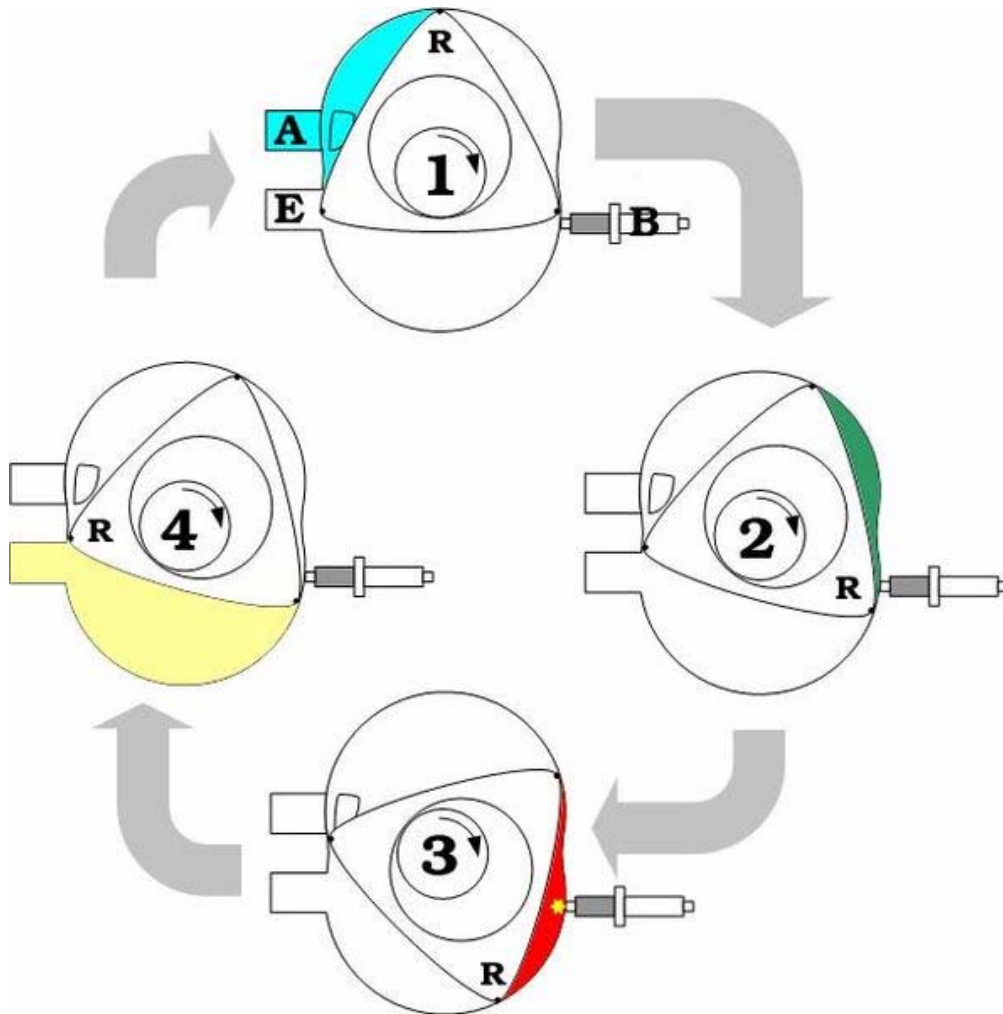


**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ WANKEL

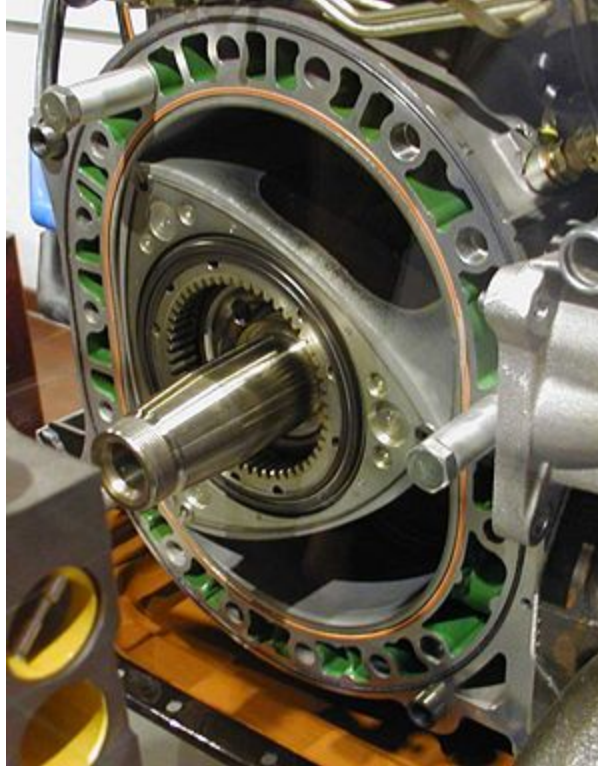
ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΑΓΓΕΛΙΔΑΚΗΣ ΜΑΡΙΟΣ

ΣΕΡΡΕΣ 2013

ΓΕΝΙΚΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

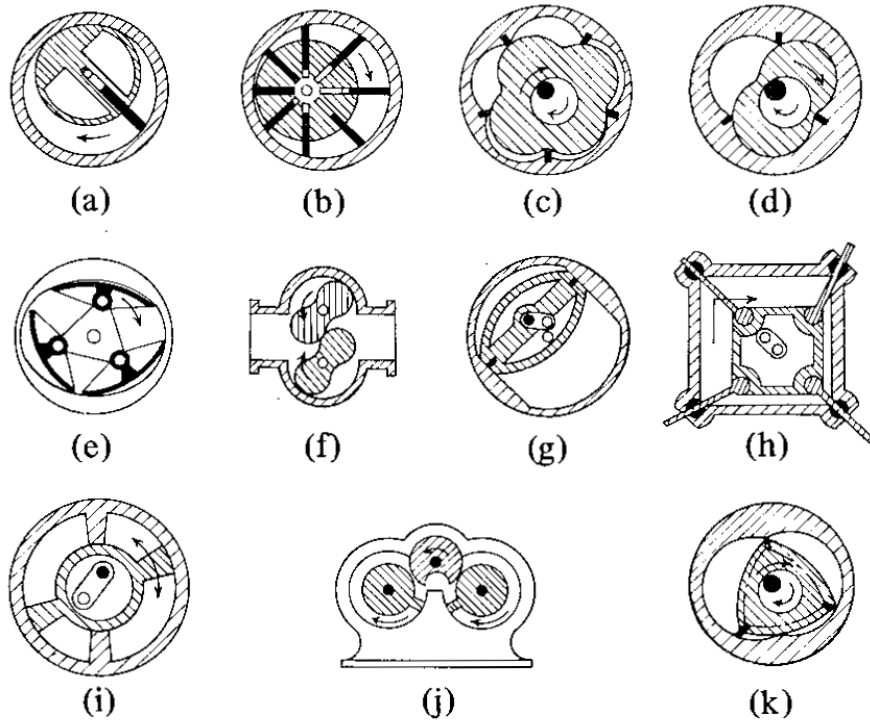
Wankel κινητήρα



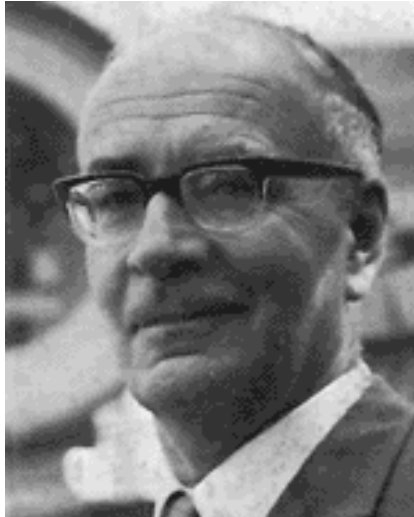
Wankel κινητήρας στο Deutsches Museum του Μονάχου, Γερμανία.

Ήδη το 1636, στη Γερμανία σχεδιάστηκε μια περιστροφική αντλία, η οποία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην πράξη περίπου 150 χρόνια αργότερα στην ατμομηχανή του Watt. Δυστυχώς οι βασικές δυσκολίες δεν μπορούσαν να επιλυθούν εκείνη τη στιγμή. Τα τμήματα των εν λόγω περιστροφικών κινητήρων / αντλίες δεν μπορούσαν να είναι στεγανά, και η αποτελεσματικότητα των εν λόγω περιστροφικών κινητήρων / αντλίες ήταν κατά πολύ χειρότερη από ό, τι αυτή των κινητήρων με έμβολα. Πολλοί μηχανικοί προσπάθησαν μάταια να λύσουν αυτά τα προβλήματα αλλά έμοιαζε αδύνατο να αναπτυχτεί ένας περιστροφικός κινητήρας.

Οι περιστροφικοί κινητήρες μπορούσαν να κατασκευαστούν, σε αντίθεση με τους εμβολοφόρους κινητήρες σε πιο απλή και συμπαγής μορφή και σε τεράστια ποικιλία. Τα τροχοειδής κομμάτια τους επιτρέπουν μια μεγάλη επιλογή των σχημάτων. Ορισμένα από αυτά λειτουργούν σε κατάλληλο τετράχρονου κύκλου με συμπίεση. Οι θεωρητικά δυνατές μηχανές δεν λειτουργούσαν στην πράξη.



Διάφοροι τύποι περιστροφικών κινητήρων-αντλιων

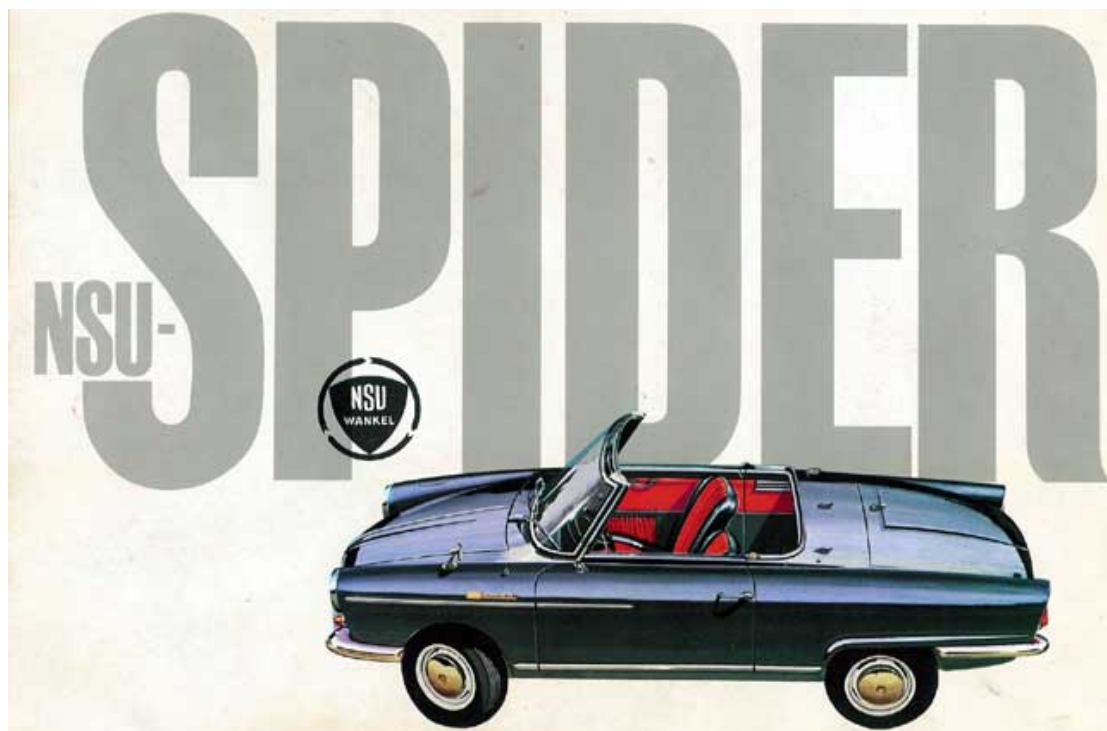


Felix Wankel
(1902 - 1988)

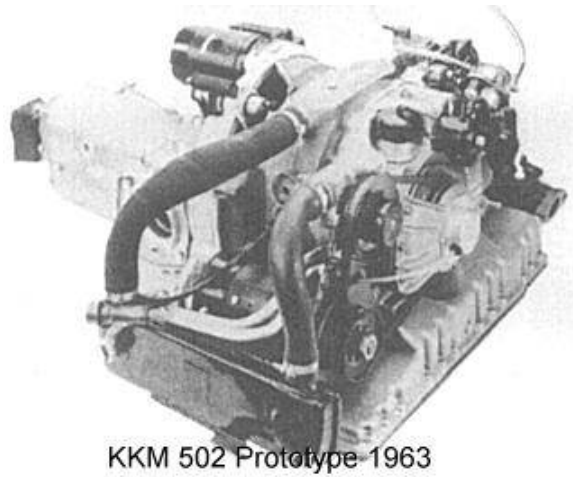
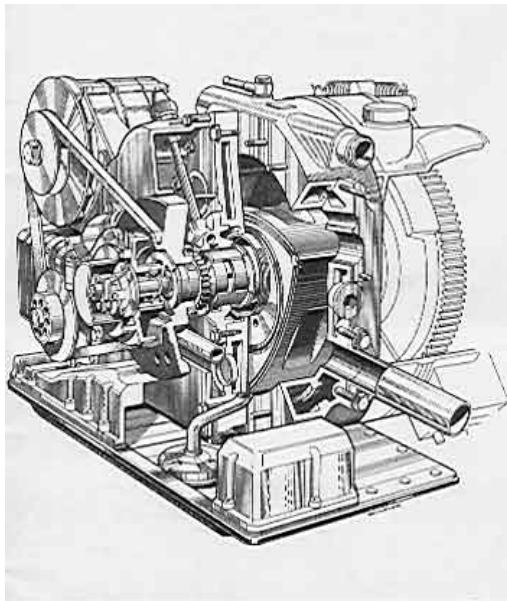
Όλα άρχισαν όταν ο αυτοδίδακτος μηχανικός Felix Wankel έστησε στα 22 του ένα μικρό ερευνητικό κέντρο με σκοπό να αναπτύξει το όραμά του, ένα νέο τύπο κινητήρα εσωτερικής καύσης, ο οποίος μέσω της ιδιότυπης περιστροφής ενός δρομέα (ρότορας) θα ενσωμάτωνε τους 4 βασικούς κύκλους λειτουργίας (εισαγωγή, συμπίεση, εκτόνωση, εξαγωγή) . Τέλος, κατόρθωσε την επίλυση των προβλημάτων στεγανότητας, επίσης έδωσε απάντηση στο ερώτημα για το καλύτερο σχήμα του περιστροφικού κινητήρα Η ιστορία μάλιστα αναφέρει ότι ο Wankel εμπνεύστηκε τον περιστροφικό κινητήρα από ένα όνειρο που είχε δει όταν ήταν 17 χρονών.

Η εργασία του Felix Wankel απέσπασε το ενδιαφέρον του γερμανικού υπουργείου αεροπορίας και διάφορων μεγάλων βιομηχανιών που διέκριναν τη δυναμική της ιδέας του. Ο Wankel επέλεξε να συνεργαστεί με την NSU τότε κατασκευαστή μοτοσικλετών. Η συνεργασία απέδωσε τους πρώτους καρπούς το 1957, τη χρονιά στην οποία παρουσιάστηκε το πρώτο πρωτότυπο του περιστροφικού κινητήρα DKM (DrehKolben Motor-Κινητήρας Απλής Περιστροφής) . Ο κινητήρας DKM αποτελούνταν κυρίως από ένα κέλυφος με εσωτερική επιφάνεια "τροχοειδούς καμπύλης δυο λοβών", μέσα στο οποίο περιστρεφόταν ένας τριγωνικός ρότορας γύρω από έναν κεντρικό άξονα. Στον κινητήρα DKM ο κεντρικός άξονας ήταν ακίνητος ενώ ο ρότορας και το κέλυφος (το οποίο μετέφερε και την ισχύ) περιστρέφονταν. Παρά την

εκπληκτική ευστροφία του, η περιορισμένη πρακτικότητα του κινητήρα στην καθημερινή χρήση (π.χ. για να αλλαχτούν τα τρία μπουζί που ήταν πάνω στο ρότορα έπρεπε να λυθεί όλος ο κινητήρας) δεν επέτρεπε την εμπορική εκμετάλλευσή του. Το 1958 παρουσιάστηκε ο κινητήρας ΚΚΜ (Kreis Kolben Motor -Κινητήρας πλανητικής Περιστροφής Εμβόλου), με ακίνητο κέλυφος (στάτορα) και περιστρεφόμενο ρότορα και κεντρικό άξονα. Η αρχιτεκτονική του ΚΚΜ ακολουθείται μέχρι σήμερα.



NSU Wankel Spider, η πρώτη γραμμή των αυτοκινήτων που πωλούνται με το Wankel κινητήρα.



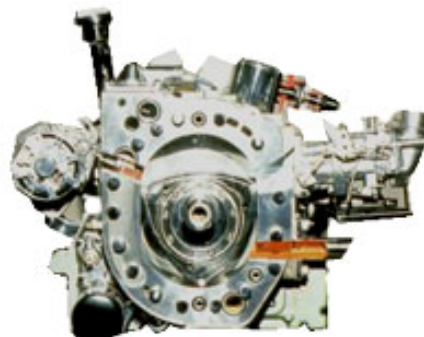
Τεχνικά χαρακτηριστικά:

WANKEL KKM 502 ενός στοιχείου
996 κυβικά εκατοστά(χώρος εμβολισμού), 498 κυβικά εκατοστά(χώρος
εργασίας)

1 μπουζί, Υδροψυκτος, συμπίεση: 1/8,5
Ισχύς: 54 ps/6000rpm Ροπή: 7,9 Nm/3500rpm

Ο wankel κινητήρας αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 70 από πολλές εταιρείες, π.χ. με την General Motors, Daimler Benz, Citroen, Peugeot και Mazda. Κατασκεύασαν συνολικά πάνω από ένα εκατομμύριο wankel κινητήρες που λειτουργούν σε αυτοκίνητα.

Όμως, λόγω των περιβαλλοντικών κανονισμών που προκύπτουν και κατά συνέπεια της κρίσης του πετρελαίου δεν είχαν γίνει περισσότερες επενδύσεις. Μόνο η Mazda συνέχισε να αναπτύσσει τον περιστροφικό κινητήρα έτσι η δεκαετία που διανύουμε αποτέλεσε πρόκληση για τη Mazda, αφού οι ολοένα αυστηρότερες νομοθεσίες εκπομπής ρύπων έθεσαν ανυπέρβλητα εμπόδια



Wankel κινητήρα.

στους wankel κινητήρες που σχεδίαζε και κατασκεύαζε η Mazda. Το αποτέλεσμα ήταν να εξοστρακιστεί από την ευρωπαϊκή και την αμερικάνικη αγορά και να περιοριστεί στην ιαπωνική(ο λόγος για τον 13B-REW, το μοτέρ του RX-7 τρίτης γενιάς) αλλά η Mazda δεν είχε πει ακόμα την τελευταία της λέξη. Αντί να οπισθοχωρήσει, σήκωσε το γάντι της νέας αυτής πρόκλησης και στο 33ο Σαλόνι Αυτοκινήτου στο Tokyo παρουσίασε το πρωτότυπο RX-EVOLV με τη νέα γενιά του κινητήρα 13B, την 13B-MSP (Multi Side Port).

Ο νέος κινητήρας έγινε γνωστός ως Renesis (Rotary Engine Genesis) και η κατασκευή του βασίστηκε στον πειραματικό κινητήρα MSP-RE του παλαιότερου πρωτότυπου RX-01 που είχε παρουσιαστεί στο Σαλόνι του Τόκιο το 1995. Το τελικό μοντέλο παραγωγής, το Mazda RX-8, παρουσιάστηκε το 2003.

Ο κινητήρας Renesis είναι ο πρώτος περιστροφικός κινητήρας συμβατός με τις προδιαγραφές OBD II και καλύπτει τόσο τις προδιαγραφές εκπομπής καυσαερίων EURO IV της ΕΕ όσο και εκείνες για τα οχήματα LEV (Low Emissions Vehicle ~ Χαμηλής Εκπομπής Ρύπων) που ισχύουν στην California. Ο Renesis διατίθεται σε δυο εκδόσεις: τη High Power των 231Ps που κινεί το RX-8 Cosmo, και τη Standard Power των 192Ps που τοποθετείται στο RX-8 Challenge.

Έτσι η βελτίωση του περιστροφικού κινητήρα μέχρι σήμερα είναι μάλλον άσχημη κύριος και λόγω της κακής ποιότητας των καυσαερίων που θα μπορούσε να βελτιωθεί με γενναίες επενδύσεις στο μέλλον. Όμως η υπεροχή του κυρίαρχου εμβολοφόρου κινητήρα φαίνεται αξεπέραστη Έτσι το μέλλον του wankel κινητήρα είναι αρκετά σκοτεινό.

ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο WANKEL ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ?

Ο Wankel περιέγραφε τον κινητήρα του ως "50% τουρμπινοκινητήρα και 50% παλινδρομικό

Ο περιστροφικός κινητήρας (rotary ή wankel από το επίθετο του εφευρέτη του) είναι ένας τετράχρονος κινητήρας εσωτερικής καύσης. Η βασική αρχή παραγωγής ισχύος είναι ίδια με του κλασικού τετράχρονου παλινδρομικού εμβολοφόρου, αφού χρησιμοποιεί την ισχύ από την καύση του μείγματος βενζίνης/αέρα για να παράγει έργο. Όμως σε αντίθεση με τον παλινδρομικό κινητήρα, ο περιστροφικός κινητήρας wankel δεν έχει πιστόνια, μπιέλες, βαλβίδες και εκκεντροφόρους αλλά ρότορες που περιστρέφονται μέσα στους στάτορες (θαλάμους) και περιστρεφόμενο έκκεντρο άξονα για τη μετάδοση της ισχύος.

Ένας τυπικός κινητήρας wankel έχει δύο «θαλάμους» ή στάτορες ή housings, δύο τριγωνικούς ρότορες (ένα σε κάθε στάτορα), τρία side housings (ένα μεσαίο και δύο πλαϊνά) και φυσικά τον έκκεντρο άξονα (eccentric shaft) πάνω στον οποίο αναρτώνται και περιστρέφονται οι ρότορες. Τα παραπάνω σχηματίζουν το σύνολο του κινητήρα.

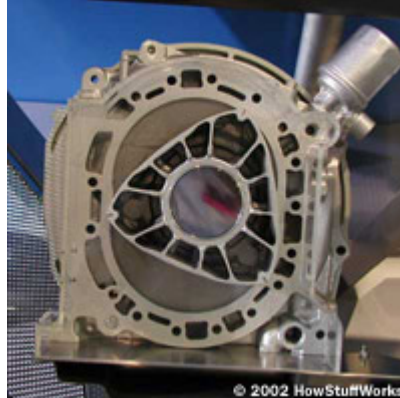
Ο θάλαμος ενός περιστροφικού κινητήρα wankel έχει τροχοειδή μορφή, και η περιφέρειά του θυμίζει χοντρικά αυγό. Μέσα σε αυτόν περιστρέφεται με πλανητοειδή κίνηση ο ρότορας, ο οποίος κατά την περιστροφή του σχηματίζει τους αντίστοιχους θαλάμους και φάσεις του παλινδρομικού κινητήρα σε κάθε μία από τις τρεις πλευρές του. Με λίγα λόγια, οι «θάλαμοι» του περιστροφικού κινητήρα δεν είναι σταθεροί, αλλά κάθε πλευρά του τριγωνικού ρότορα σχηματίζει από έναν θάλαμο που περιστρέφεται μαζί με αυτόν. Για τον αεροστεγή σχηματισμό των θαλάμων, ο κινητήρας wankel διαθέτει τρία apex seals ανά ρότορα (τα «καρβουνάκια» ή «μαχαίρια» ή «λεπίδες» στις κορυφές του κάθε ρότορα που έρχονται σε επαφή με την εσωτερική επιφάνεια του θαλάμου), έξι side seals και έξι corner seals ανά ρότορα (τα «ελατήρια» που βρίσκονται σε κάθε πλευρά του ρότορα και εφάπτονται με τα side housings που αποτελούν τις «φέτες» από τις οποίες σχηματίζεται το σύνολο του κινητήρα).

Το καύσιμο μίγμα, προερχόμενο από έναν εξαερωτήρα, εισέρχεται στους θαλάμους καύσης από μια θυρίδα εισαγωγής σε μία από τις ακραίες πλάκες του κελύφους. Σε μία από τις επίπεδες πλευρές του κελύφους σχηματίζεται μια θυρίδα εξαγωγής. Ο σπινθηριστής βρίσκεται σε εσοχή που επικοινωνεί με τους θαλάμους μέσα από ένα στένωμα, στην απέναντι πλευρά του κελύφους. Βασικό πρόβλημα στο σχεδιασμό είναι η στεγανοποίηση στις κορυφές και τις παρειές του ρότορα.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του κινητήρα Βάνκελ είναι ο μικρός χώρος και το μικρό βάρος ανά μονάδα ισχύος, η στρωτή, χωρίς κραδασμούς αθόρυβη λειτουργία του καθώς και το χαμηλό κόστος κατασκευής του, αποτέλεσμα της μηχανικής του απλότητας. Η απουσία αδρανειακών δυνάμεων από τα μέρη που παλινδρομούν και η κατάργηση των βαλβίδων επιτρέπουν λειτουργία σε πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες από ότι στους παλινδρομικούς κινητήρες. Η εισαγωγή νωπού μίγματος καυσίμων και η εξαγωγή των καυσαερίων είναι αποτελεσματικότερες, γιατί οι θυρίδες του ανοιγοκλείνουν ταχύτερα από ότι με βαλβίδες, ενώ η ροή μέσα από αυτές είναι σχεδόν συνεχής. Η οικονομία σε καύσιμο είναι εφάμιλλη με εκείνη στις συμβατικές μηχανές, επιτρέποντας αθόρυβη καύση και μεγαλύτερη ποικιλία καυσίμων. Η μικρότερη μάζα και η χαμηλότερη θέση του κέντρου βάρους καθιστούν τον κινητήρα αυτόν ασφαλέστερο για αυτοκίνητα. Τα κινούμενα μέρη ενός κινητήρα Βάνκελ ανέρχονται στο ένα τρίτο περίπου από ότι σε τυπικό εξακύλινδρο κινητήρα.

Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του κινητήρα Wankel είναι ότι, καθώς ο ρότορας περιστρέφεται μέσα στο κέλυφος του δημιουργούνται 3 κοιλότητες ταυτόχρονα, καθεμία από τις οποίες εκτελεί και από μια φάση λειτουργίας του τετράχρονου κινητήρα. Πρακτικά λοιπόν, ο κάθε ρότορας αντιστοιχεί σε τρία πιστόνια ενός τετράχρονου εμβολοφόρου κινητήρα, συνεπώς ένας κινητήρας Wankel με δυο ρότορες αντιστοιχεί σε ένα συμβατικό εξακύλινδρο μοτέρ. Η λειτουργία του κινητήρα Wankel θυμίζει ένα υβρίδιο δίχρονου και τετράχρονου εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα. Και αυτό επειδή, μολονότι έχει τέσσερις διακριτούς χρόνους, ο κινητήρας Wankel παράγει έργο μια φορά για κάθε μια περιστροφή του κεντρικού του άξονα (όπως ο δίχρονος παλινδρομικός βενζινοκινητήρας), αντί μια φορά για κάθε δυο περιστροφές όπως ο τετράχρονος. Το αποτέλεσμα είναι ο κινητήρας Wankel να αποδίδει ισχύ ανάλογη ενός τετράχρονου βενζινοκινητήρα με διπλάσια χωρητικότητα. Επιπλέον σε σύγκριση με τον ανταγωνιστή του και εξαιτίας του πολύ μικρότερου μεγέθους και κυρίως μικρότερου ύψους ο κινητήρας Wankel

απαιτεί μικρότερο μηχανοστάσιο, επομένως το μπροστινό μέρος ενός αυτοκινήτου με Wankel μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να έχει μικρότερη μετωπική επιφάνεια, άρα να είναι πιο αεροδυναμικό



Ένα περιστροφικό κινητήρα είναι μηχανή εσωτερικής καύσης, όπως και ο κινητήρας του αυτοκινήτου σας, αλλά δουλεύει με έναν εντελώς διαφορετικό τρόπο από τους συμβατικούς κινητήρες εμβόλων.

Λόγω του compact, και ελαφρύ σχεδιασμού, οι Wankel περιστροφικοί κινητήρες έχουν εγκατασταθεί σε διάφορες συσκευές και οχήματα όπως τα αυτοκίνητα και τα αγωνιστικά αυτοκίνητα, αεροσκάφη, go-karts, σκάφη θαλάσσης, καθώς και σε βοηθητικές μονάδες παραγωγής ισχύος.

Ιστορία

Dr FELIX WANKELE (1902-1988)

Ο γερμανικής καταγωγής Felix Heinrich Wankel γεννήθηκε στις 13 Αυγούστου 1902 στο Lahr της Γερμανίας. Ορφανός από πατέρα κατά τον 1^ο παγκόσμιο πόλεμο και λόγω της κακής οικονομικής κατάστασης της οικογένειάς του, δεν μπόρεσε να λάβει πανεπιστημιακή εκπαίδευση, αλλά εξασφάλισε ακαδημαϊκή αναγνώριση από τις εργασίες του στη μηχανολογία. Παρόλα αυτά έμαθε μόνος του τις απαραίτητες τεχνικές γνώσεις που του επέτρεψαν να καταλάβει και να σκεφτεί πάνω σε θέματα μηχανών. Έτσι το 1924 φαίνεται να έχει ήδη συλλάβει την γενική ιδέα και τις αρχές που διέπουν μέχρι και σήμερα τον περιστροφικό κινητήρα (ο ίδιος ανέφερε ότι είχε ονειρευτεί το σχέδιο από τα 17 του) και να προσπαθεί να τον κατασκευάσει μόνος του και το 1929 κατοχύρωσε την πρώτη του ευρεσιτεχνία..



Dr Felix Wankel

Δυστυχώς πριν και κατά τη διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου και λόγω διαφορών που είχε με τους ναζί γενικά και τον Αδόλφο Χίτλερ προσωπικά δεν μπόρεσε να κάνει τίποτα άλλο παρά να παράγει περιστροφείς για αεροπλάνα, καθώς και κάποια οπλικά συστήματα και πολεμοφόδια (κυρίως για αεροσκάφη).

Αμέσως μετά τον πόλεμο το εργαστήριό του καταστράφηκε από τις γαλλικές δυνάμεις και ο ίδιος συνελήφθη από τους συμμάχους, όλα τα σχέδια και οι σημειώσεις του κατασχέθηκαν, και του απαγορεύτηκε να συνεχίσει τη δουλειά του τουλάχιστον προσωρινά. Αυτό άλλαξε το 1951 όταν και βρήκε «συμμάχους» στην γερμανική εταιρεία NSU και το 1957 έθεσε για πρώτη φορά σε λειτουργία έναν κινητήρα 21 ίππων, πλανητικής περιστροφής του ρότορα, αφού μελέτησε σε βάθος όλες τις παραμέτρους λειτουργίας του ο πρώτος λειτουργικός περιστροφικός κινητήρας ήρθε στη ζωή, 33 ολόκληρα χρόνια μετά την σύλληψή από τον ίδιο τον Wankel.

Το 1959 η πατέντα του πέρασε και στις ΗΠΑ από την Curtis-Wright, η οποία κατείχε τα δικαιώματα περαιτέρω εξέλιξης . Το 1961 η Mazda εξασφάλισε τα δικαιώματα χρήσης της πατέντας του Βάνκελ. Το 1964 παρουσιάστηκε το NSU Spider, το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής με περιστροφικό κινητήρα, και το 1967 ακολούθησε η Mazda με το πρώτο δικό της μοντέλο, το Cosmo Sports. Μετά την εμπειρία του επαναστατικού πλην αναξιόπιστου Ro80, η NSU (ως θυγατρική, πλέον, της VW) εγκατέλειψε τον κινητήρα Βάνκελ, το 1975, και από τότε η Mazda παραμένει ουσιαστικά ο μόνος κατασκευαστής που εξακολουθεί να τον εξελίσσει, κυρίως για τα σπορ μοντέλα της. Το 1978 παρουσιάστηκε το πρώτο RX-7, το 1985 ακολούθησε η δεύτερη γενιά του μοντέλου και το 1991 η τρίτη. Την ίδια χρονιά, το 787B πέρασε στην ιστορία ως το μόνο σπορ-πρωτότυπο με περιστροφικό κινητήρα που κέρδισε στις 24 Ώρες του Λε Μαν.

Ο Felix Wankel έλαβε τα πτυχία του τιμής ένεκεν αργότερα στη ζωή του, και κυριότερα το Doctorate του από το Τεχνικό Πανεπιστήμιο του Μονάχου το 1969. Συνέχισε να ασχολείται με την Μηχανική, αλλά δραστηριοποιούταν και σε άλλους τομείς, όπως τα δικαιώματα των ζώων, καθώς ήταν υπέρμαχος της μη χρησιμοποίησης πειραματόζωων.

Πέθανε στις 9 Οκτωβρίου 1988 στο Heidelberg, μην έχοντας αποκτήσει ποτέ κατά τη διάρκεια της ζωής του δίπλωμα οδήγησης!



Dr Felix Wankel

Felix Wankel - σταθμοί της ζωής του



13.08.1902: Γέννηση, ως γιος του forstassessors Rudolf Wankel στο Lahr

1908-1912: Ο Felix πηγαίνει στο δημοτικό σχολείο στο Geisingen και στο Donaueschingen

1915: Ο Felix μετακόμισε με τη μητέρα του στο Heidelberg

1915-21: Συμμετέχει στο λύκειο στο Weinheim κοντά στο Heidelberg

1921: Εγκατέλειψε το σχολείο χωρίς να επιτύχει στις τελικές εξετάσεις

1924-1932 : Συμμετέχει στη πρώτη ομάδα εργασίας και την σύλληψη της ιδέα ενός περιστροφικού κινητήρα

1926: Ήταν άνεργος

1928-1931: Μετά από προσπάθειες πέντε χρόνων, και διάφορες δοκιμές και επισκευές το 1929 ο Φίλιξ Βάνκελ κατασκεύασε την πρώτη πατέντα με αριθμό DRP 507 584.

1933 Συνεχίζοντας όμως τις έρευνες και την εξέλιξη της πρώτης πατέντας, το 1933 εφάρμοσε μία νέα πατέντα για τον DKM 32 ένα είδος τύπου περιστροφικού κινητήρα

1934-1935: Εργαζόταν στην Επιτροπή Ερευνών της BMW στο πειραματικό τμήμα Lahg και στο εργαστήριο στο πατρικό του σπίτι για τη βελτίωση των πρωτότυπων DKM κινητήρων,

1936-1945: Ο Wankel εργάστηκε στο εργαστήριο της VW στο Lindau. Με χρηματοδότηση από τη γερμανική αυτοκρατορία μέσω γερμανικού ερευνητικού σταθμού για την αεροπορία DVL.

1944: Προσπάθεια για τη βελτίωση των πρωτότυπων DKM κινητήρων, καθώς και για τα μηχανικά μέρη τους, όπως οι αντλίες, οι βαλβίδες και οι συμπιεστές

1945: Οι Γάλλοι -κατά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο- κατέστρεψαν το εργαστήριό του και έμεινε στη φυλακή

1951-1961: Συνεχίζει την τεχνολογική ερευνά στο Landau, Συνεργάστηκε με την NSU, την πρώτη κατασκευάστρια εταιρεία περιστροφικών κινητήρων, με σκοπό την εξέλιξη των κινητήρων. Ο Φίλιξ Βάνκελ, είχε την καλή επιχειρηματική αίσθηση, να δημιουργήσει δική του εταιρεία, την Wankel GmbH, με συνέταιρο τον Ερνστ Χατζενλάουμπ, εργαζόμενος ακόμη στην NSU.

13.04.1954: Ημέρα της εφεύρεσης του Wankel κινητήρα.

1956: Καταγράφεται ρεκόρ με Wankel DKM 54 Ο πρώτος DKM περιστροφικός κινητήρας, που μπήκε σε πλήρη λειτουργία, ο ίδιος κινητήρας κατόρθωσε να λειτουργεί επί δύο συνεχείς ώρες, παράγοντας ισχύ 21 ίππων..



