

Short Communication

Evaluation des dissipations exergetiques dues à la mauvaise conduction de la chaleur dans le générateur d'une machine thermique à affinité chimique

A. Adell et S. Gromb

Laboratoire de Chimie Physique, Université Montpellier II, Place Bataillon, 34095 Montpellier (France)

(Received April 16, 1993; accepted in revised form February 4, 1994)

Abstract

A calculation of the heat dissipation resulting directly from poor thermal conduction inside a solar collector filled with a microporous solid adsorbant has been carried out using an exergetic local balance. The computed result is 180 kJ m^{-2} for the collector studied. The same calculation has given the decrease in exergetic dissipation when the quality of thermal transfer is improved. Thus, one is able to estimate the importance of these improvements by comparing them to the improvements that can also be achieved with the other parts of the machine.

Résumé

Une évaluation des dissipations d'exergie dues uniquement à la mauvaise conduction thermique à l'intérieur d'un capteur solaire contenant un solide adsorbant microporeux, a été faite à partir des équations du bilan exergetique local. Un calcul à l'ordinateur donne 180 kJ m^{-2} , pour le capteur étudié. Le même calcul permet d'évaluer la diminution de cette dissipation d'exergie lorsqu'on améliore la qualité des transferts thermiques. On est ainsi mieux à même de juger l'intérêt de ces améliorations en les comparant aux améliorations qu'on peut également apporter dans les autres éléments de la machine.

Introduction

Les adsorbants solides microporeux, tels les zéolithes et les charbons actifs, ont été employés pour actionner des machines thermiques à cycle intermittent [1]. Le solide retient dans ses micropores, par adsorption physique, un fluide frigorigène que l'on désorbe par chauffage (phase de désorption). Les vapeurs sont recueillies dans un condenseur d'où le fluide s'écoule à l'état liquide vers l'évaporateur par un robinet de détente. Les vapeurs sont ensuite, après une période de refroidissement du solide, réadsorbées dans les micropores (phase d'adsorption). La machine peut fonctionner en réfrigérateur (production de froid à l'évaporateur) ou en pompe à chaleur et appareil de stockage de l'énergie (production de chaleur à l'adsorbant et au condenseur).

Les caractéristiques thermodynamiques de ces cycles et, en particulier, la température de régénération pas trop élevée de l'ordre de 100 °C, permettent d'envisager d'utiliser de l'énergie basse calorie comme source chauffante, en particulier l'énergie solaire. Un des avantages des cycles intermittents est qu'on peut chauffer directement le solide adsorbant en le plaçant à l'intérieur d'un système de captation de l'énergie solaire.

Dans un précédent travail [2] nous avons montré que, lors du chauffage direct par le soleil, d'importants gradients de température dus à une mauvaise conduction thermique apparaissent dans le solide adsorbant contenu dans le capteur solaire. Ces gradients de température sont la cause de dissipations d'exergie et conduisent à une baisse dans les performances de la machine.

Dans la présente étude nous avons cherché à évaluer ces dissipations d'exergie dans le cas d'une machine thermique solaire fonctionnant en réfrigérateur. En chiffrant les dissipations d'exergie, le but recherché est de situer l'importance relative des économies d'énergie qu'on peut *a priori* espérer réaliser en agissant sur chacune des causes d'irréversibilité. Cependant, il faut bien voir, que le classement des dégradations d'énergie, qui est ainsi fait, ne constitue pas un classement certain des gains réalisables. Cette évaluation n'est par conséquent qu'une étape qualitative dans la recherche des solutions aux problèmes d'optimisation [3], notamment l'optimisation économique de la machine.

Résultats

Un modèle a été proposé dans la référence 2 pour calculer analytiquement l'évolution des températures dans un capteur solaire contenant un adsorbant solide. Ce modèle repose sur:

- (i) le seul phénomène irréversible qui intervient à l'intérieur du capteur est l'échange de chaleur par conduction;
- (ii) la réaction d'adsorption/désorption dans les micropores se fait à l'équilibre thermodynamique et correspond à une fonction 'puits thermique' proportionnelle à la variation de la température;
- (iii) les divers phénomènes de transport dans les pores de l'adsorbant sont ignorés;
- (iv) les conditions aux limites du capteur ont été idéalisées afin d'aboutir à une solution analytique.

La concordance entre les résultats donnés par ce modèle et les résultats expérimentaux obtenus *in situ* avec un capteur solaire plan à surface sélective contenant le couple d'adsorption zéolithe 13X-eau, a été assez satisfaisante.

Le calcul des principales dissipations d'exergie repose sur le bilan local d'exergie donné par la thermodynamique des phénomènes irréversibles [4]. Ce bilan nécessite, d'une part, le choix d'un modèle thermodynamique local décrivant le système et, d'autre part, la sélection des phénomènes irréversibles les plus importants impliqués par le choix du modèle. Le bilan local conduit par intégration au bilan macroscopique exergétique de chacun des éléments de la machine qui a été établi pour une durée de fonctionnement correspondant à un cycle complet (1 jour) [5].

Le modèle, que nous avons proposé pour le calcul des températures, peut être considéré, du fait de sa simplicité, comme un modèle de type 'coarse grained'. Ce modèle fait intervenir un coefficient de conductibilité thermique, λ , du solide microporeux qui est un coefficient phénoménologique moyen, englobant le phénomène de conduction thermique pur dans le réseau zéolithique solide, les échanges thermiques convectifs

et radiatifs dans les différents pores et zones interstitielles et les échanges de chaleur à la surface des différentes phases.

