

Isıl iletkenlik katsayısı

- Isıl iletkenlik katsayısı (k): Bir malzemenin birim kalınlığı boyunca birim alandan birim sıcaklıkta ısı transfer hızıdır.

$$q_y = -k \frac{dT}{dy}$$

- Yüksek bir k, değeri malzemenin ısıyı iyi ilettiğini göstermektedir.
- Düşük k'ya sahip malzemeler ise yalıtkan olarak isimlendirilir.

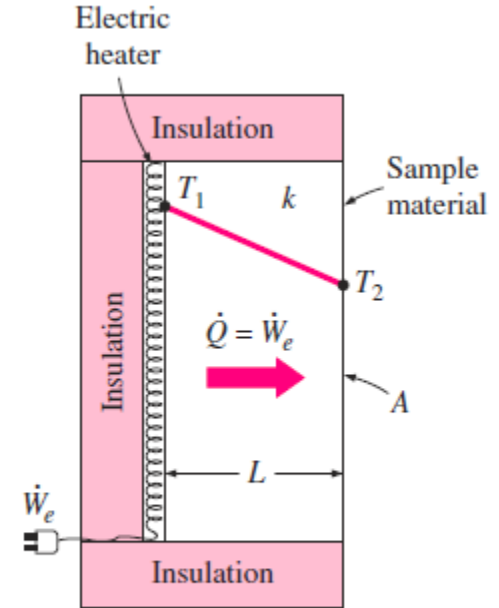
- Malzeme ısı iletkenlikleri ihtiyaç duyulduğunda, ilk olarak literatürdeki kaynaklardan (*handbooks*) deneysel değerlere bakılır.

- İhtiyaç duyulan sıcaklık, basınç, kompozisyonda gerçekleştirilmiş deneylerden elde edilmiş olmalıdır.

Material	k, W/m · °C*
Diamond	2300
Silver	429
Copper	401
Gold	317
Aluminum	237
Iron	80.2
Mercury (l)	8.54
Glass	0.78
Brick	0.72
Water (l)	0.613
Human skin	0.37
Wood (oak)	0.17
Helium (g)	0.152
Soft rubber	0.13
Glass fiber	0.043
Air (g)	0.026
Urethane, rigid foam	0.026

Isıl iletkenlik katsayısı

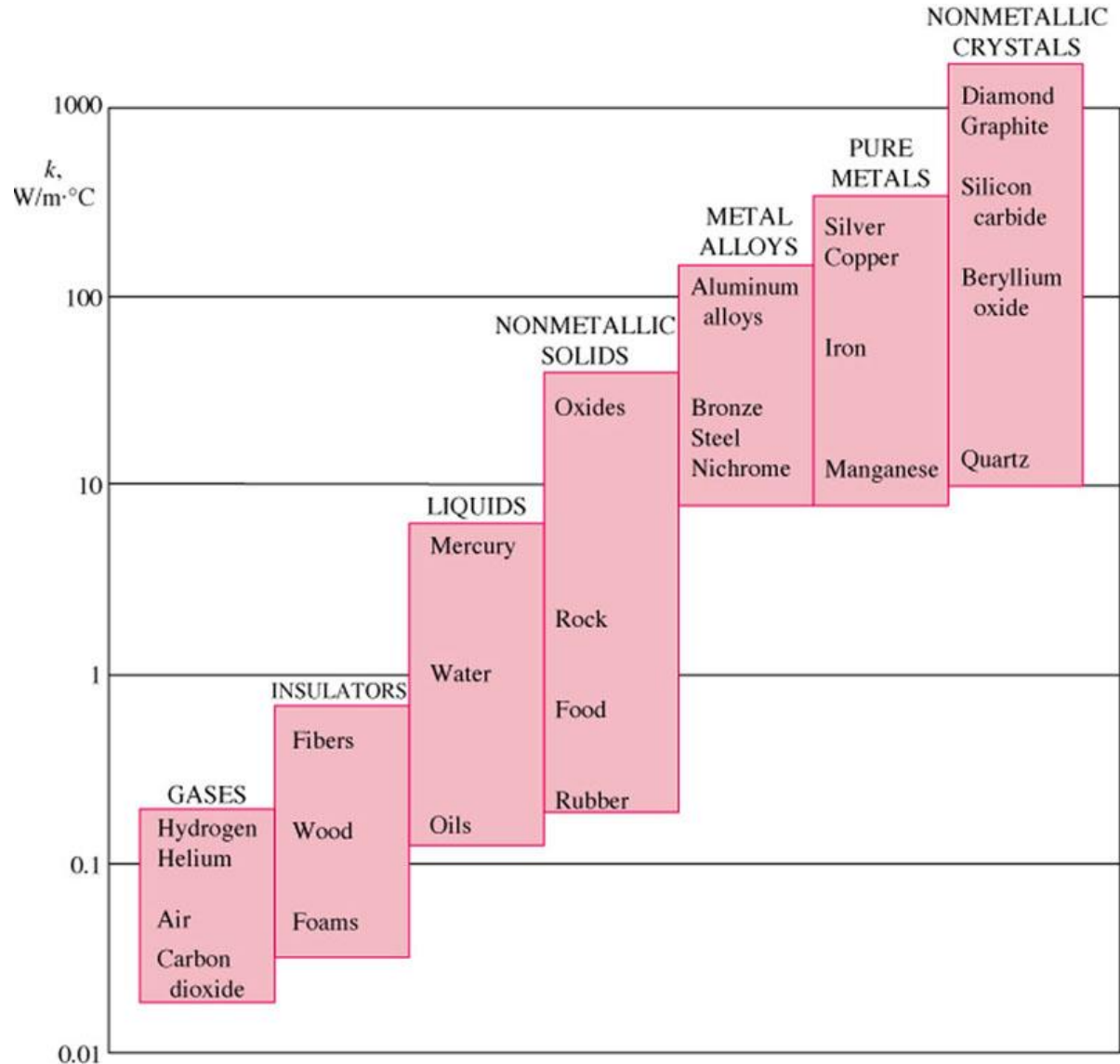
- Bilinen kalınlıkta bir malzeme bir tarafından elektriksel olarak ısıtılarak, k ölçülebilir.
- Isıtıcının dış yüzeyleri iyi bir şekilde yalıtılmışsa, ısıtıcıdan açığa çıkan tüm ısı k 'sı ölçülecek malzemeye iletilecektir.
- Bu durumda malzemenin her iki yüzeyindeki sıcaklık ölçülerek ısı iletkenlik katsayısı hesaplanabilir.



$$k = \frac{L}{A(T_1 - T_2)} \dot{Q}$$

Farklı Malzemelerin ısı iletkenlikleri

- Kristal ve metallerin ısı iletkenlikleri yüksek iken, gazların ısı iletkenlikleri çok düşüktür.