Πρώτος Wankel κινητήρα DKM54, στο Deutsches Museum στη Βόννη της Γερμανίας.

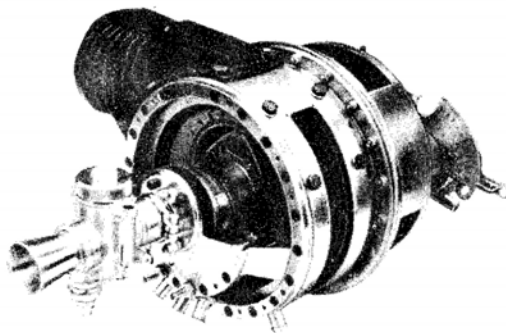


Fig. 1.3 Model DKM engine

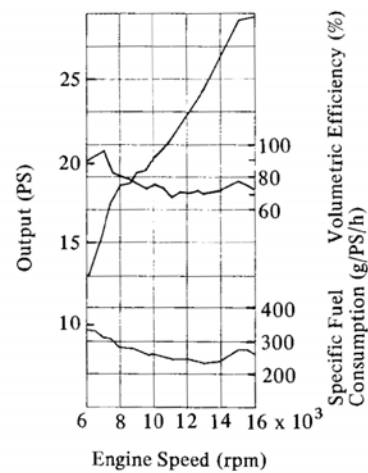
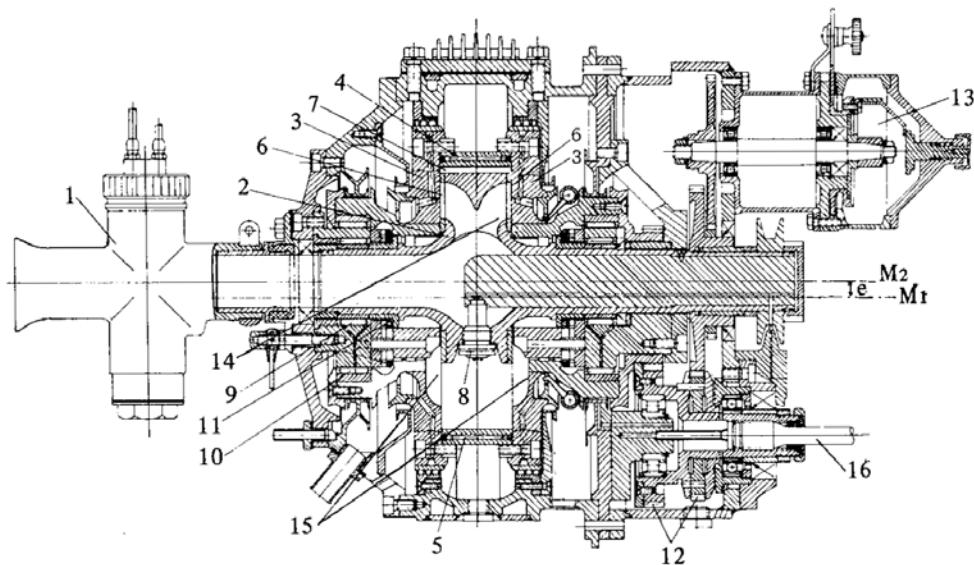


Fig. 1.4 Performance characteristics of the Model DKM 54 engine

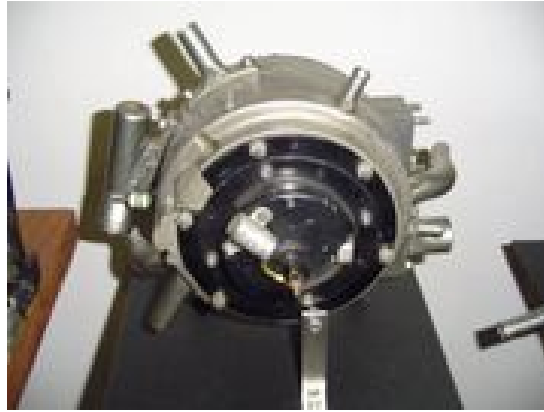


- | | |
|--|--|
| 1. Carburetor | 9. Inner rotor bearing |
| 2. Inner rotor | 10. Outer rotor bearing |
| 3. Side of outer rotor | 11. Ring seal |
| 4. Outer rotor central portion | 12. Phase gears for outer and inner rotors |
| 5. Cooling water jacket in the outer rotor | 13. Contact breaker |
| 6. Inner side seal plate | 14. Inlet hole for intake gas |
| 7. Apex seal | 15. Intake port |
| 8. Spark plug | 16. Output shaft |

Fig. 1. 18 Longitudinal section view of the model DKM 54 engine

1957:Κατασκευάζετε ο περιστροφικός κινητήρας DKM-57 έρευνες και μελέτες για το πεδίο δοκιμής.

1958: Απορρίφθηκε ο κινητήρας DKM-57 και τη θέση του πήρε ένας νέου τύπου περιστροφικός κινητήρας, ο KKM, ο οποίος και λειτούργησε τον Ιούλιο του επόμενου χρόνου για το πεδίο δοκιμής



Wankel κινητήρα NSU KKM 57P στη Γερμανία.

1960: Κατασκευάζετε ο πρωτότυπος NSU KKM 250 (30 PS). Ο Wankel τελειοποίησε τον τύπο KKM250 περιστροφικό Κινητήρα

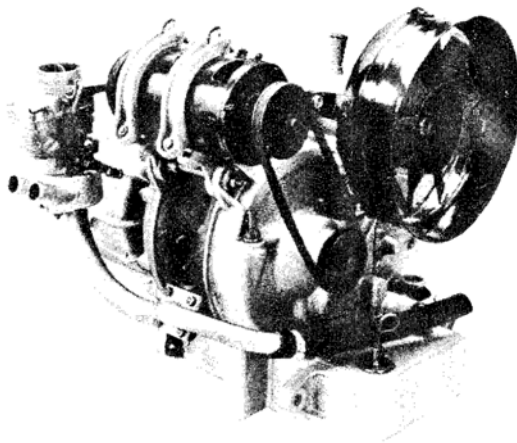


Fig. 1. 5 Model KKM 250 engine

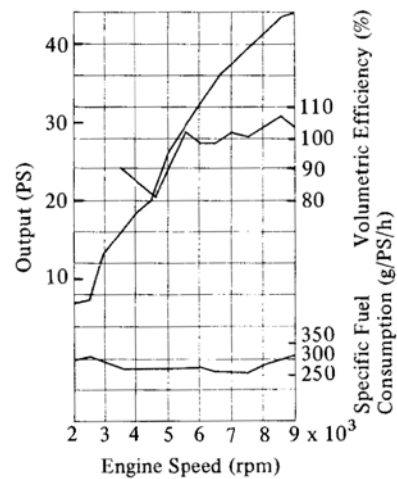


Fig. 1. 6 Performance characteristics of the Model KKM 250 engine

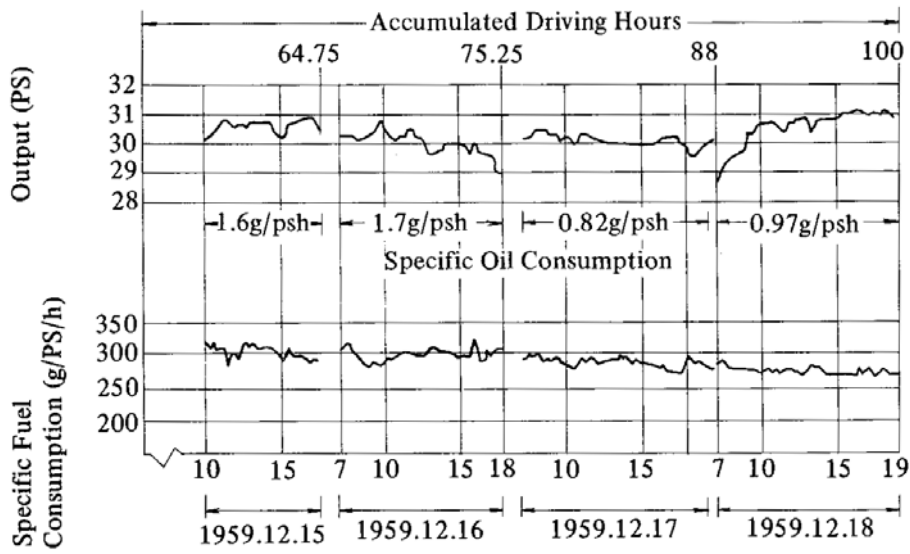


Fig. 1. 7 Model KKM 250 durability test (Full load : 5500 rpm)

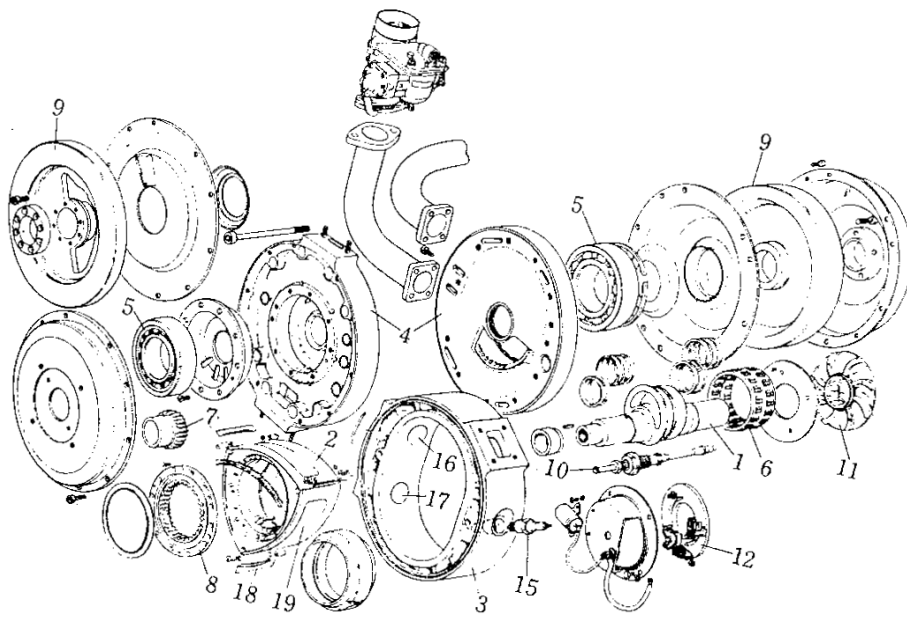
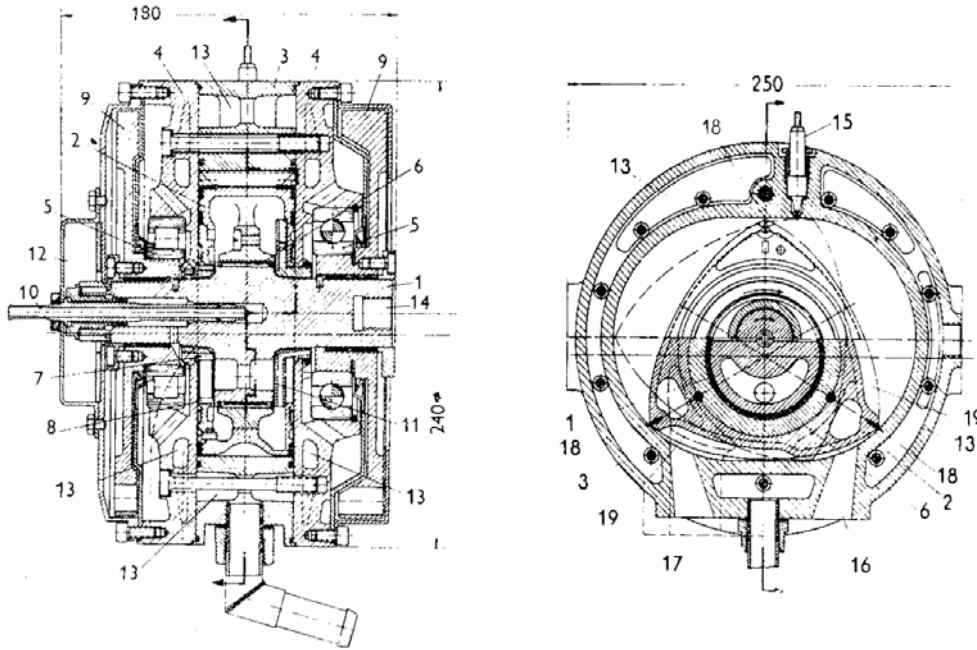


Fig. 1. 14 Expanded view of the model KKM 250 engine

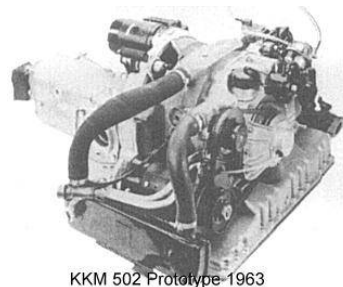


- | | |
|----------------------|---|
| 1 : Eccentric shaft | 11 : Oil scavenging vane inside the rotor |
| 2 : Rotor | 12 : Contact breaker |
| 3 : Rotor housing | 13 : Cooling water jacket |
| 4 : Side housing | 14 : Connecting joint for drive shaft |
| 5 : Main bearing | 15 : Spark plug |
| 6 : Rotor bearing | 16 : Exhaust port |
| 7 : Stationary gear | 17 : Intake port |
| 8 : Rotor gear | 18 : Apex seal |
| 9 : Flywheel | 19 : Rotor combustion chamber recess |
| 10 : Lubricant inlet | |

Fig. 1. 13 Sectional view of the model KKM 250 engine

1961: Η οικοδόμηση ενός τόπου μοναδική αρχιτεκτονικής, " κέντρο Τεχνικής έρευνας και ανάπτυξης " ,μετά από ιδέα του Wankel στο Lindau Η Mazda έκανε σύμβαση με την NSU και τον Wankel

1963:Σχεδιαση του NSU Wankel Spider (KKM 502) για μαζική παραγωγή



KKM 502 Prototype-1963



KKM 502 ENGINE



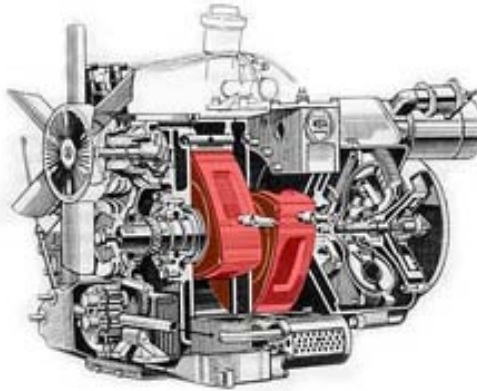
NSU Spider

1964-1967. η Mazda δημιούργησε το δικό της τμήμα R&D αποκλειστικά για τον Wankel. Από την αρχή φάνηκε ότι το αυτό το τμήμα είχε ιδιαίτερα δύσκολο έργο , η ιαπωνική κυβέρνηση εγκρίνει τη συμφωνία και ένας από τους όρους έλεγε πως οι κινητήρες πρέπει να αντέχουν για τουλάχιστον 55.000 χλμ. Και το πρωτότυπο σπορ μοντέλο με περιστροφικό κινητήρα εμφανίζεται στην έκθεση αυτοκινήτου του Τόκιο από κει και πέρα, αρχίζει η ιστορία της Mazda με τα αυτοκίνητα που εφοδιάζονται με κινητήρα Βάνκελ. Το 1967 η Mazda παρουσιάζει το πρώτο μοντέλο με περιστροφικό κινητήρα το 'Cosmo Sport'. 'Mazda 110S' τύπος 10A (491cc x 2) στην Ιαπωνική αγορά

1967-1977: Η NSU δημιουργεί το Ro 80 (KKM 612).



NSU Ro 80:



Ro-80 NSU KKM 612
Στουτγάρδη,

1969: Ο διορισμό του ως ειδικός μηχανικός στη τεχνική σχολή του Μονάχου

1970: Απονομή βραβείου του μεγάλου Ομοσπονδιακού Υπηρεσιακού Σταυρού. Ίδρυση-Felix Wankel-Stiftung για την προώθηση του πολιτισμού, της τεχνολογίας και της φύσης



1971: Η πώληση της Wankel GmbH στη Lonrho E.Π.Ε. Δημιουργία του Πρωτοτύπου Wankel-ταχυπλόου σκάφους "hiss" . Απονομή του Franklin's-μετάλλιο από το Franklin's-Institute of Philadelphia



1973: Βραβείο της Βαυαρίας και μετάλλιο μισθού.

1975: Τον Ιούλιο του Wankel η γυναίκα πεθαίνει.

1976: Δημιουργία Wankel-μουσείου στο Lindau. Σχεδίαση του κινητήρα χωρίς κενό πίεσεως στο πίσω μέρος, η δημιουργία του και η δοκιμή του σε συνεργασία με την Daimler Benz. .

1977: Η εφεύρεση της βαλβίδας για την Wankelkompressoren που εκδιώχθηκαν από την FA Ogura (Ιαπωνία). Το Ro80 και ο Wankel κινητήρα αυτοκινήτου εξαφανίζονται από τη σκηνή της Γερμανίας.

1978-79: Η ανάπτυξη του DKM 78, κινητήρα για υψηλές ταχύτητες και επιδόσεις.

1980-81: Αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας για την εφεύρεση των μεταβλητών σε συμπύεση και ανύψωση εμβόλων των περιστρεφόμενων κινητήρων.

1981: Τιμητικά ανακηρύσσετε ως πολίτης της πόλη Lahr.



1982-83: Συμφωνία συνεργασίας μεταξύ Aisin / Seiki και gearwheel στο εργοστάσιο της Ludwigshafen (ZF) σχετικά με την ανάπτυξη του περιστροφικού κινητήρα

1984-88: Ακόμα και αν οι δυνάμεις του συρρικνωθήκαν, ο Wankel συνέχισε ακούραστα για την ιδέα της ζωής του θα εξακολουθεί να σχεδιάζει, και καταλήγει να κλείσει με την Kühnle, KOPP και Kautsch (KKK) μία συμφωνία άδειας

1986: Απονομή του χρυσού δακτυλιδιού τιμή του γερμανικού μουσείου. Απονομή του ντίζελ- χρυσού μεταλλίου του γερμανικού ινστιτούτου εφεύρεση της φύσης. Συμφωνίας συνεργασίας με την Daimler-Benz

1987: Βραβείο ο Soichiro Honda-μετάλλιο ανάθεση του τιμητικού τίτλου "του καθηγητή" από το Υπουργείο επιστήμης Baden-Wuerttemberg

09/10/1988: Felix Wankel πεθαίνει στη Χαϊδελβέργη από καρκίνο



Felix Wankel δεν ήταν μόνο ένα μεγάλος εφευρέτη, ήταν επίσης μια μεγάλη προσωπικότητα.

Μέχρι και τον θάνατο του αυτός παρέμεινε πιστός του κινητήρα του και μπορεί να απευθύνεται σε οχήματα. Ο ίδιος δεν είχε άδεια οδήγησης. Ωστόσο ο Wankel ήταν ένα ευαίσθητο πρόσωπο με κλίση στην ισχυρή γλώσσα και τα ευαίσθητα ποιήματα. Επίσης δραστηριοποιούταν και σε άλλους τομείς, όπως τα δικαιώματα των ζώων, καθώς ήταν υπέρμαχος της μη χρησιμοποίησης πειραματόζωων. Από τα μαθηματικά δεν είχε ιδιαίτερα ανεπτυγμένες γνώσεις, ωστόσο είχε ιδιαίτερα ανεπτυγμένη αντίληψη για τεχνικά θέματα.

Αναφορά στις εφαρμογές-διακρίσεις-σταδια εξέλιξης της ιστορίας του περιστροφικού κινητήρα



Παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από ένα Schleicher ASH 2e



Turbocharged 12A installed in Mazda Cosmo



Mazdasport 787B Le Mans

Στον κόσμο της αγωνιστικής αυτοκίνησης η Mazda είχε σημαντικές επιτυχίες με αυτοκίνητα που λειτουργούσαν με δύο-τρεις και τέσσερις ρότορες. Ιδιώτες αγωνιζόμενοι είχαν επίσης σημαντική επιτυχία με υλικό και τα τροποποιημένα αυτοκίνητα από τη Mazda με κινητήρα Wankel

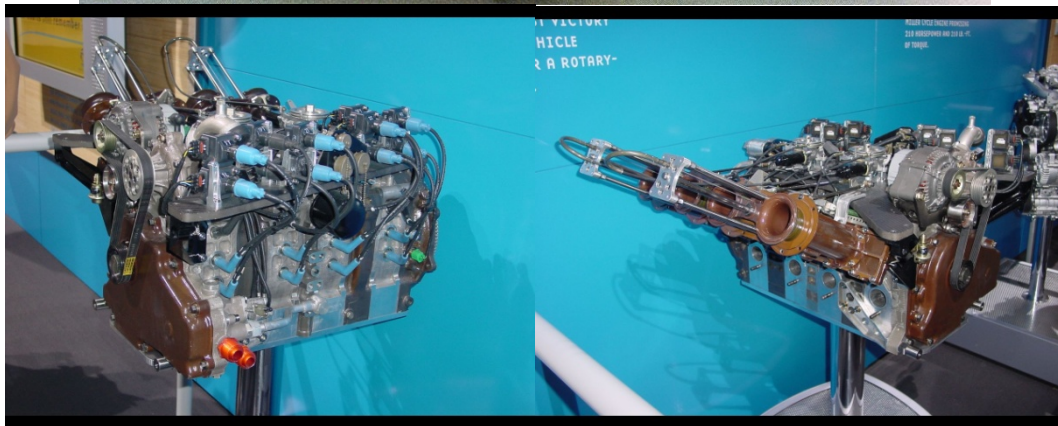
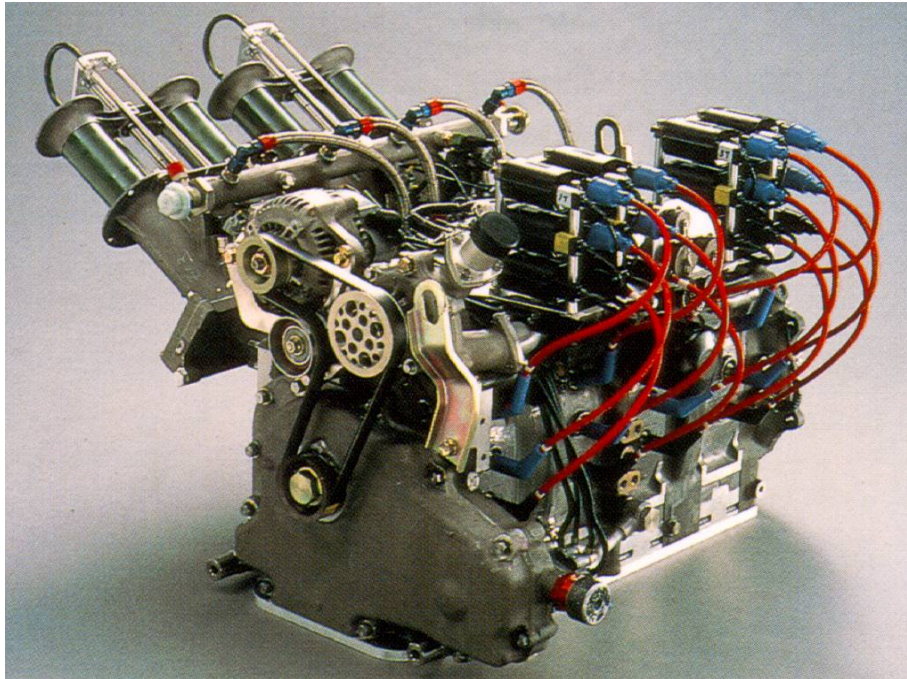
Η Sigma MC74 τροφοδοτείται από τη Mazda με ένα κινητήρα 12A ήταν η πρώτη ομάδα με κινητήρα Wankel έξω από τη Δυτική Ευρώπη ή τις Ηνωμένες Πολιτείες που ολοκλήρωσε το σύνολο και των 24 ωρών από τις 24 Ώρες του Le Mans το 1974. Η Mazda θα είναι η μόνη ομάδα εκτός από τη Δυτική Ευρώπη ή τις Ηνωμένες Πολιτείες που θα κερδίσει το Le Mans χωρίς τη χρήση εμβολοφόρου κινητήρα, η εταιρεία θα το πραγματοποιήσει το 1991 με τους τέσσερις ρότορες του 787B (2622 cc/160 cu -σε πραγματικό εκτόπισμα, ο οποίος μετρήθηκε από τη FIA σε 4,708 cc/287 cu). Το επόμενο έτος, μια αλλαγή στο κανονισμό στο Le Mans οδηγεί το Mazda 787B στον αποκλεισμό. Η Mazda είναι και η πιο αξιόπιστη ομάδα που συμμετείχε στο Le Mans (με την εξαίρεση της

Honda, η οποία εισήλθε με μόνο τρία αυτοκίνητα σε διάστημα μόνο ενός έτους), με το 67% να τερματίζουν.



Mazdasport 787B Le Mans

Το Mazda RX-7 έχει κερδίσει τους περισσότερους IMSA αγώνες της κατηγορίας του από οποιοδήποτε άλλο μοντέλο της αυτοκινητοβιομηχανίας, με την εκαοστή νίκη στις 2 Σεπτεμβρίου το 1990. Μετά από αυτό, το RX-7 κέρδισε στην κατηγορία του στην IMSA στις 24 ώρες του Daytona για δέκα συναπτά έτη, αρχής γενομένης από το 1982. Το RX7 κέρδιζε το Grand Touring IMSA για τη κατηγορία με μικρότερο από 2000cc κινητήρα (GTU) κάθε χρόνο από το 1980 με 1987, χωρίς αποκλεισμούς.



MAZDA 787B

(1991) Group C

SPECIFICATIONS

	Mazda R26B Rotary Engine	
Engine	Displacement	654cc x 4 Rotors
	Max. Power	700ps / 9,000rpm
	Max. Torque	Over 62kg-m / 6,500rpm
	Fuel Distribution	Mazda Electronic Gasoline Injection
Transmission	Mazda & Porsche 5 speeds & Reverse	
Clutch	Borg & Beck Triple Plate	
Chassis	Twin tube Carbon Composi Monocoque	
Suspension	Front	Pull Rod Outboard Springs
	Rear	Upper : Locker Arm Lower : Wishbone Inboard Springs
Damper	Bilstein	
Brake Rotor	Carbon Industries	Outboard Ventilated Carbon Discs
Brake Pad	Carbon Industries	
Dimensions	Length	4,782mm
	Width	1,994mm
	Height	1,003mm
	Wheelbase	2,662mm
	Tread	Front 1,534mm / Rear 1,504mm
	Weight	Over 830kg
Tyre & Rim	Tyre	Dunlop Front : 300-640-R18 Rear : 355-710-R18
	Rim	Rays Front : 12 x 18 inch Rear : 14.75 x 18 inch
Fuel Cell	ATL	100 Liters

Μοτοσικλέτας κινητήρες



Hercules W 2000 με Wankel κινητήρα(KC 27 294 cc 27ps)



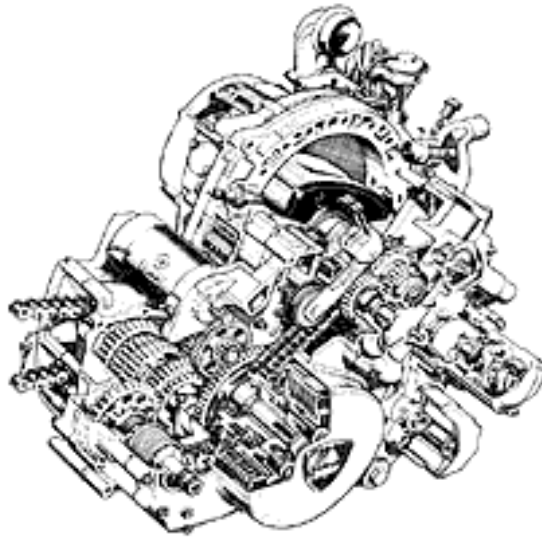
Norton Commander. Engine 588 cc water-cooled twin-rotor Wankel engine
Power 85 bhp (63 kW)

Από το 1974 έως το 1977, στη Βρετανία, οι Norton Μοτοσικλέτες ανέπτυξαν ένα Wankel περιστροφικό κινητήρα για τις μοτοσικλέτες, η οποία περιελήφθη στο Διοικητή της, η Hercules παράγεται σε περιορισμένο αριθμό μοτοσικλετών που κινούνται με κινητήρες Wankel. Ο μηχανοκίνητος εξοπλισμός και οι σφραγίδες αργότερα χρησιμοποιήθηκαν από τη Norton για να παράγει και το μοντέλο Norton Commander στις αρχές της δεκαετίας του 1980.



1975 Suzuki RE 5 Rotary

Το πιο κοινό παράδειγμα ενός Wankel κινητήρα, μοτοσικλέτας, ωστόσο, ήταν η Suzuki RE5, η οποία παράχθηκε το 1975 και το 1976. Αυτή ήταν 500cc (πραγματικής) μετατόπισης της μοτοσικλέτας, θα μπορούσε να έχει μια μεγάλη απήχηση ως μοτοσικλέτα τουρισμού όμως λόγω της υψηλής κατανάλωσης καυσίμων αυτό δε σημαίνει.



The rotary engine of SUZUKI RE5

Engine type: Wankel-type rotary engine, single rotor, water-cooled housing and oil cooled rotor

Displacement: 497 cc Power: 62 bhp at 6,500 rpm (48 bhp net at 6500 rpm) Torque: 55 lb-ft at 3,500 rpm (45 lb-ft at 3500 net)

Compression ratio: 9.4 :1 Carburetor: Two-barrel, down-draft, 18-32mm automotive-style carb. Mikuni, 18-32 HHD Lubrication:

Dual oil system to lubricate the engine seals Ignition: Dual ignition system



RE5 Rotary 1976

Κινητήρες αεροσκαφών



Aircraft-engine LCR - 407 SGti



Diamond DA20 με κινητήρες Wankel Diamond

Ο πρώτος Wankel περιστροφικός κινητήρας αεροσκάφους ήταν ο πειραματικός Lockheed Q-Star σε πολιτική έκδοση του στρατού των Ηνωμένων Πολιτειών για αναγνωρίσεις το QT-2, ουσιαστικά ήταν ένα κινούμενο ανεμόπτερο, εφοδιάζονταν με τον Curtiss-Wright RC2-60 Wankel έναν περιστροφικό κινητήρα 185 hp (138 kW)

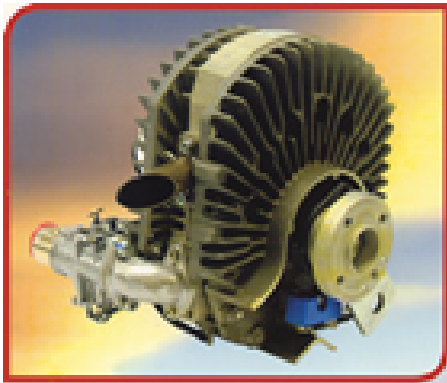
Τα αεροσκάφη Wankels έχουν επιστρέψει τα τελευταία χρόνια γιατί τα πλεονεκτήματά τους δεν έχουν απολεσθεί, σε σύγκριση με τους άλλους κινητήρες. Έτσι βρέθηκαν σε ρόλους όπου οι συμπαγείς διαστάσεις και παραγόμενη ήσυχη κατά τη λειτουργία τους είναι σημαντική, ιδίως σε drones, ή τα UAV. Πολλές εταιρείες και χομπιστες προσάρμοσαν Mazda περιστροφικούς κινητήρες (που προέρχονται από τα αυτοκίνητα) σε αεροσκάφη που χρησιμοποιούν, επίσης συμπεριλαμβανομένων και της Wankel GmbH πολύ κατασκευαστές κινητήρων Wankel εργάστηκαν για το σκοπό αυτό. Μια τέτοια χρήση είναι οι "Rotapower" κινητήρες στην Moller Skycar M400.



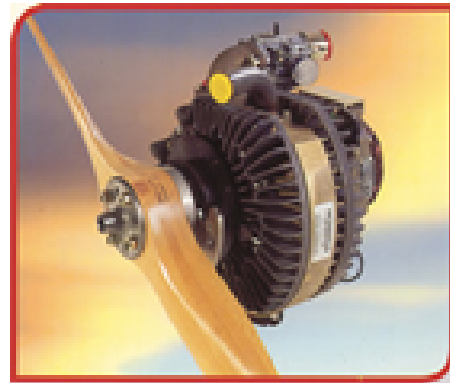
Sikorsky Cypher UAV τροφοδοτείται με UEL AR801 Wankel κινητήρα.

Ο Wankel κινητήρας είναι επίσης ολοένα και πιο δημοφιλή σε ερασιτεχνικά πειραματικά αεροσκάφη, που οφείλεται σε διάφορους παράγοντες οι οποίοι διαδεδομένοι Mazda κινητήρες είναι ο 12A και ο 13B κινητήρας αυτοκινήτων, που μετατρέπεται για αεροπορική χρήση.. Αυτός είναι ένας πολύ οικονομικός κινητήρας και αποδοτική εναλλακτική λύση σε πιστοποιημένους κινητήρες αεροσκαφών, που παρέχει κινητήρες που κυμαίνονται από 100 έως 300 ίππων σε αντίθεση με το κόστους των παραδοσιακών κινητήρων. Αυτές οι μετατροπές άρχισαν για πρώτη φορά στις αρχές της δεκαετίας του 1970. με μια σειρά από αυτές τις μηχανές να τοποθετούνται στα αεροσκάφη, ως της 10ης Δεκεμβρίου 2006, το εθνικό συμβούλιο ασφάλειας των μεταφορών έχει μόνο επτά αναφορές για περιστατικά που αφορούν τα αεροσκάφη με κινητήρες Mazda, και κανένα από αυτά δεν οφείλονταν, λόγω του σχεδιασμού ή κατασκευαστικών ελλείψεων . Κατά την ίδια περίοδο έχουν εκδοθεί αρκετές χιλιάδες αναφορές για σπασμένους στροφαλοφόρους και έμβολα και άλλα συμβάντα που οφείλονται σε άλλα εξαρτήματα που δεν υπάρχουν στους Wankel κινητήρες. Ο Περιστροφικός κινητήρας αποκτά λάτρεις που αναφέρονται ενάντια στους εμβολοφόρους κινητήρες των αεροσκαφών , και επισημαίνουν ότι τα σχέδια του έχουν παραμείνει ουσιαστικά αμετάβλητα από το 1930, με μικρές μόνο διαφορές στις διεργασίες και οι διακυμάνσεις στην μετατόπιση του κινητήρα.

