα απαραίτητο.

Επίσης, με πολύ λίγα κινούμενα μέρη οι περιστροφικές μηχανές απαιτούν λιγότερη συντήρηση, και η μηχανή Rotapower έχει τη μοναδική ικανότητα να καταναλώνει ποικιλία καυσίμων - καθιστώντας το έτσι ικανό να λειτουργεί με τους φυσικούς πόρους που είναι εύκολα διαθέσιμοι στην κάθε περιοχή.

Μέρη Περιστροφικού Κινητήρα

Περιγραφή των μερών του περιστροφικού κινητήρα



Ορολογία

Υπάρχουν μερικοί όροι συγκεκριμένοι για τον περιστροφικό κινητήρα που θα βοηθήσουν να γίνει κατανοητή η λειτουργία της.

Ρότορας (rotor)

Ο ρότορας είναι ένα τριγωνικό διαμορφωμένο τμήμα μηχανής. Είναι κατά προσέγγιση ισοδύναμο με το έμβολο μιας συμβατικής μηχανής, σε κάθε πλευρά υπάρχει μία επιφάνεια καύσης

Ελάσματα στεγανοποίησης κορυφών (apex seals)

Κάθε ρότορας έχει τρία ελάσματα στεγανοποίησης στις κορυφές του (apex seals), τα οποία εφάπτονται συνεχεία με την εσωτερική επιφάνεια του στάτορα.

Έκκεντρος άξονας (eccentric shaft)

Οι ρότορες οδηγούν τον έκκεντρο άξονα, ο οποίος είναι ο αντίστοιχος του στροφαλοφόρου άξονα σε μια μηχανή εμβόλων.

Στάτορας (rotor housing)

Ο στάτορας είναι ο χώρος που περιστρέφεται ο ρότορας και έχει το ίδιο το πλάτος με το αυτόν επίσης φέρει τις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής . Η εσωτερική μορφή του στάτορα, είναι ίδια με τη τροχιά που ακολουθεί ο ρότορας η οποία καλείται επιτροχοειδής καμπύλη.

Καπάκια στατόρων (side housing)

Κάθε περιστροφική μηχανή έχει δύο καπάκια στατόρων, δεδομένου ότι είναι τα σώματα που σφραγίζουν κάθε τέλος του στάτορα και φέρουν τις δευτερεύουσες θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής.

Μεσαίο καπάκι στάτορα (intermediate side housing)

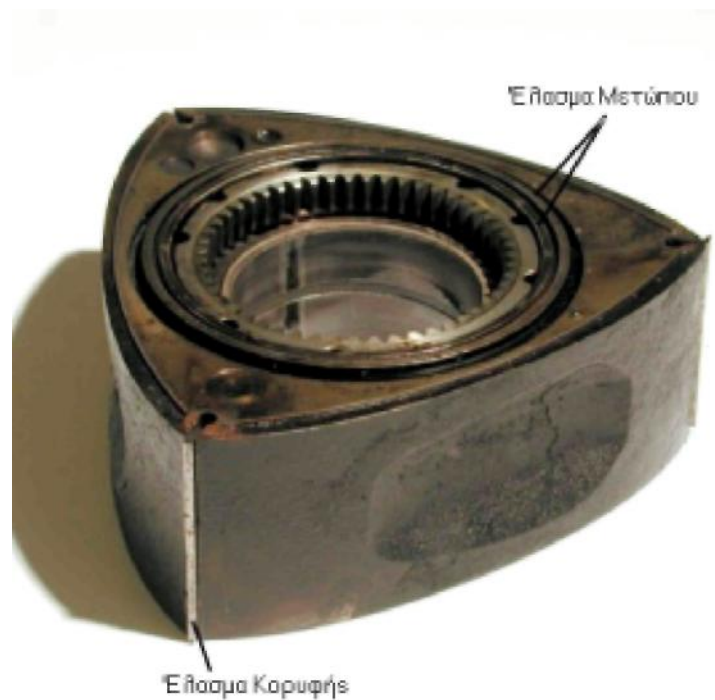
Το μεσαίο καπάκι στάτορα βρίσκεται μεταξύ των στατόρων. Τα ενδιάμεσα καπάκια περιέχουν επίσης τις θυρίδες εισαγωγής .

Σημείωση: Υπάρχουν μερικές περιστροφικές μηχανές, αποκαλούμενες μηχανές "απομακρυσμένων θυρίδων", οι οποίες έχουν τις θυρίδες εισαγωγής τους στους στάτορες και όχι στο στα καπάκια των στατόρων.

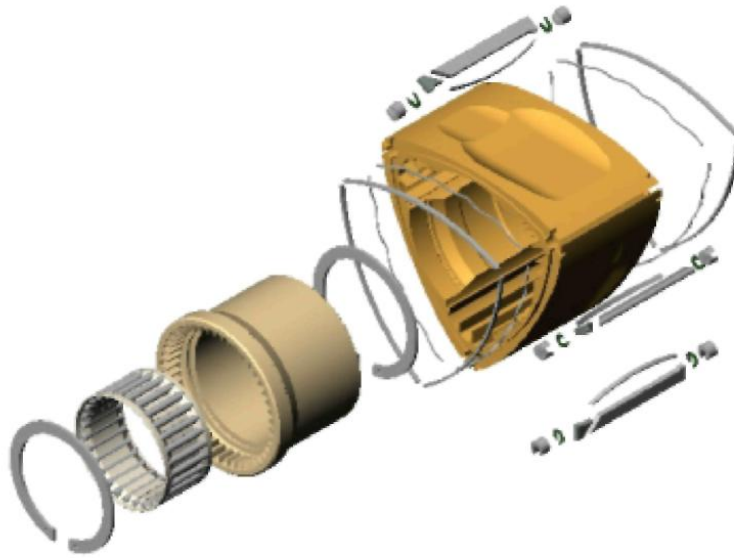
Τα μέρη του περιστροφικού κινητήρα παρουσιάζονται αναλυτικά στις παρακάτω σελίδες.

Ο Ρότορας

Ο ρότορας αποτελείται από τρεις κυρτές επιφάνειες. Η κάθε επιφάνεια διαθέτει έναν θύλακα ο οποίος αυξάνει τη χωρητικότητα του κινητήρα επιτρέποντας στο μίγμα να καταλάβει περισσότερο χώρο και να αναμειχθεί καλύτερα.



Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, η στεγανοποίηση των τριών περιοχών του κινητήρα επιτυγχάνεται μέσω ορισμένων σταθεροποιητικών ελασμάτων. Χρησιμοποιούνται τρία ελάσματα στις κορυφές του ρότορα και δυο σε κάθε ένα από τα μέτωπα του ρότορα. Στο εσωτερικό του ρότορα υπάρχει μια οδοντωτή στεφάνη, η οποία συνεργάζεται με έναν οδοντωτό τροχό ο οποίος είναι προσαρμοσμένος στο σταθερό κέλυφος του κινητήρα. Με την περιστροφή του οδοντωτού τροχού επιτυγχάνεται η έκκεντρη κίνηση του ρότορα. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα επιμέρους τμήματα του ρότορα.



Ο Στάτορας



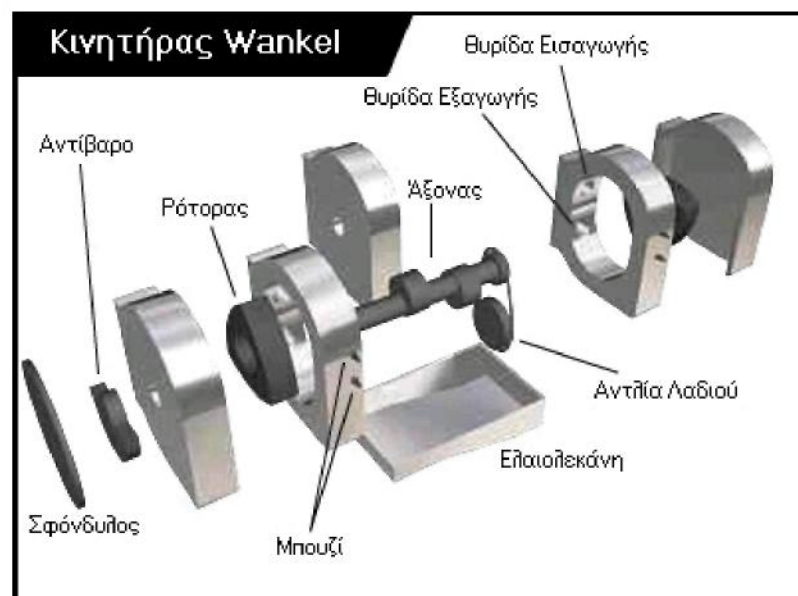
Ο στάτορας του κινητήρα έχει περίπου οβάλ σχήμα, έτσι ώστε να βρίσκεται συνεχώς σε επαφή με τον ρότορα. Η διαμόρφωση του στάτορα είναι τέτοια ώστε να χωρίζεται σε τέσσερις περιοχές, μια για κάθε φάση της λειτουργίας. Στον στάτορα είναι επίσης τοποθετημένες και οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής του κινητήρα. Σε αντίθεση με τους κλασικούς τετράχρονους κινητήρες, στον περιστροφικό wankel δεν συναντάμε βαλβίδες στην εισαγωγή και την εξαγωγή. Έτσι η θυρίδα εισαγωγής είναι συνδεδεμένη απ' ευθείας στην πολλαπλή εισαγωγής, ενώ η θυρίδα εξαγωγής στην πολλαπλή εξαγωγής. Τέλος στον στάτορα φιλοξενούνται τα μπουζί (σπινθηριστές) αλλά και οι αυλοί ψύξης του κινητήρα με το ψυκτικό υγρό.

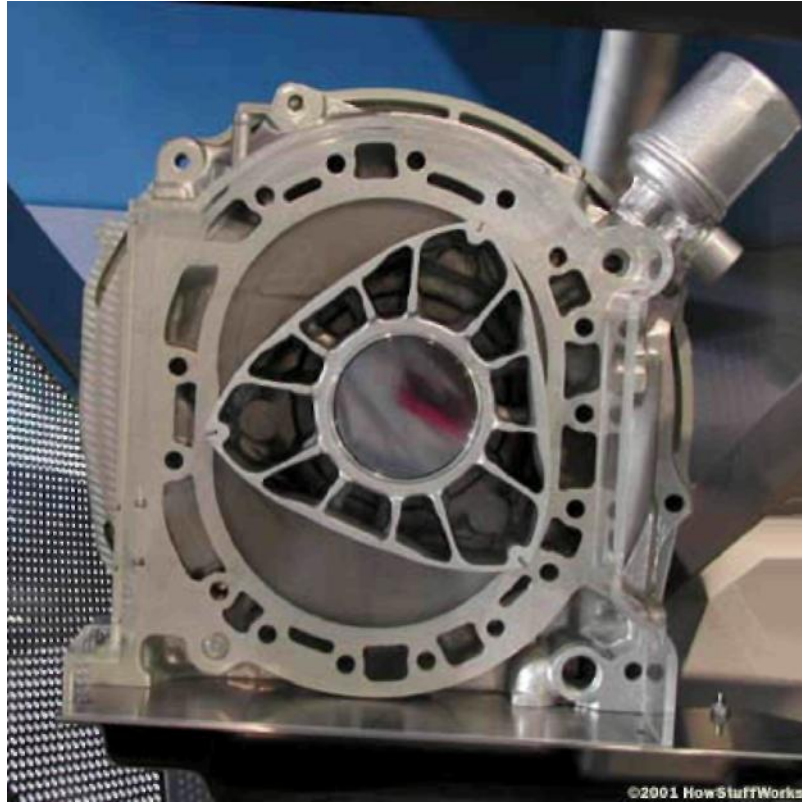
Ο άξονας του κινητήρα

Ο άξονας του περιστροφικού κινητήρα μοιάζει με τον στροφαλοφόρο των παλινδρομικών κινητήρων στη φιλοσοφία λειτουργίας του, και με τους εκκεντροφόρους στην εμφάνιση. Διαθέτει λοβούς τοποθετημένους έκκεντρα ως προς το κέντρο περιστροφής του άξονα. Ο κάθε ρότορας συνδέεται μέσω του οδοντωτού τροχού και της οδοντωτής στεφάνης με τον άξονα. Η λειτουργία των λοβών του άξονα μοιάζει αρκετά με αυτή των διωστήρων στους συμβατικούς κινητήρες, αφού μεταφέρουν τη δύναμη των ρότορων στον άξονα με τη μορφή ροπής στρέψης



Ο άξονας του περιστροφικού κινητήρα φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Ενώ στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο τρόπος που συνεργάζονται τα διάφορα μέρη του κινητήρα Wankel μεταξύ τους.

