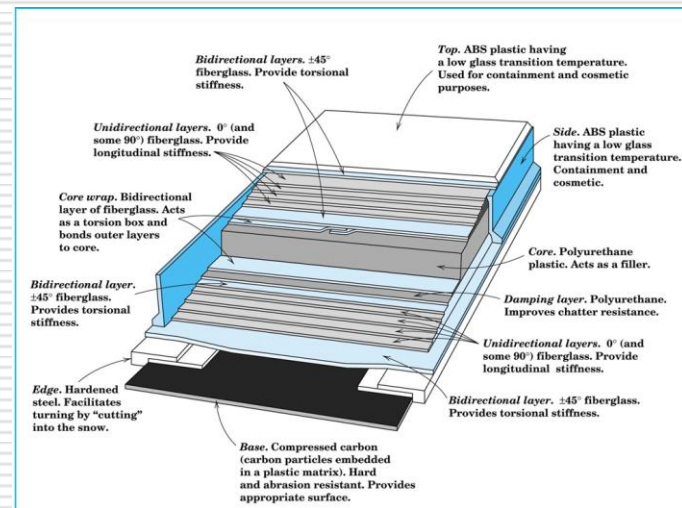


วัสดุผสม

Composite Materials



โครงสร้างเนื้อหา

บทนำเกี่ยวกับวัสดุผสม

วัสดุผสมที่สำคัญในงานวิศวกรรม

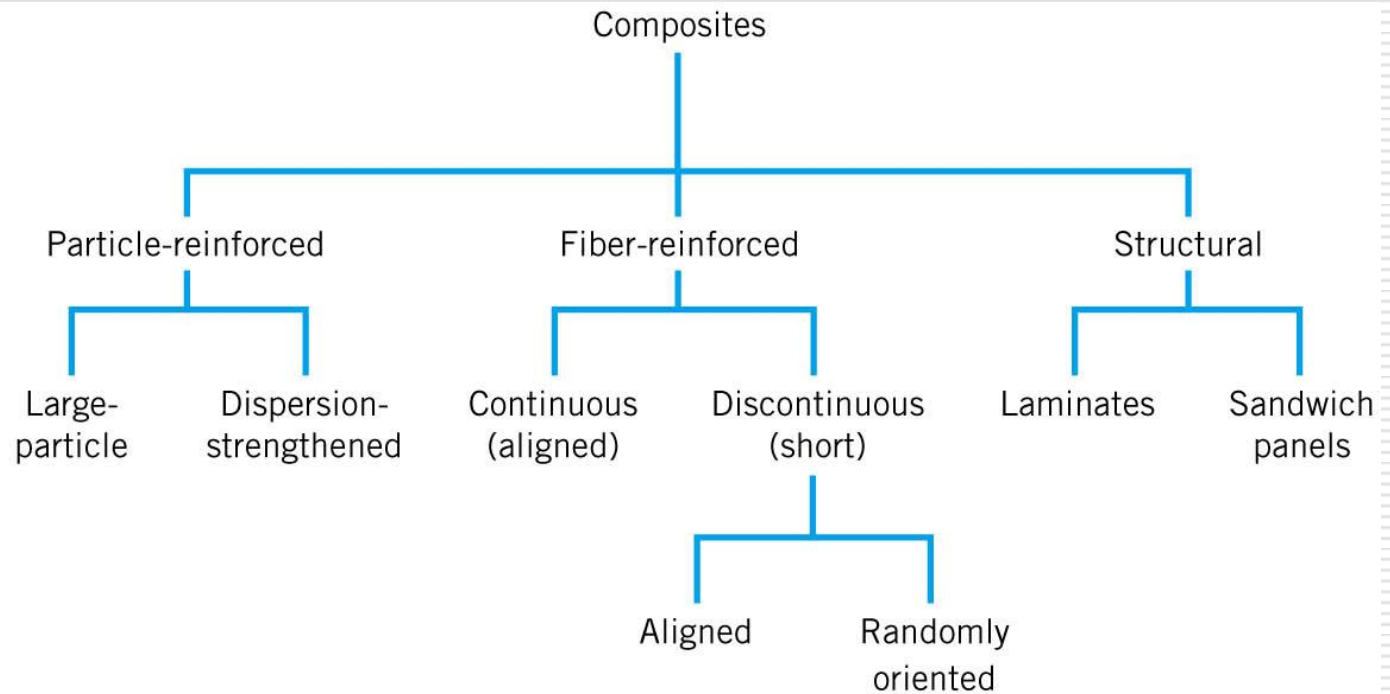
- 1. Particle-reinforced composites
- 2. Fiber-reinforced composites
- 3. Structural composites

บทนำเกี่ยวกับวัสดุผสม

เป็นระบบของวัสดุที่ประกอบด้วยของผสม หรือเป็นการรวมกันของสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปทั้งในขนาด ไมโคร (Micro) หรือ แมโคร (Macro) ก็ได้ ที่องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันและจะต้องไม่ละลายเข้าด้วยกัน

วัสดุผสมที่ได้จะมีคุณสมบัติเป็นพิเศษ หรือ ให้มีลักษณะที่สำคัญบางอย่างแตกต่างไปจากเดิม

FIGURE 16.2 A classification scheme for the various composite types discussed in this chapter.



COMPOSITE SURVEY: Particle

Particle-reinforced

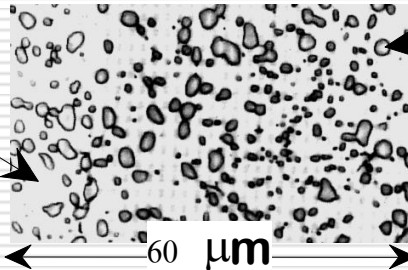
Fiber-reinforced

Structural

- Examples:

-Spheroidite
steel

matrix:
ferrite (α)
(ductile)

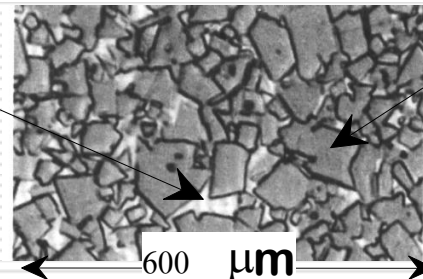


particles:
cementite
(Fe_3C)
(brittle)

-WC/Co
cemented
carbide

matrix:
cobalt
(ductile)

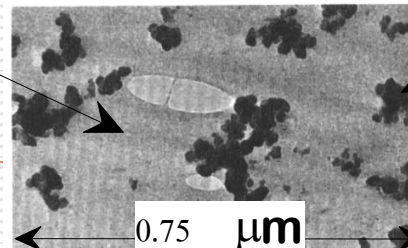
V_m :
10-15 vol%!



particles:
WC
(brittle,
hard)

-Automobile
tires

matrix:
rubber
(compliant)



particles:
C
(stiffer)

1. คอนกรีต (Concrete)

1.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับคอนกรีต

1.2 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland Cement Concrete)

1.3 คอนกรีตเสริมแรง และพรีสเตรสคอนกรีต (Reinforced and Pre-stressed Concrete)



1.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับคอนกรีต

เป็นวัสดุผสมประเภทเซรามิกที่มีอนุภาคหยาบของวัสดุฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์แข็งของเนื้อซีเมนต์

โดยปกติจะประกอบไปด้วยปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ 7-15% น้ำ 14-21% อากาศ 0.5-8% ส่วนผสมที่ละเอียดเป็นผง 24-30% และส่วนผสมที่เป็นอนุภาคหยาบ 31-51%

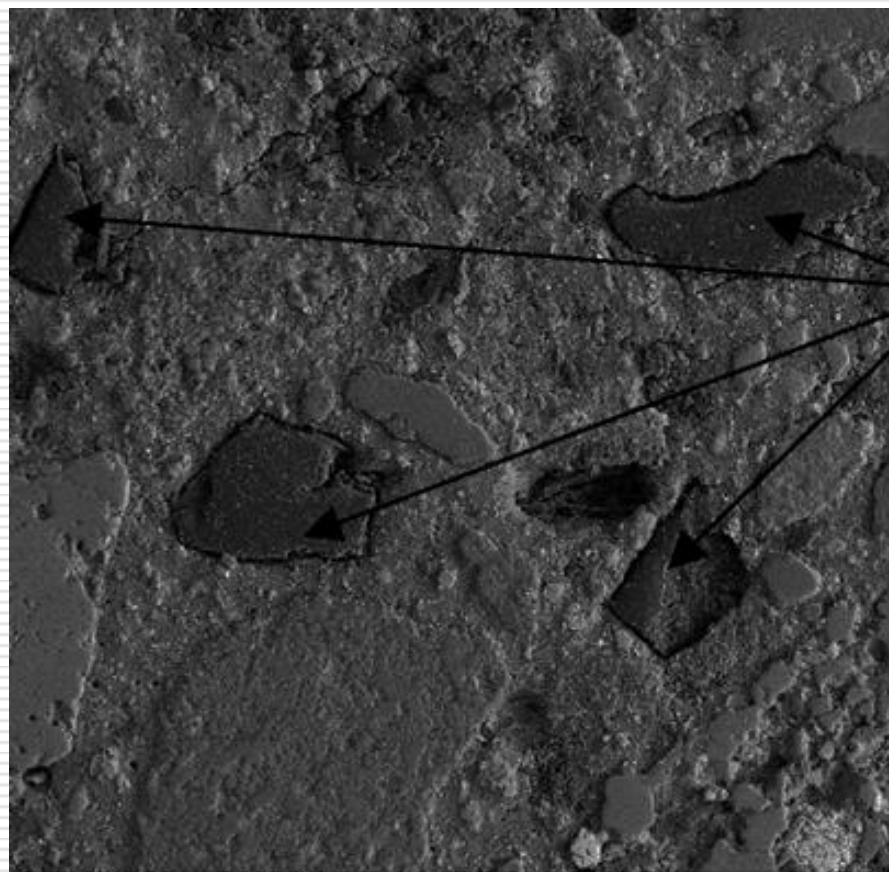
นำไปใช้งานหลักในการก่อสร้าง สะพาน อาคาร เชื้อน กำแพง ถนน

