UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

ENGENHARIA DE MATERIAIS

FENÔMENOS DE TRANSPORTE EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

Prof. Dr. Sérgio R. Montoro

sergio.montoro@usp.br

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

AULA 2

Propriedades Térmicas dos Materiais

Condutividade Térmica (k)

Difusividade Térmica (α)

Exemplos de Aplicação

PROPRIEDADE TÉRMICA:

Por propriedade térmica deve-se entender a resposta ou reação do material à aplicação de calor. Do ponto de vista microscópio, os dois tipos principais de energia térmica na maioria dos sólidos são a **energia vibracional dos átomos** da rede ao redor de suas posições de equilíbrio e a **energia cinética dos elétrons livres dos átomos**.

Na medida em que o sólido absorve calor, sua temperatura se eleva e a energia interna aumenta. Assim, uma propriedade térmica nitidamente associada ao primeiro tipo de energia é a expansão térmica ou dilatação térmica, entretanto que, o calor específico, C_p, e a condutividade térmica k, estão associados à contribuição eletrônica.

As propriedades térmicas mais importantes são: condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico.

DIFERENÇA ENTRE CALOR E TEMPERATURA:

Primeiramente, é importante distinguir claramente a diferença entre calor e temperatura.

A temperatura é um nível de atividade térmica ou a força motriz para a transferência de calor (medida em °C, K ou F).

Já o calor, Q, é energia térmica (expresso em cal, J, ou BTU). Assim o calor não é uma substância, é energia em trânsito.

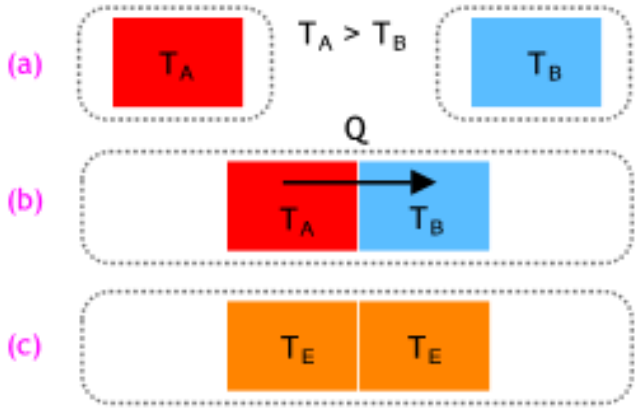
TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

A transferência de calor estuda a transferência de energia entre dois corpos que ocorre devido a uma diferença de temperatura, determinando quanta energia é transferida e em que taxa esta energia é transferida.

MAS O QUE É A TRANSFERÊNCIA DE CALOR? E COMO SE PROCESSA?

A transferência de calor é a energia em trânsito, devido a uma diferença de temperatura. E sempre que existir esta diferença de temperatura em um meio ou entre meios ocorrerá transferência de calor.

Por exemplo, se dois corpos a diferentes temperaturas são colocados em contato, ocorrerá uma transferência de calor do corpo de temperatura mais elevada para o corpo de menor temperatura, até que haja equivalência de temperatura entre eles, ou seja, o equilíbrio térmico.



A transferência de calor cessa quando não existe mais uma diferença de temperatura.

RELAÇÃO ENTRE A TERMODINÂMICA E A TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

A Termodinâmica trata da relação entre o calor e as outras formas de energia. A energia pode ser transferida através de interações entre o sistema e suas vizinhanças. Estas interações são denominadas calor (Q) e trabalho (W).

CALOR = energia transferida para ou de um sistema, unicamente por diferença de temperatura.

• A 1ª Lei da Termodinâmica governa quantitativamente estas interações:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q - W$$

→ Ou seja, a variação da energia interna de um sistema é igual à diferença entre o calor transferido para o sistema e o trabalho executado pelo sistema.

RELAÇÃO ENTRE A TERMODINÂMICA E A TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

• A 1ª Lei da Termodinâmica pode ser enunciada assim: "A variação líquida de energia de um sistema é sempre igual a transferência líquida de energia na forma de calor e trabalho".

• A 2ª Lei da Termodinâmica pode ser enunciada assim: "É impossível o processo cujo único resultado seja a transferência líquida de calor de uma região fria para uma região quente".

Porém, existe uma diferença fundamental entre a transferência de calor e a termodinâmica. Embora a termodinâmica trate das interações do calor e o papel que ele desempenha na primeira e na segunda leis, ela não leva em conta nem o mecanismo de transferência nem os métodos de cálculo da **taxa de transferência de calor**.

RELAÇÃO ENTRE A TERMODINÂMICA E A TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

A termodinâmica trata com estados de equilíbrio da matéria onde inexiste gradientes de temperatura. Embora a termodinâmica possa ser usada para determinar a quantidade de energia requerida na forma de calor para um sistema passar de um estado de equilíbrio para outro, ela não pode quantificar a **taxa** (velocidade) na qual a transferência do calor ocorre.

A disciplina de transferência de calor procura fazer aquilo o que a termodinâmica é inerentemente incapaz de fazer.

CALOR E TEMPERATURA

Adicionando energia na forma de calor (Q) a um corpo, ela fica armazenada não como Q, mas como energia dos átomos e moléculas.

Quando um sólido absorve calor, sua temperatura aumenta e sua energia interna, U, também. Essa energia é transportada para regiões mais frias e finalmente o material pode fundir-se.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

Diferentes materiais armazenam calor de modo distinto, e definimos a propriedade **calor específico c_p** como a medida da capacidade do material de armazenar energia térmica. Por exemplo, c_p = 4,18 kJ/kg.°C para a água e c_p = 0,45 kJ/kg.°C para o ferro em temperatura ambiente, o que indica que a água pode armazenar quase 10 vezes mais energia do que o ferro por unidade de massa.

Da mesma forma, a **condutividade térmica k** é a medida da capacidade de um dado material conduzir calor. Por exemplo, k = 0,607 W/m.°C para a água e k = 80,2 W/m.°C para o ferro em temperatura ambiente, o que significa que o ferro conduz calor cem vezes mais rápido do que a água.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

Logo, dizemos que a água é um pobre condutor de calor em relação ao ferro, entretanto a água é um excelente meio para armazenar energia térmica.

