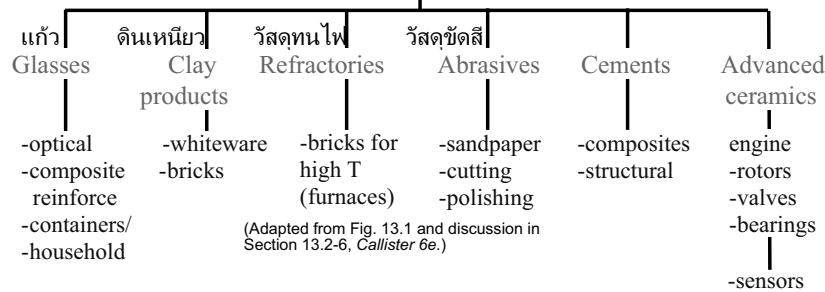


TAXONOMY OF CERAMICS



(Adapted from Fig. 13.1 and discussion in Section 13.2-6, Callister 6e.)

- สมบัติเด่นของเซรามิก: จุดหลอมเหลวสูง (ยกเว้น แก้ว จุดหลอมเหลวสูงปานกลาง) แข็ง เปราะ มอดูลัสความยืดหยุ่นสูง ทนต่อ Creep ได้ดี
- การใช้งาน: ทนความร้อนสูง ทนการสึกกร่อน และงานเฉพาะอื่น ๆ เช่น ทางไฟฟ้า

เซรามิกทนความร้อน- วัสดุทนไฟ

Table 13.2 Compositions of Five Common Ceramic Refractory Materials

Refractory Type	Composition (wt%)						Apparent Porosity (%)	
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO		TiO ₂
Fireclay	25-45	70-50	0-1		0-1	0-1	1-2	10-25
High-alumina fireclay	90-50	10-45	0-1		0-1	0-1	1-4	18-25
Silica	0.2	96.3	0.6			2.2		25
Periclase	1.0	3.0	90.0	0.3	3.0	2.5		22
Periclase-chrome ore	9.0	5.0	73.0	8.2	2.0	2.2		21

Source: 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.

1. fireclay: temp. < 1587 °C ขึ้นส่วนโครงสร้างเตา
2. Silica or acid refractory.: temp. < 1650 °C
3. Basic refractory: MgO สูง
4. Special refractory: alumina, silica, magnesia, zirconia (ZrO₂), mullite(3Al₂O₃-2SiO₂), graphite, SiC.

เซรามิกที่เป็นสารขัดสี

- ใช้ตัดหรือขัดสีวัสดุอื่น ๆ
- มี ๓ รูปแบบ: 1.bonded to grinding wheel (glass ceramic, resin, and metal bond) 2. coated abrasive 3. loose grains.

Table 12.6 Approximate Knoop Hardness (100 g load) for Seven Ceramic Materials

Material	Approximate Knoop Hardness
Diamond (carbon)	7000
Boron carbide (B ₄ C)	2800
Silicon carbide (SiC)	2500
Tungsten carbide (WC)	2100
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	2100
Quartz (SiO ₂)	800
Glass	550

Engineering ceramics เซรามิกทางวิศวกรรม

- Alumina (Al₂O₃): วัสดุทนไฟ, ท่อหรือปูพื้นสำหรับงานเคมี, เบ้า, หัวเทียน, ฉนวน
- Silicon nitride(Si₃N₄): สมบัติดีทั้งด้านการทนความร้อน ความแข็งและความแกร่ง ใช้ทำอุปกรณ์ตัด ลูกกลิ้งแบบลดแรงเสียดทาน บอลเบริง อุปกรณ์หัวจุด ขึ้นส่วนเครื่องยนต์

Engineering ceramics เซรามิกทางวิศวกรรม (2)

- Silicon Carbide (SiC): ความแข็งสูง เจือยต่อปฏิกิริยาเคมีและทนความเค้นสูงแต่ค่อนข้างเปราะ ในใช้งานเคมี หัวฉีด งานทนต่อการสึกกร่อน งานทนต่อความร้อน (และความเค้น) เช่นท่อ เตาที่ใช้อุณหภูมิสูง
- Zirconia (ZrO₂) : ทำอุปกรณ์ตัดที่ต้องการการสึกหรอต่ำ การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิสูงเหมาะสำหรับเคลือบบนผิวโลหะ

10

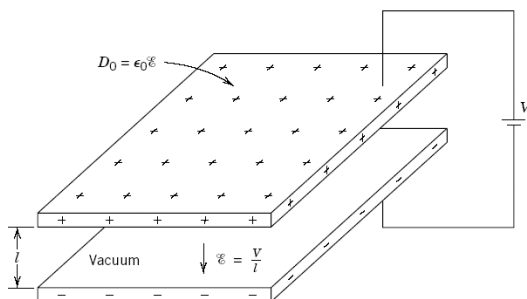
Electronic ceramics เซรามิกในงานไฟฟ้า

- ฉนวน: Electrical porcelain (~ 50%clay, 25% silica, 25% feldspar), steatite (~90% talc, 10% clay), forsterite (Mg₂SiO₄), alumina.
- ตัวเก็บประจุ: Barium titanate (BaTiO₃) มีค่า dielectric constant สูงถึง 1200-1500.
- สารกึ่งตัวนำ: silicon, SiC, GaAs.
- วัสดุพวก Piezoelectrics

11

สมบัติไดอิเล็กตริก

- ตัวเก็บประจุ $C = q/V$
- หน่วย $C/V=F$ (Coulomb/volt = Farad)
- รูปข้างล่าง แสดงตัวเก็บประจุจากแผ่นโลหะขนานสองแผ่นในสุญญากาศ