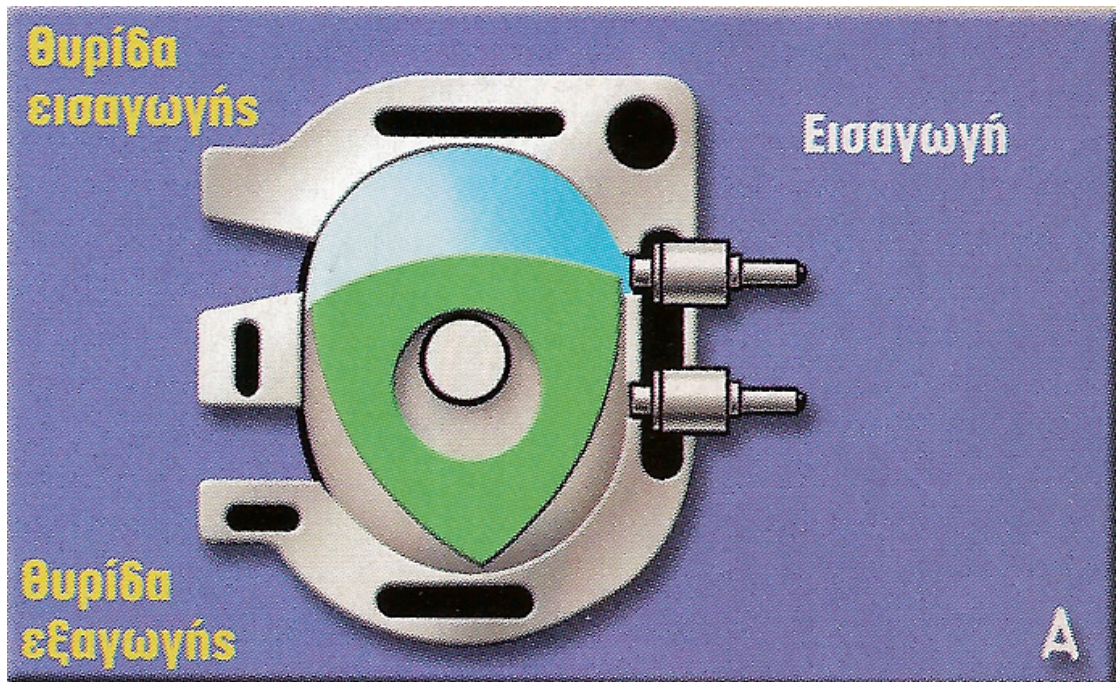




Τα στάδια λειτουργίας του κινητήρα wankel

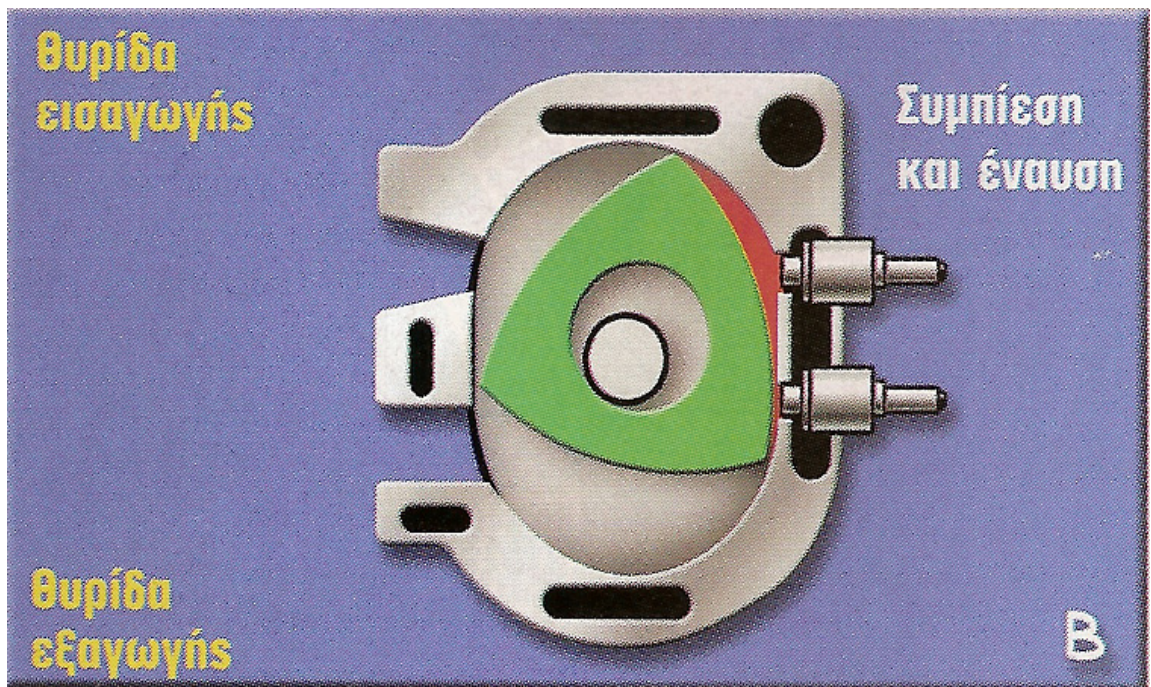
Ο περιστροφικός κινητήρας wankel λειτουργεί σύμφωνα με τον 4χρονο κύκλο λειτουργίας του Otto. Ωστόσο εδώ οι χρόνοι λειτουργίας επιτυγχάνονται με τελείως διαφορετικό τρόπο. Όπως σημειώθηκε παραπάνω, ο ρότορας παίζει το ρόλο των εμβόλων και πιο συγκεκριμένα ο ρότορας αντιπροσωπεύει τρία έμβολα την ίδια στιγμή. Η κάθε πλευρά δηλαδή του ρότορα εκτελεί διαφορετική φάση της λειτουργίας την ίδια στιγμή. Στις παρακάτω παραγράφους παρουσιάζεται αναλυτικότερα η λειτουργία και οι φάσεις του περιστροφικού κινητήρα, μελετώντας όμως μια συγκεκριμένη πλευρά του ρότορα.

Εισαγωγή



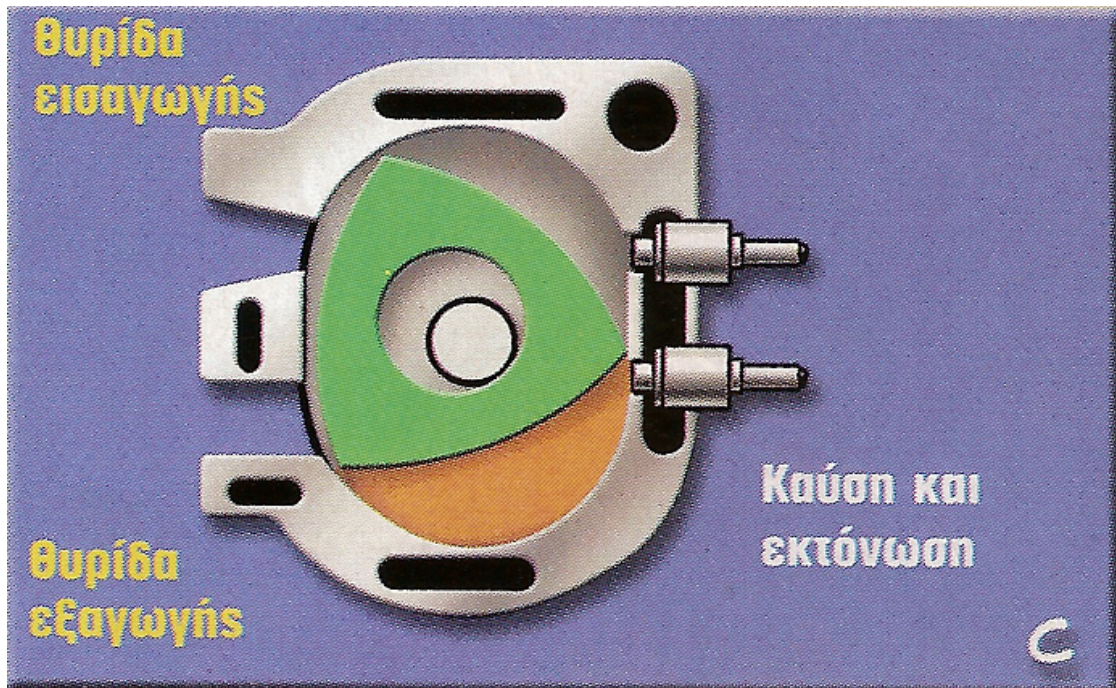
Η φάση της εισαγωγής ξεκινά, όταν η ακμή του ρότορα αποκαλύψει τη θυρίδα εισαγωγής. Καθώς όμως περιστρέφεται ο ρότορας, ο όγκος μεγαλώνει δημιουργώντας υποπίεση η οποία αναρροφά το μίγμα αέρα / καυσίμου μέσω της θυρίδας. Όταν ο όγκος γίνει μέγιστος, τότε η επόμενη ακμή του ρότορα που έχει περιστραφεί κλείνει τη θυρίδα εισαγωγής και έτσι αρχίζει η συμπίεση.

Συμπύεση



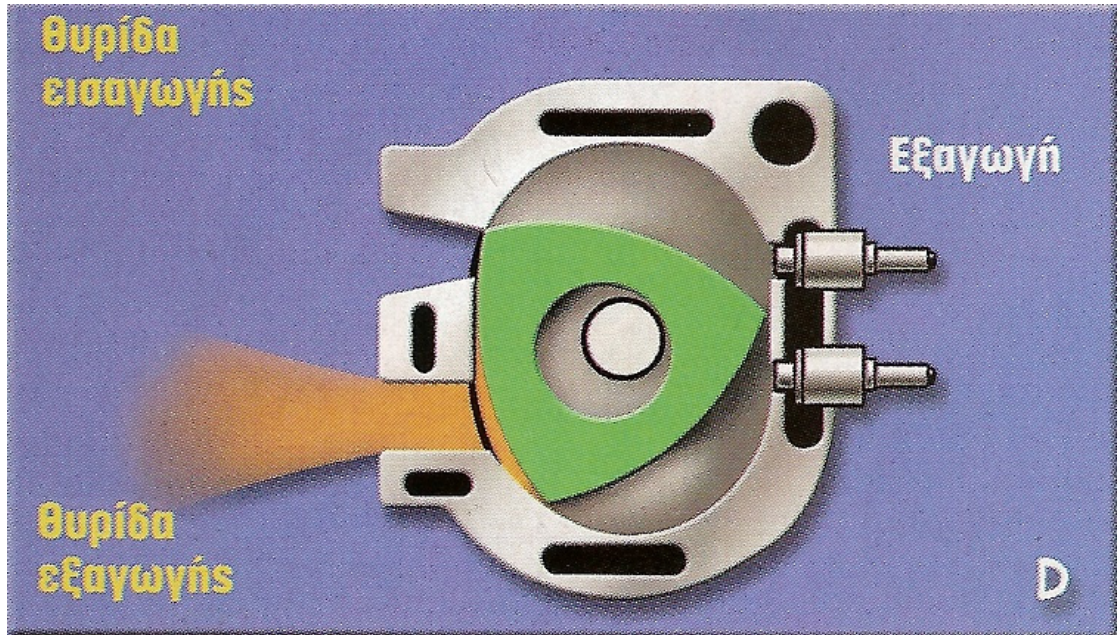
Καθώς ο ρότορας συνεχίζει την έκκεντρη κίνησή του μέσα στο κέλυφος του κινητήρα, ο χώρος που καταλαμβάνει η πλευρά που πέρασε από τη φάση της εισαγωγής αρχίζει να μικραίνει. Έτσι λοιπόν το μίγμα αέρα / καυσίμου αρχίζει να συμπιέζεται. Έως τη στιγμή που η πλευρά αυτή του ρότορα φτάνει στην περιοχή που βρίσκονται οι σπινθηριστές (μπουζί), ο χώρος του μίγματος έχει γίνει ο ελάχιστος δυνατός και η συμπύεση μέγιστη. Στο σημείο αυτό αρχίζει η καύση-εκτόνωση.

Καύση – Εκτόνωση



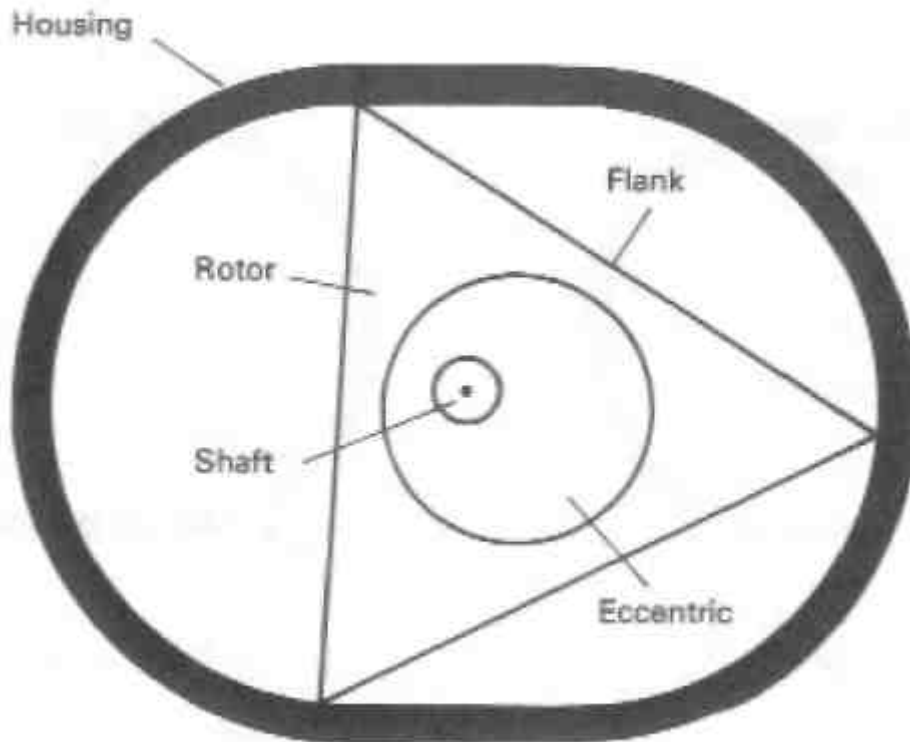
Οι περισσότεροι περιστροφικοί κινητήρες είναι εφοδιασμένοι με δυο σπινθηριστές, για ταχύτερη εξάπλωση της φλόγας στον μακρύ θάλαμο καύσης και την ακαριαία εκτόνωση των αερίων της καύσης. Κατά τη στιγμή της ανάφλεξης λοιπόν έχουμε δημιουργία σπινθήρα από τα δυο μπουζί και ταχύτατη καύση του μίγματος. Η αύξηση της πίεσης των αερίων στο θάλαμο καύσης ωθεί το ρότορα να περιστραφεί προς την κατεύθυνση που μεγαλώνει ο όγκος του θαλάμου καύσης. Τα καυσαέρια συνεχίζουν να περιστρέφουν το ρότορα λόγω της πίεσής τους, έως ότου η ακμή του αποκαλύψει τη θυρίδα εξαγωγής.

