

คุณสมบัติทางความร้อน Thermal Properties

Objectives

ISSUES TO ADDRESS...

- How does a material respond to heat?
- How do we define and measure...
 - heat capacity
 - coefficient of thermal expansion
 - thermal conductivity

Introduction

คุณสมบัติทางความร้อน (Thermal property) หมายถึง การตอบสนองของวัสดุที่มีต่อความร้อน เช่น การที่วัสดุสามารถดูดซับพลังงานในรูปของความร้อน กล่าวคือ การที่ขนาดของวัสดุมีการขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

Heat Capacity, C

- General: The ability of a material to absorb heat.
- Quantitative: The energy required to increase the temperature of the material.

heat capacity
(J/mol-K) → $C = \frac{dQ}{dT}$

← **energy input (J/mol)** (pointing to dQ)

← **temperature change (K)** (pointing to dT)

- Two ways to measure heat capacity:
 - C_p : Heat capacity at constant pressure.
 - C_v : Heat capacity at constant volume.

Specific Heat, c

Heat capacity per unit mass (J/Kg-K)

Temperature Dependence of The Heat Capacity

- Heat capacity...

--increases with temperature

--reaches a limiting value of $3R$

$C_V = 0$ ที่ 0 K ที่อุณหภูมิต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่าง C_V และค่าอุณหภูมิสัมพัทธ์ T มีค่าเท่ากับ

$$C_V = AT^3$$

A : Temperature-independent constant

- Debye temperature θ_D
 - ค่าของ Heat capacity, C_v จะมีค่าประมาณ $3R$ โดย R คือค่า gas constant
 - ค่าของ θ_D มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิห้องสำหรับวัสดุแข็งทั่วไป

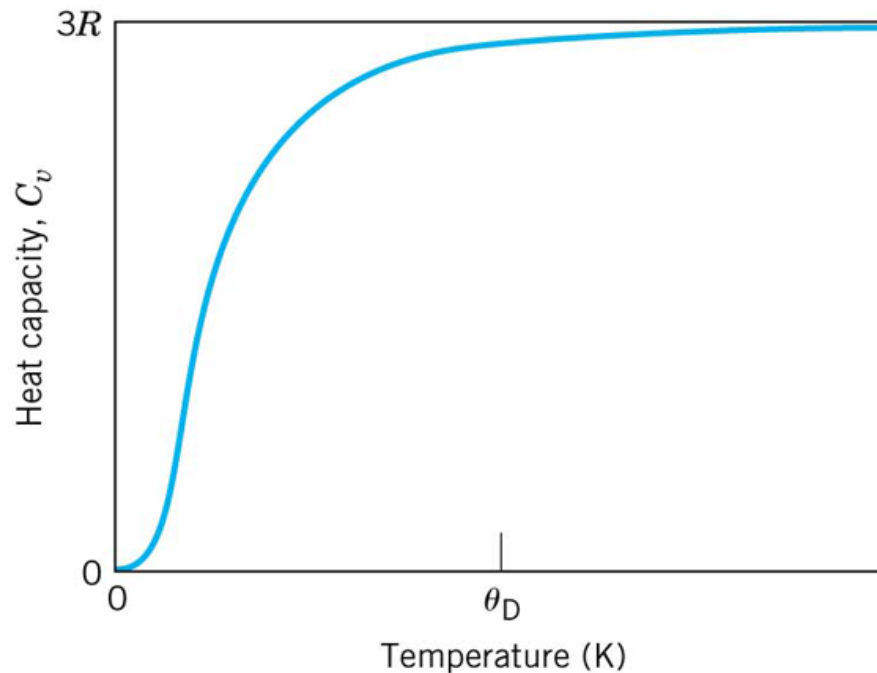


FIGURE 19.2 The temperature dependence of the heat capacity at constant volume; θ_D is the Debye temperature.

Thermal Expansion

- วัสดุจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น
สามารถแสดงความสัมพันธ์ดังสมการ

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

α_l : สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน
(linear coefficient of thermal expansion)



Material	α ($10^{-6}/\text{K}$) at room T
• Polymers	
Polypropylene	145-180
Polyethylene	106-198
Polystyrene	90-150
Teflon	126-216
• Metals	
Aluminum	23.6
Steel	12
Tungsten	4.5
Gold	14.2
• Ceramics	
Magnesia (MgO)	13.5
Alumina (Al ₂ O ₃)	7.6
Soda-lime glass	9
Silica (cryst. SiO ₂)	0.4

สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (α)

