

Republic of Iraq

Ministry of Higher Education

and Scientific Research

Al-Mustaqbal University College

Chemical Engineering and Petroleum Industries Department



Subject: Materials Science and Engineering

2nd Class

Lecture three

Thermal Properties

Introduction:

By “thermal property” is meant the response of a material to the application of heat. As a solid absorbs energy in the form of heat, its temperature rises and its dimensions increase. The energy may be transported to cooler regions of the specimen if temperature gradients exist, and ultimately, the specimen may melt.

تعني استجابة المادة للتطبيقات الحرارية ، فإن الجسم الصلب يمتص الطاقة بشكل حرارة فترتفع درجة حرارة الجسم وابعاده تزداد، ممكن ان تنتقل الطاقة الى المناطق الباردة الموجودة في العينة اذا كان هنالك تدرج بالحرارة الى ان تصل العينة الى حالة الذوبان لذلك تكون جميع نقاط العينة تمتلك نفس درجة الحرارة (يحصل توازن حراري)

► Heat Capacity & Specific Heat

Heat capacity (C_p, C_v): The quantity of heat required to produce a unit temperature rise per mole of material.

القدرة الحرارية (C_p, C_v): كمية الحرارة المطلوبة لرفع درجة حرارة مول واحد من المادة درجة حرارية واحدة.

Or:

It is a property that is indicative of a material's ability to absorb heat from the external surroundings.

In mathematical terms, the heat capacity C is expressed as follows:

الخاصية التي تعبر عن قابلية المادة على امتصاص الحرارة من المحيط من الناحية الرياضية ، يتم التعبير عن السعة الحرارية C على النحو التالي:

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

Where dQ is the energy required to produce a dT temperature change.

Ordinarily, heat capacity is specified per mole of material (e.g., J/mol-K, or cal/mol-K).

حيث dQ هي الحرارة اللازمة لحصول التغير بدرجة الحرارة dT . عادة ، يتم تحديد السعة الحرارية لكل مول من المادة (على سبيل المثال ، $J / mol-K$ أو $cal / mol-K$)

There are really **two ways** in which this property may be measured:

- 1- the heat capacity while maintaining the specimen volume constant, C_v
- 2- is for constant external pressure, which is denoted C_p .

The magnitude of C_p is always greater than C_v .

Specific heat (often denoted by a lowercase c : c_p, c_v) is sometimes used; this represents the heat capacity per unit mass and has various units ($J/kg-K$, $cal/g-K$, $Btu/lbm-^{\circ}F$).

حجم C_p دائماً أكبر من C_v .
أحياناً يتم استخدام حرارة محددة (غالباً ما يتم الإشارة إليها من قبل الحرف الصغير c_p, c_v) ؛ وهذا يمثل السعة الحرارية لكل وحدة كتلة ولديه وحدات مختلفة ($J / kg-K$ ، $cal / g-K$ ، $Btu / lbm-^{\circ}F$).

Specific heat :The energy required to raise the temperature of one gram of a material by one degree.

حرارة محددة: الطاقة المطلوبة لرفع درجة حرارة جرام واحد من المادة بدرجة واحدة.

► Thermal Expansion

Most solid materials expand upon heating and contract when cooled. The change in length with temperature for a solid material may be expressed as follows:

التمدد الحراري

تتوسع معظم المواد الصلبة عند التسخين وتتقلص عند تبريدها. يمكن التعبير عن التغير في الطول مع درجة الحرارة لمادة صلبة على النحو التالي

$$\frac{l_f - l_0}{l_0} = \alpha_l (T_f - T_0)$$

or:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha_l \Delta T$$

Where l_0 and l_f represent, respectively, initial and final lengths with the temperature change from T_0 to T_f . The parameter α_l is called the **linear coefficient of thermal expansion**; it is a material property that is indicative of the extent to which a material expands upon heating, and has units of reciprocal temperature [$(^{\circ}\text{C})^{-1}$ or $(^{\circ}\text{F})^{-1}$].

Linear coefficient of thermal expansion - Describes the amount by which each unit length of a material changes when the temperature of the material changes by one degree.

Or: The fractional change in length divided by the change in temperature.

