

CICLUL STIRLING REVERSIBIL

1. Introducere

Motorul Stirling conceput în 1816 de scoțianul Robert Stirling este un “motor cu ardere externă” la care agentul de lucru este un gaz care parcurge un ciclu termodinamic într-un sistem închis. Pus în umbra de motoarele Otto și Diesel o lungă perioadă de timp, motorul Stirling a revenit în actualitate datorită avantajelor ce le prezintă din punct de vedere ecologic și de utilizarea a energiilor neconventionale, în special a energiei solare, pentru producerea de energie mecanică. Are un randament termic ridicat, poate utiliza orice tip de combustibil, poate valorifica energia termică reziduală din diferite instalații termice. Aplicații largi se întâlnesc la antrenarea pompelor de căldură sau a mașinilor frigorifice precum și în domeniul cercetării spațiului cosmic. NASA are la ora actuală un departament de cercetare special pentru motoarele Stirling. Există la dispoziția celor interesați motoare Stirling cu puteri cuprinse între 10 și 200 kW, dar s-au construit astfel de motoare pentru puteri de 5000 kW. Alte aplicații sunt: antrenarea autovehiculelor, în centrale termoelectrice, în sistemele de încălzire cu cogenerare etc.

Principiul de funcționare este simplu. Diferența de temperatură dintre două surse de căldură este “parametrul motor” care permite transformarea căldurii în lucru mecanic. Natura surselor de căldură și a agentului de lucru este indiferentă, aceasta fiind cel mai mare avantaj al mașinilor care funcționează după acest ciclu termodinamic. Motoarele Stirling se întâlnesc în diferite variante constructive, cu un singur cilindru sau cu doi cilindri. În ambele cazuri sunt două pistoane: unul cald și unul rece, care se mișcă cu un defazaj de 90° . Între spațiile de lucru ale celor două pistoane se află un schimbător de căldură regenerativ care separă două surse de căldură de temperaturi diferite. Gazul care parcurge ciclul termodinamic al motorului ajunge succesiv în contact cu sursa caldă și sursa rece, luând și respectiv cedând căldură. Lucrul mecanic produs este teoretic egal cu diferența dintre căldurile schimbate.

În contact cu sursele de căldură agentul de lucru suferă o transformare izotermică, iar la trecerea prin regeneratorul de căldură este supus unei transformări izocore, realizată prin defazajul de mișcare a celor două pistoane.

Motoarele Stirling moderne utilizeaza ca agent de lucru hidrogen sau heliu, la presiuni mari, etansari performante si solutii eficiente pentru transferul de caldura. Regeneratorul de caldura se materializeaza prin fire foarte fine de cupru care se incalzesc si se racesc alternativ.

2. Ciclul teoretic reversibil al motorului Stirling

Ciclul teoretic al unui motor Stirling este același indiferent dacă motorul este cu unul sau doi cilindri și se compune din două izoterme și două izocore, (fig1).

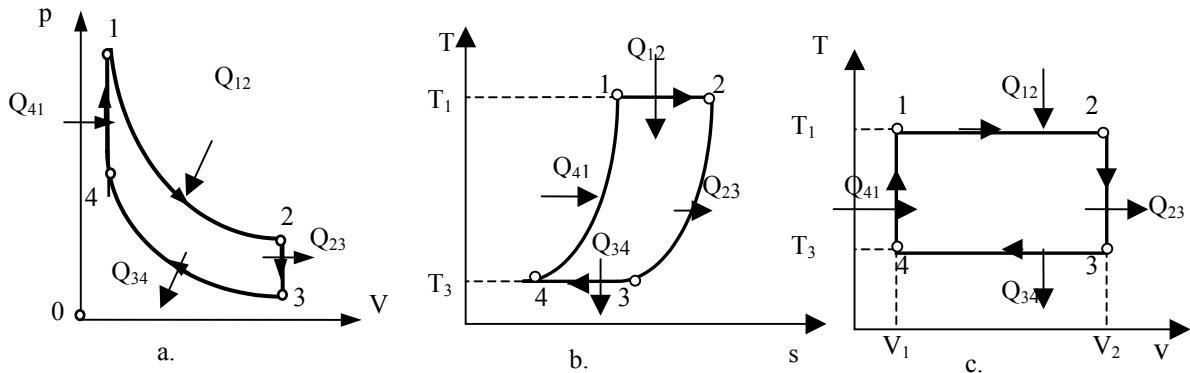


Fig.1 Ciclul teoretic reversibil al motorului Stirling
a- in coordonate p-v ; b- in coordonate T-s ; c- in coordonate T-v.

Pentru descrierea ciclului Stirling reversibil se presupune ca motorul are doi cilindri (fig.2).

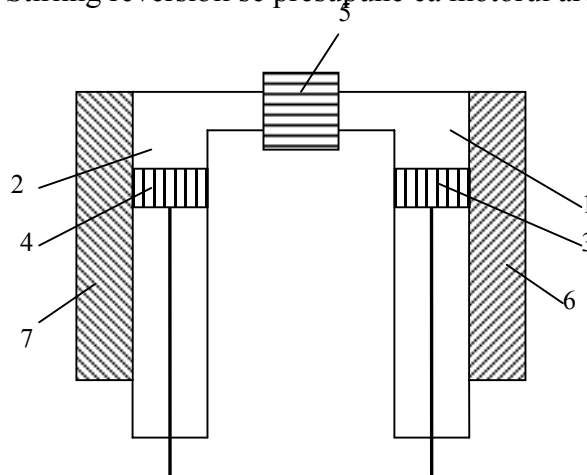


Fig.2 Schema motorului Stirling cu doi cilindri
1,2 - cilindrul cald, respectiv rece; 3,4 - pistonul cald si cel rece;
5 - regeneratorul de caldura; 6,7 - sursa de caldura calda, respectiv rece

La deplasarea pistonului cald 3 in jos are loc destinderea izotermica 1-2 a agentului de lucru. In aceasta transformare sistemul primeste de la sursa calda, caldura:

$$Q_{sc} = Q_{12} = mRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = mT_1(s_2 - s_1)[kJ] \quad (1)$$

unde :

m este masa agentului de lucru [kg]; R- constanta de gaz perfect a agentului de lucru[kJ/kgK].