ง่ายต่อการออกแบบและเปลี่ยนแปลง สามารถหล่อได้

ประหยัด ราคาถูก ทนทาน ป้องกันไฟได้

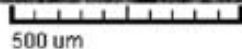
สามารถประกอบและสร้างที่บริเวณงานได้

ข้อเสียคือ มี tensile strength ต่ำ มีความอ่อนตัวและความเหนียวต่ำ มีการหดตัวบ้าง



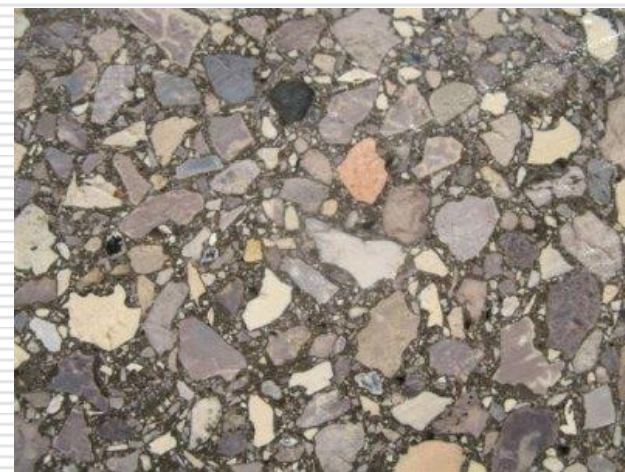
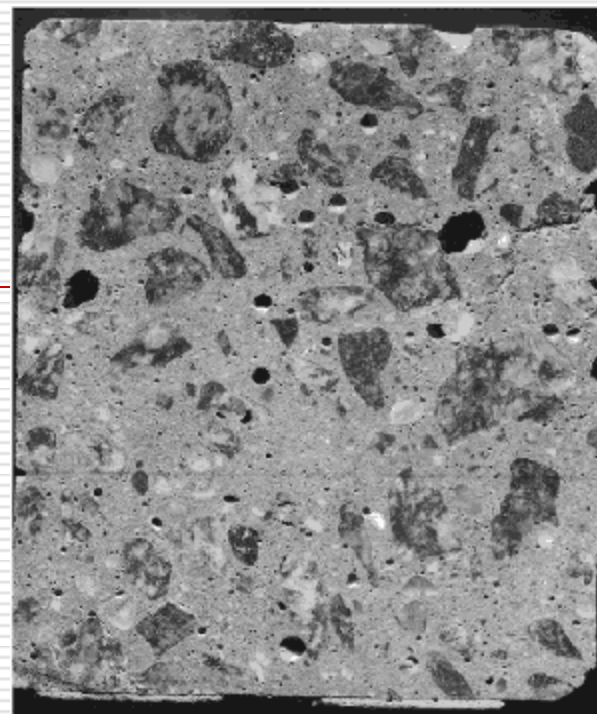
SEM MAG: 75 x
HV: 25.0 kV
VAC: HiVac

DET: BSE
DATE: 03/14/08
Device: MV2300



Vega ©Tescan
Obducat CamScan

Rubber
powder
particles



1.2 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

ประกอบไปด้วยปูนขาว (CaO) ซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3)

Type I: ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ที่ใช้ทั่วไป ไม่ถูกกับดินและน้ำที่มีซัลเฟตสูง มักใช้ทำคอนกรีตเสริมทางเท้า อาคารคอนกรีตเสริมแรง สะพาน ท่อระบายน้ำ แทงค์น้ำ และอ่างเก็บน้ำ

Type II: ใช้กับงานที่มีซัลเฟตปานกลาง เช่นทางระบายน้ำที่มีความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำบาดาลสูงกว่าปกติ และยังใช้ในสภาพที่ร้อนของโครงสร้างใหญ่ เช่น ตอม่อใหญ่ กำแพงเก็บกักน้ำใหญ่

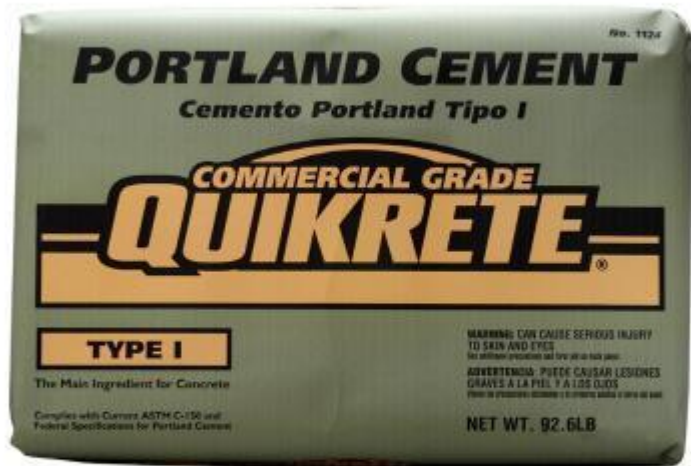
Type III: มีความแข็งแรงสูงกว่าดั้งเดิม ใช้ทำคอนกรีตที่ต้องเอาโครงสร้างออกเร็ว เพื่อให้ได้งานเร็วขึ้น

Type IV: ใช้กับงานทำคอนกรีตที่เป็นโครงสร้าง โดยใช้ซีเมนต์จำนวนมากๆ เช่น สร้างเขื่อนใหญ่ๆ

Type V: ด้านทานการทำลายจากซัลเฟต จึงใช้กับงานทำคอนกรีตที่ต้องถูกกับดินและน้ำบาดาลที่มีซัลเฟตสูง



อินทรี
ต้า



1.3 คอนกรีตเสริมแรง และพรีสเตรสคอนกรีต (Reinforced and Pre-stressed Concrete)

คอนกรีตเสริมแรง (Reinforced concrete)

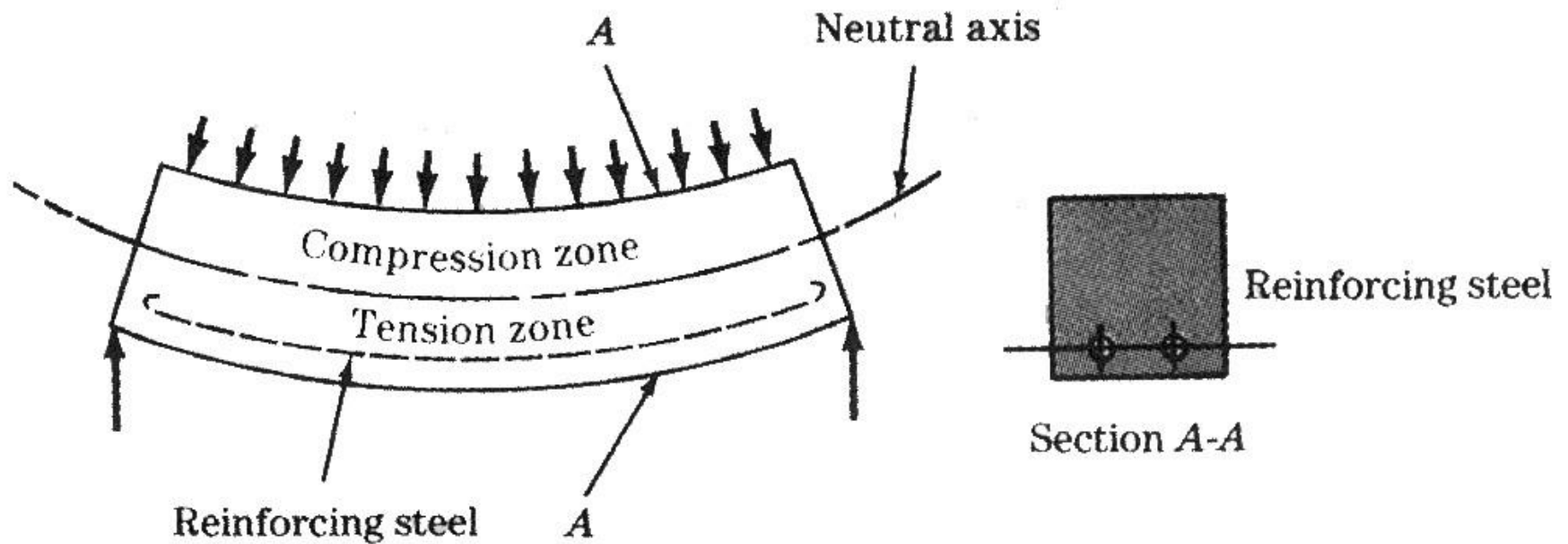
โดยทั่วไปความทน
แรงดึงของคอนกรีต
จะต่ำกว่าคอนกรีต
แรงอัดประมาณ 10-
15 เท่า

คอนกรีตที่รับแรงดึง

เช่น คานคอนกรีต
จะมีเหล็กเสริมแรง
อยู่ในคาน เรียกว่า
คอนกรีตเสริมแรง
(Reinforced
concrete) ซึ่งจะทน
แรงดึงและต้านทาน
การโค้งงอได้ดี

เหล็กที่เสริมแรงใน
คานคอนกรีตอาจจะ
อยู่ในรูปของแท่ง
เหล็ก เหล็กเส้น
ตะแกรงเหล็ก หรือ
ตาข่ายเหล็ก เป็นต้น





แสดงผลที่เกินความจริงของคานคอนกรีตเสริมแรงที่รับน้ำหนักมาก เป็นที่น่าสังเกตว่า แท่งเหล็กที่เสริมเข้าไปอยู่ ตรงบริเวณรับแรงดึงพอดี (After G.B. Wynne “Reinforced Concrete Structures”, Reston Publishing, 1981, p. 2)

พรีสเตรสคอนกรีต (Prestressed concrete)

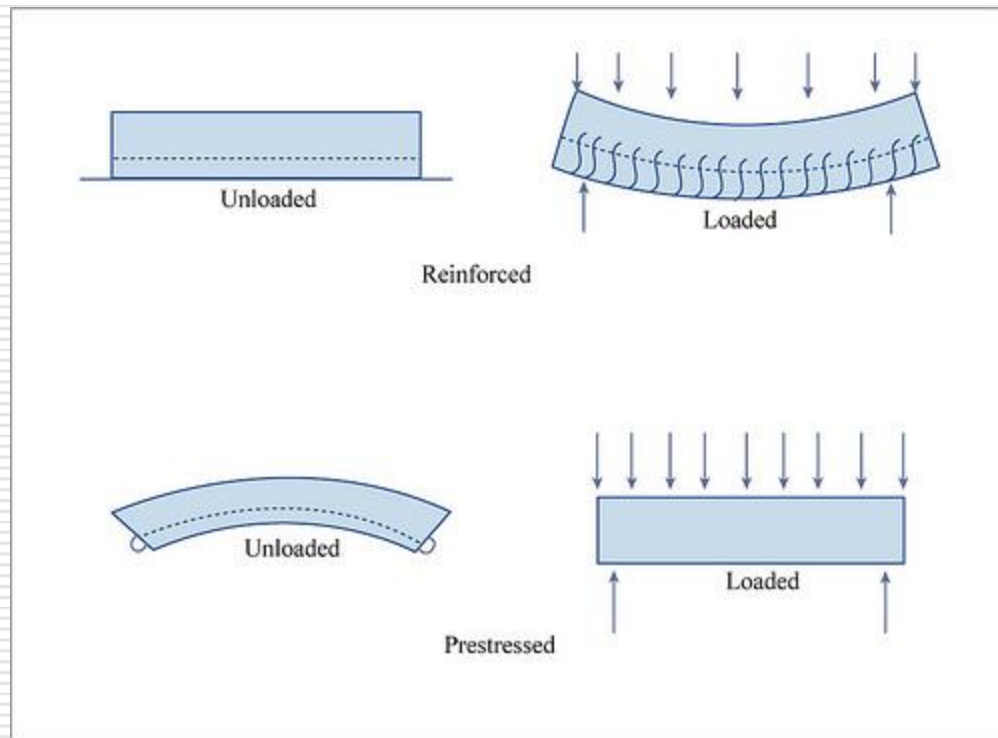
เป็นคอนกรีตที่ทำให้เกิด
ความเค้นในเหล็กที่
เสริมแรงก่อน

