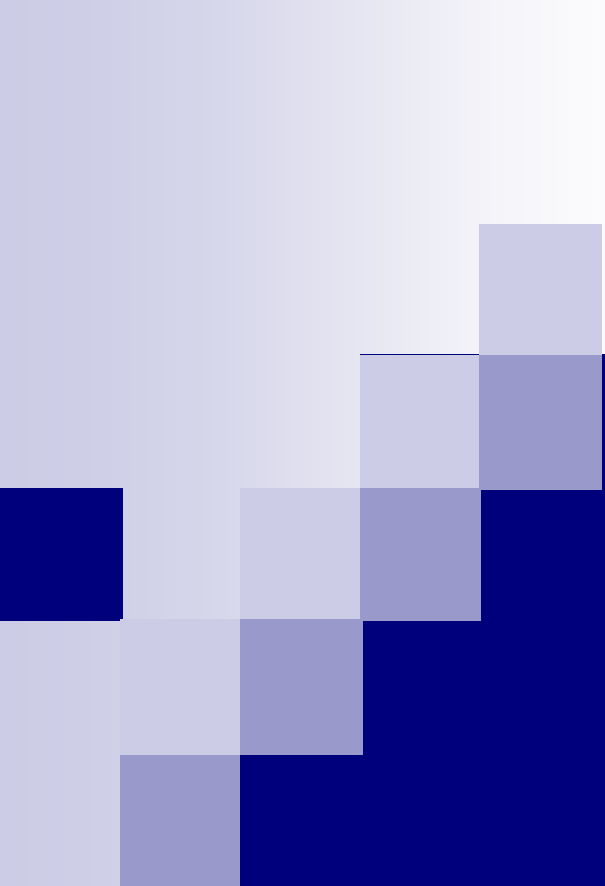
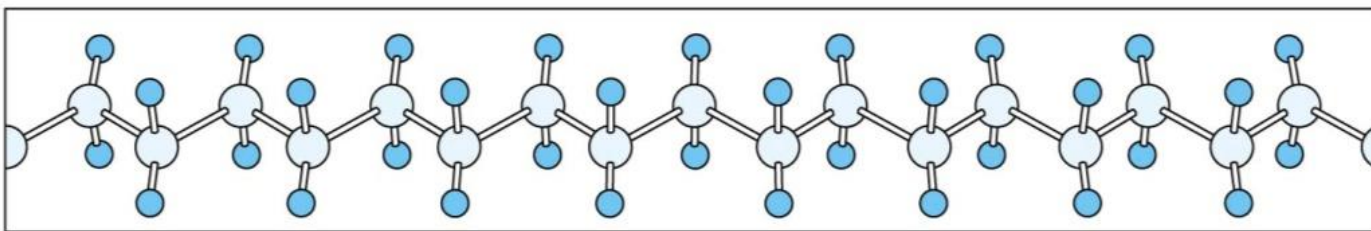
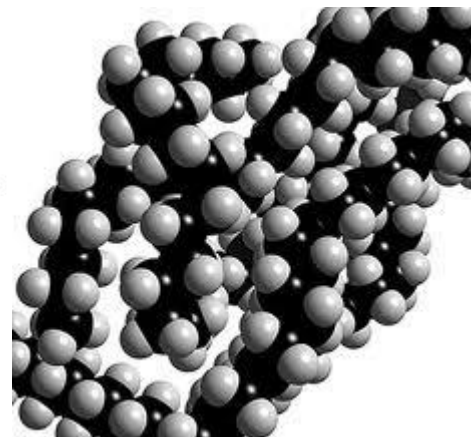
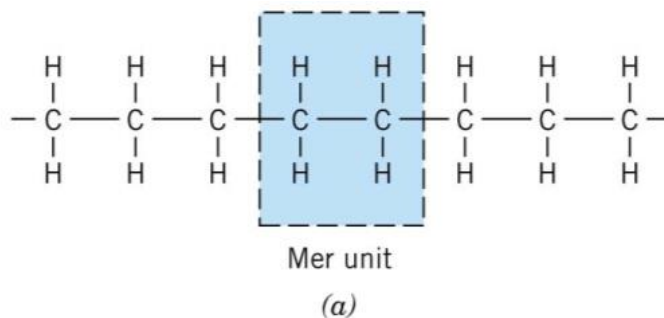
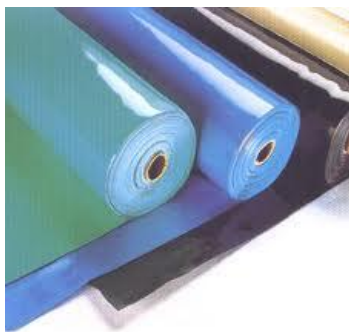




วัสดุโพลีเมอร์

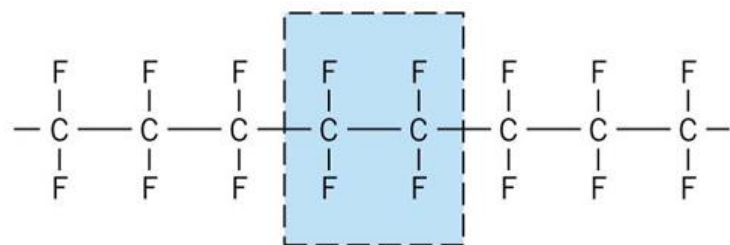
Polymeric Materials

Polymer หมายถึง การที่หลายๆ ส่วนเล็กๆของ Monomer มา
ประกอบกันเป็นลูกโซ่ เช่น จาก Ethylene (CH_2) รวมกันได้
Polyethylene ($\text{CH}_2 - \text{CH}_2$)



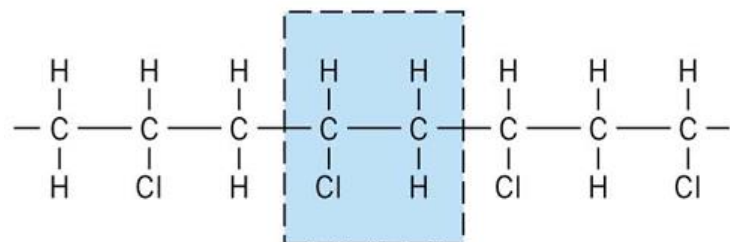
(b)

โครงสร้างแบบโพลีเมอร์ของ Polyethelene



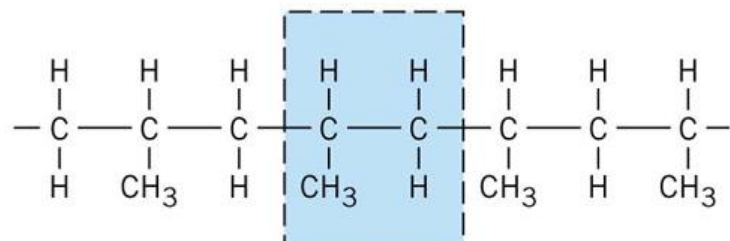
Mer unit

(a)



Mer unit

(b)



Mer unit

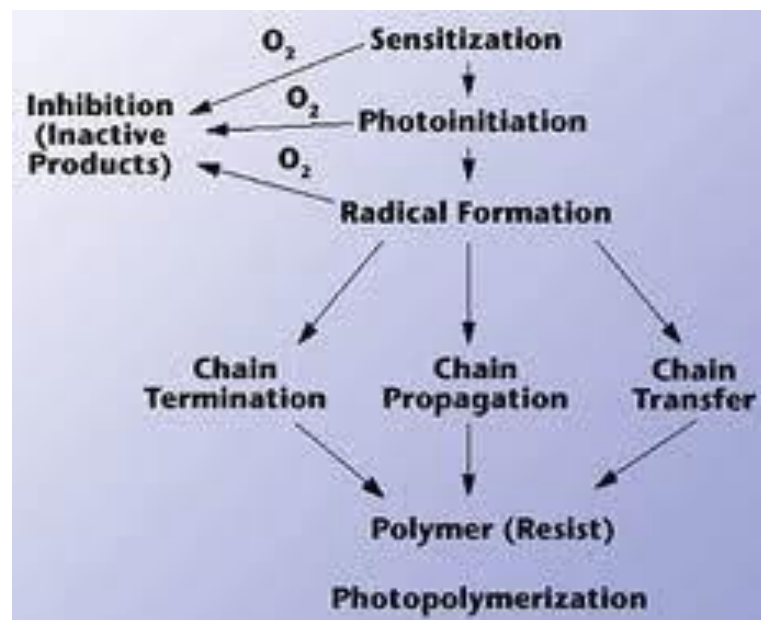
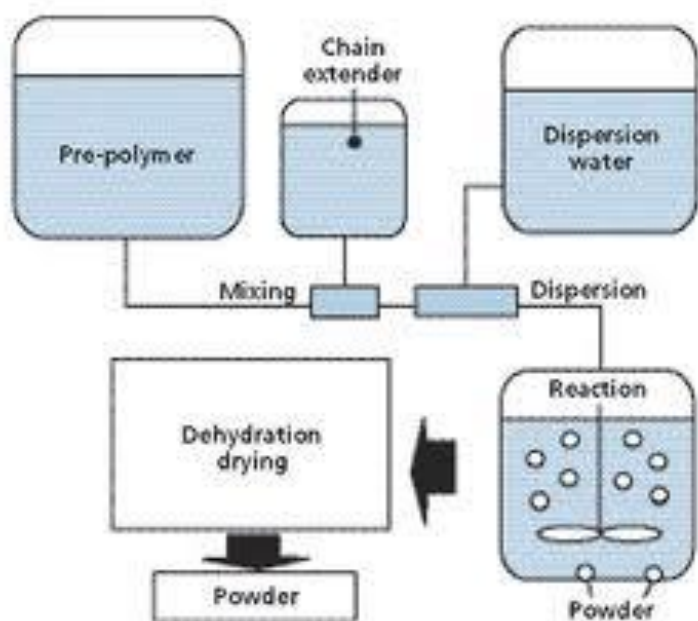
(c)

FIGURE 14.2 Mer and chain structures for (a) polytetrafluoroethylene, (b) polyvinyl chloride, and (c) polypropylene.