Air Cooled

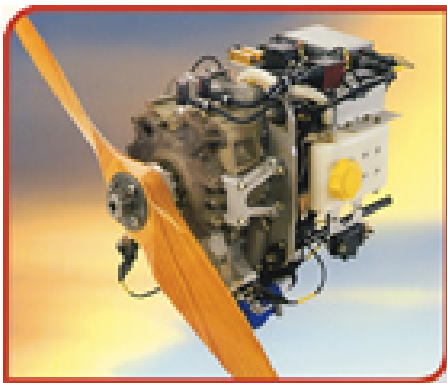


AR731 - 38 bhp

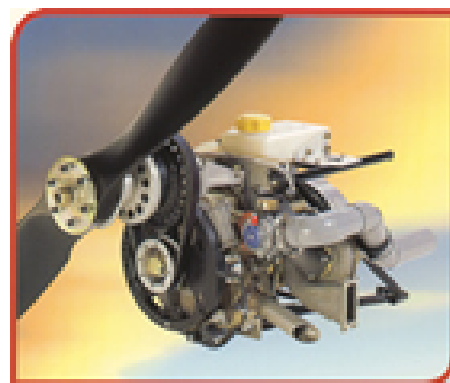


AR741 - 38 bhp

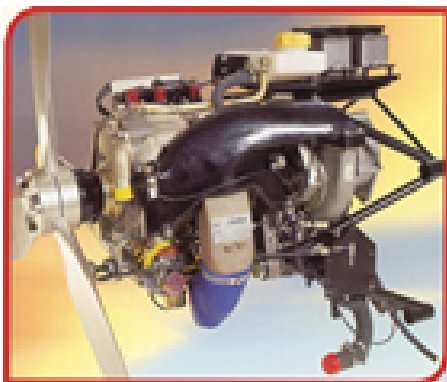
Water Cooled



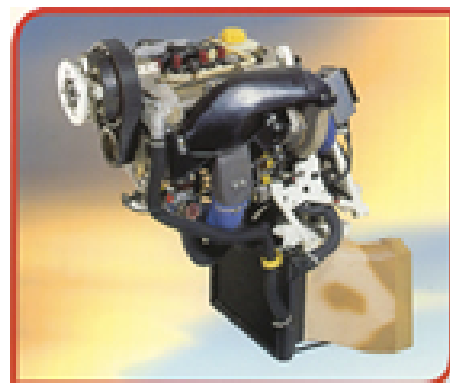
AR801 - 50 bhp



AR801R - 51 bhp



AR682 - 95 bhp



AR682R - 95 bhp

UAV Wankel-type rotary engines

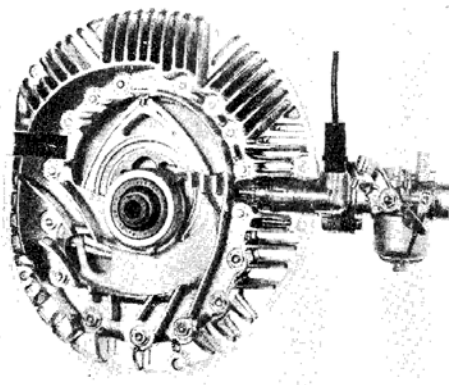
Ο " Peter Garrison, συντάκτης του περιοδικού *Flying*, είπε ότι "ο πλέον υποσχόμενος κινητήρας για χρήση της αεροπορίας είναι οι Wankel κινητήρες της Mazda." οι Wankel κινητήρες της Mazda έχουν όντως λειτουργήσει τόσο καλά όταν μετατρέπονται για χρήση σε μοντέλα αεροσκαφών. Ωστόσο, η πραγματική πρόκληση στον τομέα της πολιτικής αεροπορίας ήταν η πιστοποίηση της παραγωγή FAA ως εναλλακτικής λύσεις για τον πρότυπο εμβολοφόρο κινητήρα ώστε να χρησιμοποιηθεί σε πιο μικρά αεροσκάφη γενικής αεροπορίας. Η Mistral Engines, με έδρα την Ελβετία ασχολήθηκε με σκοπό την πιστοποίηση και τη κατασκευής rotaries με σκοπό την εκ των υστέρων τοποθέτηση σε πιστοποιημένες εγκαταστάσεις παραγωγής αεροσκαφών. Με τον G-190 και τον Z-230-TS περιστροφικούς κινητήρες που φέρουν ήδη στην πειραματική αγορά, οι Mistral Κινητήρες έχουν ελπίδες για την FAA και JAA πιστοποίηση κατά το 2007 ή τις αρχές του 2008. Mistral ισχυρίζεται ότι έχει ξεπεράσει τις προκλήσεις της κατανάλωσης καυσίμου που είναι συνυφασμένες με τον περιστροφικό κινητήρα , τουλάχιστον στο βαθμό που οι κινητήρες να αποδεικνύουν την ειδική κατανάλωση καυσίμου μέσα στα όρια των εμβολοφόρων κινητήρων των παρόμοιο εκτόπισμα. Ενώ η κατανάλωση καυσίμων εξακολουθεί να είναι οριακά υψηλότερη από τους παραδοσιακούς κινητήρες, αλλά αντισταθμίζεται από άλλους ευεργετικούς παράγοντες.

Από Wankel κινητήρες που λειτουργούν σε σχετικά υψηλή ταχύτητα περιστροφής με σχετικά χαμηλή ροπή, η προπέλα του αεροσκάφους πρέπει να χρησιμοποιεί μια μονάδα μείωσης την ταχύτητα περιστροφής της προπέλα για να τηρεί τις συμβατικές έλικες εντός σωστή κλίμακα στροφών. Υπάρχουν πολλά πειραματικά αεροσκάφη που φέρουν με τη ρύθμιση αυτή.

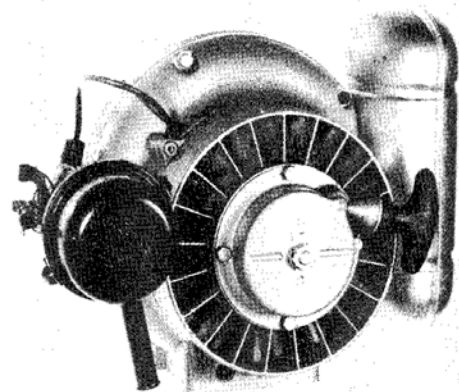
Άλλες χρήσεις



UEL UAV-741 Wankel κινητήρα για UAV.



(a) Sectional view to show construction



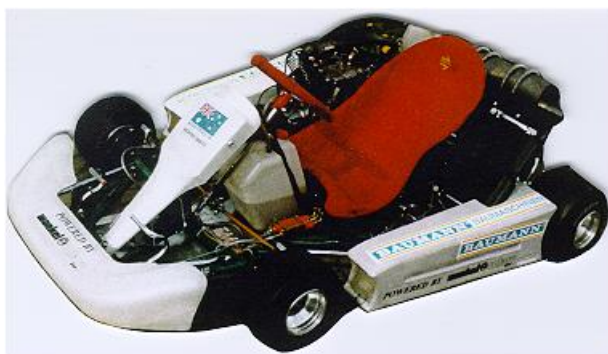
(b) External appearance
(Displacement of single working chamber-108 cc ; Compression ratio- 8.5 : 1 ; weight-15.5 kg)

Fig. 12. 1 Single-rotor air-cooled engine, Fichtel and Sachs' model KM37



Wankel 4-Stroke Kart-engine STANDARD

Type STANDARD Kart-engine:	LCR 407 SG/K (KR) or SG/W
Design:	1-rotor rotary piston engine with carburettor
Compression ratio:	9,5 : 1
Displacement:	407 cm ³
Power:	30 kW / 41 hp at 6800 rpm, dynamic
Torque:	50 Nm at 4000 rpm, dynamic
Dimensions: L x W x H	400 mm x 490 mm x 265 mm
Weight:	26 kg / 57 lbs. (engine with carburettor and air filter)
Fuel-oil-mixture:	unleaded gasoline (ROZ 92), mixture 1 : 70 (premix)
Lubrication:	self-lubricating, synthetic motor oil, specification API-TC, ratio of mixing 1 : 70
Cooling:	housing and eccentric shaft: water-cooled, rotor: charge-cooled
Bearing application:	roller bearing, charge-lubricated
Starter:	externally supplied starter and adapter
Carburettor:	Bing 84/30/115
ignition system:	Bosch TSZ/H single ignition
Spark plug:	NGK CR8EK



Wankel 4-Stroke Kart-engine HI PERFORMANCE

Type RACE Kart-engine:	LCR 407 SG/KR
Design:	1-rotor rotary piston engine with carburettor
Compression ratio:	9,5 : 1
Displacement:	407 cm ³
Power:	32 kW / 43 hp at 6900 rpm, (not measureable on test bed)
Torque:	50 Nm at 4000 rpm, (not measureable on test bed)
Dimensions: L x W x H	380 mm x aprox. 270 mm x 265 mm
Weight:	19 kg / 42 lbs. (engine with carburettor and air filter)
Fuel-oil-mixture:	unleaded gasoline (ROZ 91), mixture 1 : 70
Lubrication:	self-lubricating, synthetic motor oil, specification API-TC, ratio of mixing 1 : 70
Cooling:	housing : water-cooled, rotor: charge-cooled
Bearing application:	roller bearing, charge-lubricated
Starter:	externally supplied starter and adapter
Carburettor:	Bing 84/30/115
ignition system ignition system:	PVL magnet ignition
Spark plug:	NGK CR8EK

Μικροί Wankel κινητήρες βρήκαν εφαρμογή σε πολλούς άλλους ρόλους, όπως τα go-karts, ταχυπλοα σκάφοι, βοηθητικές μονάδες παραγωγής ισχύος και για τα αεροπλάνα. Ο Graupner / OS 49-PI είναι 1,27 hp (947 W) 5 cc Wankel κινητήρας για χρήση σε μοντέλο αεροπλάνου που είναι στην παραγωγή ουσιαστικά αμετάβλητο από το 1970. Ακόμη και με ένα μεγάλο κάλυμμα, το όλο πακέτο ζυγίζει μόνο 380 γραμμάρια.

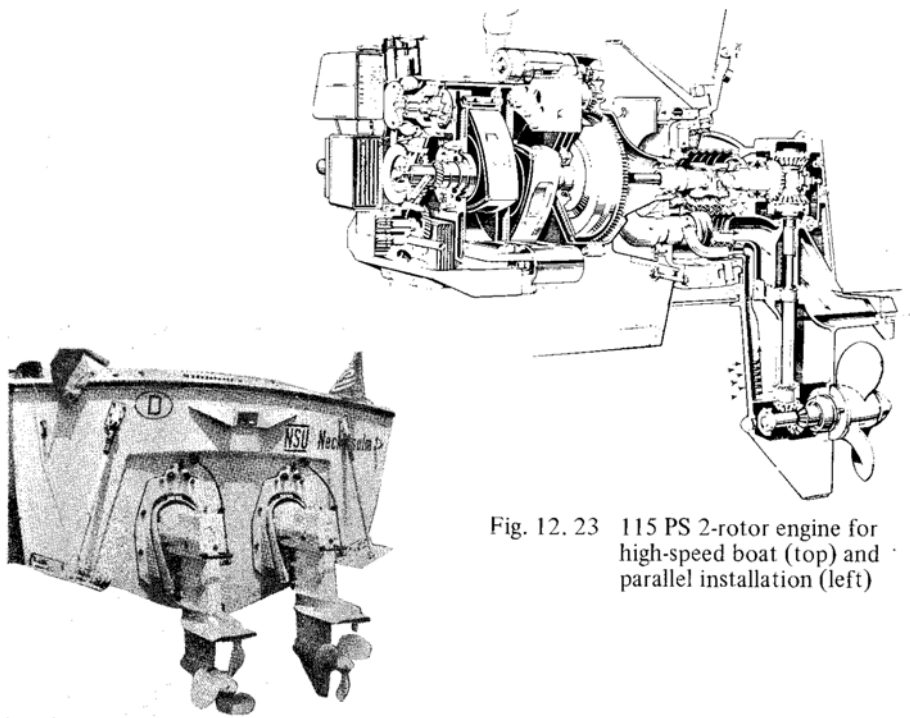


Fig. 12. 23 115 PS 2-rotor engine for high-speed boat (top) and parallel installation (left)

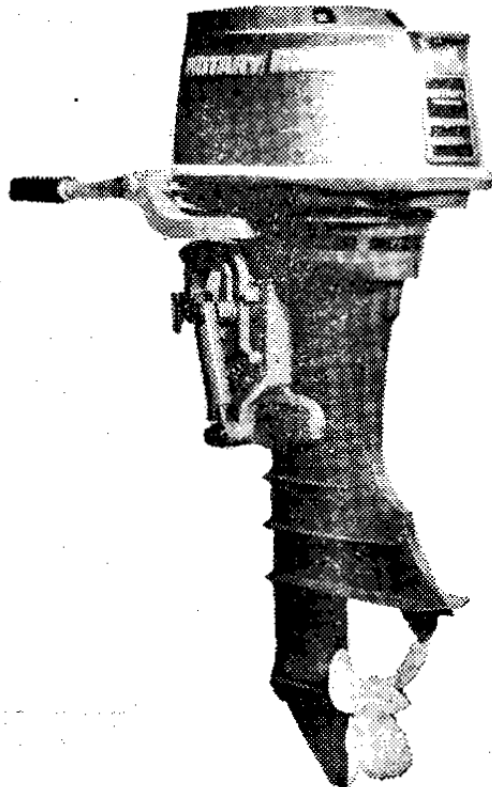
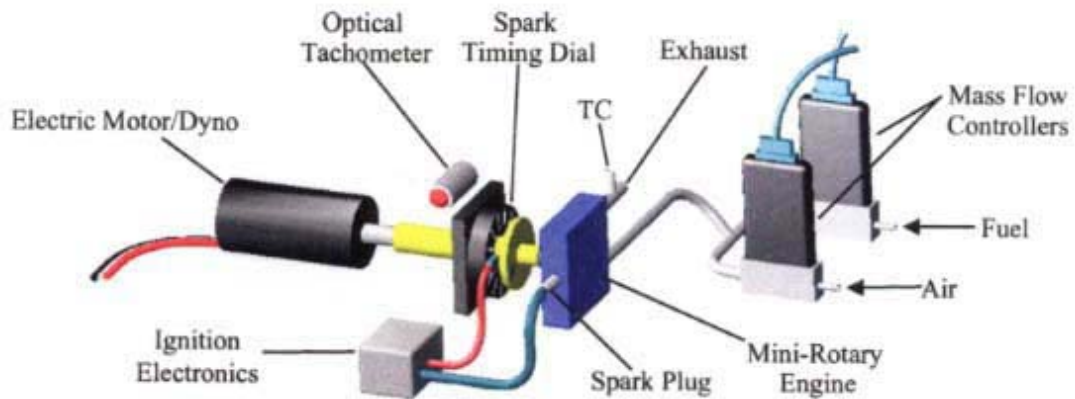
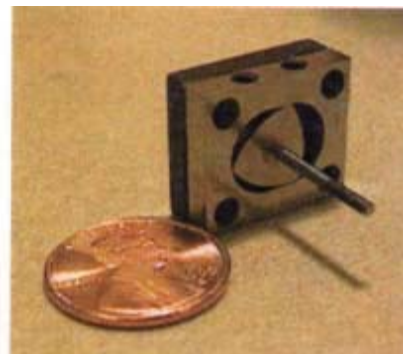
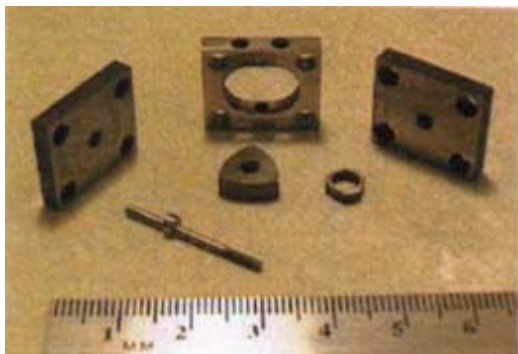


Fig. 5.17 Outboard engine (Yanmar Diesel, 300cc×2-rotor)

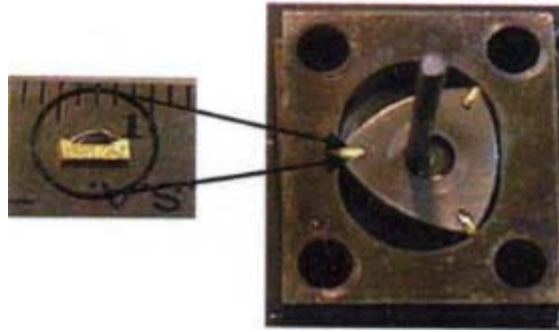
Η απλότητα του Wankel το καθιστά ιδανικό για πολύ μικρές και μικρο-κινητήρων σχεδίων και υποδειγμάτων. Η Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) Rotary Engine εργαστήριο του πανεπιστημίου της Καλιφόρνια, Berkeley έχει αναπτύξει Wankel κινητήρες, έως 1 mm σε μετατοπίσεις λιγότερο από το 0,1 cc.. Τα υλικά που περιλαμβάνει το πυρίτιο και κινητήρια δύναμη περιλαμβάνει πεπιεσμένο αέρα. Ο στόχος τελικά είναι να αναπτύξει μια μηχανή εσωτερικής καύσεως που θα παραδώσει 100 milliwatts ηλεκτρικής ενέργειας Τον ίδιο κινητήρα θα χρησιμοποιεί ως τον δρομέα της γεννήτριας, και με μαγνήτες ενσωματωμένους στο στροφείο του ίδιου του κινητήρα.



Mini-Rotary Engine



MN30 Mini-Rotary Engine



Modified MN30 Rotor
with Apex Seals

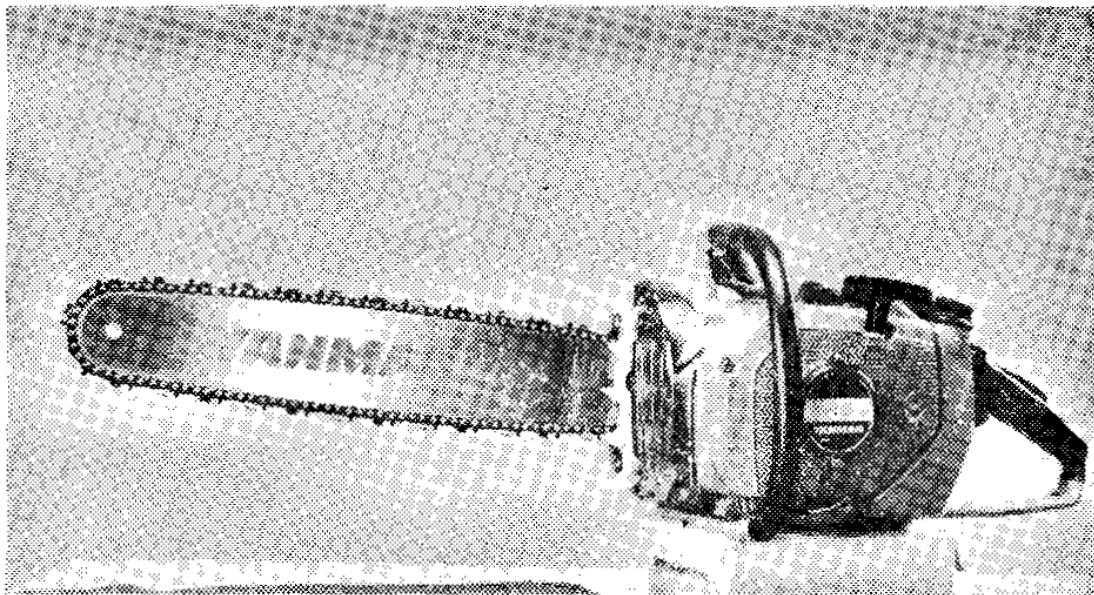
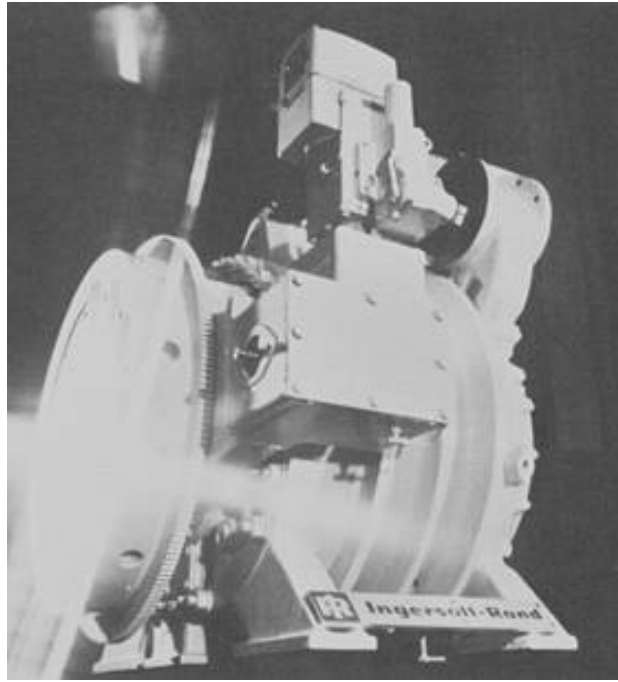


Fig. 5.20 Chain saw (Yanmar Diesel, 60cc×1-rotor)

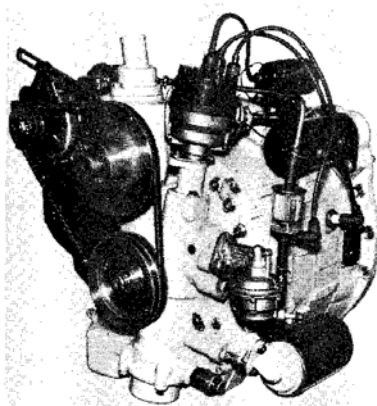


Wankel κινητήρας της Curtiss-Wright,

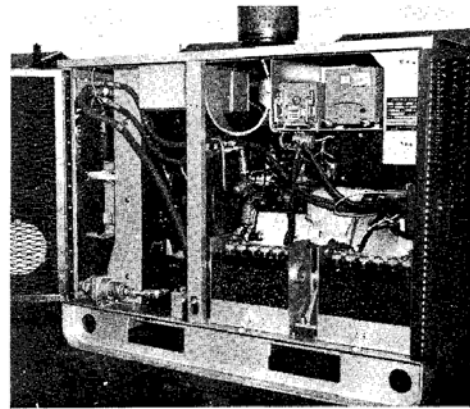
Ο μεγαλύτερος κινητήρας Wankel κινητήρας που κατασκευάστηκε από την Ingersoll-Rand διατίθεται σε 550 hp (410 kW) με ένα στροφέιο και 1100 hp (820 kW) με δύο στροφέια, και την εκτόπιση 41 λίτρα ανά στροφέιο με στροφέα περίπου ένα μέτρο σε διάμετρο, ήταν διαθέσιμη ανάμεσα 1975 και 1985 και προέρχεται από μια προηγούμενη, ανεπιτυχούς μελέτη και σχεδιασμού περιστροφικού κινητήρα από την Curtiss-Wright, η οποία απέτυχε εξαιτίας ενός πολύ γνωστού προβλήματος σε όλους τους κινητήρες εσωτερικής καύσης: η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει η φλόγα περιορίζει την απόσταση της καύσης έτσι δεν μπορούν να ταξιδεύουν από το σημείο ανάφλεξης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, και λόγω του μεγάλου μέγεθος του κυλίνδρου το στροφέιο-θάλαμο να μην μπορούν να χρησιμοποιήσουν όλη τη καύση ακαριαία. Αυτό το πρόβλημα λύθηκε με τον περιορισμό των στροφών του κινητήρα με μόνο 1.200 σ.α.λ. και τη χρήση του φυσικού αερίου ως καυσίμου. Αυτό ήταν εξαιρετικά καλή επιλογή, ως μια από τις σημαντικότερες χρήσεις της μηχανής ήταν ως συμπιεστής για αγωγούς φυσικού αερίου.



Ingersoll-Rand IR-2500 550 ps/1000rpm 41000cc



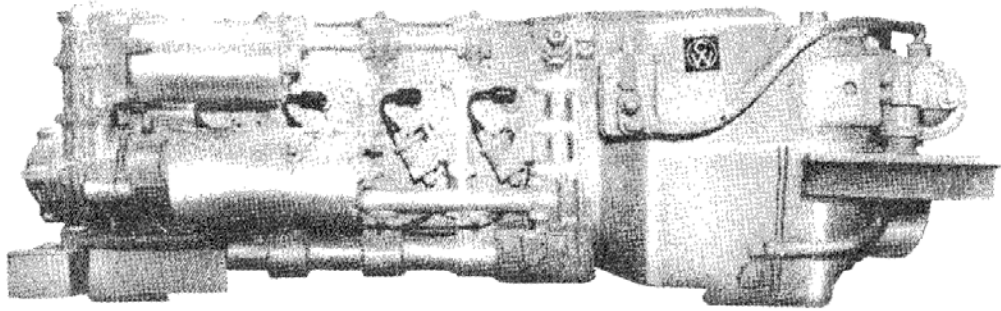
(a)



(b)

Fig. 12.7 Curtiss-Wright RC 2-60 water-cooled engine (a) used with a 60 kW generator (b)

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το 1959 κατόπιν αδείας από την NSU, στην Curtiss-Wright πρωτοστάτησε ήσσοнос σημασίας βελτιώσεις στο βασικό σχεδιασμό των κινητήρων. Στη Βρετανία, στη δεκαετία του 1960, η Rolls Royce Motor Car τμήματος στο Crewe, Cheshire, πρωτοστάτησε σε δύο φάσεις ντίζελ έκδοση του κινητήρα Wankel.



Single chamber working volume 1000 cc

Maximum output 425 PS/6500 rpm

Fig. 10. 11 Outside view of the Curtiss-Wright 4 RC 6 4-rotor engine



Rolls Royce R6 δύο στάδια με Wankel κινητήρα
ντίζελ.(2*(1265+3250cc) 350ps/4500rpm

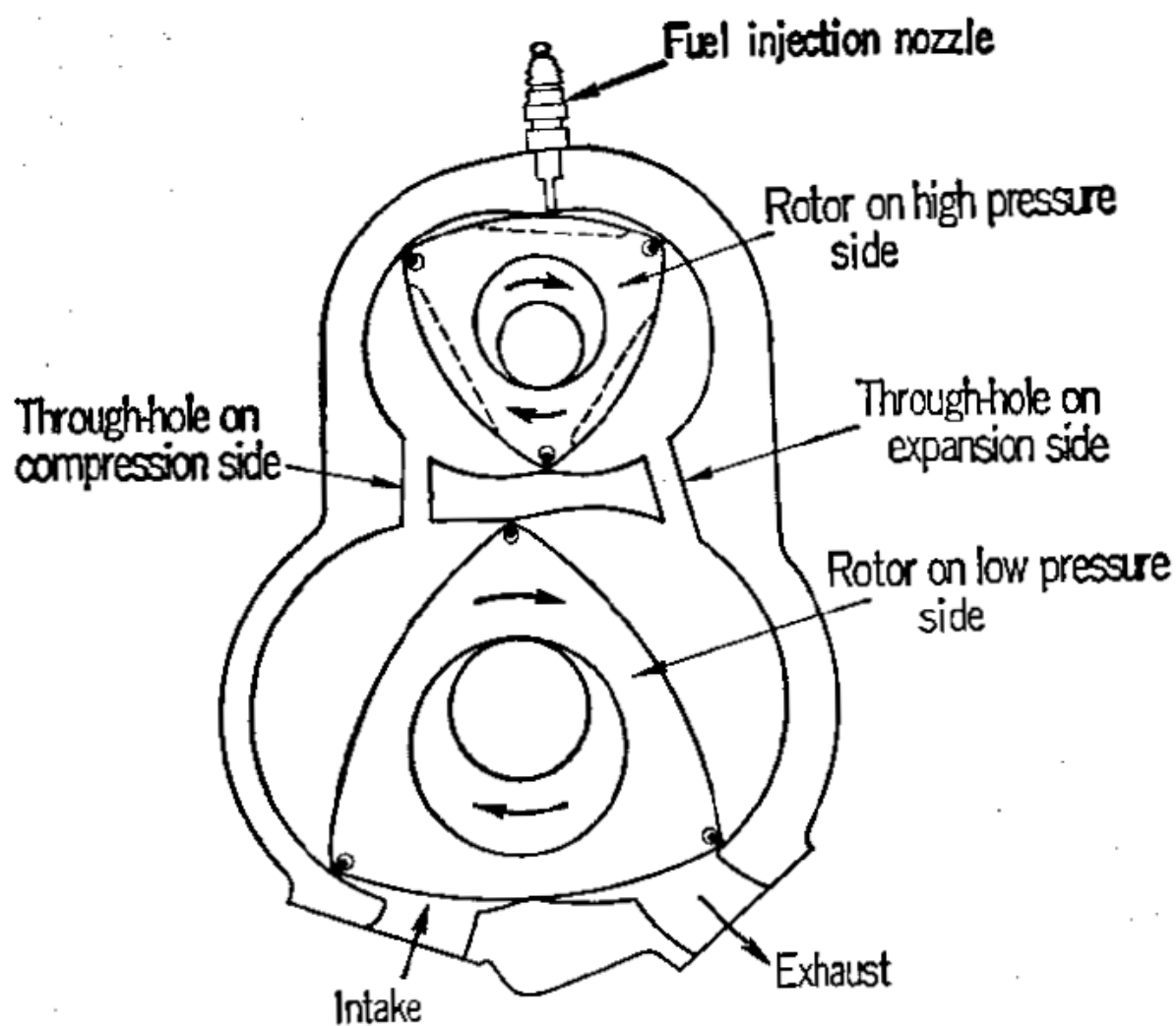


Fig. 5.13 Two-stage diesel rotary engine
(Rolls Royce, Great Britain)

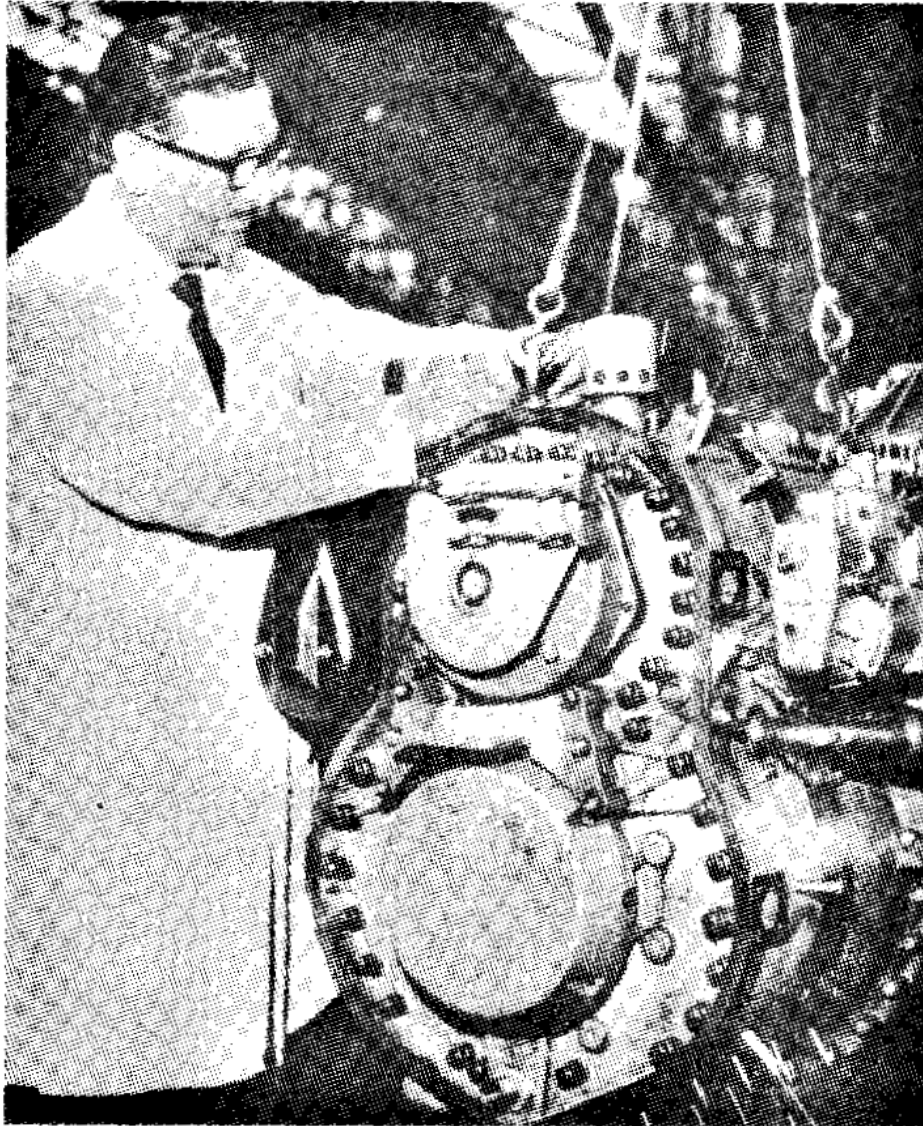


Fig. 5.14 Diesel rotary engine (Rolls Royce, Great Britain)

Το 1971 και το 1972 η Arctic Cat που παράγει snowmobiles για χιόνια που κινούνται με 303 cc Wankel περιστροφικό κινητήρα που κατασκευάζεται από την Sachs στη Γερμανία. Η Deere & Company σχεδίασε μια έκδοση που ήταν σε θέση να χρησιμοποιεί μια ποικιλία καυσίμων. Ο σχεδιασμός είχε προταθεί για χρήση στο σώμα των πεζοναυτών για τις Ηνωμένες Πολιτείες και την απόσυρση παλαιότερων οχημάτων και άλλου εξοπλισμού στα τέλη της δεκαετίας του 1980

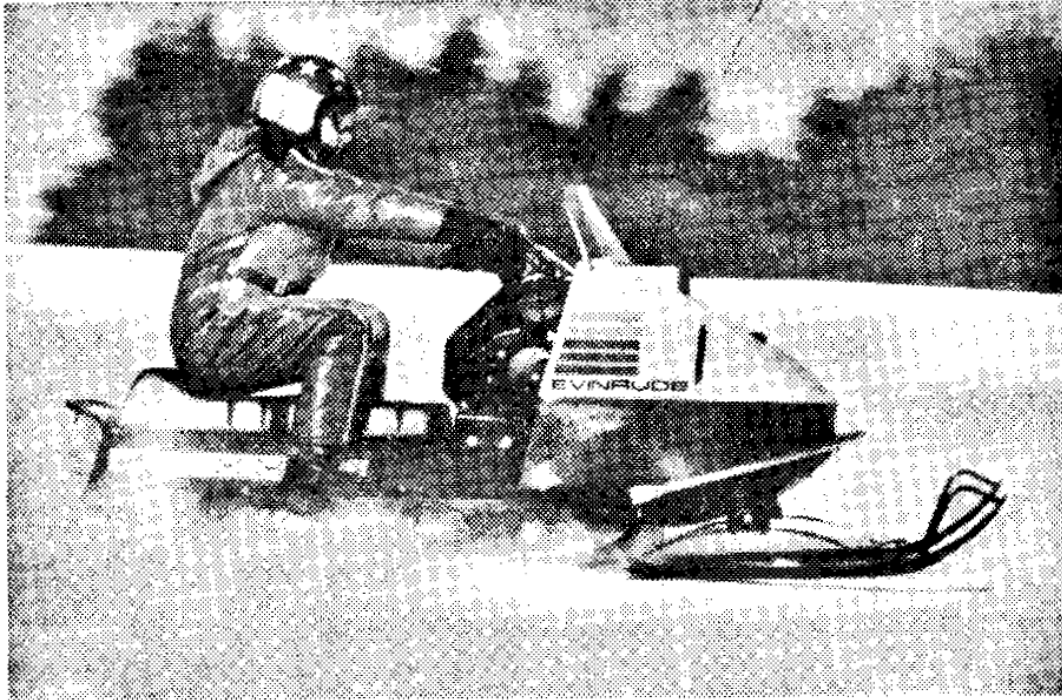
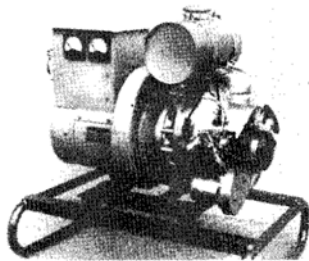
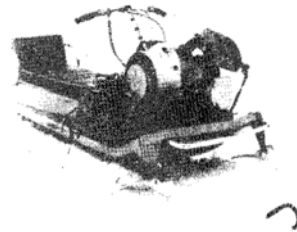


Fig. 5.16 Snowmobile (Outboard Marine, USA, 530cc × 1-rotor)



(a) Portable generator with F & S KM37 engine



(b) Snowmobile with F & S KM914 engine

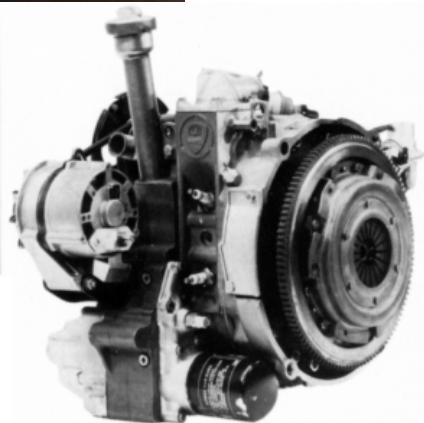
Η Σοβιετική αυτοκινητοβιομηχανίας AvtoVAZ επίσης πειραματίστηκε με το σχεδιασμό των αυτοκινήτων με κινητήρα Wankel, χωρίς το πλεονέκτημα της άδειας χρήσης. Το 1978, που σχεδιάστηκε ένας κινητήρας με τα δύο στροφείς και στη δεκαετία του 1980, ξεκίνησε την παράδοση Wankel κινητήρων, για τη VAZ-2106s και τη LADA κυρίως στις υπηρεσίες ασφαλείας Η Aviadvigatel, η Σοβιετική εταιρία κινητήρων αεροσκαφών γραφείο σχεδιασμού, είναι γνωστό ότι έχουν παραχθεί Wankel κινητήρες για αεροσκάφη και ελικόπτερα, αν και ελάχιστα συγκεκριμένα στοιχεία έχουν έρθει στην επιφάνεια.