การให้แรงอัดไม่ว่าจะเป็น
pretension หรือ **post tension**
สามารถเพิ่มความทนทานต่อแรงดึง
ของคอนกรีตเสริมแรงได้

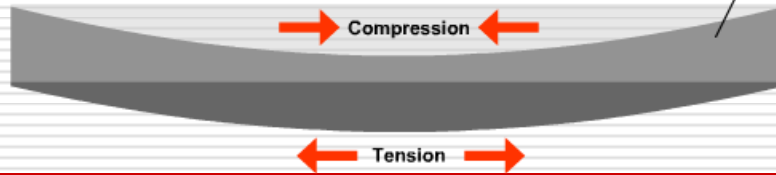
เหล็กที่ใช้เสริมแรงในกรณี
นี้เรียกว่า เทนดันส์
(tendons)

กรณี pretension เทนดันส์จะอยู่ในรูปของ
สายเคเบิลที่ได้จากลวดหลายเส้นพันกัน โดย
ยึดปลายไว้ที่จุดยึดและแม่แรง พร้อมทั้งมีการ
ให้แรงก่อนเทคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะ
ได้ความเค้นเพิ่มขึ้นในคอนกรีต

ในกรณีที่เป็น post tension จะมีการใส่เหล็กเทนดันส์ลงไปในห้องกลาง ที่
มีการยึดในลักษณะเดียวกับ pretension จากนั้นเทคอนกรีตจนแข็งตัว
แล้วจึงอัดปูนซีเมนต์เข้าไปให้เต็มที่ปลายหนึ่งด้วยความดันสูง ปูนจะทำให้
คอนกรีตรับแรงกด และสามารถโค้งงอได้มากขึ้น



1.

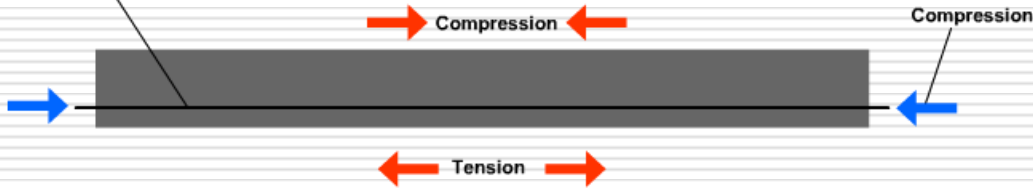


Normally the combination of compression and tension cause the concrete to bend.

Tensioned Cable

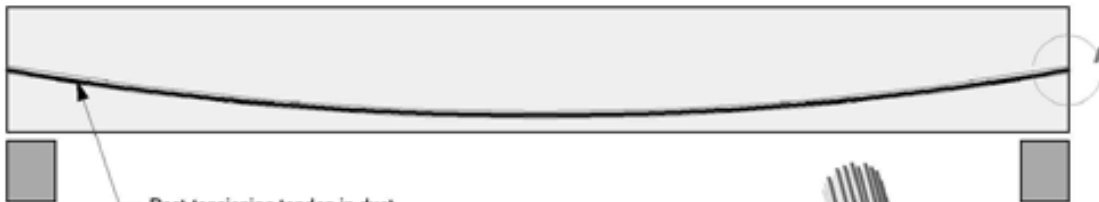
applies a compressive force on the bottom of the concrete. This neutralizes the tension force on the bottom and the concrete does not bend

2.



Pretension

Post-tensioned Concrete is Used in Bridges and in Custom Building Structures:



Post-tensioning tendon in duct
Post-tensioning cables are often "draped" in order to provide reinforcement where it's needed



Detail A

Post tension

COMPOSITE SURVEY: Fiber-I

Particle-reinforced

Fiber-reinforced

Structural

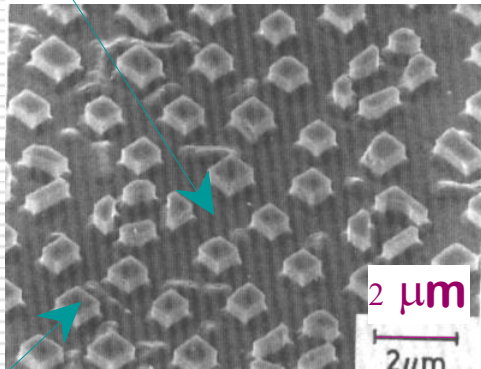
- **Aligned Continuous** fibers

- **Examples:**

- Metal: $\gamma'(\text{Ni}_3\text{Al})$ - $\alpha(\text{Mo})$

- by eutectic solidification.

- matrix: $\alpha(\text{Mo})$ (ductile)



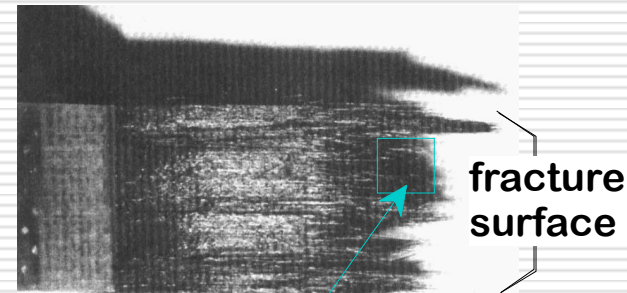
fibers: $\gamma'(\text{Ni}_3\text{Al})$ (brittle)

- Glass w/SiC fibers

- formed by glass slurry

- $E_{\text{glass}} = 76\text{GPa}$; $E_{\text{SiC}} = 400\text{GPa}$.

(a)



(b)



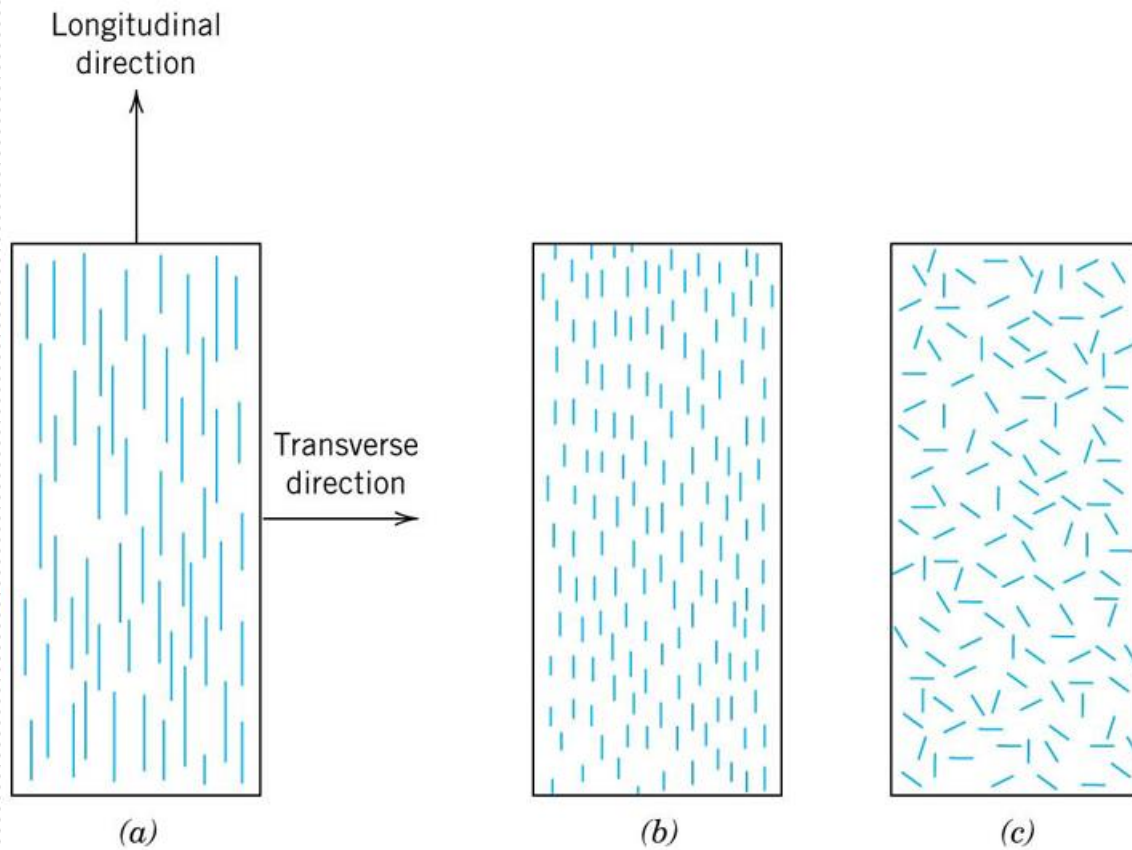


FIGURE 16.8 Schematic representations of (a) continuous and aligned, (b) discontinuous and aligned, and (c) discontinuous and randomly oriented fiber-reinforced composites.

COMPOSITE SURVEY: Fiber-II

Particle-reinforced

Fiber-reinforced

Structural

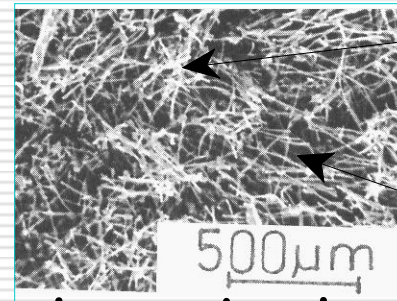
- **Discontinuous, random 2D** fibers

- **Example: Carbon-Carbon**

- process: fiber/pitch, then burn out at up to 2500°C.

- uses: disk brakes, gas turbine exhaust flaps, nose cones.