Εξαγωγή



Όταν αποκαλυφθεί η θυρίδα της εξαγωγής, τα καυσαέρια που βρίσκονται στο θάλαμο καύσης υπό υψηλή πίεση, είναι ελεύθερα να διαφύγουν προς την εξάτμιση. Καθώς όμως συνεχίζεται η περιστροφή του ρότορα, ο όγκος του θαλάμου καύσης μικραίνει και πάλι, αναγκάζοντας ό,τι καυσαέρια έχουν μείνει στον θάλαμο να αποχωρήσουν. Όταν ο όγκος του θαλάμου γίνει ελάχιστος, τότε η ακμή του ρότορα περνά πάλι από τη θυρίδα εισαγωγής και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.

Η γεωμετρία των Περιστροφικών κινήτων



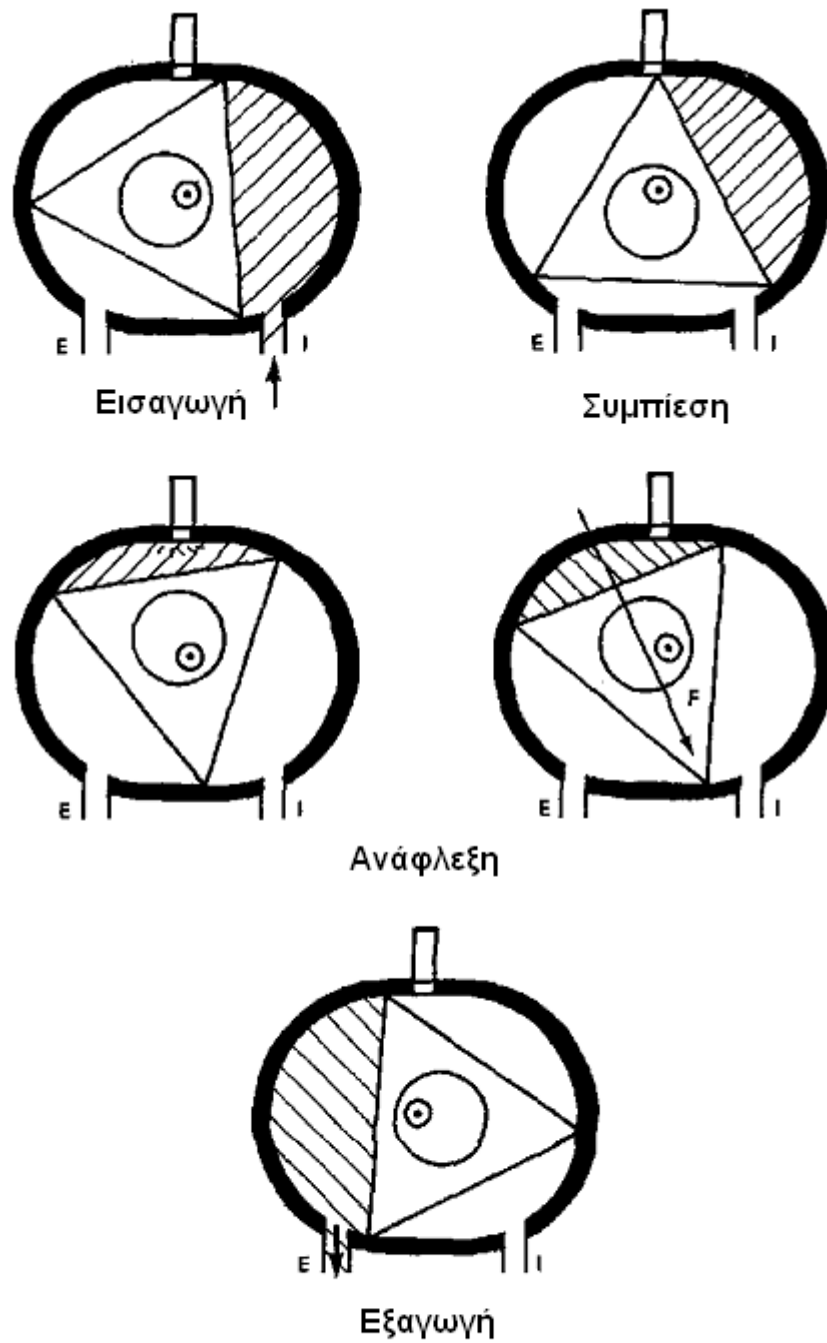
Σχῆμα 1

Τα σημαντικότερα στοιχεία του περιστροφικού κινήτῆρα, ο στάτορας και ο ρότορας παρουσιάζονται στη διατομή στο σχῆμα 1. Η εσωτερική επιφάνεια του στάτορα ἔχει μια μαθηματική μορφή γνωστή ως τροχοειδές ἢ επιτροχοειδές. Ο στάτορας σε ἓναν απλό περιστροφικό κινήτῆρα μπορεί να θεωρηθεῖ ὅτι περικλείεται ἀπὸ δύο παράλληλα ἐπίπεδα που χωρίζονται ἀπὸ μία κυλινδρική επιτροχοειδη διατομή. Σύμφωνα με το συμβολισμό του σχήματος 3, ἡ παραμετρική μορφή του επιτροχοειδούς δίνεται ἀπὸ:

$$x = e \cos 3\alpha + R \cos \alpha \quad [\text{ft} \mid \text{m}] \quad (1.1\text{a})$$

$$y = e \sin 3\alpha + R \sin \alpha \quad [\text{ft} \mid \text{m}] \quad (1.1\text{b})$$

ὅπου το e εἶναι ἡ ἐκκεντρότητα και το R εἶναι ἡ ἀπόσταση του κέντρου του ρότορα με την επιφάνεια ἐπαφῆς με το στάτορα.



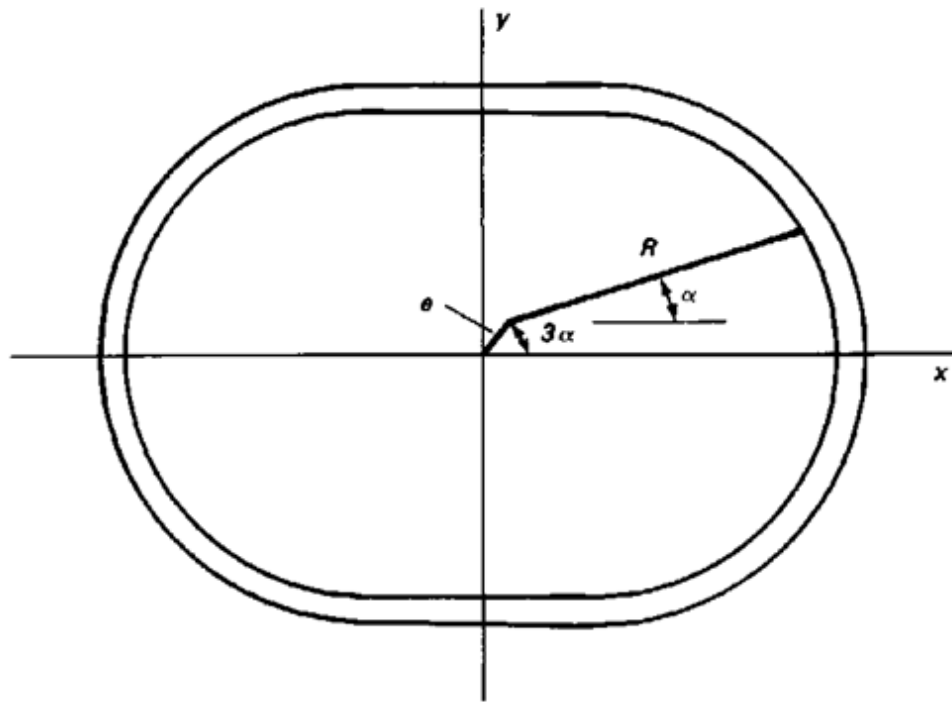
Σχήμα 2

Για τις δοσμένες τιμές του e και του R , οι παραπάνω εξισώσεις (1.1a) ,(1.1b) δίνουν τις συντεταγμένες x και y καθορίζοντας το σχήμα του στάτορα όπου το a παίρνει τιμές από 0 έως 360 μοίρες . Το σχήμα του ρότορα μπορεί να θεωρηθεί ως ισόπλευρο τρίγωνο, όπως φαίνεται στα σχήματα 1 και 2. Επειδή ο ρότορας κινείται μέσα στον στάτορα κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι τρεις κορυφές του να είναι σε σταθερή επαφή με την περιφέρεια του στάτορα, οι θέσεις των κορυφών δίνονται από τις εξισώσεις τις μορφής 1.1

$$x = e \cos 3\alpha + R \cos(\alpha + 2n\pi/3) \quad [\text{ft} \mid \text{m}] \quad (1.2a)$$

$$y = e \sin 3\alpha + R \sin(\alpha + 2n\pi) \quad [\text{ft} \mid \text{m}] \quad (1.2b)$$

όπου $n = 0, 1, \text{ ή } 2$, οι τρεις τιμές που προσδιορίζουν τις θέσεις των τριών κορυφών του ρότορα καθεμία που διαφέρει 120° . Επειδή το R αντιπροσωπεύει την απόσταση του κέντρου του ρότορα από την κορυφή του



Σχήμα 3

η κίνηση του κέντρου του ρότορα μπορεί να προκύψει από τις εξισώσεις (1.2a) (1.2b) θέτοντας $R = 0$. Οι εξισώσεις και το σχήμα 3 δείχνουν ότι η πορεία του κέντρου του ρότορα είναι ένας κύκλος ακτίνας e .

Οι εξισώσεις (1.1) και (1.2) μπορούν να μην έχουν διαστάσεις αν διαιρεθούν με το R . Από αυτό προκύπτει μία γεωμετρική παράμετρος που καθορίζει τις εξισώσεις, e/R , γνωστός ως λόγος εκκεντρότητας. Θα δειχθεί ότι αυτή η παράμετρος είναι κρίσιμη για την επιτυχή απόδοση του περιστροφικού κινητήρα.

Η δύναμη από τον κινητήρα μεταβιβάζεται σε ένα εξωτερικό φορτίο από έναν κυλινδρικό άξονα το έκκεντρο άξονα το κέντρο αυτού συμπίπτει με το κέντρο του στάτορα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Ένας δεύτερος κύλινδρος, έκκεντρος, είναι άκαμπτα συνδεδεμένος με τον άξονα του κινητήρα και αντισταθμίζεται από τη απόσταση e , την εκκεντρικότητα. Στο σχήμα 1 φαίνεται ότι οι άξονες του ρότορα και του έκκεντρου συμπίπτουν. Οι δυνάμεις αερίου που ασκούνται στο ρότορα διαβιβάζονται στο έκκεντρο για να παρέχουν την ροπή στον έκκεντρο άξονα και στο εξωτερικό φορτίο.

Η κίνηση του ρότορα μπορεί τώρα να γίνει κατανοητή από το σχήμα 3. Η γραμμή επονομαζόμενη e περιστρέφει τον έκκεντρο άξονα κατά γωνία 3α , ενώ η γραμμή επονομαζόμενη R αναφέρεται στο ρότορα και περιστρέφεται με γωνία α από το κέντρο του έκκεντρου. Κατά συνέπεια η κίνηση του κινητήρα σχετίζεται με την κίνηση αυτών των δύο γραμμών. Σαφώς, ο ρότορας (και έτσι η γραμμή R) περιστρέφονται στο ένα τρίτο της ταχύτητας του άξονα, και έχουμε τρεις περιστροφές του έκκεντρου άξονα για κάθε περιστροφή του ρότορα.

Ένα απλό πρότυπο για έναν περιστροφικό κινητήρα

Τα πρόσθετα σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του περιστροφικού κινητήρα μπορούν να μελετηθούν εύκολα με την εξέταση ενός κινητήρα με έναν ισόπλευρο τριγωνικό ρότορα. Το σχήμα 4 παρουσιάζει το ρότορα στη θέση όπου η μία πλευρά του ρότορα καθορίζει τον ελάχιστο όγκο. Θα ονομάσουμε αυτήν την θέση κορυφαίο κέντρο από την αναλογία της παλινδρομικής μηχανής. Το κενό ρότορα και στάτορα ονομάζεται παράμετρος απόστασης d και είναι η διαφορά μεταξύ του στάτορα μείον της ακτίνας $R - e$, και η απόσταση του άξονα του στάτορα είναι,

$$e + R \cos 60 = e + R/2:$$

$$d = (R - e) - (e + R/2) = R/2 - 2e \quad [\text{ft} \mid \text{m}] \quad (1.3)$$

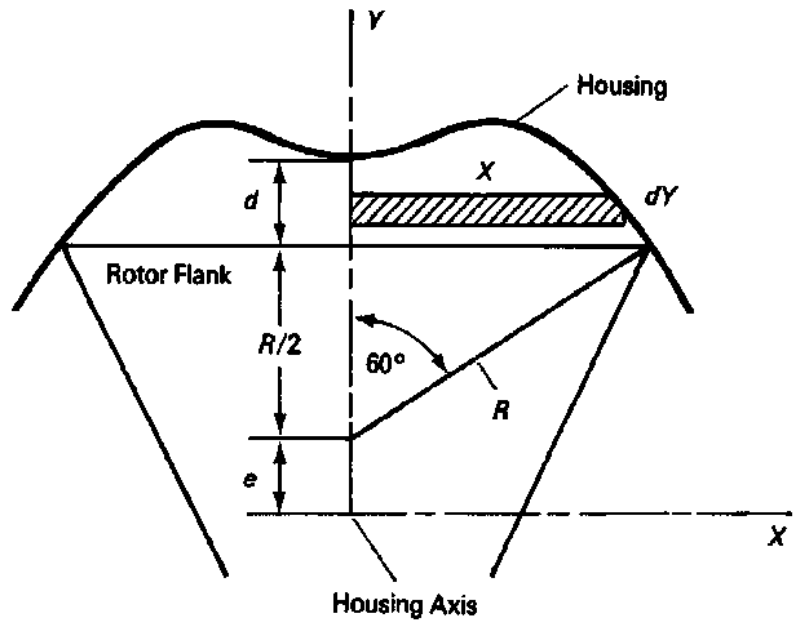
Ο καθορισμός της απόστασης $d=0$ καθορίζει μια ανώτερη τιμή για τον λόγο εκκεντρότητας: $(e/R)_{crit} = 1/4$. Η μελέτη των εξισώσεων (1.1), για μια άλλη ακραία τιμή, δείχνει ότι, για $e/R = 0$, το επιτροχοειδές εκφυλίζεται σε έναν κύκλο. Σε αυτήν την περίπτωση ο ρότορας θα περιστρεφόταν χωρίς την εκκεντρότητα και δεν θα παρήγαγε έτσι καμία συμπίεση και καμία ροπή. Κατά συνέπεια, για τον επίπεδο πλαισιωμένο ρότορα, είναι σαφές ότι οι χρησιμοποιήσιμες τιμές e/R βρίσκονται μεταξύ 0 και 0.25.

