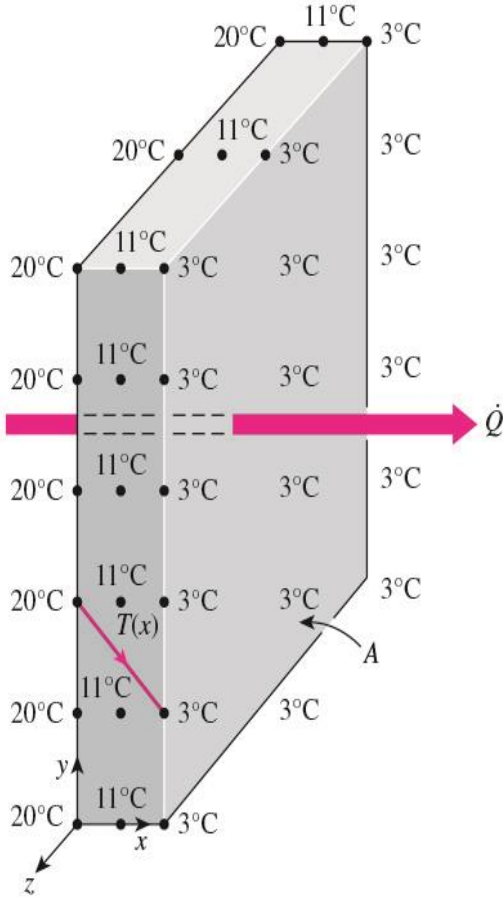


5. HAFTA
SÜREKLİ ISI İLETİMİ

DÜZLEM DUVARLARDA SÜREKLİ ISI İLETİMİ



ŞEKİL 3-1

Bir duvarın sıcaklığı yalnız bir doğrultuda değişiyorsa bu duvarda ısı transferi tek boyutludur.

Evin duvarındaki ısı transferi sürekli ve tek boyutlu olarak modellenabilir.

Bu durumda duvardaki sıcaklık yalnızca bir doğrultuya (mesela x doğrultusu) bağlı olur ve $T(x)$ olarak gösterilebilir.

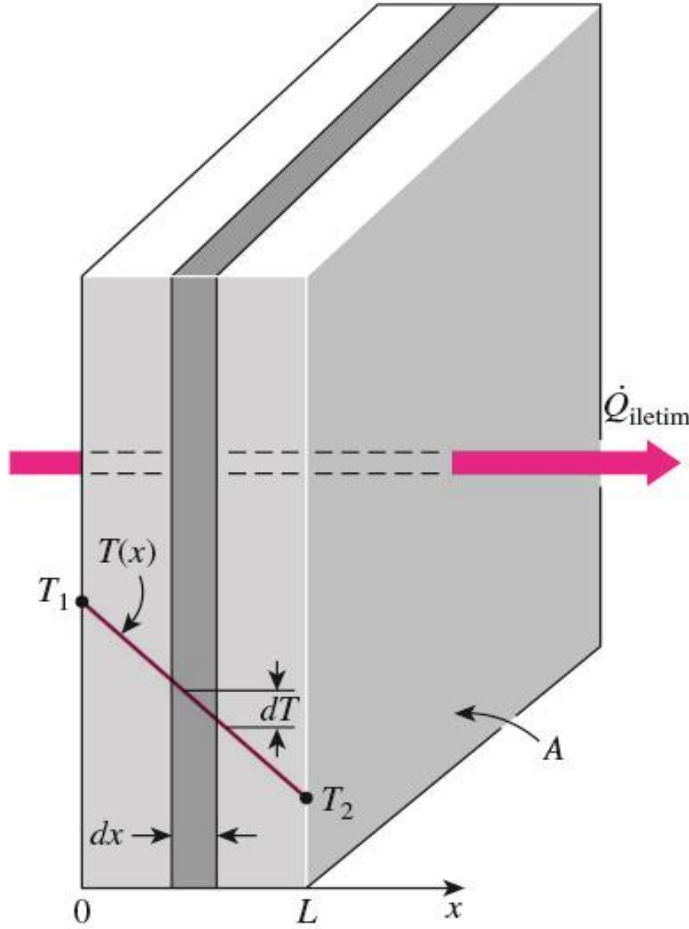
$$\left(\begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{heat transfer} \\ \text{into the wall} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{heat transfer} \\ \text{out of the wall} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Rate of change} \\ \text{of the energy} \\ \text{of the wall} \end{array} \right)$$

$$\dot{Q}_{\text{in}} - \dot{Q}_{\text{out}} = \frac{dE_{\text{wall}}}{dt} \quad dE_{\text{wall}}/dt = 0$$

sürekli işlemdе

Duvarın içine olan ısı transfer hızı, duvardan dışarı olan ısı transfer hızına eşit olmalıdır. Bir başka deyişle duvardaki ısı transfer hızı sabit olmalıdır.