(b)



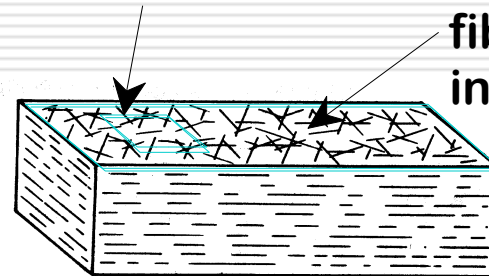
C fibers:
very stiff
very strong

C matrix:
less stiff

view onto plane less strong

fibers lie
in plane

(a)



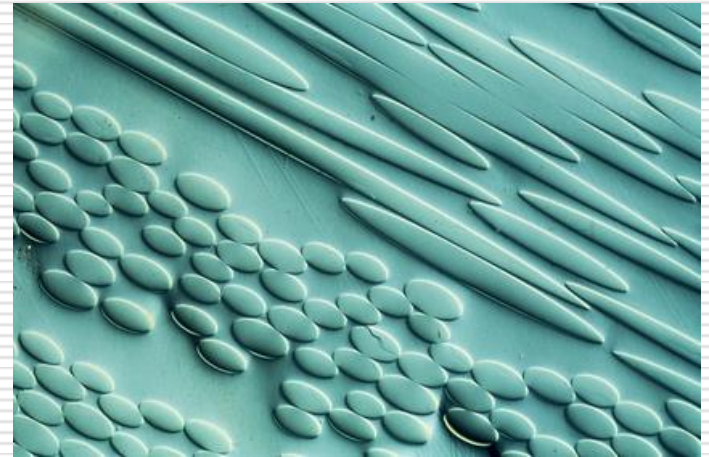
- **Other variations:**

- Discontinuous, random 3D**

- Discontinuous, 1D**

2. โพลีเมอร์เมทริกซ์ (Polymer-Matrix Composites : PMCs)

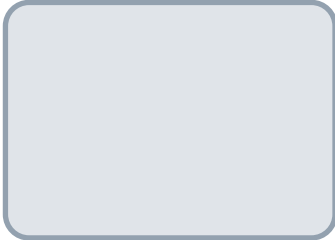
- เส้นใยเสริมแรง 3 ประเภท
 1. เส้นใยแก้ว (GFRP)
 2. เส้นใยคาร์บอน (CFRP)
 3. เส้นใยอะรามิด



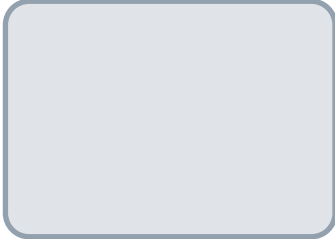
3. โลหะเมทริกซ์ (MMCs) และเซรามิกเมทริกซ์ (CMCs)

4. กระบวนการผลิตใยแก้วและพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย

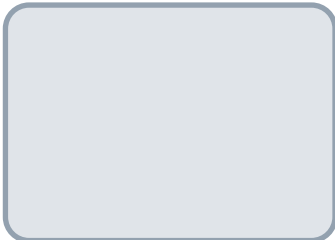
ใยแก้ว (Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP))



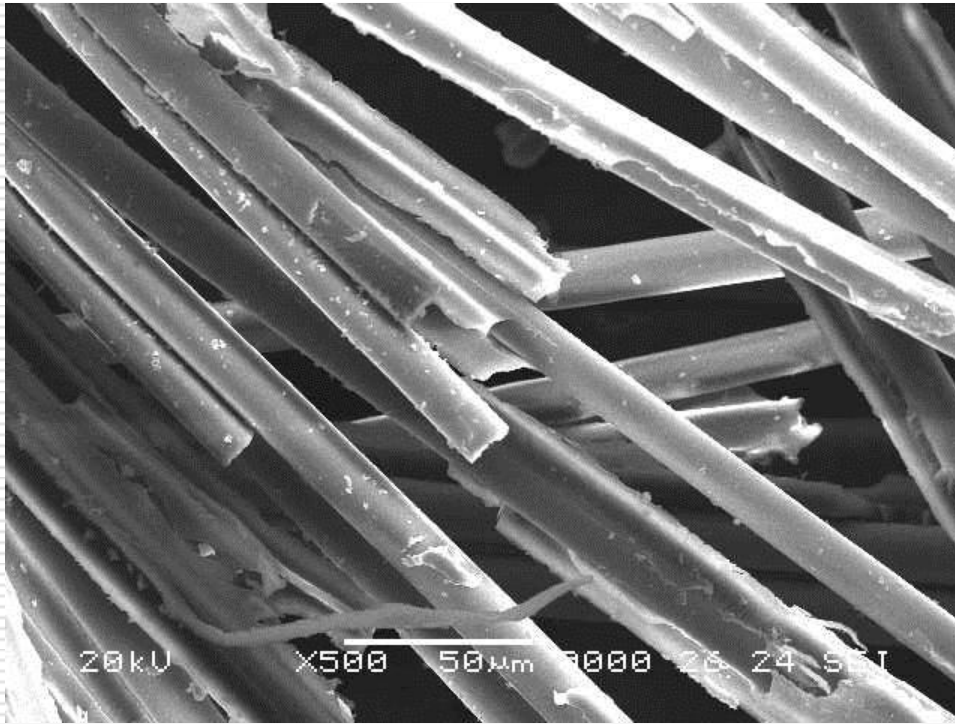
ใยแก้วที่นำมาใช้เสริมแรงพลาสติก เพื่อให้มีโครงสร้างแบบ
วัสดุผสมและใช้สำหรับทำแม่พิมพ์ เช่น Fiberglass



มีลักษณะเฉพาะที่ดีคือ มีความแข็งแรงสูง มีรูปทรงที่เสถียร
เป็นฉนวนความร้อน-เย็นที่ดี ไม่ดูดความชื้น ทนทานต่อการผุ
กร่อน เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ขึ้นรูปง่าย และมีราคาค่อนข้างถูก



แก้วที่ใช้ทำใยแก้วที่สำคัญมี 2 ประเภท คือ E (electrical)
glass และ S (High-strength) glasses



GFRP

E (electrical) glass

เป็นใยแก้วที่ใช้กันมากที่สุดและใช้กับกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง

ได้จากสารประกอบของ Lime-aluminum-borosilicate

SiO_2 (52-56%) Al_2O_3 (12-16%) CaO (16-25%) B_2O_3 (8-13%)

E glass บริสุทธิ์มี tensile strength 3.44 GPa และ Modulus of elasticity 72.3 GPa

S (High-strength) glasses

มีค่าอัตราส่วนของ strength ต่อน้ำหนักสูงกว่าและราคาแพงกว่า E glass

ในยุคแรกถูกใช้ทางทหารและอวกาศ

มีองค์ประกอบคือ SiO_2 (65%) Al_2O_3 (25%) MgO (10%)

มี tensile strength 4.48 GPa และ Modulus of elasticity 85.4 GPa



E glass fiber



S glass fiber

เส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber-Reinforced Polymer (CFRP))

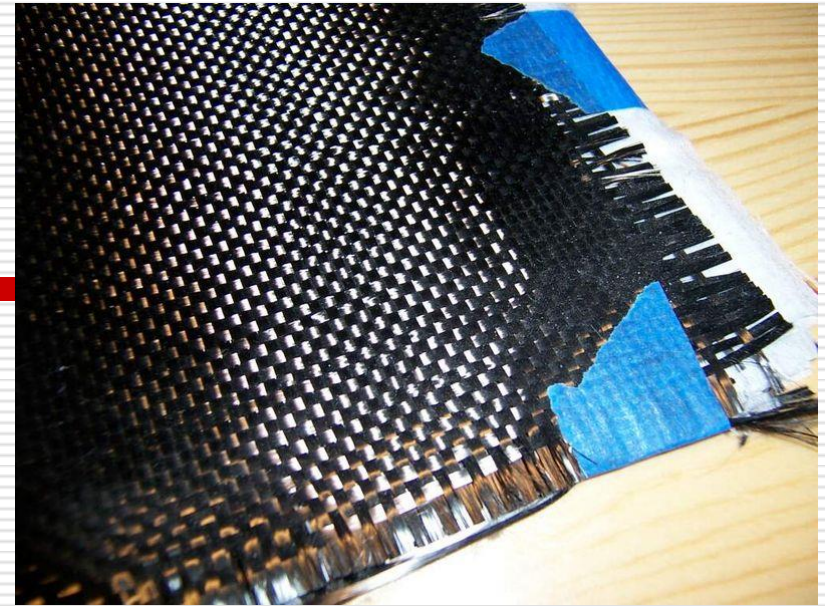
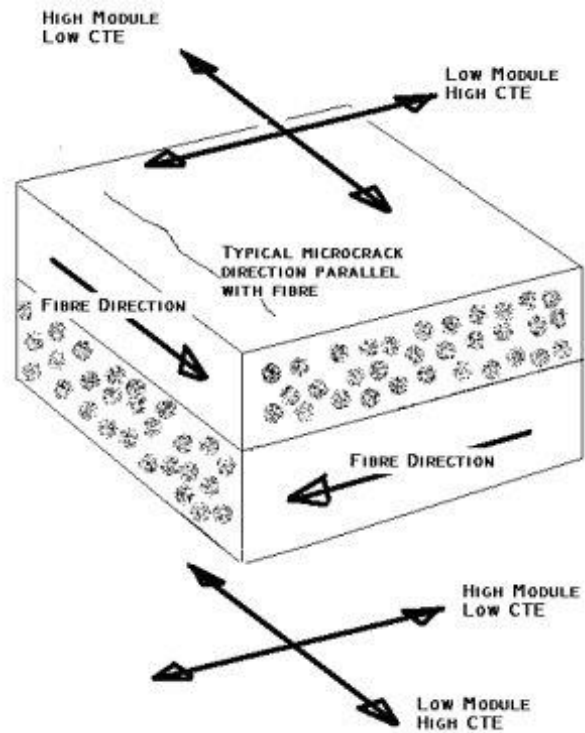
เส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) ทำมาจากวัตถุดิบ 2 ชนิด คือ พอลิอะคริโลไนไทรล์ (Polyacrylonitrile, PAN) และยางมะตอย รวมกันเรียกว่า PAN-precursor ก่อนที่จะนำไปผลิตเป็นเส้นใยคาร์บอนต่อไป

เส้นใยคาร์บอนมักถูกนำไปใช้เสริมแรงให้กับพลาสติกเรซิน เช่น อีพอกซี

จะได้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา แข็งแรงสูง แข็งตัว ไม่โค้งงอง่าย

มักใช้ในงานด้านยานอวกาศ เครื่องบิน และเนื่องจากราคาสูงจึงไม่ค่อยมีการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมรถยนต์

มี tensile strength 2.34-3.17 GPa และ Modulus of elasticity 193-413 GPa และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาเพิ่มมากขึ้น



CFRP

เส้นใยอะรามิด (Aramid Fiber-Reinforced Polymer Composites)

เป็นชื่อทั่วไปของเส้นใยอะโรมาติกพอลิเอไมด์ไฟเบอร์ โดยมีชื่อทางการค้าว่า เคบลาร์ (Kevlar)

