

Fiche TD 2 Machines thermiques

Exercice 7:

Le moteur à explosion est un moteur à combustion interne dont l'allumage est commandé par des bougies. Il fonctionne suivant le cycle de Beau de Rochas. Ce cycle est constitué de deux isentropiques et deux isochores que subit un mélange d'air et de carburant. Le système fermé considéré est donc une masse déterminée de ce mélange. Plus précisément, le cycle peut être décrit en quatre temps:

1. un cylindre admet le mélange à travers une soupape d'admission dans un volume V_A (portion IA du cycle)
2. les soupapes sont fermées et le mélange subit une compression isentropique jusqu'à un volume V_B (portion AB). Au point B se produit l'explosion du mélange qui augmente la pression de B à C;
3. les soupapes sont toujours fermées et les produits de la combustion subissent une détente isentropique en repoussant le piston jusqu'à sa position initiale (portion CD)
4. La soupape d'échappement s'ouvre : la pression chute brutalement (portion DA), et les gaz brûlés sont évacués.

Le cycle est caractérisé par le taux de compression volumétrique α qui vaut: V_A/V_B . Les températures du mélange en A et C valent $T_A=293$ K et $T_C=1220$ K

1°/ Tracer schématiquement ce cycle de Beau de Rochas dans le diagramme de Clapeyron, en faisant figurer les 5 points I, A, B, C, et D.

2°/ Identifier sur le cycle les quantités de chaleur échangées et leurs signes, les travaux fournis et leurs signes, et écrire le bilan thermique sur un cycle.

3°/ Donner l'expression des quantités de chaleur échangées et donner l'expression de l'efficacité de ce moteur thermique. Faire l'application numérique.

4°/ Montrer que l'efficacité de ce moteur ne dépend que du taux de compression α .

5°/ Calculer le rendement (par rapport au moteur de Carnot idéal) de ce cycle. Pour l'application numérique, on considère: $\gamma=1.4$ et $\alpha=9$

Solution :

1°/ Voir la figure ci-dessous.

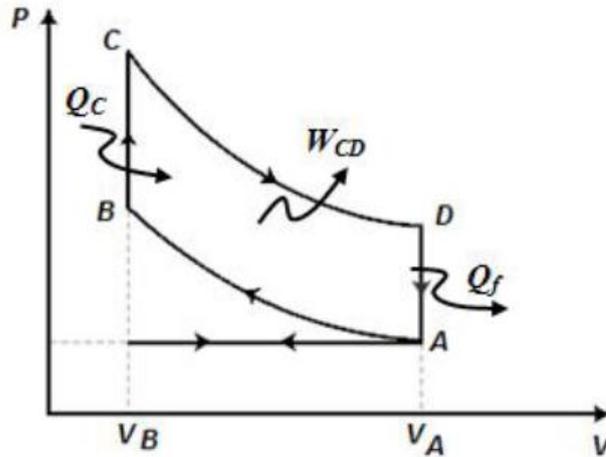


Figure : Cycle moteur de Beau de Rochas

2°/ Sur les deux isentropiques AB et CD , aucune chaleur n'est échangée par définition. Le mélange reçoit de la chaleur ($Q_C > 0$) au cours de l'explosion (portion BC), et perd de la chaleur ($Q_f < 0$) lors de la détente isochore (portion DA). Sur un cycle, du travail est fourni $W_{total} < 0$ (le cycle est parcouru dans le sens horaire; c'est un cycle moteur) et il résulte d'un travail $W_{AB} > 0$ fourni au gaz au cours de sa compression entre A et B , et d'un travail $W_{CD} < 0$ que génère le gaz entre C et D .

Le bilan thermique sur un cycle est le suivant :

$$\Delta U = W_{AB} + Q_C + W_{CD} + Q_f = 0$$

Soit,

$$W_{Total} = W_{AB} + W_{CD} = -Q_C - Q_f$$

3°/ Au cours des transformations isochores, les quantités de chaleur échangées sont égales à la variation d'énergie interne du gaz, dont l'expression est simple, soient :

$$Q_C = \Delta U_{B-C} = c_V(T_C - T_B)$$

Et :

$$Q_f = \Delta U_{D-A} = c_V(T_A - T_D)$$

L'efficacité η_m de ce moteur thermique est donnée par :

$$\eta = \frac{|W|}{Q_C} = \frac{Q_C + Q_f}{Q_C} = 1 + \frac{Q_f}{Q_C} = 1 + \frac{T_A - T_D}{T_C - T_B}$$

4°/ Puisque les transformations AB et CD sont deux isentropiques, et en considérant que le mélange air/carburant est un fluide parfait, on a :

$$\frac{T_A}{T_B} = \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{\gamma-1}$$

Et :

$$\frac{T_C}{T_D} = \left(\frac{V_D}{V_C}\right)^{\gamma-1} = \alpha^{\gamma-1}$$

Alors, l'efficacité s'écrit :

$$\eta = 1 + \frac{T_B \alpha^{\gamma-1} - T_D}{T_D \alpha^{\gamma-1} - T_B} = 1 + \alpha^{1-\gamma} \frac{T_B - T_D \alpha^{\gamma-1}}{T_D \alpha^{\gamma-1} - T_B} = 1 - \frac{1}{\alpha^{\gamma-1}}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{9^{0,4}} = 58,5\%$$

5°/ L'efficacité (le rendement) du moteur de Carnot idéal de ce cycle fonctionnant entre les températures T_A et T_C vaut :

$$\eta_C = 1 - \frac{T_C}{T_A} = 1 - \frac{293}{1220} = 76\%$$

Le rendement du cycle de Beau de Rochas vaut donc :

$$r = \frac{\eta}{\eta_C} = \frac{58,5}{76} = 77\%.$$