

Tarihçe

- 1885 ve 1896'da Gottlieb Daimler ve Rudolf Diesel emme havasını önceden sıkıştırma konusunda deneyler yaptı.
- 1902 yılında Louis Renault "Bir fan veya kompresörle içten yanmalı motor silindirin giren gazların basıncının artırılması ..." aygıtının patentini aldı.
- 1905'te İsviçre'li mühendis Albert Büchi "Egzoz gazları tarafından döndürülen santrifüj kompresör ve türbin" patentini aldı. 1925'te gücü % 40 kadar artıran ilk egzoz türboşarjörünü yaptı.

Tarihçe...

- 1938 yılında "Swiss Machine Works Sauer" tarafından ilk ticari Diesel kamyon uygulaması yapıldı.
- 1962 türboşarjörlerin binek otomobiller için ilk üretim uygulaması: Chevrolet Monza Corvair ve Oldsmobile Jetfire

Tarihçe...

- 1970'ler – ilk petrol krizleri ve giderek sıkılaştıran hava emisyon standartları, daha yüksek güç yoğunluğu ve daha fazla hava kullanımını gündeme getirdi. Sonuç -> hemen hemen tüm ticari taşıt motorları türboşarjlı hale geldi.
- 1978 yılında Mercedes-Benz 300 SD modeliyle ilk türboşarjlı Diesel binek otomobili üretti. Onu 1981'de VW Golf Turbodiesel izledi.
- 1994 yılında VW, TDI Diesel motorunda değişken geometri turbo uygulamasıyla Diesel motorunun yük değişim cevabını önemli ölçüde geliştirdi.

Tarihçe...

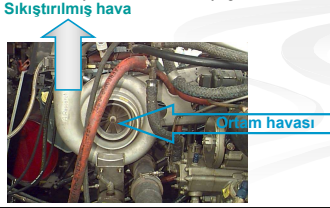
Porsche'un değişken türbin geometrisi

Teori

Güç temel olarak üç faktörün etkisindedir:

1. Hava yoğunluğu → sıkıştırma
2. Süpürme hacmi
3. Motor hızı

- Silindire her çevrimde alınan dolgu miktarının artırılması, daha fazla yakıtın yakılmasına izin vererek, pratik anlamda motordan daha fazla güç alınmasını sağlamaktadır. Yüksek hacimsel verim $\eta_v > 1$
- Güç artışı motordaki dayanım, sıcaklık ve yağlama sınırları ile sınırlıdır.



Aşırı doldurma (Süperşarj)

- "Zorlanmış hava" sistemleri
- Daha fazla hava ⇒ daha fazla yakıt ⇒ aynı süpürme hacminden daha fazla güç



Türboşarj



Süperşarj (mekanik)

Aşırı doldurma (Süperşarj)

- Aşırı doldurma, güç artışı için yanma odasındaki basıncı artırır.
- Basıncın artması, motorun termik ve mekanik gerilimlerinin de artmasına neden olmaktadır.
- Aşırı doldurma, motorun küçültülmesine ve hafifletilmesine imkan verir. Yüksek özgül güç (güç/ağırlık) ve (güç/hacim).
- Aşırı doldurma, pratik olarak diesellere uygundur. Çünkü gerekli olan yakıt kalitesine bir etkide bulunmaz ve diesel motorları havayı buji ile ateşlemeli motorlar kadar etkili kullanamazlar.



Niçin fazla basınç?

$$\dot{m}_a = \rho_a \dot{V}$$

$$\dot{m}_a = \eta_{vol} \rho_a V_H n$$

$$P = \eta_f H_u \dot{m}_f$$

$$P = \frac{\eta_{vol} \rho_a V_H n \eta_f H_u}{2} \left(\frac{1}{A/F} \right)$$

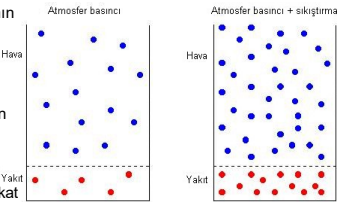
- \dot{m}_a : hava debisi
- ρ_a : hava yoğunluğu
- \dot{V} : hacimsel debi
- η_{vol} : hacimsel verim
- V_H : strok hacmi
- n : motor hızı
- P : güç
- H_u : yakıtın alt ısı değeri
- \dot{m}_f : yakıt debisi

10

Aşırı doldurma (Süperşarj)...