La puissance d'irréversibilité, I , dans le volume, V , s'écrit: (voir notamment la formule 6-101 de la référence 4):

$$I = \frac{dEx}{dt} = T_0 \frac{d_i S}{dt} = T_0 \int_V \vec{j}(q) \overrightarrow{\text{grad}} \left(\frac{1}{T} \right) dV \quad (1)$$

T_0 est la température de référence de l'exergie, $d_i S$ est la création interne d'entropie, Ex est l'exergie totale de l'élément considéré et $\overrightarrow{\text{grad}}(1/T)$ représente l'affinité conjuguée du flux de chaleur $\vec{j}(q)$. En utilisant la loi de Fourier $\vec{j}(q) = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}} T$, on trouve pour la dissipation d'exergie pendant une durée de fonctionnement Δt :

$$\Delta Ex = \int_{\Delta t} I(t) dt = T_0 \int_{\Delta t} dt \int_V \frac{\lambda}{T^2} (\overrightarrow{\text{grad}} T)^2 dV \quad (2)$$

Le calcul de la dissipation d'exergie dans le capteur durant la phase de chauffage par le rayonnement solaire a été fait en utilisant la solution analytique de l'équation de la chaleur donnant la température à l'intérieur du capteur (éqn. (22) de la référence 2). Ce calcul est fait avec une valeur du coefficient phénoménologique λ égale à 0.3 SI qui a été déduite des résultats expérimentaux; le cas envisagé est celui d'un fonctionnement en réfrigérateur. Le calcul conduit à une valeur de la dissipation exergétique de 180 kJ m^{-2} de capteur.

Il est intéressant de comparer cette dissipation d'exergie d'une part à l'exergie solaire reçue et à l'exergie utile employée pour actionner le cycle, et d'autre part aux autres dissipations d'exergie provenant des autres irréversibilités du cycle:

- exergie solaire reçue: 19500 kJ m^{-2}
- exergie utile au fonctionnement du cycle: 150 kJ m^{-2}
- dissipation d'exergie due à la mauvaise conduction thermique: 180 kJ m^{-2}
- dissipation d'exergie due au fonctionnement du condenseur (température moyenne du condenseur $52 \text{ }^\circ\text{C}$): 110 kJ m^{-2}
- dissipation d'exergie due au fonctionnement de l'évaporateur (température de l'évaporateur $0 \text{ }^\circ\text{C}$, température moyenne de la chambre froide $8 \text{ }^\circ\text{C}$): 50 kJ m^{-2}
- dissipation systématique d'exergie due au phénomène de réadsorption: 110 kJ m^{-2}
- pertes d'exergie de chaleur sensible: 850 kJ m^{-2}

Discussion

L'importance relative des dissipations d'exergie dues à la mauvaise conduction thermique à l'intérieur d'un capteur solaire contenant un solide adsorbant microporeux a été mise en évidence.

1. Ces dissipations d'exergie, qui dans le cas du capteur étudié sont de 180 kJ m^{-2} , sont supérieures à l'exergie utile qui serait seule nécessaire au fonctionnement du cycle en l'absence de toutes irréversibilités (150 kJ).

2. Ces dissipations sont assez nettement supérieures aux autres dissipations présentes dans le cycle, notamment celles du condenseur (110 kJ), bien que le condenseur utilisé ne soit pas de très bonne qualité (condenseur à air).

Cette comptabilité exergetique que nous avons dressée pour la machine solaire est susceptible de faciliter le choix de certaines options permettant de mieux atteindre l'optimisation globale de la machine. Ainsi, on peut affirmer que la mauvaise conduction thermique du solide microporeux est un défaut thermodynamique important des systèmes de réfrigération solaire à cycle intermittent. On peut envisager de réduire cette dissipation exergetique par une amélioration de la conduction thermique en agissant soit sur la taille et la forme des grains du solide adsorbant ainsi que sur la nature du liant qui entre dans sa composition, soit directement en introduisant des ponts thermiques à l'intérieur du capteur. Le calcul du bilan exergetique est alors d'un grand secours puisqu'il permet d'évaluer le gain énergétique associé à l'amélioration de qualité envisagée. Par exemple, dans le cas du capteur solaire étudié, si on améliore la conductibilité thermique de 0.3 à 0.6 SI, la dissipation d'exergie correspondante est ramenée de 180 kJ à 100 kJ; si la conductibilité passe à 1.2 SI, la dissipation d'exergie ne vaut plus que 51 kJ.

La méthode utilisée, nous a donc permis, en chiffrant la réduction des dissipations d'exergie, d'être mieux à même de juger l'intérêt des améliorations apportées aux divers éléments de la machine.

Références

- 1 D.I. Tchernev, Solar refrigeration utilizing zeolite, *Proc. 14th Intersociety Energy Conversion Engineering Conf., Washington, DC, USA, 1979*, pp. 2070–2073.
- 2 A. Adell, Distribution des températures dans un capteur solaire à adsorption solide, Résultats expérimentaux en climat équatorial, *Rev. Gén. Therm.*, 266 (1984) 79–91.
- 3 A. Adell, Optimization problems in thermal solar plants, *Int. Solar Energy Society Congr., Hamburg, Germany, 1987*, Ch. 2-18-18, pp. 1–9.
- 4 L. Borel, *Thermodynamique et Energétique*, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Switzerland, 1984, Chs. 6 and 10.
- 5 A. Adell et S. Gromb, *Rev. Int. Hélio techn.*, (4) (1991).