A equação para a taxa de transferência de calor por condução sob condições permanentes também pode ser visualizada como uma equação que define a condutibilidade térmica.

$$q = k.A.\frac{T_1 - T_2}{x_2 - x_1}$$

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

Assim, a **condutividade térmica** de um dado material pode ser definida como a *taxa de transferência de calor através de uma unidade de comprimento de dado material por unidade de área por unidade de diferença de temperatura.*

A condutividade térmica de um material é a medida da capacidade do material conduzir calor. Um alto valor de condutividade indica que o material é bom condutor de calor, enquanto um valor baixo indica que o material é um mal condutor de calor ou um isolante. As condutividades térmicas, em temperatura ambiente, de alguns materiais comuns, são dadas na Tabela 1-1.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

Por exemplo, a condutividade térmica do cobre, em temperatura ambiente, é k= 401 W/m · °C, o que indica que uma parede de cobre de 1 m de espessura deverá conduzir calor na taxa de 401 W por m^2 de área por ºC de diferença de temperatura através da parede. Perceba que materiais como cobre e prata são bons condutores elétricos e também bons condutores de calor, tendo altos valores de condutividade térmica. Materiais como borracha, madeira e isopor são maus condutores de calor, logo possuem valores menores de condutividade.

TABELA 1–1
Condutividade térmica de alguns materiais em temperatura ambiente

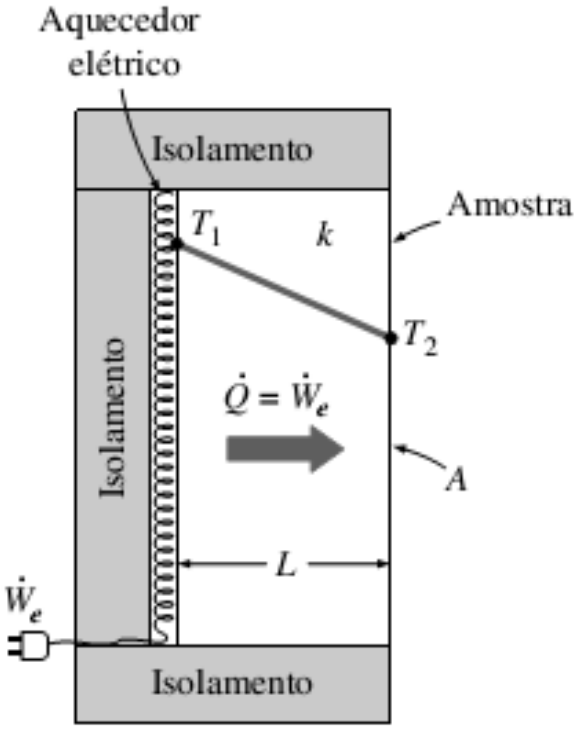
Material	*k*, W/m · °C*
Diamante	2.300
Prata	429
Cobre	401
Ouro	317
Alumínio	237
Ferro	80,2
Mercúrio (l)	8,54
Vidro	0,78
Tijolo	0,72
Água (l)	0,607
Pele humana	0,37
Madeira (carvalho)	0,17
Hélio (g)	0,152
Borracha macia	0,13
Fibra de vidro	0,043
Ar (g)	0,026
Uretano, espuma rígida	0,026

*Multiplicar por 0,5778 para converter para Btu/h · pé · °F.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

Uma camada de material de espessura e área conhecidas pode ser aquecida em um dos lados por um aquecedor de resistência elétrica de comportamento conhecido. Se a outra face do aquecedor for apropriadamente isolada, todo o calor liberado pela resistência será transferido para o material como um todo, cuja condutividade deve ser determinada.



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

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

A condutividade térmica de gases como o ar pode variar por um fator de 10^4 em relação aos metais puros, como o cobre.

Cristais puros e metais possuem os maiores valores de condutividade térmica, enquanto gases e materiais isolantes possuem os menores.

O mecanismo da condução do calor em um líquido é complicado pelo fato da maior proximidade das moléculas, o que permite um forte campo de força intermolecular. As condutividades térmicas de líquidos normalmente estão no intervalo entre os valores de líquidos e gases. **A condutividade térmica de uma substância é normalmente maior na fase sólida e menor na fase gasosa.**

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

A temperatura é uma medida da energia cinética de partículas como moléculas ou átomos de uma substância. Em líquidos ou gases, a energia cinética das moléculas é devida ao seu movimento translacional aleatório, assim como seu movimento rotacional e vibracional. Quando duas moléculas detentoras de energias cinéticas distintas colidem, parte da energia cinética da partícula mais energética (maior temperatura) é transferida para a menos energética (menor temperatura), semelhante à colisão de duas bolas elásticas de mesma massa, mas com velocidades diferentes, quando parte da energia cinética da mais veloz é transferida para a outra menos veloz. Quanto maior a temperatura, mais rápido é o movimento das moléculas e maior o número de colisões e, assim, melhor é a transferência de calor.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

A teoria cinética dos gases prediz, e os experimentos confirmam, que a condutividade térmica dos gases é proporcional à raiz quadrada da temperatura termodinâmica Te inversamente proporcional à raiz quadrada da massa molar M.

Dessa forma, a condutividade térmica de um gás aumenta com a temperatura e diminui com a massa molar. Assim, não é surpreendente que a condutividade térmica do hélio (M = 4) seja muito maior que a do ar (M = 29) e a do argônio (M = 40).

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

As condutividades térmicas de gases na pressão de 1 atm são listadas em tabelas. Todavia, tais valores também podem ser utilizados em outras pressões, uma vez que a condutividade térmica dos gases é independente da pressão em um grande intervalo de pressões encontradas na prática.

O mecanismo da condução do calor em um líquido é complicado pelo fato da maior proximidade das moléculas, o que permite um forte campo de força intermolecular. As condutividades térmicas de líquidos normalmente estão no intervalo entre os valores de líquidos e gases. A condutividade térmica de uma substância é normalmente maior na fase sólida e menor na fase gasosa.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

Diferentemente dos gases, a condutividade térmica da maioria dos líquidos decresce com o aumento da temperatura, com a água sendo uma notável exceção. Como os gases, a condutividade térmica dos líquidos decresce com o aumento da massa molar.