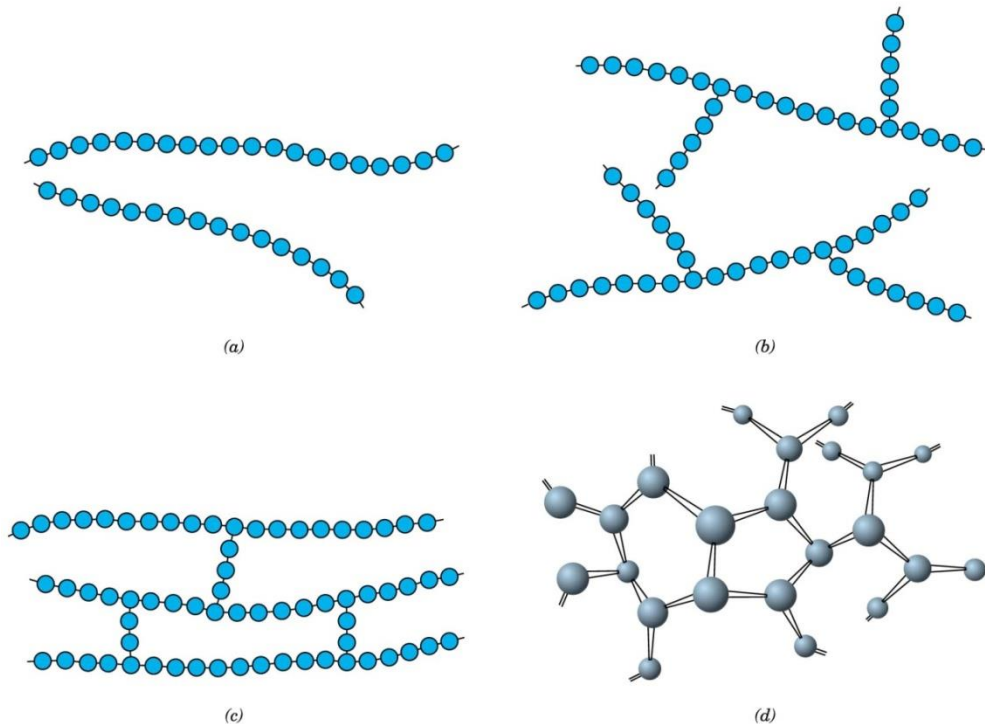
การสร้างโพลีเมอร์ (Polymerization)

โพลีเมอร์สังเคราะห์ เกิดจากการนำโมโนเมอร์หลายๆ ตัวมาต่อกัน ซึ่งในทางปฏิบัติจะใช้ตัวเร่งที่มีอิเล็กตรอนอิสระมาจับคู่กับโมโนเมอร์ ทำให้โมเลกุลผสมมีอะตอมอิสระ และสามารถต่อโยงกันไปได้เรื่อยๆ



โครงสร้าง (Structure)

โพลีเมอร์มักมีโมเลกุลหลักประกอบไปด้วยธาตุอินทรีย์ เช่น Carbon และ Hydrogen ยึดติดกันด้วยพันธะ Covalent ซึ่งอาจเชื่อมโยงกันในลักษณะต่างๆ โดยจะส่งผลโดยตรงถึงคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ (โครงสร้างแบบโครงข่ายจะแข็งแรงที่สุด)



โครงสร้างโพลีเมอร์แบบต่างๆ
(a) แบบเส้น (b) แบบกิ่งก้าน
(c) แบบโยงใย (d) แบบ
เครือข่าย

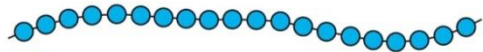
และถ้าโครงสร้างยาวก็จะมีค่า molecular weight ที่สูงซึ่งจะส่งผลถึง Tensile Strength ที่สูงขึ้น

โพลีเมอร์เดี่ยว (Homopolymers)

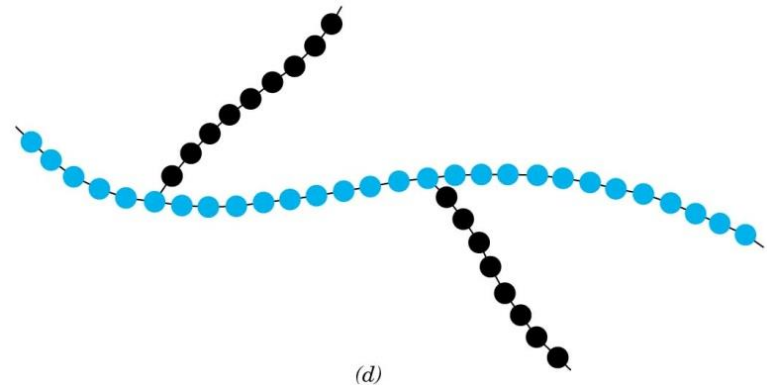
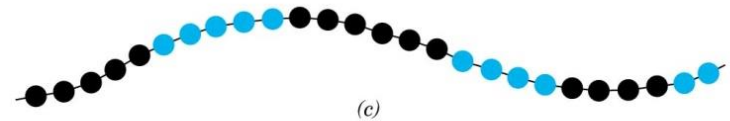
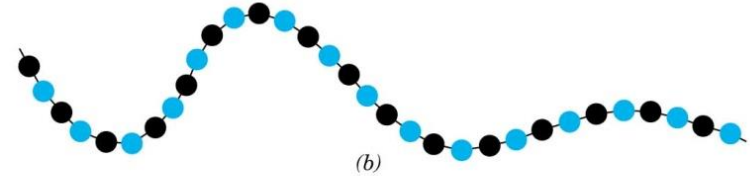
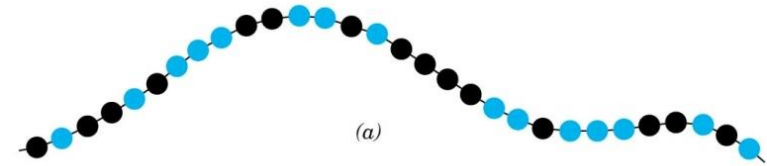
คือโพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์
ชนิดเดียว

โพลีเมอร์ผสม (Copolymers)

คือโพลีเมอร์ที่ผสมโมโนเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิด
ขึ้นไป มีทั้ง (a) แบบสุ่ม, (b) แบบสลับ
(c) แบบสลับเป็นกลุ่ม หรือ (d) แบบกิ่ง
ก้านผสม

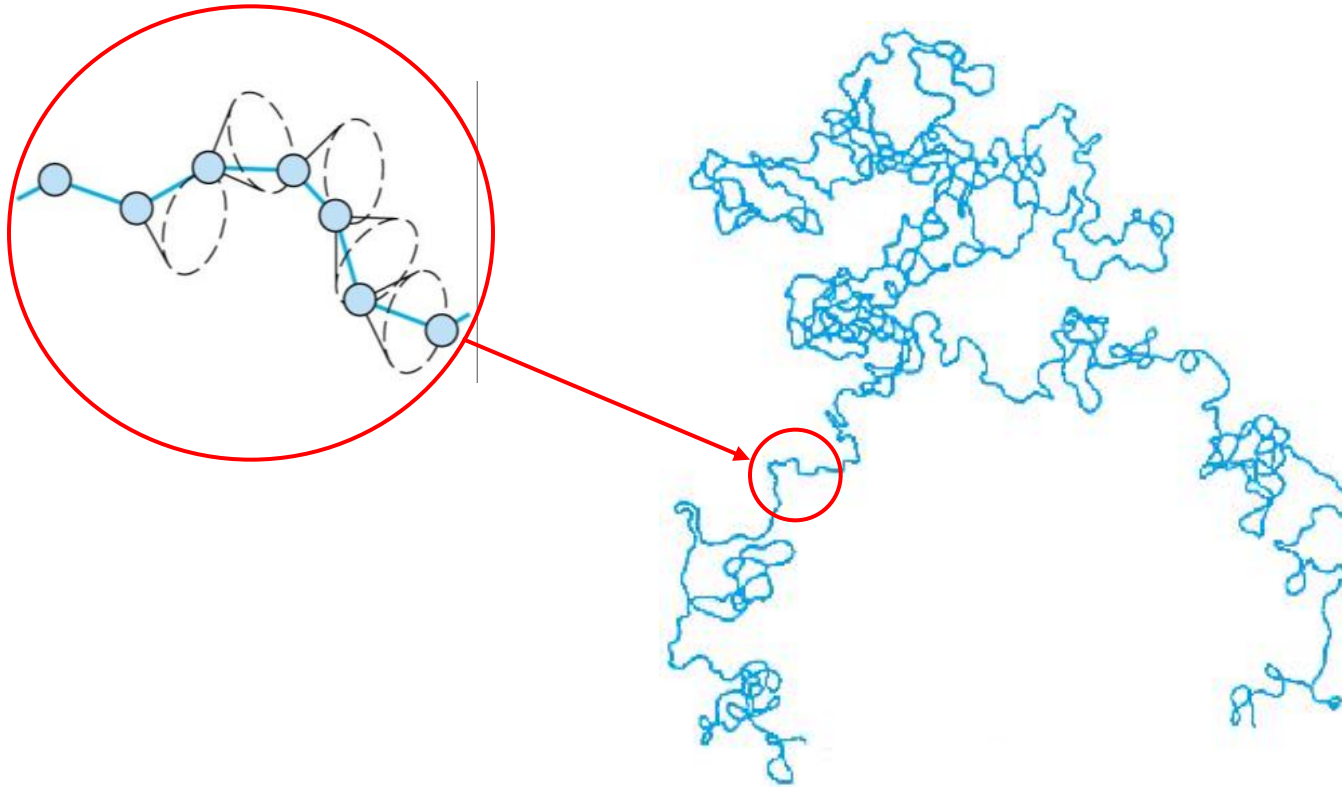


โครงสร้างโพลีเมอร์เดี่ยว



โครงสร้างโพลีเมอร์ผสม

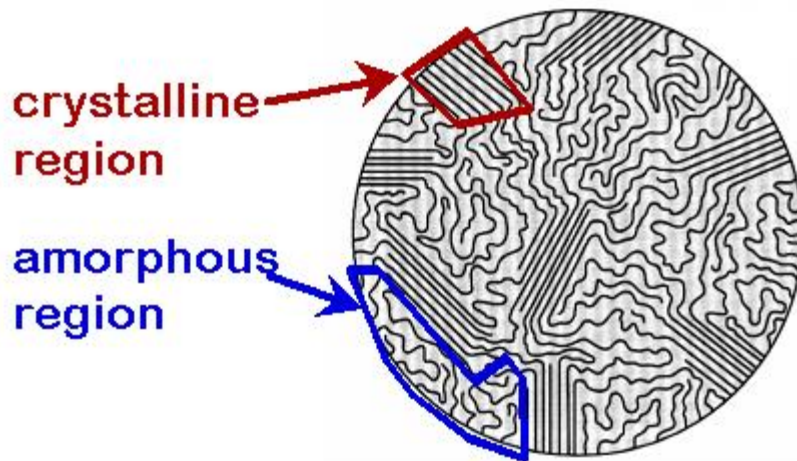
โครงสร้างของโพลีเมอร์ในแต่ละเส้นอาจมีรูปร่างบิดเบี้ยว ไม่
เป็นเส้นตรง (อิสระที่จะหมุน 360 องศา ทั้ง 3 มิติ)



โครงสร้างที่บิดเบี้ยวของโพลีเมอร์

Polymer crystal

แบบจำลอง Fringed-micelle แสดงถึง โครงสร้างผลึกโพลีเมอร์ ซึ่งโดยมากจะเป็นแบบผสม (Semi-crystalline) โดยจะมีส่วนผสมระหว่างโครงสร้างที่เป็นระเบียบ (crystalline) และโครงสร้างแบบไม่เป็นระเบียบ (non-crystalline หรือ amorphous) ปะปนกัน ซึ่งโครงสร้าง crystalline จะมีความแข็งแรงมากกว่าโครงสร้าง non-crystalline



*Fringed-micelle
model ของ โพลี
เมอร์ แบบ semi-
crystalline*

ทั้งนี้โครงสร้างออกมาจะเป็นแบบใด และมีสัดส่วนมากน้อยแค่ไหน จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่โพลีเมอร์ก่อตัวยาวนานมากพอให้โมโนเมอร์จับตัวกันอย่างเป็นระเบียบหรือไม่

FIGURE 14.12 Electron micrograph of a polyethylene single crystal. 20,000 $\times$. [From A. Keller, R. H. Doremus, B. W. Roberts, and D. Turnbull (Editors), *Growth and Perfection of Crystals*. General Electric Company and John Wiley & Sons, Inc., 1958, p. 498.]