โดยทั่วไปมีน้ำหนักเบา ความแข็งแรงและเหนียวสูง ทนทานต่อการชำรุด ความล้า

เคบลาร์ที่ขายกันมีอยู่ 2 แบบคือ เคบลาร์เบอร์ 29 (ความหนาแน่นต่ำ มีความแข็งแรงสูง ออกแบบมาเพื่อใช้ป้องกันกระสุน ขีปนาวุธเชือก สายเคเบิล และ เบอร์ 49 (ความหนาแน่นต่ำ มีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง มักใช้ในการเสริมแรงพลาสติก สร้างเครื่องบิน เรือ รถยนต์ และ ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ)

หน่วยย่อยทางเคมีของโซ่เคบลาร์พอลิเมอร์ คือ อะโรมาติก พอลิเอไมด์ ที่มีพันธะไฮโดรเจนสร้างพันธะด้านขวาง โดยรวมแล้วเส้นใยจะมีความแข็งแรงสูงตามยาวจะไม่แข็งแรงตามขวาง

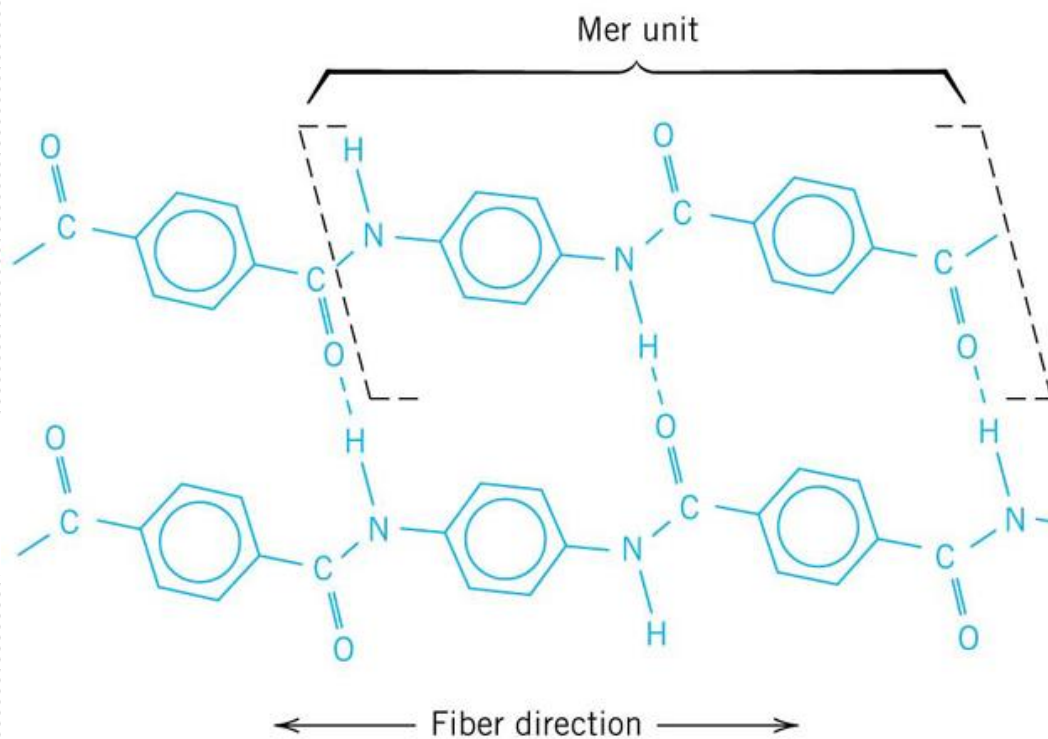


FIGURE 16.10 Schematic representation of mer and chain structures for aramid (Kevlar) fibers. Chain alignment with the fiber direction and hydrogen bonds that form between adjacent chains are also shown. [From F. R. Jones (Editor), *Handbook of Polymer-Fibre Composites*. Copyright © 1994 by Addison-Wesley Longman. Reprinted with permission.]



Aramid

คุณสมบัติของใยแก้ว

- ใยแก้วมี tensile strength และ Modulus of elasticity ต่ำกว่าใยคาร์บอน และใยอะรามิด แต่มีค่าความยืดและความหนาแน่นมากกว่า
- ใยแก้วเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในการเสริมแรงพลาสติกเพราะมีราคาถูก

แสดงการเปรียบเทียบสมบัติของเส้นใยที่ใช้เสริมแรงพลาสติก

Property	E glass (HTS)	Carbon (type HT)	Aramid (Kevlar 49)
Tensile strength, ksi (MPa)	350 (2410)	450 (3100)	525 (3617)
Tensile modulus, Msi (GPa)	10 (69)	32 (220)	18 (124)
Elongation to break, %	3.5	1.40	2.5
Density, g/cm ³	2.54	1.75	1.48

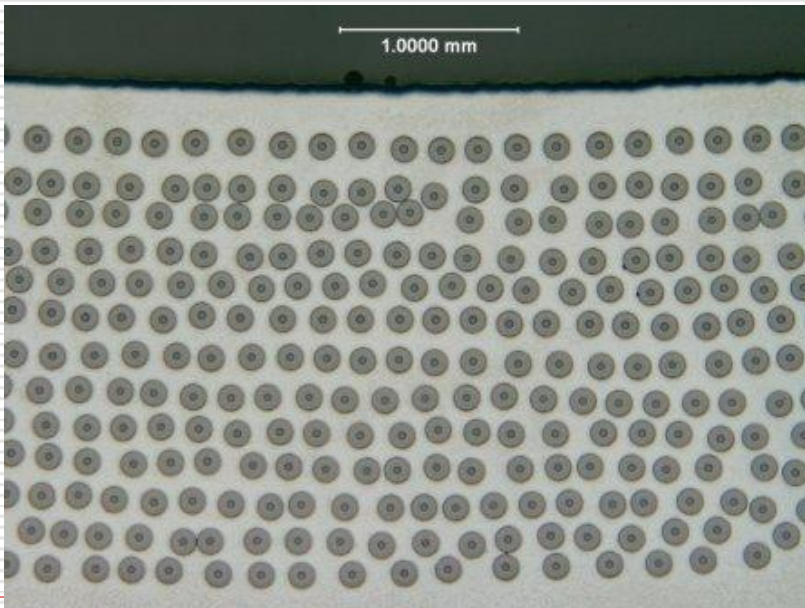
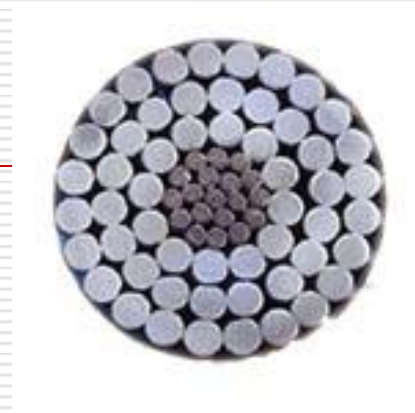
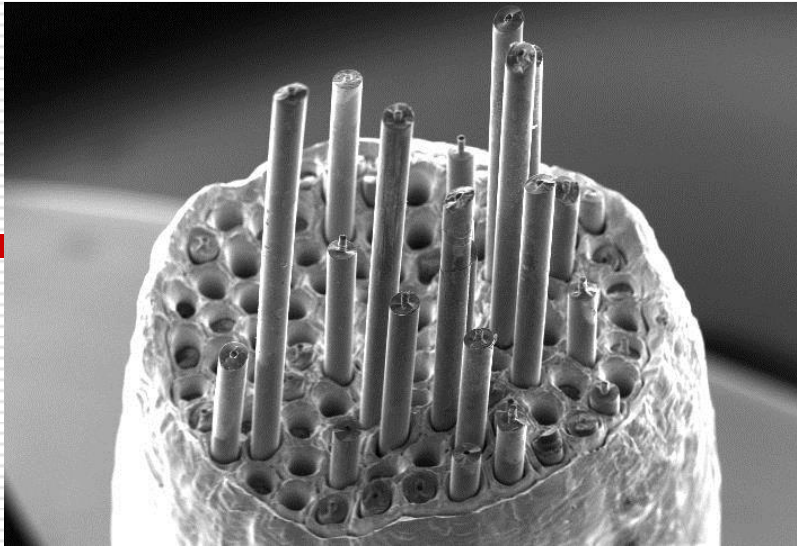
3. โลหะเมทริกซ์และเซรามิกเมทริกซ์

วัสดุผสมโลหะเมทริกซ์ (Metal – Matrix Composite, MMCs)

- ❑ เป็นวัสดุโลหะผสมที่ได้รับการเสริมแรง
- ❑ เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงมากต่ออัตราส่วนโดยน้ำหนัก
- ❑ ส่วนมากใช้ในงานอุตสาหกรรม (เช่นสร้างเครื่องยนต์ในรถยนต์) และการพัฒนาเครื่องบิน
- ❑ โดยทั่วไปมี MMCs ที่สำคัญ 3 แบบ คือ
 1. เสริมแรงด้วย continuous fiber
 2. เสริมแรงด้วย discontinuous fiber
 3. เสริมแรงด้วยอนุภาค particulate reinforced