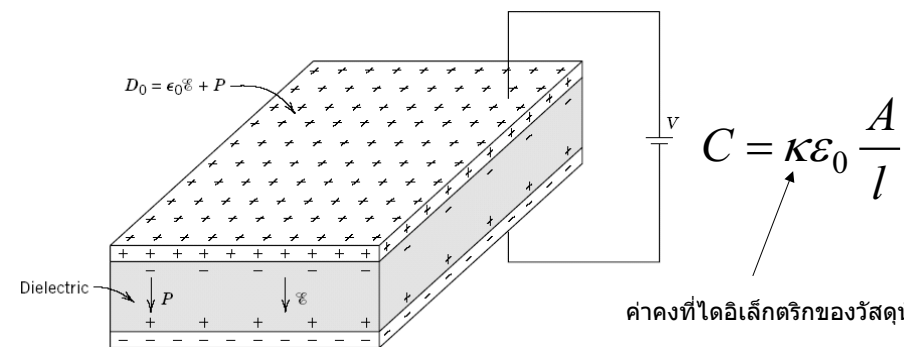
$$C = \epsilon_0 \frac{A}{l}$$

Permittivity ของสุญญากาศ
= 8.854×10^{-12} F/m

12

สมบัติไดอิเล็กตริก

- เมื่อมีวัสดุอื่นอยู่ระหว่างแผ่นโลหะ



ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุนั้น

13

สมบัติไดอิเล็กตริก

- ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง--- เป็นตัวเก็บประจุที่ดี
- (ถ้าต่ำ --- เป็นฉนวนไฟฟ้า)
- Dielectric Strength ความต้านทานสูงสุดที่วัสดุยังคงความเป็นฉนวนไว้ได้ (คือไม่ยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่าน)
 - V/mil, kV/mm

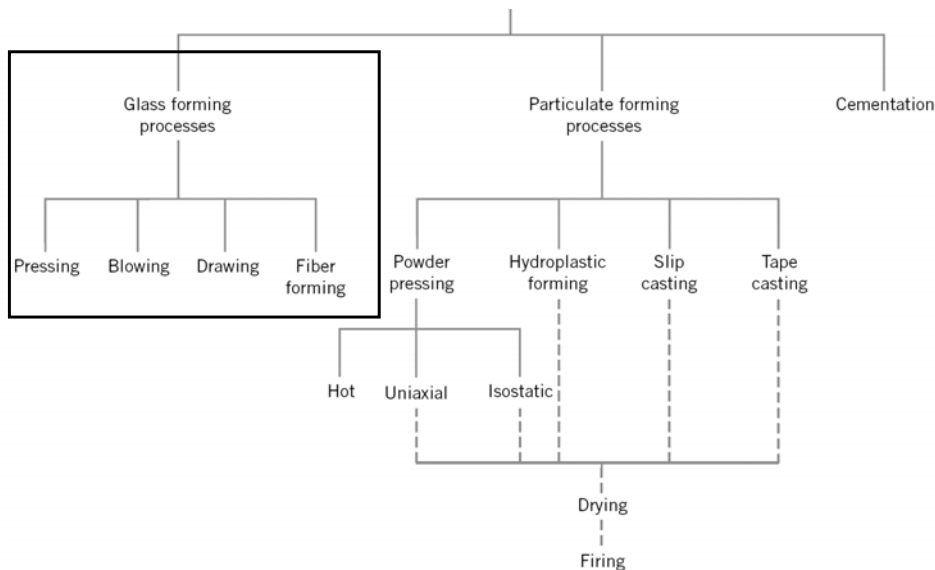
14

สมบัติไพโซอิเล็กตริก

- พบในวัสดุพวกแบเรียมไททานเตต (BaTiO_3)
- วัสดุสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล (เกิดความเครียดขึ้นภายในสนามไฟฟ้า) และกลับกัน (สร้างความต่างศักย์ภายใน เมื่อเกิดความเครียด)

15

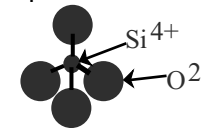
การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก



GLASS STRUCTURE

• Basic Unit:

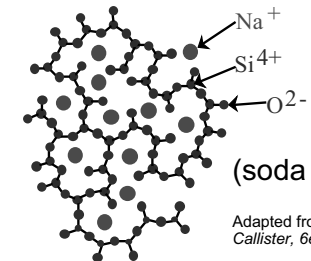
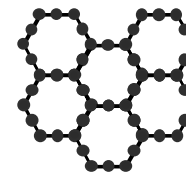
SiO_4^{4-} tetrahedron



- Glass is amorphous
- Amorphous structure occurs by adding impurities (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+})
- Impurities: interfere with formation of crystalline structure.

• Quartz is crystalline

SiO_2 :



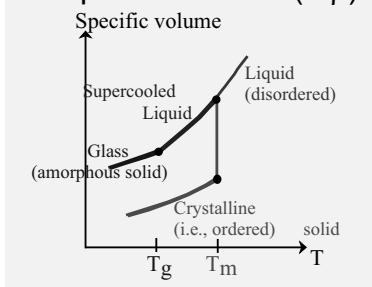
(soda glass)

Adapted from Fig. 12.11, Callister, 6e.

17

GLASS PROPERTIES

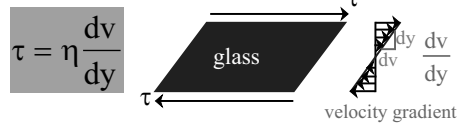
- Specific volume ($1/\rho$) vs Temperature (T):



Adapted from Fig. 13.5, Callister, 6e.