Aluminium	0.000023 K ⁻¹
Antimony	0.000011 K ⁻¹
Asphalt	~0.0002 K ⁻¹
Beryllium	0.0000113 K ⁻¹
Bismuth	0.0000134 K ⁻¹
Boron	0.0000047 K ⁻¹
Brass	0.000018 K ⁻¹
Bronze	0.000017 K ⁻¹
Cadmium	0.0000308 K ⁻¹
Carbon	1e-6 to 3.1e-6 K ⁻¹
Cast Iron	0.0000105 K ⁻¹
Chromium	0.0000049 K ⁻¹
Cobalt	0.000012 K ⁻¹
Concrete	0.000012 K ⁻¹
Constantan	0.0000152 K ⁻¹
Copper	0.0000165 K ⁻¹
German Silver	0.000018 K ⁻¹
Germanium	0.0000057 K ⁻¹
Glass	0.000008 K ⁻¹
Gold	0.0000142 K ⁻¹
Graphite	0.0000079 K ⁻¹
Indium	0.0000321 K ⁻¹
Invar	0.0000017 K ⁻¹
Iridium	0.0000064 K ⁻¹
Iron	11e-6 to 12e-6 K ⁻¹
Lead	0.0000289 K ⁻¹
Magnesium	0.0000248 K ⁻¹
Magnesium Oxide	0.000012 K ⁻¹
Marble	3e-6 to 15e-6 K ⁻¹
Molybdenum	0.0000052 K ⁻¹

สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (α)

Monel	0.000014 K^{-1}
Nickel	0.0000134 K^{-1}
Niobium	0.0000073 K^{-1}
Nylon	0.0001 K^{-1}
Oak	0.15E-6 along grain K^{-1}
Palladium	0.0000118 K^{-1}
Paraffin Wax	0.00011 K^{-1}
Platinum	0.000009 K^{-1}
Polymethyl Methacrylate Resin	0.000085 K^{-1}
Polystyrene	0.00007 K^{-1}
Porcelain	2e-6 to 6e-6 K^{-1}
Quartz	0.0000005 K^{-1}
Rhodium	0.0000082 K^{-1}
Silicon	0.0000026 K^{-1}
Silicon Carbide	0.0000045 K^{-1}
Silver	0.000019 K^{-1}
Sodium I Fluoride	0.000036 K^{-1}
Stainless Steel	0.000016 K^{-1}
Steel	0.000015 K^{-1}
Sulphur	0.000064 K^{-1}
Tantalum	0.0000063 K^{-1}
Thallium	0.0000299 K^{-1}
Tin	0.000022 K^{-1}
Titanium	0.0000086 K^{-1}
Tungsten	0.0000045 K^{-1}
Uranium	0.0000139 K^{-1}
Vanadium	0.0000084 K^{-1}
Water	(Ice: 5.0E-5) K^{-1}
Zinc	0.0000302 K^{-1}
Zinc Sulphide	0.0000066 K^{-1}

Thermal Conductivity

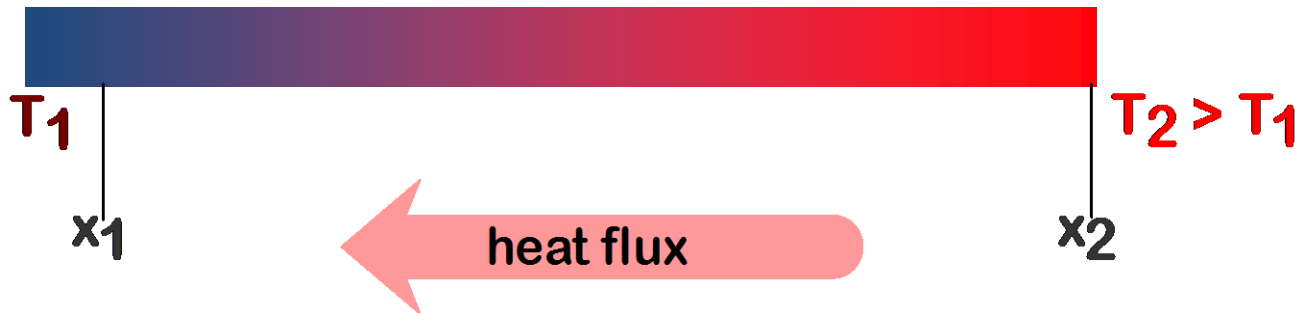
- General: The ability of a material to transfer heat.
- Quantitative:

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

heat flux (J/m²-s) → q

→ k thermal conductivity (J/m-K-s)