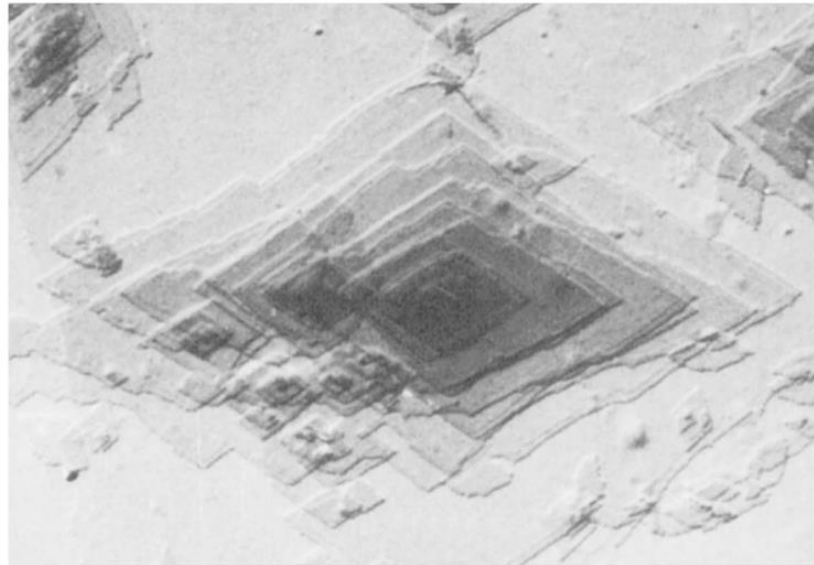
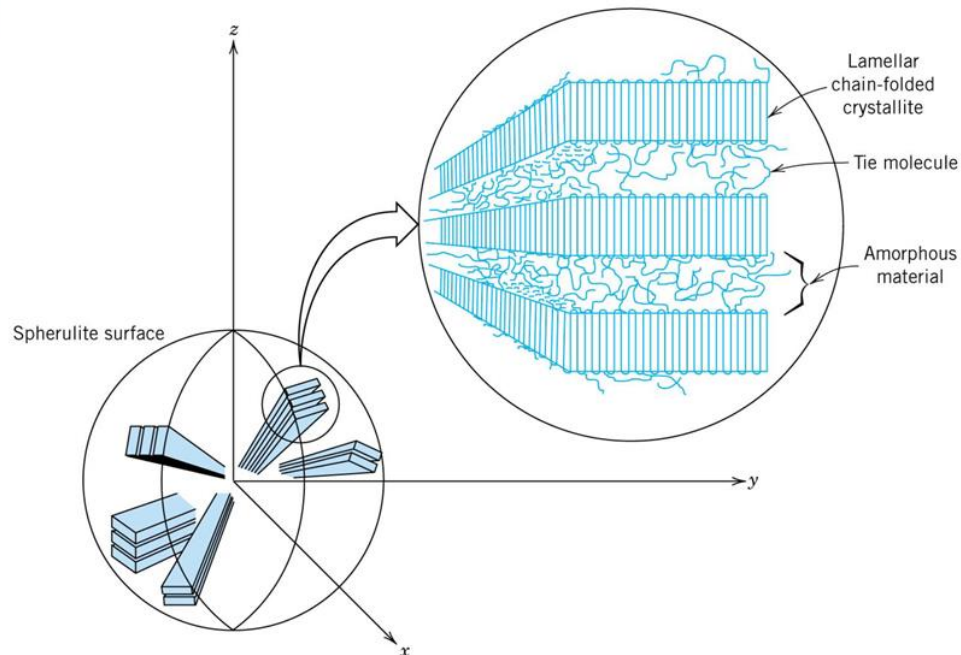


FIGURE 14.14 Schematic representation of the detailed structure of a spherulite. (From John C. Coburn, *Dielectric Relaxation Processes in Poly(ethylene terephthalate)*, Dissertation, University of Utah, 1984.)



การเกิดผลึก การหลอมเหลวและกระบวนการเกิด glass transition

(Crystallization, Melting, and Glass Transition Phenomena in Polymers)

■ Crystallization

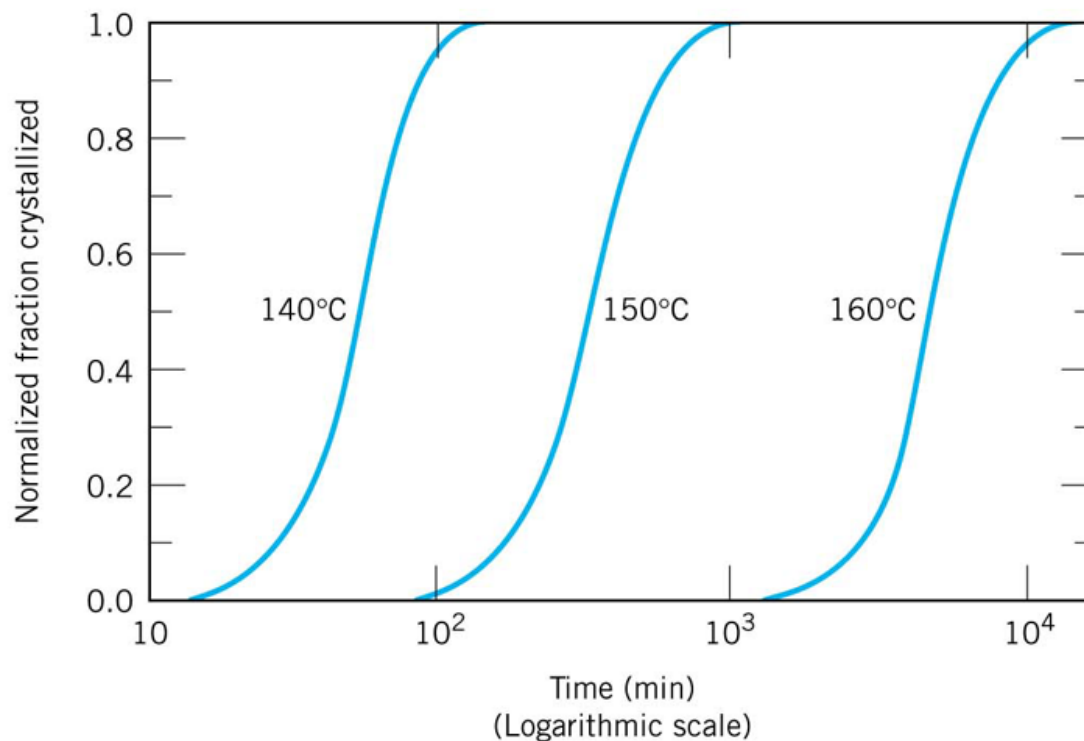


FIGURE 15.16 Plot of normalized fraction crystallized versus the logarithm of time for polypropylene at constant temperatures of 140°C, 150°C, and 160°C. (Adapted from P. Parrini and G. Corrieri, *Makromol. Chem.*, **62**, 83, 1963. Reprinted by permission of Hüthig & Wepf Publishers, Zug, Switzerland.)

Melting and Glass Transition

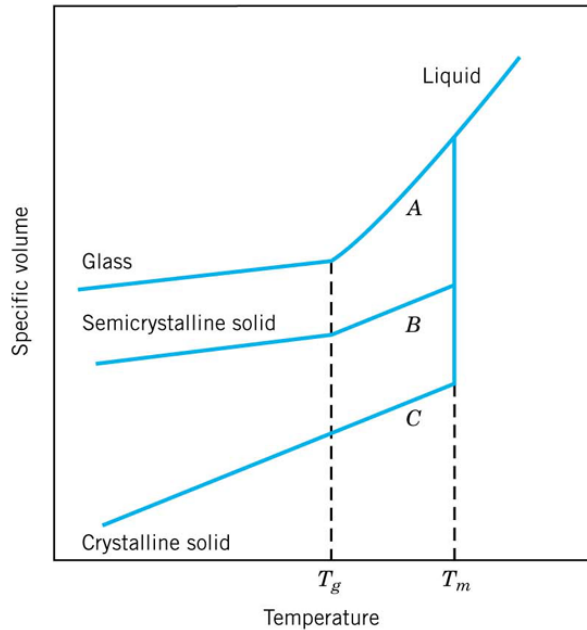


FIGURE 15.17 Specific volume versus temperature, upon cooling from the liquid melt, for totally amorphous (curve A), semicrystalline (curve B), and crystalline (curve C) polymers.

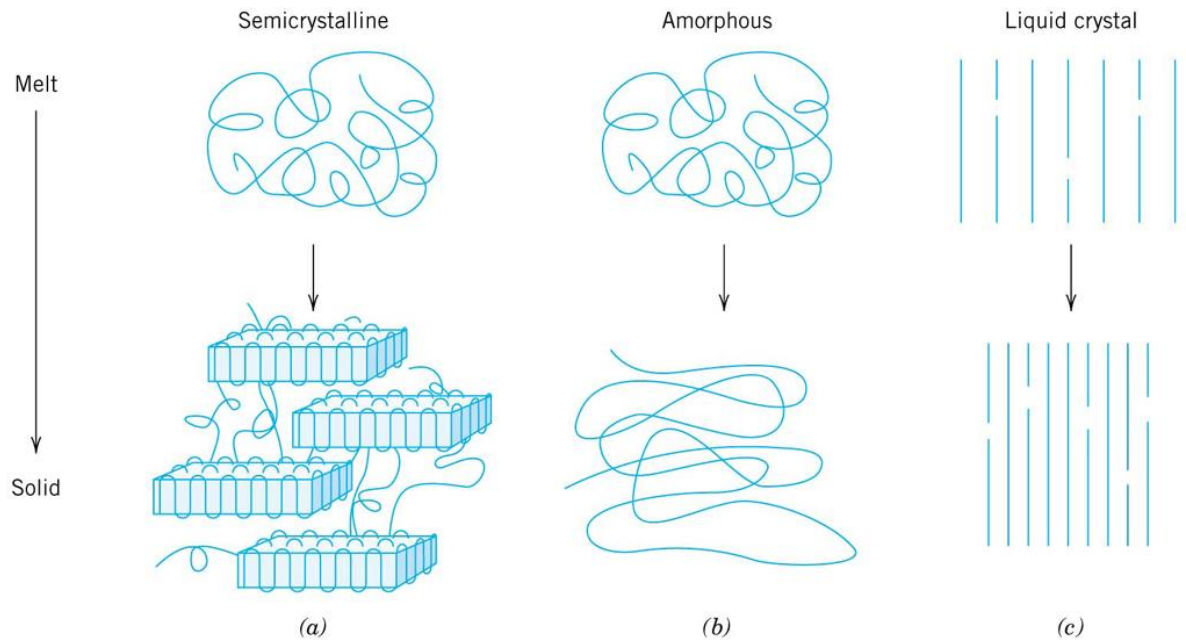


FIGURE 15.19 Schematic representations of the molecular structures in both melt and solid states for (a) semicrystalline, (b) amorphous, and (c) liquid crystal

