

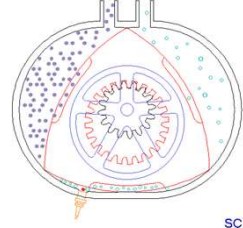
WANKEL MOTORLARI



Prof. Dr. Selim Çetinkaya

Wankel motorları

Wankel motoru (ya da dönele, rotatif motor), genellikle üçgen biçimli bir rotorun dairesel ya da eliptik bir hazne içerisinde dönmeye bağlı olarak hacimleri değişen ayrı odacıklardan her birinde aralıklı yanma ile güç çıkışı sağlayan bir ısı motorudur.



ŞÇ

Dr. Felix Wankel

(13.8.1902-9.10.1988)

Wankel dönele motor tasarımını 1924 yılında düşündü.

1936 yılında patentini aldı.

1957 yılında motor çalıştı.

En yoğun rotatif motor çalışmalarının 1950'li yılların sonlarına doğru yapılmasına karşın, öncü çalışmalar 1588'e kadar varmaktadır.

Bilinen öncü çalışma, pompa ve blower olarak tasarlanmıştır.

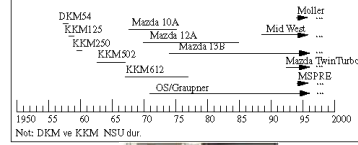


Wankel'in Heidelberg'deki atölyesi

3

Geliştirme çalışmaları

- Alman NSU firmasında geliştirildi.
- NSU Spider (ilk otomobil 1964)
- NSU Ro80
- Daimler Mercedes firması da bazı uygulamalar yaptı.
- Mazda en büyük imalatçısı oldu.



1970, Citroën M35



1967 model Mazda Cosmo 1100

NSU Spider

- NSU Spider'in motoru Wankel motoru idi.



NSU Ro80

Wolkswagen Tochter der Auto Union
© NSU Auto Union AG, der Gruppe



6

İki tip wankel

■ KKM

- Kreiskolbenmotor veya gezegen hareketli motor
- Sabit bir çevresel hazne
- Rotor yörüngesinde döner ve eksantrik mili tahrik eder.
- En modern dönül motor

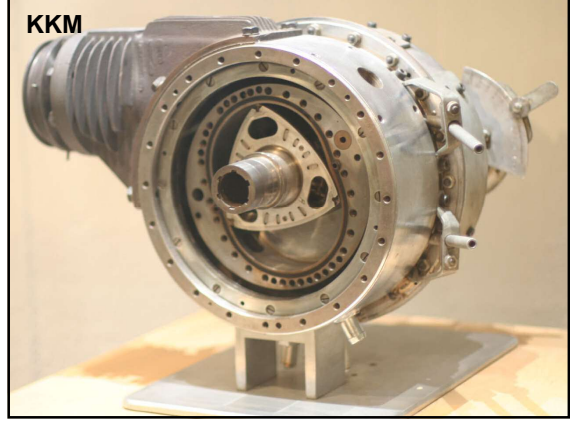
■ DKM

- Drehkolben Maschine
- İlk dönül motor
- İç dönül hazne ve rotor sabit bir şaft etrafında hareketli
- Buji değişimi için motoru demonte etmek gerekiyor.
- 25 000 1/min hız yapabiliyor.

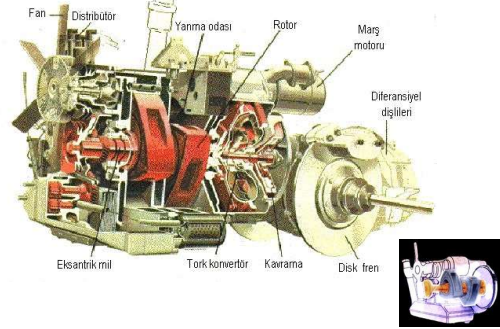


7

KKM

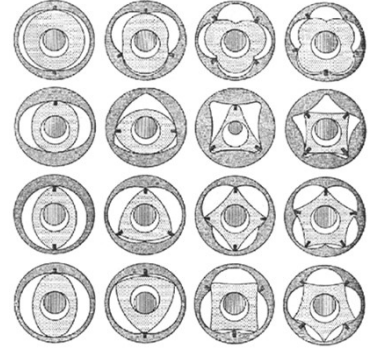


NSU wankel motoru



Wankel motoru tasarım alternatifleri

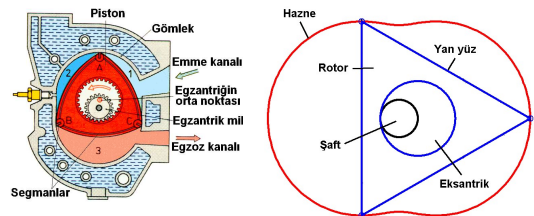
Wankel, 150 kadarı kullanışlı, yaklaşık 800 muhtemel biçim belirlemiştir.