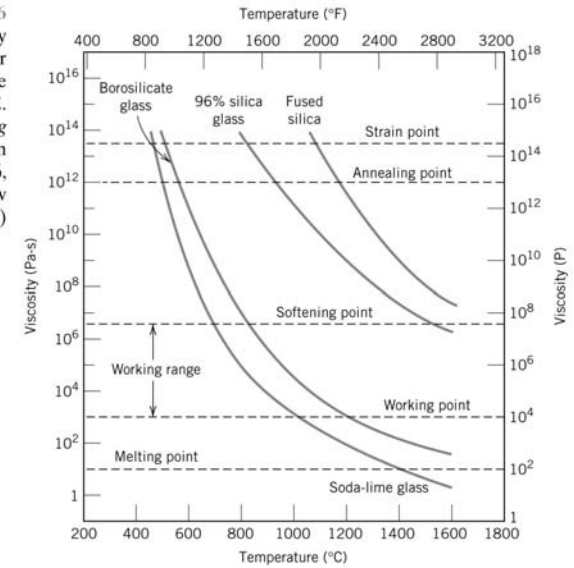
- Crystalline materials:
 - crystallize at melting temp, T_m
 - have abrupt change in spec. vol. at T_m
- Glasses:
 - do not crystallize
 - spec. vol. varies smoothly with T
 - Glass transition temp, T_g

- Viscosity:
 - relates shear stress & velocity gradient:
 - has units of (Pa-s)



Various Points in Glasses

FIGURE 13.6
Logarithm of viscosity versus temperature for fused silica and three silica glasses. (From E. B. Shand, *Engineering Glass*, Modern Materials, Vol. 6, Academic Press, New York, 1968, p. 262.)



การผลิตแก้ว

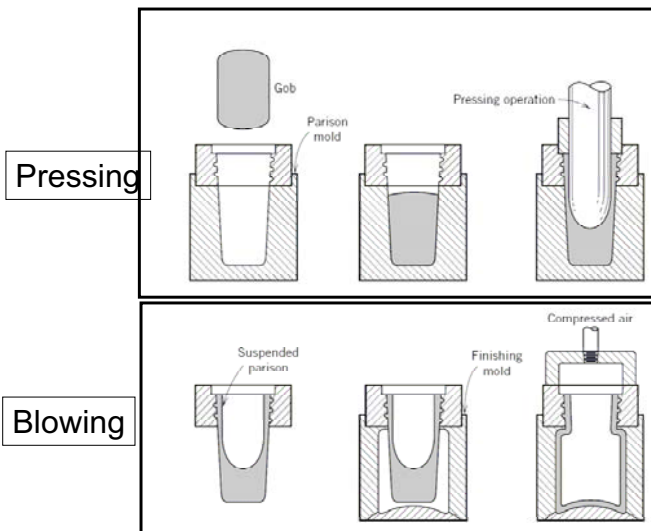
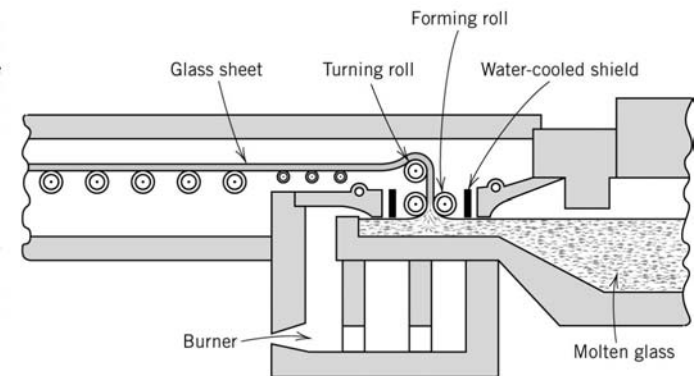


FIGURE 13.7 The press-and-blow technique for producing a glass bottle. (Adapted from C. J. Phillips, *Glass: The Miracle Maker*. Reproduced by permission of Pitman Publishing Ltd., London.)

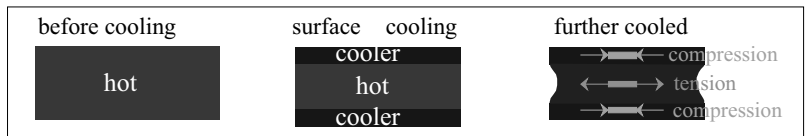
การผลิตแก้ว

FIGURE 13.8 A process for the continuous drawing of sheet glass. (From W. D. Kingery, *Introduction to Ceramics*. Copyright © 1960 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

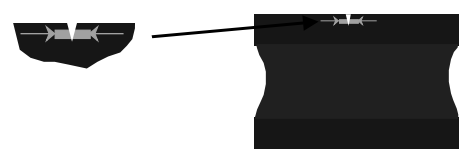


HEAT TREATING GLASS

- Annealing:
 - ลดความเค้นภายในอันเกิดจากการเย็นตัวที่ไม่สม่ำเสมอ
 - อบถึง Annealing Point แล้วให้เย็นตัวช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิห้อง
- Tempering:
 - ทำให้ผิวแก้วอยู่ในสภาวะความเค้นอัด
 - จะช่วยปิดไม่ให้รอยร้าวที่ผิวขยายตัวออกไป



