

تمارين في مقرر انتقال الحرارة- هندسة مدنية- فيزياء 1- سنة أولى

التمرين الأول

يكون السطح الداخلي لحائط طوب مستوي عند 40°C ويكون السطح الخارجي عند 20°C . أحسب معدّل إنتقال الحرارة لكل وحدة مساحة من سطح الحائط؛ يكون سمك الحائط أو الجدار مساوياً لـ 250mm والموصلية الحرارية للطوب 0.52W/mK .

الحل:

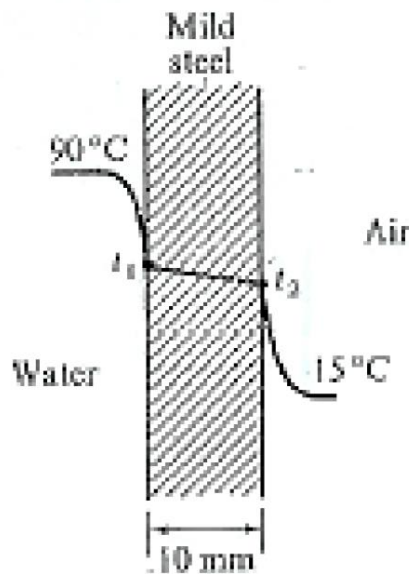
$$q = \frac{kA}{\Delta x}(T_1 - T_2) \Rightarrow \frac{q}{A} = \frac{k}{\Delta x}(T_1 - T_2) = \frac{0.52}{0.25}(40 - 20) = 41.6\text{W/m}^2$$

التمرين الثاني

خزان من الفولاذ الطري بسمك حائط 10mm يحتوي على ماء عند 90°C عندما تكون درجة الحرارة الجوية مساوية لـ 15°C . تكون الموصلية الحرارية للفولاذ الطري مساوية لـ 50W/mK ، ومعاملات إنتقال الحرارة لداخل وخارج الخزان هما 2800 و $11\text{W/m}^2\text{K}$ على الترتيب. أحسب:-

(i) معدّل فقد الحرارة لكل وحدة مساحة لسطح الخزان؛

(ii) درجة حرارة السطح الخارجي للخزان.



الحل:

1- لنحسب المقاومة الحرارية الكلية للجدار:

$$R_{total} = \frac{1}{h_A} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_B} = \frac{1}{2800} + \frac{10 \times 10^{-3}}{50} + \frac{1}{11}$$

$$R_{total} = 0.000357 + 0.0002 + 0.0909 = 0.0915 m^2 C^o / W$$

بالتالي، من أجل واحدة المساحة $A = 1 m^2$ نجد:

$$\frac{q}{A} = \frac{(90 - 15)}{0.0915} = 820 W / m^2$$

2- من المعادلة $q = Ah_B(T_2 - T_1)$ لدينا: $820 = 11(T_2 - 15)$

$$T_2 = \frac{820}{11} + 15 = 89.6 C^o$$

بالتالي: وهي درجة حرارة السطح الخارجي للخران.

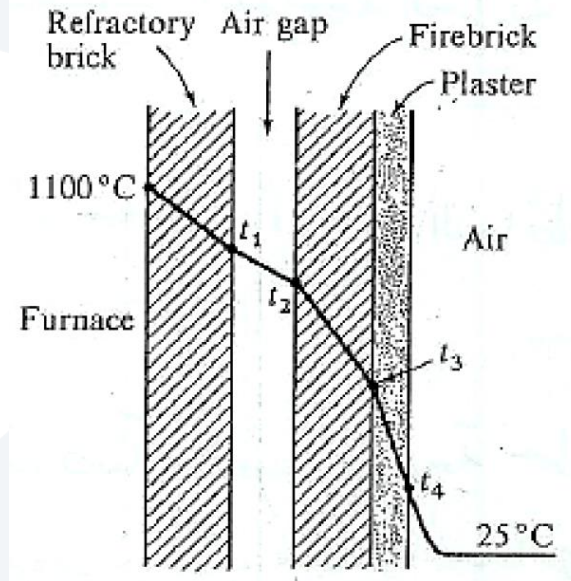
التمرين الثالث

حائط فرن يتركب من طوب حراري بسمك 125mm وطوب حريق عازل بسمك 125mm معزول بفجوة هوائية. يكون الحائط الخارجي مغطى بطبقة من البياض بسمك 12mm. يكون السطح الداخلي للحائط عند $1100^{\circ}C$ ودرجة حرارة الغرفة عند $25^{\circ}C$. معامل إنتقال الحرارة من سطح الحائط الخارجي إلي الهواء في الغرفة هو $17 W / m^2 K$ ، ومقاومة سريان الحرارة لفجوة الهواء هي $0.16 k / W$. الموصلية الحرارية للطوب الحراري، طوب الحريق العازل، والبياض هي 1.6، 0.3، و $0.14 W / mK$ ، على الترتيب. أحسب الآتي:-

i / معدّل فقد الحرارة لكل وحدة مساحة لسطح الحائط؛

ii / درجة الحرارة عند كل سطح بيني خلال الحائط؛

iii / درجة حرارة السطح الخارجي للحائط.