→ $\frac{dT}{dx}$ temperature gradient



แท่งทองเหลืองแท่งหนึ่งถูกยึดปลายทั้ง 2 ข้าง ถ้าแท่งทองเหลือง
ไม่มีความเค้นที่อุณหภูมิห้อง ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) ที่อุณหภูมิสูงสุดเท่าใดที่
แท่งทองเหลืองจะสามารถรับความร้อน โดยที่ความเค้นแรงอัดไม่
เกิน 172 MPa กำหนดให้ $E = 100\text{ GPa}$



Material	k (W/m-K)	Energy Transfer
• Metals		
Aluminum	247	By vibration of atoms and motion of electrons
Steel	52	
Tungsten	178	
Gold	315	
• Ceramics		
Magnesia (MgO)	38	By vibration of atoms
Alumina (Al ₂ O ₃)	39	
Soda-lime glass	1.7	
Silica (cryst. SiO ₂)	1.4	
• Polymers		
Polypropylene	0.12	By vibration/rotation of chain molecules
Polyethylene	0.46-0.50	
Polystyrene	0.13	
Teflon	0.25	

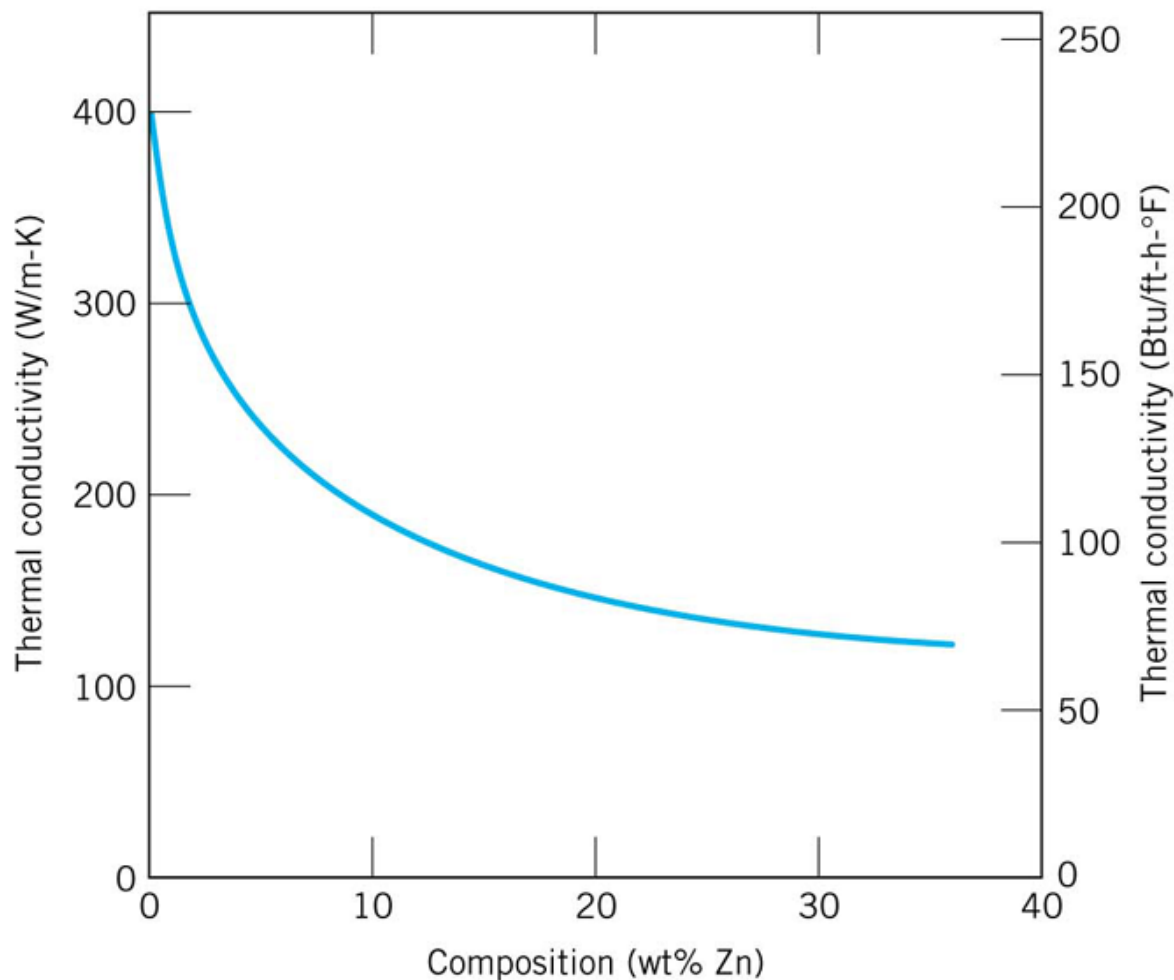


FIGURE 19.4 Thermal conductivity versus composition for copper–zinc alloys. [Adapted from *Metals Handbook: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals*, Vol. 2, 9th edition, H. Baker (Managing Editor), American Society for Metals, 1979, p. 315.]