Metais líquidos como o mercúrio e o sódio possuem alto valor de condutividade e são bastante adequados para o uso em aplicações onde uma alta taxa de transferência de calor para um líquido é desejada, como em usinas nucleares.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

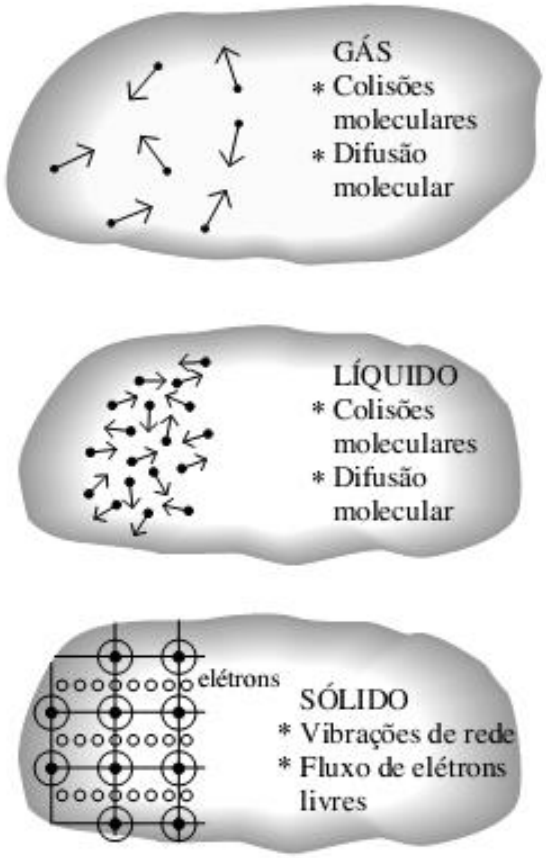
CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

Nos sólidos, a condução de calor é devida a dois efeitos: as ondas de vibração de rede motivadas pelos movimentos vibracionais das moléculas arranjadas em posições relativamente fixas, de forma periódica, constituindo uma rede, e a energia transportada através do movimento livre dos elétrons presentes nos sólidos (figura a seguir). A condutividade térmica de sólidos é determinada pela soma da componente de rede e da componente eletrônica. A relativamente alta condutividade térmica de metais puros é principalmente devida à componente eletrônica. A componente da rede da condutividade térmica depende fortemente de como as moléculas são arranjadas. Por exemplo, o diamante, que é um sólido cristalino altamente ordenado, possui o maior valor conhecido de condutividade térmica na temperatura ambiente.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

Nos sólidos, a condução de calor é devida a **dois efeitos**: **as ondas de vibração de rede** motivadas pelos movimentos vibracionais das moléculas arranjadas em posições relativamente fixas, de forma periódica, constituindo uma rede, e a **energia transportada através do movimento livre dos elétrons** presentes nos sólidos (figura ao lado)



Mecanismos de condução de calor em diferentes fases de uma substância.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

Diferentemente dos metais, que são bons condutores de calor e eletricidade, sólidos cristalinos como o diamante e semicondutores como o silício são bons condutores de calor, mas pobres condutores de eletricidade. Como resultado, tais materiais encontram uma ampla aplicação na indústria eletrônica.

Apesar de seu alto custo, diamantes são utilizados como dissipadores de calor de dispositivos eletrônicos sensíveis devido à sua excelente condutividade térmica. Óleo e juntas de silício são comumente utilizados na montagem de componentes eletrônicos, uma vez que ambos apresentam bom contato térmico e bom isolamento elétrico.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

Metais puros têm condutividades térmicas elevadas e poderíamos pensar que ligas metálicas também deveriam ter altas condutividades. Seria de se esperar que uma liga feita de dois metais com condutividades térmicas k_1 e k_2 tivessem condutividade k entre k_1 e k_2. Mas esse não é o caso.

A condutividade térmica de uma liga de dois metais é normalmente muito menor do que a de cada metal, como mostrado na Tabela 1-2.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

Mesmo pequenas quantidades de moléculas estranhas em metais puros, que são bons condutores, podem prejudicar seriamente a transferência de calor no metal.

Por exemplo, a condutividade térmica de aço contendo apenas 1% de cromo é de 62 W/m · ºC, enquanto as condutividades térmicas do ferro e do cromo são 83 e 95 W/m · ºC, respectivamente.

TABELA 1–2

A condutividade térmica de uma liga é normalmente muito menor que as condutividades térmicas de cada metal dos quais ela é composta

Metal puro ou liga	*k*, W/m · °C, a 300 k
Cobre	401
Níquel	91
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	23
Cobre	401
Alumínio	237
Bronze comercial (90% Cu, 10% Al)	52

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

As condutividades térmicas dos materiais variam com a temperatura (Tabela 1–3).

A variação de condutividade térmica ao longo de certos intervalos de temperatura é insignificante para alguns materiais, mas significativa para outros, como mostrado na figura a seguir.