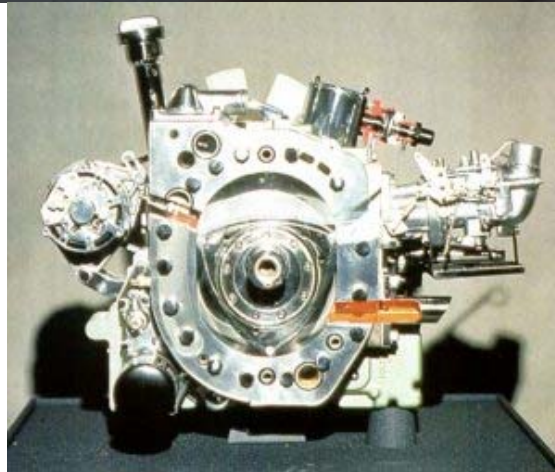
Mercedes-Benz C 111

Αν και πολλοί κατασκευαστές είχαν την άδεια του σχεδιασμού, και η Mercedes-Benz θα τη χρησιμοποίησουν για τους C111 για χρήση σε αυτοκίνητο, τελικά μόνο Mazda έχει Wankel κινητήρες που παράγονται σε μεγάλους αριθμούς. Η AMERICAN MOTORS COMPANY (AMC) ήταν τόσο πεπεισμένη ότι ο περιστροφικός κινητήρας, θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο ως μονάδα παραγωγής ισχύος για τα αυτοκίνητα και τα φορτηγά του μέλλοντος σύμφωνα με πρόεδρο Roy D. Chapin Jr. Η μικρότερη αμερικανική automaker υπέγραψε συμφωνία το Φεβρουάριο του 1973, για την κατασκευή Wankel κινητήρων τόσο για επιβατηγά αυτοκίνητα και Jeeps, καθώς και το δικαίωμα να πωλούν κάθε περιστροφικό κινητήρα που παράγει και σε άλλες εταιρείες. αν και από τότε, η AMC είχε αποφασίσει να αγοράζει Wankel κινητήρες από GM αντί να τους κατασκευάζει μόνη της. Ωστόσο, οι κινητήρες της GM δεν είχαν επιτύχει την παραγωγή μέρος της αποτυχίας ήταν η αύξηση της τιμής των καυσίμων και οι ανησυχίες σχετικά με την προτεινόμενη νομοθεσία εκπομπών ρύπων στις Ηνωμένες Πολιτείες. ο Wankel της General Motors δεν συμμορφώνονται με τα πρότυπα εκπομπών, ώστε το 1974 η εταιρεία ακυρώθηκε την ανάπτυξη του.

Μετά από περιστασιακή χρήση σε αυτοκίνητα, για παράδειγμα από NSU με τους Ro 80 model τη Citroen με την M35, και τη GS Birotor χρησιμοποιώντας κινητήρες που παράγεται από τη Comotor, καθώς και η αποτυχημένη απόπειρα από της General Motors και της Mercedes-Benz για το σχεδιασμό αυτοκινήτων, με κινητήρα Wankel την πιο ευρεία χρήση του αυτοκινήτου με Wankel κινητήρα έχει η ιαπωνική εταιρία Mazda.



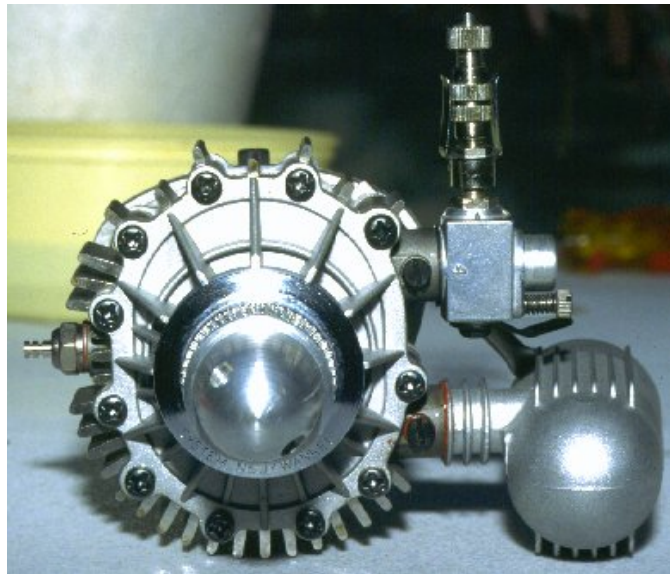
In 1970, Citroën produced the M35 prototype. Engine Single rotor
Wankel 993 cm³ swept volume 6 CV fiscal rating
9:1 compression ratio 49 bhp @ 5 500 rpm 7 mkg (50,6 lb ft)
torque 2745 rpm Water cooled



GS Birotor The COMOTOR 624 engine was fitted in the short lived
GZ Birotor

Number of rotors 2 Swept volume 1 990 cm³ 11 CV fiscal rating
9:1 compression ratio 107 bhp 6500rpm
14 mkg (101,3 lb.ft) @ 3 000 rpm

Μετά από αρκετά χρόνια έρευνας, η Mazda παρουσίασε ένα αυτοκίνητο με κινητήρα Wankel ήταν το 1967 το Cosmo. Η εταιρεία ακολούθησε με πλήθος οχημάτων τα οποία εφοδιάζονταν με Wankel κινητήρα συμπεριλαμβανομένων και ένα λεωφορείο και ένα φορτηγό pickup truck.. Οι πελάτες συχνά αναφέρονται στα αυτοκίνητα για την ομαλότητα λειτουργίας τους. Ωστόσο, η Mazda επέλεξε μια μέθοδο για να συμμορφωθούν με τους υδρογονάνθρακες και τα πρότυπα εκπομπής καυσαερίων, αν και λιγότερο ακριβός για την παραγωγή, όμως λόγω της αυξημένης της κατανάλωσης καυσίμων, και κατά τη μεγάλη αύξηση των τιμών των καυσίμων η Mazda εγκατέλειψε τα σχέδια για τον Wankel στις περισσότερες εκδόσεις των αυτοκινήτων της, αλλά συνέχισε τον χρησιμοποιεί στο RX-7 μέχρι και σήμερα



Wankel Engine Graupner / OS 49-PI είναι 1,27 hp (947 W)
(5cc x 1-rotor)

Ιστορική αναδρομή...

ΧΡΟΝΙΚΟ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΟΥ WANKEL ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

1951	Ο Felix Wankel συνεργάστηκε με την NSU για την προώθηση της έρευνας και ανάπτυξης στον περιστροφικό κινητήρα
1957	Οι Wankel/NSU δημιούργησαν τον πρωτότυπο περιστροφικό κινητήρα DKM.
1958	Οι Wankel/NSU δημιούργησαν τον πρωτότυπο περιστροφικό κινητήρα KKM.
1959	Ο Wankel τελειοποίησε τον τύπο KKM250 περιστροφικό κινητήρα
1960	Οι Wankel/NSU έλεγξαν δημοσίως τον περιστροφικό κινητήρα
1961	Η Mazda έκανε σύμβαση με την NSU και τον Wankel Η Mazda κατασκεύασε τον πρώτο πρωτότυπο περιστροφικό κινητήρα
1963	Η Mazda δημιούργησε το δικό της τμήμα έρευνας R&D αποκλειστικά για τον Wankel. Από την αρχή φάνηκε ότι το αυτό το τμήμα είχε ιδιαίτερα δύσκολο έργο.
1964	Πρωτότυπο σπορ μοντέλο με περιστροφικό κινητήρα εμφανίζεται στην έκθεση αυτοκινήτου του Τόκιο
1966	Το 1966 η Mazda είχε αρχίσει την έρευνα για τη μείωση των καυσαερίων του περιστροφικού κινητήρα. Το αποτέλεσμα ήταν η εξέλιξη ενός συστήματος καύσης των άκαυτων υδρογονανθράκων που διέφευγαν στην εξαγωγή. Οι εξελίξεις απέδειξαν ότι αυτό το γεγονός είχε τη δική του, ξεχωριστή σημασία.

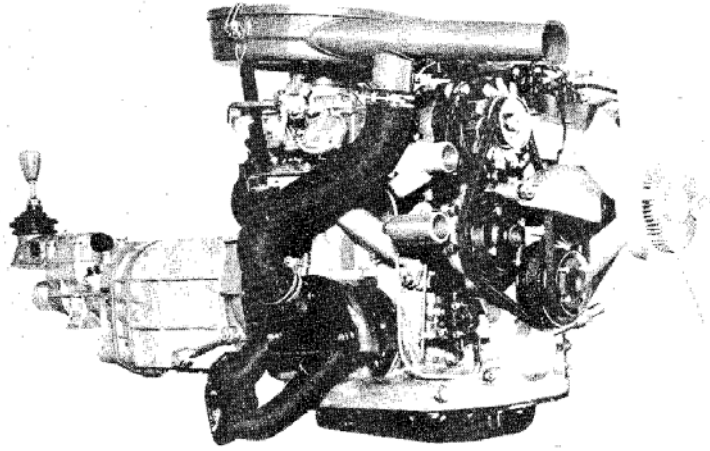
1967	<p>Η Mazda παρουσιάζει το πρώτο μοντέλο με περιστροφικό κινητήρα 'Cosmo Sport'. 'Mazda 110S' τύπος 10A (491cc x 2) στην Ιαπωνική αγορά. Ο κινητήρας 10A απέδιδε 110 ίππους και εξασφάλιζε στο μικρό coupe εντυπωσιακές επιδόσεις.</p> <p>Τα “μαχαίρια” είχαν κατασκευαστεί από πυρογραφίτη, και σε δοκιμές είχαν συμπληρώσει πάνω από 1.000 ώρες συνεχούς λειτουργίας χωρίς πρόβλημα.</p> <p>Ο κινητήρας 10A αποτέλεσε τη βάση για την εξέλιξη και των υπόλοιπων περιστροφικών κινητήρων της εταιρίας που παραθέτουμε εδώ.</p>
1968	<p>Το 'Familia Rotary Coupe' .</p> <p>'Mazda R100 Coupe' με τύπο κινητήρα: 13A (491cc x 2) κάνει την εμφάνισή του</p>
1969	<p>Αρχίζουν οι εξαγωγές αυτοκινήτων περιστροφικού κινητήρα στην Αυστραλία και Ταϊλάνδη</p> <p>Το 'Luce Rotary Coupe</p> <p>' 'Mazda R130 Coupe'/ με τύπο μηχανής: 13A (655cc x 2) βγαίνει στην αγορά</p> <p>Ο περιστροφικός κινητήρας της Mazda περνάει τα τεστ εκπομπών των ΗΠΑ</p>
1970	<p>Ο Ιαπωνικός Οργανισμός Μηχανολογίας βράβευσε τη Mazda για την εμπορικότητα του περιστροφικού κινητήρα</p> <p>Αρχίζουν οι εξαγωγές αυτοκινήτων περιστροφικού κινητήρα στην Ελβετία</p> <p>Το 'Capela Rotary' 'Mazda RX-2'/ με τύπο κινητήρα: 12A (573cc x 2) κάνει την εμφάνισή του</p> <p>Αρχίζουν οι εξαγωγές αυτοκινήτων περιστροφικού κινητήρα στις ΗΠΑ</p>

1971	<p>Το 'Savanna Rotary' 'Mazda RX-3'/τύπος κινητήρα: 10A (491cc x 2) κάνει την εμφάνισή του</p> <p>Η παραγωγή έφθασε τα 200.000 αυτοκίνητα με περιστροφικό κινητήρα</p>
1972	<p>Το 'Capela Rotary Coupe, 'με μηχανή σφραγισμένη, συμπλήρωσε 100.000km δρόμου μέσω 11 Ευρωπαϊκών χωρών</p> <p>Το 'Luce Rotary' 'Mazda RX-4'/τύπος μηχανής: 12A (573cc x 2) εμφανίζεται</p>
1973	<p>Ο περιστροφικός κινητήρας της Mazda περνάει τα τεστ εκπομπών των ΗΠΑ για το 1975</p> <p>Η παραγωγή έφθασε τα 500.000 αυτοκίνητα με περιστροφικό κινητήρα</p> <p>Κάνει την εμφάνισή του το 'Luce AP Grand Turismo' τύπος μηχανής: 13B (654cc x 2)</p>
1974	<p>Το 'Parkway Rotary 26' τύπος μηχανής: 13B (654cc x 2) κάνει την εμφάνισή του</p>
1975	<p>Το 'Roadracer AP' τύπος μηχανής: 13B (654cc x 2) κάνει την εμφάνισή του</p> <p>Βγαίνει το 'Cosmo AP'. 'Mazda RX-5'τύπος μηχανής: 13B (654cc x 2) με χαμηλές εκπομπές και 40% βελτίωση στην αποτελεσματικότητα καυσίμου</p>
1978	<p>Βγαίνει το 'Savanna RX-7' 'Mazda RX-7'/τύπος μηχανής: 12A (573cc x 2)</p> <p>Η παραγωγή έφθασε τα 1.000.000 αυτοκίνητα με περιστροφικό κινητήρα</p>
1981	<p>Το 'Cosmo' και το 'Luce Rotary' 'Mazda 929'/τύπος μηχανής: 12A (573cc x 2)κάνουν το ντεμπούτο τους</p>
1983	<p>Με νέα όψη το 'Savanna RX-7 εμφανίζεται με τον πρώτο στον κόσμο περιστροφικό κινητήρα τούρμπο</p>

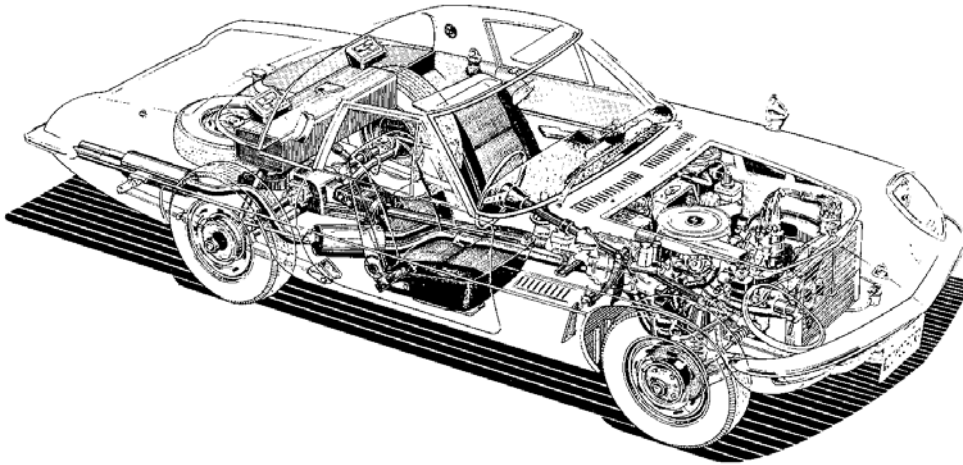
1985	Δεύτερη γενιά του 'Savanna RX-7' 'Mazda RX-7' τύπος μηχανής: 13B turbo (654cc x 2 έκανε την εμφάνισή της
1986	Η παραγωγή έφθασε τα 1.500.000 αυτοκίνητα με περιστροφικό κινητήρα
	Βελτιωμένο 'Luce Rotary' τύπος μηχανής: 13B turbo (654cc x 2) βγήκε στην αγορά
1990	Το 'Eunos Cosmo' τύπος μηχανής: 20B-REW (654cc x 3); 13B-REW (654cc x 2) κάνει την εμφάνισή του με τον πρώτο περιστροφικό κινητήρα τριών ροτόρων
	Η παραγωγή έφθασε τα 100.000 αυτοκίνητα με περιστροφικό κινητήρα
1991	Το 'Mazda 787B' επέτυχε την απόλυτη νίκη στον 59ο αγώνα 24 ωρών του Le Mans 3 χρόνια μετά τον θάνατο του Felix Wankel, τερμάτισε πρώτο στις 24 Ώρες του Le Mans κατατροπώνοντας αντιπάλους όπως η Mercedes και η Jaguar.
	Η τρίτη γενιά 'Anfini RX-7' [τύπος μηχανής: 13B-REW (654cc x 2)] με ιπποδύναμη 255 ίππους βγαίνει προς διάθεση
1995	Το 'RX-01' concept car με την πρωτότυπη μηχανή MSP-RE αποκαλύπτεται στο Tokyo Motor Show
1996	Βγαίνει το βελτιωμένο 'RX-7' με 265 ίππους
1998	Ακόμη καλύτερο το νέο 'RX-7' 280 ίππων
1999	Αποκαλυπτήρια του 'RX-EVOLV' concept car με τον πρωτότυπο κινητήρα RENESIS στην Έκθεση Αυτοκινήτου του Τόκιο
2003	Ο Renesis συνεχίζει την πορεία του κινητήρα Wankel με το Mazda RX-8



Το πρώτο μοντέλο της Mazda που εφοδιάζεται με κινητήρα Βάνκελ είναι το Cosmo 110S, που προωθείται στην αγορά το 1967. Ακολούθησαν τα R100 κουπέ και σεντάν του 1968 και 1969 και η σειρά των RX.



(a)



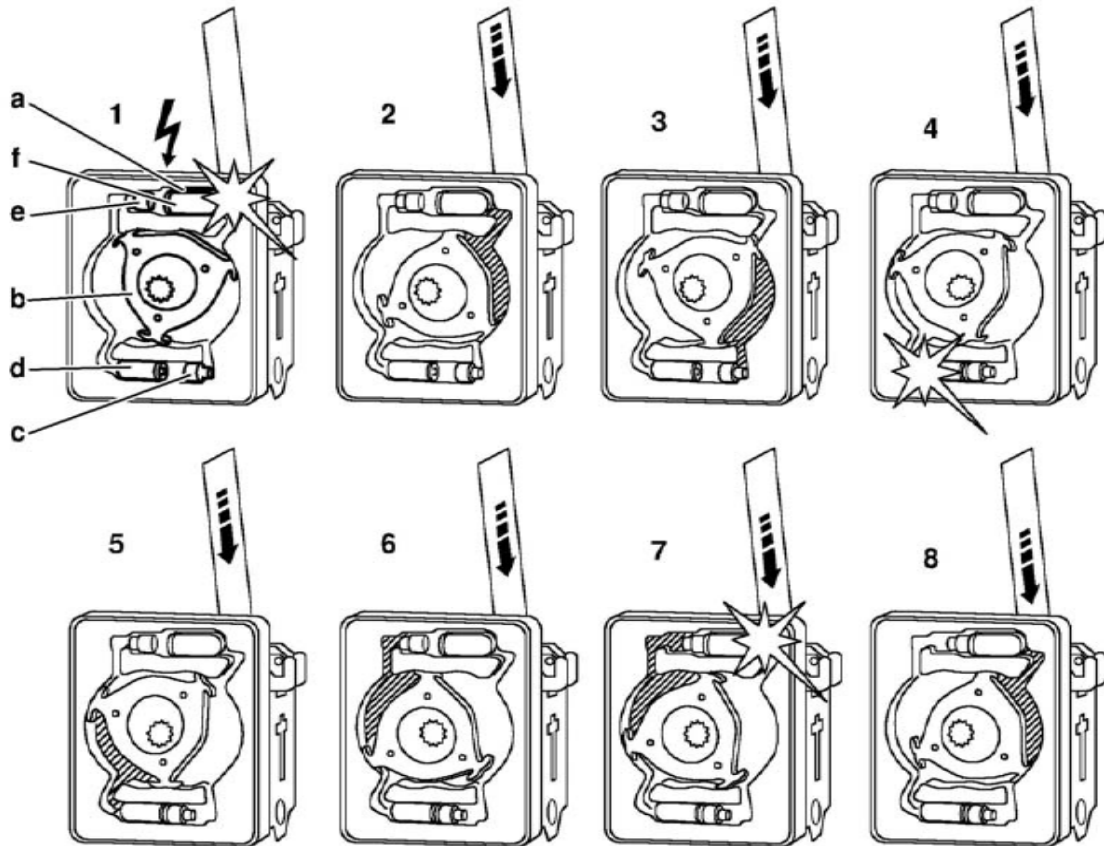
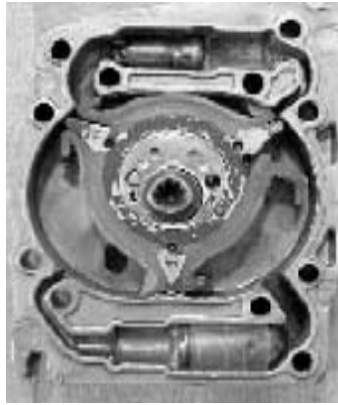
(b)

Fig. 12.9 Toyo Kogyo model 0813 2-rotor engine
(a) and the MAZDA 110S model (b)
(Production started in 1967)

Περιστροφικοί κινητήρες μη εσωτερικής καύσης

Πέρα από το να χρησιμοποιηθούν για κινητήρες εσωτερικής καύσης, ο βασικός σχεδιασμός Wankel έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για αεροσυμπιεστές, και superchargers για κινητήρες εσωτερικής καύσης, αλλά σε αυτές τις περιπτώσεις, παρόλο που ο σχεδιασμός εξακολουθεί να προσφέρει πλεονεκτήματα σε αξιοπιστία, τα βασικά πλεονεκτήματα του Wankel σε μέγεθος και βάρος, από το τετράχρονο κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι άνευ σημασίας. Σε ένα σχεδιασμό με τη χρήση υπερτροφοδότη σε ένα Wankel κινητήρα Wankel, ο υπερτροφοδότης είναι διπλάσιος από το μέγεθος του κινητήρα.

Ίσως από τις πιο εξωτικές χρήσεις του Wankel είναι στο σχεδιασμό της ζώνης ασφαλείας ως προεντατηρες τάσεως σε Mercedes-Benz, αυτοκίνητα. Σε αυτά τα αυτοκίνητα, όταν οι αισθητήρες επιβράδυνση αντιλαμβάνονταν μια πιθανή συντριβή, μικρά εκρηκτικά φυσίγγια ενεργοποιούνται ηλεκτρικά και με αποτέλεσμα το υπό πίεση αέριο να τροφοδοτεί μικροσκοπικό Wankel κινητήρα ο οποίος ευθύνονταν για την ανάληψη των χαλαρών ζωνών του συστήματος ασφαλείας, με αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση του οδηγού και των επιβατών σταθερά στις θέσεις που ήταν πριν από τη σύγκρουση



Wankel Type ETR προεντατηρες τάσεως σε Mercedes-Benz, αυτοκίνητα

ΤΕΧΝΙΚΑ- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Ο περιστροφικός κινητήρας (rotary ή wankel από το επίθετο του εφευρέτη, Felix Wankel) είναι ένας τετράχρονος κινητήρας εσωτερικής καύσης, που αναπτύχθηκε στην δεκαετία του 1950. Η βασική αρχή

παραγωγής ισχύος είναι ίδια με του κλασικού τετράχρονου παλινδρομικού εμβολοφόρου, αφού χρησιμοποιεί την ισχύ από την καύση του μείγματος βενζίνης/αέρα για να παράγει έργο. Όμως σε αντίθεση με τον παλινδρομικό κινητήρα, ο περιστροφικός κινητήρας Wankel δεν έχει πιστόνια, μπιέλες, βαλβίδες και εκκεντροφόρους αλλά ρότορες που περιστρέφονται μέσα στους στάτορες (θαλάμους) και περιστρεφόμενο έκκεντρο άξονα για τη μετάδοση της ισχύος. Στον Wankel κινητήρα, οι τέσσερις χρόνοι λειτουργίας ενός τυπικού κύκλου Otto συμβαίνουν στο χώρο μεταξύ των τριών όψεων του συμμετρικού στροφείου και το εσωτερικό των στατορών. Στο βασικό ενός στροφείου κινητήρα Wankel, το οβάλ τροχοειδές σχήμα στέγασης που περιβάλλει ένα στροφείο το οποίο είναι παρεμφερές με Reuleaux τρίγωνο, Από μια θεωρητική σκοπιά, το επιλεγμένο σχήμα του δρομέα τους μεταξύ του σταθερού axes είναι ουσιαστικά το αποτέλεσμα της μείωσης του γεωμετρικού όγκου του θαλάμου καύσης και της μεγιστοποίηση του λόγος συμπίεσης, αντίστοιχα. Έτσι, η συμμετρική καμπύλη σύνδεση δύο αυθαίρετων axes του στροφέα αυξάνεται προς την κατεύθυνση της στεγαστικής εσωτερικό σχήμα με τον περιορισμό να μην αγγίξετε τη στέγαση σε κάθε γωνία περιστροφής (τόξου δεν είναι μια λύση αυτού του προβλήματος βελτιστοποίησης).

Ο κεντρικός άξονας, που ονομάζεται επίσης και έκκεντρος άξονας ή E-άξονας, διέρχεται από το κέντρο του ρότορα και υποστηρίζεται από ρουλεμάν. Ο ρότορας περιστρέφεται γύρω από ένα offset λοβό του έκκεντρο άξονα και κάνει τροχιακές περιστροφές γύρω από τον κεντρικό άξονα. Οι σφραγίδες στις γωνίες του ρότορα σφραγίζουν την περιφέρεια της στέγασης, μοιράζοντάς την σε τρεις χρόνους λειτουργίας. Σταθερά εξαρτήματα που είναι τοποθετημένα σε κάθε πλευρά του στάτορα συνεργάζονται με τα εξαρτήματα που συνδέονται με το στροφείο για να διασφαλίσει την ορθή κατεύθυνση, όπως το στροφείο κινήσεις.

Ο καλύτερος τρόπος για την οπτικοποίηση της δράσης του κινητήρα είναι να μην την εξετάσουμε από τον δρομέα, αλλά από τη κοιλότητα που δημιουργείτε μεταξύ αυτού και του στάτορα.. Ο Wankel κινητήρας είναι στην πραγματικότητα ένας κινητήρας μεταβλητού όγκου, έτσι προχωρούν η κοιλότητα που δημιουργείτε από το ρότορα και το στάτορα. Έτσι υπάρχουν 3 κοιλότητες ανά στέγαση, και όλα

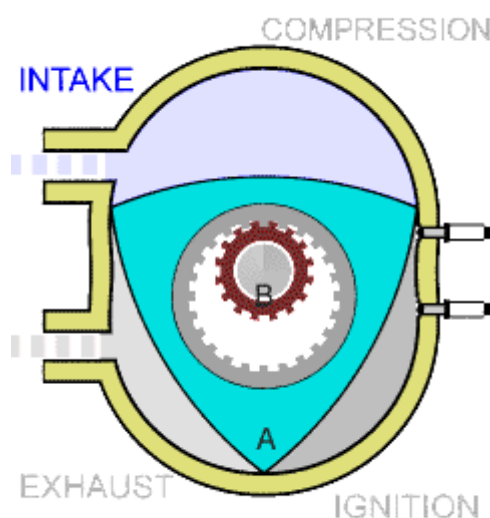
επαναλαμβάνονται με το ίδιο κύκλο. Σημειώστε, επίσης, ότι η μία πλήρη τροχιά του δρομέα τους ισοδυναμεί με 3 στροφές του έκκεντρο άξονα.

Καθώς το στροφέιο περιστρέφεται σε κυκλική τροχία, κάθε πλευρά του ρότορα η πλησιάζει η απομακρύνετε από το τοίχωμα του στάτορα, και επέκταση του θαλάμου καύσης για τους χρόνους λειτουργίας ενός εμβόλου σε ένα παλινδρομικό κινητήρα. Η ισχύς του φορέα από τη καύση περνά στον έκκεντρο άξονα.

Ενώ σε ένα τετράχρονο κινητήρα εμβόλων, η καύση αποτελεί μια φάση λειτουργίας ανά κύλινδρο για κάθε δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα, σε ένα Wankel κινητήρα κάθε θάλαμος καύσης δημιουργεί μια φάση λειτουργίας για κάθε μια περιστροφή του ρότορα, και κατεπεκταση τρις καύσεις για κάθε μια περιστροφή του ρότορα. Έτσι, η απόδοση ισχύος του κινητήρα Wankel είναι γενικά υψηλότερη από εκείνη ενός τετράχρονου εμβολοφόρου κινητήρα με παρόμοια μετατόπιση και υψηλότερη από εκείνη ενός εμβολοφόρου τετράχρονου κινητήρα με παρόμοιες φυσικές διαστάσεις και βάρος.

Οι Wankel κινητήρες γενικά είναι πολύ πιο Redline από ένα παλινδρομικό κινητήρα με παρόμοια απόδοση ισχύος, κυρίως λόγω της ομαλής κίνησης του στροφείου στον e-άξονα και επίσης διότι η ομαλότητα είναι συνυφασμένη με την κυκλική κίνηση, η οποία εξαλείφει τις επικίνδυνες δονήσεις που μπορεί να προκύψουν στους παλινδρομικούς κινητήρες, λόγω της φύσης της λειτουργίας τους.

Οι εθνικοί οργανισμοί που αφορούν το αυτοκίνητο, σύμφωνα με το εκτόπισμα και ρυθμιστικών φορέων στα αγωνιστικά αυτοκίνητα έχουν ποικιλοτρόπως εξετάσει το Wankel κινητήρα που θα ισοδυναμεί με τετράχρονους κινητήρες από 1,5 έως 2 φορές την μετατόπιση. Σε κάποια αγωνιστικά επιβάλλονται κυρώσεις και άλλοι φορείς τον έχουν απαγορεύσει εντελώς

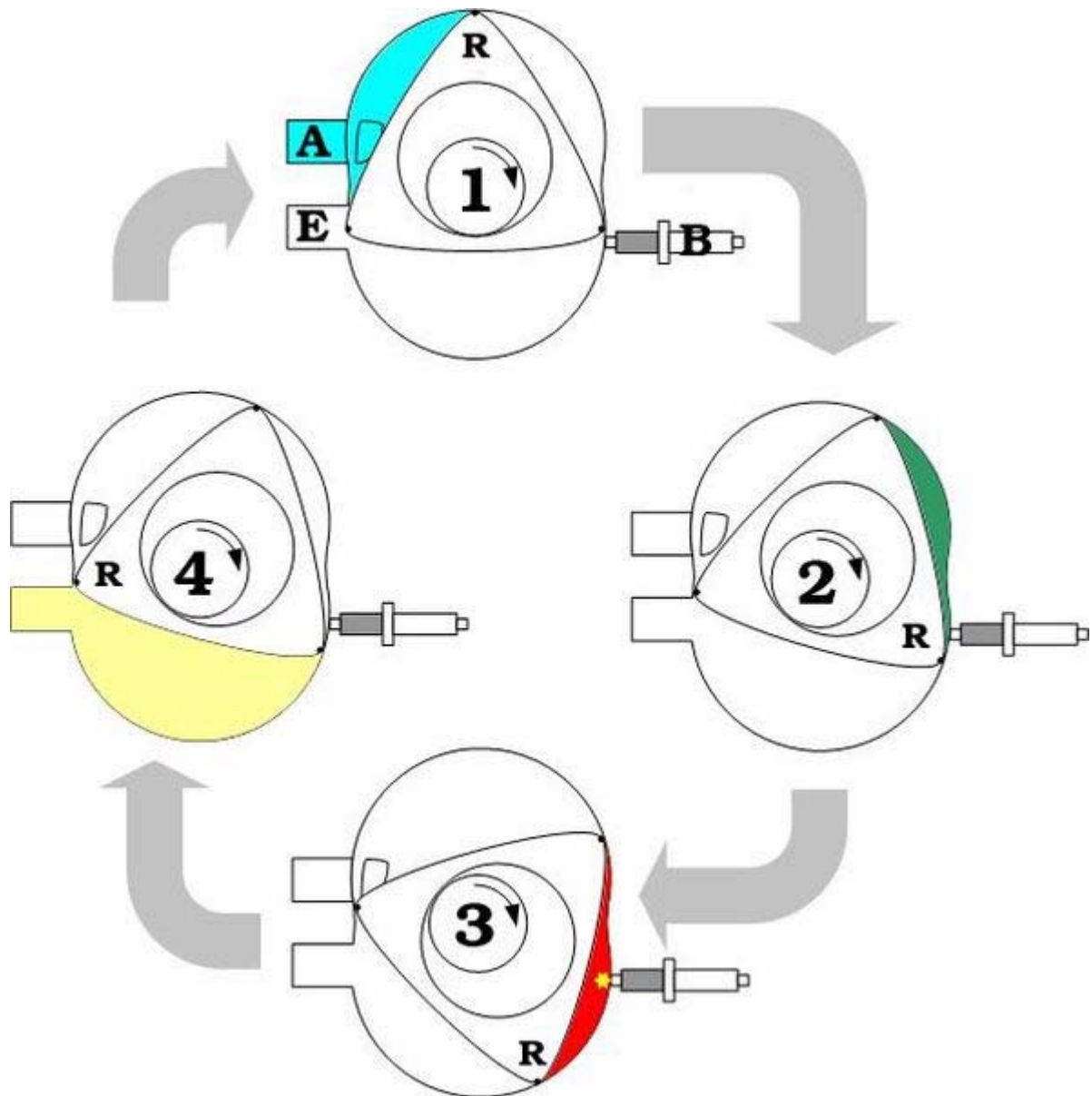


Ο κύκλος λειτουργίας του Wankel. Η "A" σηματοδοτεί μία από τις τρεις αρχές του δρομέα.. Η "B" σηματοδοτεί την εκκεντρική άξονα και το λευκό τμήμα το λοβού του έκκεντρο άξονα. Ο άξονας περιστρέφεται τρεις φορές για κάθε μια περιστροφή του δρομέα γύρω από το στροφείο λοβού και μια φορά για κάθε τροχιακή περιστροφή γύρω από τον έκκεντρο άξονα.

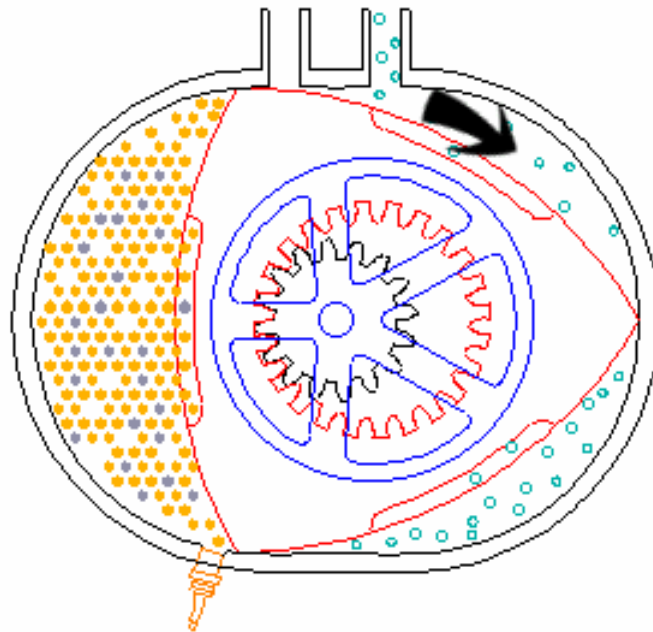


Rotary Engine 20B

Οι φάσεις λειτουργίας του περιστροφικού κινητήρα είναι ίδιες με αυτές ενός παλινδρομικού:

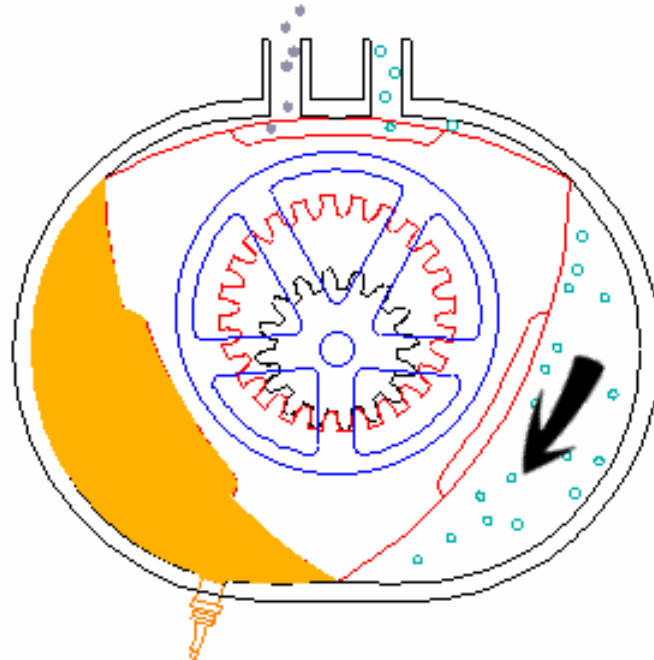


1) Φάση εισπνοής: Η πρόσληψη στη φάση του κύκλου αρχίζει όταν η άκρη του στροφέα περνάει τις θυρίδες εισαγωγής..Αυτή τη στιγμή, όταν οι θυρίδες εισαγωγής είναι εκτεθειμένοι στον θάλαμο, ο όγκος του θαλάμου που είναι κοντά στο ελάχιστο. Όπως το στροφέο απομακρύνετε από τις θυρίδες εισαγωγής , ο όγκος του θαλάμου διευρύνεται, αντλώντας μίγματος αέρα / καυσίμου μέσα στον θάλαμο. Όταν η κορυφή του στροφέα περνάει τη θυρίδα εισαγωγής, το τμήμα αυτό είναι σφραγισμένο και συμπίεση ξεκινάει.