Gazların ısı iletkenlikleri

- Gazların kinetik teorisi kullanılarak tek atomlu gazlarda k için aşağıdaki denklem türetilmiştir.

- T : Mutlak sıcaklık (K°)

- M : atomik ağırlık

- σ ve Ω Lennard-Jones parametreleri

$$k = 8.32 \times 10^{-2} \frac{\sqrt{T/M}}{\sigma^2 \Omega}$$

- Tek atomlu gazlar için ısı iletkenlik katsayısı ile viskozite arasında yandaki ilişki kurulabilir.

$$k = \frac{15R\mu}{4M} = \frac{5\hat{C}_v\mu}{2}$$

- R : İdeal gaz sabiti

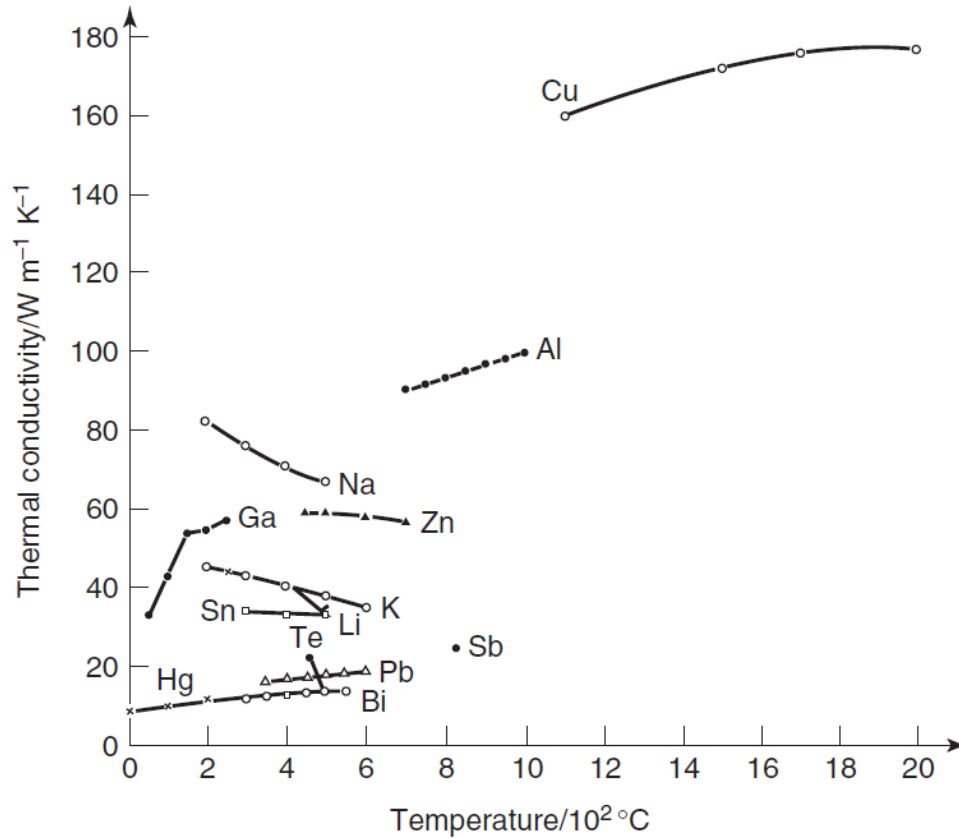
- $\hat{C}_v$: Kütle başına ısı transfer kapasitesi

❖ **Gazların ısı iletkenliği artan sıcaklıkla artmakta, artan molekül ağırlıkla ise azalmaktadır.**

Sıvıların ısı iletkenlikleri

- Sıvıların ısı iletkenlikleri genelle gazlarla katıların arasındadır.

Saf sıvı metallerin sıcaklığa bağlı ısı iletkenlikleri

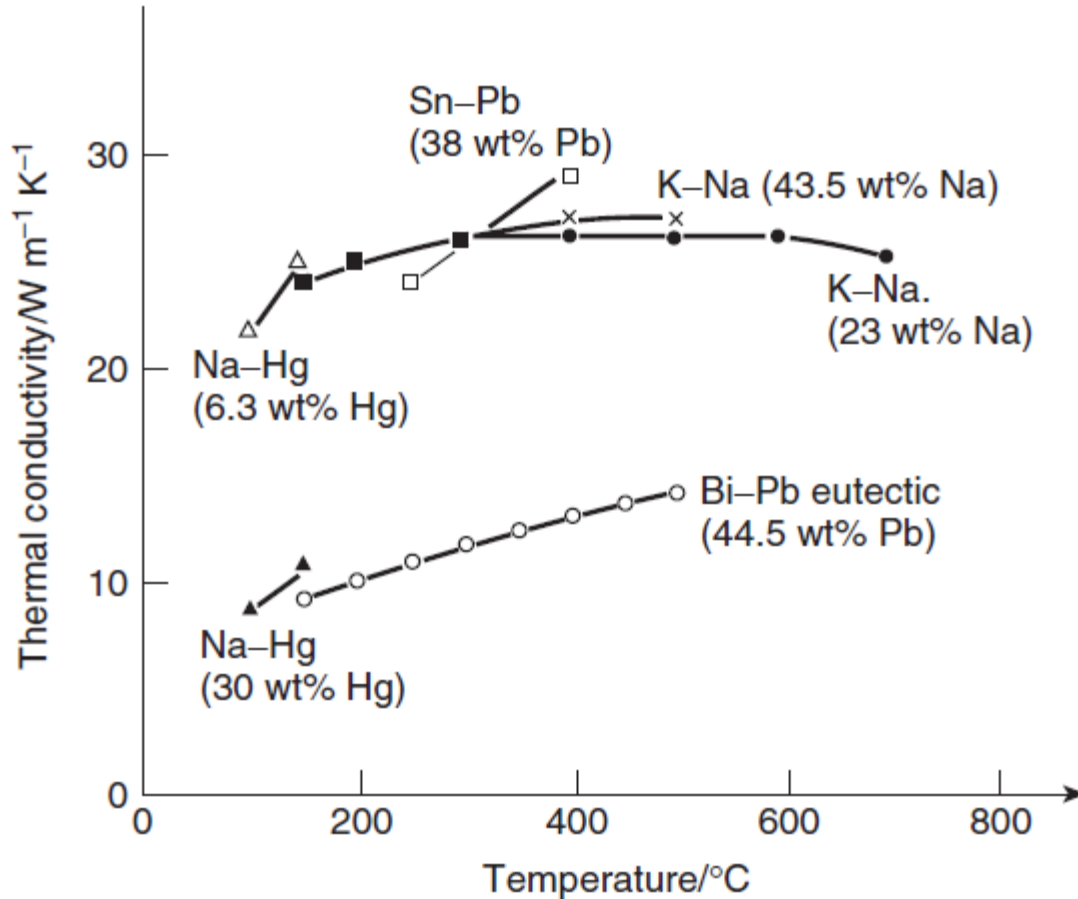


- Sıvı ısı iletkenlikleri, aynı maddenin katı formuna göre genellikle daha düşüktür.**

Sıvıların ısı iletkenlikleri

- Sıvılarda, ısı iletkenlik için eşitlik geliştirmek güç olduğundan, genellikle empirik ifadeler veya grafiklerden yararlanılmaktadır.