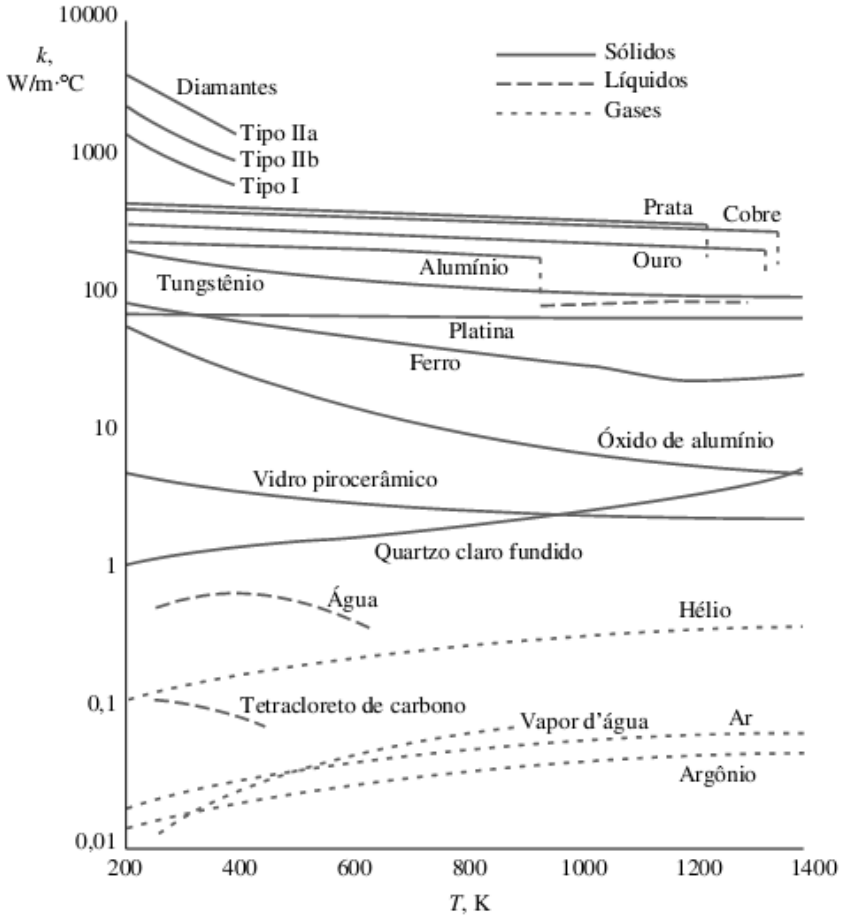
TABELA 1–3

A condutividade térmica dos materiais varia com a temperatura

	k, W/m · °C	
T, K	Cobre	Alumínio
100	482	302
200	413	237
300	401	237
400	393	240
600	379	231
800	366	218

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):



A variação da condutividade térmica de vários sólidos, líquidos e gases com a temperatura.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

As condutividades térmicas de certos sólidos exibem um aumento dramático para temperaturas próximas de zero absoluto, quando estes se tornarem sólidos supercondutores. Por exemplo, a condutividade do cobre atinge um valor máximo de cerca de 20000 W/m · ºC a 20 K, que é de cerca de 50 vezes a condutividade à temperatura ambiente. As condutividades térmicas e outras propriedades térmicas de vários materiais são indicadas nas tabelas A–3 até A–16. ***Essas tabelas serão disponibilizadas na plataforma.***

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

CONDUTIVIDADE TÉRMICA (k):

A dependência da condutividade térmica sobre a temperatura não provoca uma complexidade considerável na análise da condução. Por isso, é comum avaliar a condutividade térmica k na temperatura média e tratá-la como uma constante nos cálculos.

Na análise da transferência de calor, um **material é geralmente considerado isotrópico**, isto é, com propriedades uniformes em todas as direções.

Essa hipótese é realista para a maioria dos materiais, exceto aqueles que apresentam características estruturais diferentes em direções diferentes, tais como materiais compostos laminados e madeira. A condutividade térmica da madeira normal à fibra, por exemplo, é diferente do que a paralela à fibra.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

DIFUSIVIDADE TÉRMICA (α):

O produto ρc_p, que é frequentemente encontrado na análise da transferência de calor, é chamado de **capacidade térmica** de um material. Tanto o calor específico c_p quanto a capacidade térmica ρc_p representam a capacidade de armazenamento de calor de um material. Mas c_p representa isso por unidade de massa enquanto ρc_p por unidade de volume, como pode ser notado a partir de suas unidades J/kg · ºC e J/m^3 · ºC, respectivamente.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

DIFUSIVIDADE TÉRMICA (α):

Outra propriedade de um material que aparece na análise da condução de calor transiente é a **difusividade térmica**, que representa a velocidade com que o calor se difunde através de um material e é definida como:

$$\alpha = \frac{calor_conduzido}{calor_armazenado} = \frac{k}{\rho c_p}$$

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

DIFUSIVIDADE TÉRMICA (α):

Note que a condutividade térmica k representa quanto um material conduz bem o calor, e a capacidade térmica ρc_p representa quanta energia um material pode armazenar por unidade de volume.

Por isso, a difusividade térmica de um material pode ser entendida como a razão entre o *calor conduzido* através do material e o *calor armazenado* por unidade de volume.

Um material que tenha uma alta condutividade térmica ou uma baixa capacidade térmica terá obviamente uma grande difusividade térmica.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

DIFUSIVIDADE TÉRMICA (α):

Quanto maior for a difusividade térmica, mais rapidamente será a propagação de calor no meio.

Um pequeno valor de difusividade térmica significa que a maior parte do calor é absorvida pelo material e uma pequena quantidade de calor é conduzida adiante.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

DIFUSIVIDADE TÉRMICA (α):

As difusividades térmicas de alguns materiais comuns, a 20 ºC, são apresentadas na Tabela 1–4. Note que a difusividade térmica varia de $\alpha = 0{,}14 \times 10^{-6}$ m²/s, para a água, a 149×10^{-6} m²/s, para a prata, que é uma diferença de mais de mil vezes. Observe também que as difusividades térmicas da carne bovina e da água são as mesmas. Isso não é surpreendente, uma vez que a carne, assim como os vegetais e as frutas frescas, são constituídos principalmente de água, e, portanto, possuem as mesmas propriedades térmicas da água.

TABELA 1–4

A difusividade térmica de alguns materiais na temperatura ambiente

Material	α, m²/s*
Prata	149×10^{-6}
Ouro	127×10^{-6}
Cobre	113×10^{-6}
Alumínio	$97{,}5 \times 10^{-6}$
Ferro	$22{,}8 \times 10^{-6}$
Mercúrio	$4{,}7 \times 10^{-6}$
Mármore	$1{,}2 \times 10^{-6}$
Gelo	$1{,}2 \times 10^{-6}$
Concreto	$0{,}75 \times 10^{-6}$
Tijolo	$0{,}52 \times 10^{-6}$
Solo denso (seco)	$0{,}52 \times 10^{-6}$
Vidro	$0{,}34 \times 10^{-6}$
Lã de vidro	$0{,}23 \times 10^{-6}$
Água	$0{,}14 \times 10^{-6}$
Bife	$0{,}14 \times 10^{-6}$
Madeira (carvalho)	$0{,}13 \times 10^{-6}$

* Multiplicar por 10,76 para converter para pé²/s.