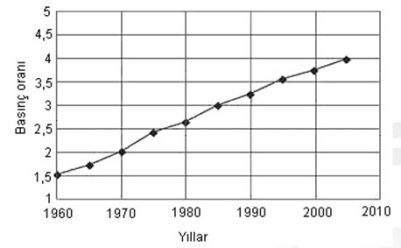
- Havayı artırmak için basınç artırılmalıdır.
- Standard atmosfer basıncı: 101.3 kPa
- Tipik türbo/süperşarjör sistemi atmosfer basıncındaki havanın basıncını 40 - 55 kPa kadar artırır.
- Yükseklik arttıkça havanın yoğunluğu ve basıncı azalır.
- 6000 m'de deniz seviyesine göre ½ hava
- Yükseklik arttıkça oksijen azalır.

NOT: Yükseklik arttıkça sıcaklık ve egzoz geri basıncı da azalmakta fakat yoğunluk ve basınçtaki azalmayı denkleştirmeye yetmemektedir.



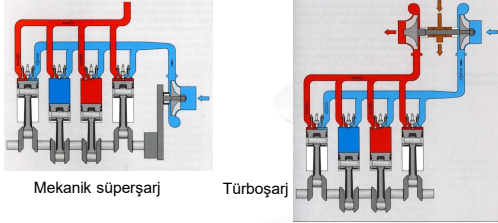
Aşırı doldurma (Süperşarj)...

Basınç oranının yıllara göre artışı



Süperşarj ve türboşarj

- Süperşarjörler, motordan direkt hareket alabildikleri gibi, bir egzoz türbini ile de döndürülebilirler.
- "Süperşarjör" terimi daha çok mekanik süperşarjörler için kullanılır.
- Egzoz türbini ile döndürülen süperşarjörlere "türboşarjör" denir.



Süperşarj...

Süperşarjörün döndürülmesi

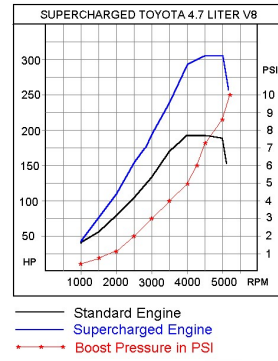


Süperşarj...

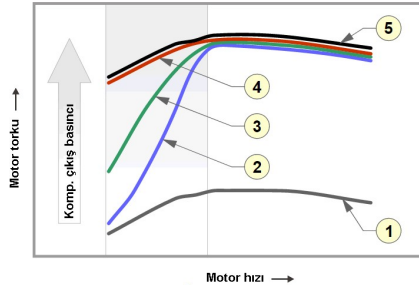
Supercharged Toyota Landcruiser 4.7 Liter V8



Süperşarj...



Süperşarj...



Küçültülmüş motorlarda düşük hız torkunu artırmada türboşarjör yardımcı

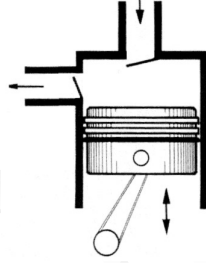
Süperşarj...

Kompresörler genel olarak iki tiptir:

- Pozitif yer değiştirmeli kompresörler (ör. roots blowerler) (Değişik hızlarda yüksek tork istenen motorlara uygundur. Çünkü bu tipte, basınç ve kapasite karakteristikleri hızla birlikte pek değişmez.)
- Dinamik (ör. santrifüj) kompresörler (Küçük boyutlu, hafif ve yüksek kapasiteli olduklarından, daha çok havacılıkta ve otomotiv alanında kullanılırlar.)

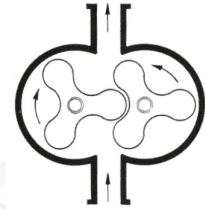
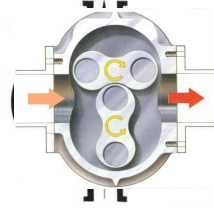
Pozitif yer değiştirmeli kompresörler

- Genellikle krankın döndürdüęü pistonlu kompresör
- Hava yüksek mekanik kayıplarla akar.
- Düşük devirlerde kullanılabilir.



Pozitif yer değiştirmeli kompresörler...

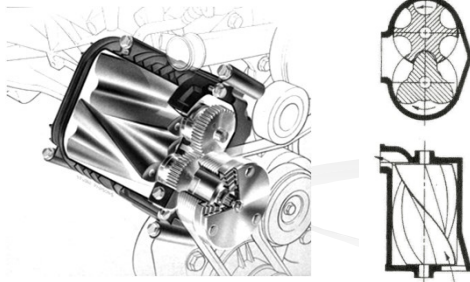
- Düşük hız veya yüksek basınç
- Anında cevap için uygundur.
- "Drag yarışçı"larda kullanılır.
- Ara soğutma (intercooler) olabilir veya olmayabilir.
- En popüler olanı roots tipidir.