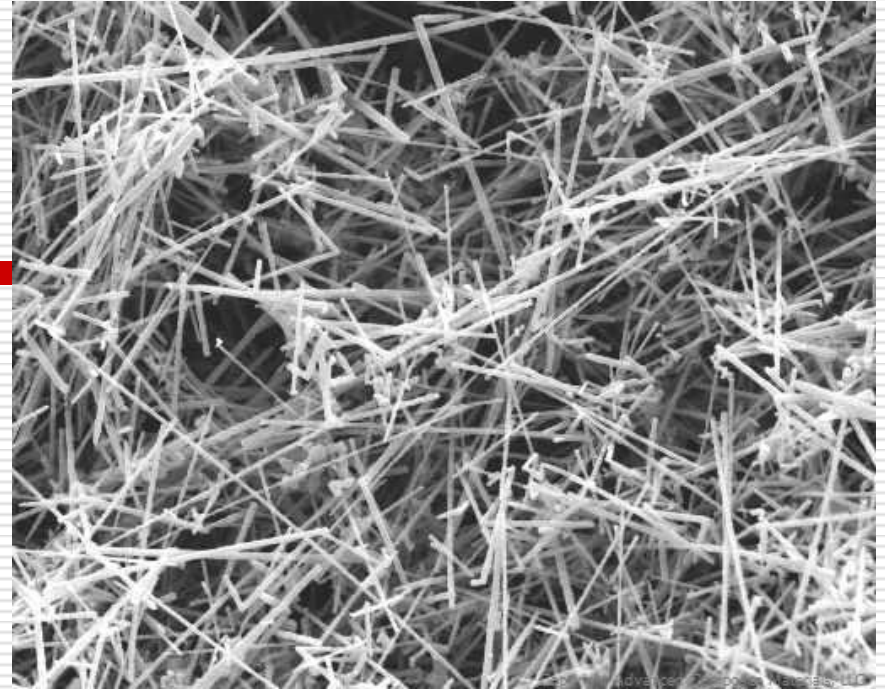
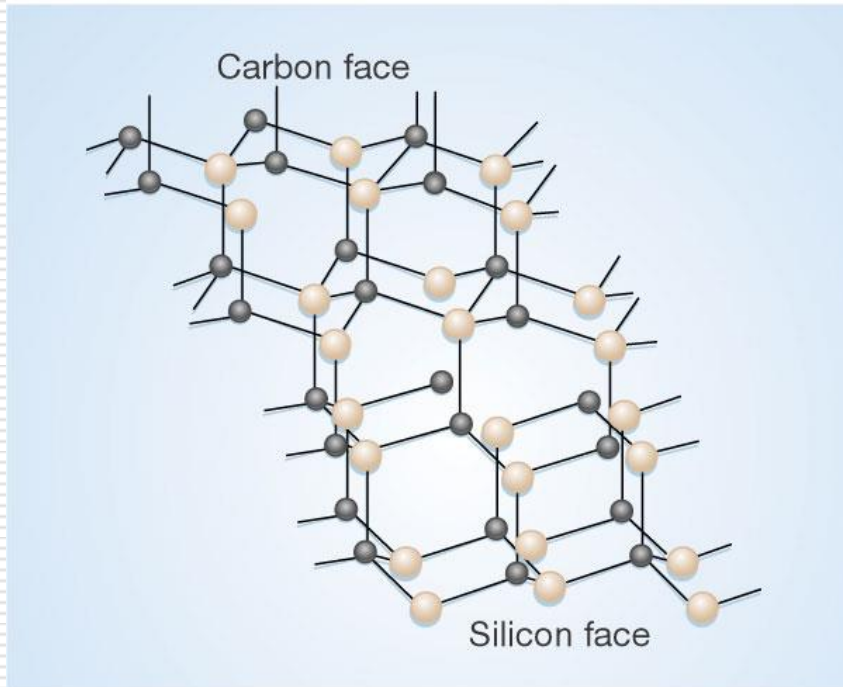
1. เสริมแรงด้วย continuous fiber

- เส้นใยที่ยาวมากๆ เมื่อนำมาทำ MMCs จะช่วยปรับปรุงความแข็งแรงและความแข็งแรงของ MMCs ให้ดียิ่งขึ้น
- อะลูมิเนียมผสมเมทริกซ์ที่เสริมแรงด้วยใยโบรอนเป็น MMCs ชนิดแรกที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยอาศัยกระบวนการอัดร้อนเส้นใยโบรอนระหว่างแผ่นบางๆ ของอะลูมิเนียม ทำให้แผ่นอะลูมิเนียมเข้าไปล้อมรอบเส้นใยโบรอน ทำให้เกิดพันธะระหว่างกันขึ้น ได้ continuous-B-fiber-aluminum alloy matrix
- continuous fiber อื่นๆ เช่น continuous-fiber SiC, แกรไฟต์อะลูมินา, เส้นใยทังสเตน
- การนำ continuous-fiber SiC มาเสริมแรงโลหะผสมไทเทเนียมอลูมิเนียมไนด์เมทริกซ์ เพื่อสร้างเครื่องบินความเร็วเหนือเสียง เช่น The National Aerospace plane



2-3. เสริมแรงด้วย discontinuous fiber และ อนุภาค

- มีข้อได้เปรียบทางวิศวกรรมกว่าโลหะผสมที่ไม่มีการเสริมแรงทั้งในด้านความแข็ง ความแข็งแรง และความเหนียว และมีรูปทรงที่เสถียรกว่า
- หลักการผลิตคล้ายกับกรณีต่อเนื่อง แตกต่างที่สิ่งที่นำไปเสริมแรง
- ส่วนใหญ่เมื่อพูดถึง MMCs จะเน้นไปที่ Aluminum alloy มักใช้ทำจรวดนำวิถี ลูกสุนัปรถยนต์



Silicon Carbide

	Tensile strength		Elastic modulus		Strain to failure, %
	MPa	ksi	GPa	Msi	
Continuous-fiber MMCs:					
Al 2024-T6 (45% B) (axial)	1458	211	220	32	0.810
Al 6061-T6 (51% B) (axial)	1417	205	231	33.6	0.735
Al 6061-T6 (47% SiC) (axial)	1462	212	204	29.6	0.89
Discontinuous-fiber MMCs:					
Al 2124-T6 (20% SiC)	650	94	127	18.4	2.4
Al 6061-T6 (20% SiC)	480	70	115	17.7	5
Particulate MMCs:					
Al 2124 (20% SiC)	552	80	103	15	7.0
Al 6061 (20% SiC)	496	72	103	15	5.5
No reinforcement:					
Al 2124-F	455	66	71	10.3	9
Al 6061-F	310	45	68.9	10	12

วัสดุผสมเซรามิกเมทริกซ์ (Ceramic-Matrix Composite, CMCs)

เป็นวัสดุเซรามิกผสมที่ได้รับการเสริมแรง

เป็นวัสดุที่มีความแข็ง ความแข็งแรง และความเหนียวที่ดีขึ้น

โดยทั่วไปมี CMCs ที่สำคัญ 3 แบบ คือ

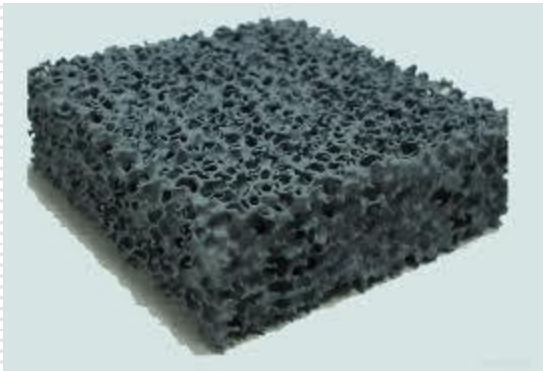
- 1. เสริมแรงด้วย continuous fiber
- 2. เสริมแรงด้วย discontinuous fiber
- 3. เสริมแรงด้วยอนุภาค particulate reinforced

1. เสริมแรงด้วย continuous fiber

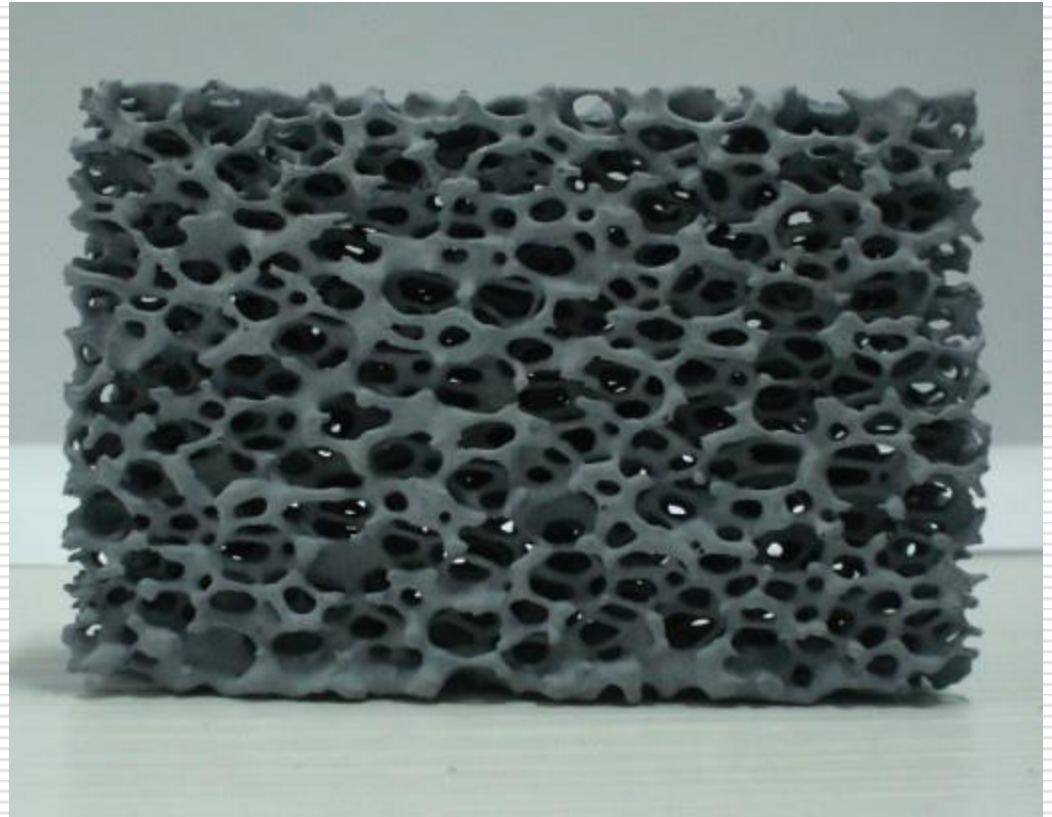
- เส้นใยที่ใช้คือซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)
- กระบวนการคือนำเส้นใยมาถักเป็นผืนเสื่อแล้วทำ Chemical Vapor Deposition หรือใช้เส้นใยหุ้มด้วยวัสดุแก้ว-เซรามิก
- ใช้ในการทำหลอดแลกเปลี่ยนความร้อน ระบบป้องกันความร้อน วัสดุป้องกันการกัดกร่อนในสิ่งแวดล้อม

2 และ 3. เสริมแรงด้วย discontinuous fiber (whisker) และ อนุภาค

- สามารถช่วยเพิ่มความทนทานของเซรามิก
- การใช้เส้นใยที่สั้นและอนุภาคทำให้ได้เปรี๊ยะที่สามารถทำในอุตสาหกรรมได้ด้วยกระบวนการเซรามิกธรรมดา เช่น hot isostatic pressing (Hipping)