Exemplos de Aplicação

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

EXEMPLO 1: Aplicação do conhecimento da condutividade térmica (k)

Produção de tubos revestidos pela empresa SOCOTHERM BRASIL
INTERNATIONAL PIPE COATING CONTRACTORS

Revestimento de Isolamento Térmico

Socotherm Pindamonhangaba

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

EXEMPLO 1: Aplicação do conhecimento da condutividade térmica (k)

Produção de tubos revestidos pela empresa SOCOTHERM BRASIL
INTERNATIONAL PIPE COATING CONTRACTORS

Revestimento de Isolamento Térmico

Fusion Bonded Epoxy (FBE)

Polietileno Tripla-Camada (3LPE)

Epoxy Líquido (Revest. Interno)

Poliuretano Expandido (PUF)

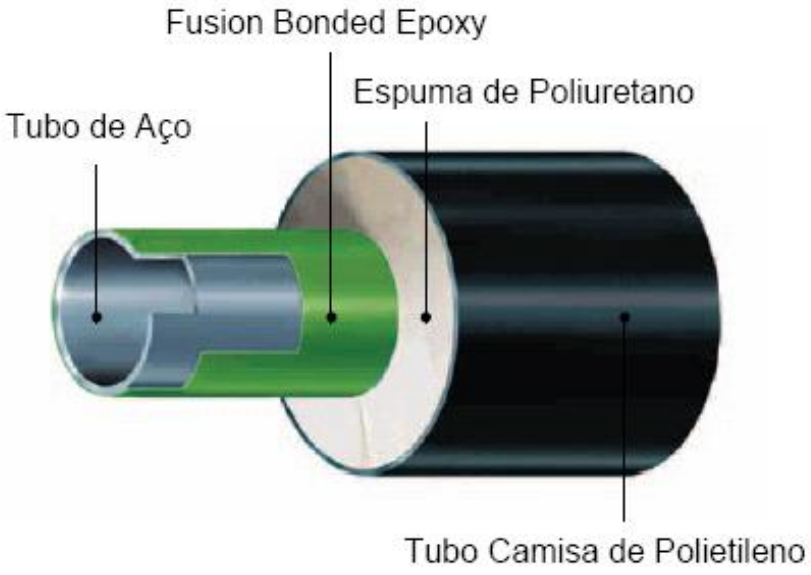
Concreto (CWC)

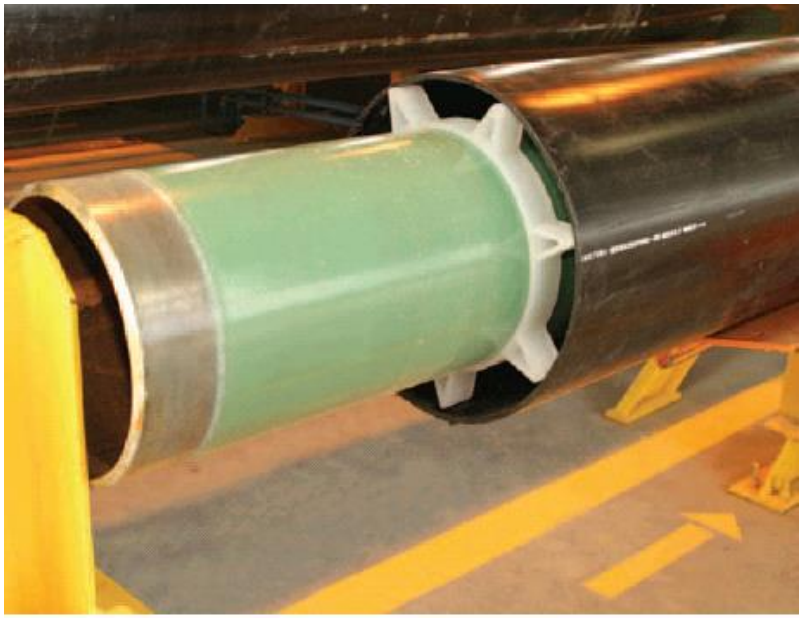
PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

EXEMPLO 1: Aplicação do conhecimento da condutividade térmica (k)

Produção de tubos revestidos pela empresa SOCOTHERM BRASIL
INTERNATIONAL PIPE COATING CONTRACTORS

Revestimento de Isolamento Térmico





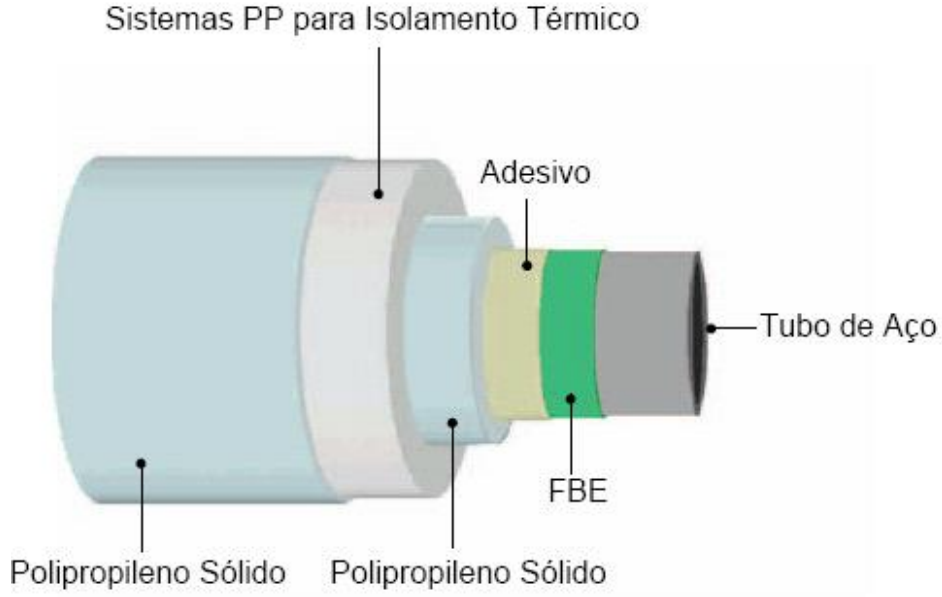
PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

