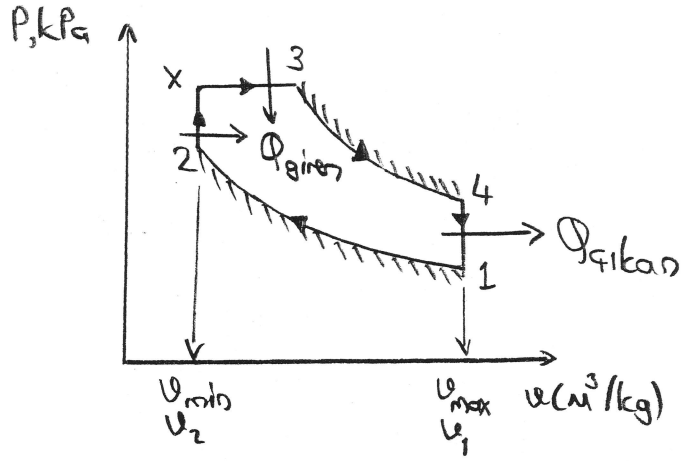
İdeal Karma (İkili) Çevrim

İçten yanmalı motorlarda yanma işleminin sabit hacimde veya sabit basınçta ısı girişi şeklinde ele alınması, basitleştirilmiş bir yaklaşımdır. Hem benzinli hem de Diesel motorlardaki yanma işleminin, biri sabit hacimde diğeri sabit basınçta ısı girişi olmak üzere, iki ısı geçişi işleminin birleşimi şeklinde modellenmesidir. Buna karma çevrim denir.

Örnek:

Karma çevrime ait P-v diyagramı:



Sıkıştırma oranı, $r = 14 = \frac{v_{max}}{v_{min}}$

$Q_{giren} = 1520,4$ kJ/kg (Toplam değer)

Sıkıştırmanın başladığı 1 noktasındaki özelikler:

$P_1 = 100$ kPa

$T_1 = 300$ K

Sistemin en farklı sıcaklığı:

$T_{max} = 2200$ K

$\eta_{ısıl} = ?$, $Q_{2-x}/Q_{giren} = ?$

Soru, değişken özgül ısılar yaklaşımı altında hava için Tablo A-17 kullanılarak çözülecektir.

⊛ (1-2) işlemi: İzentropik sıkıştırma

$T_1 = 300K \xrightarrow[\text{Tablodan}]{} u_1 = 214,07$ kJ/kg

$v_{r_1} = 621,2$ (Bağıl özgül hacim)

$$\frac{1}{r} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{v_{r,2}}{v_{r,1}} \Longrightarrow v_{r,2} = \frac{1}{r} v_{r_1} = \frac{1}{14}(621,2) = 44,37$$

$v_{r,2} = 44,37 \xrightarrow[\text{Tablodan}]{} T_2 = 823,1$ K

$u_2 = 611,2$ kJ/kg

⊛ (2-x) → sabit hacim işlemi
(x-3) → sabit basınç işlemi } Isı girişi

(2-x) için: Enerji Dengesi

$$\underbrace{E_g}_{Q_{2-x}} - \underbrace{E_ç}_{0} = \underbrace{\Delta E_s}_{m(U_x - U_2)} \quad \Big\} \; Q_{2-x} = m(U_x - U_2)$$

(x-3) için: Enerji Dengesi

$$\underbrace{E_g}_{Q_{x-3}} - \underbrace{E_ç}_{W_{sınır}} = \underbrace{\Delta E_s}_{m(U_3 - U_x)}$$

x-3 arasında hacim değişimi varsa bu durum sınır işini gösterir.

$$\Big\} \; Q_{x-3} = m(U_3 - U_x) + W_{sınır}$$

$$Q_{x-3} = m(U_3 - U_x) + P_3 m(v_3 - v_x) \quad (J)$$

$$= m(U_3 + P_3 v_3) - m(U_x - P_x v_x) \quad (P_3 = P_x)$$

$$= m h_3 - m h_x$$

$$= m(h_3 - h_x)$$

$$Q_{giren} = Q_{2-x} + Q_{x-3} = m(U_x - U_2) + m(h_3 - h_x)$$

$$1520{,}4 \; kJ/kg = (U_x - 611{,}2) + (2503{,}2 - h_x)$$

Tablodan yararlanarak deneme-yanılma ile yanda verilen özelikler bulunur. } $T_x = 1300\,K$, $h_x = 1395{,}97$ kJ/kg, $U_x = 1022{,}82$ kJ/kg