الحل:

1- من المعادلة $R = \frac{\Delta x}{kA}$ نجد:

وهي مقاومة الطوب الحراري $R_1 = \frac{125 \times 10^{-3}}{1.6} = 0.078 K/W$

وهي مقاومة طوب الحريق العازل $R_2 = \frac{125 \times 10^{-3}}{0.3} = 0.417 K/W$

وهي مقاومة البياض (plaster) $R_3 = \frac{12 \times 10^{-3}}{0.14} = 0.085 K/W$

من المعادلة $R = \frac{1}{hA}$ نجد:

وهي مقاومة شريحة الهواء على السطح الخارجي $R_4 = \frac{1}{17} K/W$

بالتالي: $R_{tot} = 0.0781 + 0.417 + 0.0857 + \frac{1}{17} + 0.16$

حيث مقاومة فجوة الهواء هي $0.016 K/W$ حسب معطيات المسألة.

نجد إذًا: $R_{tot} = 0.8 K/W$

من المعادلة $\frac{q}{A} = \frac{(t_1 - t_2)}{R_{tot}}$ نجد $\frac{q}{A} = 1344 W/m^2$ وهو معدّل فقد الحرارة لكل متر مربع من مساحة السطح.

2- بالرجوع إلى الشكل المرفق، درجات الحرارة البينية للأسطح هي t_1 و t_2 و t_3 ودرجة حرارة السطح الخارجي t_1 بتطبيق التناظر الكهربائي لكل طبقة وباستخدام قيم المقاومة الحرارية التي تم حسابه أعلاه، نحصل على:

$$\frac{q}{A} = 1344 = \frac{1100 - t_1}{0.0781}$$

$$t_1 = 1100 - (1344 \times 0.0781) = 995C^o \text{ ومنه أيضاً:}$$

$$\frac{q}{A} = 1344 = \frac{t_1 - t_2}{0.16}$$

$$t_2 = 995 - (1344 \times 0.16) = 780C^o \text{ ومنه نجد أيضاً:}$$

$$\frac{q}{A} = 1344 = \frac{t_2 - t_3}{0.417}$$

$$t_3 = 780 - (1344 \times 0.417) = 220C^o \text{ ومنه نجد أيضاً:}$$

$$\frac{q}{A} = 1344 = \frac{t_3 - t_4}{0.0857}$$

$$t_4 = 220 - (1344 \times 0.0857) = 104C^o \text{ ومنه نجد}$$

يُمكن إيجاد t_4 درجة حرارة السطح الخارجي للحائط بأخذ الحمل الخارجي للهواء، أي:

$$\frac{q}{A} = 1344 = \frac{t_4 - 25}{1/17}$$

$$t_4 = \left(1344 \times \frac{1}{17}\right) + 25 = 104.1C^o$$

التمرين الرابع

ماسورة من الفولاذ بقطر 100mm وبسمك جدار 7mm تحمل بخاراً عند $260^{\circ}C$ ، يتم عزلها بمادة

(diatomaceous) بسمك 40mm، ويتم عزلها هذا الغطاء بشريحة أسبستوس (asbestos felt) بسمك

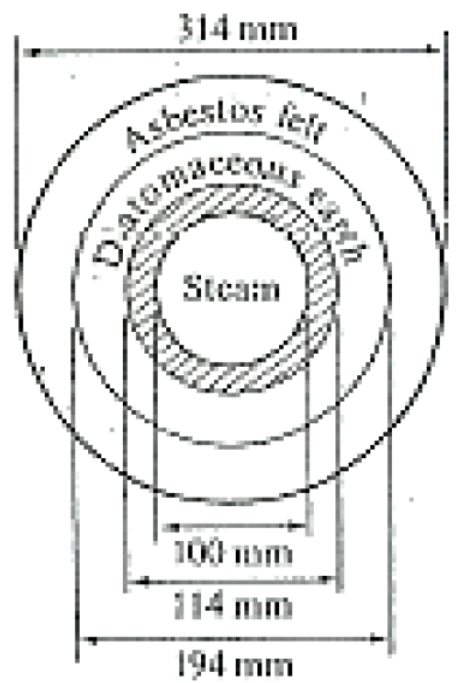
60mm. درجة حرارة الجو هي $15^{\circ}C$. معاملات إنتقال الحرارة للأسطح الداخلية والخارجية هما 550 و

$15W/m^2K$ على الترتيب، والموصلية الحرارية للفولاذ، طبقة (diatomaceous)، وشريحة الأسبستوس هي

50، 0.09، و $0.07W/mK$ على الترتيب. أحسب الآتي:-

(i) معدّل فقد الحرارة بواسطة البخار لكل m من طول الماسورة.