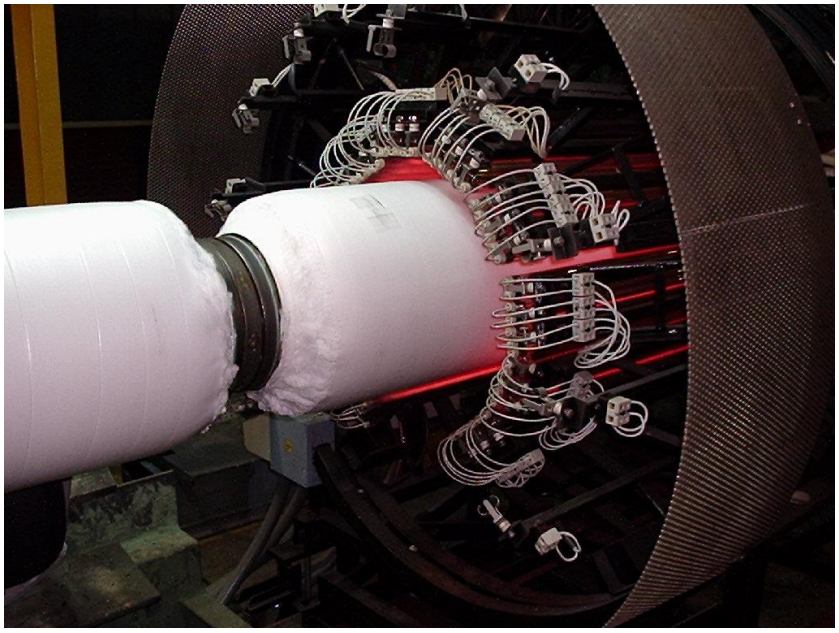
EXEMPLO 1: Aplicação do conhecimento da condutividade térmica (k)

Produção de tubos revestidos pela empresa SOCOTHERM BRASIL
INTERNATIONAL PIPE COATING CONTRACTORS

Revestimento de Isolamento Térmico

Sistemas Multicamadas – 5LPP Sol ; 5LPP Synt





PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

EXEMPLO 1: Aplicação do conhecimento da condutividade térmica (k)

Produção de tubos revestidos pela empresa SOCOTHERM BRASIL
INTERNATIONAL PIPE COATING CONTRACTORS

Revestimento de Isolamento Térmico

Sistemas Multicamadas – 5LPP Sol ; 5LPP Synt

DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY OF SYNTACTIC PP LAYER:

$$ksynpp := Q \cdot \frac{\ln\left(\frac{r6}{r5}\right)}{2\cdot\pi(Tint - Tout) - Q\cdot\left(\ln\left(\frac{r2}{r1}\right)\frac{1}{ksteel} + \ln\left(\frac{r3}{r2}\right)\frac{1}{kfbe} + \ln\left(\frac{r4}{r3}\right)\frac{1}{kpp} + \ln\left(\frac{r5}{r4}\right)\frac{1}{kpp} + \ln\left(\frac{r7}{r6}\right)\frac{1}{kpp}\right)}$$

THERMAL CONDUCTIVITY of SYNTACTIC PP layer: ksynpp = 0.164 W/m/K

DETERMINATION OF U-value OF THE INSULATION COATING SYSTEM :

Based on reported interlayer coating thicknesses on test pipe:

Surface at which U-value is required - *internal surface of steel pipe:*

Ru = r1 Ru = 85.50 mm

$$Uvalue = \frac{1}{Ru\left(\frac{1}{ksteel}\ln\left(\frac{r2}{r1}\right) + \frac{1}{kfbe}\ln\left(\frac{r3}{r2}\right) + \frac{1}{kpp}\ln\left(\frac{r4}{r3}\right) + \frac{1}{kpp}\ln\left(\frac{r5}{r4}\right) + \frac{1}{ksynpp}\ln\left(\frac{r6}{r5}\right) + \frac{1}{kpp}\ln\left(\frac{r7}{r6}\right)\right)10^{-3}}$$

U-value with respect to internal surface of steel pipe: Uvalue = 3.507 $W/m^2 K$

ASSUMPTIONS:

Thermal conductivity of steel pipe material:	ksteel = 45	W/m/K
Thermal conductivity of fusion bonded epoxy:	kfbe = 0.3	W/m/K
Thermal conductivity of polypropylene:	kpp = 0.22	W/m/K

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

EXEMPLO 2: Aplicação do conhecimento da condutividade térmica (k)

TCC = Curso de Engenharia de Materiais - 2020

Comparação entre os materiais e técnicas de isolamento térmico.

	Lã de vidro	Lã de rocha	EPS	PU rigído	PU spray	Lã de PET	Cortiça	Cortiça expandida
Implementação	X	X	X	X	X	X	X	X
Segurança			X	X	X	X	X	X
Ecológico						X	X	X
Reciclável	X	X	X			X	X	X
k (W/m.°C)	0,355	0,031	0,034	0,031	0,016	0,0605	0,037	0,0385
R (°C/W)	0,045	0,052	0,047	0,052	0,1008	0,026	0,043	0,041
Custo médio por m^2	R$ 17,15	R$ 15,63	R$ 21,49	R$ 64,31	R$ 71,00	R$ 13,75	R$ 100,00	R$115,80 *

* Cotação do Euro em 31 de outubro de 2020 R$6,69

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

EXEMPLO 3: Aplicação do conhecimento da condutividade térmica (k)

Cálculo do Raio Crítico de Isolamento

$$r_{oc} = \frac{k}{h_o}$$

Raio Crítico de Isolamento para um corpo cilíndrico.

$$r_{oc} = \frac{2k}{h_o}$$

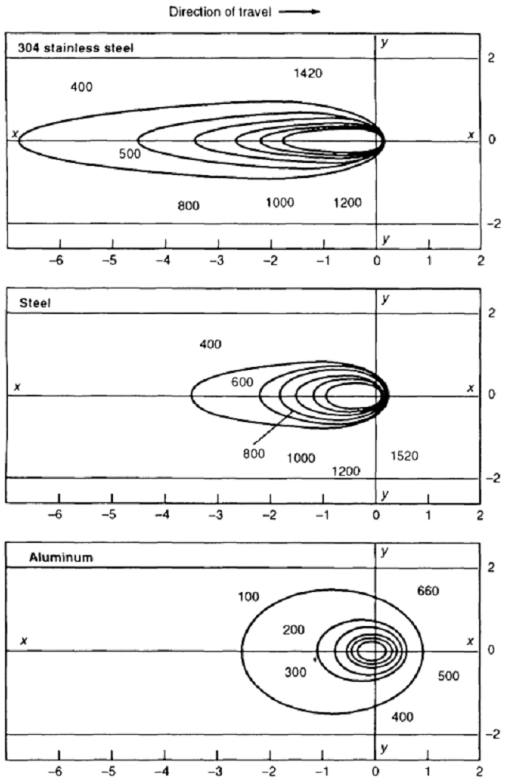
Raio Crítico de Isolamento para um corpo esférico.