Τώρα θα εξετάσουμε μερικές άλλες θεμελιώδεις παραμέτρους του επίπεδου-πλαισιωμένου προτύπου κινητήρα. Θα εξετάσουμε το μέγιστο όγκο μιγμάτων που παρουσιάζεται στο σχήμα 4. Για ένα δεδομένο πλάτος w ρότορα, ο μέγιστος όγκος μπορεί να καθοριστεί με τον υπολογισμό της περιοχής μεταξύ του στάτορα και της πλευράς του ρότορα. Η χρησιμοποίηση των εξισώσεων (1.1), η διαφορική περιοχή

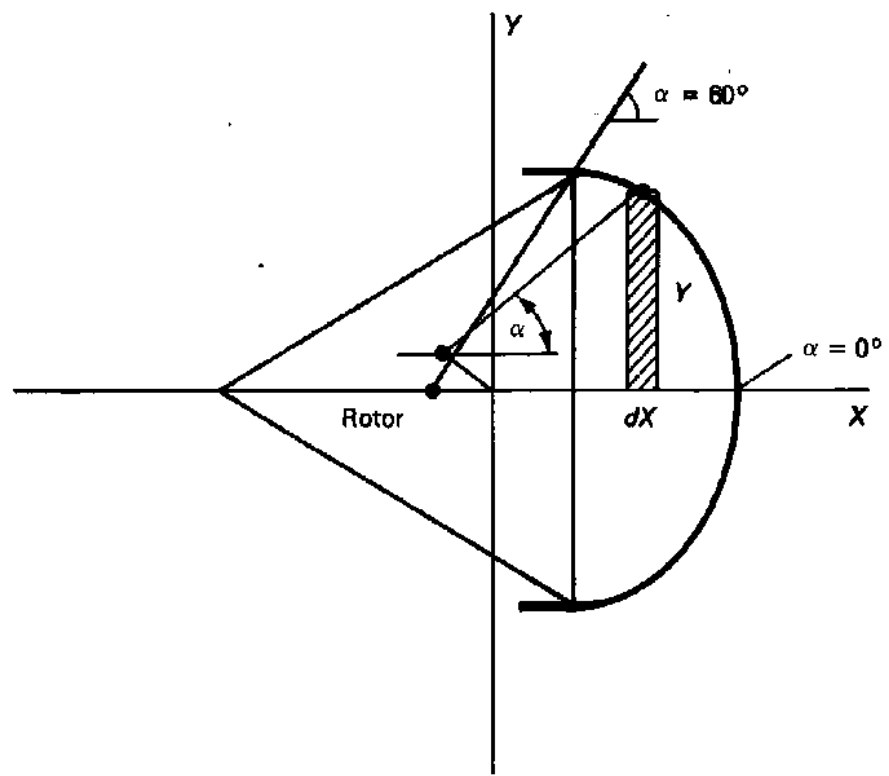
$2y dx$ μπορεί να γραφτεί:

$$dA_{max} = 2y dx$$

$$= 2(e \sin 3\alpha + R \sin \alpha) d(e \cos 3\alpha + R \cos \alpha) \quad [ft^2 | m^2] \quad (1.4)$$



Σχήμα 4



Σχήμα 5

Διαιρώντας με R^2 και παραγωγίζοντας στο δεύτερο μέλος, προκύπτει μια εξίσωση για την αδιάστατη περιοχή σε σχέση με την εκκεντρότητα και τη γωνία α :

$$A_{max}/R^2 = - 2 \int_0^{60} [(e/R)\sin 3\alpha + \sin\alpha][3(e/R)\sin 3\alpha + \sin\alpha]d\alpha \quad [dl] \quad (1.5)$$

Σε σχέση με τη περιοχή παραγωγής διαγράφεται μία καμπύλη του μέγιστου όγκου που μπορεί να περικλείεται στο σχήμα 5, τα όρια στη γωνία α κυμαίνονται από 0° έως 60° . Κατά συνέπεια η ολοκλήρωση της εξίσωσης (1.5) με αυτά τα όρια και χρησιμοποιώντας συνήθη ολοκληρώματα προκύπτει

$$A_{max}/R^2 = \pi [(e/R)^2 + 1/3] - 3^{1/2}/4[1 - 6(e/R)] \quad [dl] \quad (1.6)$$

Ομοίως, από το σχήμα 4 παραγωγίζοντας τον όγκο στη αδιάστατη ελάχιστη περιοχή μπορεί να γραφεί όπως:

$$A_{min}/R^2 = \pi [(e/R)^2 + 1/3] - 3^{1/2}/4 [1 + 6(e/R)] \quad [dl] \quad (1.7)$$

Αυτοί οι μέγιστοι και ελάχιστοι όγκοι είναι ανάλογοι με τους όγκους που περικλείονται μεταξύ του εμβόλου και του κυλίνδρου στο τετράχρονο κινητήρα. Σε εκείνο τον κινητήρα η διαφορά μεταξύ των όγκων είναι ο όγκος μετατοπίσεων, και η αναλογία τους είναι η αναλογία συμπίεσης. Η αναλογία είναι ποσοτικά σταθερή για την αναλογία μετατοπίσεων και συμπίεσης του περιστροφικού κινητήρα. Επομένως αφαιρώντας την εξίσωση (1.7) από την εξίσωση (1.6) δίνει τη μετατόπιση (disp) για ένα ρότορα πλάτους w από την επίπεδη πλευρά του στάτορα

$$disp = 3 \cdot 3^{1/2} w R^2 (e/R) \quad [ft^3 | m^3] \quad (1.8)$$

η διαμόρφωση της αναλογίας τους παράγει την αναλογία συμπίεσης

$$CR = \frac{A_{max}/R^2 \pi [(e/R)^2 + 1/3] - 3^{1/2}/4[1 - 6(e/R)]}{A_{min}/R^2 \pi [(e/R)^2 + 1/3] - 3^{1/2}/4 [1 + 6(e/R)]} \quad [dl] \quad (1.9)$$

$$A_{min}/R^2 \pi [(e/R)^2 + 1/3] - 3^{1/2}/4 [1 + 6(e/R)]$$

Κατά συνέπεια η μετατόπιση αυξάνεται με τις αυξήσεις στο πλάτος του ρότορα, το τετράγωνο της ακτίνας του ρότορα, και την αναλογία εκκεντρότητας, ενώ η αναλογία συμπίεσης είναι ανεξάρτητη από το πλάτος w αλλά αυξάνεται με την αύξηση εκκεντρότητας.

Πρότυπος περιστροφικός κινητήρας με τοξοειδής πλευρές ρότορα

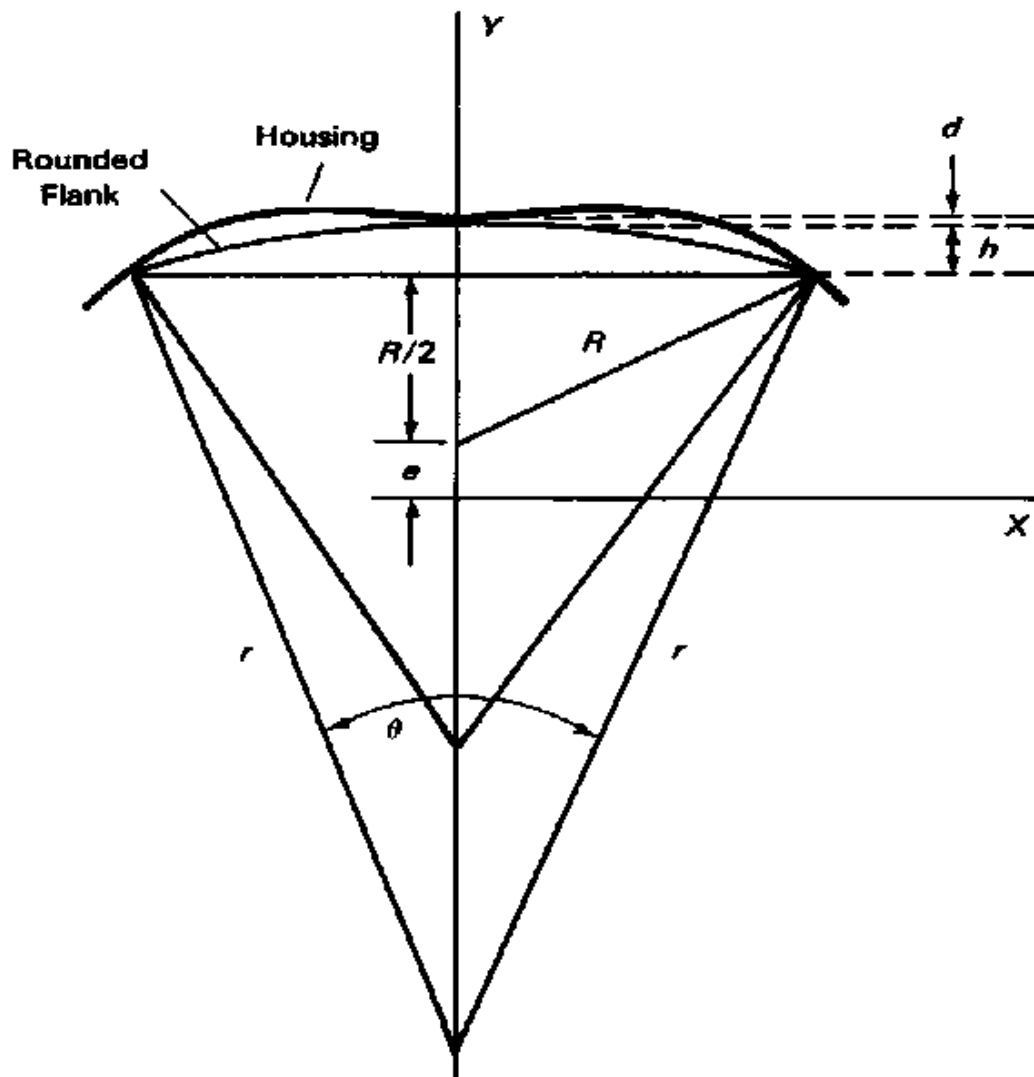
Ενώ το τριγωνικό πρότυπο ρότορων αντιπροσωπεύει έναν πιθανό κινητήρα και είναι χρήσιμος σαν εργαλείο μελέτης, ένας τέτοιος κινητήρας θα απέδιδε χειρότερα συγκρινόμενος με ένα με στρογγυλεμένες πλευρές στον ρότορα. Ένα ρεαλιστικότερο πρότυπο είναι ο τριγωνικός ρότορας με τοξοειδής πλευρές, όπως φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 6. Η ακτίνα της καμπυλότητας r , της μίας πλευράς θα μπορούσε να ποικίλει από το άπειρο, σε αντιστοιχία με έναν κινητήρα με επίπεδες πλευρές, μέχρι τη τιμή για την οποία τα τόξα εφάπτονται στο μικρό άξονα του επιτροχοειδούς. Σημειώστε ότι το κέντρο της καμπυλότητας ενός τόξου εξαρτάται από την τιμή r . Όπως φαίνεται από το σχήμα 6 το r συσχετίζεται με τη γωνία θ , που υποτείνονται από το τόξο των πλευρών

$$r \sin(\theta/2) = R \sin(\pi/3) = 3^{1/2}R/2 \quad [ft | m]$$

ή

$$r/R = 3^{1/2}/[2\sin(\theta/2)] \quad [dl] \quad (1.10)$$

Κατά συνέπεια είτε η συμπεριλαμβανόμενη γωνία θ , είτε η ακτίνα καμπυλότητας r , μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν το βαθμό περιστροφής μιας πλευράς για δεδομένη ακτίνα R .