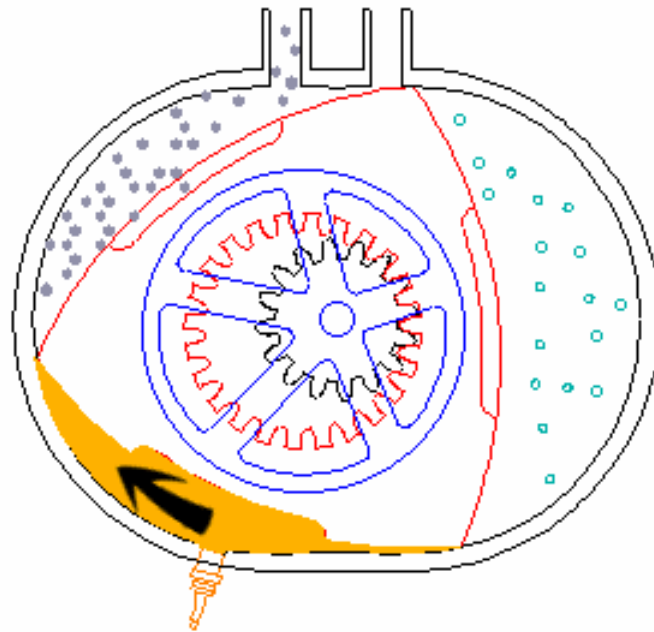
Το μίγμα καυσίμων/αέρα εισάγεται στο χώρο εισαγωγής κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης της περιστροφής.

2) Φάση συμπίεσης: Όπως το στροφέιο συνεχίζει την κίνησή του γύρω από τη στέγαση, ο όγκος του θαλάμου γίνεται μικρότερος και το μίγμα αέρα / καυσίμου συμπιέζεται. Με το χρόνο μπροστά του στροφέα κατέστησε κοντά στο μπουζί, ο όγκος του θαλάμου είναι και πάλι κοντά στο ελάχιστο. Αυτό είναι όταν ξεκινά η καύσης.



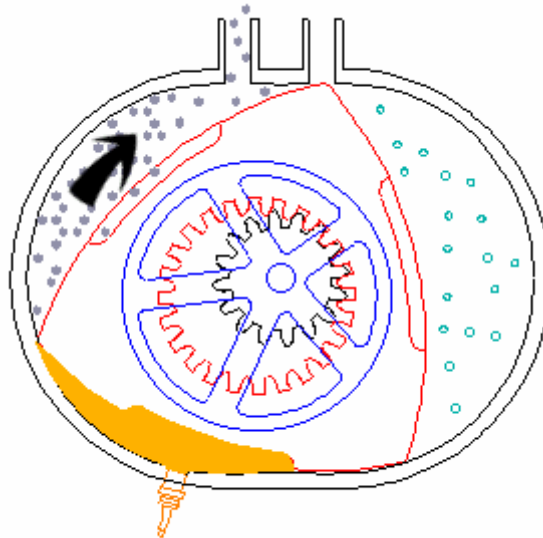
Το μίγμα συμπιέζεται εδώ

3) Φάση ανάφλεξης: Οι περισσότεροι περιστροφικοί κινητήρες, έχουν δύο μπουζί. Ο θάλαμος καύσης είναι μεγάλος, ώστε η φλόγα θα εξαπλωθεί πολύ αργά, Όταν τα μπουζί ανάφλεξη το μείγμα αέρα / καυσίμου, η πίεση των δυνάμεων της καύσης αναγκάζει τον δρομέα να κινηθεί προς την κατεύθυνση που κάνει το θάλαμος να αυξηθεί σε όγκο. Τα καυσαέρια στη συνέχεια να επεκτείνουν, τη μετακίνηση του δρομέα και τη δημιουργία ενέργειας, μέχρι η κορυφή του στροφέα να περάσει από τη θυρίδα της εξάτμισης.



Το μίγμα αναφλέγεται, περιστρέφοντας τον στροφέα

4) Φάση εκτόνωσης: Με την κορυφή του στροφέα περνάει από τη θυρίδα της εξάτμισης, τα υψηλής πίεσης αέρια της καύσης είναι ελεύθερα.. Όπως το στροφέο εξακολουθεί να περιστρέφεται, και ο θάλαμος αρχίζει να συρρικνώνεται, αναγκάζοντας το υπόλοιπο των καυσαερίων να διαφύγουν από τη θυρίδα της εξάτμισης και στη συνέχεια ο όγκος του θαλάμου πλησιάζει το ελάχιστο, και η κορυφή του στροφέα περνάει από τη θυρίδα της εισαγωγής και το σύνολο του κύκλου αρχίζει και πάλι.



Τα καυσαέρια αποβάλλονται

Το κομψό πραγματικά σε σχέση με τον περιστροφικό κινητήρα είναι ότι κάθε μία από τις τρεις πλευρές του στροφείου είναι πάντα σε κάποια φάση λειτουργίας εξαλείφοντας έτσι τους νεκρούς χρόνους που παρουσιάζονται σε μια πλήρη περιστροφή στον περιστροφικό κινητήρα επιπλέον σε μία πλήρη περιστροφή του δρομέα, θα υπάρχουν τρεις καύσης. Θυμηθείτε, όμως, ότι ο έκκεντρος άξονας κίνησης γυρνάει τρεις φορές για κάθε πλήρη στροφή του δρομέα, που σημαίνει ότι υπάρχει ένας χρόνος καύσης για κάθε περιστροφή του άξονα εξόδου.

Τα τμήματα του περιστροφικού κινητήρα

Ένας περιστροφικός κινητήρας διαθέτει ένα σύστημα ανάφλεξης και ένα σύστημα διαχείρισης των καυσίμων που είναι παρόμοιο με αυτό για τους κινητήρες εμβόλων. Αν δεν έχετε δει το εσωτερικό του περιστροφικού κινητήρα, να είστε προετοιμασμένοι για μια έκπληξη, γιατί δεν θα αναγνωρίσει πολύ.

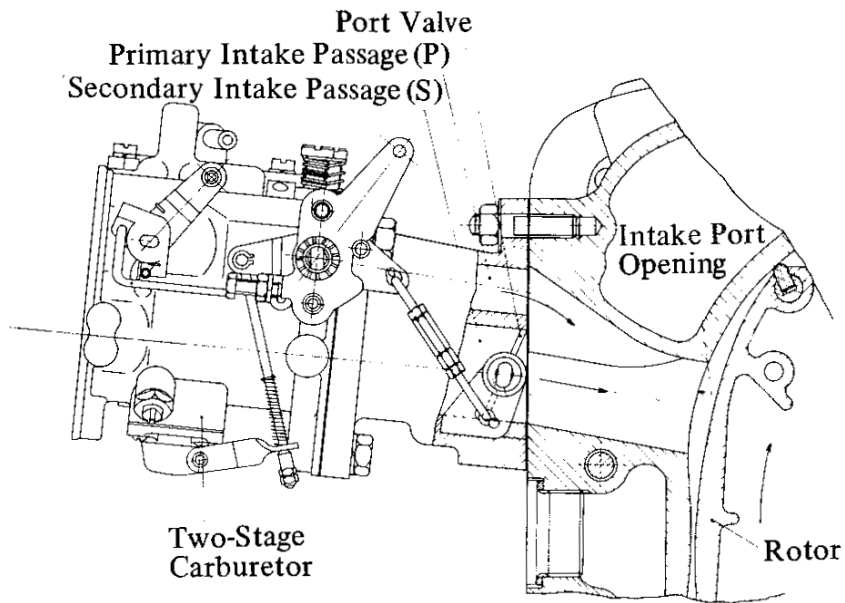


Fig. 3. 6 Peripheral port system sectional view

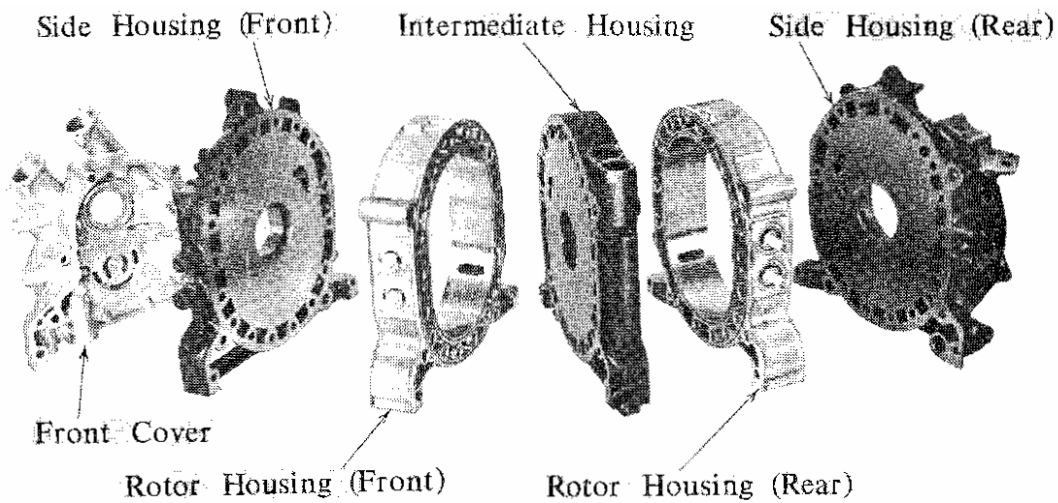
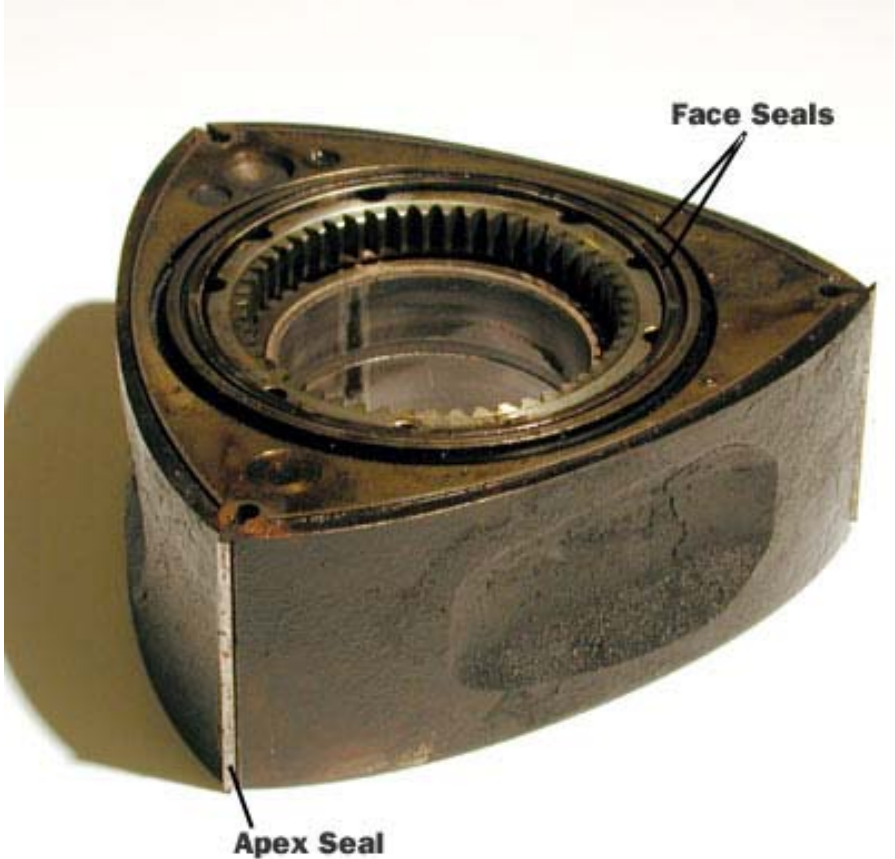


Fig. 3. 10 Two-rotor engine housing construction

ΚΟΙΤΟΓ - ΔΡΟΜΕΑΣ- ΣΤΡΟΦΕΙΟ

Το στροφείο έχει τρεις κυρτές επιφάνειες, κάθε μια από τις οποίες ενεργεί σαν έμβολο. Κάθε κυρτή επιφάνεια του δρομέα έχει μια εσοχή, η οποία αυξάνει τη μετατόπιση του κινητήρα, επιτρέποντας περισσότερο χώρο για το μίγμα αέρα / καυσίμου.



Face Seals

Apex Seal

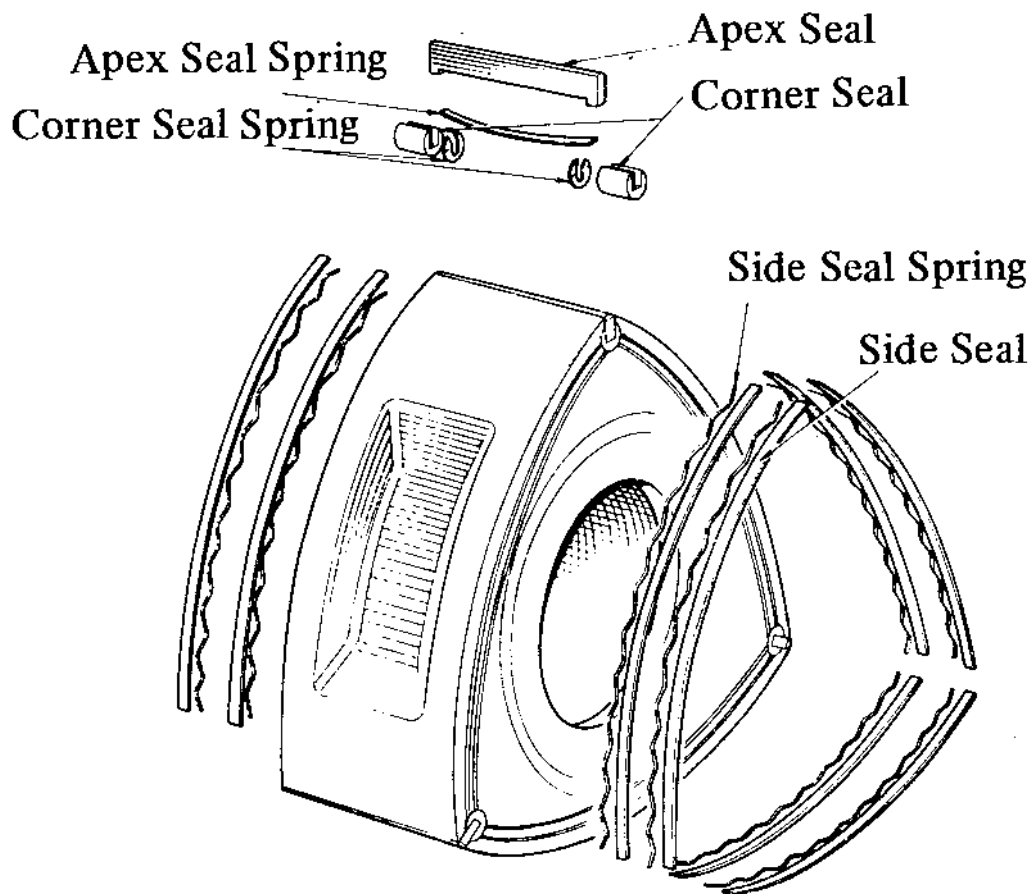


Fig. 4. 1 Basic layout of gas seals

Στην κορυφή του κάθε κυρτής επιφάνειας έχει ένα μεταλλικό έλασμα που αποτελεί μια σφραγίδα στο εξωτερικό του θαλάμου καύσης. Υπάρχουν επίσης μεταλλικά δαχτυλίδια σε κάθε πλευρά του στροφείου, που εξασφαλίζουν στεγανότητα στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης.

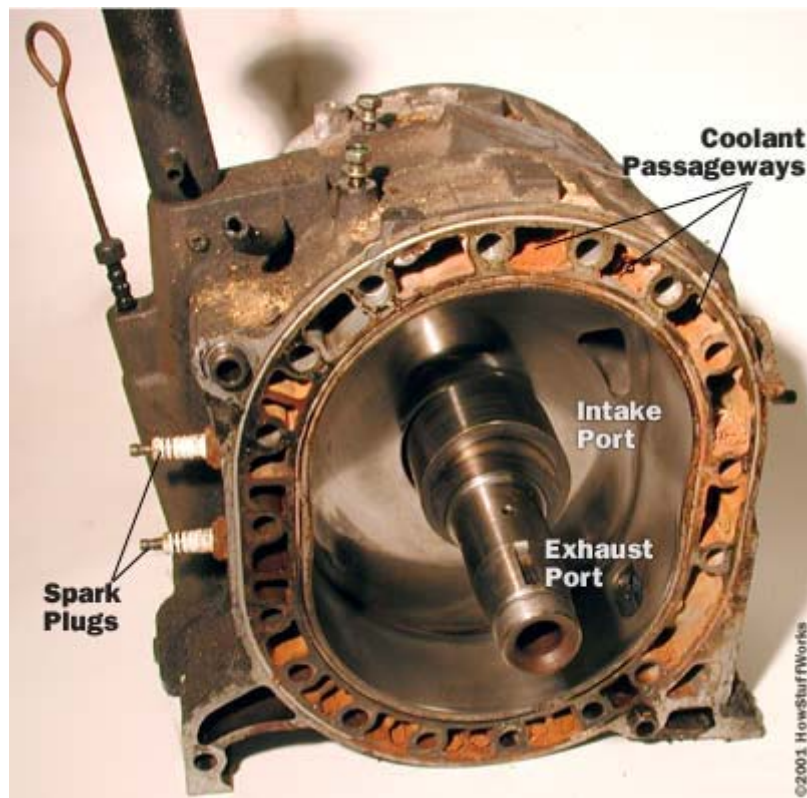
Το στροφείο έχει ένα σύνολο εσωτερικής οδόντωσης το οποίο κόβεται στο κέντρο της μιας πλευράς. Αυτά τα δόντια είναι σταθερά με το περίβλημα. Αυτό το σύνολο της εσωτερικής οδόντωσης καθορίζει την πορεία και την κατεύθυνση του δρομέα μέσα στο εξωτερικό του θαλάμου καύσης.

Housing- στάτορες

Οι στάτορες έχουν περίπου ωοειδές σχήμα. Το σχήμα του θαλάμου

καύσης είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε οι τρεις κορυφές του στροφείου να βρίσκονται πάντα σε επαφή με τα τοιχώματα του θαλάμου, με τρεις σφραγισμένες ποσότητες φυσικού αερίου.

Κάθε τμήμα του στάτορα είναι αφιερωμένο σε ένα μέρος της διαδικασίας της καύσης.



Οι θυρίδες πρόσληψης και εξάτμισης βρίσκονται στον στάτορα.. Δεν υπάρχουν βαλβίδες σε αυτές τις θυρίδες.. Η θυρίδα της εξάτμιση συνδέεται άμεσα με την εξάτμιση και η θυρίδα της πρόσληψης συνδέεται άμεσα με την πεταλούδα.

Output Shaft έκκεντρος άξονα κίνησης

Ο έκκεντρος άξονας κίνησης έχει γύρο λοβούς τοποθετημένους

έκκεντρα, σημαίνει ότι έχουν απόκλιση από το κέντρο του άξονα. Κάθε στροφέιο ταιριάζει σε έναν από αυτούς τους λοβούς. Ο λοβός λειτουργεί όπως ο στροφαλοφόρος άξονα σε ένα πιστόνι του κινητήρα.. Όπως το στροφέιο ακολουθεί τη διαδρομή γύρω από το στάτορα , θα πιέσει τους λοβούς. Από τους έκκεντρους λοβούς που είναι τοποθετημένοι στον άξονα εξόδου, η δύναμη του δρομέα που εφαρμόζεται στους λοβούς δημιουργεί ροπή στον άξονα, που προκαλεί την αλλαγή αυτή στο γύρισμα.



Η παραγωγή άξονα
(Σημείωση η εκκεντρική λοβούς.)

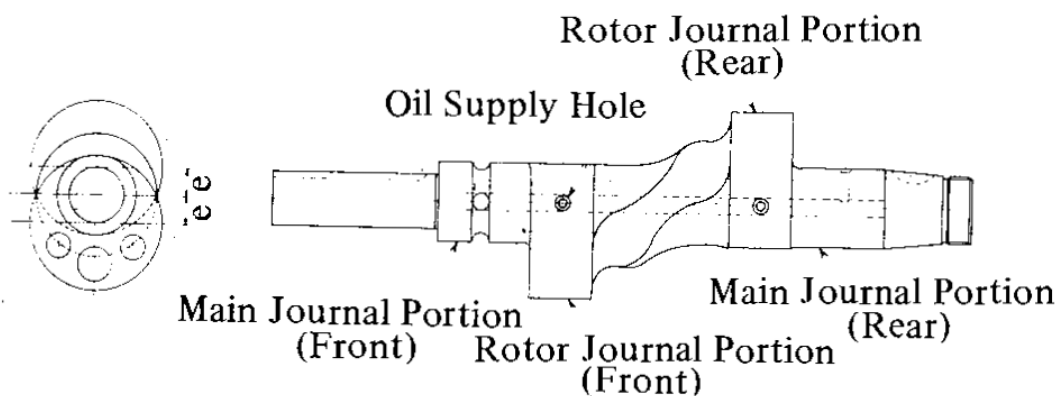
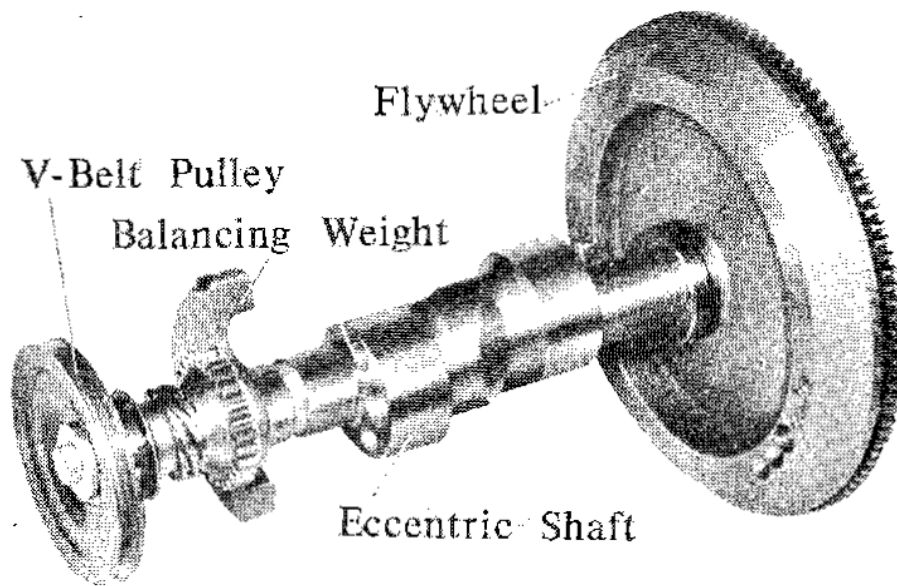
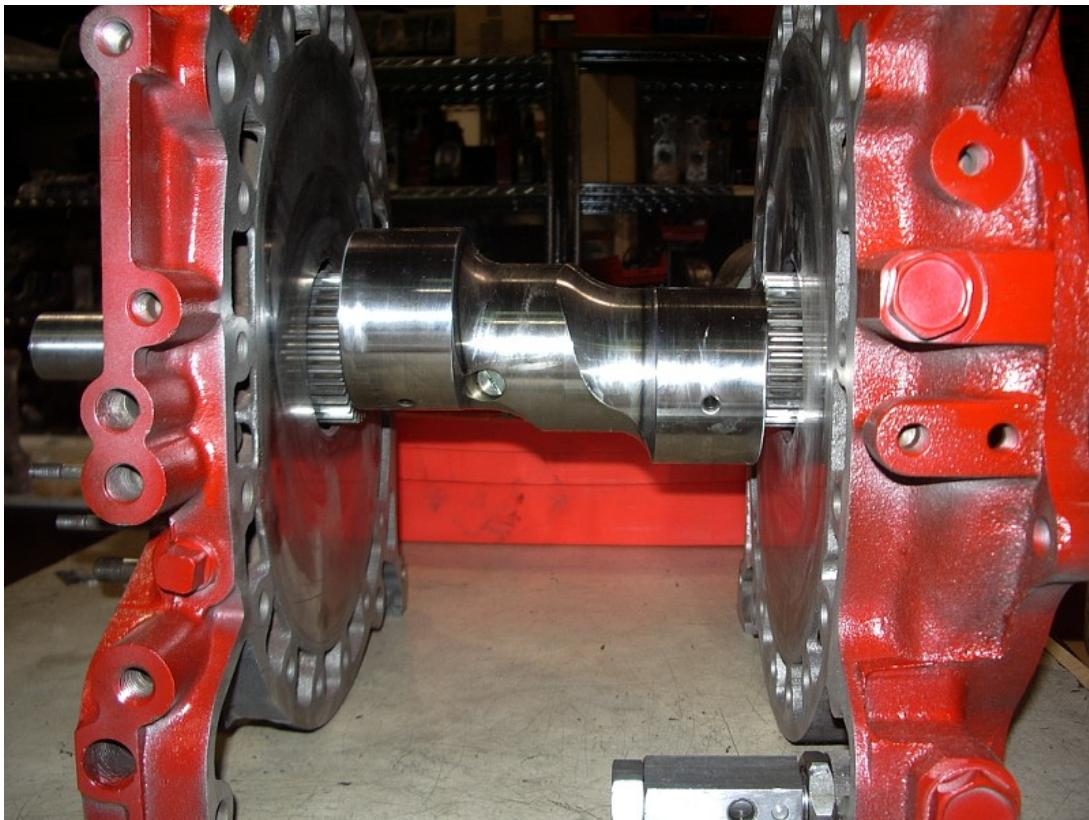
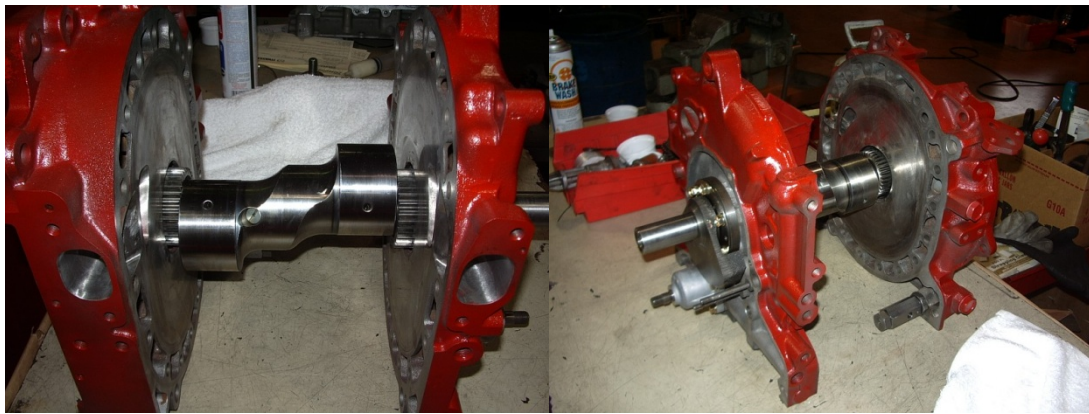


Fig. 3. 23 Two-rotor engine eccentric shaft

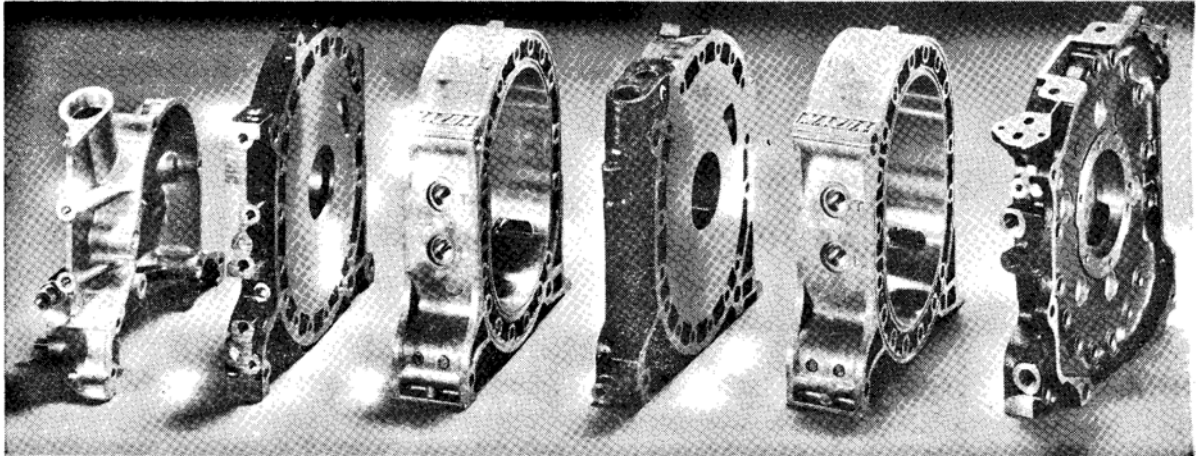


Ο
έκκεντρος άξονας κίνησης και το πώς αυτός τοποθετείτε ανάμεσα
στα δύο τελευταία στρώματα ενός περιστροφικού κινητήρα



Ο έκκεντρος άξονας κίνησης και το πώς αυτός τοποθετείτε ανάμεσα στα δύο τελευταία στρώματα ενός περιστροφικού κινητήρα

Τώρα, ας ρίξουμε μια ματιά στο πώς αυτά τα μέρη
είναι συναρμολογημένα και πώς θα παράγει
ενέργεια

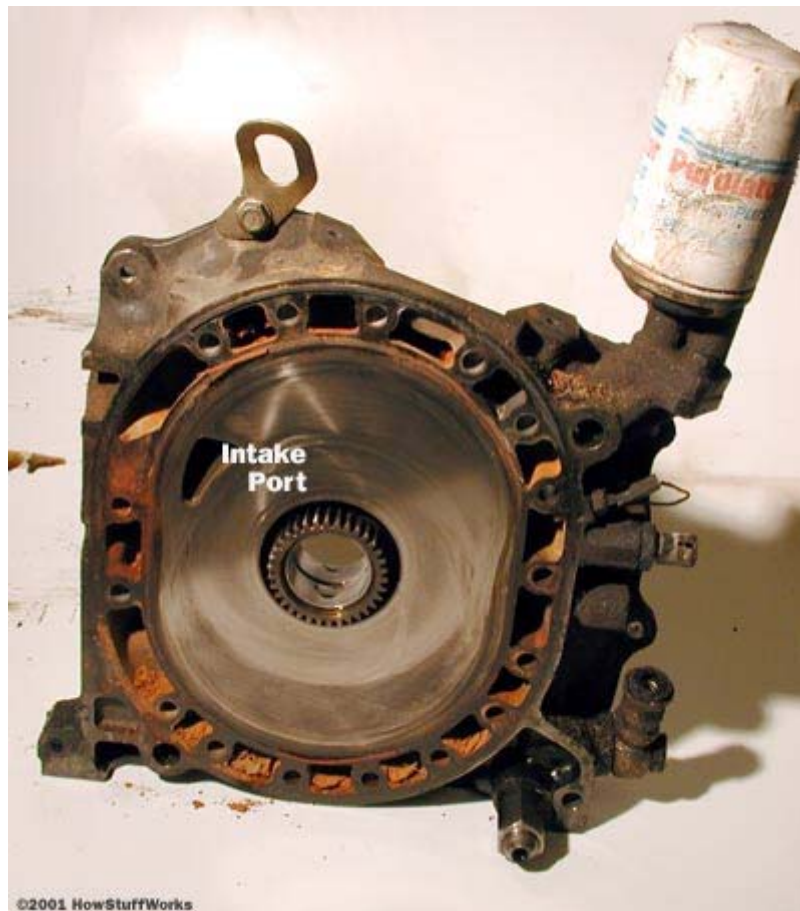


Συναρμολόγηση περιστροφικού κινητήρα με δυο ρότορες

Περιστροφικός κινητήρας συναρμολόγηση

Ο περιστροφικός κινητήρας συναρμολογείται σε στρώματα. Οι δύο ρότορες του περιστροφικού κινητήρα έχουν πέντε βασικά στρώματα που συγκρατούνται από κοινού από έναν κύκλο με βίδες. Ψυκτικό μέσο ρέει μέσω αυλών γύρω από όλα τα τεμάχια.

Τα δύο τελευταία στρώματα περιέχουν τα στεγανοποιητήκα μέσα και τα έδρανα του έκκεντρου άξονα κίνησης. Επίσης σφραγίζουν τα δύο τμήματα των στάτορων που περιέχουν τους στροφείς. Οι εσωτερικές επιφάνειες από αυτά τα κομμάτια είναι πολύ καλά επεξεργασμένες, γεγονός που βοηθά τα μεταλλικά δαχτυλίδια του στροφείου να κάνουν τη δουλειά τους. Η θυρίδα εισαγωγής βρίσκεται στο τέλος σε κάθε ένα από αυτά τα κομμάτια.



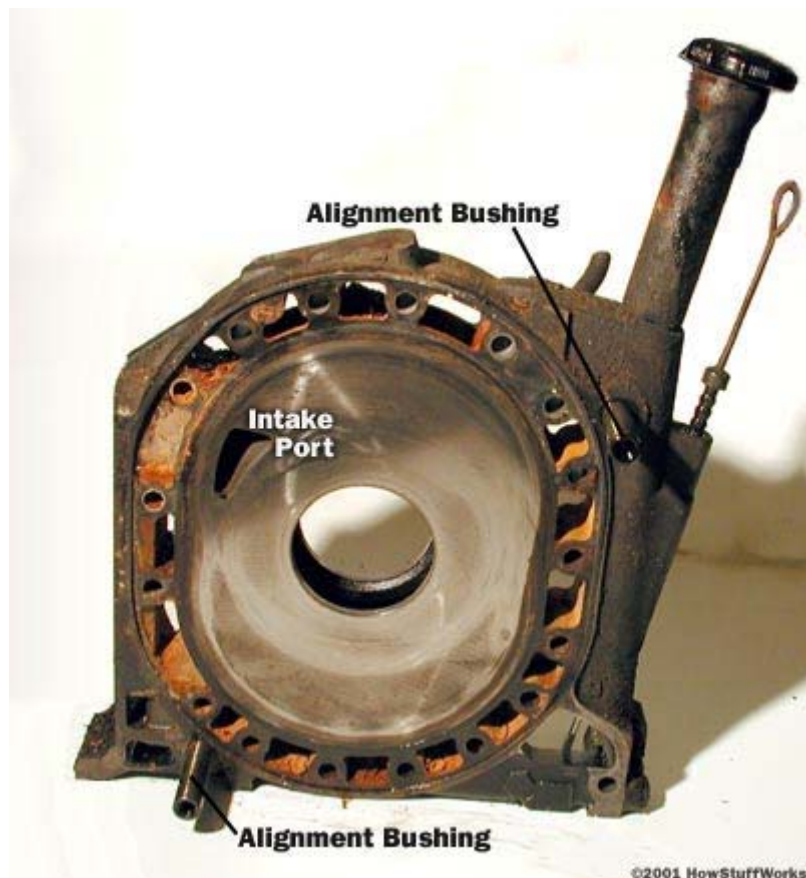
Ένα από τα δύο τελικά κομμάτια- ενός κινητήρα Wankel με δυο στροφεία (Σημείωση τη θέση της θύρας εισαγωγής.)

Το επόμενο στρώμα έχει οβάλ σχήμα και είναι το τμήμα της στέγης που περιέχει το στροφείο. επίσης περιλαμβάνει και τις θυρίδες της εξάτμισης.