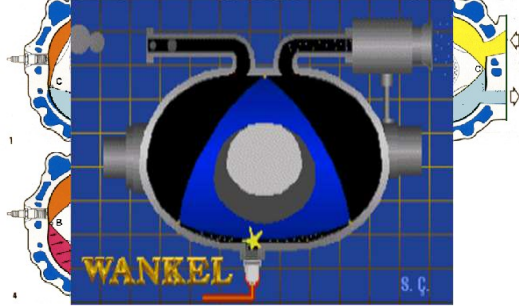
Lisanslı firmalardan bazıları

Firma	Ülke
Curtiss-Wright and John Deere	USA
NSU	Almanya
Citroen	Fransa
Mercedes	Almanya
GM Corvette	USA
Mazda	Japonya
Suzuki	Japonya
Mid-West Engines	Britanya
Wankel GmbH	Almanya
OS / Graupner	Japonya
UAV Engines Limited	Britanya
Lada / Vaz	Rusya
Moller	USA
Rotary Power International	USA

Wankel motoru terimleri



Dört fazlı çevrim (zamanlar)



Emme fazı

Hava yakıt karışımı odacığa, rotor muhafazası çevresi ya da yanındaki emme portundan girmektedir. Bazı motorlar bir yan ve çevresel kanalın her ikisini; bazıları da yüksek hızda biri ya da diğeri bir kelebek valf tarafından açılan bir çift çevresel port kullanılır. Wankel motorlarında emme sonu sıcaklığı 320-335 K, basıncı 0,9-0,97 bar kadardır.



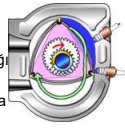
14

Sıkıştırma fazı

Sıkıştırmanın politropik üssü n_1 1,36-1,39 kadardır. Bu, yüzeylerden ısı transferlerinin azlığı ve çevrimlerin sıklığı nedeniyle ile açıklanabilir.

Genel olarak, imal edilen Wankel motorlarının sıkıştırma oranları, pistonlu motorlarda kullanılanlarla aynıdır ve 8,5:1-10,5:1 arasında değişmektedir.

Sıkıştırma sonu basınçları 14-19 bar, sıcaklıkları 650-800 K kadardır.



15

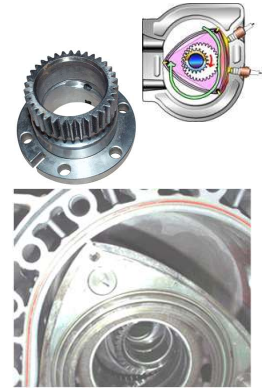
Güç fazı

Ateşleme avansı 20-30° kadardır.

Rotor ile anamil arasında hilal şeklinde görülen anamil üzerindeki eksantrik, gücün aktarılmasında krank gibi görev yapar.

Biri rotor merkezindeki boşluk çevresinde bulunan, diğeri anamil ya da rotor muhafazasına tutturulan faz dişlileri güç iletmez, sadece anamil ile rotor arasındaki doğru ilişkili hareketi garanti etmek için bulunurlar.

Gücü rotordan anamile iletmek için eksantriğe, rotor ile birleşme yerinde bilyalı ya da sade bir yatak yerleştirilmiştir.

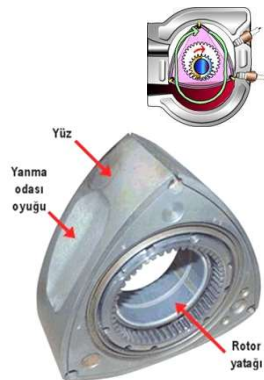


16

Güç fazı...

Bujinin yeri çok önemli değildir ve genellikle rotorun üst orta noktasından hafifçe öne ya da hafifçe arkaya yerleştirilir.

Wankel motorlarında maksimum yanma basıncı 40-50 bar ve sıcaklığı da 2300-2500 K dolayındadır.



17

Egzoz fazı

Rotor muhafazası yüzeyi üzerindeki herhangi bir kanalın üzerinden bir rotor köşesinin geçişi, bir odaya gaz akışını sağlar, ancak kanalı kapatmaz.

Egzoz açıldığında basınç 4-6 bar, sıcaklığı 1750-1950 K kadardır.



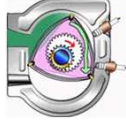
18

Fazların süresi

Çevrimin dört fazının rotorun bir dönüşü ile tamamlandığı dikkate alındığında, her bir faz yaklaşık 90° rotor ve 270° lik anamil dönüşünde gerçekleşmektedir.

3 (anamil dönüşü) $\times 360^\circ / 4$ (faz) = 270° dir.

Dört zamanlı pistonlu bir motorda ise bir çevrim 720° de tamamlandığından, her bir işlem ortalama $720/4=180^\circ$ lik krank dönüşünde gerçekleşmektedir (Supap açılma avans ve kapanma gecikmeleri ile bazı işlemlerin süresi uzatılabilmektedir.).