(Birim kütle için)

$$Q_{2-x} = m(u_x - u_2) = (1\,kg)(1022,82 - 611,2)\,kJ/kg$$
$$= 411,62\,kJ/kg$$

$$\frac{Q_{2-x}}{Q_{giren}} = \frac{411,62\,kJ/kg}{1520,4\,kJ/kg} = \%27,1$$

Giren ısının %27,1 kadarı sabit hacim işleminden sağlanıyor. (%72,9 kadarı ise sabit basınç işleminden sağlanıyor).

$$\left.\begin{array}{l} P_3V_3 = mRT_3 \\ P_xV_x = mRT_x \end{array}\right\} \rightarrow \frac{P_3V_3}{T_3} = \frac{P_xV_x}{T_x} \rightarrow \frac{V_3}{V_x} = \frac{T_3}{T_x} = \frac{2200K}{1300K}$$

$$\frac{T_3}{T_x} = 1,692 \rightarrow V_3 = 1,692 \cdot V_x \quad (V_x = V_2)$$
$$= 1,692 \cdot V_2$$

$$\frac{v_{r,4}}{v_{r,3}} = \frac{v_4}{v_3} \rightarrow v_{r,4} = \frac{v_4}{(1,692)v_2} v_{r,3} \qquad (v_4 = v_1)$$

$$= \frac{r}{1,692} v_{r,3} = \frac{14}{1,692}(2,012) = 16,648$$

$$v_{r,4} = 16,648 \xrightarrow[\text{Tablodan}]{} u_4 = 886,3\,kJ/kg$$

⊛ (1-4) işlemi: v=sabit işlemi
Isı çıkışı

Enerji Denklemi: $\underset{0}{E_g} - \underset{Q_{çıkan}}{E_ç} = \underset{m(u_4-u_1)}{\Delta E_s}$

$$Q_{çıkan} = m(u_4 - u_1)$$

$$Q_{çıkan} = (1\,kg)(886{,}3 - 214{,}07)\ kJ/kg$$
$$= 672{,}23\ kJ/kg$$

Isıl verim:

$$\eta_{ısıl} = 1 - \frac{Q_{çıkan}}{Q_{giren}} = 1 - \frac{672{,}23\ kJ/kg}{1520{,}4\ kJ/kg} = \%55{,}8$$

Stirling Çevrimi

Stirling çevriminde iki adet sabit hacimde rejenerasyon işlemi vardır. Rejenerasyon, sistemdeki ısı geçişi uygulamasıdır. Çevrimin bir kısmı süresince iş akışkanından rejeneratör adı verilen bir ısıl enerji depolama düzeneğine ısı geçişi olmakta, diğer bir kısmda ise bu ısı tekrar iş akışkanına verilmektedir.

Örnek

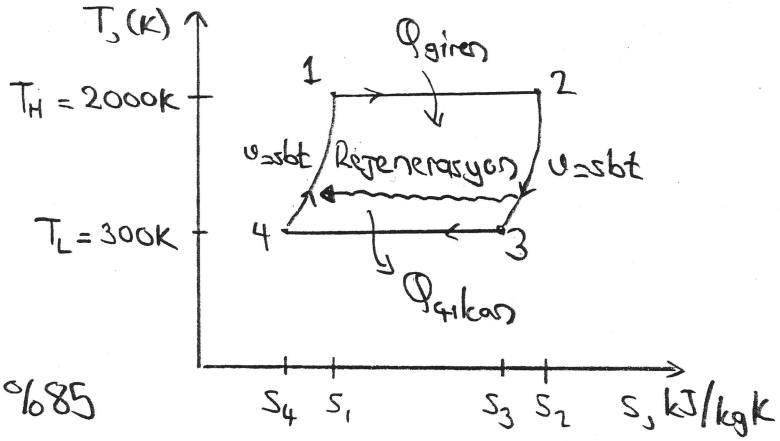
Stirling makinasının içinde helyum dolaşmaktadır. Sıcaklık değerleri T-s diyagramı üzerinde verilmiştir. Çevrimin en büyük basıncı 3 MPa ve en düşük basıncı 150 kPa olarak ölçülmüştür. Helyumun kütlesi 0,12 kg'dır. Çevrimden çıkan net işi ve $Q_{rejen.}$ miktarını hesaplayınız.