Το τμήμα της στέγης του δρομέα
(Σημείωση τη θέση της θύρας των
καυσαερίων.)

Το κεντρικό κομμάτι περιέχει δυο θύρες εισαγωγής, μια για κάθε δρομέα. Επίσης χωρίζει τις δύο στροφείς, και έτσι η εξωτερικές επιφάνειες πρέπει να είναι πολύ καλά επεξεργασμένες γεγονός που βοηθά τα μεταλλικά δαχτυλίδια του στροφείου να εξασφαλίσουν μέγιστη στεγανότητα



Το κέντρο περιλαμβάνει ένα ακόμα κομμάτι στο οποίο βρίσκετε η θύρα εισαγωγής για κάθε δρομέα.

Στο κέντρο του κάθε δρομέα έχει ένα σύνολο εσωτερικής οδόντωσης με μεγάλη εσωτερική σχέση που φέρει βόλτες γύρω από μια με μικρότερη ταχύτητα που καθορίζεται από το περίβλημα του κινητήρα. Αυτό είναι που καθορίζει την τροχιά του δρομέα. Ο δρομέας, επίσης φέρει βόλτες και στις μεγάλες λοβούς του έκκεντρου άξονα κίνησης

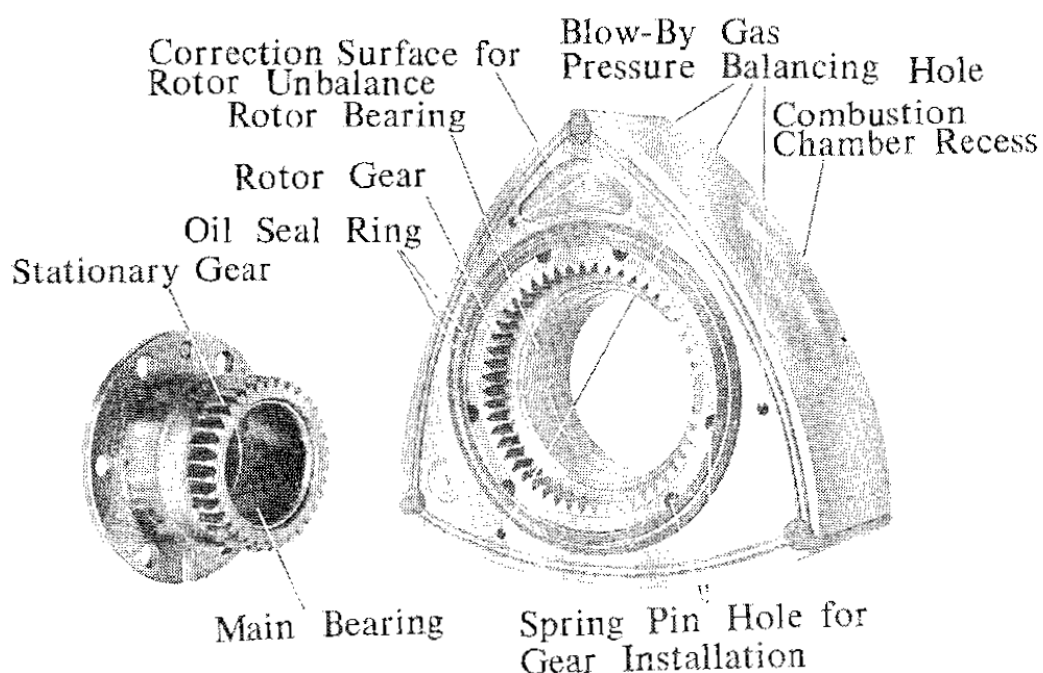
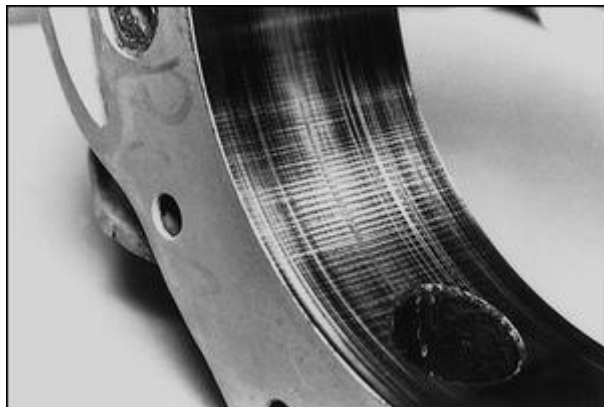


Fig. 3. 18 Rotor and stationary gears

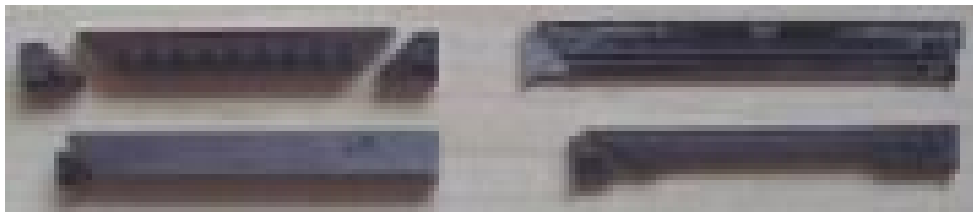
Devil's nails(καρβουνάκια)

Οι πρώτοι περιστροφικοί κινητήρες εμφάνιζαν πρόωρη φθορά με τη μορφή ραβδώσεων στην περιφέρεια του στάτορα, χαρακτηριστικό που οδηγούσε σε μειωμένη συμπίεση, πτώση απόδοσης και υπέρμετρη κατανάλωση λαδιού. Γι' αυτό σε μια μελοδραματική κρίση οι ραβδώσεις ονομάστηκαν " νυχιές του διαβόλου". Οι ραβδώσεις προκαλούνταν από την ταλάντωση του στεγανοποιητικού "μαχαιριού" του ρότορα, με συχνότητα ίση με την ιδιοσυχνότητά του. Επιπλέον υπήρχε διαρροή λαδιού προς το θάλαμο καύσης και από τα στεγανοποιητικά δαχτυλίδια

στην πλευρική επιφάνεια του ρότορα. Χρειάστηκε η συνεργασία της Mazda με την Nippon Piston Ring Co. και την Nippon Oil Seal Co. στους τομείς των υλικών και της σχεδίασης του “μαχαιριού” ώστε να λυθούν τα προβλήματα. Οι πρώτοι κινητήρες της NSU είχαν ένα ρότορα αλλά η λειτουργία τους ήταν ασταθής στις χαμηλές rpm, με έντονες διακυμάνσεις της ροπής. Έτσι η Mazda στράφηκε προς την εξέλιξη διρότορων, τριρότορων και τετραρότορων περιστροφικών κινητήρων. Ο πρώτος περιστροφικός κινητήρας που κατασκεύασε η Mazda είχε κωδικό L8A, με κυβισμό 0,8lt (399cc ανά ρότορα) και τοποθετήθηκε στο πρωτότυπο L402A, πρόγονο του τελικού μοντέλου παραγωγής Cosmo Sport. Το L402A ήταν ειδικά σχεδιασμένο για να δεχτεί περιστροφικό κινητήρα. Τον Δεκέμβριο του 1964 σχεδιάστηκε ο κινητήρας 1.0 με κωδικό 3820 και κυβισμό 491cc ανά ρότορα, προπομπός του L10A που τοποθετήθηκε στο Cosmo Sport.



Φθορά με τη μορφή ραβδώσεων στην περιφέρεια του στάτορα



Apex σφραγίδες



Mazda αριστερά μεσαίο Audi NSU δεξιά Diamond κινητήρες Wankel.

Θερμοδυναμικά πρόβλημα

Οι περιστροφικοί κινητήρες έχουν θερμοδυναμικά πρόβλημα που δεν εμφανίζονται στους παλινδρομικούς τετράχρονους κινητήρες γεγονός που οφείλετε στο ότι " ο κύλινδρος μπλοκ" λειτουργεί σε σταθερή κατάσταση, με την πρόσληψη, τη συμπίεση, τη καύση και την εξαγωγή των καυσαερίων που συμβαίνουν σε σταθερές θέσεις στέγαση για όλους "τους κυλίνδρους". αφού ο κύλινδρος ψύχεται με κάποιο μέσο αφού θερμανθεί από την καύση,. Σε αντίθεση, με τους εμβολοφόρους κινητήρες που εκτελούν αυτούς τους τέσσερις χρόνους σε ένα θάλαμο, έτσι ώστε οι ακραίες καταστάσεις "πάγωμα" της αναρρόφησης και το "φλεγόμενο" της εξάτμιση να είναι κατά μέσο όρο προστατευμένο από ένα οριακό στρώμα από υπερθέρμανση των μέρων εργασίας. Σε αντίθεση με ένα εμβολοφόρο κινητήρα, στον Wankel το στροφείο συνεχώς θερμαίνεται από τη μία πλευρά και να ψύχεται από την άλλη, γεγονός που οδηγεί σε υψηλή τοπική θερμοκρασιακή ανομοιογένεια και σε τοπική άνιση θερμική διαστολή. Αν και αυτό δημιουργεί μεγάλες απαιτήσεις όσον αφορά τα υλικά που χρησιμοποιούνται, στην πραγματικότητα η απλότητα του Wankel τον καθιστά πιο εύκολο για τη χρήση εναλλακτικών υλικών, όπως είναι τα κράματα των κεραμικών. Με το νερό ψύξης σε ακτινική ή αξονική κατεύθυνση ροής, το ζεστό νερό από την θερμή περιοχή κατευθύνετε στη κρύα περιοχή, έτσι η θερμική διαστολή παραμένει ανεκτό επίπεδο



Wankel rotors of 13B

Επιπλέον το οριακό στρώμα προστασίας και το οριακό στρώμα του λιπαντικού λειτουργούν στην πράξη, σαν θερμομόνωτες, με αποτέλεσμα την χαμηλή θερμοκρασία του λιπαντικού φιλμ (max ~ 200 ° C/400 ° F) σε έναν υδρόψυκτο Wankel κινητήρα. αυτό δίνει μια πιο σταθερή θερμοκρασία της επιφάνειας έτσι η θερμοκρασία γύρω από το μπουζί είναι περίπου η ίδια με τη θερμοκρασία στο θάλαμο καύσης του κινητήρα με παλινδρομικό και με τη περιφερειακή ή αξονική ροή ψύξης, η θερμοκρασιακή διαφορά παραμένει σε ανεκτό επίπεδο.

Οι τετράχρονοι παλινδρομικοί κινητήρες είναι λιγότερο κατάλληλοι για τη χρήση υδρογόνου. Το υδρογόνο μπορεί να καεί διαλείπων σε θερμά μέρη όπως η βαλβίδα εξαγωγής και μπουζί. Ένα άλλο πρόβλημα αφορά στο ότι το υδρογόνο επιτίθεται κατά του λιπαντικού φιλμ σε εμβολοφόρους κινητήρες ενώ σε ένα Wankel κινητήρα το πρόβλημα αυτό παρακάμπτεται με τη χρήση κεραμικών αρεχες στη κορυφή και έτσι δε χρειάζεται το οριακό στρώμα του λιπαντικού με αποτέλεσμα να μην υποφέρουν από την υδρογόνο επίθεση. Δεδομένου ότι τα κεραμικά δαχτυλίδια εμβόλων δεν ήταν διαθέσιμα μέχρι το 2008, παραμένει το πρόβλημα με τον παλινδρομικό κινητήρα. Το πιστόνι πρέπει να λιπαίνεται και ψύχονται με λάδι. Αυτό αυξάνει την κατανάλωση λαδιού λίπανσης σε τετράχρονους κινητήρες υδρογόνου.

Σφράγιση



Στεγανοποιητικό “μαχαίρι” του ρότορα

Ο Felix Wankel κατάφερε να ξεπεράσει τα περισσότερα από τα προβλήματα στους περιστροφικούς κινητήρες αλλά απέτυχε με την ανάπτυξη μιας ρύθμισης με πτερύγια σφραγίδες που θα μπορούσαν να γίνουν από πιο ανθεκτικά υλικά από μέταλλο εμβόλων δαχτυλιδιών που οδήγησαν στην αποτυχία έτσι τα πρώτα σχέδια κινητήρα είχαν υψηλή συχνότητα φθοράς των λεπίδων, τόσο μεταξύ του δρομέα και της στέγασης, αλλά και μεταξύ των διαφόρων κομματιών που απαρτίζουν την στέγαση. Επίσης, σε προγενέστερο μοντέλο Wankel κινητήρα σωματίδια άνθρακα μπορούσαν να παγιδευτούν μεταξύ της λεπίδας και της θήκης, με αποτέλεσμα να μπλοκάρει τον κινητήρα, και να απαιτείται μια μερική αποσυναρμολόγηση. Ήταν γνωστό για τους κινητήρες Mazda ότι από πολύ νωρίς απαιτούνταν αποσυναρμολόγηση μετά από 50.000 μίλια (80.000 km).. οι σύγχρονη Wankel κινητήρες δεν έχουν αυτά τα προβλήματα για πολλά χρόνια. Περαιτέρω προβλήματα σφράγισης προκύπτουν από την άνιση κατανομή θερμικών εντός των οικίσκων που προκαλούν στρεβλώσεις και απώλεια σφράγιση και συμπίεσης.. Αυτή η θερμική ανισότητα επίσης προκαλεί στρέβλωση και άνιση φθορά μεταξύ του στάτορα και την κορυφή του δρομέα Έχουν γίνει απόπειρες ομαλοποίηση της θερμοκρασίας των οικίσκων, ελαχιστοποιώντας την παραμόρφωση, με διαφορετικά μοτίβα κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου και το πάχος του τοιχώματος της στέγασης.

Η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές καυσαερίων

Ακριβώς όπως το σχήμα του θαλάμου καύσης του Wankel εμποδίζει τις προαναφλέξεις, έτσι βοηθάει και στη δημιουργία προϊόντων ατελούς καύσης του μίγματος αέρα-καυσίμου, με τα υπόλοιπα των άκαυστων υδρογονανθράκων που απελευθερώνεται στην εξάτμιση. Αν και οι κατασκευαστές αυτοκινήτων με εμβολοφόρους κινητήρες είχαν στραφεί στη κατασκευή ακριβών καταλυτικών μετατροπών για να οξειδώσουν εντελώς τους άκαυστους υδρογονάνθρακες, η Mazda ήταν σε θέση να αποφύγει αυτό το κόστος, εμπλουτίζοντας το μίγμα αέρα / καυσίμου και την αύξηση του ποσού των άκαυστων υδρογονανθράκων στα καυσαέρια να στηρίξει ουσιαστικά στην πλήρη καύση μια «θερμική αντιδραστήρα» (μια διευρυμένη ανοικτός θάλαμος στην πολλαπλή εξαγωγής) χωρίς την ανάγκη για ένα καταλυτικό μετατροπέα, με αποτέλεσμα να παράγουν καθαρά καυσαέρια σε βάρος κάποιας επιπλέον κατανάλωση καυσίμου. Καθώς Παγκόσμια η τιμή της βενζίνης αυξήθηκε απότομα κατά τη στιγμή που η Mazda εισήγαγε τον Wankel κινητήρα, καθιστώντας τα καθαρότερα καυσαέρια που συνεπάγονταν αύξηση της κατανάλωσης καυσίμων κάτι το ανεπιθύμητο για τους καταναλωτές

Στο Mazda RX-8 με τον Renesis κινητήρα, η κατανάλωση καυσίμου είναι πλέον εντός φυσιολογικών ορίων, ενώ περνώντας τις απαιτήσεις εκπομπών καυσαερίων της Καλιφόρνια. Η εξαγωγή καυσαερίων, η οποία σε παλαιότερες Mazda rotaries βρισκονταν στο στροφείο, μεταφέρθηκε στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης. Η προσέγγιση αυτή επέτρεψε τη Mazda για την εξάλειψη των επικαλύψεων μεταξύ των θυρίδων αναρρόφησης και εξάτμισης, με παράλληλη αύξηση της θυρίδα εξάτμισης . Ο Renesis κινητήρα κατάφερε και πληροί της χαμηλές εκπομπές καυσαερίων των οχημάτων της Καλιφόρνια ή LEV πρότυπα.

Πώς ο κινητήρας παράγει δύναμη.

Περιστροφικοί κινητήρες χρησιμοποιούν το τετράχρονο κύκλο καύσης, που είναι ο ίδιος κύκλος με τους τετράχρονους εμβολοφόρους κινητήρες. Αλλά σε περιστροφικό κινητήρα, αυτό γίνεται με έναν εντελώς διαφορετικό τρόπο.

Η καρδιά του περιστροφικού κινητήρα είναι το στροφείο. Αυτό είναι περίπου ότι το πιστόνι σε έναν εμβολοφόρο κινητήρα. Το στροφείο είναι στερεωμένο σε ένα μεγάλο κυκλικό λοβό στον έκκεντρο άξονα κίνησης. Αυτός ο λοβός αντισταθμίζεται από το κέντρο του άξονα και κινείται όπως ο στρόφαλος, δίνοντας στο στροφείο την ώθηση που χρειάζεται για να μετατρέψει σε περιστροφική κίνηση του έκκεντρου άξονα κίνησης. Όπως το στροφείο κινείται στο εσωτερικό του περιβλήματος, και ωθεί το λοβό περίπου σε στενούς κύκλους, στροφή τρεις φορές για κάθε μία περιστροφή του δρομέα.

Αρχές του περιστροφικού κινητήρα

Όπως το πιστόνι του εμβολοφόρου κινητήρα, έτσι και ο περιστροφικός κινητήρας χρησιμοποιεί την πίεση που δημιουργήθηκε από το συνδυασμός των αερίων καυσίμων από την καύση. Σε έναν παλινδρομικό εμβολοφόρο κινητήρα η πίεση που περιέχονται από την καύση ωθεί το πιστόνι να προχωρήσει προς τα πίσω. Και οι ράβδοι του στροφαλοφόρου άξονα μετατρέπουν την κίνηση των εμβόλων από παλινδρομική κίνηση σε περιστροφική κίνηση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κινήσει ένα αυτοκίνητο.

Σε ένα περιστροφικό κινητήρα, η πίεση της καύσης είναι τοποθετημένη σε θάλαμο που σχηματίζεται από μέρους του στάτορα και σφραγίζονται από τη μία όψη του τριγωνικού δρομέα, που είναι ό,τι ο κινητήρας χρησιμοποιεί αντί για έμβολα.



Το στροφέιο και ο στάτορας ενός περιστροφικού κινητήρα από ένα Mazda RX-7: Αυτά τα μέρη έχουν αντικαταστήσει τα έμβολα, κυλίνδρους, βαλβίδες, συνδετικών ράβδων και εκκεντροφόρων αξόνων που βρίσκονται σε εμβολοφόρους κινητήρες.

Το στροφέιο ακολουθεί έναν δρόμο που μοιάζει με κάτι που προτίθεται να δημιουργήσει σπηρογράμμα. Αυτή η διαδρομή κρατά κάθε μία από τις τρεις κορυφές του στροφέα σε επαφή με τη στέγαση και τη δημιουργία τριών χωριστών ποσοτήτων φυσικού αερίου. Όπως το στροφέιο κινείται γύρω από τον στάτορα, καθεμία από τις τρεις ποσότητες φυσικού αερίου εναλλάξ διαστέλλεται και συστέλλεται. Είναι αυτή η διαστολής και η συστολής στην οποία στηρίζεται η καύση του αέρα -καυσίμου στον κινητήρα, για τη δημιουργία πίεσης και αυτό καθιστά χρήσιμη τη δύναμη, των αερίων και, στη συνέχεια, την αποβολή τους από την εξάτμιση.

Σύγκριση του Wankel με το συμβατικό τετράχρονο, παλινδρομικό κινητήρα

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Σε σύγκριση με τον ανταγωνιστή του, ο κινητήρας Wankel έχει τα εξής σημαντικά πλεονεκτήματα:

Πολύ μικρότερο μέγεθος και κυρίως μικρότερο ύψος. Έτσι απαιτεί μικρότερο μηχανοστάσιο, επομένως το μπροστινό μέρος ενός αυτοκινήτου με Wankel μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να έχει μικρότερη μετωπική επιφάνεια, άρα να είναι πιο αεροδυναμικό

Το πολύ μικρότερο μέγεθος, πράγμα που σημαίνει μικρότερο χώρο κάτω από το καπό, και πολύ καλύτερη τοποθέτηση του κινητήρα για την καλύτερη κατανομή βάρους.

Το πολύ μικρότερο μέγεθος συνεπάγεται το μικρό βάρος ανά μονάδα παραγωγής ισχύος,

Ο Wankel έχει πολύ λιγότερα κινούμενα μέρη από έναν παλινδρομικό κινητήρα, επειδή δεν επιβαρύνεται από εξαρτήματα όπως οι βαλβίδες και οι εκκεντροφόροι. Αυτό συνεπάγεται λιγότερες τριβές, μειωμένες απώλειες ισχύος, μικρότερο βάρος, και κυρίως μικρότερη αδράνεια των κινούμενων μερών του κινητήρα, η οποία εξασφαλίζει στον Wankel κορυφαία ευστροφία.

Άλλη μια συνέπεια της μικρότερης αδράνειας των κινούμενων μερών είναι ότι, διάφορα περιφερειακά συστήματα του κινητήρα (όπως η μίζα) μπορούν να σχεδιαστούν μικρότερα, συντελώντας ακόμα περισσότερο στην εξοικονόμηση βάρους

Η κίνηση στον Wankel είναι συνεχής και έχει μια φορά (ζήτημα που απασχολεί τους μηχανικούς και ερευνητές όλου του κόσμου από τον 16ο αιώνα!). Έτσι, προκύπτει ένα χαμηλό δονήσεις που καθιστά δυνατή την οδήγηση ευχάριστη.

Δεν υπάρχει τίποτε αντίστοιχο με την αντιστροφή της φοράς κίνησης των πιστονιών του εμβολοφόρου κινητήρα. Αυτό συνεπάγεται πρακτικά εξάλειψη των κραδασμών στον περιστροφικά κινητήρα. Έτσι ο Wankel δεν χρησιμοποιεί αντικραδασμικούς άξονες, με όλα τα οφέλη που αυτό συνεπάγεται

Η απόδοση της ισχύος στον κινητήρα Wankel είναι πιο ομαλή από ενός εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα. Αυτό συμβαίνει κυρίως για δυο λόγους. Ο πρώτος είναι η μεγαλύτερη διάρκεια της φάσης εκτόνωσης στον Wankel (270' έναντι 180' περίπου του εμβολοφόρου). Ο δεύτερος είναι ότι ο Wankel παράγει έργο μια φορά για κάθε 360' περιστροφής του κεντρικού άξονα αντί για μια φορά για κάθε 720', όπως ο τετράχρονος εμβολοφόρος. Έτσι έχουμε μικρότερο κενό ανάμεσα σε δυο διαδοχικές φάσεις παραγωγής έργου, άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερο βολάν (που βοηθά στην ευστροφία του μοτέρ)

Τμήμα των ελατηρίων των εμβόλων δεν είναι τέλεια στεγανά. Καθένα από αυτά έχει ένα κενό για να είναι δυνατή η διαστολή. Επιπλέον, η σφράγιση κατά των απεχες σε ένα Wankel είναι λιγότερο κρίσιμη, καθώς η διαφυγή είναι μεταξύ των γειτονικών θαλάμων, αντί του στροφαλοφόρου θαλάμου.

Η απουσία βαλβίδων βοηθά την αναπνοή του Wankel, άρα και την απόδοσή του στις μεσαίες και υψηλές rpm

Λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας στο θάλαμο καύσης του Wankel σε σχέση με ενός εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου είναι μειωμένες

Εκτός από την αύξηση της αξιοπιστίας λόγω της πλήρους αφαίρεση του παρόντος παλινδρομική έμφαση στην εσωτερική μέρη, ο κινητήρας είναι κατασκευασμένος με σιδερένιο στροφέιο μέσα σε θήκη από αλουμίνιο, η οποία έχει μεγαλύτερη θερμική διαστολή. Αυτό διασφαλίζει ότι ακόμα και αν υπερθερμανθεί ένας Wankel κινητήρας δεν μπορεί να καταστραφεί, όπως πιθανότατα θα συμβεί σε μια μηχανή εμβόλων όταν υπερθερμανθεί. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην ασφάλεια για τη χρήσης των αεροσκαφών, δεδομένου ότι δεν μπορεί να κάψει βαλβίδες.

Η απλότητα του σχεδιασμού και μικρότερο μέγεθος του κινητήρα Wankel επίσης επιτρέπει την εξοικονόμηση του κόστους κατασκευής, σε σύγκριση με κινητήρες εμβόλων με ανάλογη απόδοση ισχύος.

Από ίσως το πιο σημαντικό είναι ότι Wankel κινητήρες είναι σχεδόν ανέπαφη από την καταστροφική αστοχία. Ο Wankel που χάνει συμπίεση, ψύξη ή την πίεση λαδιού θα χάσει ένα μεγάλο μέρος της ισχύς του, και θα καταστραφεί μετά από ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, θα συνεχίσουν να παράγουν ισχύς τη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος. Κινητήρες εμβόλων, υπό τις ίδιες συνθήκες είναι πιο επιρρεπείς σε καταστροφή ή θραύση τμημάτων που σχεδόν σίγουρο αποτελέσματα είναι η πλήρη καταστροφή του κινητήρα και η απώλεια της ισχύς. Για το λόγο αυτό ο Wankel κινητήρας αποτελεί πολύ καλή προσαρμογή στα αεροσκάφη. Ωστόσο, οι Wankel είναι εξαιρετικά ευπαθής στις ζημιές από την προ-ανάφλεξη,

Λόγω ενός 50% μεγαλύτερης διάρκειας του χρόνου της καύσης σε σύγκριση με τετράχρονο εμβολοφόρο κινητήρα, υπάρχει περισσότερος χρόνος για να ολοκληρωθεί η καύση. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη καταλληλότητα για την απευθείας έγχυση. Ένας περιστροφικό κινητήρα Wankel έχει ισχυρότερη ροή του αέρα-καυσίμου μίγματος και μεγαλύτερο κύκλο λειτουργίας από ένα παλινδρομικό κινητήρα, έτσι ώστε να αντιλαμβάνεται ταυτόχρονα καλή ανάμειξη του αέρα και το υδρογόνο. Το αποτέλεσμα είναι ένα ομοιογενές μείγμα, το οποίο είναι κρίσιμο για την καύση του υδρογόνου αυτό καθιστά τους τετράχρονους παλινδρομικούς κινητήρες να είναι λιγότερο κατάλληλοι για τη χρήση υδρογόνου

Πολύ λιγότερες τριβές, μειωμένες απώλειες ισχύος, μικρότερο βάρος, και κυρίως μικρότερη αδράνεια των κινούμενων μερών του κινητήρα, η οποία εξασφαλίζει στον Wankel κορυφαία ευστροφία.

Δεδομένου ότι οι στροφείς περιστρέφονται στο ένα τρίτο της ταχύτητας του άξονα εξόδου, η κίνηση των κύριων κινούμενων μερών του κινητήρα να είναι πιο αργή από ότι τα μέρη σε ενός εμβολοφόρου κινητήρα. Αυτό συμβάλλει και σε αξιοπιστία.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Σε σύγκριση με τον ανταγωνιστή του, ο κινητήρας Wankel έχει τα εξής σημαντικά μειονεκτήματα

Ο μακρύς και στενός θάλαμος καύσης μειώνει το θερμοδυναμικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα, κι αυτό συνεπάγεται αύξηση της κατανάλωσης.

Η απουσία βαλβίδων σημαίνει μικρή ταχύτητα του αέρα στις χαμηλές στροφές, με αποτέλεσμα την χαμηλή ροπή.

Η κατανάλωση δεν αντιστοιχεί στην ονομαστική χωρητικότητα του κινητήρα (1,3lt) αλλά περισσότερο σε κατανάλωση παλινδρομικού κινητήρα 2,5lt.

Λόγω της αρχής λειτουργίας του wankel, είναι απαραίτητος ο ψεκασμός λαδιού στο εσωτερικό των θαλάμων για λίπανση των rotors και των apex seals. Αυτό φυσικά οδηγεί σε κατανάλωση λαδιού, και άρα απαιτείται από τον οδηγό η παρακολούθηση της στάθμης του λιπαντικού.

Το γεγονός ότι οι ιδιοκτήτες πρέπει να προσθέτουν περιοδικά μικρές ποσότητες λαδιού, συνεπάγεται τη ελαφριά αύξηση των λειτουργικών εξόδων, αν και εξακολουθεί να είναι εύλογη σε σχέση με πολλούς κινητήρες με παλινδρομικό έμβολο.

Η καύση καθαυτή είναι επίσης πολύ κακή, εξαιτίας της κακής γεωμετρίας του θαλάμου καύση

Από την αρχή προέκυψαν προβλήματα χρηματοδότησης λόγω της έλλειψης δημοτικότητας και ανάδοχος δεν βρέθηκε.

Η άδεια χρήσης που απαιτείται για την επίτευξη Wankel κινητήρα, είναι πολύ ακριβή (σε αντίθεση με τους άλλους κινητήρες που δεν χρειάζονται άδεια ακριβά!).

Οι παλαιότεροι κινητήρες Wankel είχαν αυξημένες εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα και άκαυστων υδρογονανθράκων

Το κόστος κατασκευής μπορεί να είναι υψηλότερο, κυρίως διότι ο αριθμός αυτών των κινητήρων που κατασκευάζονται δεν είναι τόσο υψηλός, όπως ο αριθμός των εμβολοφόρων κινητήρων

Αν και στις δύο διαστάσεις του συστήματος σφραγίσεις ενός Wankel φαίνεται να είναι ακόμη απλούστερη από ό, τι των αντίστοιχων πολλών ελατηρίων του εμβόλου ενός εμβολοφόρου κινητήρα, σε τρεις διαστάσεις συμβαίνει το αντίθετο. Καθώς και ο ρότορας εκτός από τις κορυφές (apex seals) πρέπει να σφραγίζει και πλευρικά με μεταλλικά ελάσματα (side seals) και στις γωνίες (corner seals), ο ρότορας πρέπει επίσης σφραγίζει και την αίθουσα του έκκεντρου άξονα.

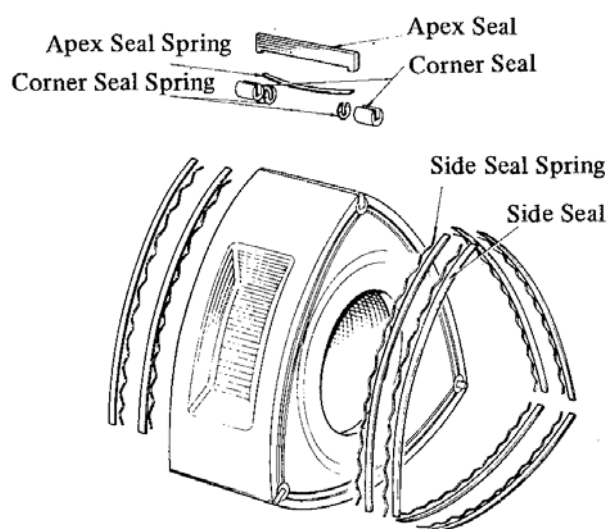


Fig. 4. 1 Basic layout of gas seals

Τα τεχνικά μειονεκτήματα ήταν η σφράγιση των apexes του ρότορα με το στάτορα καθώς και η διαφυγή αερίων-καυσιμων μεταξύ των γειτονικών θαλάμων. Ωστόσο, η λιγότερο αποτελεσματική σφράγιση του Wankel είναι ένας παράγοντας μείωσης της απόδοσης, γεγονός πάντως που δεν περιορίζει την επιτυχία του κυρίως σε εφαρμογές όπως τα αγωνιστικά και σπορ κινητήρες των οχημάτων στα οποία η απόδοσης μακράς ζωής του κινητήρα δεν είναι σημαντικής παράμετρος.

Σε προηγούμενα μοντέλα, ο κινητήρας Wankel δεν πρέπει ποτέ να ξεκινήσει τη λειτουργία του κινητήρα αν δεν έχει φτάσει σε θερμοκρασία λειτουργίας γιατί στις περισσότερες τέτοιες περιπτώσεις παρατηρείτε μπλοκάρισμα των κινητήρων και παρουσιάζετε όταν ένα αυτοκίνητο έπρεπε να μετακινηθεί λίγα μέτρα, π.χ. από ένα γκαράζ στο δρόμο σε αυτές τις περιπτώσεις είναι καλύτερο να μην πιέσουμε το αυτοκίνητο αν δεν μπορεί να ξεκινήσει τον κινητήρα. Αυτό οφείλεται στη πλημμύρα του κινητήρα με καυσίμου ουσιαστικά "hydrolocking" του κινητήρα. Αυτή η "πλημμύρα" προκαλείται από την υπερβολική ποσότητα καυσίμου που εγχέεται στο κινητήρα στην "κρύα" λειτουργία του κυκλώματος. Οι πλημμύρες έχουν καθοριστεί σε μεγάλο βαθμό μέσω των αλλαγών στην ECU και τον προγραμματισμό της

Οι χρόνοι λειτουργίας σε σύγκριση με τους τετράχρονους κινητήρες εμβόλων είναι σημαντικά μικρότεροι έτσι ο διαθέσιμος χρόνος για τα καύσιμα που θα είναι στη θυρίδα εισαγωγής είναι μικρότερος σε Wankel κινητήρα, λόγω του τρόπου που οι τρεις επιφάνειες του ρότορα εναλλάσσονται έτσι Το μίγμα καυσίμου-αέρα δεν μπορεί να είναι προ-αποθηκευμένα αφού δεν υπάρχει καμία βαλβίδα πρόσληψη Επίσης, ο Wankel κινητήρα, σε σύγκριση με έναν εμβολοφόρο κινητήρα, έχει 50% μεγαλύτερη διάρκεια ανά χρόνο λειτουργίας.

Τα προβλήματα ξεκινούν από το γεγονός ότι τα καρβουνάκια δεν παρέχουν πλήρη στεγανοποίηση υπό όλες τις συνθήκες μεταξύ των "θαλάμων" εισαγωγής και εξαγωγής μίγματος. Επίσης για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό κομμάτι της κίνησης του ρότορα και εξαιτίας της περιφερειακής τους θέσης, αποκαλύπτονται ταυτόχρονα τμήματα της θυρίδας εξαγωγής και της θυρίδας εισαγωγής (overlap). Άμεση συνέπεια αυτού είναι η πιθανότητα να μετακινηθεί φρέσκο στη θυρίδα εξαγωγής και άκαυτο μίγμα ή καυσαέρια στη θυρίδα εισαγωγής!

Υπό συνθήκες η επανακυκλοφορία καυσαερίων στον επόμενο κύκλο έχει θετική επίδραση λόγω της μείωσης των άκαυτων υδρογονανθράκων, αλλά είναι καταστρεπτικό να καταλήγει άκαυτο μίγμα στη θυρίδα εξαγωγής. Επιπλέον, η παρουσία καυσαερίων στο φρέσκο μίγμα καθιστά την καύση του μίγματος ασταθή και αναγκάζει το κινητήρα να το εμπλουτίσει, με αποτέλεσμα η κατανάλωση να αυξάνεται.