19

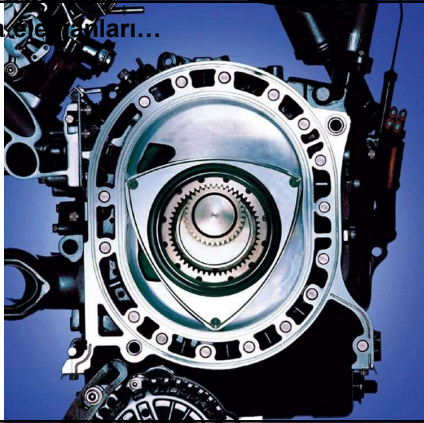
Ana elemanları

- Rotor
- Hazne
- Anamil (eksantrik mil)
- Emme ve egzoz portları



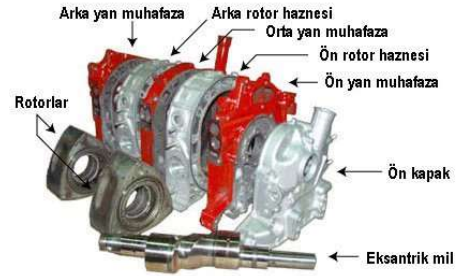
20

Ana elemanları...



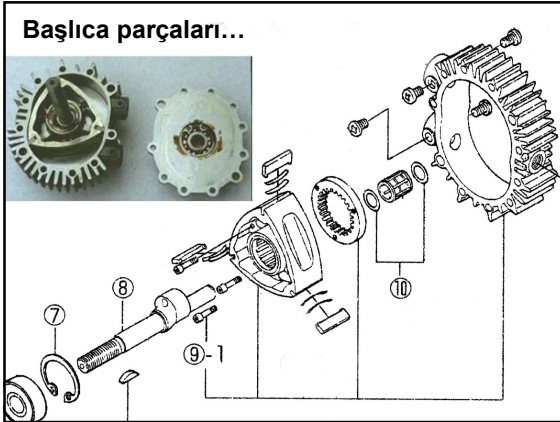
21

Başlıca parçaları

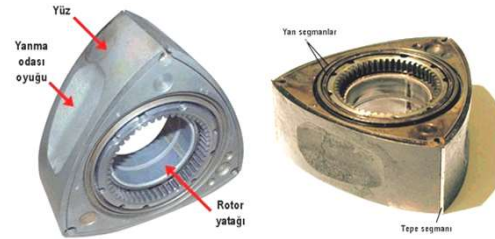


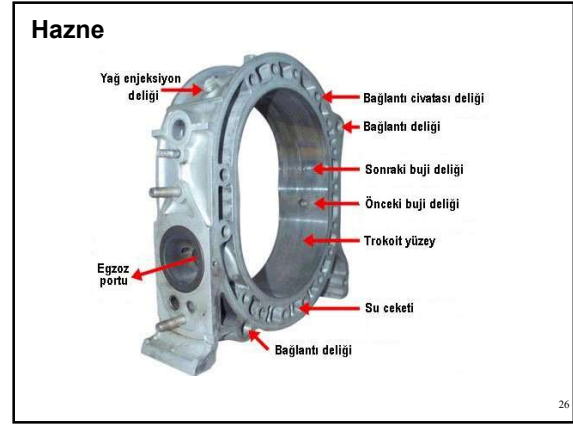
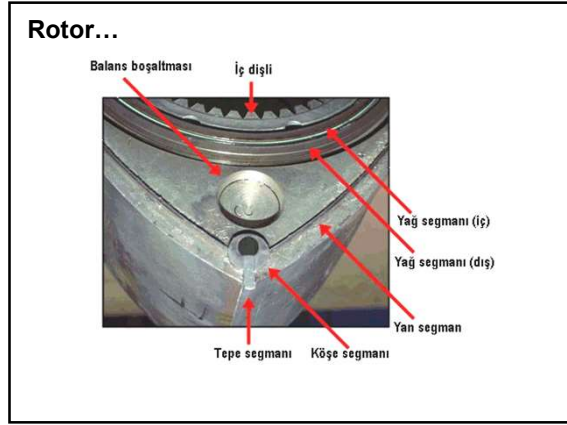
22

Başlıca parçaları...