$$\dot{Q}_{\text{cond, wall}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W}) \quad \text{Fourier ısı iletim kanunu}$$



ŞEKİL 3-2

Sürekli şartlarda bir düzlem duvarda sıcaklık dağılımı düz bir doğrudur.

$$\dot{Q}_{\text{cond, wall}} = -kA \frac{dT}{dx}$$

$$\int_{x=0}^L \dot{Q}_{\text{cond, wall}} dx = - \int_{T=T_1}^{T_2} kA dT$$

$$\dot{Q}_{\text{cond, wall}} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (\text{W})$$

Bir düzlem duvardaki ısı iletim hızı, ortalama ısı iletim katsayısı duvar alanı ve sıcaklık farkı ile doğru orantılı, fakat duvarın kalınlığıyla ters orantılıdır.

Herhangi bir \$x\$ konumundaki \$T(x)\$ sıcaklığı \$T_2\$ yerine \$T\$ ve \$L\$ yerine \$x\$ koyularak hesaplanabilir.

Sürekli şartlarda bir düzlem duvarda sıcaklık dağılımı düz bir doğrudur.

Isıl Direnç Kavramı

$$\dot{Q}_{\text{cond, wall}} = kA \frac{T_1 - T_2}{L}$$

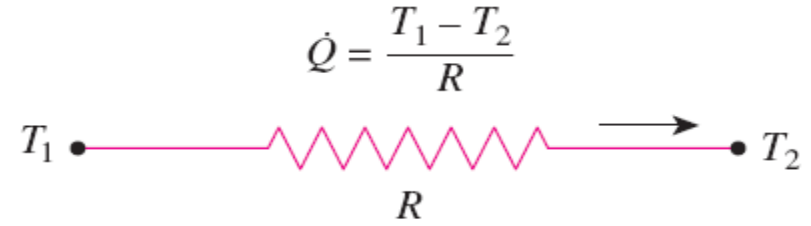
$$\dot{Q}_{\text{cond, wall}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{wall}}} \quad (\text{W})$$

$$R_{\text{wall}} = \frac{L}{kA} \quad (^\circ\text{C/W})$$

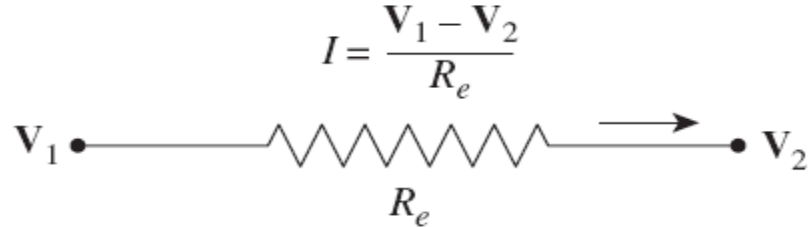
Isı iletimine karşı duvarın ısı direnci veya basitçe duvarın iletim direncidir.

Bir ortamın ısı direnci ortamın geometrisine ve ısı özelliklerine bağlıdır.

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_e} \quad R_e = L/\sigma_e A \quad \text{Elektriksel iletkenlik}$$



(a) Heat flow



(b) Electric current flow

Isıl ve elektriksel direnç kavramları arasındaki benzerlik

Isı transfer oranı → Elektrik akımı
Isıl direnç → Elektrik direnç
Sıcaklık farkı → Voltaj farkı

Isı transfer hızı elektrik akımına, ısı direnç elektrik direncine ve sıcaklık farkı katmandaki gerilim farkına karşılık gelir.