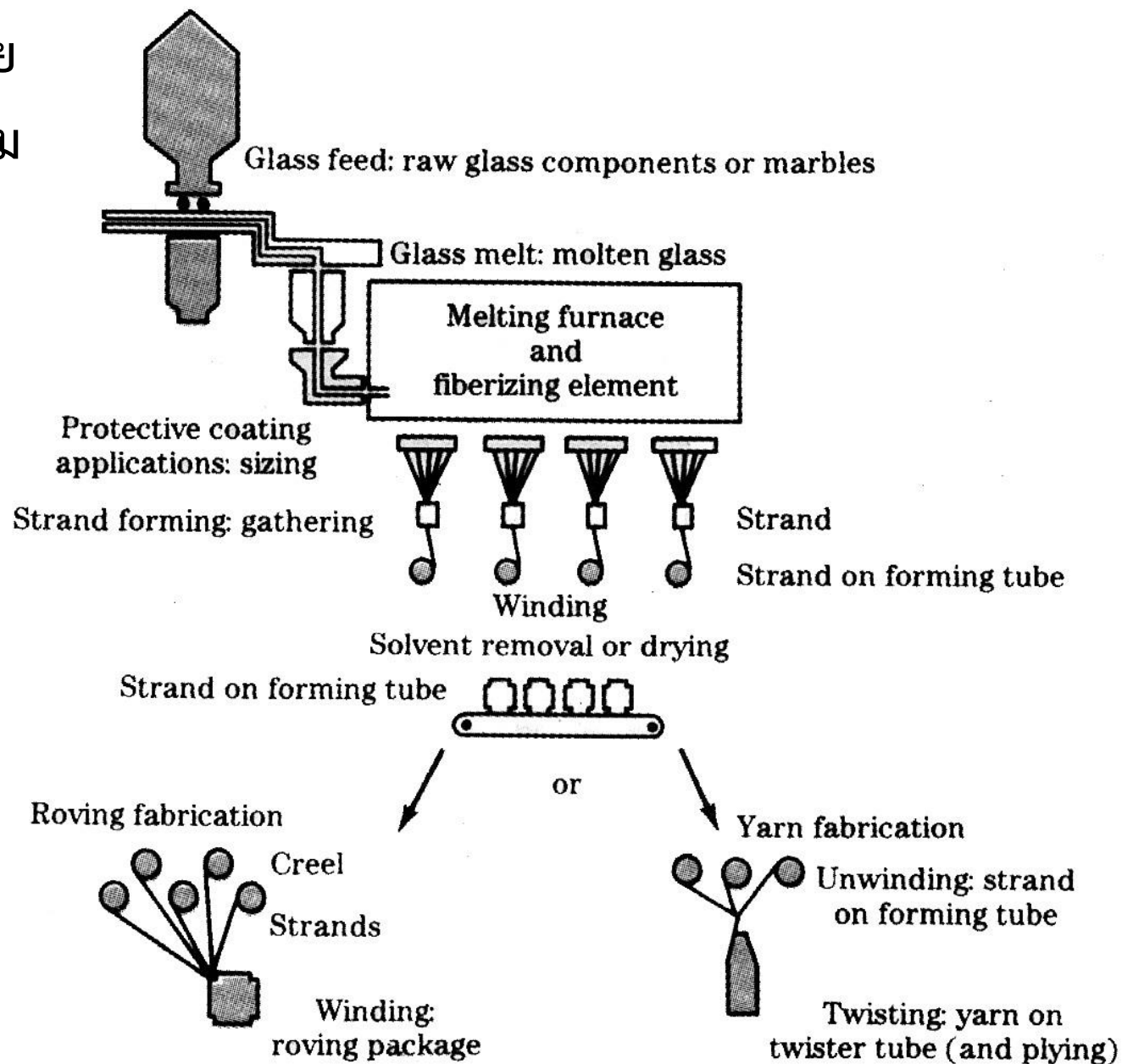
Silicon carbide ceramic



4. กระบวนการผลิตใยแก้ว Processing of Fiber-Reinforced Composite)

- เริ่มต้นจากการดึงแก้วที่กำลังหลอมอยู่ในเตาให้ออกมาเป็นเส้นเล็กๆ แล้วนำมาปั่นด้วยกันทำเป็นเกลียว
- นำเส้นใยที่ได้มาทำถัก ทอ เป็นใยแก้วประเภทต่างๆ ที่เหมาะแก่การใช้งานที่แตกต่างกัน

กระบวนการผลิตใยแก้วในอุตสาหกรรม



รูปใยแก้วประเภทต่างๆ



กระบวนการผลิตพลาสติกจากใยแก้ว

Pultrusion

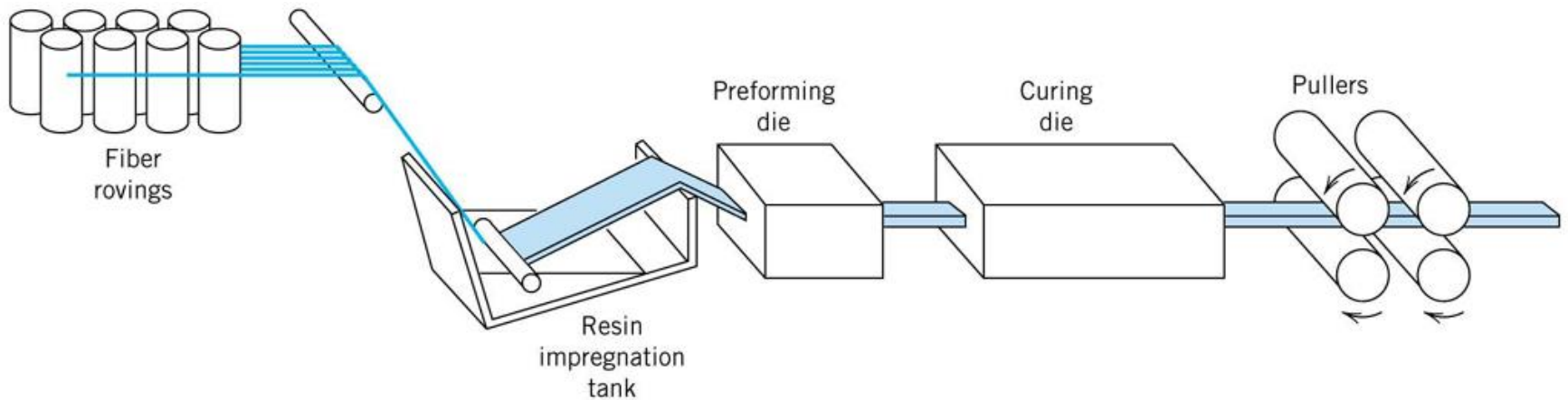
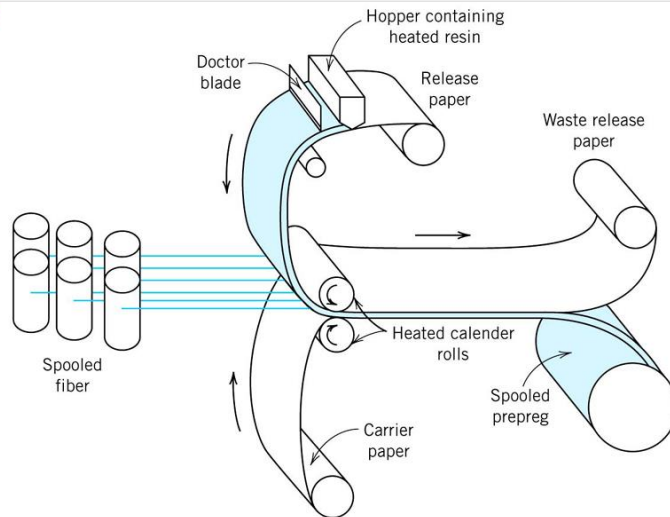


FIGURE 16.12 Schematic diagram showing the pultrusion process.

แสดงกระบวนการ pultrusion สำหรับผลิตวัสดุผสมพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย เส้นใยจะถูกทำให้ชุ่มด้วยเรซิน แล้วผ่าน die ร้อน แล้วถูกดึงออกมาอย่างช้าๆ จะได้วัสดุผสมที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดคงที่ (After H.G. De Young, Plastic Composites Fight for Status, High Technol, October 1983. p. 63, High Technology Publishing Co. Used with permission)

Prepreg production process

FIGURE 16.13 Schematic diagram illustrating the production of prepreg tape using thermoset polymers.