MELTING AND GLASS TRANSITION TEMPERATURE FOR SOME OF THE MORE COMMON POLYMERIC MATERIALS

<i>Materials</i>	<i>Glass Transition Temperature (°C)</i>	<i>Melting Temperature (°C)</i>
Polyethylene (low density)	-110	115
Polytetrafluoroethylene	-97	327
Polyethylene (high density)	-90	137
Polypropylene	-18	175
Nylon 6,6	57	265
Polyester (PET)	69	265
Polyvinyl chloride	87	212
Polystyrene	100	240
Polycarbonate	150	265

ข้อดีของโพลีเมอร์

1. มีคุณสมบัติกว้างขวาง
2. ราคาถูก
3. ง่ายต่อการผลิต และประกอบ
4. เบา
5. สัมประสิทธิ์ความฝืดต่ำ
6. เป็นฉนวนไฟฟ้า
7. ทนสารเคมี

ประเภทของโพลีเมอร์

โพลีเมอร์ที่สำคัญแบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก

1. พลาสติก (Plastics)

2. อีลาสโตเมอร์ (Elastomers) หรือ ยาง (Rubber)

3. ไฟเบอร์ (Fibers)

พลาสติก (Plastics)

เป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่รวมตัวกันด้วยชั้นรูป (ปั่นหรือตัด) หรือ
หลอมขึ้นรูปภายใต้อุณหภูมิสูงหรือความดันสูง

พลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่

1. Thermoplastic
2. Thermosetting



Thermoplastic

พลาสติกชนิดนี้จะหลอมเหลวเมื่อถูกความร้อน และจะแข็งตัวเมื่อถูกทำให้เย็นลง (เกิดและทำลายพันธะโควาเลนต์) ทั้งนี้คุณสมบัติทางเคมีจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนรูปร่าง

คุณสมบัติโดยทั่วไปคือ เหนียว น้ำหนักเบา แต่จุดหลอมเหลว และ TS ไม่สูงมากนัก

ตัวอย่าง

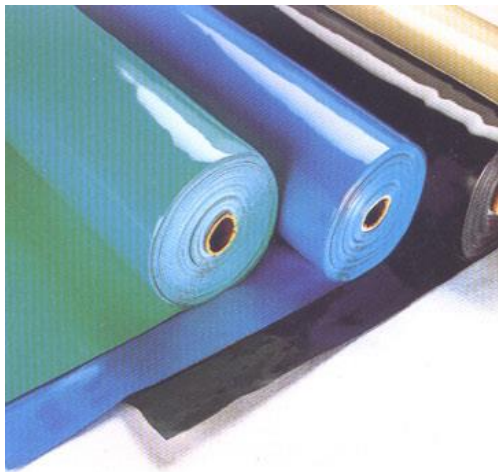
PE (Polyethylene) หักงอได้ เป็นฉนวน ยึดตัวได้สูง → ภาชนะ ฉนวนไฟฟ้า พลาสติกห่อของ

PVC (Polyvinyl Chloride) แข็งแรง ทนต่อสารเคมี → ท่อ PVC หุ้มเบาะ ของใช้

ABS (Acrylonitrile – Butadiene – Styrene) ทนต่อการกระแทก → ท่อ บุประตูด้านใน ส่วนประกอบรถยนต์

Thermoplastics Polymers

Materials Type	Trade Names	Typical Application
Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)	Abson, Cycolac, Kralastic	Refrigerator linings, lawn and garden equip., toys, highway safety device
Fluorocarbons (PTFE or TFE)	Teflon, Halar, Halon	Anticorrosive seals, chemical pipes and valves, high temperature electronic paths
Polyamides (nylons)	Nylon, Herox, Nomex	Bearings, gears, cams, bushing



PE

PVC

ABS

Thermosetting

หากขึ้นรูปด้วยความร้อนแล้ว ไม่สามารถหลอมกลับมาใช้ใหม่ได้ ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างเป็นร่างแห (โครงสร้างแน่นหนากว่า) โดยทั่วไปจะแข็งและแข็งแรงกว่า Thermoplastic

คุณสมบัติโดยทั่วไป คือ เบา ทนอุณหภูมิสูง แข็ง ต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างภายใต้แรงภายนอก และเป็นฉนวน

ตัวอย่าง

Epoxy resins รับแรงดึงและกดได้ดี ทนทานทางเคมี → กาว ไฟเบอร์กลาส
ชิ้นส่วนเครื่องบิน รถยนต์

Polyester ทนทานที่สุด → เทปแม่เหล็ก เสื้อผ้า

Silicone ทนกรดต่าง ทนแรงกระแทก → กาว ยางขอบประตู

Thermosetting Polymers

Materials Type	Trade Names	Typical Application
Epoxies	Araldite, Epon	Electrical moldings, sinks, adhesives, protective coatings
Phenolics	Bakelite, Amberol	Motor housings, telephones, auto distributors
Polyesters	Aropol, Baygal	Helmets, fiberglass boats, auto body components



Epoxy resins



Polyester



Silicone

กระบวนการผลิตวัสดุพลาสติก

ในการจะทำให้พลาสติกออกมาเป็นแผ่น เป็นแท่ง หรือให้มีรูปร่างต่างๆ ทำได้หลายวิธี เช่น

1. การฉีดเข้าไปในแบบ (Injection molding) เป็นการหลอมเม็ดพลาสติกให้หลอมเหลว แล้วจึงฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในแบบ ซึ่งสามารถผลิตได้รวดเร็ว และคุณภาพชิ้นงานดี แต่ข้อเสียคือเครื่องฉีดพลาสติกมีราคาสูง และต้องมีการควบคุมคุณภาพกระบวนการอย่างสม่ำเสมอ

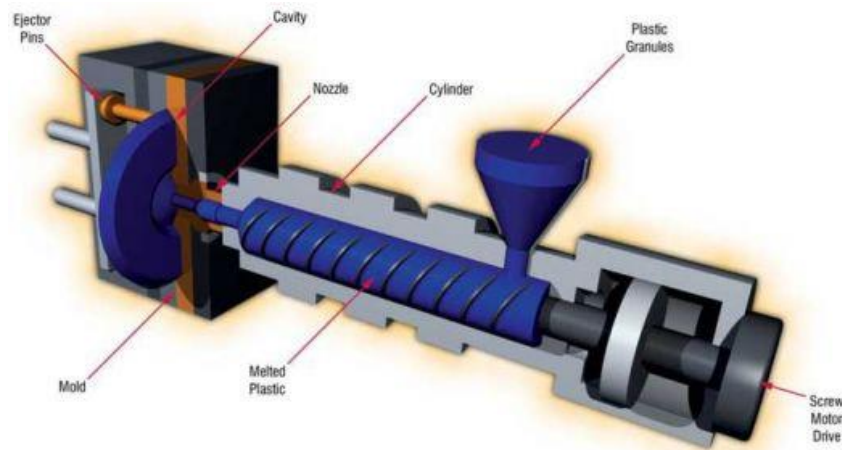
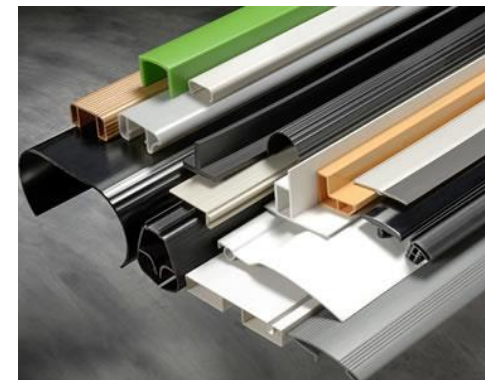
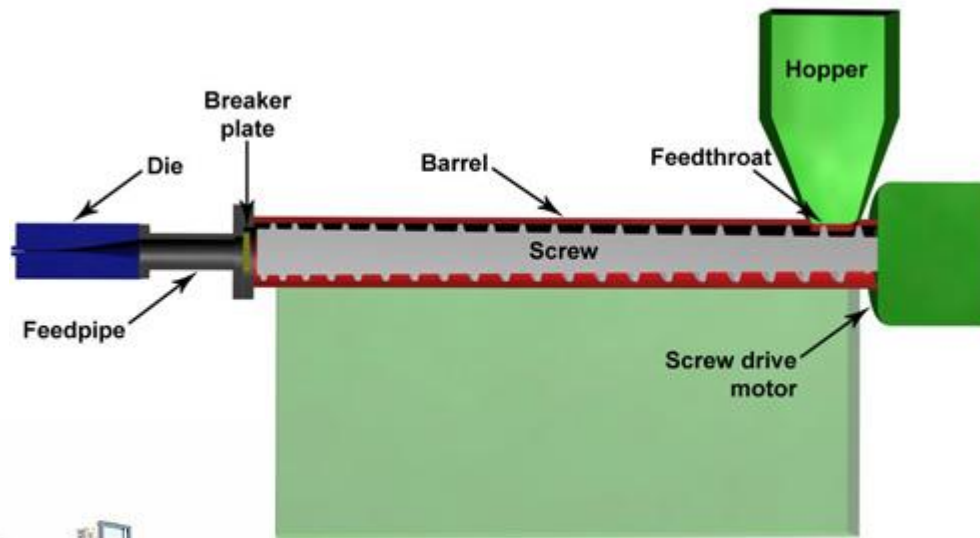