Simultan cu deplasarea ascendenta a pistonului 3 pe prima portiune, are loc deplasarea pistonului rece 4 in jos. In acest mod are loc trecerea agentului de lucru prin regeneratorul de caldura 5 care primeste caldura Q_{23} prin incalzirea firelor de cupru care il compun. Datorita sincronizarii miscarii celor doua pistoane, transformarea la care este supus agentul de lucru este izocora 2-3. Ca urmare gazul evolutiv isi micsoreaza temperatura si presiunea la T_3 , respectiv p_3 .

In continuare, pistonul rece 4 realizeaza comprimarea izotermica 3-4, fiind in contact cu sursa rece cedeaza acesteia caldura:

$$|Q_{sr}| = |Q_{34}| = mRT_3 \ln \frac{V_3}{V_4} = mT_3(s_3 - s_4)[kJ] \quad (2)$$

Prin inversarea sensului de miscare a celor doua pistoane se realizeaza transformarea izocora 4-1 in cursul careia mediul evolutiv absoarbe de la regeneratoar caldura Q_{41} , iar elementele active ale regeneratoarului se racec.

Este usor de observat ca, in conditiile in care $T_1 = T_2$ si $T_3 = T_4$, iar punctele 2,3 si 4,1 se gasesc pe doua izocore:

$$|Q_{23}| = |Q_{41}| = mc_v(T_2 - T_3) = mc_v(T_1 - T_4)[kJ] \quad (3)$$

Deoarece $|Q_{23}| = Q_{41}$, in acest ciclu termodinamic sistemul schimba cu mediul exterior numai caldurile $Q_{12} = Q_{sc}$ si $Q_{34} = Q_{sr}$.

Lucrul mecanic produs este:

$$L = Q_{sc} - |Q_{sr}| = mR(T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - T_3 \ln \frac{V_3}{V_4}) = m(T_1 - T_3)(s_2 - s_1)[kJ] \quad (4)$$

unde s-a tinut seama ca, pe baza precizarilor de mai sus, $s_2 - s_1 = s_3 - s_4$

Randamentul termic al ciclului Stirling reversibil va fi:

$$\eta = \frac{L}{Q_{sc}} = 1 - \frac{T_3}{T_1} \quad (5)$$

Se observa ca randamentul termic este identic cu cel al ciclului Carnot reversibil, functionand intre aceleasi surse de caldura, fapt deosebit de important din punct de vedere energetic.

Relatiile (4) si (5) permit stabilirea unor concluzii importante pentru constructia, functionarea si exploatarea motoarelor Stirling. Astfel, la aceeasi masa a agentului de lucru si aceeasi cilindree, lucrul mecanic este cu atat mai mare cu cat diferenta dintre temperaturile T_1 si T_3 este mai mare. Aceasta diferenta la randul ei depinde de temperaturile surselor de

caldura si de performantele regeneratoarei termice. De asemenea, marirea randamentului termic este influentata in mod determinant de temperaturile surselor de caldura. Valoarea lui T_1 este data de starea sursei calde iar T_3 este limitata inferior la temperatura mediului ambiant T_{ma} , cand la un anumit $T_1 = T_{sc}$ dat, lucrul mecanic obtinut este maxim.

Ciclul efectiv (real) difera mult de ciclul teoretic datorita faptului ca fazele schimbului de caldura dintre sistemul termodinamic si mediul exterior se suprapun partial. Astfel, destinderea izotermica are loc partial in zona de racire, iar la comprimarea izotermica nu se gaseste intreaga masa a agentului de lucru in zona racita. De asemenea incalzirea si racirea mediului evolutiv in regeneratoare nu are loc dupa o transformare riguros izocora, din cauza suprapunerii partiale a inceputului si sfarsitului transformarilor izoterme si izocore. Din aceasta cauza ciclul real are forma ovala in orice sistem de coordonate.

Din punct de vedere exergetic diferentele de temperatura dintre sursele de caldura si mediul evolutiv trebuie sa fie cat mai mici, pentru a avea un randament exergetic mare. Diferenta de temperatura dintre agentul de lucru si sursa rece(mediul ambiant) influenteaza in mai mare masura randamentul exergetic decat diferenta dintre temperatura sursei calde si temperatura agentului de lucru in contact cu aceeasi sursa.

Diferenta dintre temperaturile surselor de caldura trebuie sa fie cat mai mare, atat din punct de vedere exergetic cat si a puterii dezvoltate de motor.

Bibliografie

1. Hell, F. Thermische Energietechnik, VDI. Verlag, Dusseldorf, 1986.
2. Kaltschmitt, M. Energiegewinnung aus Biomasse in kontext des deutschen Energiesystems, Energieanwendung, s 19-25, Nr.1 Ian/Febr, 1995.
3. Madarasan, T Bazele termotehnicii, Ed. Sincron, Cluj-Napoca, 1998