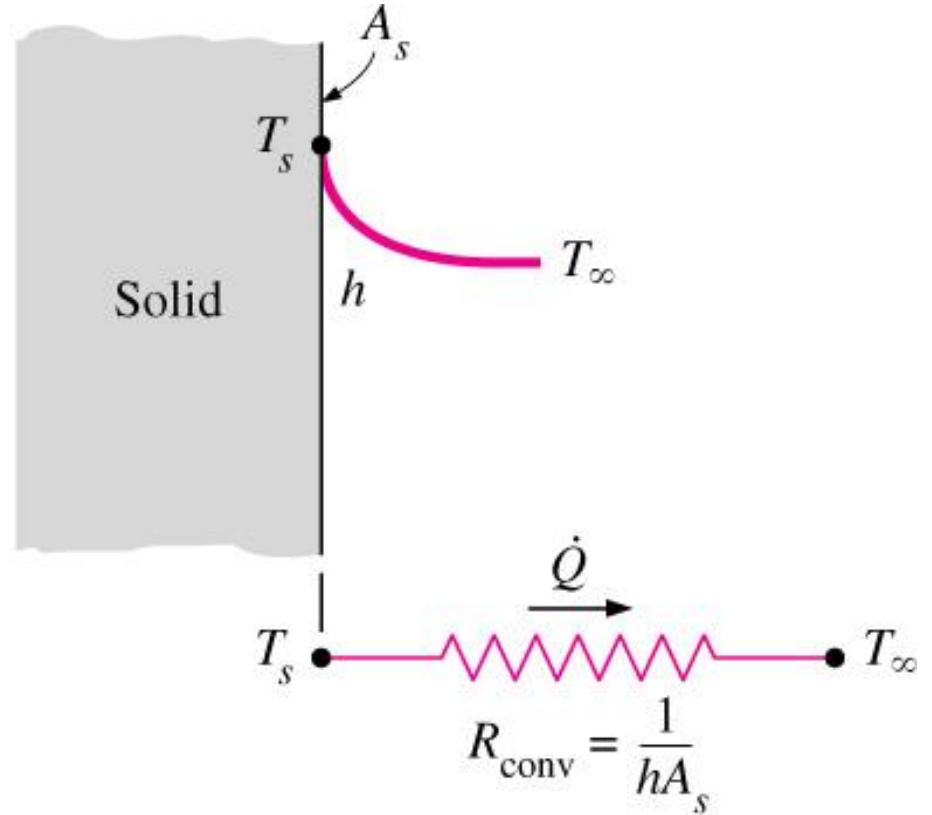
Newton's law of cooling

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA_s (T_s - T_\infty)$$

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{\text{conv}}} \quad (\text{W})$$

$$R_{\text{conv}} = \frac{1}{hA_s} \quad (^\circ\text{C/W})$$

Isı taşınımına karşı yüzeyin ısıl direnci veya duvarın taşınım direncidir.



Bir yüzeyde taşınım direncinin şematik gösterimi

Taşınım ile ısı transfer katsayısı çok büyük ($h \rightarrow \infty$) olduğu zaman, taşınım direncinin sıfır ve $T_s \approx T_\infty$ olacağına dikkat edilmelidir.

Yani yüzey taşınımına direnç göstermez ve dolayısıyla ısı transfer işlemini yavaşlatmaz.

Bu duruma kaynama ve yoğuşmanın olduğu yüzeyler yakındır.

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon\sigma A_s (T_s^4 - T_{\text{surr}}^4) = h_{\text{rad}} A_s (T_s - T_{\text{surr}}) = \frac{T_s - T_{\text{surr}}}{R_{\text{rad}}}$$

$$R_{\text{rad}} = \frac{1}{h_{\text{rad}} A_s} \quad (\text{K/W}) \quad \text{Işınım karşı yüzeyin ısı direnci veya ışınım direnci}$$

$$h_{\text{rad}} = \frac{\dot{Q}_{\text{rad}}}{A_s (T_s - T_{\text{surr}})} = \varepsilon\sigma (T_s^2 + T_{\text{surr}}^2)(T_s + T_{\text{surr}}) \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$$

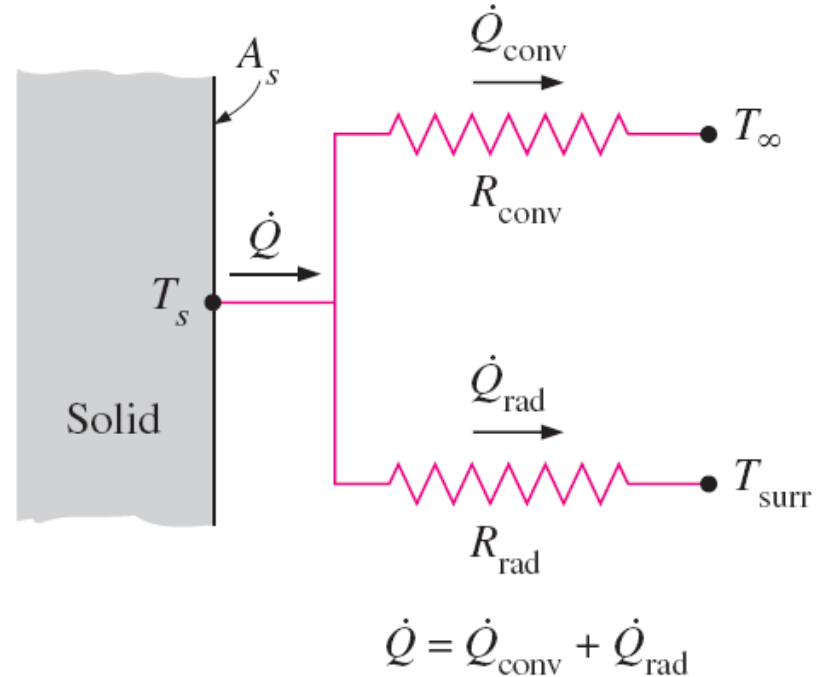
Işınım ısı transfer katsayısı

When $T_{\text{surr}} \approx T_{\infty}$

$$h_{\text{combined}} = h_{\text{conv}} + h_{\text{rad}}$$

Kombine ısı transfer katsayısı

Bir yüzeyde taşınım ve ışınım dirençlerinin şematik gösterimi.