(ii) درجة حرارة السطح الخارجي.



1- من الشكل المرفق وبأخذ $1m$ من طول الماسورة: نكتب:

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{550 \times 2\pi \times 50 \times 10^{-3} \times 1} = 0.0079K/W$$

وهي مقاومة الحمل للبخار.

نحسب مقاومة التوصيل لمعدن الماسورة من العلاقة: $R = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_1}$ فنجد أن:

$$R = \frac{\ln(57/50)}{2\pi \times 50} = 0.00041K/W$$

وهي مقاومة التوصيل للماسورة.

نفس الشيء: $R = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_2} = \frac{\ln(97/57)}{2\pi \times 0.09} = 0.94K/W$ وهي مقاومة طبقة الـ

diatomaceous

$$R = \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_3} = \frac{\ln(97/57)}{2\pi \times 0.07} = 1.095K/W$$

وهي مقاومة شريحة الأسبستوس

أيضاً من المعادلة: $R = \frac{1}{hA}$ نحسب مقاومة الحمل للهواء، فنجد:

$$R = \frac{1}{15 \times 2\pi \times 157 \times 10^{-3} \times 1} = 0.0675K/W$$

تكون المقاومة الحرارية الكلية:

$$R_{tot} = 0.00579 + 0.000417 + 0.94 + 1.095 + 0.0675 = 2.1087K/W$$

لاحظ أن المقاومة الحرارية لسريان الحرارة للماسورة المعدنية قيمتها صغيرة جداً، أيضاً في هذه الحالة فإن مقاومة الشريحة على السطح الداخلي تكون صغيرة جداً وذلك بسبب أن معامل انتقال الحرارة للبخر قيمته عالية.

$$\frac{q}{l} = \frac{t_A - t_B}{R_{tot}} = \frac{260 - 15}{2.1087} = 116W/m$$

وهو معدل فقد الحرارة لكل 1m من طول الماسورة.

2- باستخدام التناظر الكهربائي لشريحة الهواء نجد:

$$\frac{q}{l} = 116 = \frac{t - 15}{0.0675}$$

$$t = (116 \times 0.0675) + 15 = 22.8C^o \text{ ومنه:}$$

التمرين الخامس

فرن نصف كروي يتم بناؤه بطبقة داخلية من طوب الحريق العازل بسمك 125mm، وبغطاء خارجي من الـ magnesia بسمك 40mm. يكون السطح الداخلي للفرن عند 800°C ومعامل انتقال الحرارة للسطح الخارجي 10W/m²K؛ درجة حرارة الغرفة هي 20°C. أحسب معدل فقد الحرارة خلال الفرن إذا كان نصف القطر الداخلي 0.6m خذ الموصلية الحرارية لطوب الحريق و الـ magnesia k = 0.31 و 0.05W/mK على

الترتيب.

الحل:

من المعادلة: $R = \frac{(r_2 - r_1)}{4\pi k r_1 r_2}$ نحسب المقاومة الحرارية لطوب الحريق:

$$R = \frac{(r_2 - r_1)}{4\pi k r_1 r_2} = \frac{0.125}{4\pi \times 0.31 \times 0.6 \times 0.725} = 0.147K/W$$

بالمثل نجد المقاومة الحرارية للـ magnesia

$$R = \frac{0.04}{4\pi \times 0.05 \times 0.725 \times 0.765} = 0.2295K/W$$

أيضاً نحسب المقاومة الحرارية للسطح الخارجي الذي على تماس مع الهواء باستخدام المعادلة:

$$R = \frac{1}{hA} = \frac{1}{10 \times 2\pi \times 0.765^2} = 0.0272K/W$$

بالتالي نحصل على $R_{tot} = 0.1478 + 0.2295 + 0.0272 = 0.4045K/W$

ثم باستخدام العلاقة:

$$q = \frac{t_A - t_B}{R_{tot}} = \frac{800 - 20}{0.4045} = 1930W = 1.93kW$$