Sıvı alaşımların sıcaklığa bağlı ısı iletkenlikleri

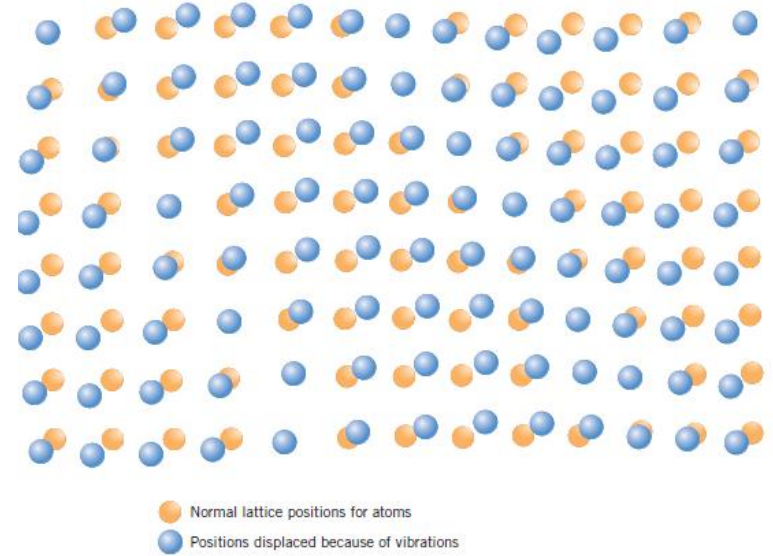


Katıların ısı iletkenlikleri

- Katılarda termal enerji iki mod ile iletilir:

1. Latis titreşimsel dalgalar (Lattice vibrational waves)

- Periyodik bir şekilde belirli pozisyonlarda bulunan moleküllerin titreşim hareketleri
- Latisteki ısı taşıyıcıları bir dalga olarak tarif edilebilir ve bu ısı taşıyıcılarına fonon adı verilir.
- Fononların taşıdığı ısı enerjisi, titreşim dalgalarının doğrultusunda iletilir.

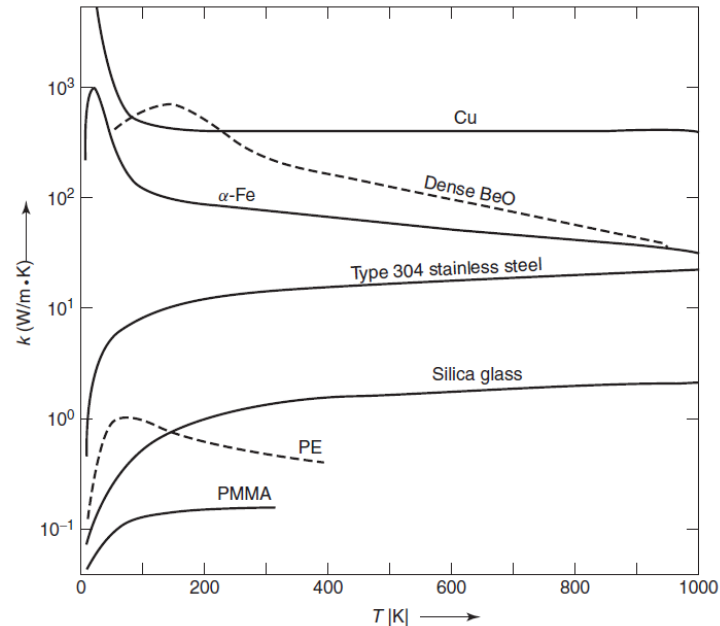


2. Elektronların serbest akışı ile (free flow of electrons)

- Latise doğru serbest elektronların hareketleri (**özellikle metallerde görülür**)
- İletkenliği sağlayan serbest elektronlardır.
- Numunenin sıcak bölgesindeki serbest elektronların, kinetik enerjileri sıcaklıktan dolayı artar.
- Numunenin soğuk bölgelerine göç eden bu elektronlar, atomlarla çarpışma veya kristaldeki kusurlar ile etkileşime girerek kinetik enerjilerini iletirler

Katıların ısı iletkenlikleri

- Isıl iletkenlik (k) = Latis bileşeni (k_l) + elektron bileşeni (k_e)
- Latis bileşeni moleküllerin düzenliliğine bağlıdır. Örneğin, elmas (çok düzenli kristal yapıda) yüksek bir ısı iletkenliğe sahiptir.
- Isı iletiminin hangi (Fononlar veya elektronlar) bileşeninin daha önemli olduğuna göre ısı iletkenlik katsayısının sıcaklığa göre değişimi farklılık göstermektedir.
- Düzenli malzemelerde (saf metal, saf seramik ve kristal yapıdaki polimerlerde) ısı iletkenlik sıcaklık arttıkça, azalmaktadır.
- Düzenli olmayan malzemelerde ise genelde ısı iletkenlik, sıcaklık arttıkça, artmaktadır.
- Bakır, α -Demir, polietilen ve BeO gibi düzenli malzemelerde kayda değer bir bölgede ısı iletkenlikleri artan sıcaklıkla azalmaktadır. (latis titreşimlerinin saçılması)
- PMMA, cam, ve paslanmaz çelik gibi düzensiz malzemelerde ise ısı iletkenlik sıcaklık arttıkça artmaktadır.



Metallerin ısı iletkenlikleri

- Alaşımların, ısı iletkenliği saf metallerden daha düşüktür.
- Genellikle alaşımların ısı iletkenliği, alaşımı oluşturan her iki metalin ısı iletkenliğinden de daha düşüktür.
- Alaşımlama ile ısı iletkenliğın düşmesi malzeme tasarımında önemli bir unsurdur.
- Alaşımların ısı iletkenlikleri artan sıcaklıkla artmaktadır.
- Alaşımdaki atomlar, serbest elektronların hareketliliğini düşürücü saçılma odakları olarak davranırlar.