Pozitif yer değiştirmeli (roots blower)

20

Pozitif yer değiştirmeli kompresörler...



Seyir verimini artırmak üzere manyetik kavrama kullanılan Eaton vida tipi kompresör

Çift vidalı Lysholm kompresör

Eaton Type "Blower"

Holley **6-71 & 8-71 STREET BLOWERS**

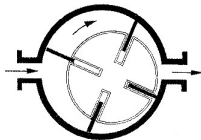
SB-Chevy
Producing 420 cubic inches of air displacement per revolution, the 420 Megablower will provide more boost than needed to turn your super small block into a mighty mouse. Designed to mount 2x4 carburetors. Separate mounting plate is not required.

BB-Chevy
The big block version is capable of 800 horsepower. With a beautiful polished finish his supercharger is full of show and a whole lot more go.

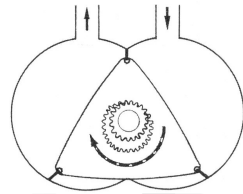
Note: 420 Megablower setup will not work with a long water pump. Out of the box, the kit will clear one V-belt. Additional kits are available to clear two or three V-belts.

10-77-420CSBK	SB-Chevy/Polished	\$2479.99
10-77-420CBPK	BB-Chevy/Polished	\$2769.99
10-94021	3 V-Belt Adapter	\$119.99

Pozitif yer değiştirmeli kompresörler...



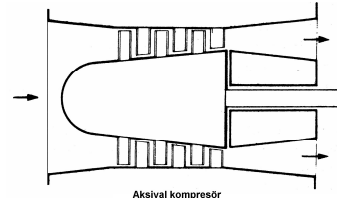
Dönel paletli kompresör



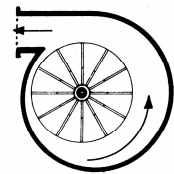
İlk kez süperşarjör olarak kullanılan wankel tipi dönel pompa

Dinamik kompresörler

- Yüksek hızlar gereklidir –santrifüj kuvvet gibi dinamik etkiler hızın karesiyle değişir.
- Aksiyal kompresör süperşarjörler için pratik deęildir.
 - Yüksek hızlarda daha verimlidir.
 - Genellikle uçaklarda kullanılır.



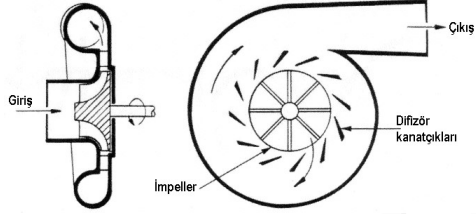
Aksiyal kompresör



Santrifüj kompresör

Santrifüj kompresörler

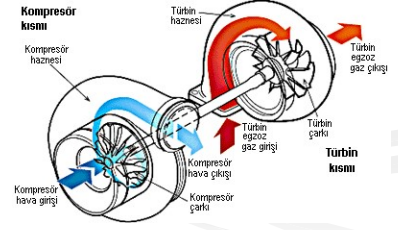
- Verim hızla lineal olmayan biçimde artar.
- Santrifüj kompresörlerin en popüler olanı "Paxton" dur.



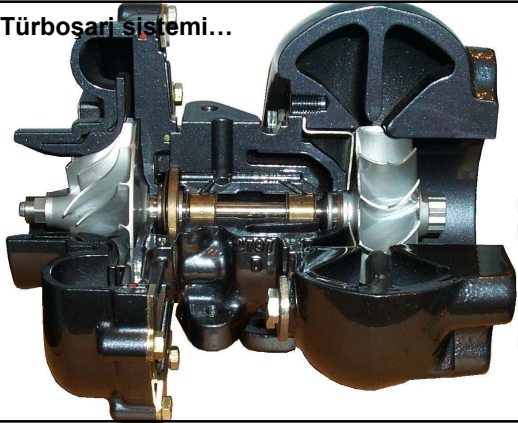
Türboşarj sistemi

Sistemin temel elemanları:

- Egzoz manifoldu
- Emme manifoldu
- Türboşarjör
- Türbin
- Ara mil
- Kompresör

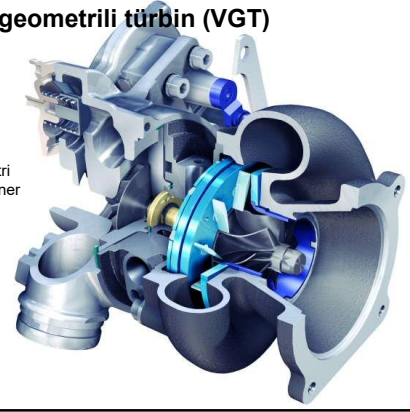


Türboşarj sistemi...



