

3

Propriedades e Tensões Térmicas

3.1.

Propriedades Térmicas

3.1.1.

Calor Específico

O calor específico de uma substância é a quantidade de calor que se requer para elevar um grau Celsius a temperatura de um grama dessa substância. A unidade em que se expressa esta propriedade no SI é J/kg.K (Joule por quilograma Kelvin) ou ainda outra unidade é cal/g.°C (caloria por grama grau celsius).

O calor específico é constante para cada substância em cada estado físico. Pode-se dizer que o calor específico caracteriza uma substância (em determinado estado físico) e é dado pela equação 3.1.

$$c = \frac{C}{m} \quad 3.1$$

Onde:

c = calor específico,

C = capacidade térmica,

m = massa.

A tabela 3.1 apresenta o calor específico de algumas substâncias à pressão constante de 1 atm.

Tabela 3.1 – Valores de calor específico para algumas substâncias.

Substância	cal/g°C	J/kg.K
Água	1,000	4186,00
Álcool	0,600	2511,60
alumínio	0,215	899,99
Ar	0,240	1004,64
carbono	0,120	502,32
chumbo	0,031	129,77
Cobre	0,092	386,79
Ferro	0,108	452,09
gelo (-10°C a 0°C)	0,500	2093,00
Hélio	1,250	5232,50
hidrogênio	3,400	14232,40
Latão	0,092	385,11
madeira	0,420	1758,12
Mármore	0,205	858,13
mercúrio	0,033	138,14
nitrogênio	0,250	1046,50
Ouro	0,032	133,95
oxigênio	0,220	920,92
Prata	0,056	234,42
Rochas	0,210	879,06
solo (típico)	0,250	1046,50
vapor de água (100°C)	0,480	2009,28
vidro (típico)	0,160	669,76
Zinco	0,093	389,30

3.1.2.

Condutividade Térmica

A propagação de calor pode-se dar por meio de três mecanismos: condução, convecção e radiação.

A transferência de calor na condução é através de uma interação molecular num meio, onde as moléculas transmitem sua energia cinética a outras moléculas adjacentes por colisão. Quanto mais forte for a ligação molecular de um material,

mais condutor ele será. Nos sólidos, o calor é transmitido principalmente por condução.

Na convecção existem movimentos macroscópicos de matéria, as moléculas do meio são as que se movimentam de um lugar a outro, o que não acontece na condução, e isto é possível só em líquidos e gases.

A radiação é o mecanismo pelo qual o calor é transmitido por através da emissão de ondas eletromagnéticas que se propagam livremente no espaço. Inclui a radiação térmica que emite todo corpo em função de sua temperatura.

A condução de calor é regida pela lei de Fourier que estabelece que o fluxo de calor q , num ponto do meio, é proporcional ao gradiente de temperatura nesse ponto. Se considerar o caso unidimensional, a lei de Fourier se escreve segundo a equação 3.2.

$$q = -k \frac{dT}{dy} \quad 3.2$$

Onde k é a condutividade térmica do material, e dT/dy é o gradiente térmico entre dois pontos. O sinal negativo na equação 3.2 é para indicar que o calor propaga-se na direção de diminuição da temperatura.

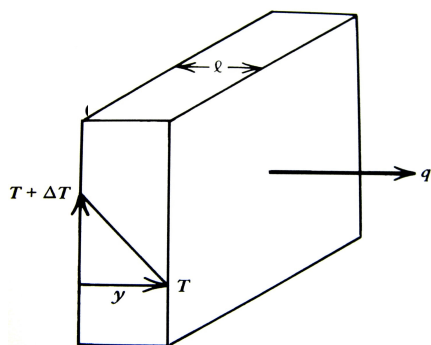


Figura 3.1 Fluxo térmico numa placa

Considerando uma placa de espessura l , como é mostrada na figura 3.1, o fluxo de calor é dado pela equação 3.3.

$$q = k \frac{\Delta T}{l} \quad 3.3$$

A condutividade térmica (k) é uma propriedade física dos materiais que mede a capacidade para conduzir calor. É expressa no S.I. em $W/(m \cdot ^\circ C)$ ou $J/(s.m.^{\circ}C)$.

Quanto maior o valor de k , mais condutor de calor é o material. A condutividade térmica é elevada em metais e baixa nos gases, sendo muito baixa em alguns materiais especiais como a fibra de vidro, que são chamados isolantes térmicos.

A tabela 3.2 mostra o valor da condutividade térmica para alguns materiais naturais.

Tabela 3.2 – Valores de condutividade de alguns materiais

Material	Condutividade k ($W.m^{-1}^{\circ}C^{-1}$)
Argilito	2,38
Marga	2,69
Calcário	2,21
Dolomia	3,34
Gesso	5,28
Sal	5,52
Basalto	1,76
Granito	2,66
Gnaisse	2,70
Mármore	2,80
Quartzito	6,18
Prata	418,00
Gelo	1,2
Madeira	0,1

3.1.3.

Expansão Térmica

Geralmente um corpo ou substância demonstra expansão devido à absorção de energia térmica, pois está aumentando a agitação de suas moléculas. Isso faz com que elas se afastem umas das outras, aumentando o espaço entre elas. Na contração, acontece o inverso, ao expor o corpo à temperaturas baixas o grau de agitação das moléculas diminui, o que faz com que o espaço entre elas e, conseqüentemente o volume do corpo, diminuam.