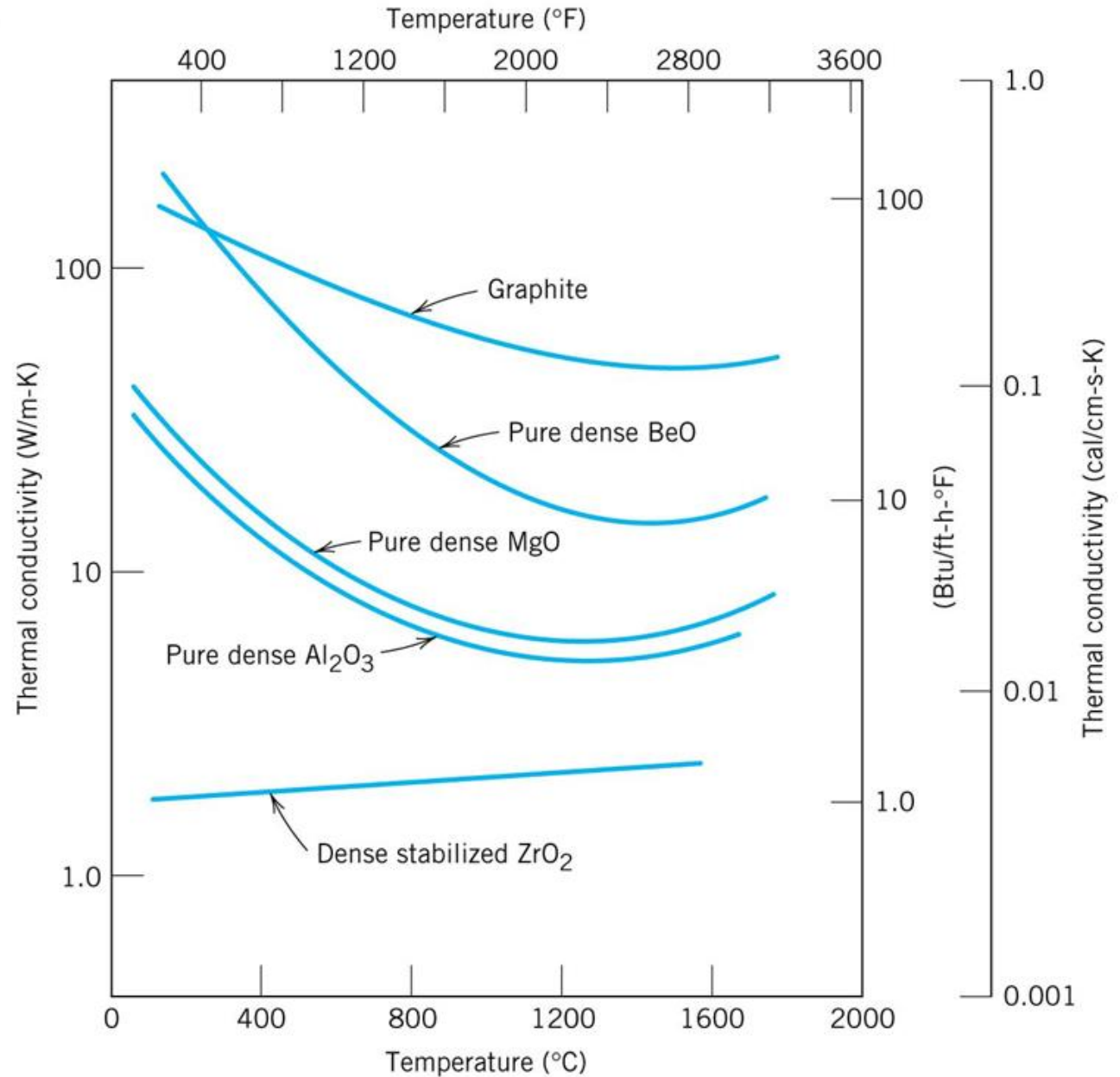
FIGURE 19.5

Dependence of thermal conductivity on temperature for several ceramic materials.

(Adapted from W. D. Kingery, H. K. Bowen, and D. R. Uhlmann,

Introduction to Ceramics, 2nd edition.