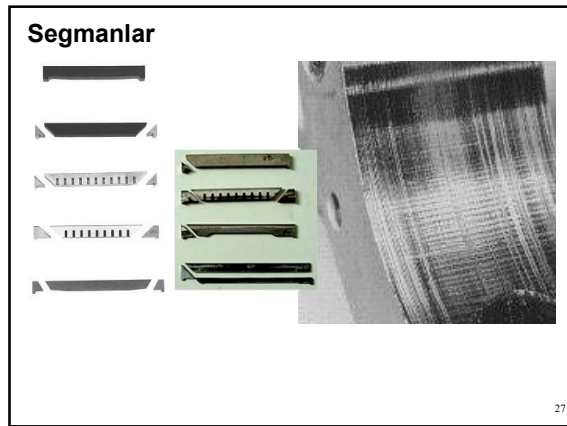


Rotor

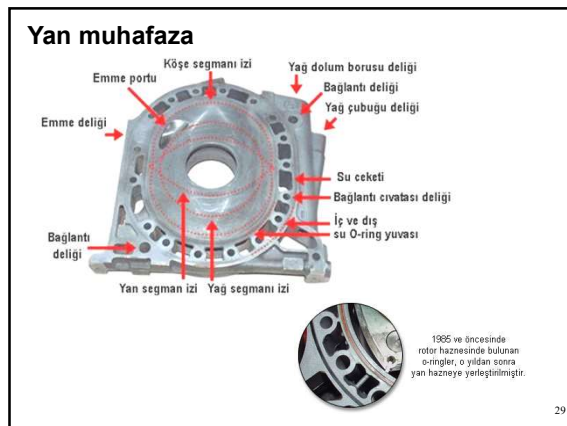
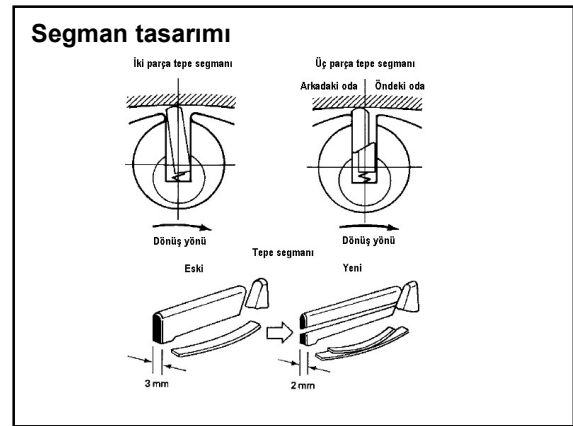




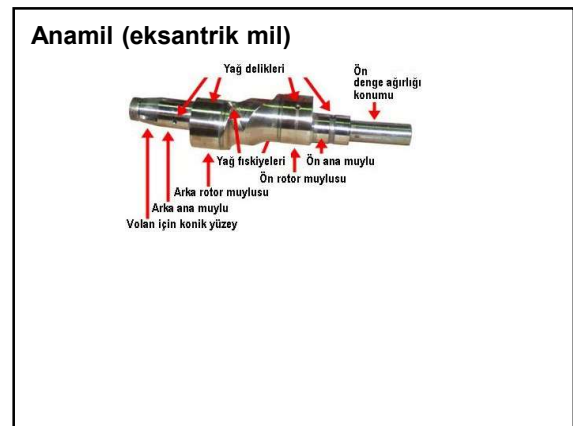
26

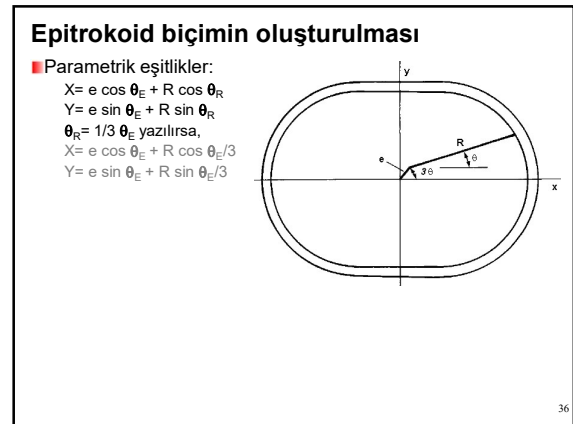
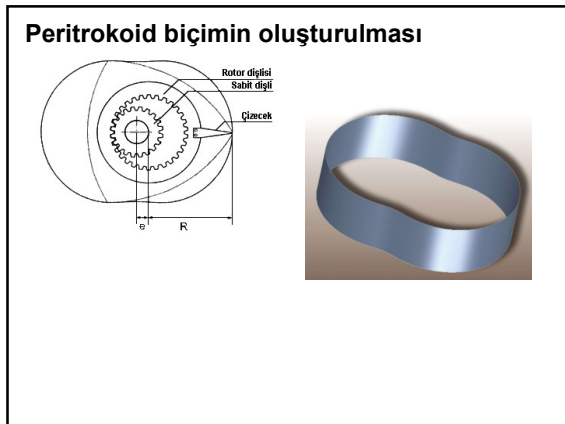
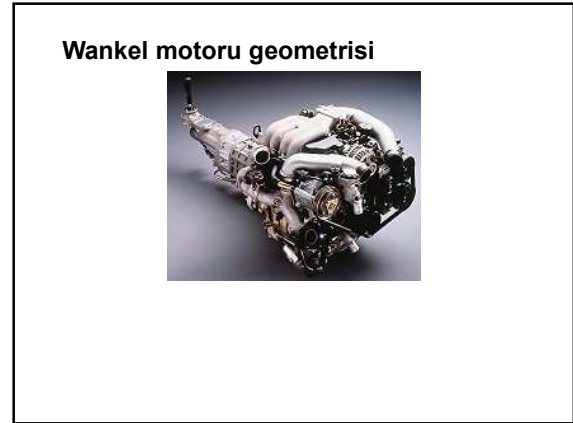
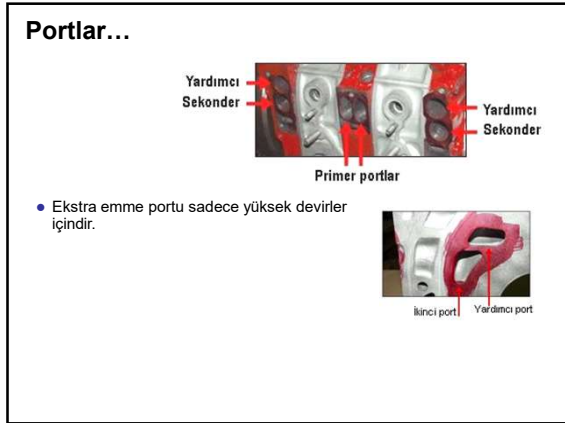
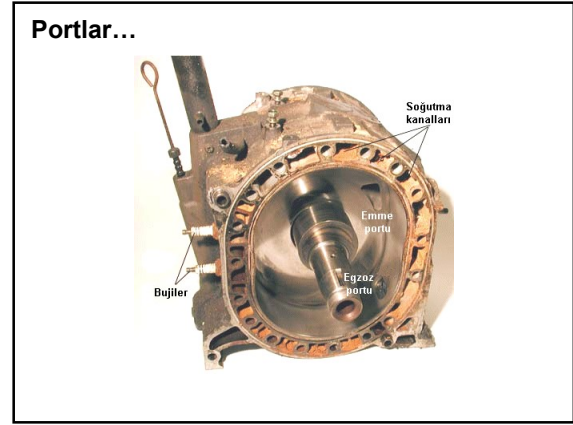
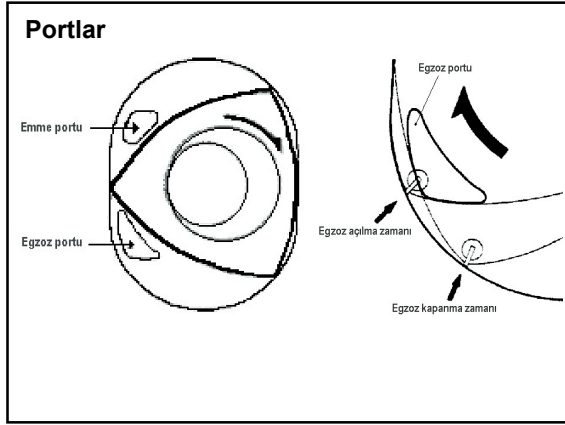