--ผลของการ temper แก้ว- รอยร้าวที่ผิวถูกบีบปิดไว้ แก้วทนแรงได้สูงขึ้น



Tempered Glass

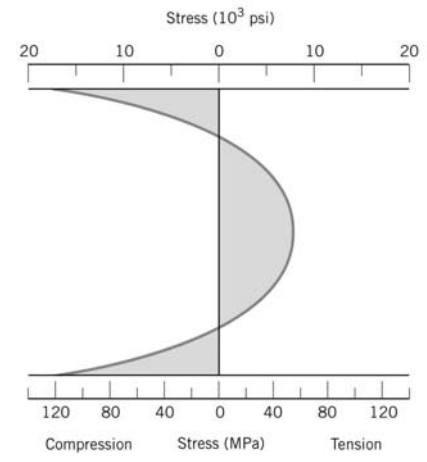
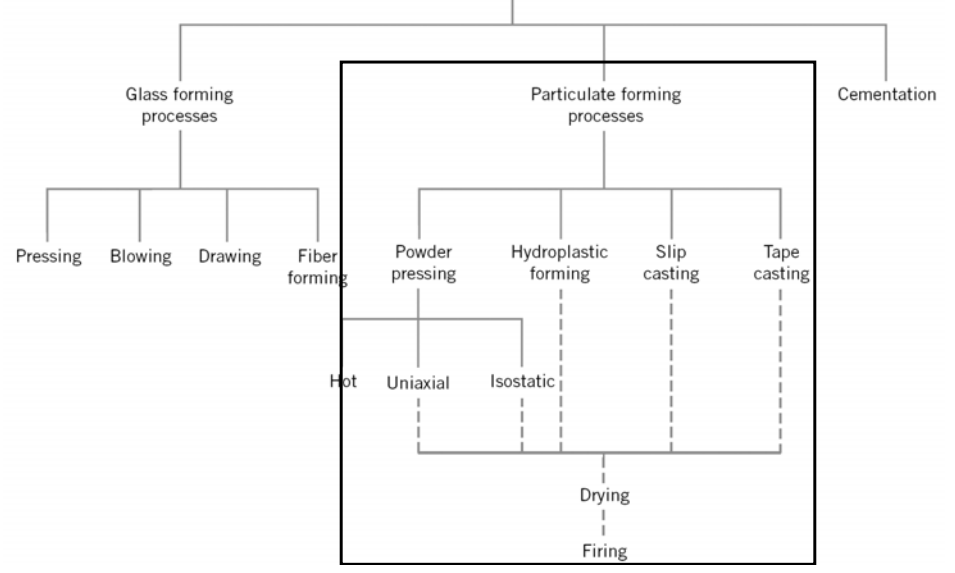


FIGURE 13.9 Room-temperature residual stress distribution over the cross section of a tempered glass plate. (From W. D. Kingery, H. K. Bowen, and D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd edition. Copyright © 1976 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก



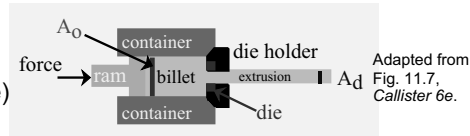
การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก

- การเตรียมวัสดุ
 - ผงวัสดุ, สารยึดเหนี่ยว (Binder), สารหล่อลื่น (Lubricant)
- การขึ้นรูป
- กรรมวิธีทางความร้อน
 - การอบแห้งและกำจัดสารยึดเหนี่ยว
 - Sintering (Firing)
 - Vitrification

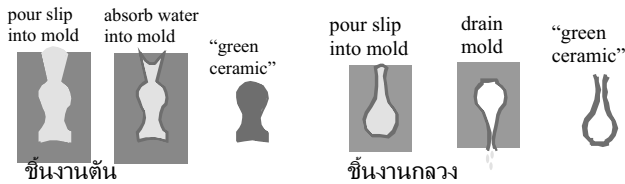
การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก

- บดและคัดขนาดให้ได้ขนาดอนุภาคที่ต้องการ
- ผสมอนุภาคกับน้ำ ได้เป็น สลิป (slip)
- ขึ้นรูปเป็น "green" component

--Hydroplastic forming:
extrude the slip (e.g., into a pipe)



--Slip casting:



- Dry and Fire the component

SLIP

- ดินเหนียวเป็นวัสดุราคาถูก
- เมื่อผสมน้ำเข้าไปในดินเหนียว --ทำให้เนื้อวัสดุเนียนออกจากกันได้ง่ายตามระนาบที่ ดูดกันด้วยแรงอ่อน ๆ ของแวนเดอร์วาล --ทำให้ขึ้นรูปด้วยวิธี extrusion ได้ --ทำให้ขึ้นรูปด้วยวิธี slip casting

• Structure of Kaolinite Clay:

Adapted from Fig. 12.14, Callister 6e. (Fig. 12.14 is adapted from W.E. Hauth, "Crystal Chemistry of Ceramics", American Ceramic Society Bulletin, Vol. 30 (4), 1951, p. 140.)

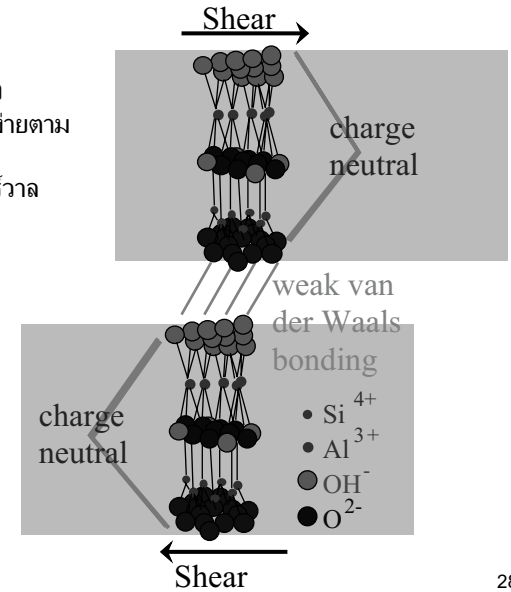


FIGURE 13.10 The steps in (a) solid and (b) drain slip casting using a plaster of paris mold. (From W. D. Kingery, Introduction to Ceramics. Copyright © 1960 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