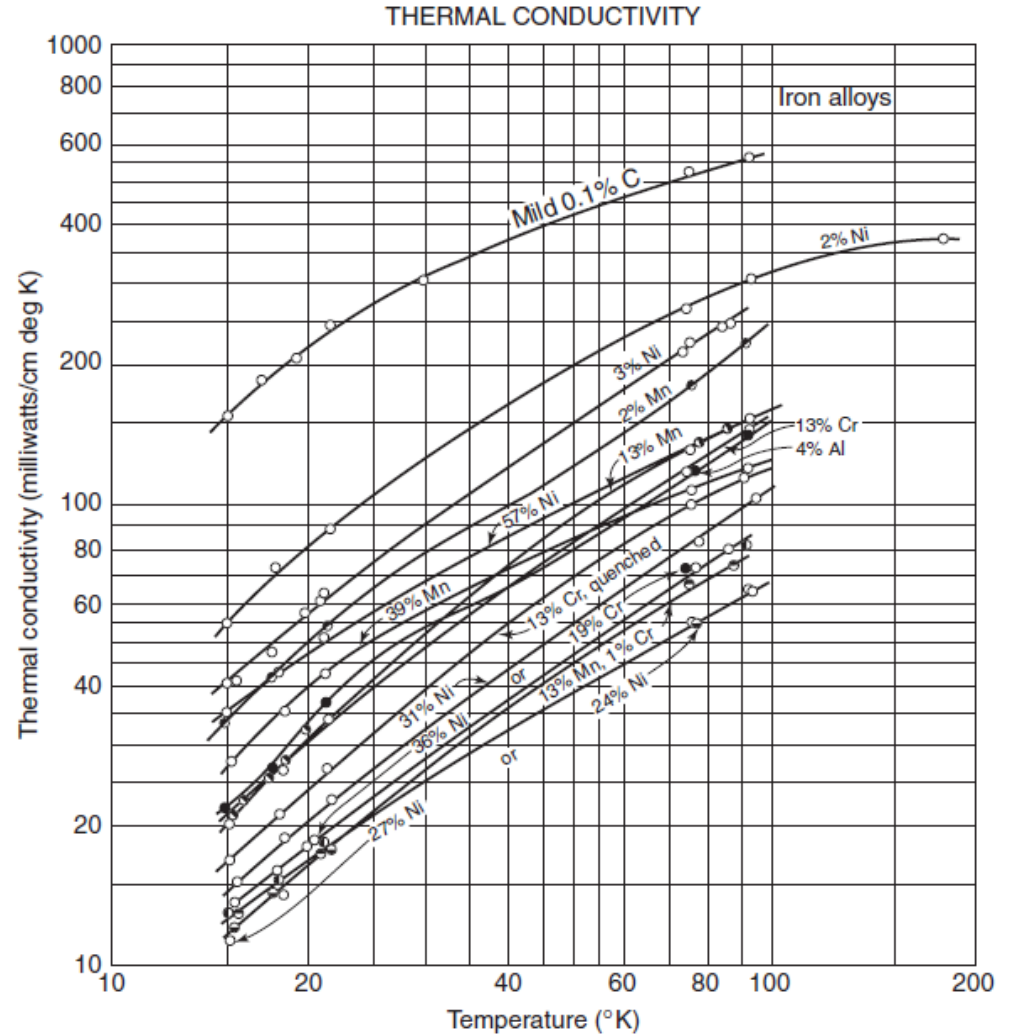


Figure 4.27 Thermal conductivity of some iron alloys. Reprinted, by permission, from Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, 2nd ed., p. 151. Copyright © 1957 by John Wiley.

Farklı Malzemelerin ısı iletkenlikleri

Metaller

- Yüksek saflıktaki metallerde, elektronların ısı iletimine olan katkısı (k_e), fononların katkısından (k_l) çok daha fazladır.
 - Bunun nedeni; elektronların fononlara göre daha az saçılır olması ve daha yüksek hızlara sahip olmasıdır.
- Metallerin ısı iletkenliği sağlayan çok sayıda serbest elektrona sahip olması nedeniyle, ısı iletkenlikleri yüksektir.
- Genellikle 20-400 W/m.K

Seramikler

- Metalik olmayan malzemeler serbest elektrona sahip olmadıkları için, ısı iletimi açısından yalıtıkcıdır.
- ısı iletkenlik fononlar tarafından sağlanır (k_e değeri k_l değerinden çok daha küçük)
- Genellikle 2-50 W/m.K
- Cam ve diğer amorf yapıdaki seramiklerin ısı iletkenlikleri, kristal yapıli seramiklere göre daha düşüktür.
 - Atomsal yapıdaki düzensizliklerin fononların saçılmasına neden olması
- Porozitedeki artış ile ısı iletkenlik azalır.

Farklı Malzemelerin ısı iletkenlikleri

Polimerler

- Isı iletimi, zincir moleküllerinin titreşim ve dönmesi ile sağlanır.
- Isı iletkenlik polimerin kristalleşme derecesine bağlıdır.
- Kristal içeriği yüksek bir polimerin ısı iletkenliği eşdeğer amorf malzemedenden daha yüksektir.
 - Titreşimlerin daha rahat iletilmesi
- Genellikle yalıtkan olarak kullanılır
- Çoğu polimer için $0,3 \text{ W/m.K}$ mertebesinde
- Porozitedeki artış ile ısı iletkenlik daha da azalır.

Farklı Malzemelerin ısı iletkenlikleri

	k (W/m-K)	Enerji transfer mekanizması
Artan k	• <u>Metaller</u>	
	Alüminyum	247
	Çelik	52
	Wolfram	178
	Altın	315
		serbest elektronların hareketi ve atomik titreşimler
	• <u>Seramikler</u>	
	Magnezyum oksit (MgO)	38
	Alumina (Al_2O_3)	39
	Cam	1.7
	Silika (cryst. SiO_2)	1.4
		Atomik titreşimler
	• <u>Polimerler</u>	
	Polipropilen	0.12
	Polietilen	0.46-0.50
	Polistiren	0.13
	Teflon	0.25
		Zincirlerin titreşim ve rotasyonu

Kompozitlerin ısı iletkenlikleri

- Kompozit malzemelerde efektif ısı iletkenlik (k_{eff}) kavramı kullanılır.
- Buna göre kompozit, ısı iletkenlik katsayısı (k_{eff}) olan bir homojen malzeme olarak kabul edilir.
- Takviye edici malzemenin tip ve miktarına göre farklı eşitlikler geliştirilmiştir.
- Bu eşitliklerde

k_1 : Partiküllerin ısı iletkenliği

k_0 : Matriksin ısı iletkenliği

ϕ : Hacim fraksiyonu

Düşük hacim fraksiyonuna sahip küresel partikül içeren kompozitlerde

$$\frac{k_{eff}}{k_0} = 1 + \frac{3\phi}{\left(\frac{k_1 + 2k_0}{k_1 - k_0}\right) - \phi}$$