Helyum: (Oda sıcaklığında)

$R = 2{,}0769\ kJ/kgK$

$c_v = 3{,}1156\ kJ/kgK$

$c_p = 5{,}1926\ kJ/kgK$



⊛ İdeal çevrim için ısıl verim:

$$\eta_{ısıl} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300K}{2000K} = \%85$$

⊛ Rejeneratördeki ısı geçişi miktarı:

Rejenatör, ısıyı (2-3) işleminden alıp, (4-1) işlemine verir.

Enerji Dengesi: (1-4 işlemine giren ısı geçişi için)

$$\underbrace{E_g}_{Q_{41,giren}} - \underbrace{E_ç}_{0} = \underbrace{\Delta E_s}_{m(u_1-u_4)}$$

$$\underbrace{Q_{rejen.} = Q_{41,giren}}_{} = m(u_1 - u_4) \quad (J)$$

Rejeneratörün verdiği enerji, (4-1) işleminin aldığı enerjiye eşittir.

$$Q_{rejen.} = m(u_1 - u_4)$$
$$= m c_v (T_1 - T_4)$$
$$= (0{,}12\,kg)(3{,}1156\,kJ/kgK)(2000-300)K$$
$$= 635{,}6\,kJ$$

⊛ Çevrimden çıkan net iş:

$$\eta_{isıl} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = \frac{W_{net,çıkan}}{Q_{giren}} \longrightarrow 0{,}85 = \frac{W_{net,çıkan}}{Q_{giren}}$$

Q_{giren}, Entropi Dengesi ile bulunabilir:

$$\underbrace{S_{giren}}_{\frac{Q_{giren}}{T_H}} - \underbrace{S_{çıkan}}_{0} + \underbrace{S_{üretim}}_{\text{ideal çevrim "0"}} = \underbrace{\Delta S_{sistem}}_{m(s_2-s_1)} \quad [(1-2)\ \text{işlemi için}]$$

$$\frac{Q_{giren}}{T_H} = m(s_2 - s_1) \longrightarrow Q_{giren} = T_H \cdot m \cdot (s_2 - s_1) \quad (J)$$

ideal gaz için, $s_2 - s_1 = \underbrace{c_v \ln \frac{T_2}{T_1}}_{T_1 = T_2} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$ (J/kgK)

En yüksek basınç, 1 noktasında ve en düşük basınç 3 noktasında oluşur.

$$\left.\begin{array}{l} P_{max} = P_1 = 3\,MPa \\ P_{min} = P_3 = 150\,kPa \end{array}\right\} \quad \begin{array}{l} P_3 V_3 = mRT_3 \\ P_1 V_1 = mRT_1 \end{array}$$

$$\frac{P_3 V_3}{T_3} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \longrightarrow \frac{V_3}{V_1} = \frac{T_3 P_1}{T_1 P_3} = \frac{(300K)(3000kPa)}{(2000K)(150kPa)}$$

$$\frac{V_3}{V_1} = 3 = \frac{v_2}{v_1}$$

$$s_2 - s_1 = R \ln \frac{v_2}{v_1} \rightarrow s_2 - s_1 = (2{,}0769\ kJ/kgK) \ln(3)$$
$$= 2{,}282\ kJ/kgK$$