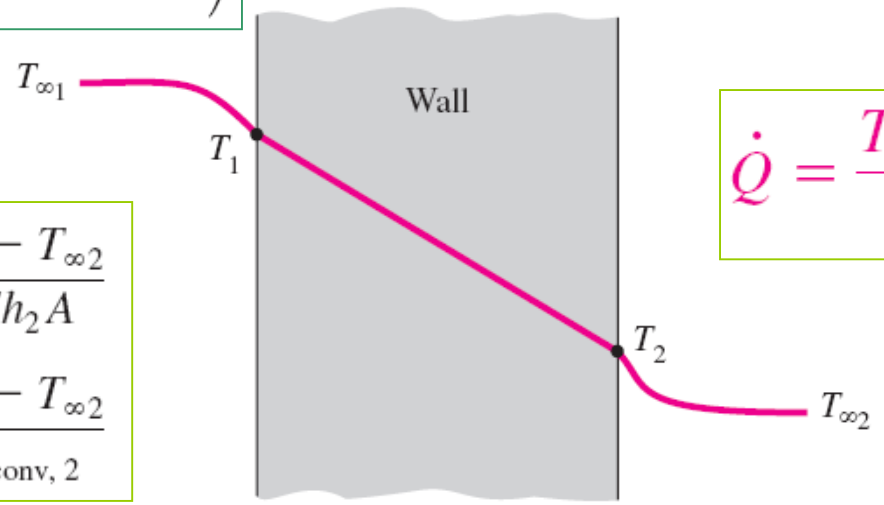
$$\left(\begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{heat convection} \\ \text{into the wall} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{heat conduction} \\ \text{through the wall} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{heat convection} \\ \text{from the wall} \end{array} \right)$$

Isıl Direnç Ağı

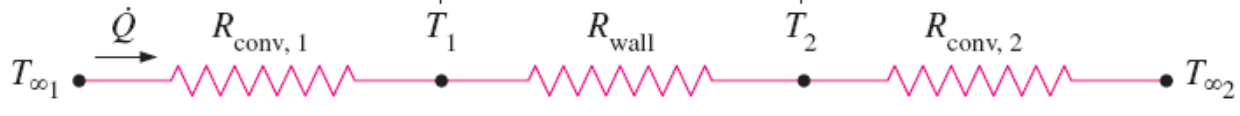
$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{1/h_1 A} = \frac{T_1 - T_2}{L/kA} = \frac{T_2 - T_{\infty 2}}{1/h_2 A}$$

$$= \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{\text{conv}, 1}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{wall}}} = \frac{T_2 - T_{\infty 2}}{R_{\text{conv}, 2}}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{total}}}$$

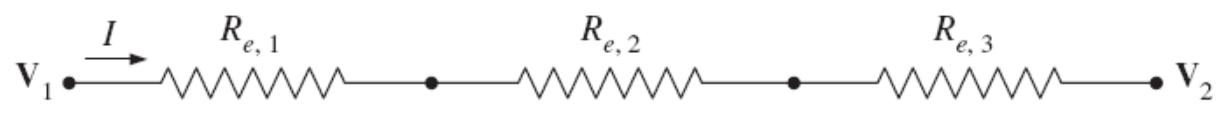


$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{conv}, 1} + R_{\text{wall}} + R_{\text{conv}, 2}}$$



Thermal network

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_{e, 1} + R_{e, 2} + R_{e, 3}}$$



Electrical analogy

Yüzeylerinde taşınımına açık bir düzlem duvarda ısı transferi için ısı direnç devresi ve elektrik benzeşimi

$$R_{\text{total}} = R_{\text{conv}, 1} + R_{\text{wall}} + R_{\text{conv}, 2} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2 A} \quad (^\circ\text{C/W})$$

Sıcaklık Düşüşü

$$\Delta T = \dot{Q}R \quad (^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = UA \Delta T \quad (\text{W})$$