Of course, heating or cooling affects all the dimensions of a body, with a resultant change in volume. Volume changes with temperature may be computed from

حيث تمثل l_0 و l_f ، على التوالي ، الأطوال الأولية والنهائية مع تغير درجة الحرارة من T_0 إلى T_f . يسمى المعلمة α_l المعامل الخطي للتمدد الحراري ؛ هي خاصية مادية تدل على مدى توسع المادة عند التسخين ، ووحداتها معكوس وحدات درجة الحرارة [$(^{\circ}\text{C})^{-1}$ أو $(^{\circ}\text{F})^{-1}$].

المعامل الخطي للتمدد الحراري - يصف المقدار الذي تتغير به كل وحدة طول للمادة عندما تتغير درجة حرارة المادة بمقدار درجة واحدة.

أو: التغير الكسري في الطول مقسومًا على التغير في درجة الحرارة.

بالطبع ، يؤثر التسخين أو التبريد على جميع أبعاد الجسم ، مع ما يترتب على ذلك من تغير في الحجم. يمكن حساب التغيرات في الحجم مع درجة الحرارة من

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \alpha_v \Delta T$$

Where ΔV and V_0 are the volume change and the original volume, respectively, and α_v symbolizes the volume coefficient of thermal expansion.

حيث V_0 و V هما تغير الحجم والحجم الأصلي ، على التوالي ، و α_v يرمز لمعامل وحدة التمدد الحراري.

► Thermal conductivity (k):

For steady-state heat flow, the proportionality constant between the heat flux and the temperature gradient.

التوصيل الحراري (k):
بالنسبة لتدفق الحرارة المستقر ، يكون التناسب ثابتاً بين تدفق الحرارة وتدرج درجة الحرارة.

$$q = -k \frac{dT}{dx}$$

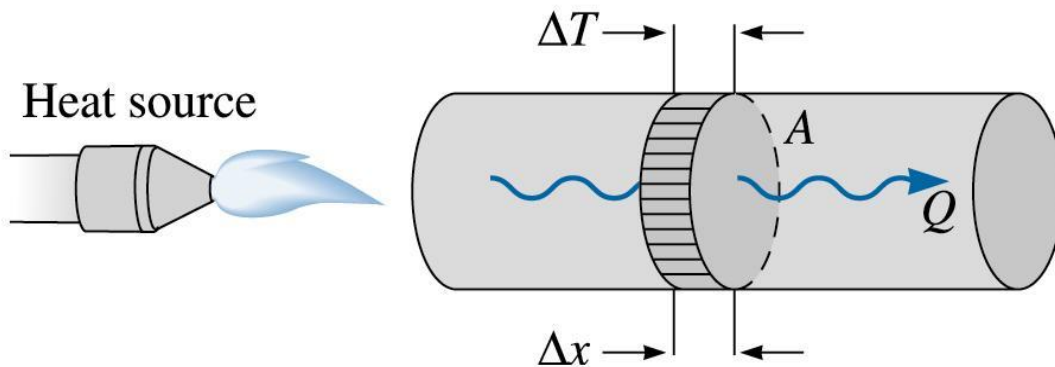
Where : q denotes the *heat flux*, or heat flow, per unit time per unit area (area being taken as that perpendicular to the flow direction)

W/m^2 .

K is the **thermal conductivity** , $W/m-K$

dT/dx is the *temperature gradient* through the conducting medium.

حيث: q تدل على تدفق الحرارة ، لكل وحدة مساحة خلال وحدة زمنية واحدة (المنطقة التي يتم أخذها على أنها متعامدة مع اتجاه التدفق)
(W / m^2 (Btu / ft²-h
 k هي الموصلية الحرارية ، ($W / m-K$)
 dT / dx هو التدرج في درجة الحرارة من خلال الوسط الموصل.



©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

Thermal conduction

is the phenomenon by which heat is transported from high to low-temperature regions of a substance.

For solid materials, heat is transported by free electrons and by vibrational lattice waves, or phonons. The high thermal conductivities for relatively pure metals are due to the large numbers of free electrons, and also the efficiency with which these electrons transport thermal energy. By way of contrast, ceramics and polymers are poor thermal conductors because free-electron concentrations are low and phonon conduction predominates.

Phonon : A single quantum of vibrational or elastic energy.

Lorentz constant : The constant that relates electrical and thermal conductivity.