$$Q_{giren} = (2000K)(0{,}12\ kg)(2{,}282\ kJ/kgK)$$
$$= 547{,}6\ kJ$$

$$W_{net,çıkan} = (0{,}85)(547{,}6\ kJ)$$
$$= 465{,}5\ kJ$$

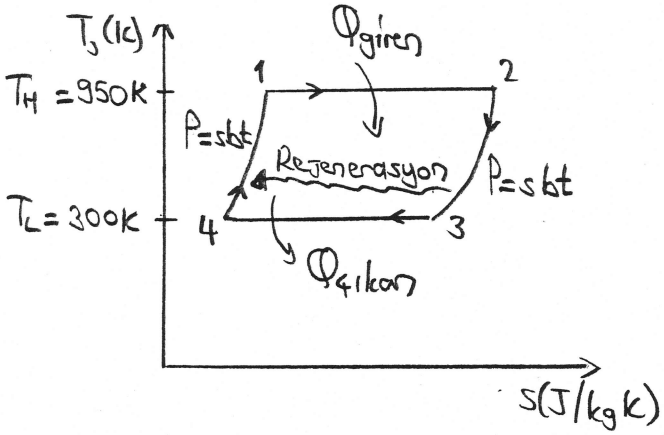
Ericsson Çevrimi

Ericsson çevriminde iki adet sabit basınçta rejenerasyon işlemi vardır.

Örnek

İdeal Ericsson makinasına ait sıcaklık değerleri T-s diyagramı üzerinde verilmiştir. 3 noktasına ait sıcaklık 27°C ve basınç 120 kPa'dır. Hava akışkanının dolaştığı çevrimin en fazla sıcaklığı 950 K'dir. Çevrimden 150 kJ/kg değerinde ısı çıkışı varsa; $P_4 = ?$, $W_{net,çıkan} = ?$ ve $\eta_{ısıl} = ?$

Hava, $R = 0{,}287$ kJ/kgK



(3-4) işlemi için Entropi Dengesi:

$$\underbrace{S_g}_{0} - \underbrace{S_ç}_{\frac{Q_{34,çıkan}}{T_4}} + \underbrace{S_ü}_{\text{"0" (ideal)}} = \underbrace{\Delta S_s}_{m(s_4 - s_3)}$$

$$-\frac{Q_{34,çıkan}}{T_4} = m(s_4 - s_1) \quad (J/K)$$

$m = 1$ kg için, $s_4 - s_1 = -\dfrac{150\ kJ/kg}{300K} = -0{,}5\ kJ/kgK$

İdeal gaz için, $s_4 - s_1 = \underbrace{c_p \ln \frac{T_4}{T_3}}_{T_3 = T_4} - R \ln \frac{P_4}{P_3} = -(0{,}287\ kJ/kgK) \cdot \ln \frac{P_4}{120\ kPa}$

⊛ $P_4 = 685{,}2$ kPa

Tersinir çevrim için,

$$\frac{Q_{34,çıkan}}{Q_{12,giren}} = \frac{T_L}{T_H} \longrightarrow Q_{12,giren} = \frac{T_H}{T_L} Q_{34,çıkan}$$

$$= \frac{950\,K}{300\,K}(150\,kJ/kg)$$

$$= 475\,kJ/kg$$

⊛ $W_{net,çıkan} = Q_{giren} - Q_{çıkan}$

$$= 475 - 150 = 325\,kJ/kg$$

Isıl verim,

⊛ $\eta_{ısıl} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300\,K}{950\,K} = 0{,}684$

(%68,4)

YARARLANILAN KAYNAKLAR:

"Thermodynamics: An Engineering Approach", 9th Edition, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Mehmet Kanoglu, McGraw-Hill Education, 2019.

"Termodinamiğin Temelleri", SI Basım, Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag, Sekizinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, çeviri editörü yardımcıları arasında yer almaktadır), Palme Yayıncılık, 2018, Ankara.

"Principles of Engineering Thermodynamics", SI Edition, John R. Reisel, Cengage Learning, 2016.

"Termodinamik-Mühendislik Yaklaşımıyla", Yedinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, editör yardımcıları arasında yer almaktadır),Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Palme Yayıncılık, 2015.

"Engineering Thermodynamics", 8th Edition, Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, John Wiley, 2014.

https://www.huseyingunerhan.com/termo2/termo2.html sayfasında verilen "Termodinamik II" dersine ait tüm ders notlarının bazı bölümleri yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunumlarından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.