Ωστόσο, το μεγαλύτερο πρόβλημα ιδιαίτερα στους πρώτους περιστροφικούς κινητήρες ήταν η γρήγορη φθορά των αρθρώσεων του ρότορα

Η περιπλοκότητα που δεν επιτρέπει την άμεση σύγκριση ενός τετράχρονου παλινδρομικού εμβολοφόρου κινητήρα με ένα Wankel

Η αναλογία εκτοπίσματος φυσικής αναρρόφησης /συμπιεσμένο όγκο είναι ένα πρόβλημα τόσο περίπλοκο που δεν μπορεί κανείς να προβεί σε άμεση σύγκριση μεταξύ ενός παλινδρομικού εμβολοφόρου κινητήρα και ενός Wankel κινητήρα σε σχέση με την αναλογία εκτοπίσματος φυσικής αναρρόφησης /συμπιεσμένο όγκο επιπλέον η ταχύτητα ροής και οι θερμικές απώλειες συμπεριφέρονται εντελώς διαφορετικά και οι επιφανειακές θερμοκρασίες συμπεριφέρονται εντελώς διαφορετικά. Οι κινητήρες με υψηλότερο λόγο συμπίεσης έχουν χειρότερη αναλογία εκτοπίσματος φυσικής αναρρόφησης /συμπιεσμένο όγκο. Ο λόγος εκτοπίσματος φυσικής αναρρόφησης /συμπιεσμένο όγκο του πετρελαιοκινητήρα είναι πολύ χειρότερος από ένα βενζινοκινητήρα, αλλά οι κινητήρες ντίζελ που είναι γνωστοί για υψηλότερο συντελεστή απόδοσης από τους βενζινοκινητήρες. Έτσι θα πρέπει να συγκρίνουμε δύο κινητήρες ίσης ισχύος: ένα Wankel κινητήρα με φυσική αναρρόφηση 1.3 λίτρων, και ένα τετράχρονο παλινδρομικό εμβολοφόρο κινητήρα με φυσική αναρρόφηση 1,3 λίτρων αλλά και με την ίδια δύναμη. Αλλά ένας τέτοιος τετράχρονο κινητήρα δεν είναι εφικτός και θα πρέπει να έχει διπλάσιο εκτόπισμα για να παράγει την ίδια ισχύ με τον Wankel κινητήρα και επιπλέον δεν πρέπει να αγνοούμε ότι σε ένα τετράχρονο κινητήρα παράγεται ισχύς μόνο σε κάθε δεύτερη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Στην πραγματικότητα, αυτό διπλασιάζει τον πραγματικό λόγο εκτοπίσματος φυσικής αναρρόφησης /συμπιεσμένο όγκο για τους τετράχρονους παλινδρομικούς εμβολοφόρους κινητήρες

Η καταβιβαζόμενη πλευρά του περιστροφικού κινητήρα αναπτύσσει ένα ρεύμα κατά τη φάση της συμπίεσης στον θάλαμο καύσης κατά το οποίο μετατίθεται η φλόγα της καύσης. Με τη συμβατική διάταξη δύο σπινθηριστών και ομοιογενές μείγμα, αυτό το ρεύμα εμποδίζει την σωστή εξάπλωση της φλόγας στο θάλαμο καύσης της καταβιβαζόμενου πλευράς ιδιαίτερα στα μεσαία και υψηλά εύροι των στροφών του κινητήρα. Αυτός είναι ο λόγος που μπορεί να υπάρχει περισσότερο μονοξείδιο του άνθρακα και άκαυστων υδρογονανθράκων σε ένα Wankel. Μια διάταξη της θυρίδας εξάτμισης, όπως χρησιμοποιείται στο Mazda Renesis, αποφεύγεται αυτό διότι το άκαυστο μίγμα δεν μπορεί να διαφύγει από τη θυρίδα εξαγωγής. Στο Mazda 26B είχε αποφευχθεί αυτό το θέμα μέσω μιας διάταξης τριών μπουζί στο σύστημα ανάφλεξης. Ως αποτέλεσμα, ήταν στον 24 ώρες αγώνα δρόμου αντοχής του Le Mans το 1991, τα 26B είχαν σημαντικά χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων από τα ανταγωνιστικά με παλινδρομικό εμβολοφόρο κινητήρα. καθώς όλοι οι ανταγωνιστές έπρεπε να είχαν την ίδια ποσότητα καυσίμου, λόγω των κανονισμών του Le Mans για περιορισμένη ποσότητα καυσίμου.

Τι κοινό έχει ο Wankel με το συμβατικό δίχρονο, παλινδρομικό κινητήρα

Η λειτουργία του κινητήρα Wankel θυμίζει ένα υβρίδιο δίχρονου και τετράχρονου εμβολοφόρου βενζινοκινητήρα. Και αυτό επειδή, μολονότι έχει τέσσερις διακριτούς χρόνους, ο κινητήρας Wankel παράγει έργο μια φορά για κάθε μια περιστροφή του κεντρικού του άξονα (όπως ο δίχρονος παλινδρομικός βενζινοκινητήρας), αντί μια φορά για κάθε δυο περιστροφές όπως ο τετράχρονος.

Φυσικά, τις θυρίδες. Τις διόδους εκείνες που ελέγχουν το χρονισμό εισόδου και εξόδου των αερίων στο θάλαμο καύσης, «καταργώντας» τις βαλβίδες και προσδίδοντας σε αυτούς τους δύο, τόσο διαφορετικούς κινητήρες, τα πλεονεκτήματα της απλότητας και του μικρού βάρους.

Ταυτόχρονα όμως, και χωριστά για τον καθένα, αυτές οι ίδιες οι θυρίδες είναι και η κύρια πηγή των προβλημάτων τους. Προβλήματα τα οποία, όταν δεν αντιμετωπίζονται σωστά, τους καθιστούν «εξοβελιστέους», ειδικά στους σημερινούς καιρούς, τους τόσο έντονα.. οίκο-ανήσυχους. (Όπου το πρόθεμα «οίκο» μπορείτε να το ερμηνεύσετε και από την οικονομική του διάσταση, με την τιμή του βαρελιού πετρελαίου να υψώνεται σαν αερόστατο).

Κι αυτός ακριβώς είναι ο λόγος που δεν πρόκειται να ξαναδούμε δίχρονο «θυριδάτο» κινητήρα πάνω σε τέσσερις τροχούς αυτή τη στιγμή και μέχρι να καθιερωθεί μια πιο αποτελεσματική τεχνολογία η βασισμένη στις θυρίδες λειτουργία του, είναι η αιτία για μία μεγάλη και ανώφελη σπατάλη βενζίνης.

Ωστόσο, ο κόσμος να χαλάσει, ο Wankel δεν πεθαίνει. Παρά το ότι όλοι (πλην Mazda), του έχουν γυρίσει την πλάτη, δεν παύουν, κάθε λίγο, να ρίχνουν μία κλεφτή ματιά πίσω από τον ώμο τους. Ο Wankel, βλέπετε, σύμφωνα τουλάχιστον με τα λεγόμενα πολλών επιστημόνων, είναι ίσως ο πλέον κατάλληλος κινητήρας για τη στρωματική καύση του υδρογόνου όταν και αν αυτό το καύσιμο θα αρχίσει να αντικαθιστά τη βενζίνη.

Μέχρι όμως να έρθουν τα πάνω-κάτω στα καύσιμα, όλο και κάποια καλή ιδέα θα έρχεται στα μυαλά των μηχανικών ιδέα που θα βελτιώνει τη λειτουργία του Wankel, έστω ως βενζινοκινητήρα. Και, εδώ που τα λέμε, αν και η έρευνα έχει αναστείλει το ρυθμό της τα τελευταία χρόνια, αφήνοντας την εντύπωση ότι δεν υπάρχει πλέον κάτι «καινούργιο» στην τεχνολογία του Wankel που θα πρέπει να διερευνηθεί, εντούτοις η συνέχιση της έστω και περιορισμένης εμπορικής χρήσης του ως βενζινοκινητήρα, θα αποτελεί πάντοτε ένα σοβαρό κίνητρο για τη συνέχιση της εξέλιξής του.

Διαρροές

Το πρόβλημα αυτών των κινητήρων είναι άμεσα συναρτημένο με τον τρόπο λειτουργίας τους (που, όπως είπαμε, βασίζεται στις θυρίδες) και δεν είναι άλλο από τη διαρροή άκαυτου μίγματος στην ατμόσφαιρα, μέσω της θυρίδας εξαγωγής.

Στο δίχρονο παλινδρομικό, αυτό συμβαίνει.. οικειοθελώς, ακριβώς επειδή δεν υπάρχει άλλος τρόπος για να εξωθηθούν τα καυσαέρια του κυλίνδρου προς την ατμόσφαιρα, στο μικρό εκείνο χρονικό διάστημα

που η θυρίδα εξαγωγής είναι ταυτόχρονα ανοικτή με τη θυρίδα εισαγωγής («μεταφοράς», στην προκειμένη περίπτωση). Στο Wankel, αντίθετα, αυτό συμβαίνει παρά τη θέλησή μας και η αιτία είναι το σχήμα του θαλάμου καύσης του το οποίο, όσο και να προσπαθήσουμε, δεν θα μπορέσει να αλλάξει σημαντικά, σε σχέση με το σημερινό. Δυστυχώς, η σφηνοειδής μορφή του στην περιοχή των άπεξ (κορυφών) του ρότορα είναι τέτοια ώστε να μη φτάνει ποτέ εκεί το μέτωπο της καύσης. Κι αντί για την καύση, εκείνο που φτάνει, κάμποσες μοίρες αργότερα, είναι μια ορθάνοικτη θυρίδα εξαγωγής, ακριβώς στο σημείο που «πρέπει», ώστε να εγκαταλείψουν οι υδρογονάνθρακες τον κινητήρα πρώτοι-πρώτοι και τελευταίοι-τελευταίοι. Και, οπωσδήποτε σώοι και άκαυτοι!

Και στους δύο όμως κινητήρες, τον παλινδρομικό και τον περιστροφικό, πέρα από τις διαρροές άκαυτων, κοινό σημείο είναι η συνεχής παρουσία καυσαερίων στο εσωτερικό των θαλάμων τους εξαιτίας της ανικανότητάς τους να τα «σαρώσουν» αποτελεσματικά. Σε ότι, πάντως, αφορά στους άκαυτους υδρογονάνθρακες, από περιβαλλοντικής πλευράς ουσιαστικό πρόβλημα δεν υπάρχει αφού γι αυτό φροντίζει ο καταλύτης στις συγκεκριμένες μάλιστα περιπτώσεις, ο καταλύτης μπορεί να διαθέτει μίαν εξαιρετικά απλουστευμένη μορφή καθώς οι κινητήρες αυτού του είδους δεν παράγουν οξειδία του αζώτου. (Και ένας από τους λόγους που δεν παράγουν οξειδία του αζώτου είναι ακριβώς επειδή το μίγμα της καύσης τους περιέχει τόσο μεγάλο ποσοστό καυσαερίων από τον προηγούμενο κύκλο.)

Το μόνο πρόβλημα που υπάρχει, (αν υπάρχει, πραγματικά) είναι άμεσα συναρτημένο με την τρέχουσα τιμή του πετρελαίου. Κι αυτό, επειδή όπου υπάρχουν άκαυτοι υδρογονάνθρακες στα αέρια της εξαγωγής, αυτό μεταφράζεται σε βενζίνη που ενώθηκε χημικά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας σε χώρο εκτός του θαλάμου καύσης. Βενζίνη, με άλλα λόγια που, αντί να παράγει έργο, τη στιγμή που έπρεπε, σπαταλήθηκε για να υπερθερμάνει τον καταλύτη που την «οξειδωσε».



Renesis του RX-8

Θέση των θυρίδων και επιπτώσεις από τη διάρκεια επικάλυψης (Overlap)

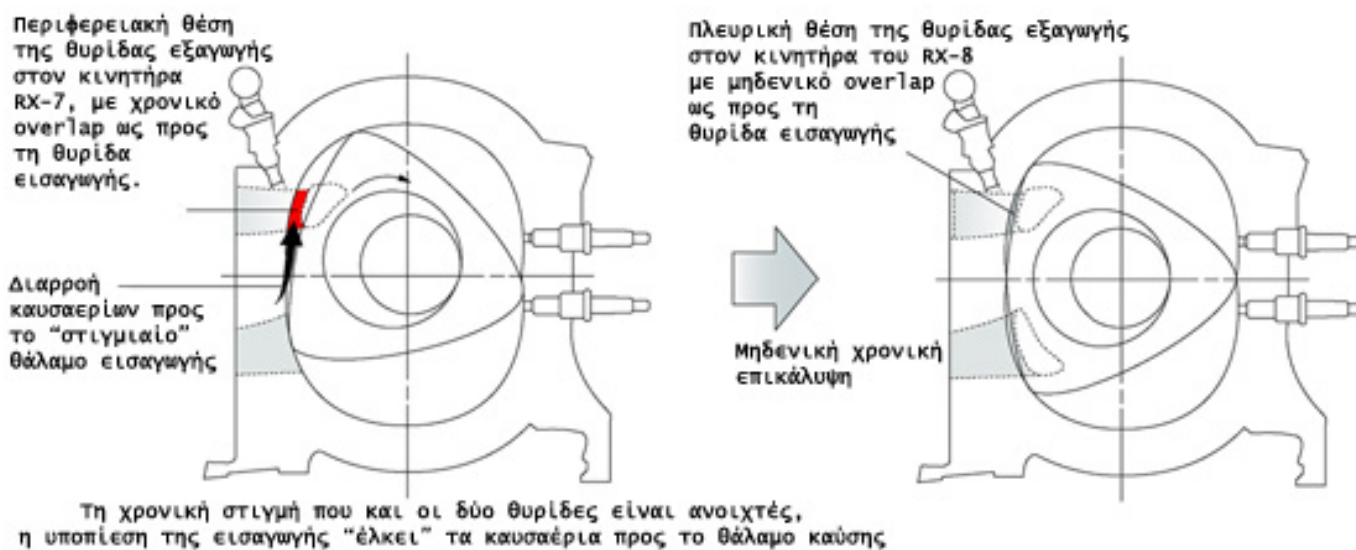
Για τη Mazda πάντως, η αιτία της υψηλής κατανάλωσης των περιστροφικών αυτοκινήτων της, (μέχρι και το τελευταίο RX-7 με τον υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα 13B REW), ήταν δεδομένη. Για όλα, έφταιγε η θέση της θυρίδας εξαγωγής Και αν, μέχρι τώρα, ήταν δεδομένο ότι, σε κάποια στιγμή του κύκλου, θα είναι ταυτόχρονα ανοικτές και «συγκοινωνούσες» οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής, αυτό οφείλεται στο ότι η θυρίδα εξαγωγής βρισκόταν στην περιφέρεια του στάτορα.

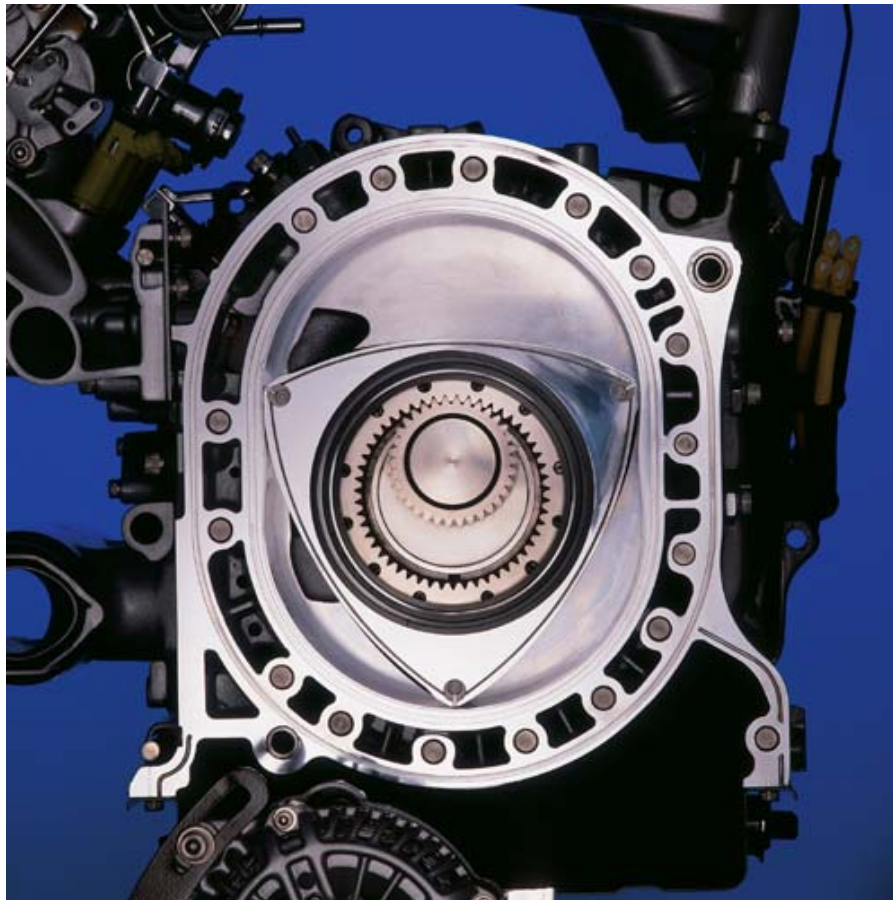
Το αποτέλεσμα αυτού του «γεωμετρικού πειθαναγκασμού» ήταν, να υπάρχει μία χρονική στιγμή, λίγο πριν το πέρας του χρόνου εξαγωγής, όπου το ένα μισό της θυρίδας βρισκόταν από τη μία πλευρά του άπεξ του ρότορα και το άλλο μισό από την άλλη. Η άλλη όμως αυτή πλευρά, βρισκόταν σε τέτοια θέση ώστε να επικοινωνεί, μέσω του «κοιλώματος» του θαλάμου καύσης, με το χώρο όπου είχε ήδη ξεκινήσει η φάση της εισαγωγής (Και εδώ, πλέον, δεν μιλάμε μόνο για την περίπτωση να «περάσουν» καυσαέρια προς την πλευρά της εισαγωγής αλλά να περάσει και φρέσκο μίγμα, προς την αντίθετη κατεύθυνση ειδικά, μάλιστα όταν υπάρχει υπερτροφοδότηση και οι στροφές στις οποίες γυρίζει ο κινητήρας είναι «ευνοϊκές» για να παρουσιαστεί το φαινόμενο). Σε γενικές πάντως γραμμές, το ποιο από τα δύο αέρια (μίγμα ή καυσαέριο) θα κινηθεί και προς ποια κατεύθυνση, στο εσωτερικό του 13B, αυτό είναι κάτι που εξαρτάται από τη διαφορά πιέσεων που επικρατεί, τη συγκεκριμένη στιγμή, στους αντίστοιχους χώρους. Έτσι, αν ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί, με την πεταλούδα του γκαζιού τελείως κλειστή, τότε έχουμε, από τη μία πλευρά, την πίεση των καυσαερίων και από την άλλη την υποπίεση του στραγγαλισμού από την κλειστή πεταλούδα και στη μέση μία πολύ λεπτή δίοδο, αρκετή όμως για να «περάσουν» καυσαέρια προς την πλευρά της εισαγωγής. Σε όλα αυτά, προσθέστε και το γεγονός ότι ο κινητήρας Wankel, στο ρελαντί, περιστρέφεται αργά (γύρω στις 700 σαλ) για να ολοκληρωθεί το σκηνικό της όχι και τόσο «αυθόρμητης» εισροής καυσαερίων στο θάλαμο καύσης.

Οι μηχανικοί των περιστροφικών κινητήρων αποκαλούν την κατάσταση αυτή ως «εσωτερική ανακύκλωση καυσαερίων» (Internal EGR), ένα φαινόμενο το οποίο, στις ψηλές στροφές συντελεί στην μείωση του ποσοστού άκαυτων υδρογονανθράκων στην εξάτμιση (εξαιτίας της επανάκαυσης τους μέσα στον κινητήρα) ενώ, όπως είπαμε, περιορίζει και τις εκπομπές NOx. Στις χαμηλές στροφές όμως και στα «μικρά έως μηδενικά» πατήματα του γκαζιού, υπάρχει χοντρό πρόβλημα.

Όταν το καύσιμο μίγμα είναι «μολυσμένο» από, έστω και μικρή ποσότητα καυσαερίων (και, συγκεκριμένα, διοξειδίου του άνθρακα), και ο κινητήρας λειτουργεί υπό συνθήκες σχεδόν μηδενικού φορτίου, τότε, η δυσκολία (και «τυχειότητα», συνάμα) μετακίνησης του μετώπου της φλόγας μέσα από τους μονωτικούς θύλακες του CO₂, προκαλεί «αστάθεια» καύσης. Και μάλιστα τόσο μεγαλύτερη, όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό διοξειδίου στο φρέσκο μίγμα. Η λύση ένα πολύ πιο πλούσιο μίγμα, εξαιτίας του οποίου θα αυξηθεί, κατ' αρχήν, η ταχύτητα μετάδοσης της καύσης

Χαρακτηριστική είναι μία «εσωτερική» μελέτη της ίδιας της Mazda η οποία βγήκε στην επιφάνεια πριν από 7 περίπου χρόνια, όταν είχαν ολοκληρωθεί τα πειράματα για τη μετατροπή του 13B (με την περιφερειακή θυρίδα εξαγωγής) στο Renesis, με τη θυρίδα σε πλευρική θέση





Η ριζική μεταμόρφωση του κινητήρα 13B RE σε Renesis, ξεκινά από την "μετακόμιση" της θυρίδας εξαγωγής (κάτω αριστερά) από την περιφέρεια στο πλάι. Αλλά και το διπλασιασμό της , αφού τώρα υπάρχει από μία, σε κάθε πλευρικό καπάκι του ρότορα.

Στη μελέτη αυτή, που υπογράφουν οι R. Shimizu, H. Okimoto, S. Tashima και S. Fuse, επισημαίνεται ότι, όσο το ποσοστό του CO₂ στο φρέσκο μίγμα του ρελαντί δεν ξεπερνά το 2,2%, τότε, οι διακυμάνσεις πίεσης στο θάλαμο καύσης (ως δείκτες αποτελεσματικότητας της ίδιας της καύσης), δεν ξεπερνούν το 1,8%, από κύκλο σε κύκλο από τη στιγμή όμως που το διοξείδιο ξεπερνά το 2,5%, αρχίζουν οι έντονες διακυμάνσεις οι οποίες μπορούν να φτάσουν και να περάσουν ακόμα και το 7% πολύ προτού η περιεκτικότητα σε CO₂ φτάσει το 3%. Με την υπάρχουσα τεχνολογία, η μόνη εφικτή λύση για να εξομαλυνθεί το ρελαντί του κινητήρα κάτω από αυτές τις συνθήκες, είναι, όπως

είπαμε, ο έντονος εμπλουτισμός του μίγματος. Μόνο που αυτό δεν είναι ότι καλύτερο για ένα κινητήρα ο οποίος φημιζόταν ως «αδηφάγος» σε βενζίνη όταν απέδιδε τα (ομολογουμένως πολλά) άλογά του. Άλλα υπερβολική κατανάλωση και στο ρελαντί; Δύσκολο να το δεχτούν αυτό πολλοί.

Χαρακτηριστική ήταν η πειραματική επαλήθευση (από την ίδια ομάδα) ότι ο κινητήρας 13B REW του RX-7 καταναλώνει, στο ρελαντί, 1,6 λίτρα/ώρα, κάθε φορά που η συγκέντρωση CO2 στο μίγμα του θαλάμου καύσης του ξεπερνούσε το 3%.



Και, όπως διαπιστώθηκε στη συνέχεια, ο ίδιος κινητήρας θα έκαιγε μόνο 1,2 λίτρα αν η συγκέντρωση CO2 μπορούσε να κρατηθεί κάτω από το 2,5% (γεγονός που θα του επέτρεπε του να λειτουργήσει απολύτως ομαλά, αλλά με πολύ πτωχότερο μίγμα.) κάπου εκεί, προφανώς, πάρθηκε η απόφαση των μηχανικών της Mazda:

«Όταν θα μας αφήσουν να ξανασχεδιάσουμε κινητήρα Wankel, αυτός θα πρέπει να διατηρεί "στεγανοποιημένη" τη δίοδο ανάμεσα στις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής και όταν θα καταφέρουμε να μειώσουμε το ποσοστό διοξειδίου μέσα στο θάλαμο καύσης, θα καταφέρουμε να κάνουμε τον κινητήρα μας να δουλέψει ακόμα και με πτωχά μίγματα, από το ρελαντί μέχρι το κόκκινο»

Όπως αποδείχθηκε στη συνέχεια, δεν χρειάστηκε να «ξανασχεδιάσουν» κινητήρα. Αρκούσε μια τροποποίηση του ήδη υπάρχοντος για να έχουν λαμπρά αποτελέσματα.

Ο στόχος της Mazda, να καταφέρει να χρησιμοποιήσει πτωχά μίγματα στο ρελαντί, έχει επιτευχθεί στο Renesis του RX-8. Και είναι μάλιστα τα μίγματα τόσο πτωχά ώστε να καταφέρουν να μειώσουν κατά 40% την κατανάλωση βενζίνης του RX-8 (στο ρελαντί, πάντοτε), σε σύγκριση με αυτή του RX-7!

Η μεταμόρφωση του κινητήρα 13B REW σε Renesis, από την αλλαγή θέσης της θυρίδας εξαγωγής

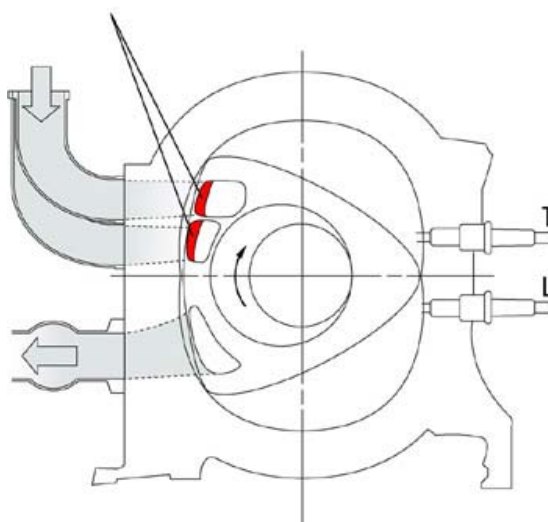
Το κατ' αρχήν σημαντικότερο στοιχείο διαφοροποίησης του κινητήρα Renesis από το bi-turbo 13B REW που αντικαθιστά, είναι το γεγονός ότι, αν και οι δύο αποδίδουν τα ίδια άλογα, ο νέος κινητήρας, είναι καθαρά «ατμοσφαιρικός». (Ασχέτως του αν η σχεδιαστική υποδομή του Renesis, του επιτρέπει στο μέλλον, να καρδαμώσει ακόμα περισσότερο με μια εγκατάσταση υπερτροφοδότησης)



Η απάντηση που έδωσαν σε όλα αυτά, οι ερευνητές της Mazda, ήταν απλώς η μεταφορά της θυρίδας εξαγωγής στο πλάι του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό, οι τεχνικοί της Mazda κατάφεραν, όχι μόνο να επιτύχουν χρονισμό θυρίδας εξαγωγής τέτοια που να αποκλείει την οποιαδήποτε χρονική σύμπτωση του ανοίγματός της με αυτό της εισαγωγής (Zero Overlap), αλλά πήγαν και ένα βήμα παραπέρα.

Η επιφάνεια των θυρίδων εισαγωγής (3 ανά ρότορα για την έκδοση High Power, 2 για την Standard Power) αυξήθηκε κατά 30%, ενώ το εμβαδό των θυρίδων εξαγωγής (2 ανά ρότορα και στις δύο εκδόσεις) σχεδόν διπλασιάστηκε. Τώρα πια, είχαν τη δυνατότητα να αυξήσουν όσο ήθελαν την επιφάνεια της θυρίδας, μειώνοντας έτσι, δραστικά, τις ροϊκές αντιστάσεις του συστήματος εξαγωγής. Και καθώς είχαν ξεφύγει από τα περιοριστικά πλαίσια της περιφέρειας του ρότορα, μπόρεσαν να διπλασιάσουν τις θυρίδες εξαγωγής, τοποθετώντας από μία σε κάθε πλευρικό κέλυφος του ρότορα!

Αύξηση εμβαδού θυρίδων
κατά 30%

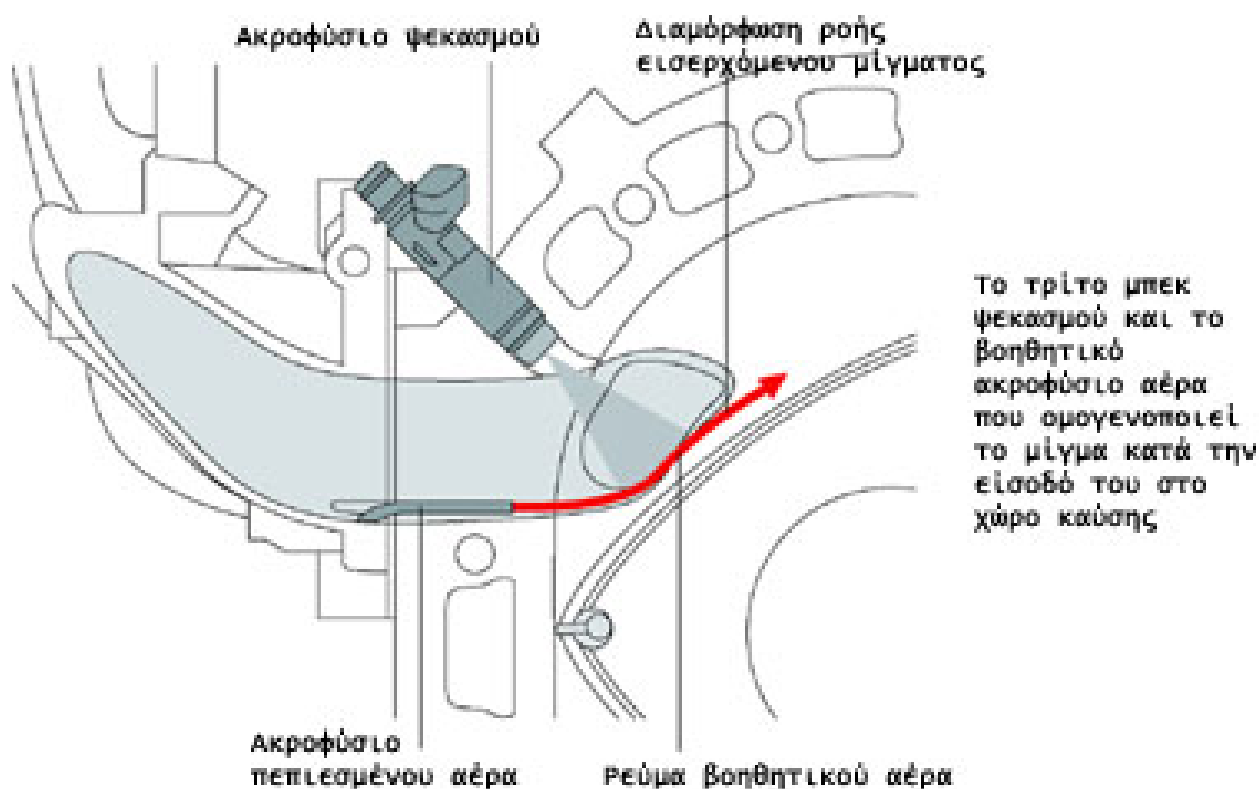


Με τον τρόπο αυτό, κατάφεραν να ελέγξουν το ποσοστό εσωτερικής ανακύκλωσης καυσαερίων στο επίπεδο που αυτοί είχαν ορίσει. Έτσι, κατάφεραν να διασφαλίσουν, κατ' αρχήν, ότι δεν θα αντιμετώπιζαν προβλήματα δυσλειτουργίας όταν θα τροφοδοτούσαν τον κινητήρα με πτωχά μίγματα όχι μόνο στο ρελαντί αλλά και σε όλη την κλίμακα στροφών και φορτίων.

(Και, στο σημείο αυτό, θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι παλινδρομικοί κινητήρες, υψηλής απόδοσης, παρά τη θεωρητική δυνατότητά τους να λειτουργήσουν με πτωχά μίγματα στις χαμηλές στροφές, εντούτοις απαιτούν οπωσδήποτε έναν ουσιαστικό εμπλουτισμό του μίγματός τους όταν λειτουργούν κάτω από συνθήκες υψηλού φορτίου. Και αυτό, για προφανείς λόγους αυτοπροστασίας τους από τα «πυράκια». Τέτοια πρόβλημα, οι Wankel δεν αντιμετωπίζουν, ακόμα κι αν λειτουργούν με υπερτροφοδότη)

Δεν αρκεί όμως να έχεις «ελεγχόμενα καυσαέρια» στο χώρο καύσης ενός Wankel για να καταφέρεις να τον κάνεις να λειτουργήσει με πτωχά μίγματα. Πρέπει να επιτύχεις και την όσο γίνεται ισχυρότερη ομογενοποίηση τους ώστε να διασφαλίσεις την ομαλή μετατόπιση του μετώπου της φλόγας μετά την έναυση. Για το λόγο αυτό, η Mazda δεν χρησιμοποίησε ούτε ένα ούτε δύο μπεκ για τον ψεκασμό της βενζίνης αλλά τρία για κάθε ρότορα. Το τρίτο, μάλιστα βρίσκεται στο ακρότατο σημείο του αυλού εισαγωγής, ψεκάζοντας τη βενζίνη απευθείας μέσα στο θάλαμο.

Το ερώτημα, τώρα είναι πώς μπορεί να προλάβει να ομογενοποιηθεί αυτό το μίγμα, δεδομένης της μικρής διαδρομής του από το ακροφύσιο μέχρι την επιφάνεια του ρότορα. Την απάντηση δίνει ένα μικροσκοπικό ακροφύσιο αέρα το οποίο παρεμβαίνει στη δέσμη ψεκασμού του τρίτου μπεκ και τη σκεδάζει προς την επιθυμητή κατεύθυνση, μετά την είσοδό της στο θάλαμο. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται πλήρης λεπτοδιαμερισμός του νέφους της βενζίνης αλλά, ταυτόχρονα, και ένας στρατηγικός εντοπισμός αυτού του νέφους, σε μian προκαθορισμένη περιοχή του θαλάμου καύσης. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά της στρωματοποιημένης καύσης καθώς, αυτό το τοπικά εμπλουτισμένο νέφος είναι που θα διασφαλίσει την αρχική εμφάνιση μετώπου φλόγας μετά την έναυση, ανεξαρτήτως του πόσο πτωχό είναι το υπόλοιπο μίγμα.