Onde k é a condutividade térmica do isolante.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

EXEMPLO 4: Aplicação do conhecimento da condutividade térmica e da difusividade térmica (α)

Influência dos parâmetros em processos de soldagem



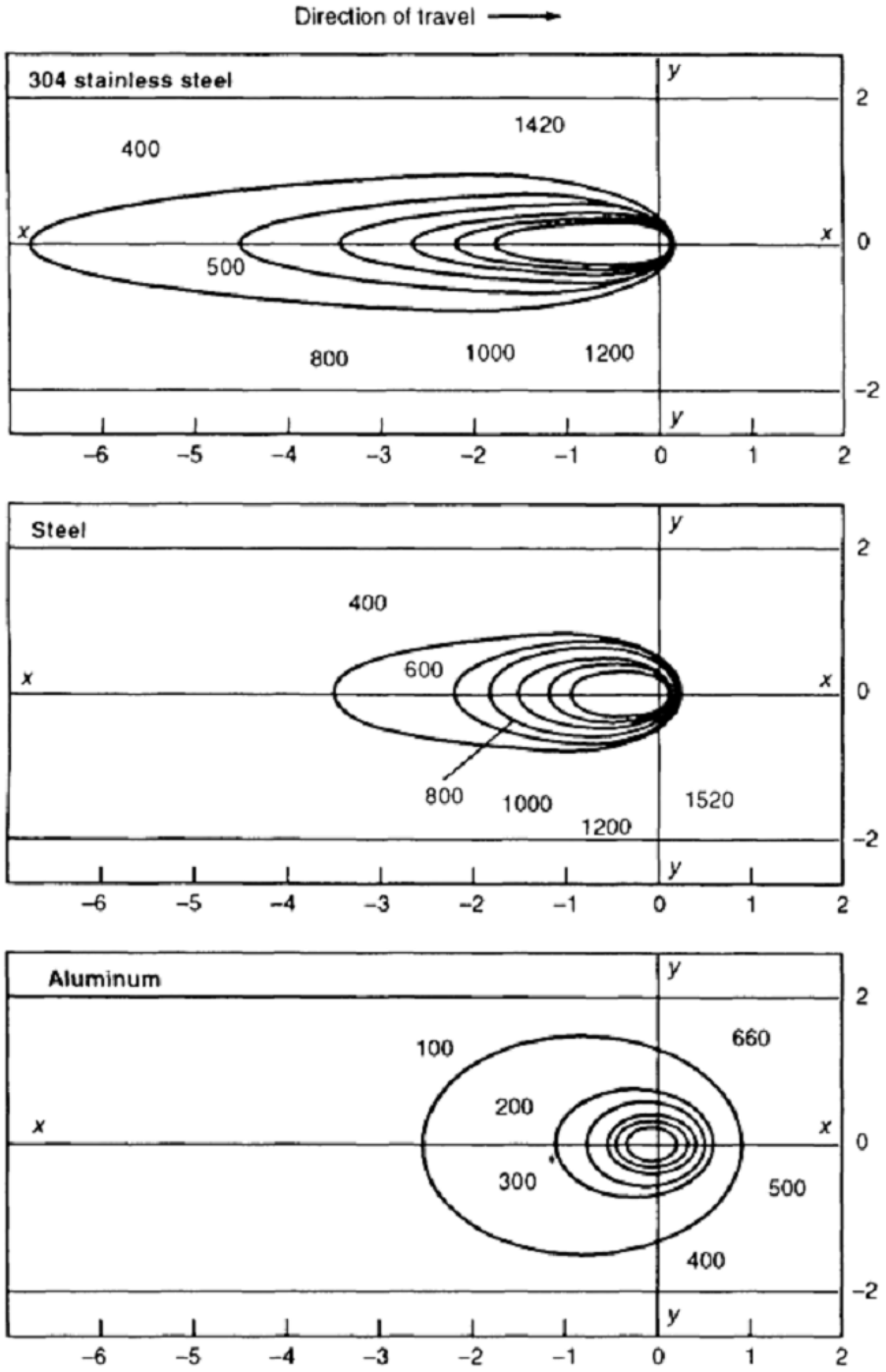
Os materiais têm **condutividade e difusividade térmicas** diferentes. Os valores são:

Inox 304: k = 26 W/m.K e α = 4.6 mm^2/s

Aço baixo-C: k = 50 W/m.K e α = 7.5 mm^2/s

Alumínio: k = 304 W/m.K e α = 80 mm^2/s

Fonte: ASM Handbook - Vol. 6 - Welding, Brazing and Soldering



Os materiais têm **condutividade e difusividade térmicas** diferentes.

Os valores são:

