



2.4 EXERCICES ÉNERGIE THERMIQUE

Exercice n° 2.4.e : La plaque d'aluminium

Une plaque d'aluminium de 4 mm d'épaisseur est montée en position horizontale et sa surface inférieure est bien isolée. Un revêtement spécial et mince est appliqué sur la surface supérieure de sorte qu'il absorbe 80% de tout rayonnement solaire incident, tout en ayant une émissivité de 0,25. La densité ρ et la chaleur spécifique c de l'aluminium sont connues pour être respectivement de 2700 kg/m^3 et 900 J/kg.K .

QUESTIONS

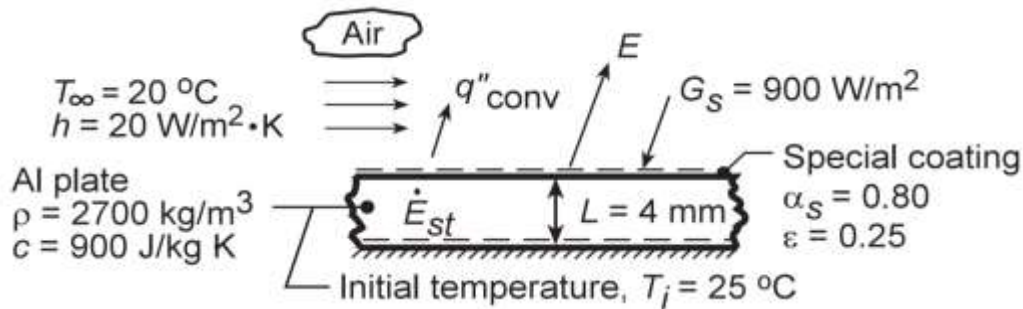
Question 1 : Tenir compte des conditions dans lesquelles la plaque est à une température de 25°C et sa surface supérieure est soudainement exposée à l'air ambiant à $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ et au rayonnement solaire qui fournit un flux incident de 900 W/m^2 . Le coefficient de transfert de chaleur par convection entre la surface et l'air est $h = 20 \text{ W/m}^2.\text{K}$. Quel est le taux de variation initial de la température de la plaque?

Question 2 : Quelle sera la température d'équilibre de la plaque lorsque les conditions de régime permanent seront atteintes?

Question 3 : Les propriétés radiatives de surface dépendent de la nature spécifique du revêtement appliqué. Calculer et tracer la température à l'état stationnaire en fonction de l'émissivité pour $0,05 \leq \varepsilon \leq 1$, toutes les autres conditions restant telles que prescrites. Répétez vos calculs pour les valeurs de $\alpha_S = 0,5$ et $1,0$ et tracez les résultats avec ceux obtenus pour $\alpha_S = 0,8$. Si l'intention est de maximiser la température de la plaque, quelle est la combinaison la plus souhaitable de l'émissivité de la plaque et de son absorbance au rayonnement solaire ?

REPONSES

Schéma



Hypothèses : (1) Effets terminaux négligeables, (2) Température uniforme de la plaque à tout instant, (3) Propriétés constantes, (4) Surface inférieure adiabatique, (5) Rayonnement négligeable de l'environnement, (6) Pas de génération de chaleur interne.

Question 1 : Tenir compte des conditions dans lesquelles la plaque est à une température de 25°C et sa surface supérieure est soudainement exposée à l'air ambiant à $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$ et au rayonnement solaire qui fournit un flux incident de 900 W/m^2 . Le coefficient de transfert de chaleur par convection entre la surface et l'air est $h = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Quel est le taux de variation initial de la température de la plaque?

On fait le bilan énergétique à un instant donné à un volume de contrôle autour de la plaque, $\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \dot{E}_{st}$, il s'ensuit une unité de surface :

$$\alpha_S G_S (1\text{m}^2) - E (1\text{m}^2) - q''_{conv} (1\text{m}^2) = \left(\frac{d}{dt}\right) (McT) = \rho (1\text{m}^2 * L) c \left(\frac{d}{dt}\right)$$

En réarrangeant et en substituant E et q''_{conv} , on obtient alors :

$$\frac{dT}{dt} = \left(\frac{1}{\rho L c}\right) [\alpha_S G_S - \epsilon \sigma T_i^4 - h(T_i - T_{\infty})]$$

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= \left(2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,004\text{m} * 900 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)^{-1} \\ &* \left[0,8 * 900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} - 0,25 * 5,67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}^4} (298\text{K})^4 - 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} (25 - 20)^{\circ}\text{C}\right] \\ \frac{dT}{dt} &= 0,052^{\circ} \frac{\text{C}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Question 2 : Quelle sera la température d'équilibre de la plaque lorsque les conditions de régime permanent seront atteintes?

En régime permanent, $\dot{E}_{st} = 0$, et le bilan énergétique se réduit à :

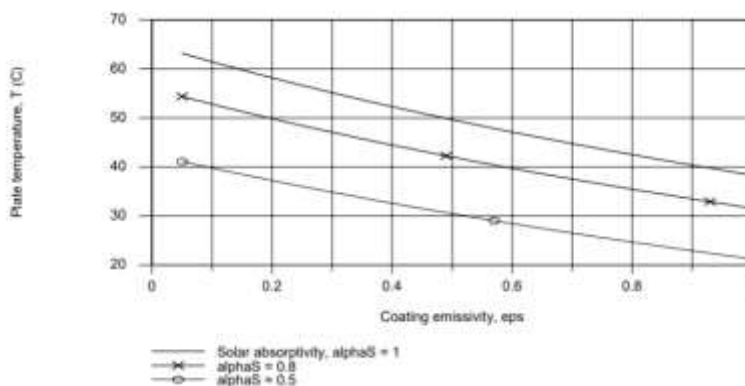
$$\alpha_S G_S = \epsilon \sigma T_i^4 + h(T - T_{\infty})$$

$$0,8 * 900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 0,25 * 5,67 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}^4} * T^4 + 20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} (T - 293\text{K})$$

La solution donne $T = 321,4\text{K} = 48,8^{\circ}\text{C}$

Question 3 : Les propriétés radiatives de surface dépendent de la nature spécifique du revêtement appliqué. Calculer et tracer la température à l'état stationnaire en fonction de l'émissivité pour $0,05 \leq \varepsilon \leq 1$, toutes les autres conditions restant telles que prescrites. Répétez vos calculs pour les valeurs de $\alpha_S = 0,5$ et $1,0$ et tracez les résultats avec ceux obtenus pour $\alpha_S = 0,8$. Si l'intention est de maximiser la température de la plaque, quelle est la combinaison la plus souhaitable de l'émissivité de la plaque et de son absorbance au rayonnement solaire ?

En utilisant le modèle de première loi IHT pour un mur plan isotherme, les calculs paramétriques donnent les résultats suivants :



Commentaires : Les propriétés radiatives de surface ont un effet significatif sur la température de la plaque, qui diminue avec l'augmentation de ε et la diminution de α_S . Si une basse température est souhaitée, le revêtement de la plaque doit être caractérisé par une grande valeur de $\frac{\varepsilon}{\alpha_S}$. La température diminue également avec l'augmentation de h .