التوصيل الحراري هو الظاهرة التي يتم بواسطتها نقل الحرارة من مناطق مرتفعة إلى درجات حرارة منخفضة من مادة ما.
بالنسبة للمواد الصلبة ، يتم نقل الحرارة بواسطة الإلكترونات الحرة والموجات الشبكية الاهتزازية أو الفونونات. ترجع الموصلية الحرارية العالية للمعادن النقية نسبياً إلى الأعداد الكبيرة من الإلكترونات الحرة ، وكذلك الكفاءة التي تنقل بها هذه الإلكترونات الطاقة الحرارية. على النقيض من ذلك ، فإن السيراميك والبوليمرات هي موصلات حرارية ضعيفة لأن تركيزات الإلكترونات الحرة منخفضة وتهيمن التوصيل الصوتي.
فونون: كمية واحدة من الطاقة الاهتزازية أو المرنة.
ثابت لورينتز: الثابت الذي يتعلق بالتوصيل الكهربائي والحراري.

► Thermal stresses:

A residual stress introduced within a body resulting from a change in temperature.

الإجهادات الحرارية: الإجهاد المتبقي داخل الجسم الناتج عن تغير في درجة الحرارة.

Or: Stresses introduced into a material due to differences in the amount of expansion or contraction that occur because of a temperature change.

Thermal stresses, may lead to fracture or undesirable plastic deformation.

أو: الضغوط التي يتم إدخالها في المادة بسبب الاختلافات في مقدار التمدد أو الانكماش الذي يحدث بسبب تغير درجة الحرارة. الضغوط الحرارية ، تحصل تشوهات دائمية.

The two prime sources of thermal stresses are:

1- Restrained thermal expansion (or contraction):

The magnitude of the stress $\bar{\sigma}$ resulting from a temperature change from T_0 to T_f is :

المصدران الرئيسيان للضغوط الحرارية هما:
1- التمدد الحراري المقيد (أو الانكماش).

مقدار الضغط الناتج عن تغير درجة الحرارة من T_0 إلى T_f هو:

$$\sigma = E\alpha_l(T_0 - T_f) = E\alpha_l\Delta T$$

2- Temperature gradients established during heating or cooling, which are frequently caused by rapid heating or cooling, in that the outside changes temperature more rapidly than the interior.

يتم إنشاء تدرجات درجة الحرارة أثناء التسخين أو التبريد ، والتي تحدث عادة بسبب التسخين السريع أو التبريد ، حيث أن الخارج يغير درجة الحرارة بسرعة أكبر من الداخل

Example:

A brass rod is to be used in an application requiring its ends to be held rigid. If the rod is stress free at room temperature [20°C (68°F)], what is the maximum temperature to which the rod may be heated without exceeding a compressive stress of 172 MPa (25,000 psi)? Assume a modulus of elasticity of 100 GPa for brass , and the linear coefficient of thermal expansion $20 \times 10^{-6} (\text{C}^{\circ})^{-1}$.Solution:

$$\begin{aligned} T_f &= T_0 - \frac{\sigma}{E\alpha_l} \\ &= 20^{\circ} - \frac{-172 \text{ MPa}}{(100 \times 10^3 \text{ MPa})[20 \times 10^{-6} (\text{C}^{\circ})^{-1}]} \\ &= 20^{\circ}\text{C} + 86^{\circ}\text{C} = 106^{\circ}\text{C} (223^{\circ}\text{F}) \end{aligned}$$

► **Thermal shock** :The fracture of a brittle material as a result of stresses that are introduced by a rapid temperature change.

Because ceramic materials are brittle, they are especially susceptible to this type of failure.

The resistance of many materials to this type of failure may be approximated by a thermal shock resistance parameter **TSR**:

الصدمة الحرارية: كسر مادة هشة نتيجة للضغوط التي تنتج عن طريق تغيير سريع في درجة الحرارة. لأن المواد الخزفية هشة ، فهي عرضة بشكل خاص لهذا النوع من الفشل. يمكن تقريب مقاومة العديد من المواد لهذا النوع من الفشل بواسطة معامل مقاومة الصدمة الحرارية TSR:

$$TSR \cong \frac{\sigma_f k}{E \alpha_l}$$

Homework

1. Metals are typically better thermal conductors than ceramic materials?
2. What is the difference between the Heat Capacity & Specific Heat?
3. What does it mean of the steady-state?
4. Define the Phonon and Lorentz constant.
5. What is Thermal stresses and what are its sources?
6. What is the thermal shock and what are the materials most exposed to it?