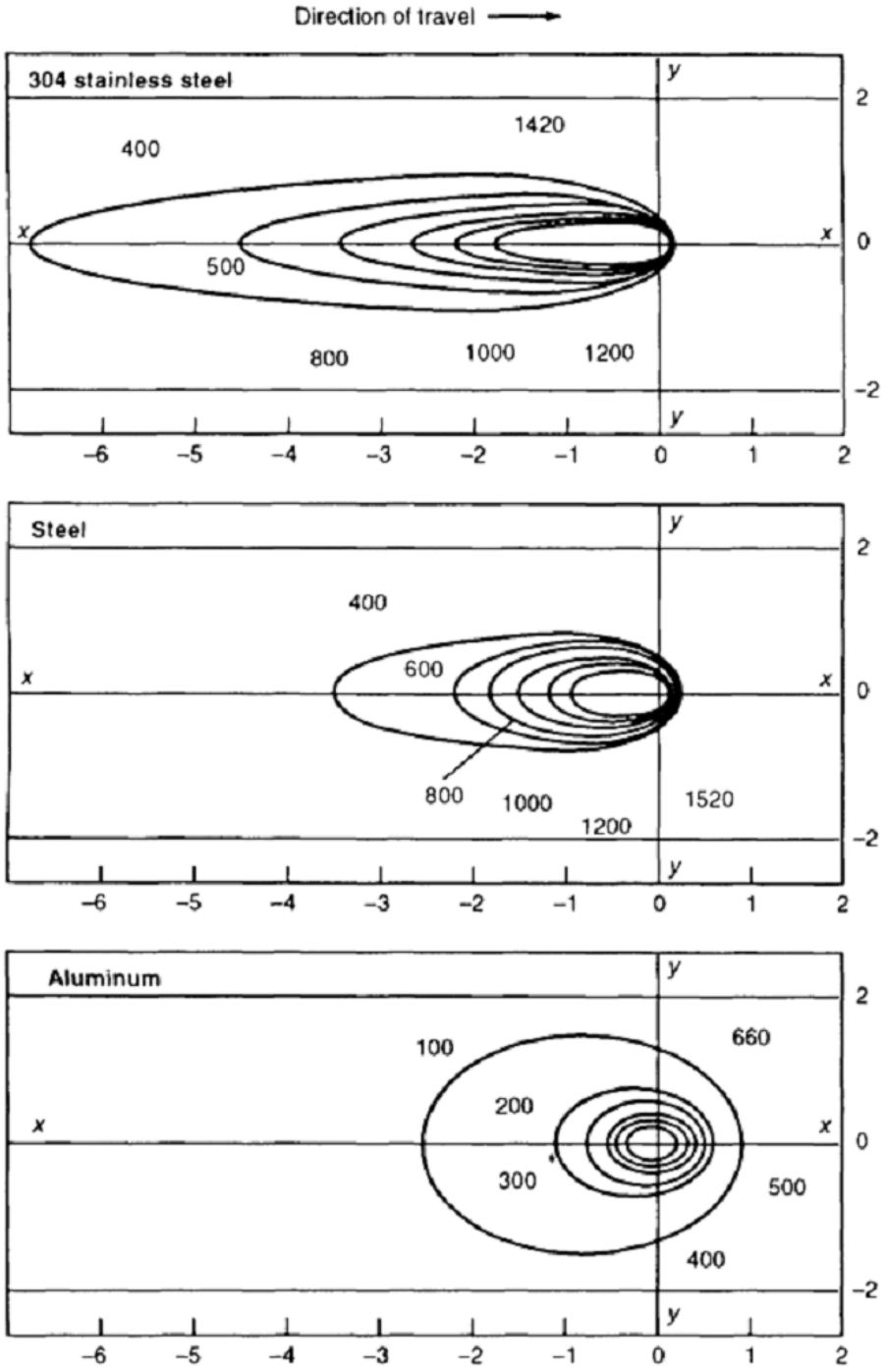
Inox 304: k = 26 W/m.K e α = 4.6 mm^2/s

Aço baixo-C: k = 50 W/m.K e α = 7.5 mm^2/s

Alumínio: k = 304 W/m.K e α = 80 mm^2/s

Quanto menor for a condutividade, maior será a poça de fusão e mais alongado, na direção oposta ao arco, será a distribuição de temperaturas.

Fonte: ASM Handbook - Vol. 6 - Welding, Brazing and Soldering



Os materiais têm **condutividade e difusividade térmicas** diferentes.

Os valores são:

Inox 304: k = 26 W/m.K e α = 4.6 mm^2/s

Aço baixo-C: k = 50 W/m.K e α = 7.5 mm^2/s

Alumínio: k = 304 W/m.K e α = 80 mm^2/s

A propagação do calor através do material, a partir da fonte de calor (arco de soldagem) $\Rightarrow$ o calor se propaga com velocidades diferentes em função do valor da difusividade.

Fonte: ASM Handbook - Vol. 6 - Welding, Brazing and Soldering

PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

EXEMPLO 5: Determinação do tempo e da distância necessária para se atingir o regime quase -estacionário.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA SOLDAGEM - ESTADO QUASI-ESTACIONÁRIO

A determinação do tempo e da distância necessária para se atingir o regime quase -estacionário, a partir da abertura do arco, pode ser estimado por:

$$16 = \frac{r^2}{\alpha t} \quad \text{sendo} \quad r = v_s \,.\, t \quad \text{temos:}$$

$$t = \frac{16 \,.\, \alpha}{{v_s}^2}$$

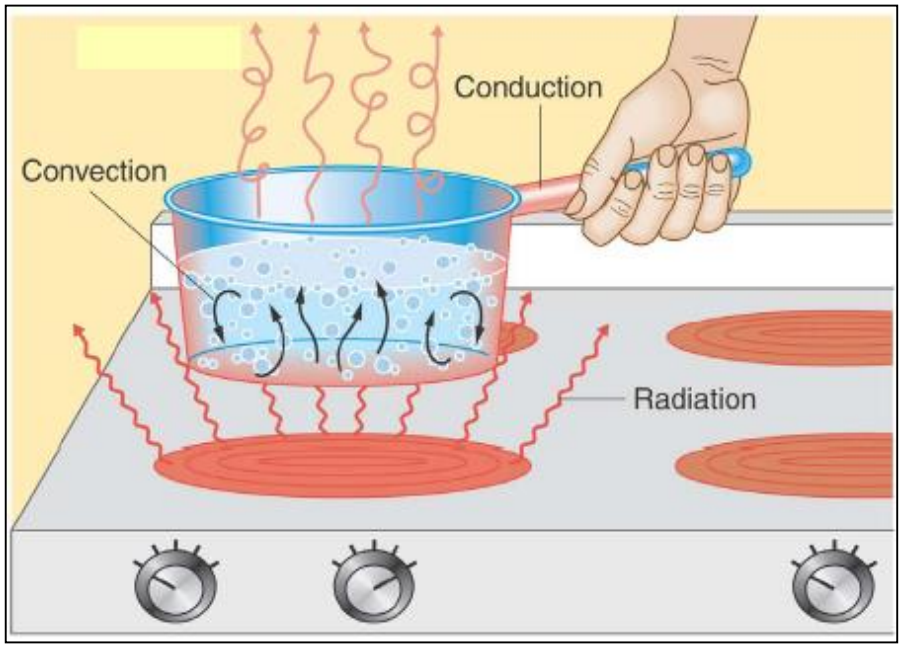
t = tempo para se atingir o regime quase estacionário;
r = distância até a qual o calor se propaga no instante t;
α = difusividade térmica do material; v_s = velocidade de soldagem;

Na próxima aula...

NA PRÓXIMA AULA

INTRODUÇÃO: MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

- ✓ A) CONDUÇÃO (meio estacionário)
- ✓ B) CONVECÇÃO (superfície e fluído)
- ✓ C) RADIAÇÃO (ausência de um meio interveniente)



REFERÊNCIAS:

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. Fundamentos de transferência de calor e massa, 4ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

KREITH, Frank; BOHN Mark S. Princípios de transferência de calor. Thomson Pioneira, 2003.

SISSOM, L.E.; PITTS, D.R. Fenômenos de transporte. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.