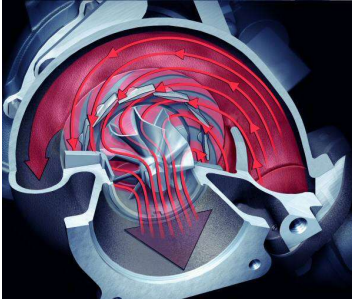
Değişken geometri tırbin (VGT)

Değişken geometri tırbinli Borg-Warner türboşarjör



Değişken geometri tırbin...

Düşük egzoz akış pozisyonu

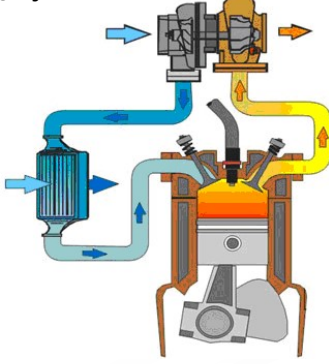


Değişken geometri tırbin...

Yüksek egzoz akış pozisyonu

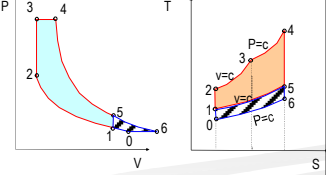


Türboşarj sistemi...



Pulse tipi türboşarjörülü çevrim

Pulse tipi türboşarjörülü çevrim, karma çevrimdeki genişleme işleminin 5 noktasında bitirilmeyerek, egzoz türbininde 6 noktasına kadar sürdürülmesi, 6 ile 0 noktaları arasında sabit basınçta ısı atılması ve 0 ile 1 arasında da türboşarjörün kompresöründe izentropik sıkıştırılması ek işlemlerinden meydana gelmektedir.



Pulse tipi türboşarjörülü çevrim...

Toplam hacimsel sıkıştırma oranı

$$\epsilon_{\text{tot}} = \frac{V_0}{V_2} = \epsilon_c \cdot \epsilon_{\text{karma}}$$

$$\epsilon_c = \beta_c^{1/k}$$

Sabit hacimde sisteme verilen ısı;

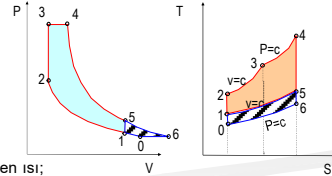
$${}_2q_3 = u_3 - u_2 = C_v(T_3 - T_2)$$

Sabit hacimde basınç artışı oranı

$$\lambda = \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

Sabit basınçta sisteme verilen ısı;

$${}_3q_4 = h_4 - h_3 = C_p(T_4 - T_3)$$



Pulse tipi türboşarjörülü çevrim...

Buna göre, sisteme verilen ısı;

$$q_s = {}_2q_3 + {}_3q_4 = (u_3 - u_2) + (h_4 - h_3) = C_v(T_3 - T_2) + C_p(T_4 - T_3)$$

Sabit basınçta genişleme (ön genişleme) oranı

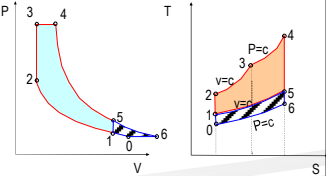
$$\rho = \frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3}$$

Sabit basınçta sistemden atılan ısı;

$$-q_R = {}_6q_0 = (h_6 - h_0) = C_p(T_6 - T_0)$$

Isıl verim

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_R|}{q_s} = 1 - \frac{C_p(T_6 - T_0)}{C_v(T_3 - T_2) + C_p(T_4 - T_3)}$$



Pulse tipi türboşarjörülü çevrim...