27



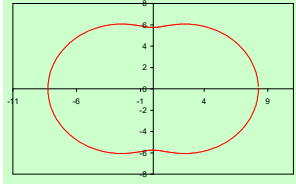
29



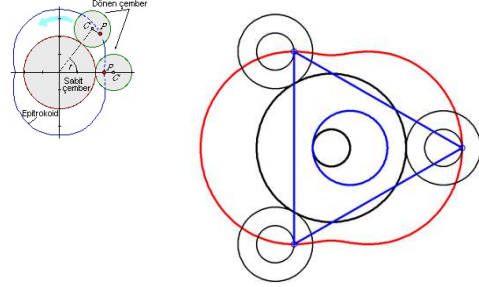


Epitroloid biçimin oluşturulması...

e=2,5 ve R=4,5 için örnek



Epitroloid biçimin oluşturulması...



Motor karakteristikleri

Etkili rotor alanı (iki tepe segmanı arasındaki yüzey alanı):

$$A = 2RB \sin 60 = \sqrt{3}RB$$

A: Rotor alanı, m²

R: Rotor köşelerinin merkez uzaklığı, m

B: Odacık aksel genişliği, m

Bu durumda herhangi bir rotor yüzeyine etkileyen P basıncının oluşturduğu kuvvet;

$$F = \sqrt{3}RBP$$

39

Motor karakteristikleri...

Döndürme momenti hesaplanmadan önce, kuvvetlerin etki ettiği etkili yarıçap R_e 'nin belirlenmesi gerekir.

Şaft dönüşünün ($\theta_E = 3\theta_R$) olduğu motorda başlangıç eksenini olarak küçük eksen seçilirse;

$$R_e = e \sin(3\theta_E - \theta_R)$$

R_e : etkili yarıçap

e: eksantriklik

θ_E : anamit dönüş açısı

θ_R : Rotor dönüş açısı



Motor karakteristikleri...

■ Üç değişken kuvvet (F_1 , F_2 ve F_3) için sırasıyla etkili yarıçap ya da moment kolları (m) tanımlanırsa;

$$m_1 = e \sin 2\theta_R$$

$$m_2 = e \sin(\pi/3 - 2\theta_R)$$

$$m_3 = e \sin(2\pi/3 - 2\theta_R) = e \sin(\pi/3 + 2\theta_R)$$

■ Rotor yüzeyi A'ya etkileyen gaz basınçlarına bağımlı tork;

$$M = A e [F_1 \sin 2\theta_R + F_2 \sin(\pi/3 - 2\theta_R) - F_3 \sin(\pi/3 + 2\theta_R)]$$

■ Bu ifade $2\pi/3$ periyodu ile çevrimseldir ve θ_R 'ye $2\pi/3$ eklenerek;

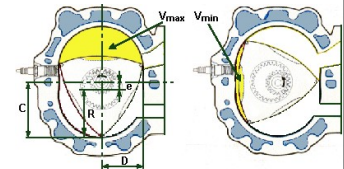
$$M = Ae[F_1 \sin(2\theta_R + 4\pi/3) + F_2 \sin(\pi/3 - 2\theta_R - 4\pi/3) - F_3 \sin(\pi/3 + 2\theta_R + 4\pi/3)]$$

$$M = A e [F_1 \sin(\pi/3 + 2\theta_R) + F_2 \sin 2\theta_R + F_3 \sin(\pi/3 - 2\theta_R)]$$

olur.