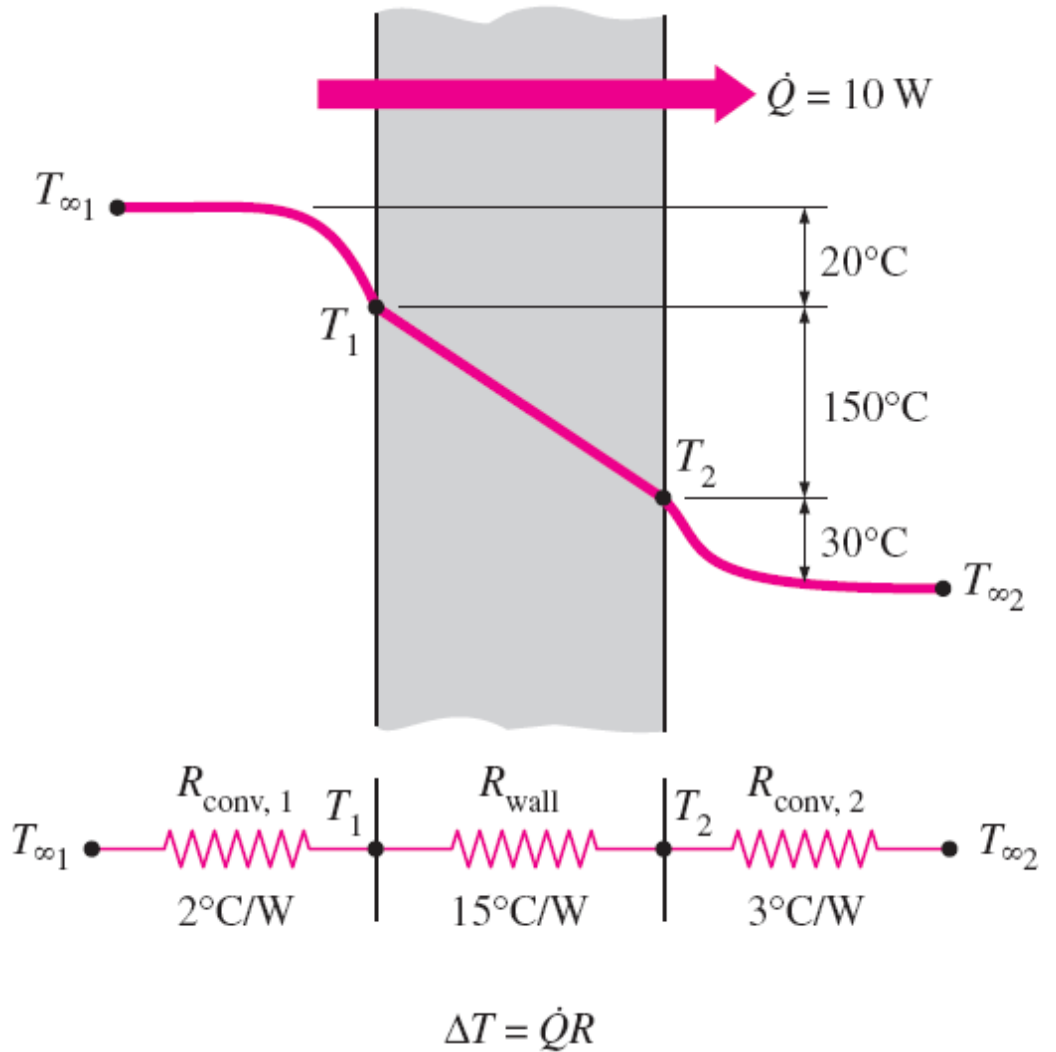
$$UA = \frac{1}{R_{\text{total}}} \quad (^\circ\text{C}/\text{K})$$

U Genel ısı katsayısı

U Toplam ısı transfer Katsayısı

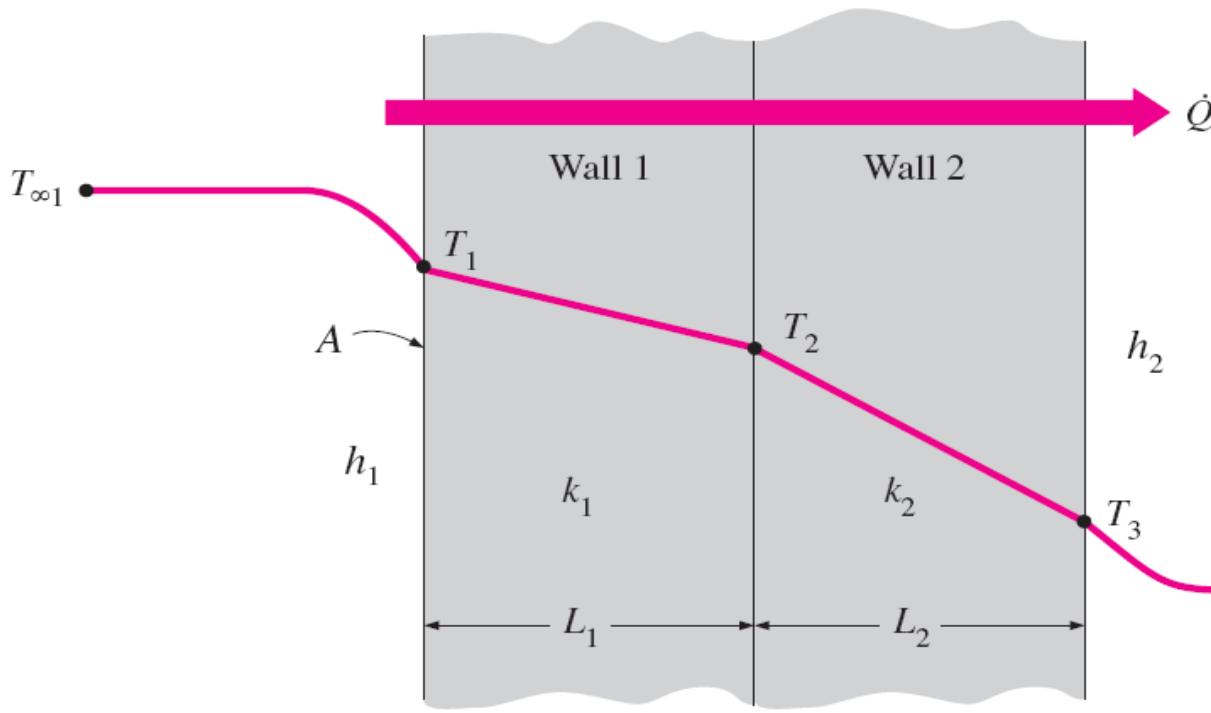
Mesela Q hesaplandıktan sonra T1 yüzey sıcaklığı şu bağıntıdan bulunabilir:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{\text{conv}, 1}} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{1/h_1 A}$$