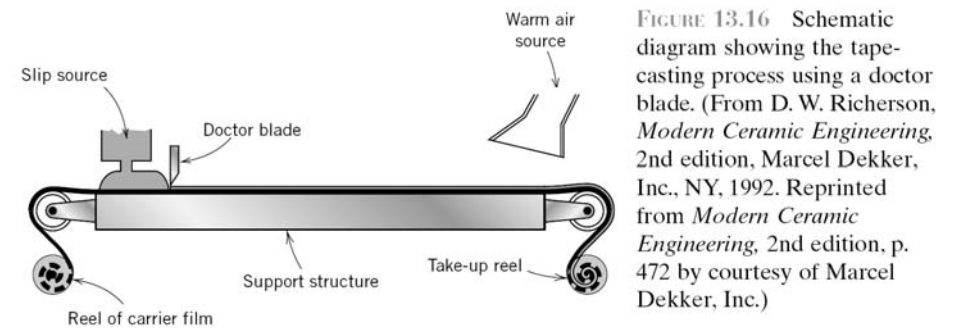
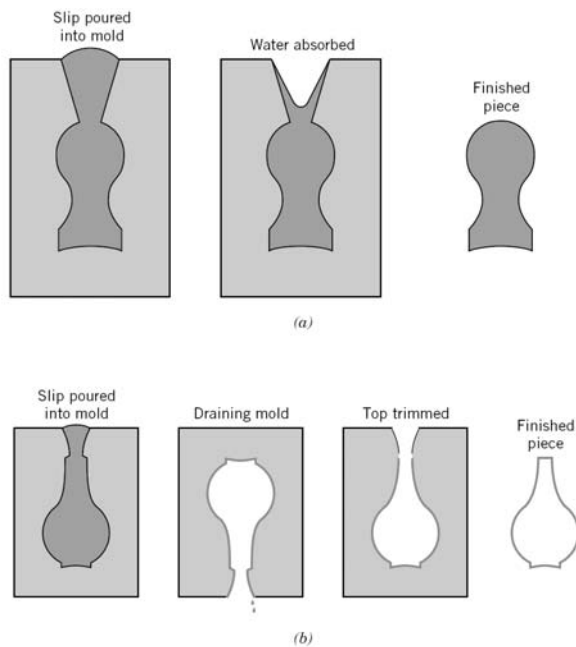
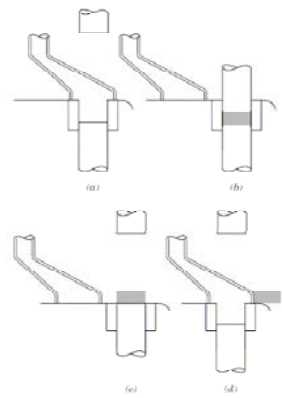


FIGURE 13.16 Schematic diagram showing the tape-casting process using a doctor blade. (From D. W. Richerson, Modern Ceramic Engineering, 2nd edition, Marcel Dekker, Inc., NY, 1992. Reprinted from Modern Ceramic Engineering, 2nd edition, p. 472 by courtesy of Marcel Dekker, Inc.)

การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก

- การขึ้นรูปโดยกระบวนการอัด (Pressing)
 - Cold Pressing/ Hot Pressing
 - Isostatic Pressing
 - Uniaxial Pressing

FIGURE 13.13 Schematic representation of the steps in uniaxial powder pressing. (a) The die cavity is filled with powder. (b) The powder is compacted by means of pressure applied to the top die. (c) The compacted piece is ejected by rising action of the bottom punch. (d) The fill shoe pushes away the compacted piece, and the fill step is repeated. (From W. D. Kingery, Editor, *Ceramic Fabrication Processes*, MIT Press, Copyright © 1958 by the Massachusetts Institute of Technology.)



Isostatic Press

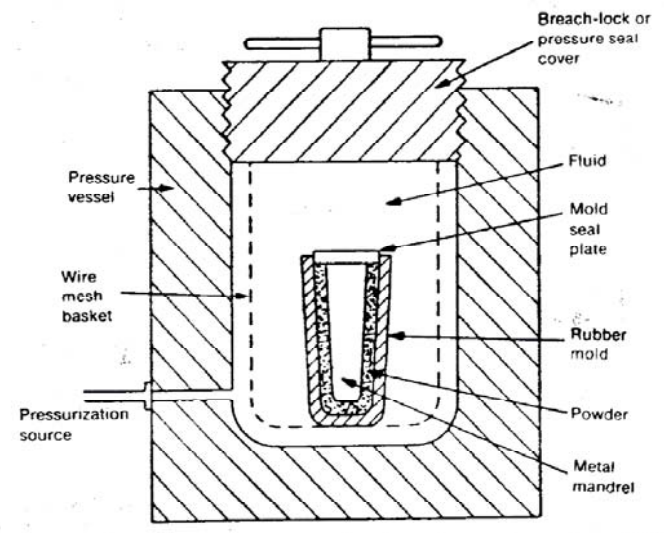
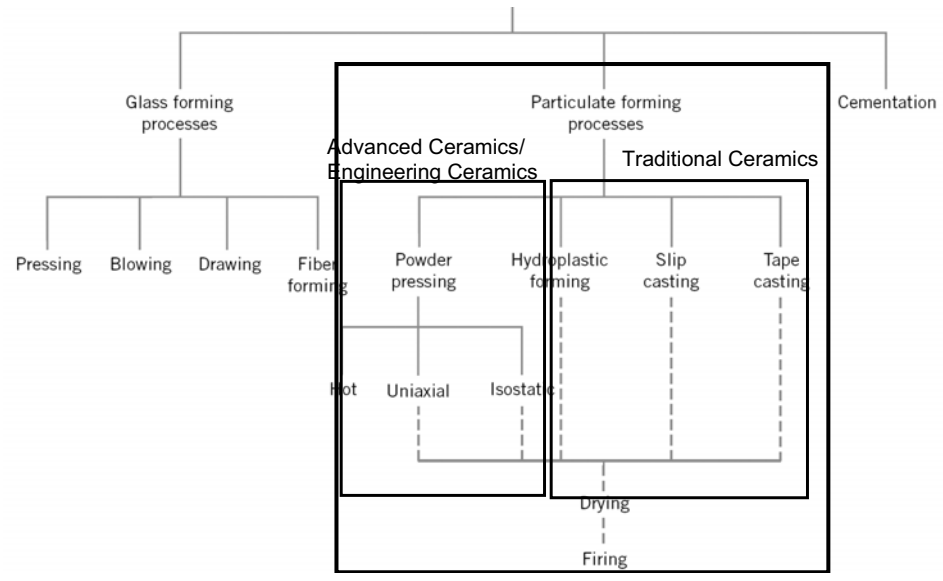


Figure 10.18 Schematic of a wet-bag isostatic pressing system. (© ASM International.)

การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก



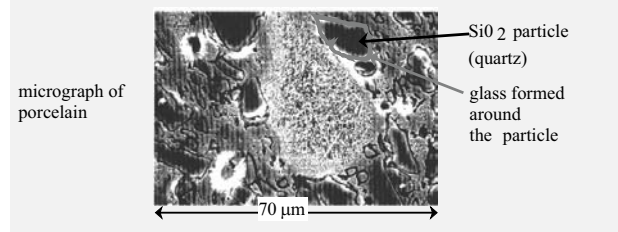
DRYING AND FIRING

- Drying: layer size and spacing decrease.



Adapted from Fig. 13.11, Callister 6e. (Fig. 13.11 is from W.D. Kingery, *Introduction to Ceramics*, John Wiley and Sons, Inc., 1960.)

- Firing:
 - T raised to (900-1400 C)
 - vitrification: glass forms from clay and flows between SiO₂ particles.

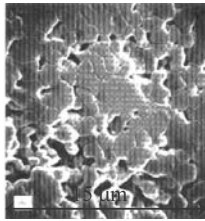


Adapted from Fig. 13.12, Callister 6e. (Fig. 13.12 is courtesy H.G. Brinkies, Swinburne University of Technology, Hawthorn Campus, Hawthorn, Victoria, Australia.)

การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก

- Firing/Sintering:
 - ลดขนาดของรูพรุน (Pore Size)
 - ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น
 - ความแข็งแรงสูงขึ้น
 - กระบวนการในสภาพของแข็ง (Solid-state process)

- Aluminium oxide powder:
 - sintered at 1700°C
 - for 6 minutes.



Adapted from Fig. 13.15, Callister 6e. (Fig. 13.15 is from W.D. Kingery, H.K. Bowen, and D.R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc., 1976, p. 483.)

ปรากฏการณ์ที่เกิดในการเผาพูนึก

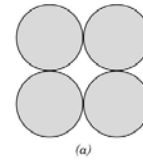


FIGURE 13.14 For a powder compact, microstructural changes that occur during firing. (a) Powder particles after pressing. (b) Particle coalescence and pore formation as sintering begins. (c) As sintering proceeds, the pores change size and shape.

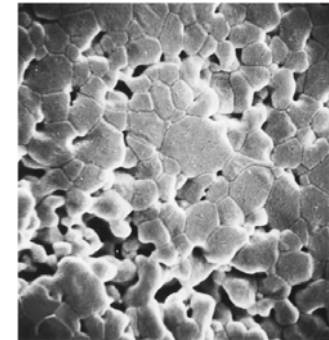
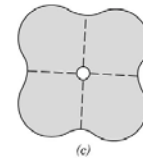
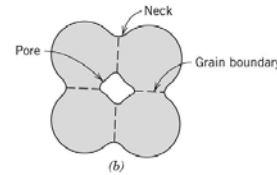


FIGURE 13.15 Scanning electron micrograph of an aluminum oxide powder compact that was sintered at 1700°C for 6 min. 5000×. (From W. D. Kingery, H. K. Bowen, and D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd edition, p. 483. Copyright © 1976 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

สมบัติทางกลของเซรามิก

- ขึ้นกับปริมาณและขนาดของรูพรุนเป็นสำคัญ (กระบวนการเผาพูนึก) รองลงไปคือ ขนาดเกรน ปริมาณและขนาดของสิ่งเจือปน ส่วนผสม สิ่งแวดล้อม ฯลฯ
- โดยทั่วไปเป็นวัสดุเปราะ และมีคามอดดูล์สความยืดหยุ่นสูงมาก
- ทดสอบทางกลด้วยการทดสอบแรงอัด หรือ แรงดัดสามจุด (Three-point Bending)

สมบัติทางกลของเซรามิก

■ การทดสอบ Three-point Bending

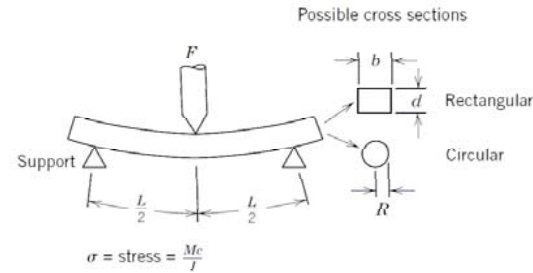
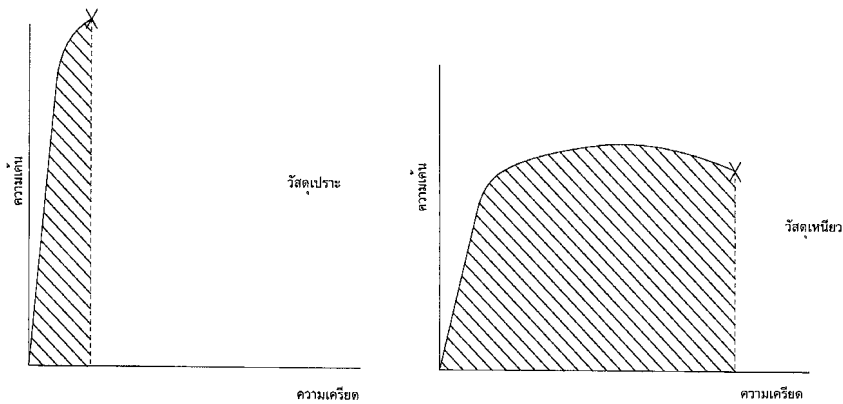