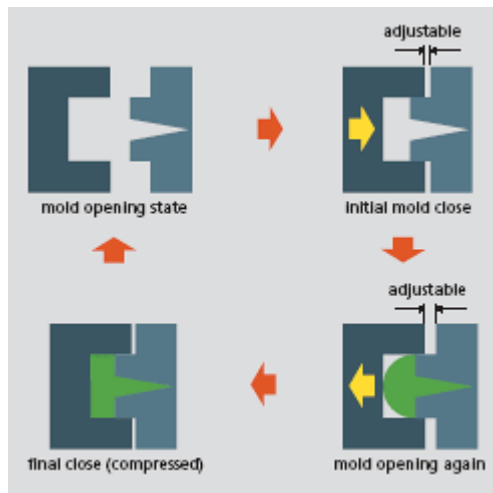
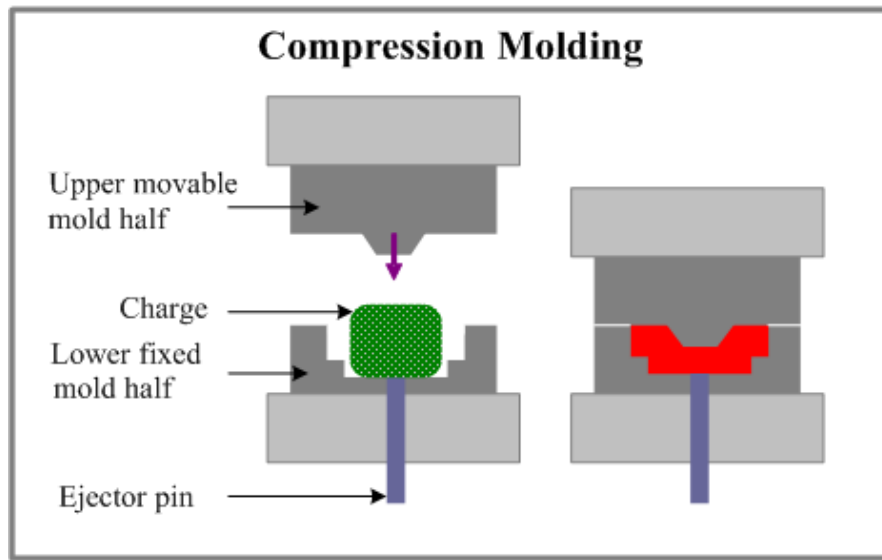
Figure 1. Cutaway View of the Injection Molding Process



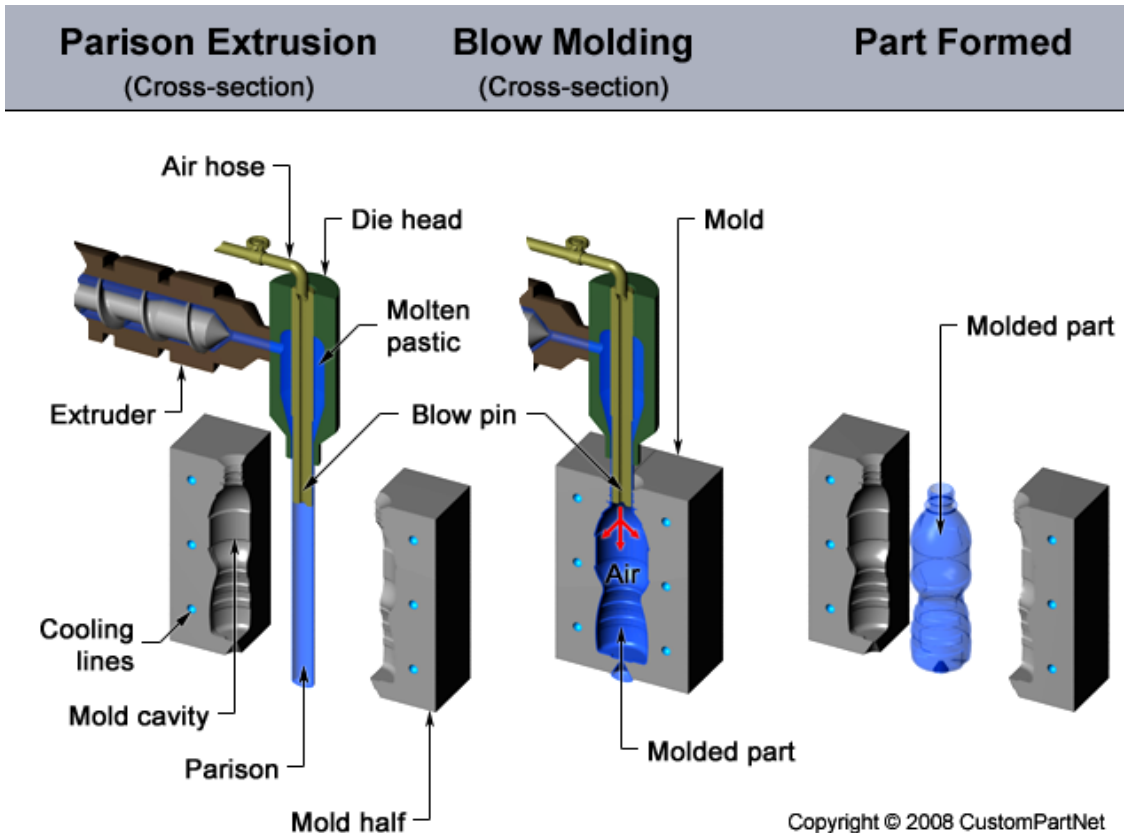
2. การอัดรีด (Extrusion) หลอมเม็ดพลาสติก และอัดฉีดและลดอุณหภูมิของพลาสติก ที่ถูกขึ้นรูปออกมา



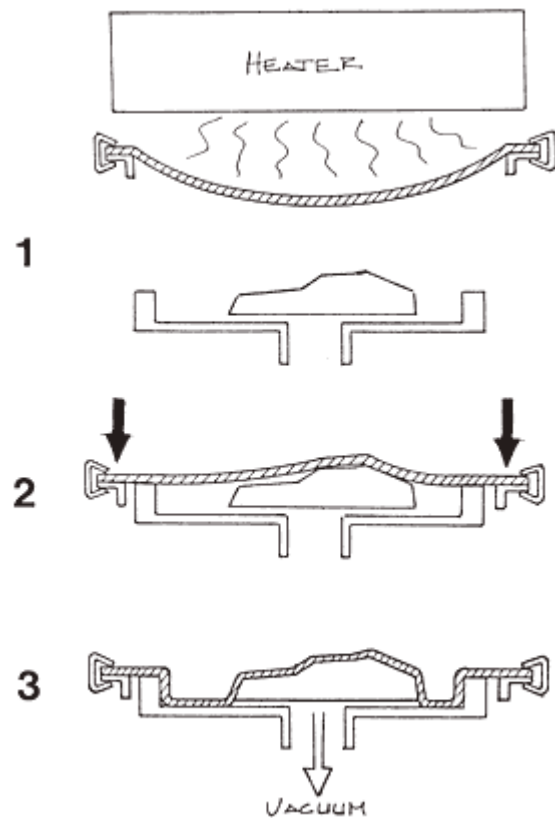
3. การอัดเข้าแบบ (Compression molding) เทเม็ดพลาสติกลงในแบบที่ร้อนแล้วรอให้พลาสติกแข็งตัว



4. Blow molding เป่าโพลีเมอร์ที่ร้อนให้ไปติดกับแบบ (มักจะเป็นรูปร่าง กลวง เช่น ขวด ภาชนะบรรจุ)



5. Thermoforming ให้ความร้อนกับแผ่นโพลีเมอร์บางๆ จนอ่อนตัวและ ห้อยลงมาจนสัมผัสกับแบบในระบบสุญญากาศ

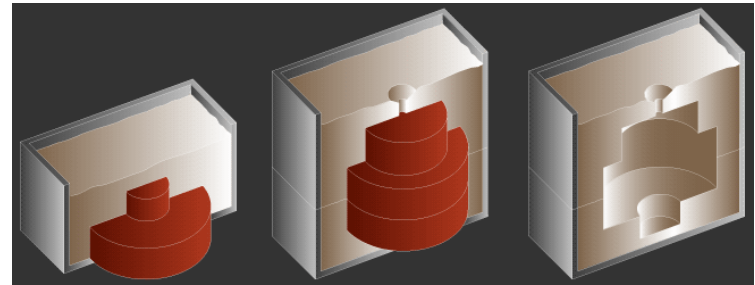


6. การรีดเป็นแผ่น (Calendaring) ใช้พลาสติกผ่านลูกกลิ้งความร้อน

7. การหล่อ (Casting)



Calendaring



Casting

การเสียรูปของพลาสติก

เนื่องจากโดยมากพลาสติกมีโครงสร้างแบบ Semi-crystalline คือผสมระหว่าง crystalline และ non-crystalline และเนื่องจากส่วน crystalline มักมีความแข็งแรงมากกว่า non-crystalline การเสียรูปจึงเกิดบริเวณ non-crystalline ก่อน

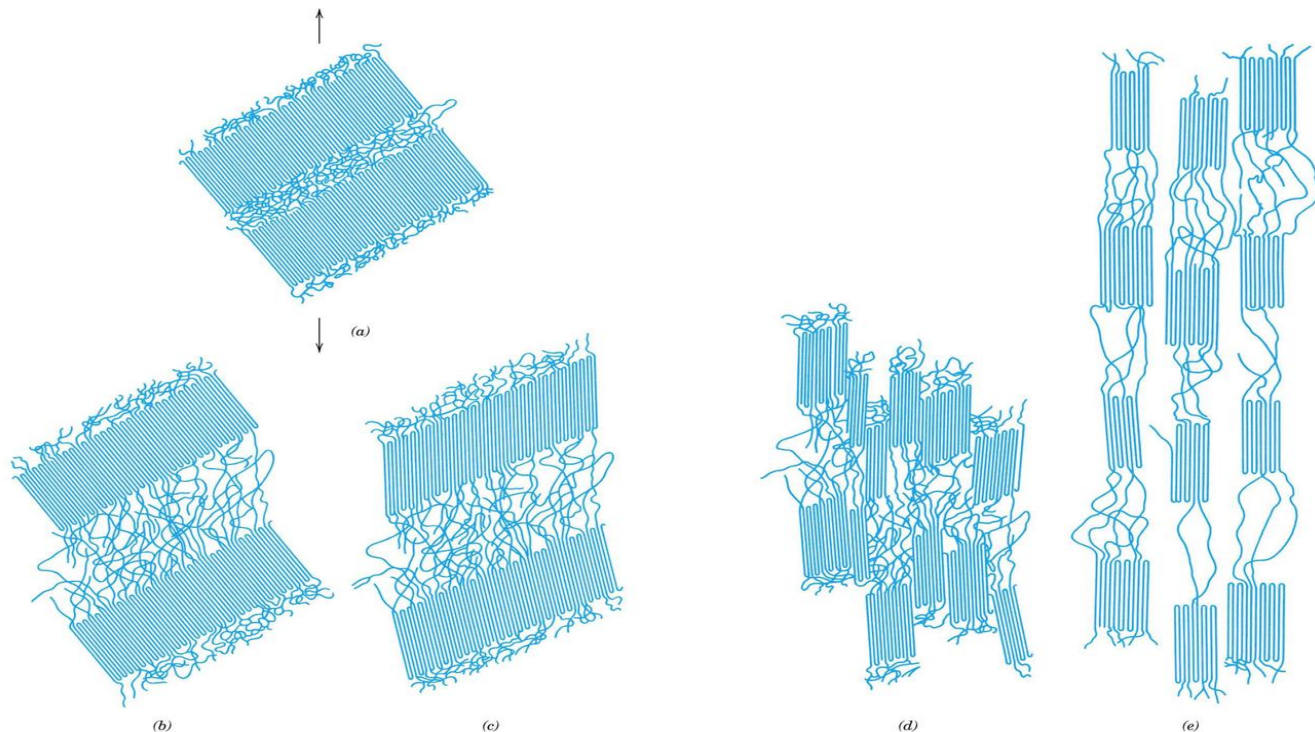
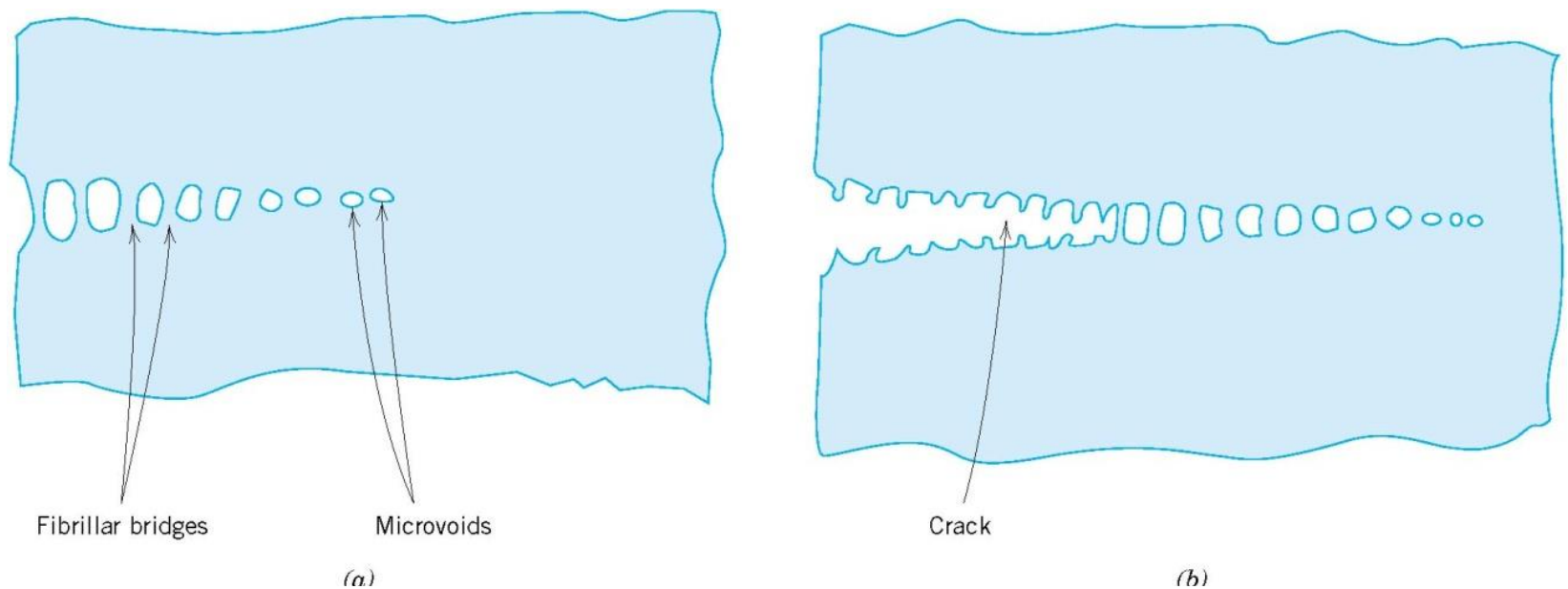