41

Motor karakteristikleri...



$$M = A e [F_1 \sin(\pi/3 + 2\theta_R) + F_2 \sin 2\theta_R + F_3 \sin(\pi/3 - 2\theta_R)]$$

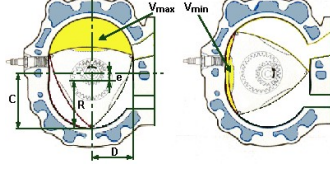
Wankel motorunun bir odacığının süpürme hacmi

$$V_s = V_{\max} - V_{\min}$$

42

Motor karakteristikleri...

Süpürme hacmi, sıkıştırma oranı



$$V_{\max} = \left[(R^2 + 3e^2) \frac{\pi}{3} - \sqrt{3} \frac{R^2}{4} + 3 \frac{\sqrt{3}}{2} eR \right] B - V_r$$

$$V_{\min} = \left[(R^2 + 3e^2) \frac{\pi}{3} - \sqrt{3} \frac{R^2}{4} - 3 \frac{\sqrt{3}}{2} eR \right] B - V_r$$

$$V_r = \frac{B}{3} \left[\pi(R^2 - 2e^2) - 6eR - (2eR + 36 \frac{e^3}{R}) \right] - \frac{\sqrt{3}}{4} R^2 B$$

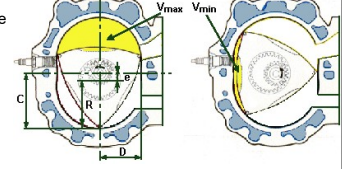
$$V_s = V_{\max} - V_{\min} = 3\sqrt{3}eRB$$

Motor karakteristikleri...

V_s , rotor muhafazasının yarı eksen mesafeleri bilindiğinde de hesaplanabilir.

$$V_s = 1,3 B (C^2 - D^2)$$

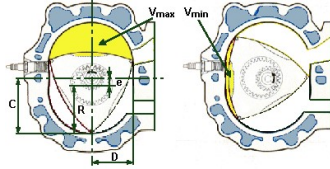
Sıkıştırma oranı:
 $\epsilon = V_{\max} / V_{\min}$



$C = R + e$ Büyük yarı eksen
 $D = R - e$ Küçük yarı eksen

ÖRNEK

$e = 1,4$ cm, $R = 10,2$ cm, $B = 6,7$ cm olduğuna göre, sıkıştırma oranını hesaplayınız.



ÇÖZÜM

$$V_r = \frac{B}{3} \left[\pi(R^2 - 2e^2) - 6eR - (2eR + 36 \frac{e^3}{R}) \right] - \frac{\sqrt{3}}{4} R^2 B$$

$$V_{\max} = \left[(R^2 + 3e^2) \frac{\pi}{3} - \sqrt{3} \frac{R^2}{4} + 3 \frac{\sqrt{3}}{2} eR \right] B - V_r = 524,024 \text{ cm}^3$$

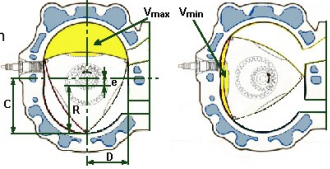
$$V_{\min} = \left[(R^2 + 3e^2) \frac{\pi}{3} - \sqrt{3} \frac{R^2}{4} - 3 \frac{\sqrt{3}}{2} eR \right] B - V_r = 27,653 \text{ cm}^3$$

$$\epsilon = 18,95/1$$

45

Problem

$e = 2$ cm, $R = 15$ cm, $B = 10$ cm olduğuna göre, süpürme hacmini ve sıkıştırma oranını hesaplayınız.



46

Motor karakteristikleri...

Bir rotor tarafından üretilen, bir yüzeyinin yer değiştirme hacmi, ortalama efektif basınç ve devir sayısına bağlı güç:

$$P_e = \frac{P_{me} V_s n}{60}$$

P_{me} : Ortalama efektif basınç, kPa
 V_s : yer değiştirme hacmi, m³
 n : Anamli devri, 1/min

ÖRNEK

Fren ortalama efektif basınç 4000 1/min'de 1034,25 kPa olan toplam 194,84 cm³ süpürme hacimli wankel motorunun gücü kaç kW tır?