Isıl verim (devamı)

$$\eta_t = 1 - \frac{C_p(T_6 - T_0)}{C_v(T_3 - T_2) + C_p(T_4 - T_3)}$$

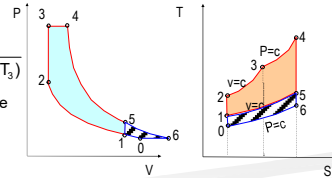
Pay ve payda C_p ye bölünürse

$$= 1 - \frac{(T_6 - T_0)}{\frac{1}{k}(T_3 - T_2) + (T_4 - T_3)}$$

T_0/T_2 parantezine alınır

$$\eta_t = 1 - \frac{T_0}{T_2} \left(\frac{\frac{T_6}{T_0} - 1}{\frac{1}{k} \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right) + \left(\frac{T_4}{T_2} - \frac{T_3}{T_2} \right)} \right)$$

$$\frac{T_0}{T_2} = \frac{1}{\epsilon_{\text{tot}}^{k-1}}$$



Pulse tipi türboşarjörülü çevrim...

Isıl verim (devamı)

$(s_3 - s_2) + (s_4 - s_3) = s_6 - s_0$ entropi eşitliğinden

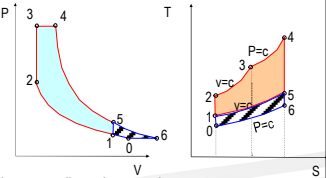
$$C_p \ln \frac{T_6}{T_0} = C_v \ln \frac{T_3}{T_2} + C_p \ln \frac{T_4}{T_3}$$

Eşitliğin her iki tarafı C_p 'ye bölünür, antilogaritması alınır

$$\frac{T_6}{T_0} = \left(\frac{T_3}{T_2} \right)^{1/k} \cdot \left(\frac{T_4}{T_3} \right) = \lambda^{1/k} \rho$$

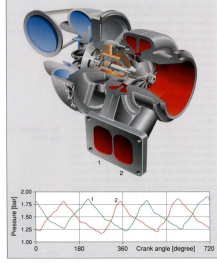
Böylece ısı verim

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon_{\text{tot}}^{k-1}} \left[\frac{\rho \lambda^{1/k} - 1}{\frac{1}{k}(\lambda - 1) + \lambda(\rho - 1)} \right]$$



Pulse tipi türboşarjörlü çevrim...

- Pulse tipi türboşarjörlerde egzoz bonuları birbirinden ayırarak egzoz olaylarının birbirine karışmaması sağlanmaktadır.



Pulse tipi türboşarjörlü çevrim...

Çoğu dört zamalı motorlarda kullanılan büyük pulse tipi türboşarjör sistemlerinde, oluşan titreşimleri sönmölemek üzere, türbin kanatçıkları arasında bağlama teli kullanılmaktadır.



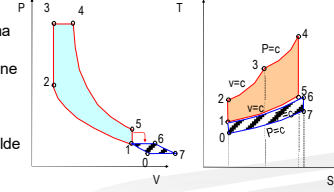
Problem 1

Çalışma maddesi ideal hava olan bir motor, karma çevrime göre çalışmakta ve çevrim hakkında aşağıdaki değerler bilinmektedir:

- Sıkıştırma başlangıcındaki basınç $P_1 = 1$ bar
- Sıkıştırma başlangıcındaki sıcaklık $t_1 = 27$ °C
- Sıkıştırma oranı $\epsilon = 18/1$
- Sabit basınçta verilen ısı, sisteme verilen toplam ısıнын 1/2'si
- Maksimum çevrim basıncı $P_{max} = 90$ bar
- (Hava için $C_p = 1,004$ kJ/kgK, $k = 1,4$ 'tür. Hesaplamalar 1 kg çalışma maddesi için yapılacaktır.)
- Çevrimin P-v ve T-s diyagramlarını çiziniz.
- Isıl verimi hesaplayınız.
- Motorun basınç oranı 2 olan pulse tipi bir türboşarjör eklenirse verim ne kadar artar?

Sabit basınç tipi türboşarjörlü çevrim

- Sabit basınç tipi türboşarjörlü çevrim, karma çevrimdeki sıkıştırma işleminin 1 noktası öncesine 0-1-6-7-0 işlemlerinden oluşan bir brayton (sabit basınç gaz türbini) çevriminin eklenmesiyle elde edilmektedir.



Sabit basınç tipi türboşarjörlü çevrim...

Toplam hacimsel sıkıştırma oranı

$$\epsilon_{tot} = \frac{V_0}{V_2} = \epsilon_c \cdot \epsilon_{karma}$$

$$\epsilon_c = \beta_c^{1/k}$$

Genel ısı verim eşitliği

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_R|}{q_s}$$

karma çevrim için

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon_c^{k-1}} \left[\frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} \right]$$

eşitliklerinin sağdaki ikinci terimleri eşitlenirse;

$$q_R = q_s \left[\frac{1}{\epsilon_c^{k-1}} \left(\frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} \right) \right]$$

Sabit basınç tipi türboşarjörlü çevrim...