FIGURE 15.12 Stages in the deformation of a semicrystalline polymer. (a) Two adjacent chain-folded lamellae and interlamellar amorphous material before deformation. (b) Elongation of amorphous tie chains during the first stage of deformation. (c) Tilting of lamellar chain folds during the second stage. (d) Separation of crystalline block segments during the third stage. (e) Orientation of block segments and tie chains with the tensile axis in the final deformation stage. (From Jerold M. Schultz, *Polymer Materials Science*, copyright © 1974, pp. 500–501. Reprinted by permission of Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.)

การแตกหักของโพลีเมอร์ (Fracture of Polymers)

Thermosetting มักจะเปราะ ส่วน Thermoplastic จะเปราะที่ T ต่ำ แต่เหนียวที่ T สูง การขาดตัวของพลาสติกแบบเปราะมักจะเกิดในลักษณะที่เรียกว่า Craze โดยจะค่อยๆขาดเป็นเขตๆ



การขาดของโพลีเมอร์แบบ Craze

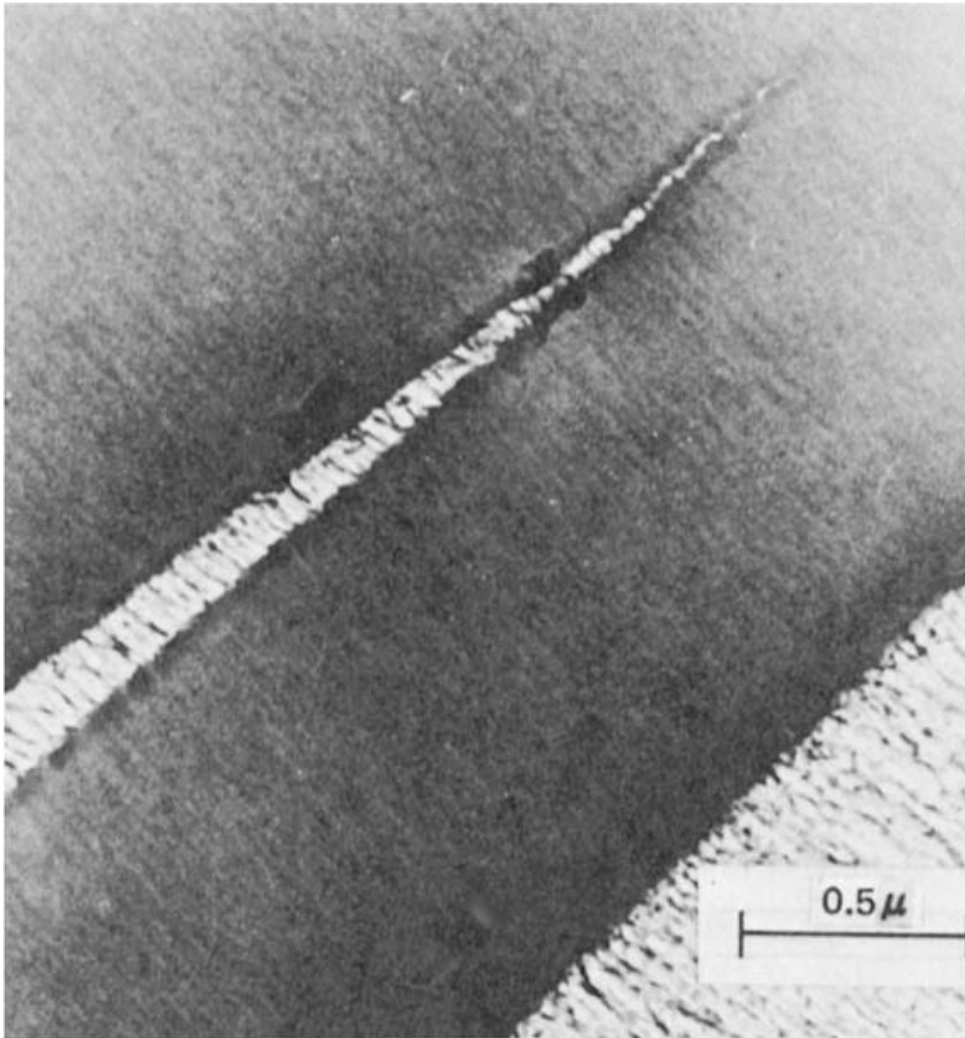


FIGURE 15.10 Photomicrograph of a craze in polyphenylene oxide. (From R. P. Kambour and R. E. Robertson, “The Mechanical Properties of Plastics,” in *Polymer Science, A Materials Science Handbook*, A. D. Jenkins, Editor. Reprinted with permission of Elsevier Science Publishers.)

การปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของพลาสติก

พลาสติกถูกนำมาใช้มากเนื่องจากน้ำหนักเบา (เบากว่าเหล็ก 6-7 เท่า) แต่มีข้อด้อยคือไม่แข็งแรงเท่าวัสดุโลหะ (TS ต่ำกว่าเหล็กเกือบ 10 เท่า) ดังนั้นหากต้องการเพิ่มความแข็งแรงให้พลาสติก (เพิ่มขึ้นได้เล็กน้อย) สามารถทำได้โดย

- การควบคุมปฏิกิริยา Polymerization ให้สมดุล (ทำให้โครงสร้างยาว และเป็น crystalline มากที่สุด) หรืออาจผสมใยแก้ว หรือผสมสารอื่นๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน หรือสารอื่นๆ
- การรีดขึ้นรูป ทำให้โครงสร้างเรียงตัวกันเป็นระเบียบมากขึ้น
- การใช้กระบวนการทางความร้อน หรือการอบอ่อนเพื่อให้โครงสร้างจัดเรียงตัวกันใหม่ให้มีระเบียบมากขึ้น

อีลาสโตเมอร์ (Elastomers)

คุณสมบัติของยาง คือ %EL สูง และยืดหยุ่นได้สูง (ยืดเมื่อถูกดึงและหดเมื่อปลดแรง) แต่มี TS ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้คุณสมบัติดังกล่าวได้มาจากการที่โครงสร้างของอีลาสโตเมอร์มีโมเลกุลที่โค้งงอและม้วนขด ได้แก่ง่ายธรรมชาติ (จากต้นยาง) และยางสังเคราะห์ (แข็งแรงกว่า และราคาถูกกว่า)

การปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของวัสดุอีลาสโตเมอร์

- เนื่องจากโดยธรรมชาติยางจะอ่อนเหนียว หากต้องการใช้ยางที่แข็งแรงกว่าปกติ สามารถทำได้โดยการเติมกำมะถัน เรียกว่า **Vulcanization**
- หากต้องการเพิ่มความแข็งแรง (เพิ่ม TS) ให้ยาง สามารถทำได้โดยการเติมผงถ่าน
- หากต้องการให้ยางทนทานต่อการฉีกขาดมากขึ้น อาจเติมซิลิกา หรือดินเหนียว