Kompozitlerin ısı iletkenlikleri

Yüksek hacim fraksiyonuna sahip küresel partikül içeren kompozitlerde

$$\frac{k_{eff}}{k_0} = 1 + \frac{3\phi}{\left(\frac{k_1 + 2k_0}{k_1 - k_0}\right) - \phi + 1.569 \left(\frac{k_1 - k_0}{3k_1 - 4k_0}\right) \phi^{10/3} + \dots}$$

Küresel olmayan (fiber gibi) partikül içeren kompozitlerde

Fiber doğrultusundaki ısı iletkenlik

$$\frac{k_{eff,z}}{k_0} = 1 + \left(\frac{k_1 - k_0}{k_0}\right) \phi$$

Fibere dik doğrultudaki ısı iletkenlik

$$\frac{k_{eff,x}}{k_0} = \frac{k_{eff,y}}{k_0} = 1 + \frac{2\phi}{\left(\frac{k_1 + k_0}{k_1 - k_0}\right) - \phi + \left(\frac{k_1 - k_0}{k_1 - k_0}\right) (0.30584\phi^4 + 0.013363\phi^8 \dots)}$$

Termal difüzivite

- Isıl iletkenlik katsayısının yanında termal difüzivite de sıklıkla kullanılır.

$$\alpha = \frac{\text{İletilen ısı}}{\text{Depolanan ısı}} = \frac{k}{\rho C_p}$$

$k = \text{J/s.m.C}$

$\rho = \text{kg/m}^3$

$C_p = \text{J/C.kg}$

- Yüksek termal difüzivite
 - Isının ortama ilerleyişi hızlı
- Düşük termal difüzivite
 - Isı daha çok malzeme tarafından absorbe ediliyor

Material	$\alpha, \text{m}^2/\text{s}^*$
Silver	149×10^{-6}
Gold	127×10^{-6}
Copper	113×10^{-6}
Aluminum	97.5×10^{-6}
Iron	22.8×10^{-6}
Mercury (l)	4.7×10^{-6}
Marble	1.2×10^{-6}
Ice	1.2×10^{-6}
Concrete	0.75×10^{-6}
Brick	0.52×10^{-6}
Heavy soil (dry)	0.52×10^{-6}
Glass	0.34×10^{-6}
Glass wool	0.23×10^{-6}
Water (l)	0.14×10^{-6}
Beef	0.14×10^{-6}
Wood (oak)	0.13×10^{-6}

Isı Yalıtım Malzemeleri

Cam yünü ($k = 0,035-0,050 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$)

- İnorganik bir hammadde olan silis kumunun yüksek basınç altında 1200-1250 °C'de eritilerek , ince eleklerden geçirilip elyaf (fiber) haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir.
- Değişik yoğunluklarda (14-100 kg/m³) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha veya boru formunda üretilebilir.
- Kullanım sıcaklığı -50 °C ile 250 °C aralığındadır.
- A1 veya A2 sınıfı yanmaz bir malzemedir.



Taş yünü ($k = 0,035-0,050 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$)

- İnorganik bir hammadde olan bazalt ve diabaz taşlarının 1350-1400 °C'de eritilerek , ince eleklerden geçirilip elyaf (fiber) haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir.
- Değişik yoğunluklarda (30-200 kg/m³) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha veya boru formunda üretilebilir.
- Kullanım sıcaklığı -50 °C ile 750 °C aralığındadır.
- A1 veya A2 sınıfı yanmaz bir malzemedir.



Isı Yalıtım Malzemeleri

Ekspande polistiren köpüğü (EPS) ($k = 0,035-0,040 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$)

- Polistiren hammaddesinin su buharı ile temas etmesi durumunda, hammaddesinde bulunan pentan gazının genişmesiyle büyük bloklar halinde şişirilmesiyle üretilirler.
- Yoğunluğu $< 50 \text{ kg/m}^3$
- Genelde levha şeklinde üretilir
- Kullanım sıcaklığı $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ ile $80 \text{ }^\circ\text{C}$ aralığındadır.
- Yangına tepki sınıfı D veya E'dir.



Ekstrüde polistiren köpüğü (XPS) ($k = 0,030-0,040 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$)

- Polistiren hammaddesinin ekstrüzyon ile çekilmesi ile üretilen ortak çeperli kapalı hücre yapısına sahip malzemedir.
- Değişik yoğunluklarda ($> 25 \text{ kg/m}^3$) levha veya boru biçiminde üretilebilir.
- Kullanım sıcaklığı $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ ile $80 \text{ }^\circ\text{C}$ aralığındadır.
- Yangına tepki sınıfı D veya E'dir.



Isı Yalıtım Malzemeleri

Poliüretan köpüğü (PUR) ($k = 0,025-0,040 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$)

- Poliüretan poliizosiyanat ile poliol'ün reaksiyonu sonucu oluşur.
- Değişik yoğunluklarda ($> 35 \text{ kg/m}^3$) levha, sandviç panel ve püskürtme yöntemiyle kullanılır. Genelde levha şeklinde üretilir
- Kullanım sıcaklığı -200°C ile 110°C aralığındadır.
- Yangına tepki sınıfı D, E veya F'dir.



Genleştirilmiş perlit (EPB) ($k = 0,045-0,065 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$)

- Bünyesinde %2-4 oranında bağlı su bulunduran camsı bir kayadır.
- Isıtılarak yumuşama sıcaklığına geldiğinde, orijinal hacminin 4-24 katına çıkabilmesidir.
- Ham perlitin $800-1150^\circ\text{C}$ 'ye kadar hızlı bir şekilde ısıtılarak bünyesindeki özsuyun buharlaşması ile patlaması sonucu granül halinde genleştirilmiş perlit elde edilir.
- Levha veya granül olarak torbalara konularak kullanılabilir.
- Kullanım sıcaklığı -250°C ile 1000°C aralığındadır.
- A sınıfı yanmaz malzemedir.