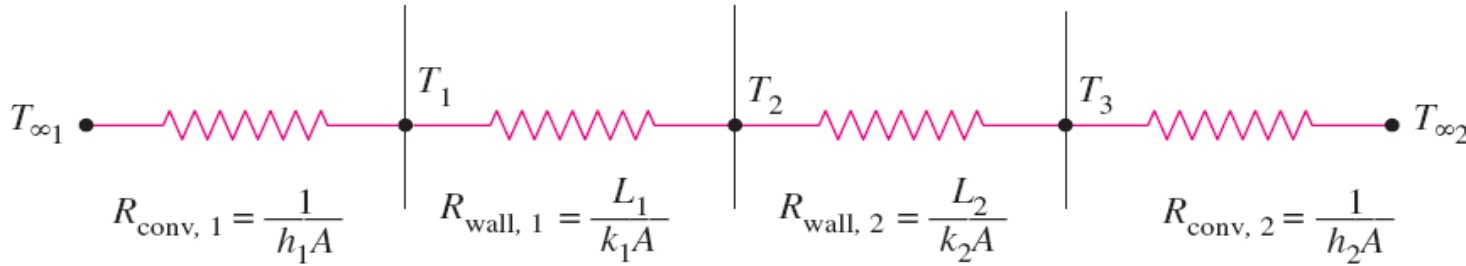


Bir tabaka boyunca sıcaklık düşüşü tabakanın ısı direnciyle orantılıdır

Çok Katmanlı Düzlem Duvarlar



Her iki tarafında taşınım olan iki katmanlı bir düzlem duvarda ısı transferi için ısı direnç ağı.

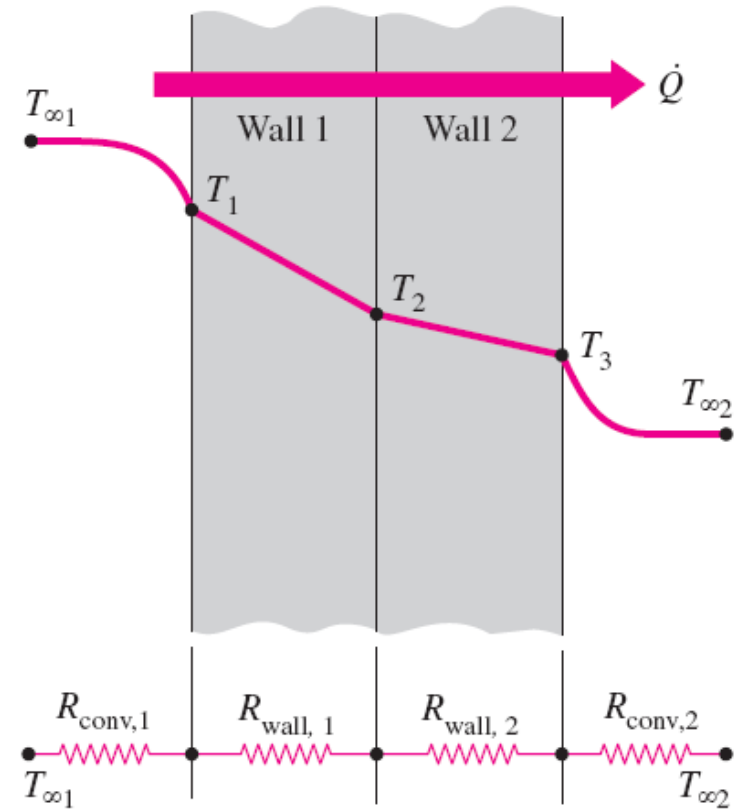


$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{total}}}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= R_{\text{conv}, 1} + R_{\text{wall}, 1} + R_{\text{wall}, 2} + R_{\text{conv}, 2} \\ &= \frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{1}{h_2 A} \end{aligned}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_i - T_j}{R_{\text{total}, i-j}}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_2}{R_{\text{conv}, 1} + R_{\text{wall}, 1}} = \frac{T_{\infty 1} - T_2}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A}}$$