การผลิตอีลาสโตเมอร์ → วิธีการเดียวกับการผลิตพลาสติก

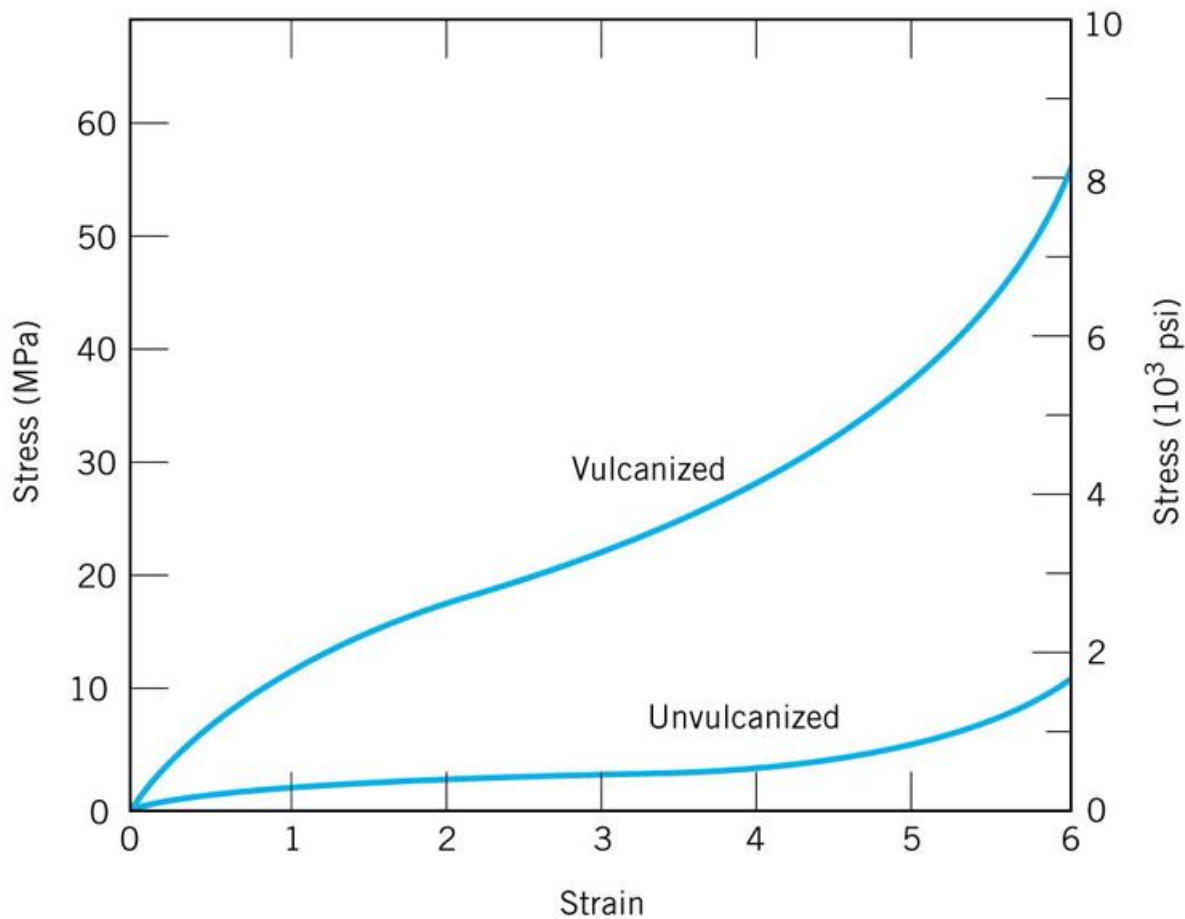


FIGURE 15.15

Stress-strain curves to 600% elongation for unvulcanized and vulcanized natural rubber.

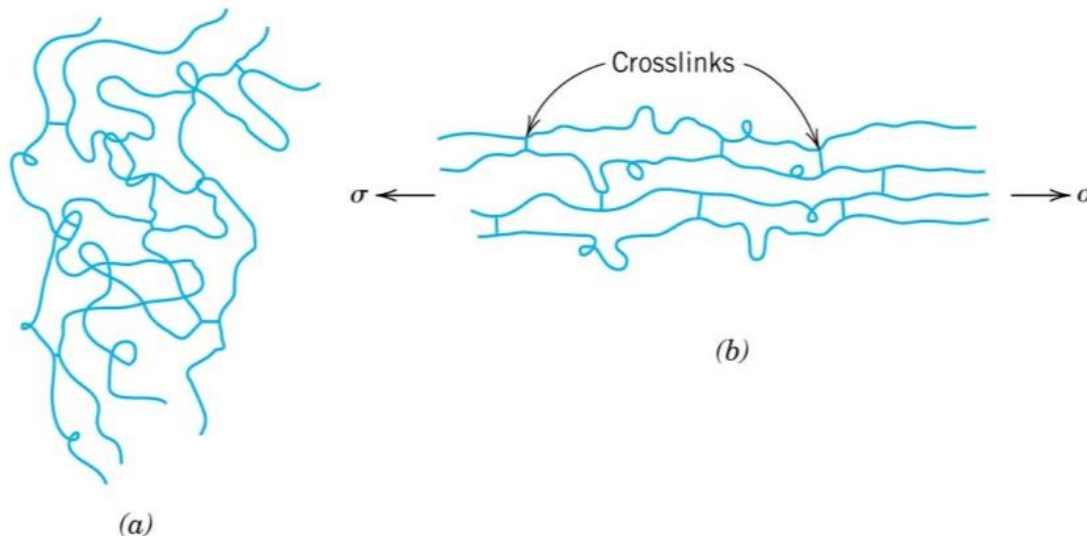


Elastomer

Chemical Type	Trade (Common Name)	Elongation (%)	Major Application Characteristics	Typical Applications
Natural polyisoprene	Natural rubber (NR)	500-760	Excellent physical properties; good resistance to cutting, gouging, and abrasion; low heat, ozone, and oil resistance; good electrical properties	Pneumatic tires and tubes; heels and soles; gaskets
Styrene-butadiene copolymer	GRS, Buna S (SBR)	450-500	Good physical properties; excellent abrasion resistance; not oil. Ozone, or weather resistant; electrical properties good, but not outstanding	Same as natural rubber

การเสียรูปของวัสดุอีลาสโตเมอร์

จากโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ สามารถยืดออกได้ในระดับหนึ่งถึงจุดที่โครงสร้างยืดออกคล้ายโครงข่ายเส้นตรง หากพันธะไม่ขาดอีลาสโตเมอร์สามารถหดคืนรูปได้ โดยทั่วไปอีลาสโตเมอร์สามารถยืดได้ถึง 5-8 เท่า



การเสียรูปของอีลาสโตเมอร์ (a) ก่อนถูกดึง โครงสร้างเป็นแบบยุ่งเหยิง (b) หลังถูกดึง โครงสร้างโครงข่ายเส้นตรง

ไฟเบอร์ (Fibers)

ไฟเบอร์ หมายถึง วัสดุโพลีเมอร์ที่มีสัดส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่น้อยกว่า 100:1 โดยปกติจะมีความทนทานต่อความร้อนและสารเคมี ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว ไฟเบอร์จึงมักถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เช่น ด้าย หรือ เส้นไหม



กระบวนการผลิตไฟเบอร์

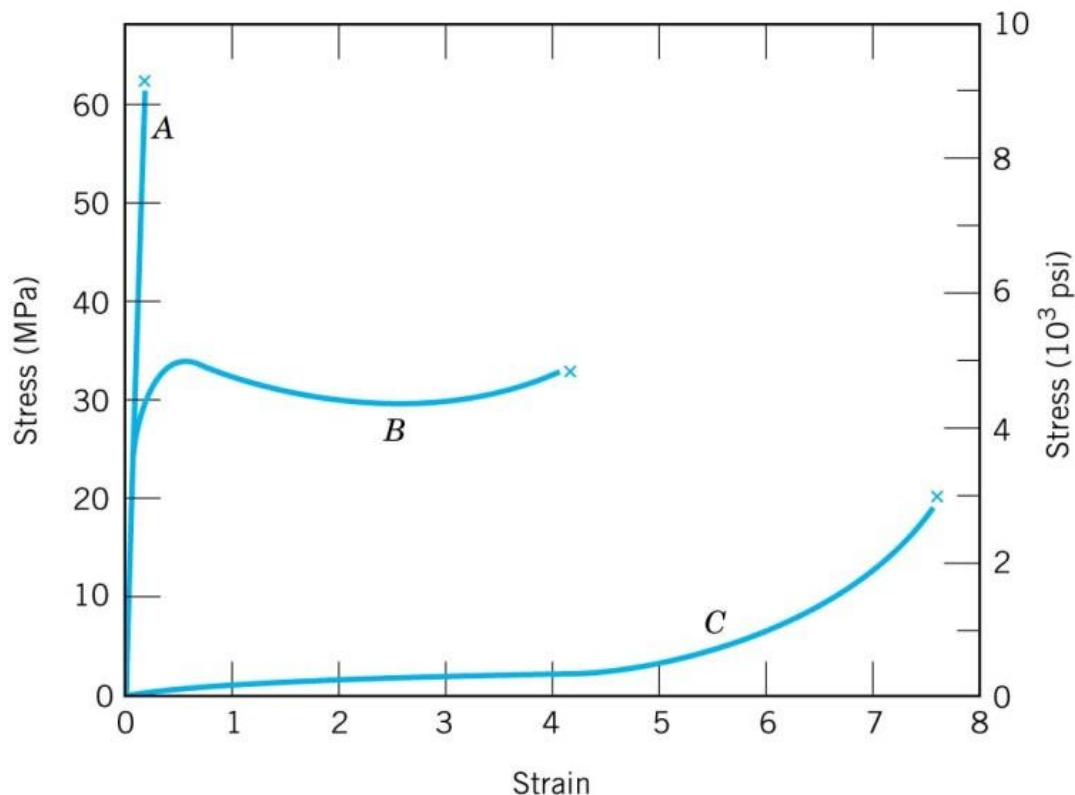
เป็นการปั่นโพลีเมอร์เหลวที่อุณหภูมิสูงๆ ให้ผ่านรูเล็กๆ