Isı Yalıtım Malzemeleri

Silika Aerojel

- İlginç özelliklere sahip yeni nesil bir malzeme
- Katılar için en düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip ($0,005 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$)
- Özgül yüzey alanı çok yüksek ($500\text{-}1200 \text{ m}^2/\text{g}$)
- Yüksek porözlülük (% 80-99)
- Düşük yoğunluk ($0,003 \text{ g/cm}^3$)
- Havaya yaklaşan kırılma indisine sahip (1,025)
- Sol-jel prosesiyle üretilirler
 - Silika nanopartiküllerinden oluşan solüsyondan jel hazırlanması
 - Jelin yaşlandırılması (Jelin güçlendirilmesi ve kuruma sırasında daralmanın minimum seviyeye getirilmesi)
 - Jelin kurutulması: Tüm sıvı bileşenin uzaklaştırılması gerekir.
 - Yapının çökmemesi için özel koşullarda gerçekleştirilir.
 - Süper-kritik kurutma: Boşluklardaki sıvının kritik sıcaklık ve basıncının üzerindeki koşullarda gerçekleştirilir. Bu şartlarda sıvı-buhar ara yüzü ve de kapiler basınçlar söz konusu değildir.



Kabuk enerji dengesi

- Momentum transferine benzer şekilde enerji dengesi yazılarak Sıcaklık profili elde edilebilir.
- Sıcaklık vektör olmadığı için tek bir bileşen (x, y, z bileşenleri yok)
- Enerji dengesi

$$[\text{Giren enerji transfer hızı}] - [\text{Çıkan enerji transfer hızı}] + [\text{Enerji üretim/tüketim hızı}] = 0$$

- Enerji transfer hızı
 - Kondüksiyon ile (Moleküler enerji iletimi)
 - Konveksiyon ile enerji iletimi (akışkanın hareketi ile)
- Katılar içerisinde
 - Enerji transfer hızı = kondüksiyonla ısı transferi
- Enerji üretimi
 - Elektriksel enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi
 - Nükleer enerjinin ısıya dönüşmesi
 - Kimyasal reaksiyon sonucu ısı açığa çıkması

Kabuk enerji dengesi

Genel prosedür

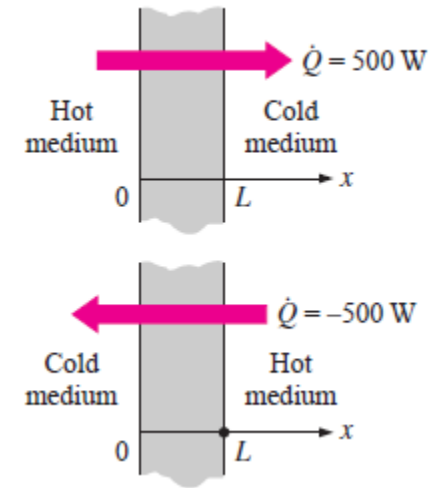
- Sıcaklık hangi yönde değişiyor
- Sıcaklığın değiştiği yöne dik ince bir hacim elemanı (kabuk) üzerinde enerji dengesi yazılır
- Hacim elemanının kalınlığının sıfıra yaklaştırılır (Kalınlık sıfıra giderken limit)
- Türev tanımından ısı akısını (q) içeren diferansiyel denklem elde edilir.
- Bu denklemin integrali alınır ve ısı akısını (q) veren ifade elde edilir
- Fourier'in ısı iletim kanunu ile sıcaklığı içeren diferansiyel denklem elde edilir.
- Bu denklemin integrali alınır ve sıcaklığı veren ifade elde edilir
- İntegral sabitleri sınır koşulları ile hesaplanır

Sınır Koşulları

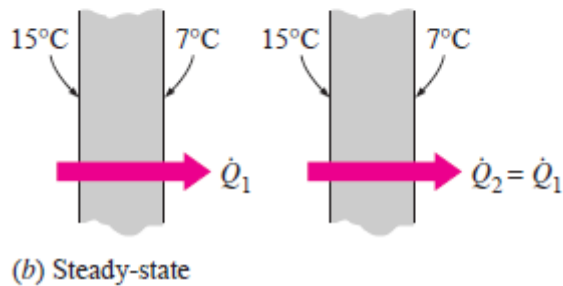
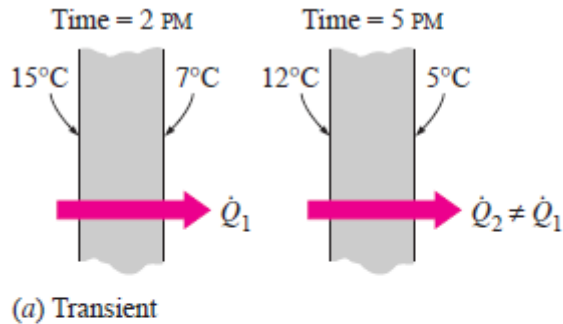
- Isı transferinde karşılaşılan sınır koşulları
 - a) Yüzey ve ara yüzeylerdeki sıcaklıkların belirtilmesi
 - Ör: $T = T_1$ @ $x = 0$
 - b) Belirli bir yüzeyde ısı akısının belirtilmesi
 - Ör: $q = q_0$ @ $x = 0$
 - c) Ara yüzeylerde sıcaklık ve yüzeye dik ısı akısının sürekliliği
 - d) Katı akışkan ara yüzeyinde, yüzeye dik ısı akısı, konveksiyonla ısı transfer hızına eşit
 - Ör: Yüzeyde $q = h A (T_s - T_\infty)$

Isı transferi

- Isı transfer akısının yönü önemli
 - Koordinat sistemine göre, +x yönünde ise +
- Sıcaklığın yönü yok (vektör değil)