Σχήμα 6

Το διάκενο στο χώρο περιστροφής

Η πρόσθετη περιοχή που λαμβάνεται με την κάλυψη μιας πλευράς ενός τριγώνου με ένα κυκλικό τόξο καλείται κυκλικός τομέας. Το ύψος h , που παρουσιάζεται στο σχήμα 6, είναι η διαφορά μεταξύ του r και της προβολής του r πάνω στον άξονα συμμετρίας:

$$h/R = (r/R)[1 - \cos(\theta/2)] \quad [dl] \quad (1.11)$$

Αντικαθιστώντας την (1.10) στην εξίσωση (1.11) προκύπτει

$$h/R = 3^{1/2} [1 - \cos(\theta/2)] / [2\sin(\theta/2)] \quad [dl] \quad (1.12)$$

Είναι εμφανές από το σχήμα ότι η απόσταση του ρότορα με τις κυκλικές πλευρές είναι η διαφορά μεταξύ της επίπεδης πλευράς του ρότορα και του h . Κατά συνέπεια, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (1.3), η απόσταση γίνεται

$$d/R = 1/2 - 2(e/R) - 3^{1/2} [1 - \cos(\theta/2)] / [2\sin(\theta/2)] \quad [dl] \quad (1.13)$$

Στην πράξη η απόσταση είναι θετική

Προστιθέμενος όγκος ανά πλευρά λόγω περιστροφής

Η περιοχή του τομέα είναι η διαφορά μεταξύ του κυκλικού τομέα που υποτείνεται από τη συμπεριλαμβανόμενη γωνία της θ , και της εσωκλειόμενης τριγωνικής περιοχής. Η περιοχή του τομέα, ή ο όγκος ανά μονάδα πλάτους του στάτορα, είναι το μέρος του τομέα ενός κύκλου ακτίνας r , που υποτείνεται από τη γωνία θ δηλ., $\pi r^2 (\theta/2\pi) = r^2\theta/2$. Χρησιμοποιώντας κατά συνέπεια την εξίσωση (1.10), ο αδιάστατος όγκος του τμήματος είναι

$$\begin{aligned} A_s / R^2 &= (A_{\text{sec}} - A_{\text{tri}}) / R^2 = (r/R)^2(\theta - \sin \theta) / 2 \\ &= (3/8)(\theta - \sin \theta) / \sin^2\theta/2 \quad [dl] \quad (1.14) \end{aligned}$$

Κυβισμός και αναλογία συμπίεσης

Επισημάνθηκε νωρίτερα ότι ο κυβισμός του επίπεδου-πλαισιωμένου κινητήρα είναι η διαφορά μεταξύ του μεγίστου και του ελάχιστου όγκου, και δίνεται από την εξίσωση (1.8). Αυτό ισχύει επίσης για το κινητήρα με τις στρογγυλεμένες πλευρές. Ο πρόσθετος όγκος που προστίθεται στο ρότορα με τη στρογγυλοποίηση πλευρών και αφαιρείτε από τον επίπεδο-πλαισιωμένο κινητήρα, αφήνοντας τη διαφορά αμετάβλητη. Κατά συνέπεια η μετατόπιση ενός πλευρού του κινητήρα με στρογγυλεμένες πλευρές είναι:

$$\text{disp} = 3 * 3^{1/2} wR^2 (e/R) \quad [ft^3 | m^3] \quad (1.15)$$

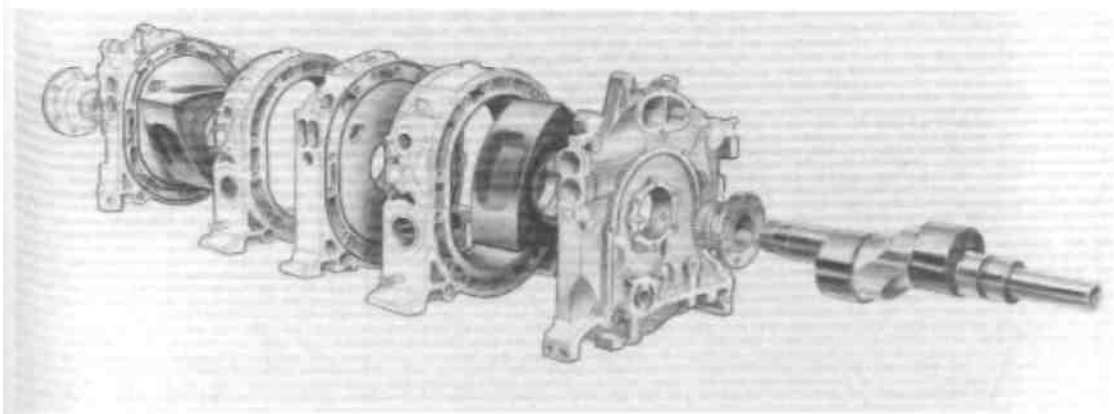
Παρομοίως ο λόγος των μέγιστων και ελαχίστων όγκων δίνεται από τις εξισώσεις (1.6) και (1.1) διορθωμένο για τον όγκο από την εξίσωση (1.14) προκύπτει μία αναλογία συμπίεσης για τον επίπεδο πλαισιωμένο κινητήρα :

$$CR = \frac{\pi [(e/R)^2 + 1/3] - 3^{1/2}/4 [1 - 6(e/R)] - A_s / R^2}{\pi [(e/R)^2 + 1/3] - 3^{1/2}/4 [1 + 6(e/R)] - A_s / R^2} \quad [dl] \quad (1.16)$$

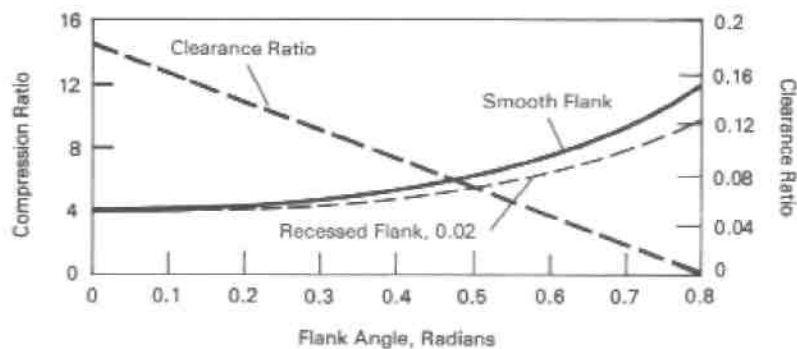
Ο προστιθέμενος όγκος του ρότορα λόγω της στρογγυλοποίησης αφαιρεί από τον επίπεδο πλαισιωμένο όγκο και επομένως μειώνει τον παρονομαστή της εξίσωσης (1.16) περισσότερο από τον αριθμητή. Κατά συνέπεια, η αναλογία συμπίεσης είναι μεγαλύτερη από το κινητήρα με στρογγυλεμένες πλευρές ρότορα απ' ό, τι για τους κινητήρες με επίπεδες πλευρές. Οι περιστροφικές μηχανές έχουν συνήθως το μέγιστο βαθμό περιστροφής σύμφωνα με τις ακριβής μηχανικές αποστάσεις.

Επίδραση του όγκου από τις κοιλότητες

Η εξίσωση (1.16) μετράει για μία κυλινδρική πλευρά και όχι την κοιλότητα που βρίσκεται στη πλευρά του ρότορα. Ο πρόσθετος καταλαμβανόμενος όγκος που συνδέεται με την κοιλότητα φαίνεται στο σχήμα 7.



Σχήμα 7



Σχήμα 8

Η επιρροή του στην αναλογία κυβισμού και συμπίεσης μπορεί να είναι αιτιολογημένη με τον ίδιο τρόπο όπως με τον όγκο τμήματος. Η κοιλότητα αυξάνει και τους ελάχιστους και μέγιστους όγκους μιγμάτων κατά το ίδιο ποσό. Επομένως δεν έχει καμία επίδραση στον κυβισμό και μειώνει την αναλογία συμπίεσης. Το σχήμα 8 παρουσιάζει την επιρροή της στρογγυλοποίησης και της υποχώρησης των αποστάσεων και την αναλογία συμπίεσης. Ενώ η υποχώρηση των πλευρών μειώνει την αναλογία συμπίεσης για τις δεδομένες τιμές θ και e/R , βελτιώνει τη μορφή του μακριού και στενού χώρου καύσης που διαμορφώνει το ελάχιστο συλλαμβανόμενο όγκο. Οι περιστροφικές μηχανές έχουν συνήθως περισσότερους από έναν σπινθηριστές, για να υπερνικήσουν τα προβλήματα καύσης που συνδέονται με αυτήν την επιμηκυμένη μορφή του χώρου καύσης.

Ήδη έχουμε επισημάνει ότι ένας κύκλος λειτουργίας ολοκληρώνεται με μία πλήρη περιστροφή του έκκεντρου άξονα. Κατά συνέπεια η ιπποδύναμη που παράγεται καθορίζεται από την μεταβολή του όγκου από την μία πλευρά του ρότορα και την περιστροφική ταχύτητα:

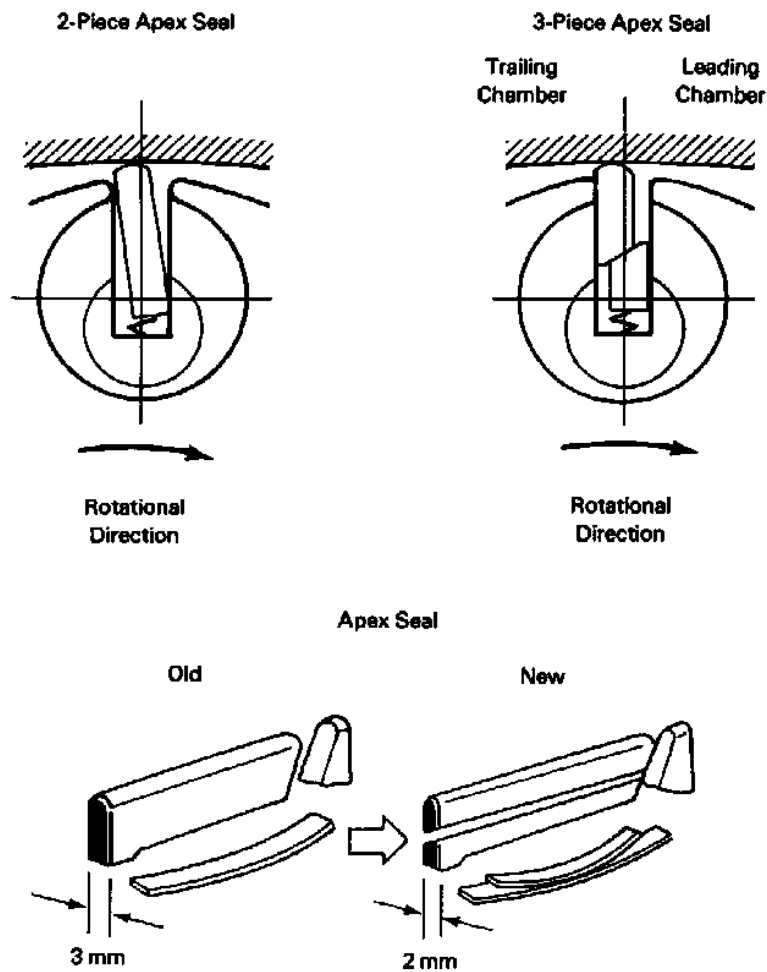
$$\text{Power} = \frac{(\text{disp} [\text{cm}^3/\text{Rev}])(\text{MEP} [\text{kN}/\text{cm}^2])(N [\text{Rev}/\text{min}])}{(60 [\text{sec}/\text{min}])(100 [\text{cm}/\text{m}])} \quad [\text{kW}]$$

ή

$$\text{Power} = \frac{(\text{disp} [\text{in}^3/\text{Rev}])(\text{MEP} [\text{lb}/\text{in}^2])(N [\text{Rev}/\text{min}])}{(12 [\text{in}/\text{ft}])(33,000 [\text{ft}\cdot\text{lb}/\text{HP}\cdot\text{min}])} \quad [\text{HP}]$$

Σχεδιασμός και απόδοση του κινητήρα Wankel

Είναι εμφανές από το σχήμα 2 ότι στο κινητήρα Wankel, το άνοιγμα και το κλείσιμο των θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής από την κίνηση των κορυφών του ρότορα εξυπηρετούν μια λειτουργία ισοδύναμη με αυτήν των μηχανικών βαλβίδων στις παλινδρομικές μηχανές. Αυτή η απλή λειτουργία του κινητήρα Wankel εξαλείφει την ανάγκη για πολλά από τα κινούμενα μέρη που απαιτούνται από τον παλινδρομικό κινητήρα, όπως τον εκκεντροφόρο άξονα, τα ωστήρια, και τις βαλβίδες. Υπάρχουν, στην πραγματικότητα, πολλά περισσότερα μέρη σε ένα παλινδρομικό κινητήρα από, τι σε ένα περιστροφικό. Η εφαρμογή των κορυφών με τις πλευρές του στάτορα είναι κρίσιμη για την αποδοτική λειτουργία του περιστροφικού κινητήρα. Οι σημαντικές διαφορές πίεσης μεταξύ των τριών ενεργών τόμων μιγμάτων ενός ρότορα στις διαφορετικές φάσεις του κύκλου Otto απαιτούν την αποδοτική στεγανοποίηση ανάλογα με τα κυλινδρικά έμβολα στον παλινδρομικό κινητήρα.