Filament winding

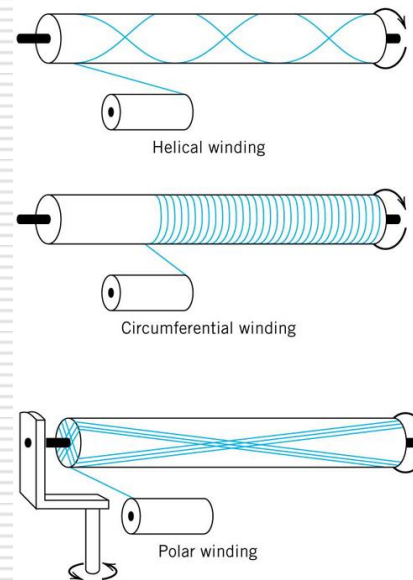
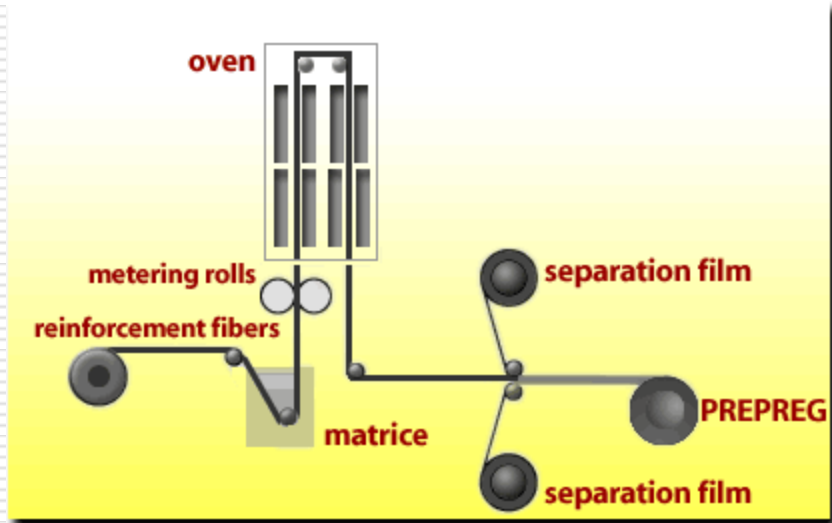
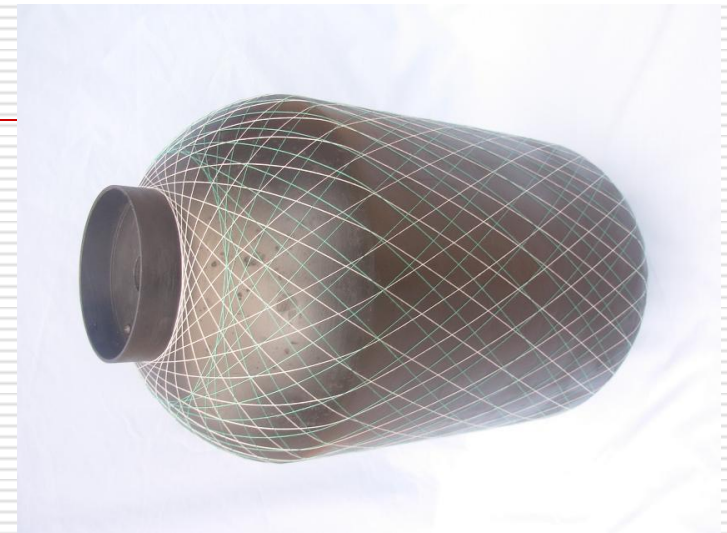
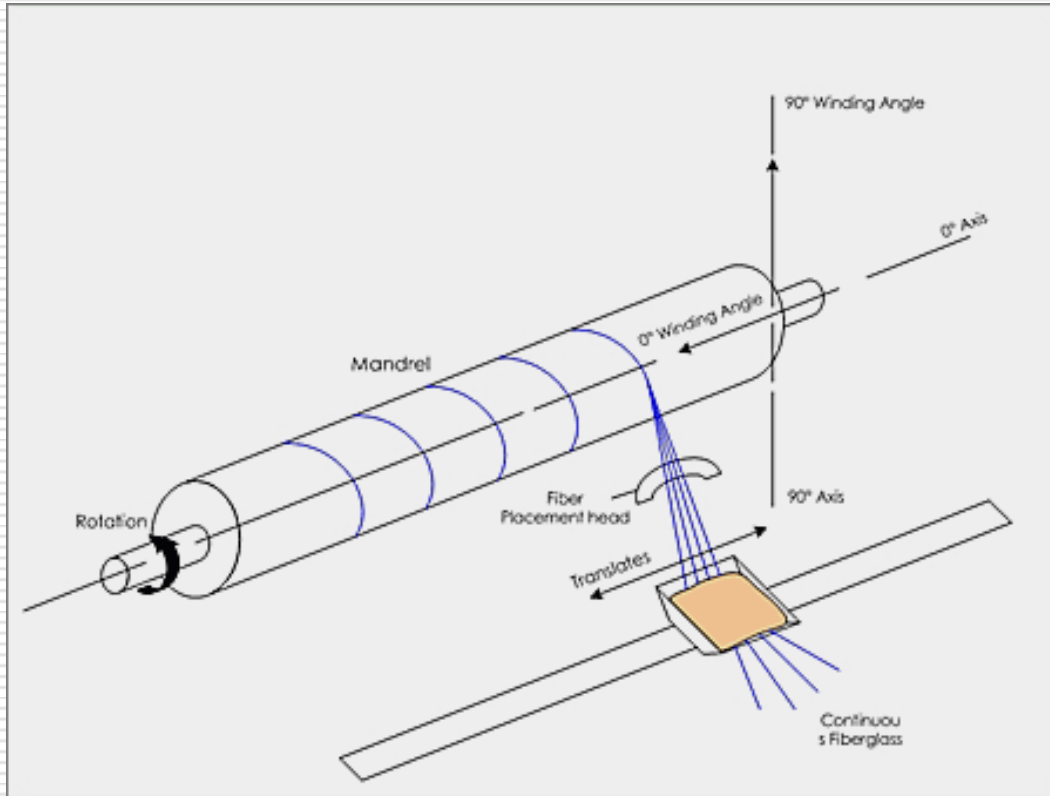


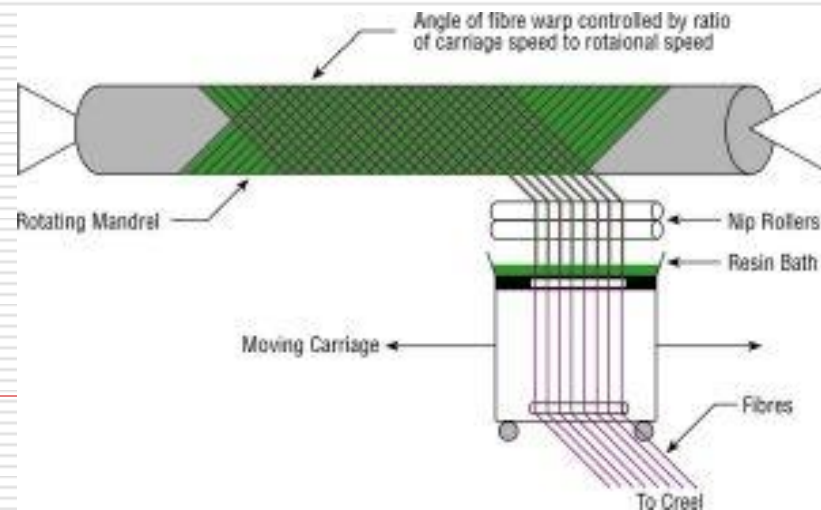
FIGURE 16.14 Schematic representations of helical, circumferential, and polar filament winding techniques. [From N. L. Hancox, (Editor), *Fibre Composite Hybrid Materials*, The Macmillan Company, New York, 1981.]



Prepreg production process



Filament winding



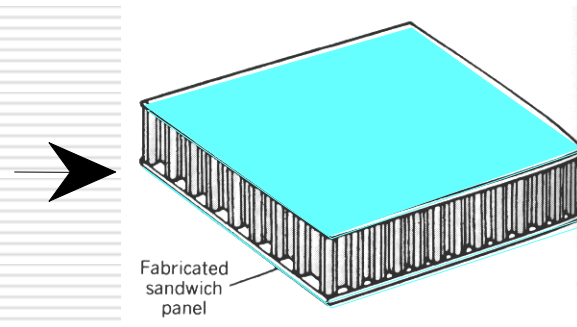
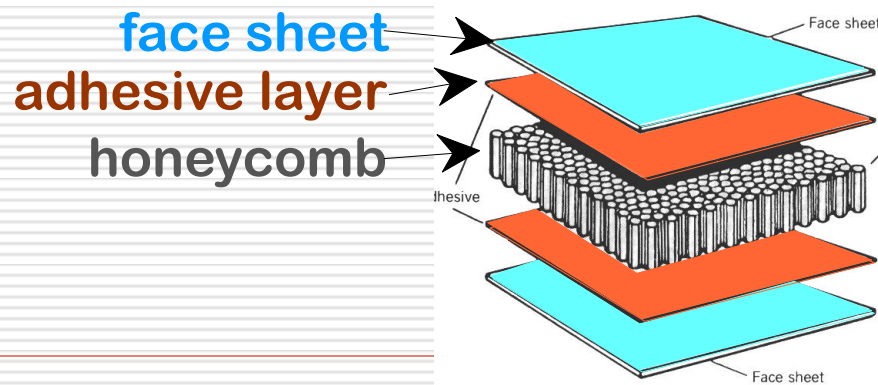
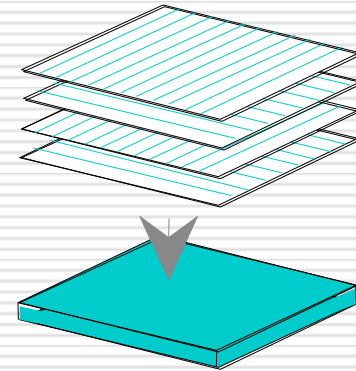
COMPOSITE SURVEY: Structural

Particle-reinforced

Fiber-reinforced

Structural

- **Stacked and bonded fiber-reinforced sheets**
 - stacking sequence: e.g., 0/90
 - benefit: balanced, in-plane stiffness
- **Sandwich panels**
 - low density, honeycomb core
 - benefit: small weight, large bending stiffness



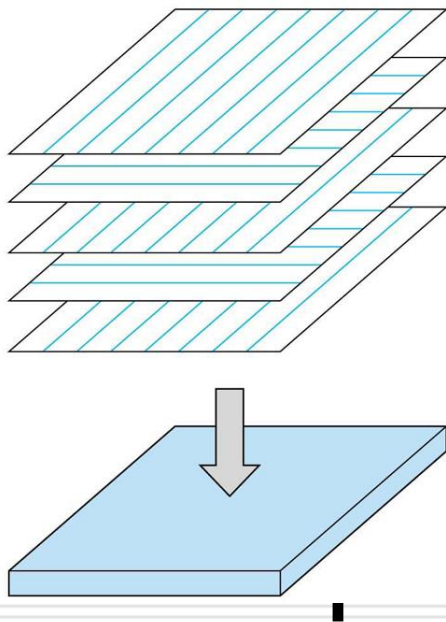


FIGURE 16.16 The stacking of successive oriented, fiber-reinforced layers for a laminar composite.

Sandwich Panels

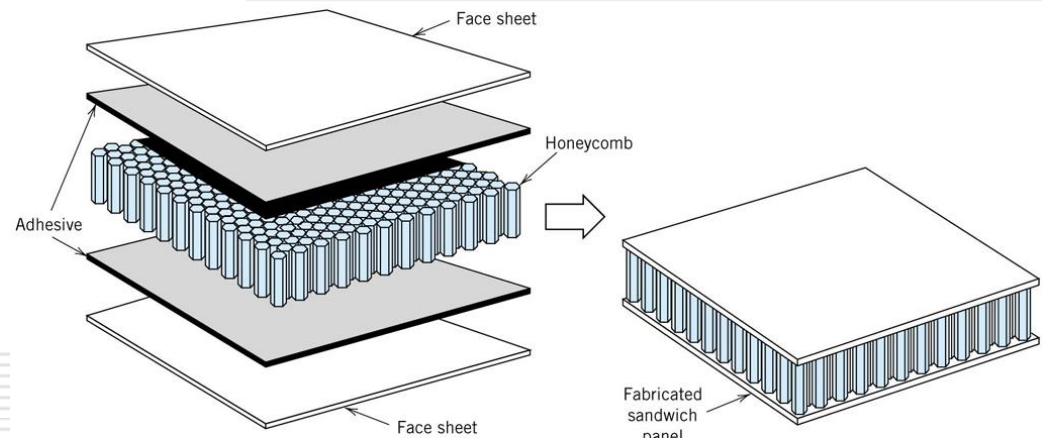


FIGURE 16.17 Schematic diagram showing the construction of a honeycomb core sandwich panel. (Reprinted with permission from *Engineered Materials Handbook*, Vol. 1, *Composites*, ASM International, Metals Park, OH, 1987.)

es

SUMMARY

- **Composites are classified according to:**
 - the matrix material (**CMC**, **MMC**, **PMC**)
 - the reinforcement geometry (particles, fibers, layers).
- **Composites enhance matrix properties:**
 - MMC: enhance σ_y , TS, creep performance
 - CMC: enhance K_c
 - PMC: enhance E , σ_y , TS, creep performance
- **Particulate-reinforced:**
 - Elastic modulus can be estimated.
 - Properties are isotropic.
- **Fiber-reinforced:**
 - Elastic modulus and TS can be estimated along fiber dir.
 - Properties can be isotropic or anisotropic.
- **Structural:**
 - Based on build-up of sandwiches in layered form.