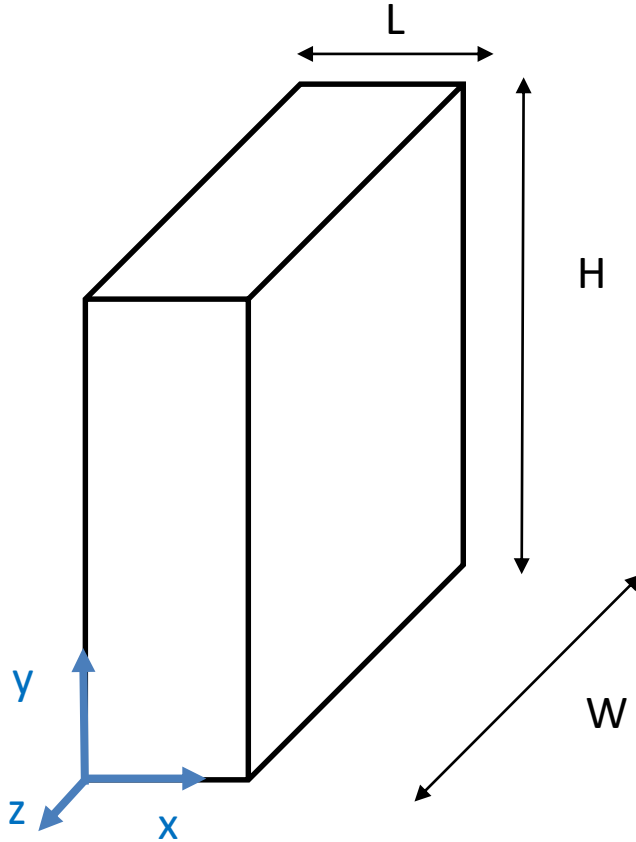


- Kararlı hal ve kararsız ısı transferi

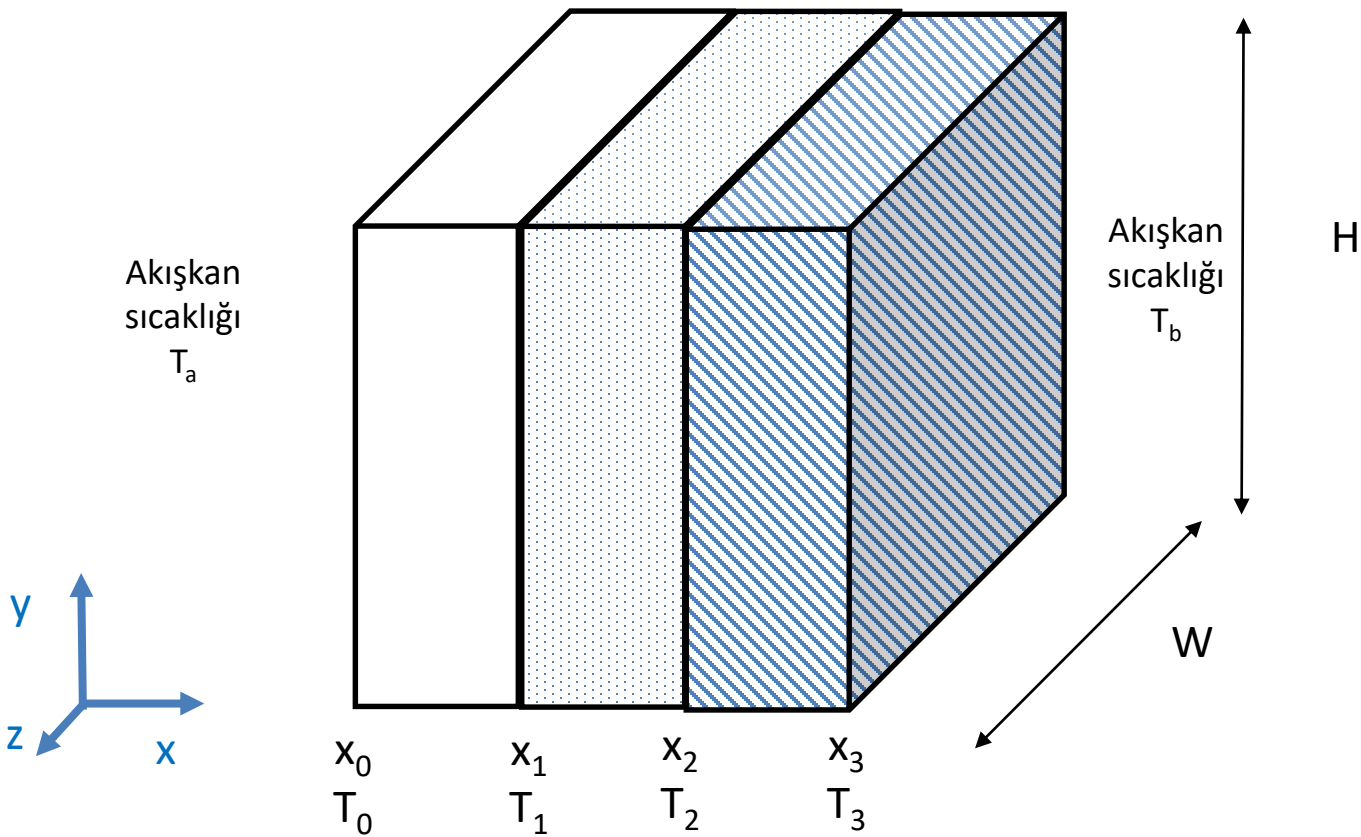


Kabuk dengesi

Örnek: İki levha arasında ısı transferi: Bir katı blok sıcaklığı sabit tutulan iki levha arasında tutulmaktadır. Birinci levha T_0 , ikinci levha ise T_L sıcaklığında ise bu katı bloğun sıcaklık profilini veren eşitliği bulunuz.



Farklı tabakalardan oluşan (kompozit) duvarlarda ısı iletimi



Farklı tabakalardan oluşan (kompozit) duvarlarda ısı iletimi

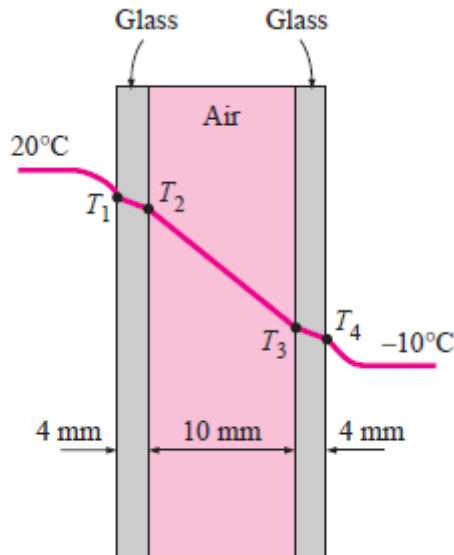
Örnek: Bir fırın duvarı üç tabakadan meydana gelmektedir. Refrakter 0,22 m kalınlığında, ısı iletim katsayısı $k_1 = 3,8 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, yalıtım tabakası 0,12 m kalınlığında $k_2 = 0,35 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, fırının çelik konstrüksiyonu 0,02 m kalınlığında ve $k_3 = 38 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ olarak verilmektedir. Fırının dış çelik yüzey sıcaklığı 200°C ve iç refrakter yüzey sıcaklığı 1500°C 'dir. Kararlı halde, fırının birim alanından kaybolan ısı transfer hızını hesaplayınız.

Farklı tabakalardan oluşan (kompozit) duvarlarda ısı iletimi

Örnek: Çift camlı pencereden ısı kaybı: 0,8 m yüksekliğinde ve 1,5 m genişliğinde bir pencere 4 mm kalınlığında iki camdan ($k = 0,78 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$) oluşmaktadır. Bu iki cam tabakası 10 mm genişliğinde durağan haldeki bir hava ($k = 0,026 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$) ile ayrılmaktadır. Oda sıcaklığı 20°C ve dışarısının sıcaklığı -10°C iken, kararlı halde pencereden kaybolan ısı miktarını ve odaya bakan camın yüzey sıcaklığını hesaplayınız.