Türboşarjör için de (Brayton çevrimi)

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_{Rt}|}{q_{st}}$$

Türboşarjör çevrimi için (Brayton çev.)

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\epsilon_c^{k-1}}$$

sağdaki ikinci terimler eşitlenirse;

$$q_{Rt} = q_{st} \left[\frac{1}{\epsilon_c^{k-1}} \right]$$

Sabit basınç tipi türboşarjörülü çevrim...

$q_{s1} = q_{Rkarma}$ olduğundan, yerine yazılırsa

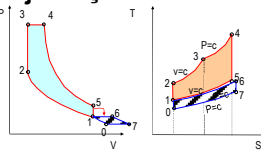
$$q_{R1} = q_s \left[\frac{1}{\varepsilon_c^{k-1}} \right] \left[\frac{1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} \right]$$

Isıl verim

$$\eta_i = 1 - \frac{|q_{R1}|}{q_s}$$

olduğundan, $q_{R1} = q_R$ olarak yerine yazılırsa, q_s ler birbirini götürür ve

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\varepsilon_{tot}^{k-1}} \left[\frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} \right]$$



Problem 2

- 1. problemdeki motora basınç oranı 2 olan sabit basınç tipi bir türboşarjör eklenirse verim ne kadar artar?

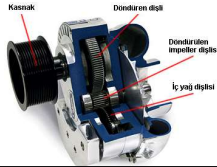
Karşılaştırma

Süperşarjör

- Krank tarafından döndürülür.
- Basınç hızla oransal
- Krankın 1-3 katı hızlarda döner.
- Mükemmel düşük hız davranışı
- Yüksek hızlarda verimi azalır.
- Sistemi mekanik olarak güçsüzeleştirir.
- Anında cevap
- Pozitif yer değiştirmeli kompresörü (genellikle)
- Daha iyi verim için manyetik kavrama ile kapatılabilir.
- Montajı kolaydır.
- Egzoz gazı yönlendirmesi yoktur.

Türboşarjör

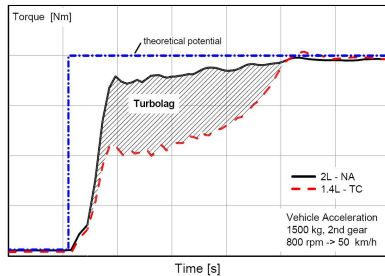
- Kompresöre doğrudan bağlı türbin, egzozun enerjisi ile güçlendirilir. Enerji verimlidir, mekanik güç tüketimi yok, sadece bir miktar egzoz geri basıncı var.
- Basınç motor hızıyla oransal değil
- 10.000-200.000 1/min hızlarda döner.
- Momentum artışına bağımlı türbo gecikmesi (egzoz akımının az olduğu düşük devirlerde türbin dönmeyiz) olur.
- Dinamik yer değiştirmeli
- Seyir sırasında kapatmak gereksiz.
- Yerleştirme opsiyonları vardır.
- Yükseklerde yararlıdır.
- Yükseklerde normal emişli motorlar daha az hava alır ve güç düşer (güç her 300 m yükseklikte % 3 kadar düşer).
- Türbonun seyrek havayı pompalaması daha kolaydır ve çıkış basıncı da daha düşüktür.
- Fazla tesisat gerekir.



Türbo ile problemler

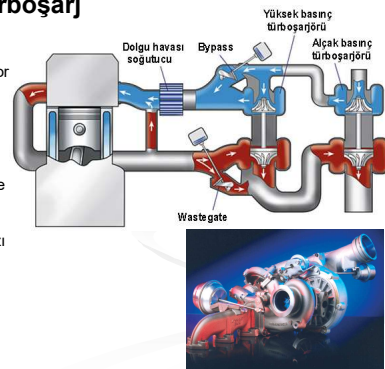
- Türbin egzoz akışını kısıtlar.
- Aşırı basınç: Havanın sıkıştırılması sıcaklığını artırır ve buji ile ateşlemeli motorlarda vuruntuya sebep olur (daha yüksek oktanlı yakıt kullanımı gerekir).
- Türbo gecikmesi (lag): Türbinin hızlanması zaman aldığından taşıtı hızlandırması gecikir fakat daha sonra atak yapar (iki türboşarjörli motorlar).
 - Gecikme hafif parçalar, rulman yataklar veya ardışık türbolarla azaltılabilir.
- Fiyat (benzer normal emişli motora kıyasla)
 - fakat! benzer güçlü bir motorla karşılaştırıldığında, fiyat aynı veya daha az olabilir.