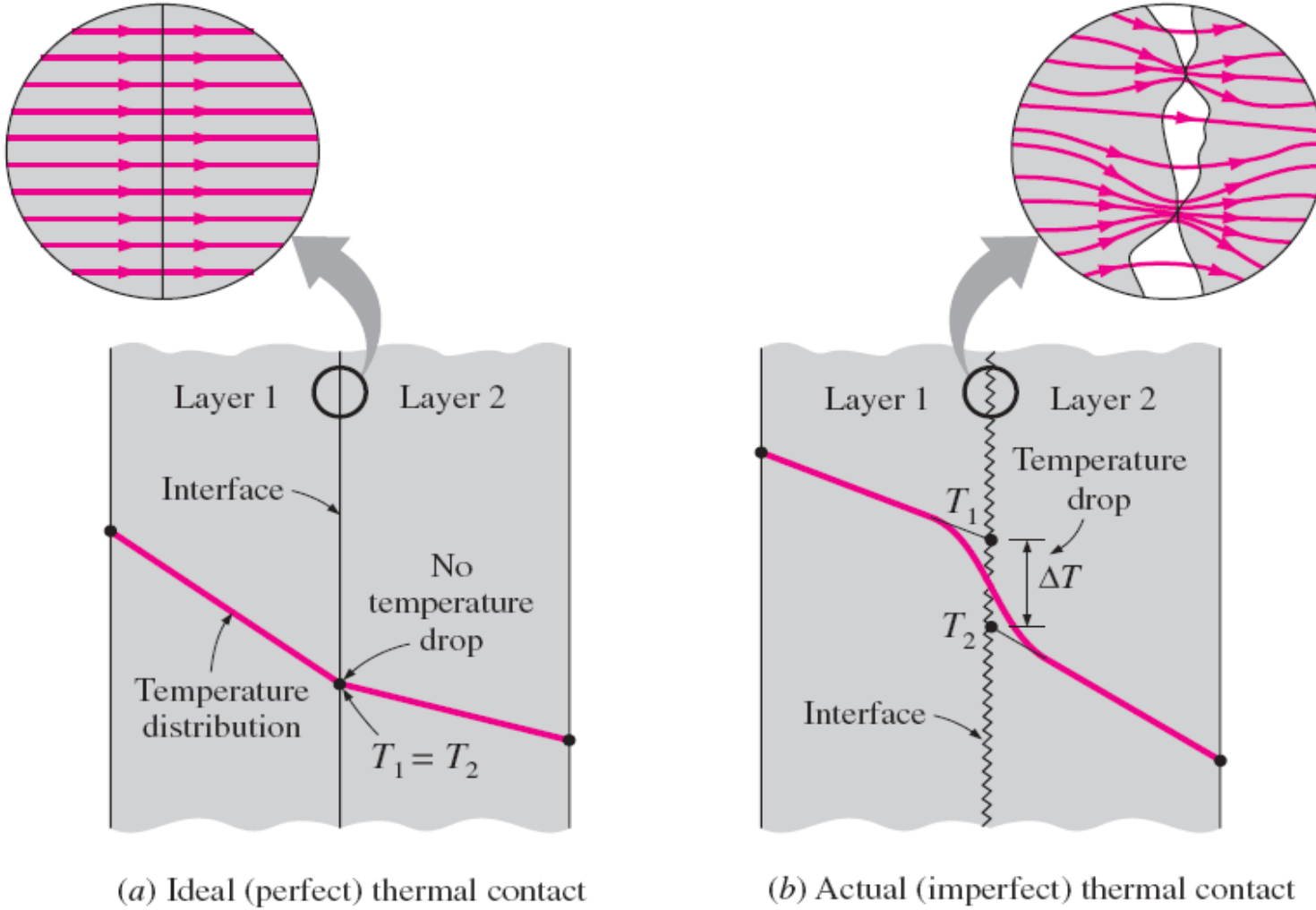
$$\text{To find } T_1: \dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{\text{conv}, 1}}$$

$$\text{To find } T_2: \dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_2}{R_{\text{conv}, 1} + R_{\text{wall}, 1}}$$

$$\text{To find } T_3: \dot{Q} = \frac{T_3 - T_{\infty 2}}{R_{\text{conv}, 2}}$$

T1 ve T2 sıcaklıkları verilmiş ve Q hesaplanmışsa yüzey ve ara yüze sıcaklıkların bulunuşu.