Oda ile cam arasında konveksiyonla ısı transfer katsayısı $10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Cam ile dışarı arasında radyasyon etkilerini de içeren ısı transfer katsayısı $40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ 'dir.



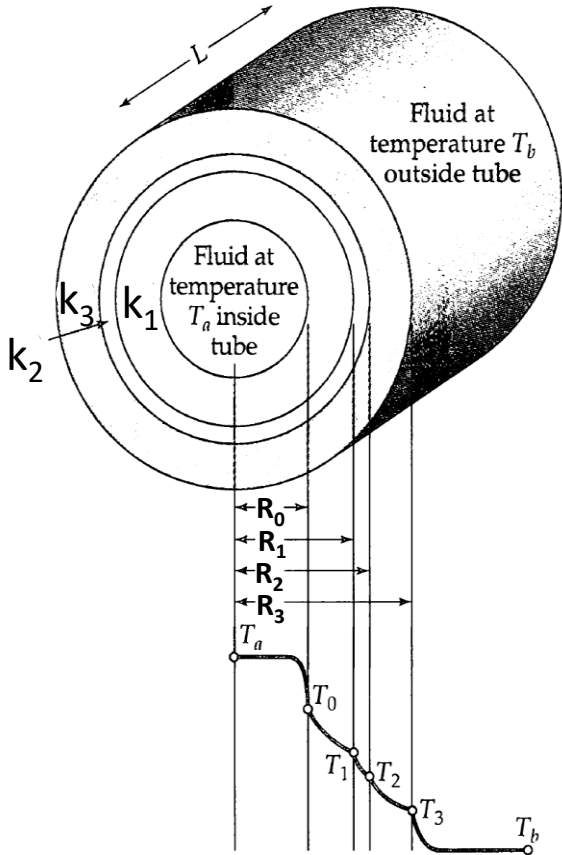
$$q_0 = U(T_a - T_b)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_0} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{k_i} + \frac{1}{h_n}$$

Notlarınızdan
bu formülü
kontrol edin

Farklı tabakalardan oluşan borularda ısı iletimi

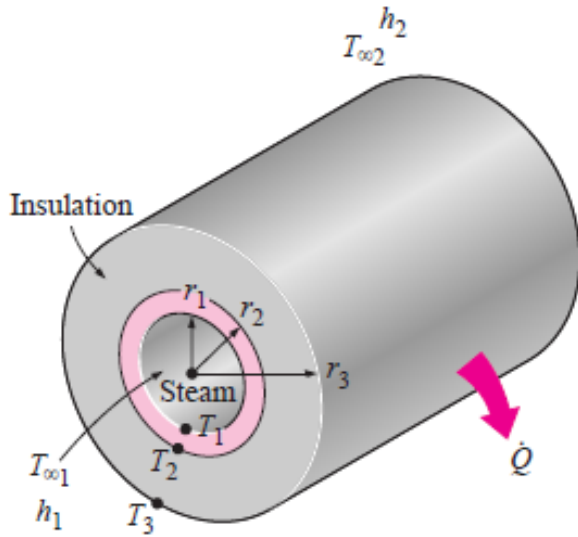
Boru etrafı iki farklı malzeme ile kaplanmıştır. Boru içerisinde sıcaklığı T_a , boru dışında ise sıcaklığı T_b olan bir akışkan bulunmaktadır. Borunun iç yüzeyiyle akışkan arasındaki konveksiyonla ısı transfer katsayısı h_0 , Borunun dış yüzeyiyle akışkan arasındaki konveksiyonla ısı transfer katsayısı h_3 'tür.



$$Q = \frac{2\pi L(T_a - T_b)}{\left(\frac{1}{R_0 h_0} + \frac{\ln(R_1/R_0)}{k_1} + \frac{\ln(R_2/R_1)}{k_2} + \frac{\ln(R_3/R_2)}{k_3} + \frac{1}{R_3 h_3}\right)}$$

Farklı tabakalardan oluşan borularda ısı iletimi

Örnek: Sıcaklığı $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan buhar, demir ($k_1 = 80\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$) bir borudan akmaktadır. Borunun iç çapı 5 cm , dış çapı ise $5,5\text{ cm}$ ve boyu 1 m 'dir. Boru 3 cm kalınlığında cam yünü ($k_2 = 0,050\text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$) ile yalıtılmıştır. Borunun dış ortam sıcaklığı $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Boru ile içerisindeki akışkan arasındaki konveksiyonla ısı transfer katsayısı $60\text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ ve boru ile dışarıya arasındaki birleşik konveksiyonla ısı transfer katsayısı ise $18\text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ 'dir. Kararlı halde borudan kaybolan ısının transfer hızını hesaplayınız.



Yalıtım kalınlığı

- Düz bir duvarın üzerine uygulanan yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça ısı transfer hızı ne olur?
- Silindirik bir boru üzerine uygulanan yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça ısı transfer hızı ne olur?

Yalıtım kalınlığı

- Düz bir duvarın üzerine uygulanan yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça ısı transfer hızı ne olur?
 - Kalınlık arttıkça, ısı transferi azalır
- Silindirik bir boru üzerine uygulanan yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça ısı transfer hızı ne olur?
 - Kalınlığın değerine bağlı

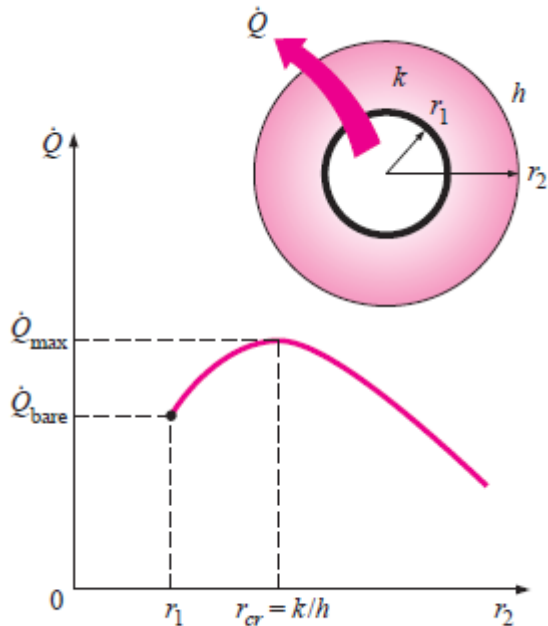


FIGURE 3–31

$$r_{kritik} = \frac{k}{h}$$

k: Yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı

h: Yalıtım malzemesi ile dış ortam arasında konveksiyonla ısı transfer katsayısı