Σχήμα 9

Αυτά απαιτούνται για να αποφύγουμε τη διαρροή μεταξύ των επαπτόμενων όγκων, η οποία προκαλεί μια απώλεια συμπίεσης και δύναμης. Η τριβή έχει υπολογιστεί για να αποτελέσει περίπου 25% της περιστροφικής τριβής των κινητήρων. Τα ελατήρια τα οποία διαθέτουν σύστημα λίπανσης όπως φαίνεται στο σχήμα 9, επιτρέπουν την ολίσθηση με χαμηλή τριβή με τη καλυμμένη με κράμα χρωμίου εσωτερική επιφάνεια του στατόρα. Στο σχήμα (9) έχουμε βελτιώσεις για την επαφή των κορυφών στην εσωτερική επιφάνεια του στάτορα. Τα τρία κομμάτια που εφάπτονται, με δύο φύλλα ελατηρίων, μειώνουν τη μάζα του ελάσματος στεγανοποίησης μέσω του μειωμένου πάχους, και προσφέρει μια διαμόρφωση που προωθεί την επιφάνεια επαφής από μια γραμμή επαφής μεταξύ σφραγίσματος και ρότορα. Τα πλαϊνά ελάσματα στεγανοποίησης είναι επίσης σημαντικά για να διατηρήσουν την ακεραιότητα της συμπίεσης σε κάθε χώρο μίγματος. Οι μειώσεις του πάχους των ελασμάτων στεγανοποίησης των κορυφών και των μετώπων του στάτορα έχουν σαν αποτέλεσμα την αυξημένη κατανάλωση λαδιού και μείωση της συμπίεσης. Αν και η περιφερειακή θυρίδα εισαγωγής που παρουσιάζεται στα σχήματα 2 και 7 παρέχει την καλύτερη απόδοση κάτω από τα βαριά φορτία από μία ενιαία δευτερεύουσα θυρίδα, η επικάλυψη των θυρίδων εισαγωγή-εξαγωγή μπορεί να επιτρέψει την υπερβολική ροή των αερίων της εξάτμισης στο μίγμα, προκαλώντας κακή καύση και αργόστροφη λειτουργία. Συνεπώς, χρησιμοποιούνται μία ή περισσότερες δευτερεύουσες θυρίδες εισαγωγής, εκτός από μία περιφερειακή θυρίδα εισαγωγής, οι δευτερεύουσες θυρίδες, φυσικά, ανοίγουν και κλείνουν από την κίνηση των στροφέων. Εκτός από τη μείωση της επικάλυψης εισαγωγή-εξαγωγή στα ελαφριά φορτία, οι δευτερεύουσες θυρίδες εισαγωγής, προκαλούν επίσης την ενίσχυση της καύσης στο μίγμα αέρος-καυσίμου. Είναι εμφανές ότι ο κινούμενος όγκος καύσης κατά την διάρκεια της ανάφλεξης έχει μια μακριά και στενή πορεία διάδοσης φλογών. Οι στρογγυλεμένες πλευρές των ρότορων τοποθετούνται συνήθως για να παρέχουν μια ευρύτερη πορεία μετώπων φλογών μεταξύ των δύο λοβών του ενεργού όγκου. Οι δύο σπινθηριστές ανά στάτορα, ο στροβιλισμός που προκαλείται από τις δευτερεύουσες θυρίδες εισαγωγής και τις πολλαπλές θυρίδες, η συμπίεση που

παράγεται από την σχετική κίνηση των τοιχωμάτων του ενεργού όγκου, η έγχυση καυσίμων και ο σχεδιασμός των τοιχωμάτων του στάτορα μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της διαδικασίας καύσης. Όπως φαίνεται στο σχήμα 7 ένα σύστημα οδοντωτών τροχών είναι συνδεδεμένο με το ρότορα. Αυτός ο οδοντωτός τροχός εμπλέκεται με ένα στερεωμένο οδοντωτό τροχό στο πλαϊνό καπάκι του κινητήρα. Η λειτουργία αυτών των γραναζιών είναι να περιστραφεί ο ρότορας αξονικά και να μην διαβιβάσει τη ροπή. Η ροπή κινητήρων, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, διαβιβάζεται από την άμεση επαφή των δυνάμεων επιφάνειας μεταξύ του ρότορα και του έκκεντρου άξονα.

Περιστρεφόμενα μπουζί

Που βρισκόταν το πρόβλημα με τον DKM; Μα πού αλλού παρά στο γεγονός ότι τα μπουζί (τρία τον αριθμό, ένα σε κάθε πλευρά του τριγωνικού ρότορα) έπρεπε να είναι βιδωμένα πάνω στον ίδιο το ρότορα, και, φυσικά, να περιστρέφονται μαζί του! Όπως καταλαβαίνουμε όμως, για κάθε αλλαγή μπουζί, έπρεπε να αποσυναρμολογείται ολόκληρος ο κινητήρας κι αυτή ακριβώς ήταν η αιτία που έκανε τον DKM να κριθεί απαράδεκτος ως «κινητήρας παραγωγής».

Αυτό βέβαια δεν εμπόδισε τον Felix να πιστεύει, μέχρι τέλους του βίου του, ότι η σωστή θέση για το μπουζί του κινητήρα του δεν ήταν ο στάτορας αλλά ο ρότορας - αρκούσε, απλά, να βρει έναν τρόπο ώστε το ρεύμα υψηλής τάσης να φτάνει σε αυτά τα μπουζί μέσα από έναν αξιόπιστο δρόμο. Και την ιδανική στιγμή βέβαια...

Όσο κι αν φαίνεται παράξενο, ο Felix Wankel ποτέ δεν συμπάθησε τον KKM (κατασκευασμά του ήταν, άλλωστε, κι αυτός - και μάλιστα τον είχε κάνει και πολυεκατομμυριούχο!). Κι η μόνη αιτία αυτής του της αποστροφής, ήταν το γεγονός ότι τα μπουζί του KKM είναι ακίνητα, βιδωμένα πάνω στην περιφέρεια του στάτορα.

Ο λόγος, απλός. Κάθε φορά που μία από τις ακμές (apex) του τριγωνικού πρίσματος του ρότορα περνά μπροστά από την κοιλότητα της οπής των σπινθηριστών, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διακόπτεται, έστω και για ελάχιστο χρονικό διάστημα, η στεγανότητα μεταξύ των δύο διαδοχικών θαλάμων που διαχωρίζονται από το ελατήριο του apex. Για να περιοριστεί αυτό το πρόβλημα (με τα μπουζί της εποχής εκείνης) έπρεπε, κατ' αρχήν, το ακίνητο μπουζί να βρίσκεται μέσα σε ένα

χωριστό θάλαμο - κάτι σαν τον προθάλαμο καύσης των diesel παλαιάς σχεδίασης. Στη συνέχεια, ο «προθάλαμος» αυτός του μπουζί έπρεπε να επικοινωνεί με τον κυρίως θάλαμο καύσης μέσω ενός ανοίγματος όσο γίνεται μικρότερης διαμέτρου, ώστε ο χρόνος διέλευσης του ελατηρίου από μπροστά του (και η διάρκεια «μη-στεγάνωσης») να εκμηδενίζεται, πρακτικά.

Κάτι τέτοιο, όμως, είχε ως αποτέλεσμα την τοπική συσσώρευση καυσαερίων, την υπερθέρμανση και, τελικά, την εμφάνιση ρωγμών στο χυτό του κορμού του κινητήρα (μιλάμε για δεκαετία του 70, όπου η μεταλλουργία δεν διέθετε και πολλές εναλλακτικές λύσεις, όπως σήμερα)

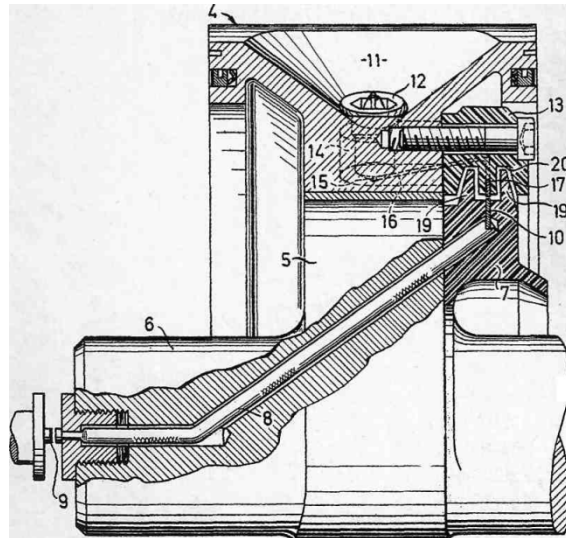
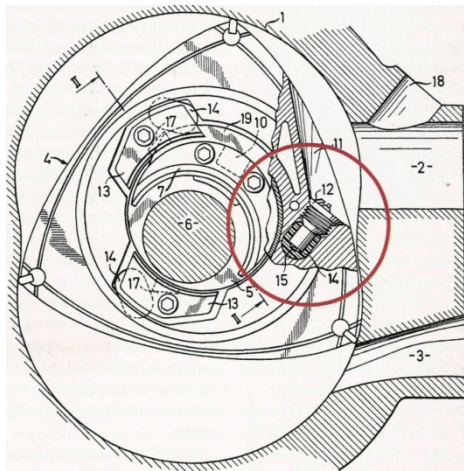
Δεν ήταν όμως μόνο αυτός ο πονοκέφαλος των τεχνικών της εποχής.

Πέρα από το πρόβλημα της στιγμιαίας διακοπής της στεγάνωσης μεταξύ των θαλάμων, που προκαλούσε η θέση του μπουζί στον στάτορα, υπήρχε κι ένα άλλο πρόβλημα, του οποίου τα αποτελέσματα ήταν ορατά εκείνη την εποχή. Είπαμε ότι το μπουζί έπρεπε να βρίσκεται μακριά από το κέντρο του θαλάμου καύσης, ώστε να μην εμποδίζεται η διέλευση του ρότορα από την παρουσία του. Αυτό σήμαινε ότι ο σπινθήρας από το μπουζί προσπαθούσε να επιβιώσει μέσα στο οριακό στρώμα του «περιστρεφόμενου και συμπιεζόμενου» μίγματος μια περιοχή όπου η ποιότητα του μίγματος ήταν ό,τι χειρότερο (λόγω της έλλειψης στροβιλισμού), όταν ο οδηγός δεν πατούσε το γκάζι ως το τέρμα. Το αποτέλεσμα ήταν η «ασταθής καύση», ένα φαινόμενο παραπλήσιο με την «ασυνεχή λειτουργία» των δίχρονων κινητήρων όταν λειτουργούν υπό καθεστώς μερικού φορτίου.

Αυτοί, ακριβώς, ήταν κι οι λόγοι που ο Felix Wankel, το 1974, πρότεινε την επαναφορά των μπουζί στον ρότορα (όπως είχε κάνει και με τον DKM, 20 χρόνια πριν) έτσι ώστε αυτά να μπορούν, ανεμπόδιστα, να «εξέχουν» από το τοίχωμα του θαλάμου καύσης διασφαλίζοντας μία υψηλή αξιοπιστία στην καύση του μίγματος.

Σχεδίασε μάλιστα και τον τρόπο που το ρεύμα υψηλής τάσης θα έφτανε στα περιστρεφόμενα αυτά μπουζί - και στην ουσία αυτό που έκανε ήταν να μετατρέψει, για μιαν ακόμη φορά, τον ίδιο τον ρότορα σε διανομέα!

Φυσικά, κανείς δεν υιοθέτησε την πρόταση του αυτή, καθώς προτιμήθηκε η απλούστερη αλλά και ατελέστερη ως προς το αποτέλεσμα λύση των διπλών ακίνητων μπουζί στο «χώρου καύσης» του στάτορα και η ενίσχυση του συστήματος ανάφλεξης.



Μετατροπή σε Diesel

Σε όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του '60, ο βενζινοκινητήρας Wankel είχε να αντιμετωπίσει μια αποδοκιμαστική κριτική για την αυξημένη κατανάλωση του. Σε αντίθεση όμως με τον παλινδρομικό, ο περιστροφικός αυτός κινητήρας δεν είχε τη δυνατότητα να λειτουργήσει σε κύκλο diesel, ώστε να μπορεί να επιβιώσει στην περίπτωση που υλοποιούνταν οι φόβοι εκείνης της εποχής, σχετικά με τα αποθέματα της γης σε ορυκτά καύσιμα και την κινδυνολογία για απότομη άνοδο της τιμής της βενζίνης.

Ο Felix Wankel είχε κάθε λόγο να προσπαθεί να μετατρέψει τον κινητήρα του (και ειδικά τον KKM) ώστε να μπορεί να λειτουργήσει και σε κύκλο Diesel. Δύο όμως ήταν, κατ' αρχήν, τα ανυπέρβλητα - για την εποχή εκείνη - εμπόδια που έπρεπε να αντιμετωπίσει.

Το πρώτο ήταν η «γεωμετρική» αδυναμία ανάπτυξης της αναγκαίας - για diesel - σχέσης συμπίεσης, μεταξύ ρότορα και στάτορα. Και αν δούμε το πρόβλημα ανάποδα, ο "diesel Wankel είχε να

αντιμετωπίσει και την (επίσης εκπορευόμενη από «γεωμετρικά» αίτια) περιορισμένη σχέση εκτόνωσης, που είχε ως αποτέλεσμα τον δραματικά μικρότερο βαθμό απόδοσης (Σε σύγκριση, πάντα, με τον παλινδρομικό πετρελαιοκινητήρα).

Αλλά και αυτή η περιορισμένη σχέση εκτόνωσης δεν είχε ως αποτέλεσμα μόνο τα «λιγότερα άλογα - θερμότερα καυσαέρια». Τα πράγματα ήταν ακόμα χειρότερα, καθώς ο ανεπαρκής χρόνος και χώρος εκτόνωσης των αερίων της καύσης είχε ως αποτέλεσμα, εν τέλει, τη μη ολοκληρωμένη καύση και την αυξημένη περιεκτικότητα των καυσαερίων σε ρύπους.

Η λύση που έδωσε ο Felix Wankel, το 1970, ήταν βασισμένη στα δεδομένα της εποχής εκείνης όπου, για όσους θυμούνται, οι στροβιλοσυμπιεστές των κινητήρων diesel δεν είχαν ακόμα γνωρίσει τη σημερινή τους εμπορική ανάπτυξη. Έτσι, ο περιστροφικός πετρελαιοκινητήρας του Wankel έπρεπε, υποχρεωτικά, να διαθέτει ένα μηχανικό υπερσυμπιεστή, κινούμενο από τον κινητήρα, που θα αναλάμβανε την αρχική συμπίεση του αέρα, μέχρι ένα βαθμό. Στη συνέχεια, ο προσυμπιεσμένος αυτός αέρας θα διοχετευόταν στο εσωτερικό του κινητήρα για το δεύτερο βαθμό συμπίεσης, πριν από την έγχυση του πετρελαίου.

Πώς μπορούν, όμως, να συνδυαστούν όλα αυτά σε μία ενιαία μονάδα που να χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη δυνατή απλότητα και το ελάχιστο βάρος;

Ο Felix Wankel έδωσε μία λύση που, αν μη τι άλλο, χαρακτηρίζεται από «μηχανική κομψότητα».

Κατ' αρχήν, ο ρότορας που διάλεξε για τον κινητήρα του, ήταν «τετράγωνος» - σε αντίθεση με τον «τρίγωνο» που, μέχρι τότε, χρησιμοποιούσε στους βενζινοκινητήρες του. Αντίστοιχη ήταν κι η διαφορά στο εσωτερικό επιτροχοειδές του στάτορα, πάνω στο οποίο ολίσθαιναν τα ελατήρια των τεσσάρων (apex) του ρότορα: το σχήμα του, τώρα, είχε τρεις «λοβούς», αντί για τους δύο του βενζινοκινητήρα.