Türbo gecikmesi (lag)



2-kademe türboşarj

- Egzoz kütle akışının düşük olduğu düşük motor hızlarında bypass tam kapalı kalır ve tüm egzoz gazları HP türbininde genişletilir. Bu sayede çok hızlı ve yüksek boost basınç artışı sağlanır. Motor hızı arttıkça bypassın kesit alanı sürekli artırılarak genişletme LP türbinine kaydırılır.



İki türbo

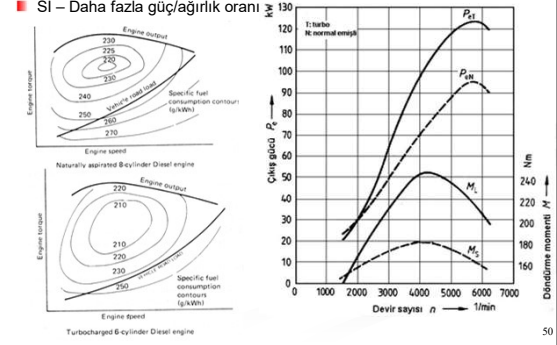
Ford 351 Windsor twin turbochargers



Türboşarjörler – güç ve verim

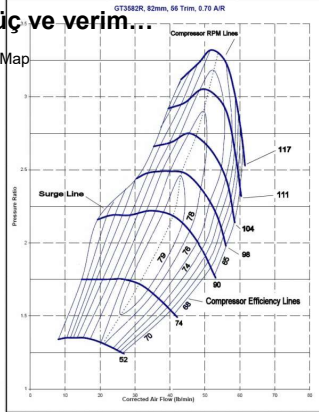
■ Diesel daha verimli

■ SI – Daha fazla güç/ağırlık oranı



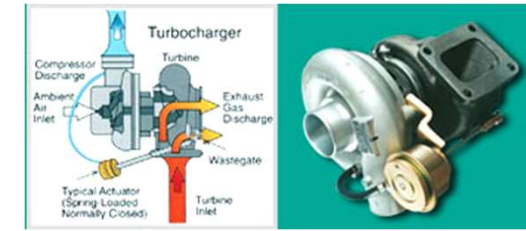
Türboşarjörler –güç ve verim...

Garrett GT3582R Compressor Map



Türboşarjörler...

■ Fazlalık çıkışı (wastegate): Bir miktar egzoz gazını türbine girmeden sızdırarak, kompresör çıkışındaki basıncın çok yükselmesini önleyen valf



Türboşarjörler...

■ Fazlalık çıkış (wastegate) valfi



Türboşarjörler...

■ Akış azaltma (blow off) valfi (BOV)

■ Gaz kısıldığında emme basıncını düşürür. Emme tarafı wastegate gibidir.



Bypass veya yönlendirme (diverter) valfi

- Basıncılı havayı tekrar kompresörün girişine göndererek net hava akışının sabit kalmasını ve türbinin daha yavaş biçimde yavaşlamasını ve hava akış sensörünün uygun biçimde çalışmasını sağlar.



Türboşarjörler...

- **Akışkan yatak:** Kompresör milini ince bir yağ filmiyle destekler, mili serin tutar ve sürtünmeyi azaltır.
- **Garrett Bearing Cartridge** Garrett uses an integrated dual ball bearing cartridge (**Figure**) which contains an angular-contact ball bearing at each end, providing a huge bi-directional thrust capacity, and which adds bending stiffness to the shaft system, helping to prevent critical speed issues.



Türboşarjörler...

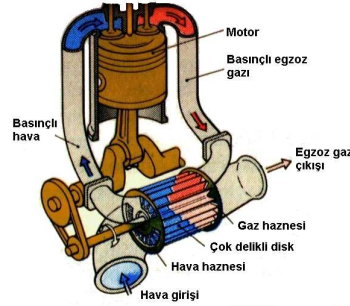
Türboşarjörlerin imalinde kullanılan bazı süper alaşımların kimyası