FIGURE 12.29 A three-point loading scheme for measuring the stress-strain behavior and flexural strength of brittle ceramics, including expressions for computing stress for rectangular and circular cross sections.

where M = maximum bending moment
 c = distance from center of specimen to outer fibers
 I = moment of inertia of cross section
 F = applied load

	$\frac{M}{4}$	$\frac{c}{2}$	$\frac{I}{12}$	$\frac{\sigma}{2bd^2}$
Rectangular	$\frac{FL}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{3FL}{2bd^2}$
Circular	$\frac{FL}{4}$	R	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{FL}{\pi R^3}$

วัสดุเปราะ (Brittle Materials) วัสดุเหนียว (Ductile Materials)



39

วัสดุเปราะ (Brittle Materials) วัสดุเหนียว (Ductile Materials)

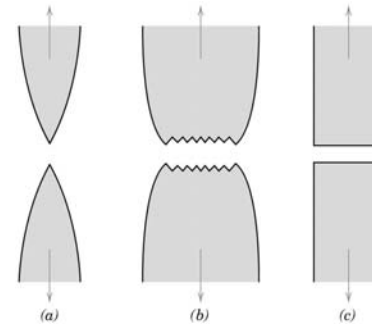


FIGURE 8.1 (a) Highly ductile fracture in which the specimen necks down to a point. (b) Moderately ductile fracture after some necking. (c) Brittle fracture without any plastic deformation.

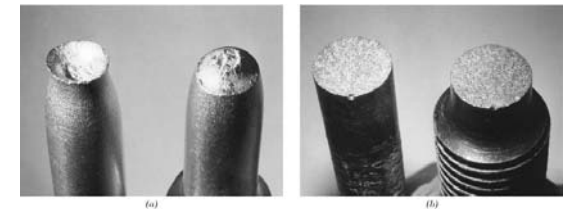
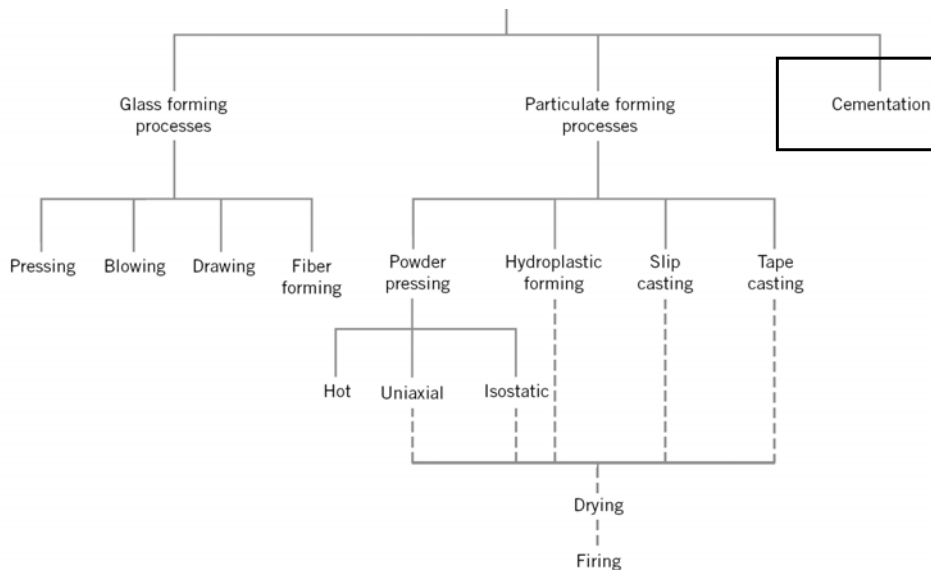


FIGURE 8.3 (a) Cup-and-cone fracture in aluminum. (b) Brittle fracture in a mild steel.

การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก



Cementation

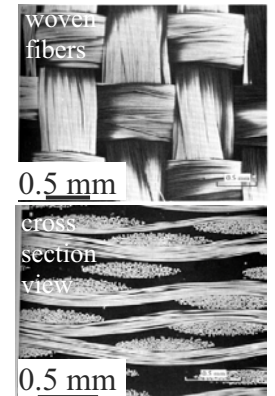
- กระบวนการเหมาะสำหรับผลิตคราวละมาก ๆ (การผลิตเชิงมวล)
- ตัวอย่าง- ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland cement):
 - mix clay and lime bearing materials
 - calcinate (heat to 1400°C)
 - ส่วนผสมหลัก:
 - tri-calcium silicate
 - di-calcium silicate
- เวลาใช้งาน- ผสมน้ำ
 - เกิดเป็นของผสมเปียก (Paste) ซึ่งนำไปเท ก่อ เป็นรูปร่างได้ ก่อนที่มันจะแข็งตัว
- การแข็งตัวเกิดจากปฏิกิริยา hydration (chemical reactions with the water)

SUMMARY

- Basic categories of ceramics:
 - glasses
 - clay products
 - refractories
 - cements
 - advanced ceramics
- Fabrication Techniques:
 - glass forming (impurities affect forming temp).
 - particulate forming (needed if ductility is limited)
 - cementation (large volume, room T process)
- Heat treating in Glasses: Used to
 - alleviate residual stress from cooling,
 - produce fracture resistant components by putting surface into compression.

นิยามและประเภทของวัสดุผสม

- วัสดุผสม
 - ประกอบขึ้นจากวัสดุหลายชนิด
 - มีสัดส่วนแน่นอน
 - คุณสมบัติขึ้นกับวัสดุตั้งต้น
 - ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี/หลอม/ละลาย
 - ผสมในระดับมหภาค หรือ จุลภาค
- ประกอบด้วย วัสดุพื้น (Matrix) และวัสดุเสริม (Dispersed Phase)



Reprinted with permission from D. Hull and T.W. Clyne, *An Introduction to Composite Materials*, 2nd ed., Cambridge University Press, New York, 1996, Fig. 3.6, p. 47.