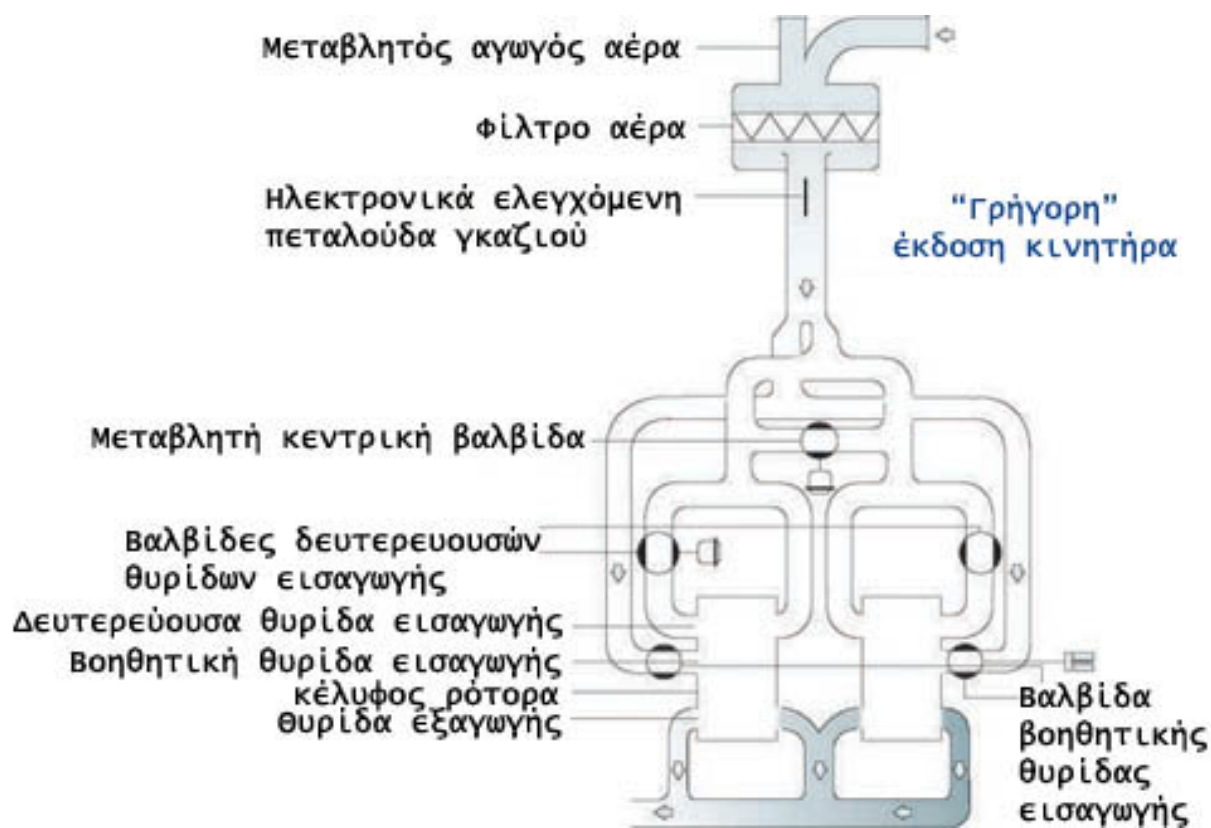
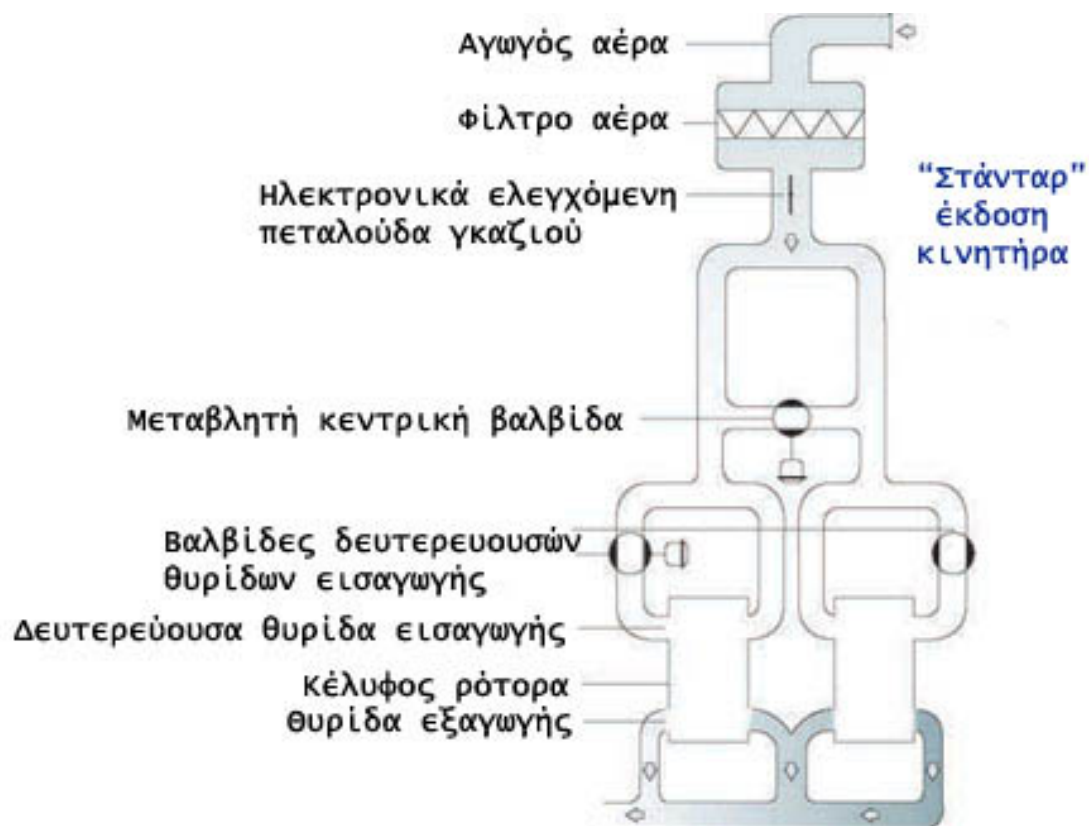


Την παροχή πεπιεσμένου αέρα στο συγκεκριμένο ακροφύσιο έχει αναλάβει ένα ηλεκτρικό μινι-κομπρεσέρ του οποίου ένας δεύτερος ρόλος είναι να τροφοδοτεί, κατά την εκκίνηση του κινητήρα, ένα αντίστοιχο ακροφύσιο αέρα, τοποθετημένο στη αρχή του αυλού εξαγωγής, αμέσως μετά την αντίστοιχη θυρίδα. Ο ρόλος αυτού του δεύτερου ακροφυσίου, σε συνδυασμό με ένα εξωτερικό μπεκ βενζίνης, είναι να παριστάνει το φλόγιστρο για την προθέρμανση του καταλύτη.

Το σύστημα εισαγωγής

Πώς μπορεί να "πάρει" κανείς, από έναν ατμοσφαιρικό κινητήρα, τους ίδιους ίππους με αυτούς της προηγούμενης, υπερτροφοδοτούμενης έκδοσής του; Η απάντηση θα ήταν εύκολη αν μπορούσαμε να πούμε, απλά, "ανεβάζοντας τις στροφές λειτουργίας του", πράγμα που, προφανώς δεν ισχύει για κάποιον κινητήρα που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, καθημερινά, μέσα στην πόλη. Για να μπορέσει, κατ' αρχάς, ο κινητήρας να αποδώσει ικανοποιητική ροπή στις χαμηλές στροφές, πρέπει οι θυρίδες εισαγωγής του να είναι ανοιχτές για όσο γίνεται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και η ροή στο εσωτερικό τους να έχει υψηλή ταχύτητα ώστε να μην παρουσιαστούν αναστροφές ροής όταν αρχίσει η φάση της συμπίεσης και αυτές εξακολουθούν να είναι ανοιχτές. Για τον λόγο αυτό, ένα πολύπλοκο σύστημα βαλβίδων φροντίζει ώστε να υπάρχει ροή αερίου-καυσίμου, μόνο σε τόσες θυρίδες κάθε φορά όσες και οι ανάγκες του κινητήρα σε αέρα.

Προφανώς η κύρια θυρίδα (αυτή που βρίσκεται ανάμεσα στους ρότορες) είναι μονίμως ανοιχτή και, στις χαμηλές στροφές, το ελεύθερο μήκος του αυλού της (από θυρίδα μέχρι φίλτρο αέρα) είναι τέτοιο ώστε να επιτυγχάνεται ένα είδος "κυματικού συντονισμού". Όσο ανεβαίνουν οι στροφές, ανοίγουν διαδοχικά και οι υπόλοιπες βαλβίδες ελέγχου των θυρίδων ενώ μειώνεται σταδιακά, το ελεύθερο μήκος ιδιοσυντονισμού των αυλών τους. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η κεντρική "μεταβλητή" βαλβίδα η οποία ανοίγει στις 7.250 σ.α.λ. και βοηθά τις εισαγωγές στους δύο ρότορες να αλληλοσυντονιστούν κυματικά, επιτυγχάνοντας έτσι μια μορφή υπερτροφοδότησης.

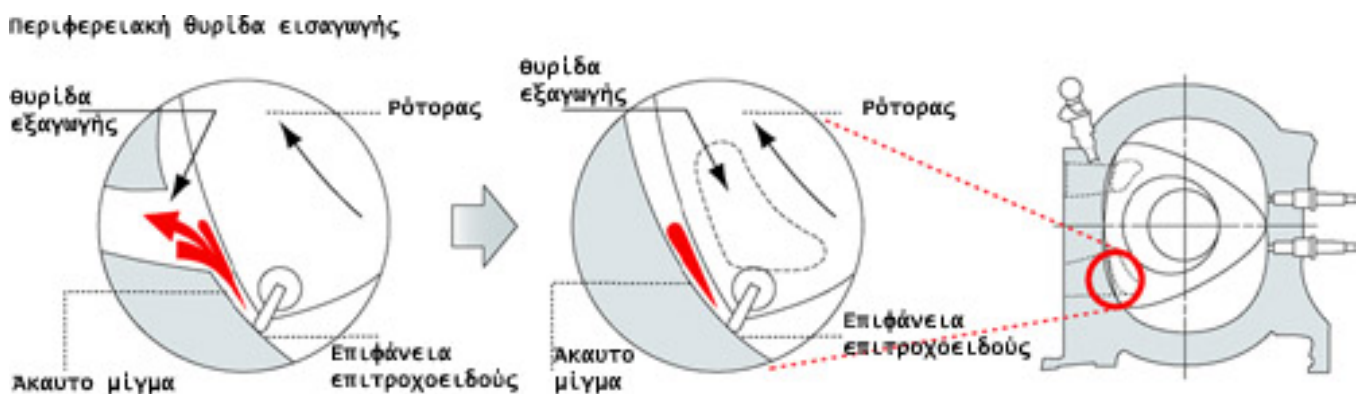


Σύστημα βαλβίδων εισαγωγής Renesis

Επιστροφή, τώρα, στις πλευρικές θυρίδες εξαγωγής και στη λύση που έδωσαν στο δεύτερο μεγάλο πρόβλημα των Wankel: την ύπαρξη περιοχών στις παρυφές του στρεφόμενου θαλάμου καύσης όπου το μίγμα παραμένει άκαυτο, μέχρι να συναντήσει ανοικτή θυρίδα εξαγωγής για να δραπτεύσει στην ατμόσφαιρα.

Με τις πλευρικές θυρίδες, τα αέρια στις περιοχές αυτές του θαλάμου καύσης δεν έχουν, πλέον, τη δυνατότητα να εκτονωθούν προς τα έξω, κατά τη διάρκεια του χρόνου της εξαγωγής. Παραμένουν παγιδευμένες μεταξύ άπτεξ και περιφερειακής επιφάνειας του στάτορα μέχρι να αρχίσει η επόμενη φάση της εισαγωγής. Τότε, θα αραιωθούν με το μίγμα του επόμενου κύκλου αλλά και θα διαχυθούν ως ένα βαθμό σε αυτό, με αποτέλεσμα να βρεθούν μέσα στο μέτωπο φλόγας του επόμενου κύκλου.

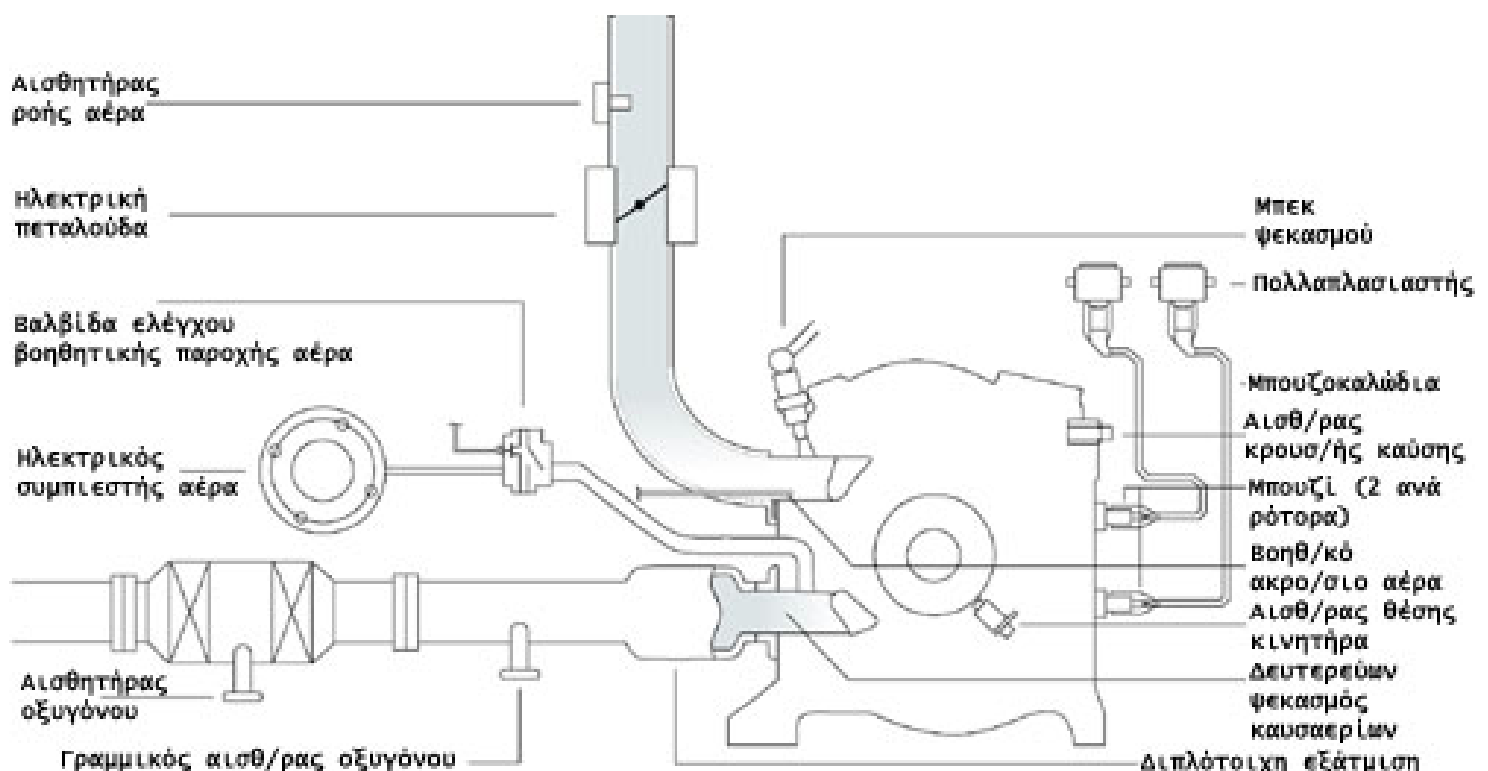
Αυτό που συμβαίνει, στην ουσία, είναι να ανανεώνεται συνεχώς το περιεχόμενο αυτών των απομακρυσμένων περιοχών και να καίγεται σε κάθε επόμενο κύκλο, αφήνοντας πάντοτε πίσω του νέες ποσότητες άκαυτων που θα περιμένουν τη δική τους σειρά. Το γεγονός είναι ότι, ανεξάρτητα του μετά από πόσους κύκλους θα καεί ένα μόριο υδρογονάνθρακα που βρέθηκε παγιδευμένο στις παρυφές του θαλάμου καύσης, αυτό, χάρη στις πλευρικές θυρίδες εξαγωγής, δεν θα μπορέσει να βρει το δρόμο του προς την ατμόσφαιρα προτού «περάσει», κάποια στιγμή, από το κέντρο του θαλάμου καύσης για τα περαιτέρω



Fire-by-wire

Όσο πιο σύνθετο είναι ένα σύστημα τροφοδοσίας, τόσο περισσότερες δυνατότητες δίνει για τον οικονομικότερο έλεγχο του κινητήρα. Κάτι τέτοιο όμως σημαίνει ότι, πλέον, πρέπει να αποκοπεί ο οδηγός από τον άμεσο έλεγχο της ροής μίγματος. Έτσι κι αλλιώς το πάτημα του γκαζιού πρέπει να είναι, στην ουσία, ένα μήνυμα για το πόση ισχύ χρειάζεται ο οδηγός από τον κινητήρα και όχι για το πόσο αέρα θέλει να στείλει ο ίδιος στον κύλινδρο. (Πολύ δε περισσότερο, όταν το κιβώτιο ταχυτήτων είναι αυτόματο). Στην περίπτωση του RX-8, η οικονομία καυσίμου εξαρτάται άμεσα από το πώς διαχειρίζεται η μονάδα ψεκασμού τις μεταβατικές καταστάσεις των πτωχών μιγμάτων με τα οποία τροφοδοτείται ο κινητήρας. Επόμενος ήταν λοιπόν, να επιλεγεί η λύση της ηλεκτρικής πεταλούδας και της "by-wire" σύνδεσης του πεντάλ γκαζιού με το σύστημα τροφοδοσίας.

Με τον τρόπο αυτό, όταν η μονάδα διαχείρισης καυσίμου επιλέγει ένα μεγαλύτερο άνοιγμα πεταλούδας (σε σχέση με αυτό που «νομίζει», από το πάτημα του πεντάλ του, ο οδηγός) και, ταυτόχρονα, ένα πιο αδύνατο μίγμα, η απόκριση του κινητήρα θα είναι η ίδια ακριβώς με αυτή που επέλεξε ο οδηγός αλλά η οικονομία καυσίμου πολύ μεγαλύτερη. Κι εκεί ακριβώς, στον τομέα της οικονομίας, είναι που πρέπει να παίζει η Mazda, ώστε να διατηρήσει εμπορικά ζωντανό το Wankel μέχρι να έρθει η μέρα που κάποιο άλλο καύσιμο θα αποδειχθεί περισσότερο φιλικό μαζί του από ότι η βενζίνη.



Βάνκελ Υδρογόνου από τη Mazda

Στην έκθεση του Τόκιο το 1991, η Μάζντα παρουσίασε το πρώτο πρωτότυπο HR-X με κινητήρα Βάνκελ που καταναλώνει υδρογόνο.



HR-X

Στην εποχή μας η προστασία του περιβάλλοντος είναι ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που η σύγχρονη τεχνολογία καλείται να λύσει. Ειδικά στο χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας η έρευνα που γίνεται στον τομέα αυτό είναι περισσότερο από εντατική και δεν αφορά μόνο την τεχνολογία που ήδη εφαρμόζεται, αλλά και νέες καινοτομίες. Μία από τις πιο προηγμένες λύσεις στο πρόβλημα δίνει η Μάζντα προτείνοντας σαν εναλλακτικό καύσιμο το υδρογόνο. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του υδρογόνου είναι πως όταν καίγεται δεν ρυπαίνει καθόλου ή μάλλον σχεδόν καθόλου όπως θα δούμε παρακάτω το περιβάλλον, αφού το κυριότερο προϊόν της καύσης είναι το νερό. Επίσης το υδρογόνο είναι μία ανανεώσιμη, άρα οικολογική, πηγή ενέργειας, αφού η ποσότητα του νερού που παράγει κατά την καύση του είναι σχεδόν ίση με την ποσότητα του νερού που καταναλώθηκε για την παραγωγή του καυσίμου.

ΡΕΖΕΡΒΟΥΑΡ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Ρεζερβουάρ υδρογόνου υψηλής πίεσης του RX-8 Hydrogen RE Wankel Rotary hybrid

Η αρχή της σημαντικής αυτής έρευνας της Μάζντα έγινε χρησιμοποιώντας σαν πλατφόρμα δοκιμών το γνωστό μας MX-5 Το δυσκολότερο πρόβλημα για τους μηχανικούς της εταιρίας ήταν η ασφαλής αποθήκευση και μεταφορά του υδρογόνου. Αυτό έγινε δυνατό με τη χρήση υδριδίων μετάλλου (ιόντων υδροξειδίου μετάλλου) τα οποία έχουν την ιδιότητα να δεσμεύουν το υδρογόνο όταν ψύχονται υπό συνθήκες πίεσης και να το απελευθερώνουν όταν θερμαίνονται. Το ρεζερβουάρ γεμίζει από ένα στόμιο τροφοδοσίας, . Κρύο νερό, που παρέχεται από εξωτερική πηγή, κυκλοφορεί στα τοιχώματα του ρεζερβουάρ υδριδίου μετάλλου, έτσι ώστε να δεσμεύεται το υδρογόνο με την ψύξη. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί, το ζεστό νερό που προέρχεται από την ψύξη του κινητήρα, κυκλοφορεί σε ειδικές κοιλότητες του ρεζερβουάρ.

Το ρεζερβουάρ έτσι θερμαίνεται και το υδρογόνο απελευθερώνεται. Αυτή η διαδικασία πρέπει να γίνεται υπό σταθερές συνθήκες πίεσης και όγκου του υδρογόνου. Για το λόγο αυτό η ροή του ζεστού νερού είναι ελεγχόμενη και το ίδιο το υδρογόνο περνά από μία βαλβίδα ρύθμισης πίεσης. Μετά από αυτή τη βαλβίδα το υδρογόνο περνά μέσα από μία ηλεκτρονικά ελεγχόμενη βαλβίδα που ρυθμίζει την ποσότητα με την οποία τροφοδοτείται ο κινητήρας. Τέλος το υδρογόνο ψεκάζεται στον κινητήρα με μηχανικά ελεγχόμενες βαλβίδες ψεκασμού, οι οποίες λειτουργούν σαν ωρολογιακοί μηχανισμοί.

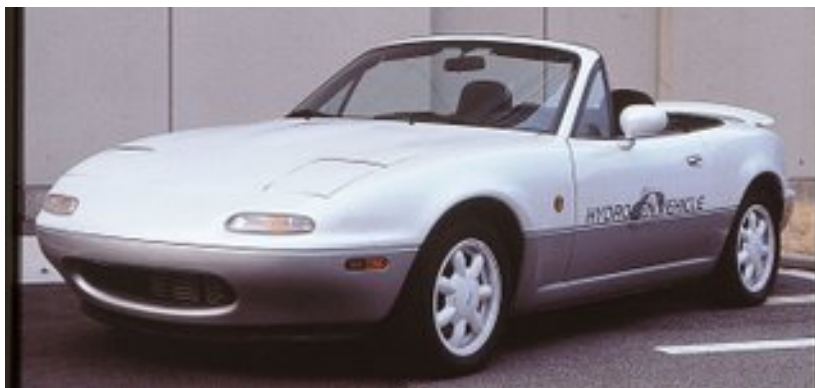
στο εσωτερικό υπάρχει ένα πλέγμα που σχηματίζει κυψέλες. Στην επιφάνεια των κυψελών βρίσκεται το υδρίδιο απλωμένο με τη μορφή σκόνης, ενώ εκεί που ενώνονται οι κυψέλες υπάρχουν κοιλοότητες για την κυκλοφορία του νερού. Το ρεζερβουάρ του MX-5 αποτελείται από δεκαοχτώ τέτοιες μονάδες κυψελών. Οι μονάδες αυτές ονομάζονται κελία. Το ρεζερβουάρ αυτό υποβλήθηκε στις σκληρότερες δοκιμασίες και αποδείχτηκε απόλυτα ασφαλές. Στη χειρότερη περίπτωση η διαφυγή του υδρογόνου ήταν μόλις 1% με 2%.



Στόμιο πλήρωσης ρεζερβουάρ υδρογόνου του RX-8 Hydrogen

ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΒΑΝΚΕΛ

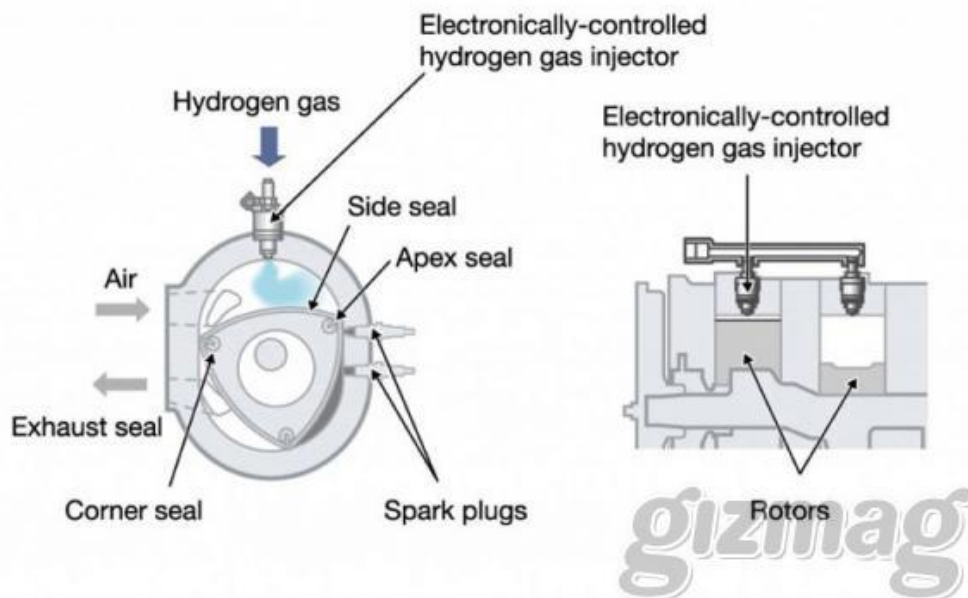
Ο κινητήρας που χρησιμοποίησε η Μάζντα στα πειράματά της με το MX-5 είναι ο περιστροφικός κινητήρας Βάνκελ των 1,3 λίτρων με τους δύο ρότορες. Ο λόγος συμπίεσης ήταν ο ίδιος με της βενζινοκίνητης έκδοσης παραγωγής δηλαδή 9,7 :1.



Το 1993 το MX-5 Miata ήταν το πρώτο μοντέλο παραγωγής που εφοδιάστηκε με περιστροφικό κινητήρα υδρογόνου

Η επιλογή του κινητήρα Βάνκελ από την Μάζντα έγινε για την αντιμετώπιση κάποιων προβλημάτων καύσης που οφείλονται στις φυσικές ιδιότητες του υδρογόνου. Το υδρογόνο είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο και γι αυτό όταν χρησιμοποιείται σε παλινδρομικούς κινητήρες παρουσιάζει κάποια αστάθεια στην καύση (π.χ. προανάφλεξη) λόγω της συνεχούς του επαφής με τα θερμά τοιχώματα του κυλίνδρου. Αυτό όμως δεν συμβαίνει στον κινητήρα Βάνκελ στον οποίο το μίγμα συμπιέζεται, αναφλέγεται, καίγεται και εκτονώνεται σε διαφορετικές περιοχές του κελύφους μέσα στο οποίο κινείται το τριγωνικό στροφέιο, επειδή ο θάλαμος καύσης μετατοπίζεται συνεχώς λόγω της κίνησης του στροφέιου. Έτσι πριν την έναυση του σπινθήρα, το υδρογόνο δεν έρχεται ποτέ σε επαφή με ιδιαίτερα θερμές επιφάνειες ώστε να αυτοαναφλεγεί. Αυτό το πλεονέκτημα του περιστροφικού κινητήρα επιτρέπει την καύση του υδρογόνου σε στοιχειομετρική αναλογία, κάτι που αυξάνει την απόδοση του κινητήρα. Επίσης το υδρογόνο έχει πολύ χαμηλή πυκνότητα και έτσι καταλαμβάνει πολύ περισσότερο όγκο στο στοιχειομετρικό μίγμα αέρα-καυσίμου (περίπου 28% αντί 2% της βενζίνης). Για να ξεπεράσει αυτό το πρόβλημα η Μάζντα χρησιμοποίησε την ακόλουθη τεχνική άμεσου ψεκασμού. Ο αέρας και το καύσιμο εισέρχονται στο θάλαμο καύσης

από δύο διαφορετικές διόδους. Κατά τη φάση της εισαγωγής ο αέρας εισέρχεται απευθείας στο θάλαμο καύσης. Σχεδόν ταυτόχρονα αρχίζει και η ροή του υδρογόνου προς τη βαλβίδα άμεσου ψεκασμού στο θάλαμο καύσης. Αυτή όμως ανοίγει αφού κλείσει η βαλβίδα εισαγωγής του αέρα. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται ο συνολικός όγκος του μίγματος κατά 38% μειώνοντας το ποσοστό του όγκου που καταλαμβάνει το υδρογόνο στο μίγμα. Κάθε κύκλος λειτουργίας σε αυτό τον κινητήρα διαρκεί 50% περισσότερο από όσο σε ένα βενζινοκινητήρα.



Ο αέρας εισάγεται στο χώρο εισαγωγής ενώ ταυτόχρονα αρχίζει και η ροή του υδρογόνου από τη βαλβίδα άμεσου ψεκασμού



Περιστροφικός κινητήρας υδρογόνου του RX-8 Hydrogen RE(στη κορυφή διακρίνετε η βαλβίδα άμεσου ψεκασμού υδρογόνου)

Η λειτουργία του κινητήρα μετά από τις παραπάνω τροποποιήσεις είναι απόλυτα ομαλή και η απόδοση του κινητήρα συναγωνίζεται αυτήν του αντίστοιχου βενζινοκίνητου. Η ισχύς φτάνει τους 118 ίππους και η ροπή τα 16,7 Kg.m. Μετά την επιτυχία του πειράματος με το MX-5 η Μάζντα προχώρησε στην κατασκευή ενός μικρότερου κινητήρα πάλι με δύο στροφεία και

συνολική χωρητικότητα 998 κ.εκ. Η ισχύς του είναι 100 ίπποι και η ροπή 13 Kg.m. Τον κινητήρα αυτόν η Μάζντα τον τοποθέτησε στο μέσον ενός φουτουριστικού αμαξώματος 2+2 θέσεων, δημιουργώντας έτσι ένα νέο πρωτότυπο, το HR-X2. Το αυτοκίνητο αυτό είναι και υβριδικό, αφού χρησιμοποιεί και έναν ηλεκτρικό κινητήρα για αύξηση των επιδόσεων εκτός πόλης, αποθήκευση κινητικής ενέργειας κατά το φρενάρισμα και κίνηση στην πόλη.

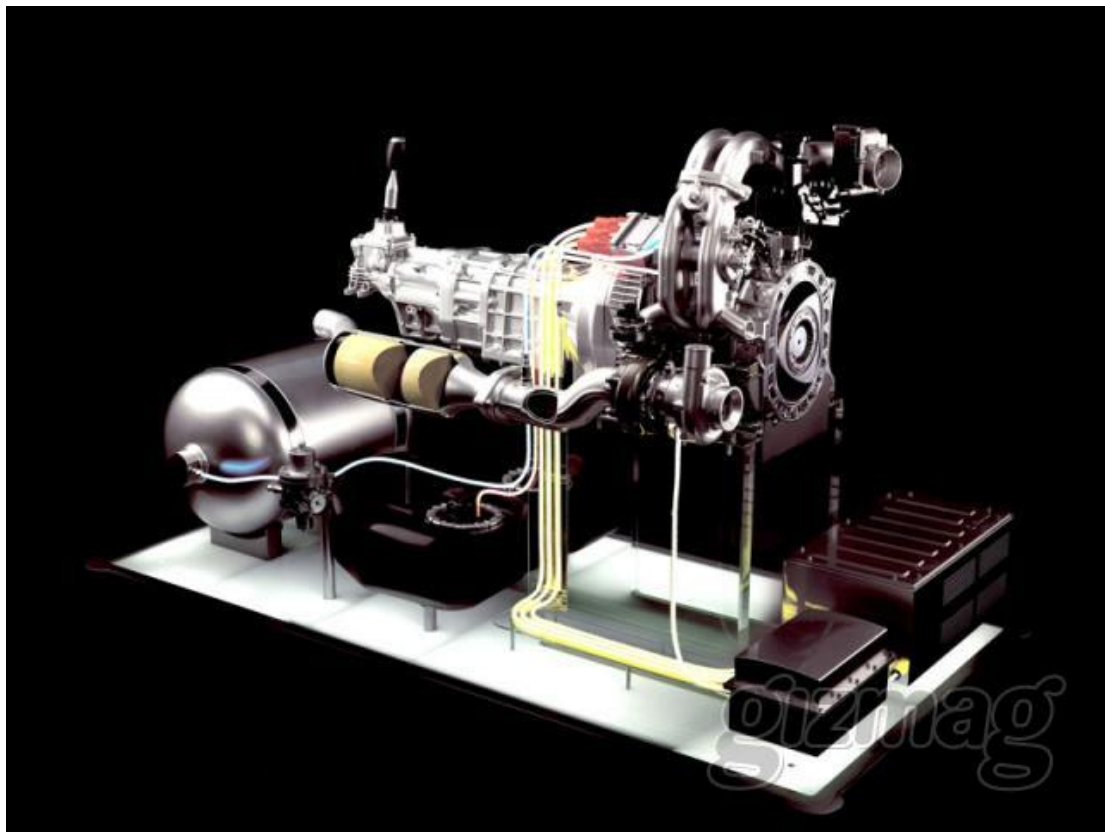


HR-X2

ΡΥΠΟΙ ΑΠΟ ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ. ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΞΗ

Οι εκπομπές ρύπων από τον περιστροφικό κινητήρα υδρογόνου μπορεί να είναι πολύ χαμηλές, ιδιαίτερα αν χρησιμοποιείται φτωχό μίγμα. Τότε τα οξειδία του αζώτου που παράγονται βρίσκονται σε πολύ χαμηλό επίπεδο, ενώ θεωρητικά δεν παράγονται καθόλου υδρογονάνθρακες και οξειδία του άνθρακα. Στην πράξη όμως παράγονται μικρές ποσότητες και από αυτούς τους ρύπους λόγω της αναπόφευκτης καύσης μικρών ποσοτήτων λαδιού. Όμως με την καύση φτωχού μίγματος μειώνονται πολύ οι επιδόσεις. Έτσι είναι αναγκαία η χρησιμοποίηση πλουσιότερου ή και στοιχειομετρικού μίγματος, οπότε αυξάνονται οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου. Η λύση της Μάζντα σε αυτό το πρόβλημα συγκρουόμενων απαιτήσεων ήταν απλή. Χρησιμοποίησε τριοδικό καταλύτη και στοιχειομετρικό μίγμα. Έτσι τα οξειδία του αζώτου έπεσαν στα επίπεδα ενός αντίστοιχου βενζινοκίνητου με καταλύτη. Οι

εκπομπές ρύπων του κινητήρα υδρογόνου της Μάζντα βρίσκονται έτσι πολύ πιο κάτω από τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια των αυστηρότατων προδιαγραφών της Καλιφόρνια. Τι άλλο μένει να γίνει σύμφωνα με τα όσα ανακοινώνει η ίδια η Μάζντα; Πρώτον πρέπει να αυξηθεί η αυτονομία των πειραματικών πρωτοτύπων, με μείωση του βάρους και αύξηση του μεγέθους του ρεζερβουάρ. Δεύτερον να λυθεί το πρόβλημα της ασφαλούς διακίνησης και διανομής του υδρογόνου καθώς και η μείωση του κόστους αυτού του καυσίμου. Τρίτον να πεισθεί η κοινή γνώμη ότι η νέα τεχνολογία είναι απόλυτα ασφαλής και ότι δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος σοβαρού ατυχήματος από τη χρήση του υδρογόνου. Η Μάζντα έκανε ίσως την αρχή μιας νέας εποχής. Τώρα η σκυτάλη περνάει στις κυβερνήσεις, τις εταιρίες καυσίμων, τις άλλες αυτοκινητοβιομηχανίες και τους προμηθευτές τους, που καλούνται να αξιολογήσουν και ανάλογα να αγκαλιάσουν ή να απορρίψουν τα αποτελέσματα της έρευνας της Μάζντα.



περιστροφικός κινητήρας υδρογόνου του RX-8 Hydrogen RE ο οποίος λειτουργεί και με βενζίνη

Η ταμπακέρα

Δύσκολα μπορεί να ισχυριστεί κάποιος ότι ο περιστροφικός κινητήρας του Felix Wankel άλλαξε την μορφή της αυτοκίνησης. Μολονότι έχει εντυπωσιακή σύλληψη και πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τον εμβολοφόρο βενζινοκινητήρα, τα μειονεκτήματα των πρώτων Wankel αποθάρρυναν τους υπόλοιπους μεγάλους κατασκευαστές από το να τον υιοθετήσουν.

Έτσι η δουλειά της Mazda στον Wankel έμοιαζε να είναι χωρίς αντίκρισμα. Σαφώς όχι. Οι μηχανικοί της Mazda με εντατική έρευνα επί τέσσερις και πλέον δεκαετίες κατόρθωσαν να μεταμορφώσουν τον αρχικά ασύμφορο και αναξιόπιστο κινητήρα Wankel σε ένα χρηστικό σύνολο, του οποίου ο ιδιοκτήτης δεν χαρακτηρίζεται πλέον σαν “βιτσιόζος” ή “γραφικός της αυτοκίνησης”. Αντίθετα, μπορεί να αισθάνεται περήφανος αφού το αυτοκίνητο που οδηγεί έχει ένα μοναδικό κινητήρα. Σήμερα, όπου τα μοντέλα πολλαπλασιάζονται, αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία.

Ο wankel κινητήρας αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 70 από πολλές εταιρείες, π.χ. με την General Motors, Daimler Benz, Peugeot και Mazda. Κατασκεύασαν συνολικά πάνω από ένα εκατομμύριο wankel κινητήρες που λειτουργούν σε αυτοκίνητα.

Όμως, λόγω των περιβαλλοντικών κανονισμών που προκύπτουν και κατά συνέπεια της κρίσης του πετρελαίου δεν είχαν γίνει περισσότερες επενδύσεις. Μόνο η Mazda συνέχισε να αναπτύσσει τον περιστροφικό κινητήρα έτσι η βελτίωση της αποτελεσματικότητας μέχρι και σήμερα είναι μάλλον άσχημη και η κακή ποιότητα των καυσαερίων θα μπορούσε να βελτιωθεί με γενναίες επενδύσεις στο μέλλον. Όμως, η υπεροχή του κυριάρχου εμβολοφόρου κινητήρα φαίνεται αξεπέραστη, και επίσης δύσκολα τολμά κάποιος να ταρακουνήσει την απόδειξη του ότι αξίζει. Έτσι το μέλλον του Wankel κινητήρα είναι αρκετά δύσκολο.