Δίπλα ακριβώς από το τοίχωμα του κινητήρα, τοποθέτησε τον περιστροφικό συμπιεστή, του οποίου ο ρότορας (δύο κορυφών) είχε, όπως και ο κινητήρας, επιτροχοειδή κίνηση μέσα στον «μονού λοβού» θάλαμο του.

Κινητήρας και συμπιεστής κινούνταν ταυτόχρονα, από τον ίδιο άξονα, χωριζόμενοι μεταξύ τους από ένα τοίχωμα. Μία θυρίδα, πάνω σε αυτό το τοίχωμα, επέτρεπε την επικοινωνία των δύο χώρων, την κατάλληλη στιγμή, ώστε το τέλος της συμπίεσης στο εσωτερικό του συμπιεστή να ταυτίζεται, περίπου, με την έναρξη της εισαγωγής στον κινητήρα. Αξιοσημείωτο είναι, επίσης, το γεγονός ότι οι δύο αυτοί ρότορες ήταν προσαρμοσμένοι στον κινητήριο άξονα έτσι ώστε να έχουν, μεταξύ τους, μια διαφορά φάσης περίπου 180°. Με τον τρόπο αυτόν, διασφαλιζόταν και η στατική ζυγοστάθμιση τους.

Επιστροφή τώρα στον περιστροφικό πετρελαιοκινητήρα, όπου, μέχρι στιγμής, τα πράγματα δείχνουν «ευφυή, πλην όμως αναμενόμενα».

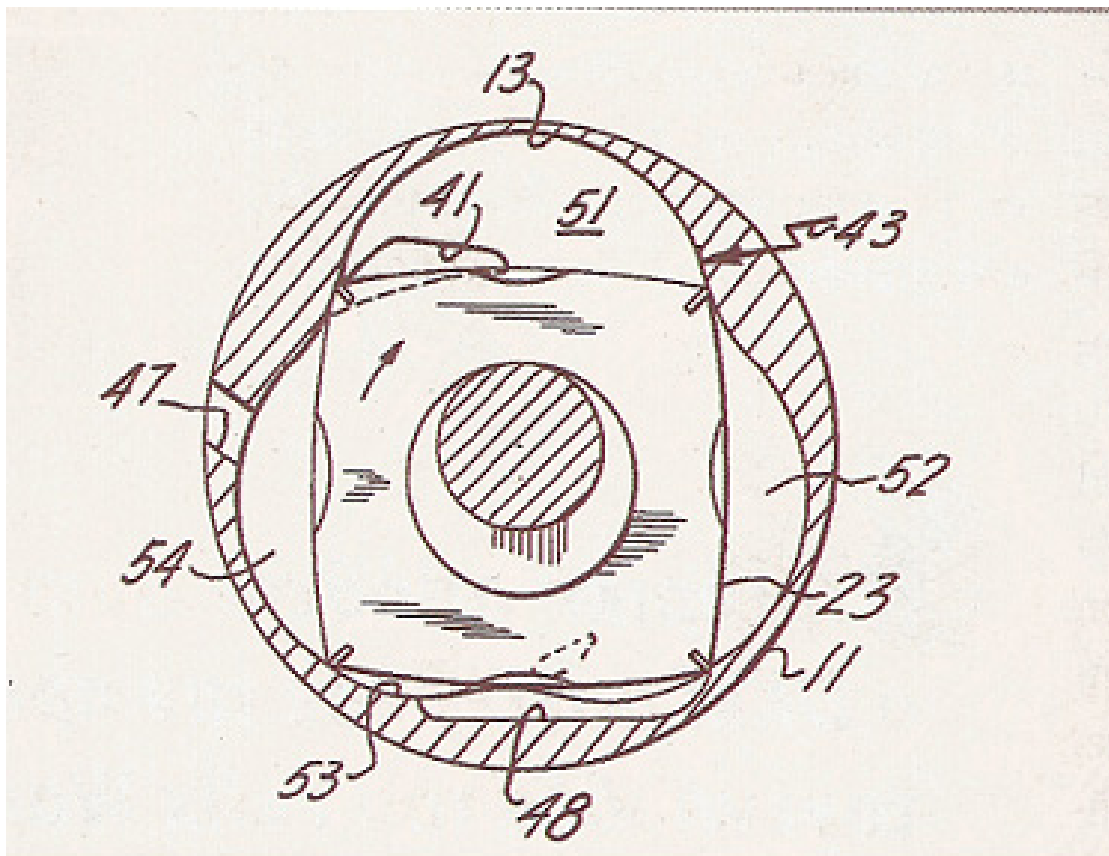
Εκεί που έγινε φανερό το υψηλό IQ του Felix Wankel, ήταν στον τρόπο που επινόησε για να αυξήσει το χρόνο εκτόνωσης, προκειμένου να «απομυζήσει» από τα αέρια της καύσης το μέγιστο δυνατό έργο.

Όπως μπορούμε να δούμε και στα σχέδια, αυτό που έκανε ήταν να «σκάψει», σε ένα στρατηγικά επιλεγμένο σημείο του σώματος του στάτορα, μία δίοδο διαφυγής. Με τον τρόπο αυτόν, τα αέρια της καύσης, μετά την ολοκλήρωση της «αρχικής εκτόνωσης» τους, είχαν τη δυνατότητα να περάσουν στο χώρο του προπορευόμενου θαλάμου και να συνεχίσουν εκεί την υπόλοιπη εκτόνωση τους, μέχρι να αποκαλυφθεί η θυρίδα εξαγωγής! Από τη στιγμή που άνοιγε η θυρίδα εξαγωγής, αποκαλυπτόταν, ταυτόχρονα, και μία βοηθητική θυρίδα εισαγωγής φρέσκου αέρα στο θάλαμο εκτόνωσης. Με τον τρόπο αυτόν, γινόταν μια αποτελεσματικότερη «σάρωση» των καυσαερίων ενώ δινόταν κι η ευκαιρία να αρχίσουν να οξειδώνονται και όσοι υδρογονάνθρακες εξακολουθούσαν να παραμένουν «άκαυτοι». Κάτι ανάλογο, δηλαδή, με τα αντίστοιχα συστήματα που έχουν πολλές σύγχρονες μοτοσυκλέτες για τον «εμπλουτισμό» των καυσαερίων τους με αέρα, στην αρχή της πολλαπλής εξαγωγής. Μόνο που, στην περίπτωση του Wankel, η διαδικασία αυτή γινόταν σε μια πιο «καίρια» χρονική στιγμή, στο εσωτερικό του κινητήρα.

Αν ζούσε ο Felix Wankel μέχρι σήμερα, το σίγουρο είναι ότι θα είχε τοποθετήσει και μία «ηλεκτρονική πεταλούδα» στη βοηθητική αυτή θυρίδα, ώστε να μπορεί να ελέγξει απόλυτα το ποσοστό

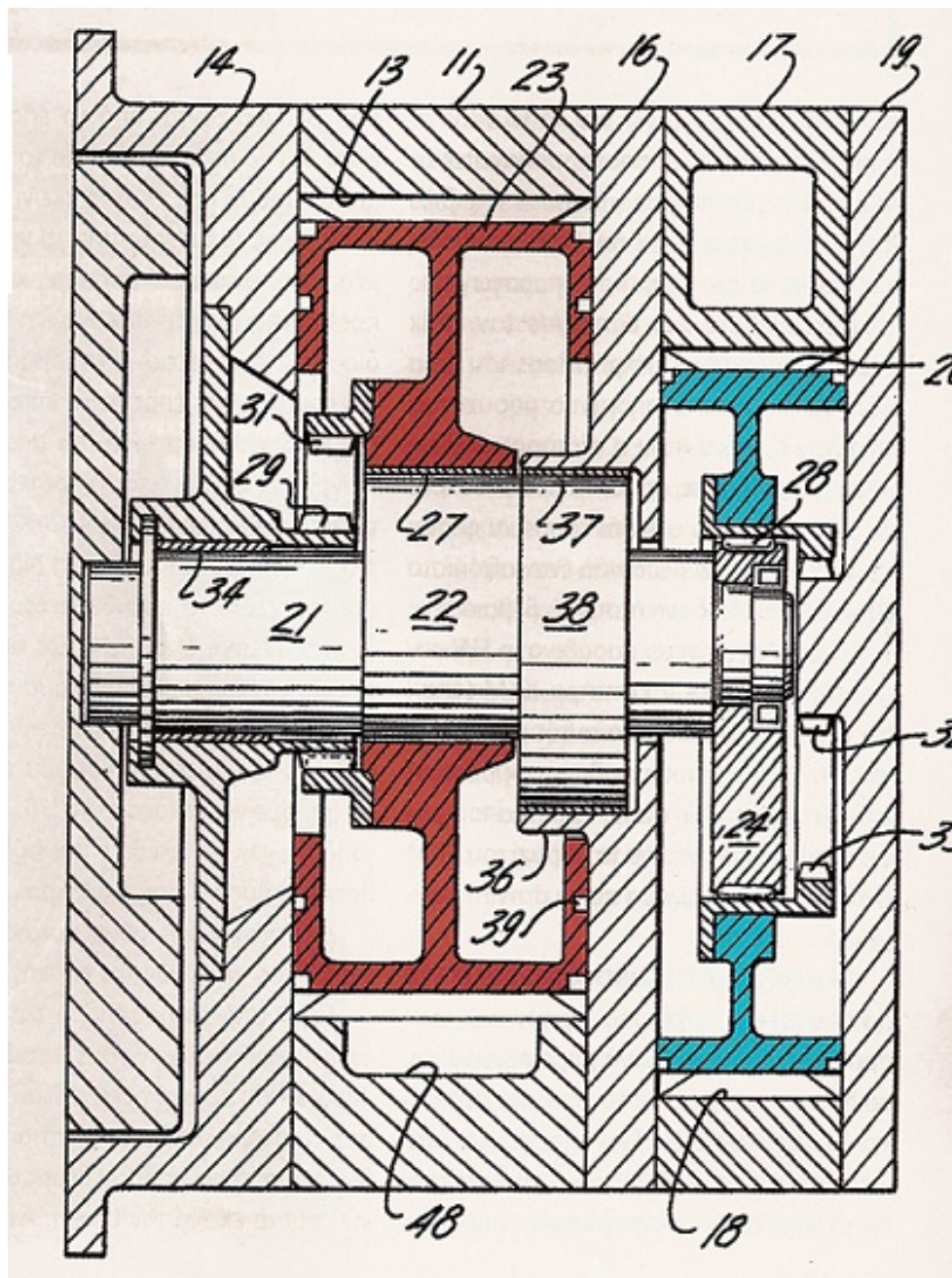
καυσαερίων που θα παρέμεναν στους θαλάμους του, για τον επόμενο κύκλο, καθώς το «εσωτερικό EGR» είναι η τεχνολογία που προβλέπεται να κυριαρχήσει, όσον αφορά τον έλεγχο των εκπομπών. (Και βέβαια, δεν μπορούμε να φανταστούμε πόσο θα είχε «προχωρήσει» τον κινητήρα αυτόν ο Felix Wankel, αν είχε στη διάθεση του και όλες αυτές τις απίστευτες δυνατότητες που προσφέρουν τα σύγχρονα συστήματα (Common Rail).

Περιστροφικός κινητήρας Diesel



Ο τετράγωνος ρότορας του κινητήρα diesel, η στρατηγική θέση του ακροφύσιου άμεσου ψεκασμού (43) και η πλευρική θυρίδα (41) επικοινωνίας με το χώρο του συμπιεστή. Η έξοδος των καυσαερίων γίνεται από την περιφερειακή θυρίδα (47), ενώ το κοίλωμα (48) είναι η παράκαμψη μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η παράταση του χρόνου εκτόνωσης. Στο θάλαμο (51) γίνεται η

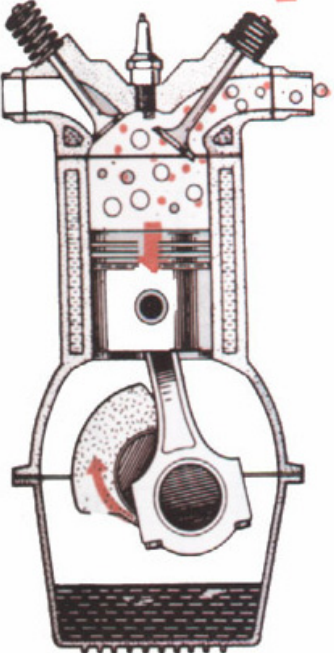
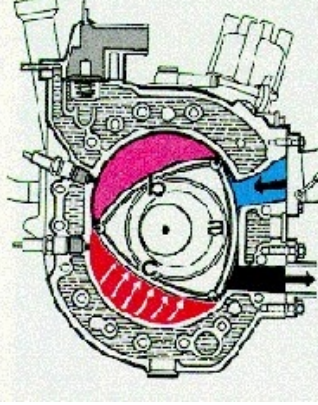
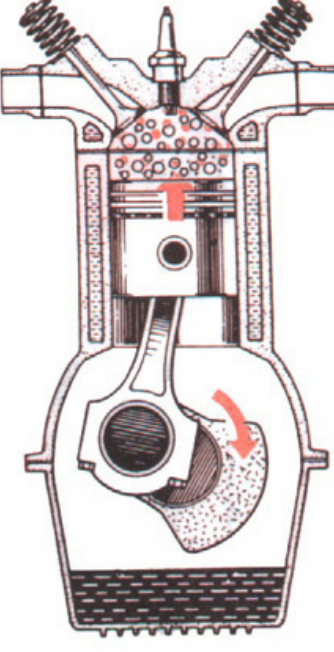
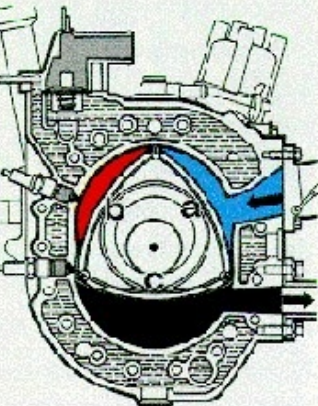
εισαγωγή, η συμπίεση και η καύση. Στο θάλαμο (52) η πρώτη φάση της εκτόνωσης των αερίων. Στο θάλαμο (53) η παράταση της εκτόνωσης και στο θάλαμο (54) η εξαγωγή των καυσαερίων.