As variações do tamanho num corpo sólido podem-se obter através de:

Expansão térmica linear $\Delta L = L_i \cdot \alpha_l \cdot \Delta T$

Expansão térmica Superficial $\Delta A = A_i \cdot \beta \cdot \Delta T$

Expansão térmica Volumétrica $\Delta V = V_i \cdot \gamma \cdot \Delta T$

Onde:

ΔT = variação da temperatura ($T_f - T_i$),

L_i = comprimento inicial do corpo,

A_i = área inicial do corpo,

V_i = volume inicial do corpo,

α_l = coeficiente de dilatação térmica linear,

β = coeficiente de dilatação térmica superficial,

γ = coeficiente de dilatação térmica volumétrica.

Líquidos e gases apresentam apenas expansão volumétrica, pois não possuem forma definida.

O coeficiente de dilatação linear (α_l) depende de cada material e possui unidades de inverso de temperatura ($^{\circ}\text{C}^{-1}$). Quanto maior for o coeficiente da substância mais facilidade ela terá para se expandir, quando esquentada, ou diminuir seu tamanho, quando esfriada.

Para um material isotrópico, o coeficiente de expansão térmica volumétrico é o triplo do coeficiente de expansão linear, $\gamma = 3\alpha_l$.

Nas tabelas 3.3 e 3.4 são apresentados valores de coeficientes de dilatação linear (α_l) e volumétrica (γ) de algumas substâncias, respectivamente.

Tabela 3.3 – Valores de coeficiente de dilatação linear

Substância	Coeficiente de dilatação linear (α_l) em $^{\circ}\text{C}^{-1}$
aço	$1,1 \times 10^{-5}$
alumínio	$2,4 \times 10^{-5}$
chumbo	$2,9 \times 10^{-5}$
cobre	$1,7 \times 10^{-5}$
ferro	$1,2 \times 10^{-5}$
latão	$2,0 \times 10^{-5}$
ouro	$1,4 \times 10^{-5}$
prata	$1,9 \times 10^{-5}$
vidro comum	$0,9 \times 10^{-5}$
vidro pirex	$0,3 \times 10^{-5}$
zinco	$6,4 \times 10^{-5}$

Tabela 3.4 – Valores de coeficiente de dilatação volumétrica

Substância	Coeficiente de dilatação volumétrica (γ) em $^{\circ}\text{C}^{-1}$
álcool	100×10^{-5}
gases	$3,66 \times 10^{-3}$
gasolina	11×10^{-4}
mercúrio	$18,2 \times 10^{-5}$

3.2.

Tensões Térmicas

A maioria das substâncias dilatam-se quando se eleva a temperatura e contraem-se quando esta diminui, sendo as dilatações e as contrações proporcionais ao incremento térmico num amplo campo de temperaturas. Esta proporcionalidade é representada pelo coeficiente linear de dilatação térmica, o qual é definido como o aumento que experimenta uma unidade de comprimento quando a temperatura varia um grau (Johns, 1967).

Se num corpo determinado é permitida a expansão ou contração sem limitações, ao variar a temperatura, não se originará tensão alguma.

Mas quando a elevação da temperatura num corpo homogêneo não é uniforme, as distintas regiões do material não se dilataram igualmente, dando lugar às tensões térmicas. E se a variação térmica num corpo homogêneo é

uniforme e existem limitações externas à dilatação, também serão originadas tensões térmicas (Johns, 1967).

O conhecimento das tensões térmicas é importante nos projetos de engenharia. A ruptura por fadiga pode ocorrer como resultado de flutuações na temperatura (Timoshenko & Goodrer, 1980).

Timoshenko & Goodrer (1980) apresentam a equação do cálculo das tensões térmicas para estado plano de tensão para uma placa retangular de altura $2c$ e cujo plano médio coincide com o plano xy , como é mostrada na figura 3.2, e na qual a temperatura T é uma função par de y , e independente de x e z .

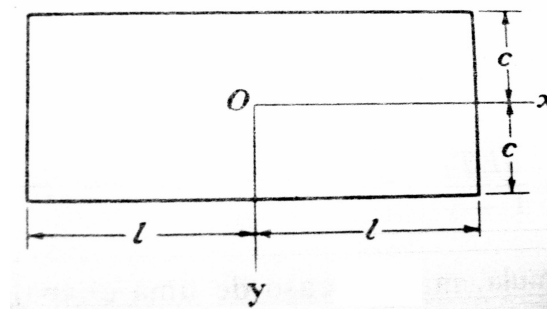


Figura 3.2 Placa retangular

Considerando restrições de dilatação da placa nas direções x e z e livre para se expandir na direção y , as tensões são representadas pela equação 3.4, que serão de compressão quando T for positivo.

$$\sigma_x = \sigma_z = -\frac{\alpha ET}{1-\nu} \quad 3.4$$

Onde:

ν = coeficiente de Poisson,

T = variação de temperatura num ponto z ,

E = módulo de elasticidade,

α = coeficiente de expansão térmica,

σ_x e σ_z = tensões térmicas.