ÇÖZÜM

$$P_e = \frac{P_{me} V_s n}{60}$$

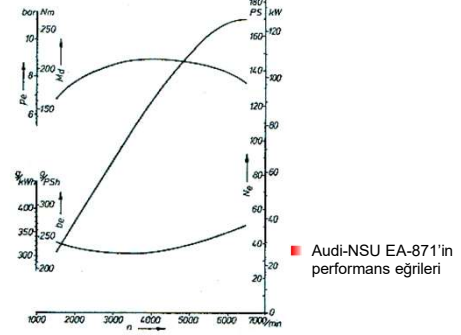
$$P_e = (1034,25) (194,84) 10^{-6} (4000) / 60 = 13,434 \text{ kW}$$

48

Problem

Fren ortalama efektif basıncı 5000 1/min'de 1050 kPa olan, her birinin süpürme hacmi 600 cm³ olan iki rotorlu wankel motorunun gücü kaç kW tır?

Peformans



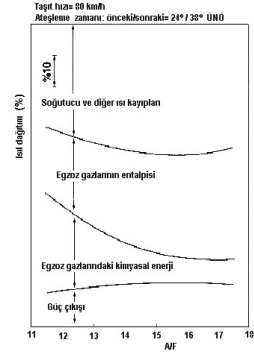
Isı balansı

Wankel motorunun dış ısı balansı yaklaşık olarak aşağıda verildiği gibidir:

Efektif güce dönüşen ısı:	% 21-28
Soğutmaya :	% 15-25
Egzoza :	% 25-45
Tam olmayan yanmaya:	% 0-30
Diğer :	% 4-9

Peformans

Mazda RE'nin ısı balansı



Karşılaştırma

Avantajları:

- Tasarım basitliği, daha az parça ve maliyet
- Salınım yapan parçaların yerini dönen parçalar aldığından, titreşimsiz ve sessiz çalışma (balans kolaylığı)
- Sadece iki dönen parça (rotor ve anamfil) nedeni ile daha az sürtünme kaybı (yüksek hız ve güce olanak sağlar)
- Gazların geçit kesitlerinin daha geniş yapılabilmeleri nedeni ile daha yüksek hacimsel verim
- Vuruntuya daha az bağımlılık (daha düşük oktan sayısı ihtiyacı)
- Yüksek güç/hacim, güç/ağırlık oranları
- Daha çabuk ısınma (Bir rotor devrinde üç yanma)
- Egzozdaki NO_x emisyonları düşük

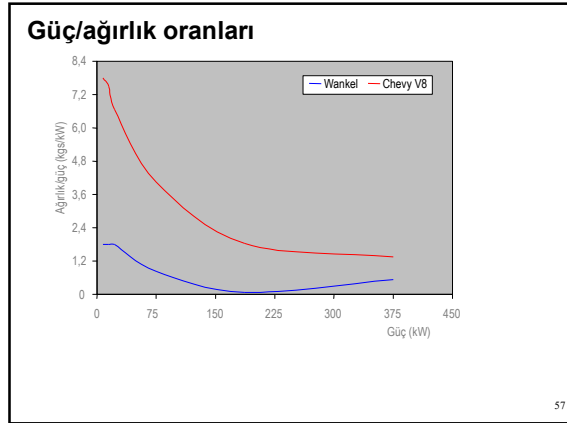
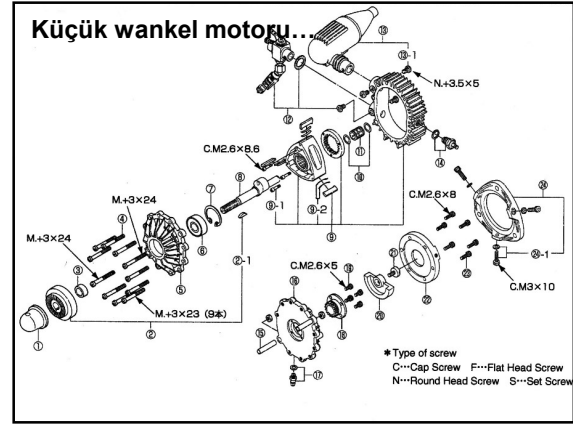
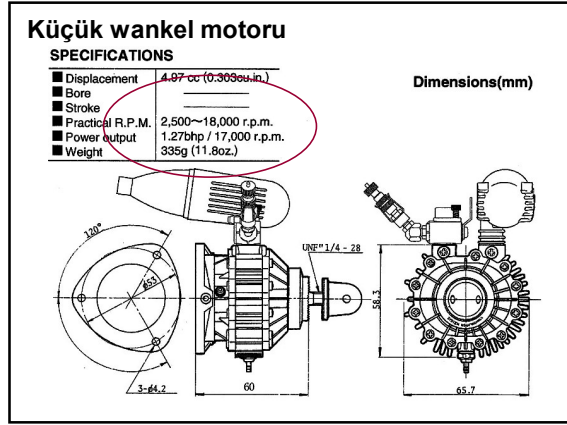