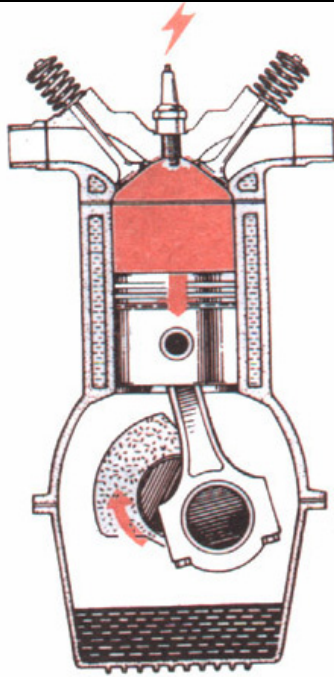


Για να μετατρέψει το 1970 τον (τύπου KKM) κινητήρα του σε diesel, το πρώτο που έκανε ο Felix Wankel ήταν να τοποθετήσει, δίπλα-δίπλα έναν ρότορα κινητήρα (23-κόκκινο χρώμα) και έναν

ρότορα συμπιεστή (26-μπλε χρώμα) παρεμβάλλοντας ανάμεσά τους ένα στεγανό χώρισμα (16). Πάνω σε αυτό το χώρισμα τοποθέτησε μία θυρίδα η οποία αποκαλυπτόταν, σε μια συγκεκριμένη στιγμή, επιτρέποντας τη παροχέτευση συμπιεσμένου αέρα από το χώρο του συμπιεστή στο χώρο του κινητήρα.

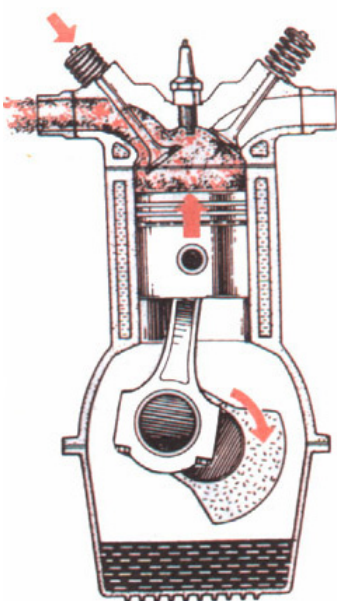
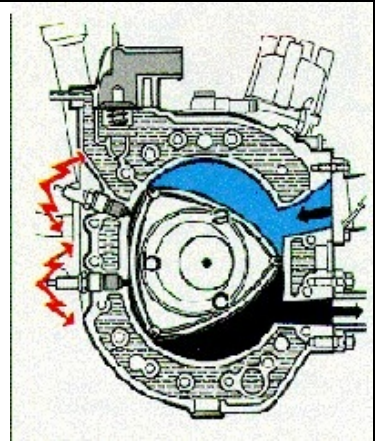
Διαφορές Στη Λειτουργία

Έμβολοφόρος	Περιγραφή	Περιστροφικός
	<p>Εισαγωγή</p> <p>Εισαγωγή δημιουργείται όταν υπάρχει ένας χώρος με επεκτεινόμενο όγκο και επικοινωνεί με την εισαγωγή του κινητήρα. Στον έμβολοφόρο κινητήρα, έχουμε εισαγωγή όταν η βαλβίδα εισαγωγής είναι ανοικτή και το έμβολο κινείται προς τα κάτω. Η εισαγωγή σε έναν περιστροφικό κινητήρα πραγματοποιείται όταν αποκαλύπτονται οι θυρίδες εισαγωγής από την ακμή του ρότορα, καθώς αυξάνεται ο όγκος του χώρου εισαγωγής.</p>	
	<p>Συμπίεση</p> <p>Ένας κλειστός χώρος που ο όγκος του μειώνεται περιγράφει τον κύκλο συμπίεσης. Μια μηχανή εμβόλων είναι στη φάση της συμπίεσης όταν κλείνουν οι βαλβίδες και το έμβολο κινείται προς τα πάνω. Η συμπίεση επιτυγχάνεται σε έναν περιστροφικό κινητήρα από τη στιγμή που η ακμή του ρότορα ξεκινάει να κλείνει τη θυρίδα εισαγωγής και το μίγμα συμπιέζεται στο κλειστό χώρο του στάτορα.</p>	



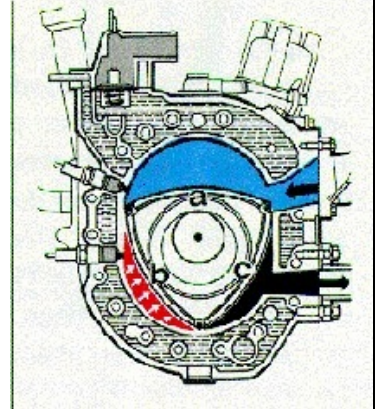
Καύση

Ο κύκλος καύσης αρχίζει όταν το συμπιεσμένο μίγμα εισαγωγής αναφλέγεται από τον σπινθήρα. Το αέριο επεκτείνεται όπως θερμαίνεται από την καύση του μίγματος. Η μηχανή παίρνει τη δύναμή της με την εκμετάλλευση αυτού του αναφλεγόμενου αερίου. Σε μια συμβατική μηχανή, αυτή η δύναμη ωθεί το έμβολο προς τα κάτω γυρίζοντας το στροφαλοφόρο άξονα. Σε μια περιστροφική μηχανή, αυτή η δύναμη ωθεί το ρότορα σε μια κατεύθυνση που επεκτείνει τον χώρο που περιέχει το αναφλεγόμενο μίγμα. Αυτή η διαδικασία περιστρέφει τον έκκεντρο άξονα.



Εξαγωγή

Ο κύκλος εξαγωγής αποβάλλει τα προϊόντα της καύσης προετοιμάζοντας το κινητήρα για έναν άλλο πλήρη κύκλο. Αυτό επιτυγχάνεται σε μια συμβατική μηχανή με το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής δεδομένου ότι η ορμή φέρνει το έμβολο προς τα πάνω. Σε έναν περιστροφικό κινητήρα, η εξαγωγή επιτυγχάνεται όταν η ακμή του ρότορα αποκαλύπτει τη θυρίδα εξαγωγής



Πλεονεκτήματα:



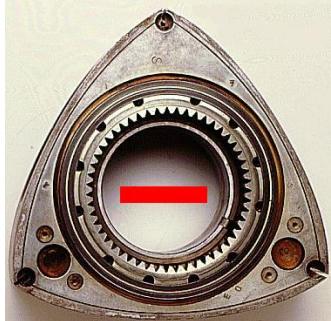
Το βασικό πλεονέκτημα των περιστροφικών κινητήρων είναι η παραγωγή ιπποδύναμης. Όταν η μηχανή Wankel συγκρινόμενη με την κλασική μηχανή εμβόλων από άποψη ιπποδύναμης, η μηχανή Wankel είναι απολύτως καλύτερη. Οι κυβισμός των περιστροφικών μηχανών φαίνεται μικρός όταν συγκρίνεται με τις μηχανές εμβόλων παρόμοιας δύναμης. Στην πραγματικότητα, μετριέται με τον ίδιο τρόπο. Σε μια μηχανή εμβόλων, είναι ο χώρος που σαρώνετε από τα έμβολα. Ο κυβισμός του περιστροφικού κινητήρα εξάγεται από το άθροισμα της διαφοράς του ελάχιστου από το μέγιστο όγκο που σχηματίζεται σε κάθε χρόνο λειτουργίας από τη μία πλευρά του ρότορα. Ο ρότορας περιστρέφεται στο ένα τρίτο της ταχύτητα του έκκεντρου άξονα, και αυτός είναι ο λόγος που χρησιμοποιούμε στον υπολογισμό τη μεταβολή του όγκου που προκαλείτε από τη μία μόνο πλευρά του ρότορα. Η διαφορά στη ιπποδύναμη οφείλεται στο γεγονός ότι η περιστροφική μηχανή για κάθε περιστροφή του έκκεντρου άξονα παράγει ολόκληρη τη δύναμη της ενώ στη μηχανή εμβόλων για να παραχθεί ολόκληρη η δύναμη απαιτούνται δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα. Γι αυτό το λόγο αν συγκρίνουμε δύο μηχανές με τον ίδιο κυβισμό η περιστροφική μηχανή θα έχει περίπου τη διπλάσια ιπποδύναμη.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα σε αυτήν την μηχανή είναι η απλότητα κατασκευής. Έχει λιγότερα κινούμενα μέρη από τη μηχανή εμβόλων. Σε μια κοινή μηχανή υπάρχουν βαλβίδες, ελατήρια βαλβίδων, ζύγοθρα, ωστήρια, εκκεντροφόρος άξονας και διωστήρες. Όλα αυτά τα μέρη είναι απόντα στην περιστροφική μηχανή. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα επειδή δεν υπάρχουν τόσο πολλά μέρη που μπορούν να χαλάσουν και μειώνεται αισθητά το βάρος του κινητήρα.

Επίσης ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η ομαλή λειτουργία γιατί όλα τα κινούμενα μέρη στον περιστροφικό κινητήρα, κινούνται συνεχώς προς μία και μοναδική διεύθυνση και δεν αλλάζουν απότομα διεύθυνση κίνησης, όπως κάνουν π.χ. τα έμβολα στους κλασικούς παλινδρομικούς κινητήρες. Επίσης οι περιστροφικοί κινητήρες, κάνοντας χρήση αντίβαρων επιτυγχάνουν απόλυτη αντιστάθμιση των έκκεντρα κινούμενων μαζών, μηδενίζοντας όλων των ειδών τους κραδασμούς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την ομαλότερη και αθόρυβη λειτουργία των κινητήρων χωρίς ίχνος παλινδρομήσεων και κραδασμών.

Το τελευταίο πλεονέκτημα είναι ότι στις μηχανές εμβόλων επειδή έχουμε επαφή των μετάλλων του εμβόλου με τον κύλινδρο σε κάποιο πιθανό πρόβλημα ψύξης το μέταλλο του εμβόλου θερμαίνεται και διαστέλλεται κάνοντας τις επιφάνειες επαφής να σφίξουν με πιθανότητα το έμβολο να φρακάρει στον κύλινδρο. Αυτό δεν είναι πρόβλημα για την περιστροφική μηχανή. Ο λόγος είναι ότι δεν υπάρχει καμία επαφή μέταλλο με μέταλλο. Ο ρότορας είναι σίδηρος ενώ ο στάτορας είναι αργίλιο. Έχει εξεταστεί ότι ανεξάρτητα από το πόσο ζεστή είναι η μηχανή, ο ρότορας δεν θα φρακάρει ποτέ στον στάτορα.

Μειονεκτήματα - Κατασκευαστικά Προβλήματα



Βασικό μειονέκτημα του περιστροφικού κινητήρα Wankel είναι η ρυπογόνος λειτουργία του. Λόγω της ταχύτατης περιστροφής του ρότορα και της απουσίας βαλβίδων στις θυρίδες, δεν επιτυγχάνεται τέλεια διαχείριση του μίγματος. Έτσι δεν πραγματοποιείται τέλεια καύση, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αρκετών ρυπογόνων ουσιών. Ωστόσο στα τελευταία εξελιγμένα μοντέλα του περιστροφικού κινητήρα, έχουν αντιμετωπιστεί με τη βοήθεια καταλυτών τα περισσότερα από τα προβλήματα αυτά.

Ένα άλλο μειονέκτημα του κινητήρα αυτού, είναι το μεγάλο κόστος κατασκευής. Παρά λοιπόν το γεγονός πως ο αριθμός των κινουμένων μερών του κινητήρα είναι μικρός, το κόστος κατασκευής παραμένει υψηλό, λόγω των ελάχιστων κινητήρων που κατασκευάζονται συνολικά, σε σχέση με τους κλασικούς παλινδρομικούς εμβολοφόρους κινητήρες.

Τέλος, οι περιστροφικοί κινητήρες εμφανίζουν και το πρόβλημα της αυξημένης κατανάλωσης σε σχέση με τους παλινδρομικούς. Αυτό συμβαίνει λόγω της χαμηλότερης θερμοδυναμικής απόδοσης που παρουσιάζουν. Η διαφορά αυτή στη θερμοδυναμική απόδοση των δυο κινητήρων οφείλεται κυρίως στο μεγάλο μήκος του θαλάμου καύσης του περιστροφικού κινητήρα. Το σχήμα εξάλλου του θαλάμου καύσης στους κινητήρες Wankel δεν είναι ιδανικό ως προς την πλήρη εκμετάλλευση των προωστικών δυνάμεων των καυσαερίων. Δηλαδή ένα ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας χάνεται καθώς τα αέρια πιέζουν τον ρότορα προς διάφορες κατευθύνσεις. Επίσης, η κατασκευή του περιστροφικού κινητήρα δεν επιτρέπει την επίτευξη υψηλών τιμών συμπίεσης, η οποία είναι ανάλογη της απόδοσης.

Βιβλιογραφία:

1. Cole, David E. "The Wankel Engine," (1972)
2. Ansdale, R. F., "*The Wankel R C Engine*. (1969).
3. Yamamoto, Kenichi, "*Rotary Engine*" (1981).
4. Weston, Kenneth C. "Computer Simulation of a Wankel Rotary Engine—Analysis and Graphics." (1986)
5. Weston, Kenneth C., "Computerized Instruction in the Design of the Wankel Rotary Engine." (1988).
6. Fujimoto "Present and Prospective Technologies of Rotary Engine." (1987).
7. Mount, Robert E., and LaBouff, Gary A., "Advanced Stratified-Charge Rotary Engine Design." (1989).
8. Jost, Kevin "Global Concepts—Mazda RX—Evolv" (2000)
9. Περιοδικό τεχνολογίας R&D
10. Πηγές στο Διαδίκτυο