Copyright © 1976 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)



Thermal Stresses

- ความเค้นทางความร้อน (thermal stress) เป็นความเค้นเนื่องจากการเหนี่ยวนำภายในวัสดุที่มีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดและธรรมชาติของความเค้นทางความร้อนจะสามารถนำไปอธิบายถึงการแตกหัก หรือการเปลี่ยนรูปแบบถาวรที่ไม่คาดการณ์ได้
 - Stresses Resulting From Restrained Thermal Expansion and Contraction

ถ้าแท่งโลหะได้รับความร้อนหรือความเย็น แท่งโลหะก็จะมี การยืดตัวหรือหดตัวอย่างอิสระ ซึ่งก็จะมีไม่มีความเค้นเกิดขึ้น ถ้าหากว่าแท่งโลหะ ถูกยึดกับทั้ง 2 ด้าน ความเค้นก็จะเกิดขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ของความเค้น จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแสดงดังสมการ

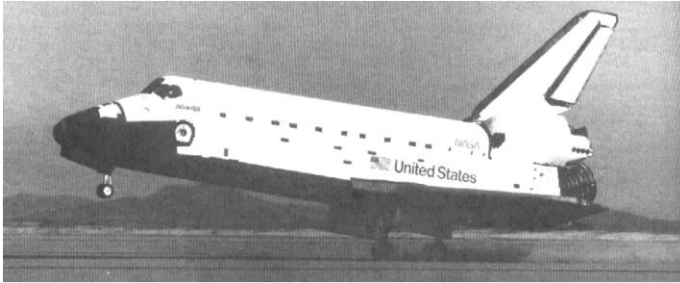
$$\sigma = E\alpha_l(T_0 - T_f) = E\alpha_l\Delta T$$

- Stresses resulting from temperature gradients

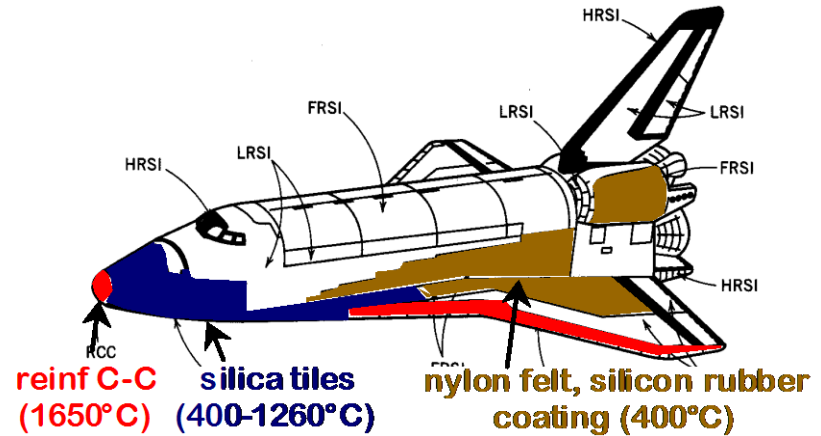
จากการที่วัสดุได้รับความร้อนหรือความเย็น การแผ่ของอุณหภูมิภายในวัสดุ จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของตัววัสดุเอง ค่าของสภาพนำความร้อนของ วัสดุ และอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งความเค้นก็จะเกิดขึ้น เนื่องจากการที่อุณหภูมิ gradients ผ่านภายในตัววัสดุโดยอาจจะมีความเร็ว ในการแพร่ผ่านความร้อนสูง โดยปกติอุณหภูมิที่ผิวนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิได้เร็วกว่าภายในเนื้อวัสดุ ทำให้เกิดความแตกต่างในการ เปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุภายในเนื้อวัสดุ

THERMAL PROTECTION SYSTEM

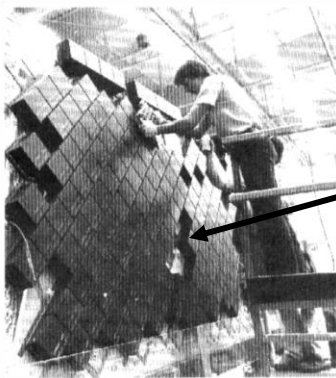
- Application:



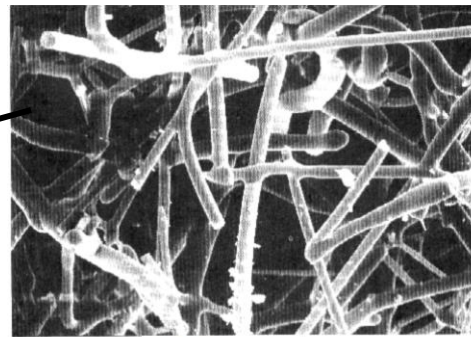
Space Shuttle Orbiter



- Silica tiles (400-1260 C):**
--large scale application



--microstructure:



~90% porosity!
Si fibers
bonded to one
another during
heat treatment.