İki rotorlu wankel motoru, Dört silindirli pistonlu motor

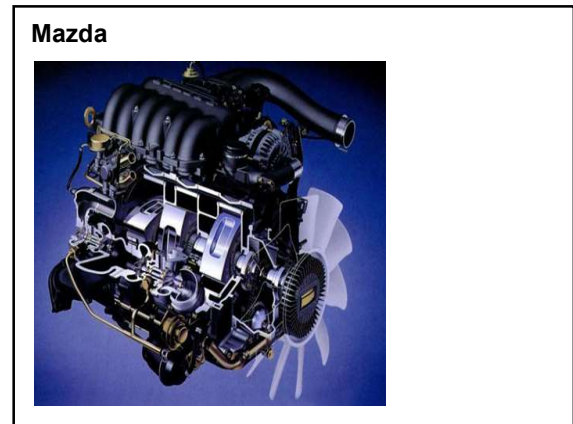
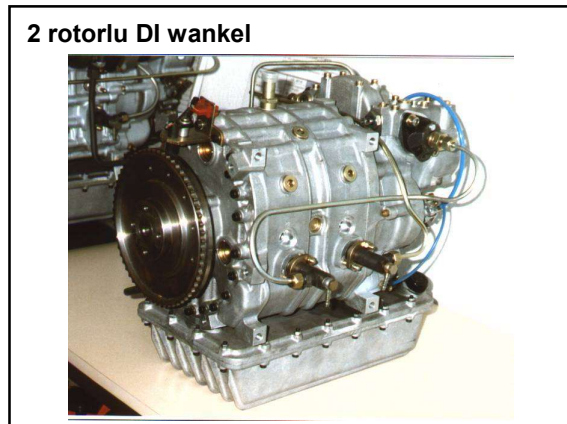


Wankel, karşılaştırılabilir pistonlu motorlara oranla % 40 daha az parça ve kabaca 1/3 daha az ağırlığa sahiptir.

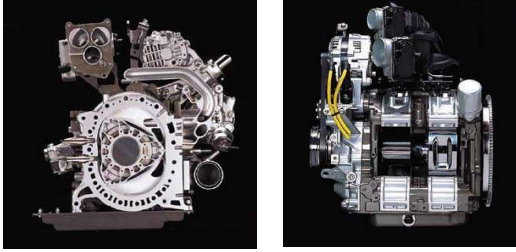




- ### Karşılaştırma...
- Dezavantajları:**
- Odacıklar arasındaki güvenli yalıtım güçlüğü (düşük sıkıştırma oranı)
 - Yanma odası yüzey/hacim oranı yüksek
 - Özgül yakıt tüketimleri fazla (düşük devirlerde düşük tork problemi)
 - Pistonlu motorlardan daha pahalı
 - Çalışma ömürleri kısa
 - Egzozdaki HC CO emisyonları fazla
- 58



Mazda...



Mazda...

Rx-2



Rx-7



Rx-5



Rx-8



Mazda...



RX-8 (Renesys) geliřtirmeleri:

- Emme ve egzoz portlarının rotor haznesinden ayrı yan hazneye yerleştirilmesi
- Bindirmenin azaltılması, port boyutunun artırılması
- 3 portlu, 3 ařamalı değişken emme sistemi
- İki rotorlu, normal emiřli, 250 hp



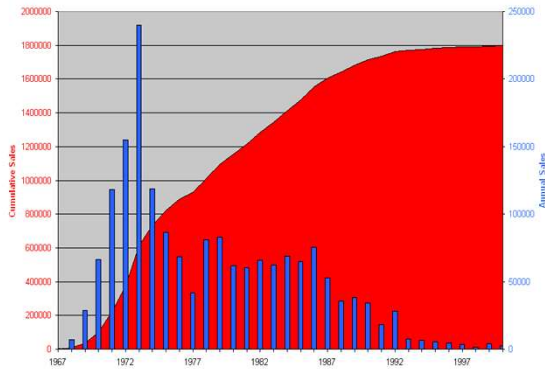
Mazda...

Model	RX-8 (Standard)	RX-8 (High Power)	-
Layout	Front-engined, Rwd	Front-engined, Rwd	-
L / W / H / WB (mm)	4435 / 1770 / 1340 / 2700	4435 / 1770 / 1340 / 2700	-
Engine	Twin-rotors	Twin-rotors, var intake.	-
Capacity	2 x 654 cc	2 x 654 cc	-
Power	210 hp (JIS) 207 hp (SAE) 192 hp (DIN)	250 hp (JIS) 247 hp (SAE) 240 hp (DIN)	-
Torque	164 lbft (JIS / SAE) ? lbft (DIN)	159 lbft (JIS / SAE) 156 lbft (DIN)	-
Transmission	5M	6M	-
Suspension (F/R)	double-wishbone / multi-link	double-wishbone / multi-link	-
Tyres (F/R)	All: 225/55 VR16	All: 225/45 ZR18	-
Weight	1300 kg	1300 kg	-
Top speed	140 mph (est)	150 mph (est)	-
0-60 mph	7.5 (est)	5.9 sec* / 5.9 sec**	-
0-100 mph	N/A	15.8 sec* / 15.9 sec**	-

64

Mazda...

Mazda Wankel "rotary" sales



SON