นิยามและประเภทของวัสดุผสม

- วัสดุพื้น (เมทริกซ์)
 - เนื้อวัสดุมีความต่อเนื่อง
 - มีหน้าที่ถ่ายทอดแรงกระทำไปยังเฟสอื่น
 - ปกป้องเฟสอื่นจากสิ่งแวดล้อม
- ประเภท
 - MMC, CMC, PMC — Polymer-matrix Composite
 - Ceramic-matrix Composite
 - Metal-matrix Composite

นิยามและประเภทของวัสดุผสม

- วัสดุเสริม
 - เพิ่ม/เสริมคุณสมบัติให้แก่เมทริกซ์
 - MMC เพิ่ม YS, TS, Creep Resist.
 - CMC เพิ่ม KC
 - PMC เพิ่ม E, YS, TS, Creep Resist.
- ประเภท
 - Particle, Fiber, Structural
 - อนุภาค, เส้นใย, โครงสร้าง

วัสดุผสมชนิดเสริมด้วยอนุภาค

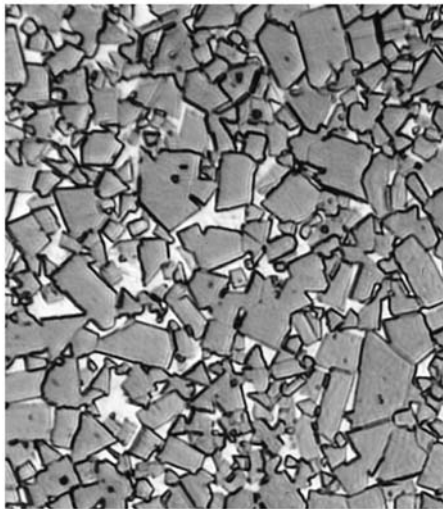


FIGURE 16.4 Photomicrograph of a WC-Co cemented carbide. Light areas are the cobalt matrix; dark regions, the particles of tungsten carbide. 100 \times . (Courtesy of Carboloy Systems Department, General Electric Company.)

วัสดุผสมชนิดเสริมด้วยอนุภาค

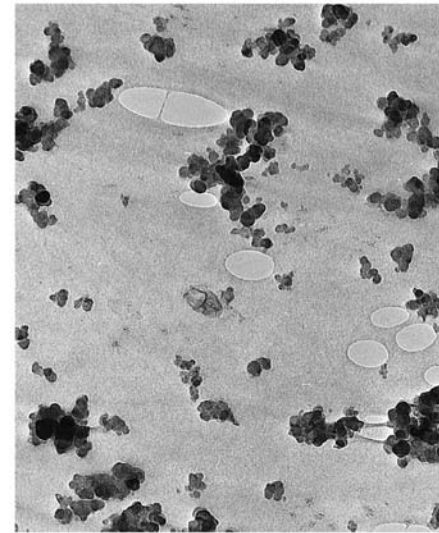


FIGURE 16.5 Electron micrograph showing the spherical reinforcing carbon black particles in a synthetic rubber tire tread compound. The areas resembling water marks are tiny air pockets in the rubber. 80,000 \times . (Courtesy of Goodyear Tire & Rubber Company.)

วัสดุผสมชนิดเสริมเส้นใย

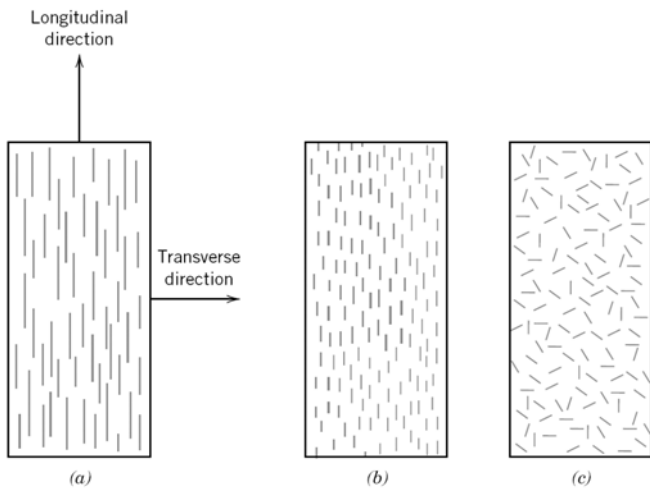


FIGURE 16.8 Schematic representations of (a) continuous and aligned, (b) discontinuous and aligned, and (c) discontinuous and randomly oriented fiber-reinforced composites.

วัสดุผสมชนิดโครงสร้าง

- Sandwich panels แผงแซนด์วิช
 - ความหนาแน่นต่ำ, แกนกลางเป็นโครงสร้างรังผึ้ง
 - ข้อดี: เบา, ความต้านการโก่งสูง

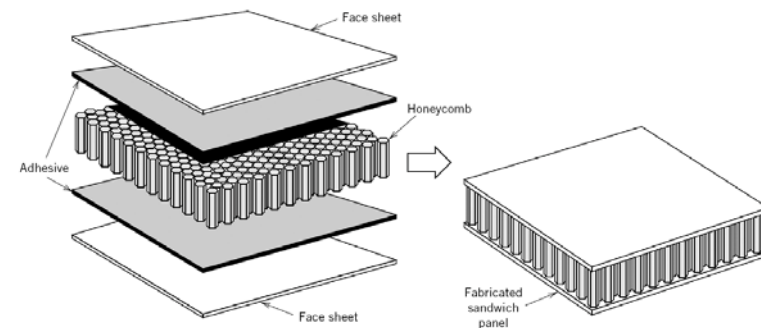


FIGURE 16.17 Schematic diagram showing the construction of a honeycomb core sandwich panel. (Reprinted with permission from *Engineered Materials Handbook*, Vol. 1, *Composites*, ASM International, Metals Park, OH, 1987.)