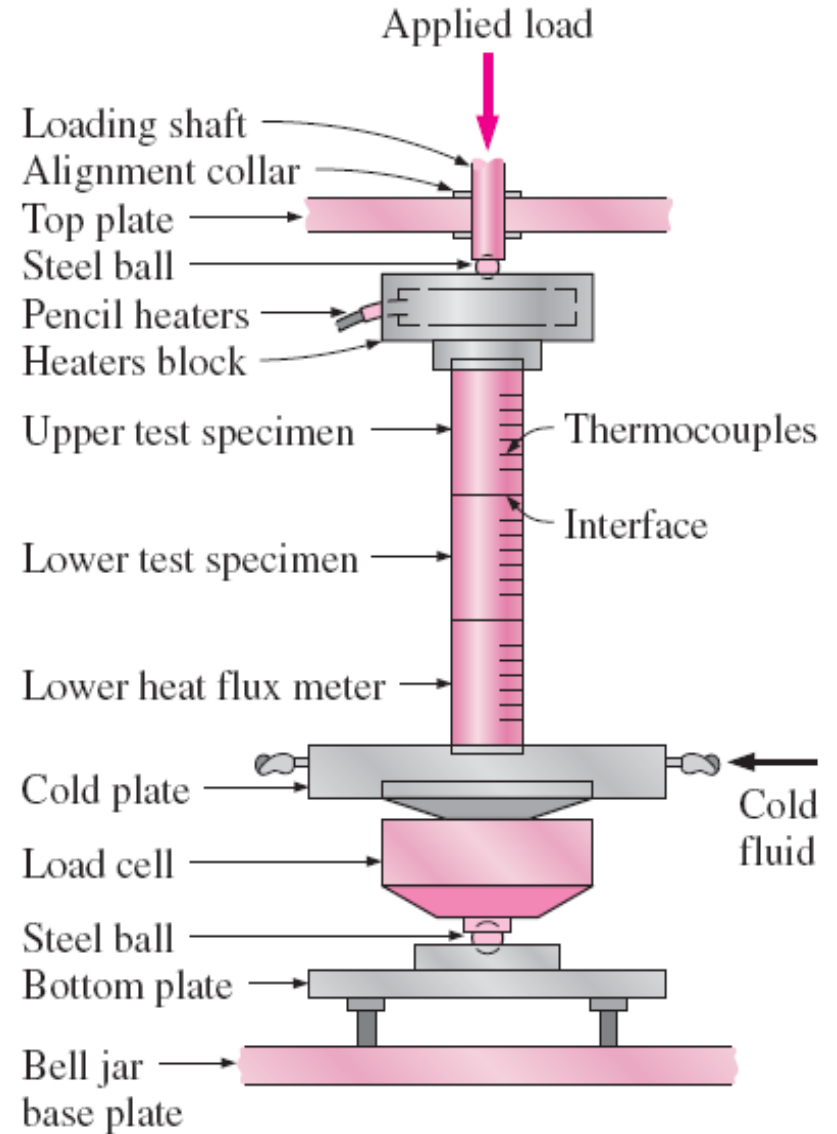
ISIL TERMAL DİRENCİ



Birbirine doğru bastırılan iki katı levha boyunca, mükemmel ve mükemmel olmayan temas durumlarında sıcaklık dağılımı ve ısı akış hatları

- İki yüzey birbirine doğru bastırıldıkları zaman, çıkıntılar iyi malzeme teması sağlar ama girintilerde hava boşlukları kalır.
- Sonuç olarak bir ara yüzey, **havanın düşük** ısı iletkenliğinden dolayı yalıtım gibi davranan farklı büyüklüklerde çok sayıda hava boşluğu içerir.
- Bu yüzden, bir ara yüzey ısı geçişine karşı bir miktar direnç gösterir ve birim ara yüzey alanı başına bu direnç, **R_c ısı temas direnci** olarak adlandırılır.

Isıl temas direncini bulmak için tipik bir deney düzeneği



$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{contact}} + \dot{Q}_{\text{gap}}$$

$$\dot{Q} = h_c A \Delta T_{\text{interface}} \quad h_c \text{ thermal contact conductance}$$

$$h_c = \frac{\dot{Q}/A}{\Delta T_{\text{interface}}} \quad (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$R_c = \frac{1}{h_c} = \frac{\Delta T_{\text{interface}}}{\dot{Q}/A} \quad (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W})$$

$$R_{c, \text{insulation}} = \frac{L}{k} = \frac{0.01 \text{ m}}{0.04 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{c, \text{copper}} = \frac{L}{k} = \frac{0.01 \text{ m}}{386 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}} = 0.000026 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Isıl temas

direncinin değeri:

- ara yüzeyde sıcaklık ve basınç ve ara yüzeyde hapsedilen akışkanın tipine olduğu kadar,
- yüzeyin pürüzsüzlüğüne,
- malzeme özelliklerine bağlıdır.

Metaller gibi iyi iletkenler için ısı temas direncinin önemli olduğu ve hatta ısı transferini belirledikleri; fakat yalıtımlar gibi kötü ısı iletkenlerde ihmal edilebilecekleri sonucuna varılır.