Stress-Strain Behavior

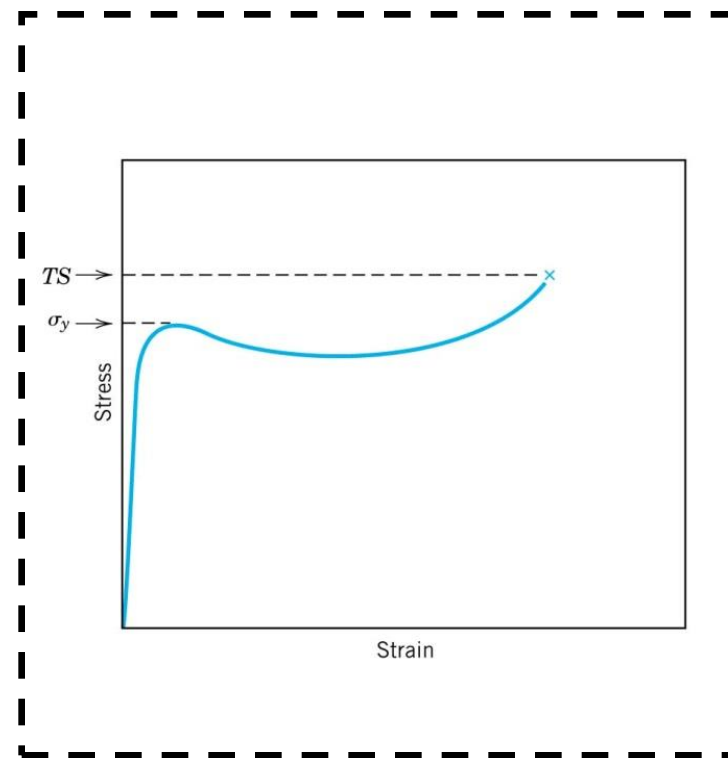
A: โพลีเมอร์ชนิดเปราะ

B: พลาสติกทั่วไป

C: ยาง



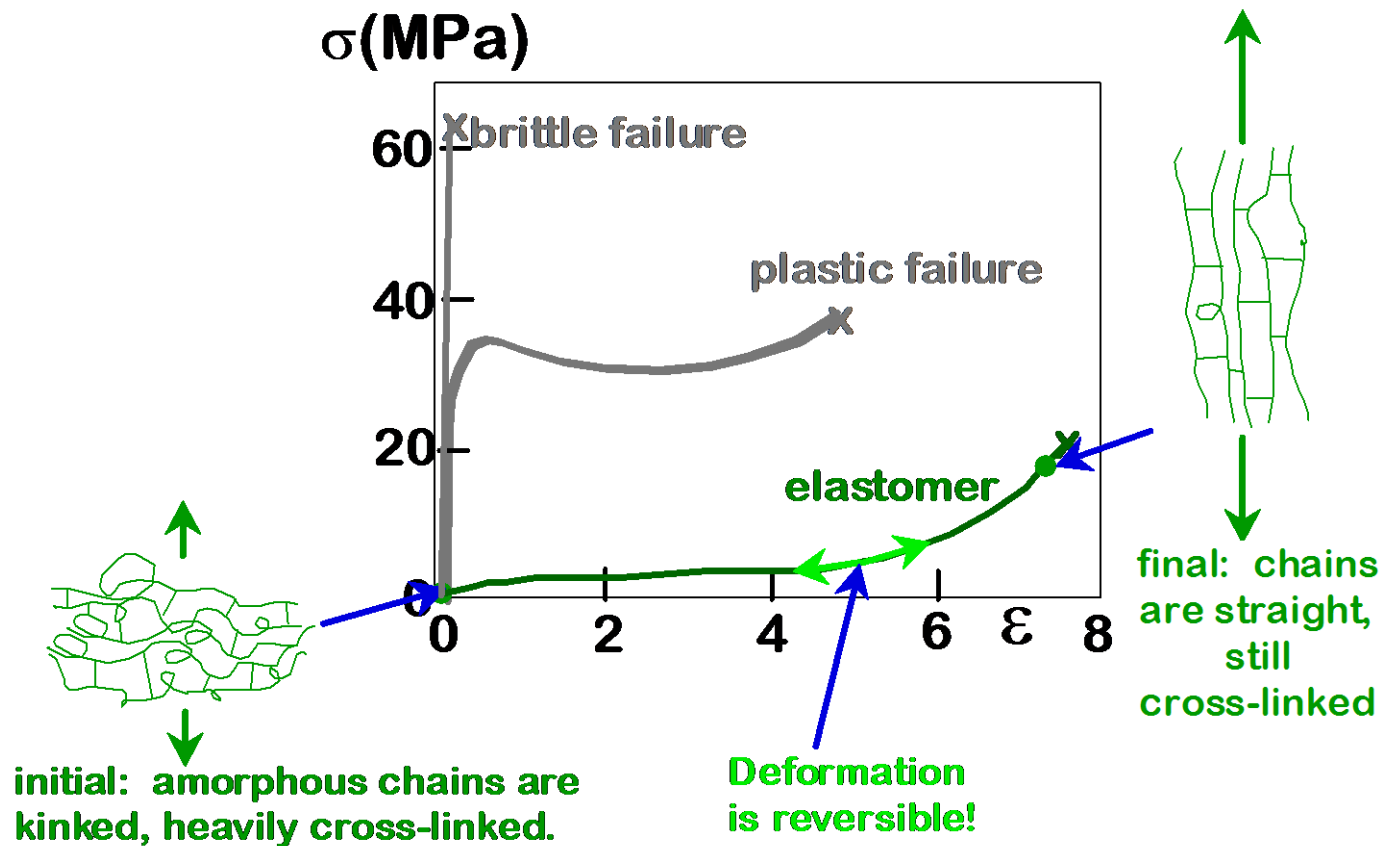
สำหรับ พลาสติก หา Tensile
Strength และ Yield
Strength (σ_y) ดังรูป



Stress-strain curve ของโพลีเมอร์ชนิด

ต่างๆ

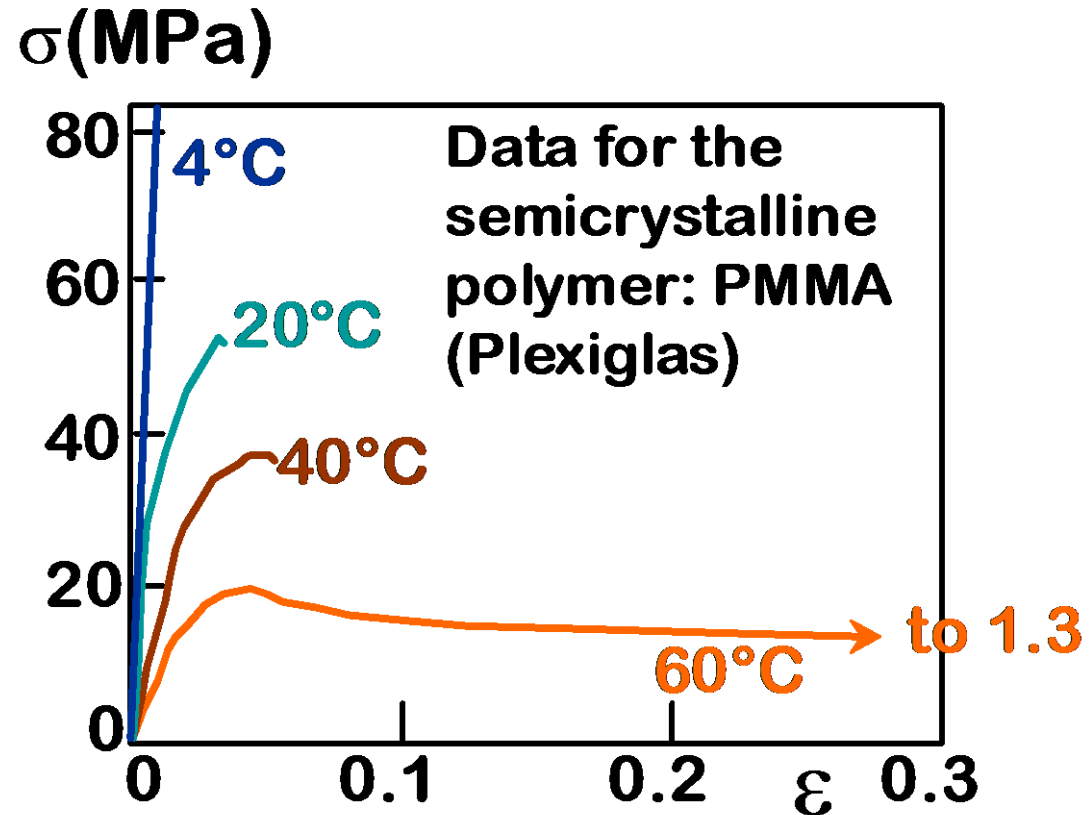
TENSILE RESPONSE: ELASTOMER CASE



- Compare to responses of other polymers:
 - brittle response (aligned, cross linked & networked case)
 - plastic response (semi-crystalline case)

T AND STRAIN RATE: THERMOPLASTICS

- Decreasing T...
 - increases E
 - increases TS
 - decreases %EL
- Increasing strain rate...
 - same effects as decreasing T.



การใช้งานโพลีเมอร์ลักษณะอื่นๆ

1. การฉาบเคลือบผิว (Coating) เนื่องจากโพลีเมอร์มีคุณสมบัติ

- ☐ ทนต่อการสึกหรอและการกัดกร่อน
- ☐ ทำให้ผิวสวยได้ง่าย
- ☐ เป็นฉนวนไฟฟ้า

เช่น สี น้ำมันเคลือบ แล็คเกอร์ เซลแล็ค

2. กาว (Adhesives) เนื่องจากโพลีเมอร์บางชนิด (Thermoplastics, Thermosetting resins, Elastomers และ กาวธรรมชาติ เช่น แป้ง ยางสน) มีคุณสมบัติที่ทนต่อแรงเฉือนได้ดี (high shear strength) อย่างไรก็ดี คุณสมบัตินี้มักลดลงหากอุณหภูมิสูงขึ้น

3. ฟิล์ม (Films) เนื่องจากโพลีเมอร์บางชนิดเช่น Polyethylene Polypropylene เบา ยืดหยุ่นสูง และกันน้ำ ใช้มากในงานบรรจุหีบห่อ (ฟิล์มมีความหนา 0.025 – 0.125 มม.)

4. โฟม (Foams) เนื่องจากโพลีเมอร์มีคุณสมบัติเบา และโปร่งอากาศ จึงถูกใช้มากในวัสดุเบาะ ฉนวนกันความร้อน และวัสดุกันกระแทก

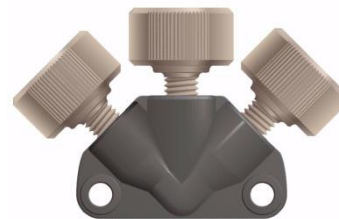
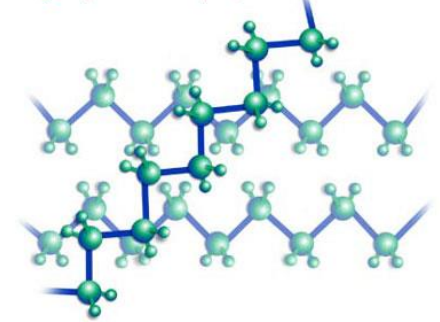
วัสดุโพลีเมอร์ขั้นสูง

■ Spectra หรือ UHMWPE (*UltraHigh Molecular Weight PolyEthylene*) มีคุณสมบัติเด่น เช่น

- ☐ ทนแรงกระแทกสูง
- ☐ ทนสารเคมี การกัดสี และการกัดกร่อน

ใช้ในงาน เสื้อเกราะกันกระสุน แขนลูกกอล์ฟ เลนโบว์ลิ่ง

Representation of the chemical structure of polyethylene, the medical-grade plastic used in hip implants.



■ Liquid Crystal Polymers (LCP)

เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเรียงตัวกันเป็นแนวตลอดหน้าตัดและคงรูปแม้จะอยู่ในสภาวะหลอมละลาย LCP มีคุณสมบัติเด่น เช่น

- ☐ แข็งแรงและ ทนแรงกระแทกสูง
- ☐ ทนความร้อนสูง และทนต่อสารเคมี

ใช้มากในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์การแพทย์ และชิ้นส่วนไฟเบอร์ออฟติก



SUMMARY

- **General drawbacks to polymers:**
 - E , σ_y , K_c , $T_{\text{application}}$ are generally small.
 - Deformation is often T and time dependent.
 - Result: polymers benefit from composite reinforcement.
- **Thermoplastics (PE, PS, PP, PC):**
 - Smaller E , σ_y , $T_{\text{application}}$
 - Larger K_c
 - Easier to form and recycle
- **Elastomers (rubber):**
 - Large reversible strains!
- **Thermosets (epoxies, polyesters):**
 - Larger E , σ_y , $T_{\text{application}}$
 - Smaller K_c