Chemistry of Certain Superalloys
Nominal Percentages of Alloying Elements

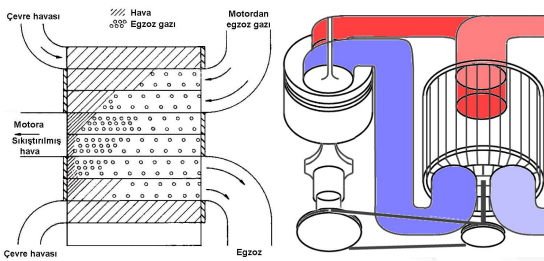
Material	Ni	Co	W	Cr	Al	Mo	Ti	C	Fe	Mn	Si	B	Nb	Hf	Zr
AMS 5844 (MP35N)	34.0	33.0		20.0	9.8	1.0	0.03	1.0	0.2	0.2	0.1				
CustomAge 625+	61.0			21.0	0.35	8.0	1.3	0.03	5.0	0.2	0.2		3.4		
Inconel 713LC	76.0			9.3	6.5	4.7	0.8	0.1					2.1	0.1	
Mar-M-247	61.0	9.2	9.5	8.2	5.6	0.6	1.0	0.07	0.10	0.25	0.015		1.5		

Al = Aluminium Cr = Chromium Mo = Molybdenum Ta = Tantalum
B = Boron Fe = Iron Nb = Niobium Ti = Titanum GREEN numbers
C = Carbon Hf = Hafnium Ni = Nickel W = Tungsten are max values
Co = Cobalt Mn = Manganese Si = Silicon Zr = Zirconium

Comprex şarjör



Comprex şarjör

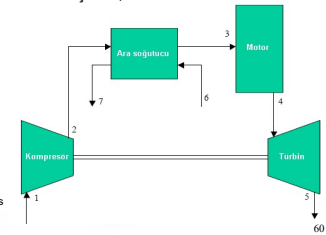


Ara soğutucu (intercooler)

- Kompresörde sıkıştırılan ve ısınan hava soğutulursa, sıcaklık ve basıncı azalır, yoğunluğu artar.
- İntercooler güç artışı sağlar, egzozu serinletir ve motor soğutma sistemindeki gerilimi azaltır.
- Sürtünmeye bağımlı basınç kayıpları olabilir.
- İyi bir intercooler ile 35-40°C sıcaklık düşmesi, %5-%10 güç artışı olabilir.

Durum	Ara soğutmaz		Ara soğutmalı	
	T (K)	P (kPa)	T (K)	P (kPa)
1	300	101	300	101
2	401	233	372	186
3	401	233	314	186
4	900	223	900	188
5	801	127	833	127
6	-	-	300	101
7	-	-	380	101
		W _c	40 kW	29 kW

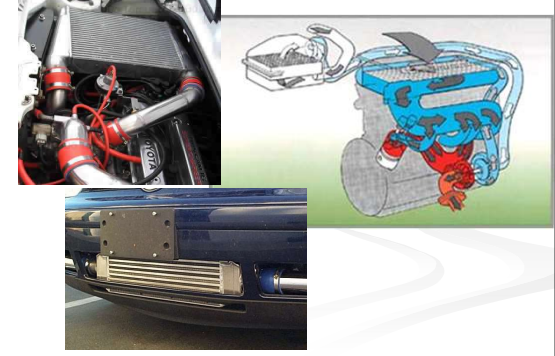
Ara soğutucu
m su 0,097 kg/s
m hava 0,404 kg/s



Ara soğutucu (intercooler)...



Ara soğutucu (intercooler)



Daha da fazla güç

- Seramik türbinler: egzoz akışının zayıf olduğu düşük devirlerde çabuk hızlanır.
- Ardışıklık: Düşük devirlerde küçük turboşarjör kullanılır, büyük turboşarjör yüksek hızlardaki maksimum hava tüketiminde devreye girer.

Kullanım alanları



Otomobillerde



Subaru Impreza WRX STI IV
Engine: 2.0 Litre 4 Cylinder Fuel Injected Turbo Charged & Intercooled
Max Power: 300 BHP Max Speed : 150 mph
Acceleration: 0-60: 4.6 Sec, 0-100: 12.3 Sec, 30-70: 4.8 Sec

Kamyonlarda



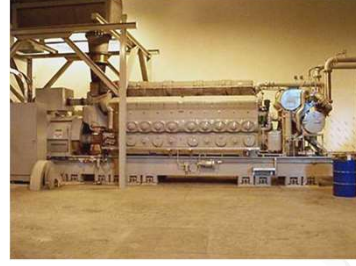
10-20 litre diesel motorlar

Ađır iř makinelerinde



15+ litre diesel motorlar

Jeneratörlerde



Küçükten çok büyüğe diesel motorlar

68

Deniz taşıtlarında



SON

70