

2109101 วัสดุวิศวกรรม

การปรับปรุงสมบัติทางกลของโลหะ

# การปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของโลหะ

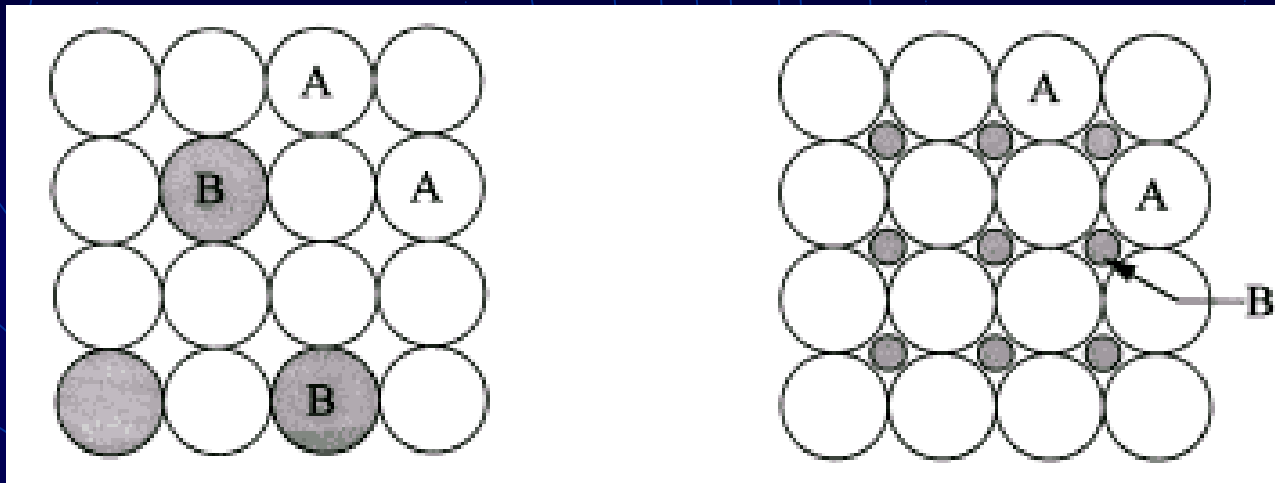
ในที่นี้จะกล่าวถึง ๒ ประเด็นคือ

- การเพิ่มความแข็งแรงให้โลหะ
- การปรับปรุงคุณสมบัติด้านความเหนียว/ความแกร่งของโลหะ

# การเพิ่มความแข็งแรงให้โลหะ (Strengthening Mechanisms)

- Solid solution Strengthening
- เติมธาตุผสมเข้าไปให้ละลายเป็นสารละลายของแข็ง อะตอมตัวถูกละลายจะช่วย “ตรึง” ให้เนื้อพื้น (Matrix) แปรรูปยากขึ้น = แข็งแรงขึ้น  
เช่น ทองเหลือง = ทองแดง + สังกะสี  
เหล็กแอลฟา (เฟอร์ไรต์) ที่มีคาร์บอนละลายอยู่  
เหล็กที่เติม แมงกานีส, ซิลิคอน  
ฯลฯ

# ชนิดของสารละลายของแข็ง

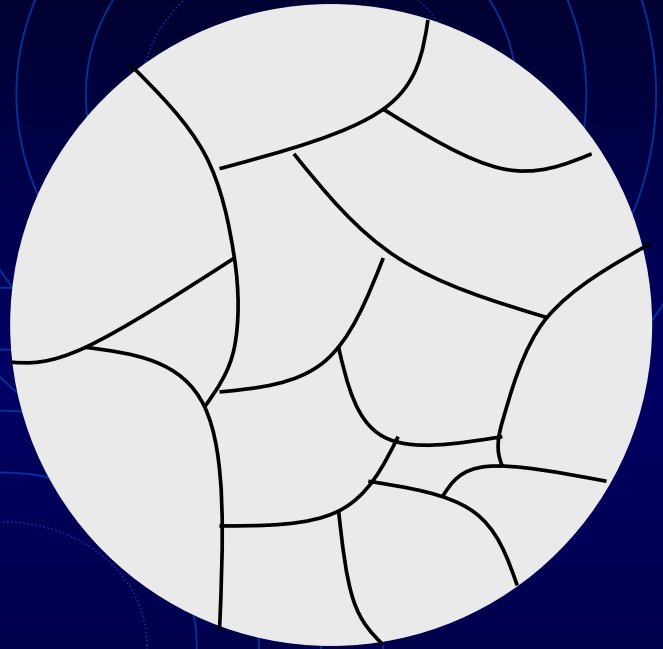
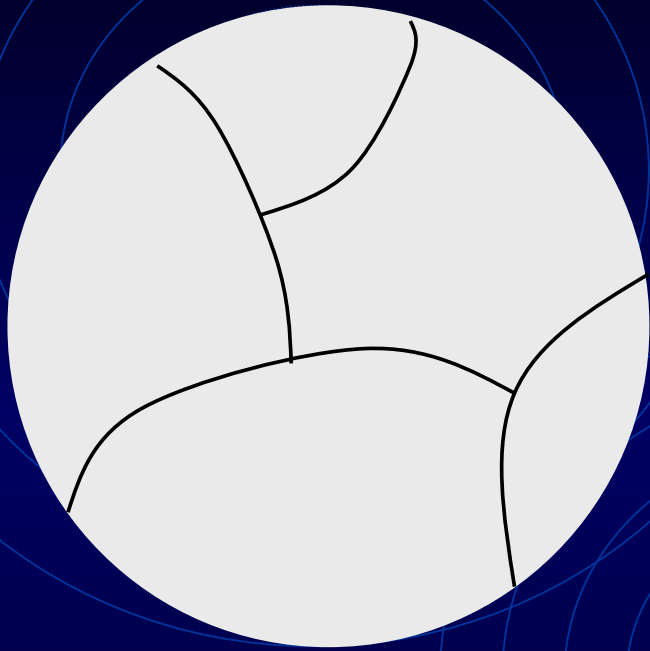


# การเพิ่มความแข็งแรงให้โลหะ (Strengthening Mechanisms)

- การขึ้นรูปเย็น (Cold work)  
โดยเฉพาะโลหะประเภทที่ไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงด้วยวิธีอื่นได้  
เช่น อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ (ทางการค้า), โลหะแผ่นต่าง ๆ (เหล็กกล้า, อะลูมิเนียม, ทองแดง), ลวดเหล็ก ฯลฯ

# การเพิ่มความแข็งแรงให้โลหะ (Strengthening Mechanisms)

- การทำให้เกรนละเอียด (Grain Refinement)  
หลักการคือ ขอบเกรน แข็งแรงกว่า เนื้อเกรน ⇒
  - โดยเฉพาะ ในโลหะหล่อ  
เช่น อะลูมิเนียมหล่อ เติม Ti-B เพื่อทำให้เกรน  
อะลูมิเนียมละเอียด
- กลไก คือ เร่งการเกิดนิวเคลียส, ลดการขยายตัว  
ของเกรน



# การทำให้เกรนละเอียด (Grain Refinement)

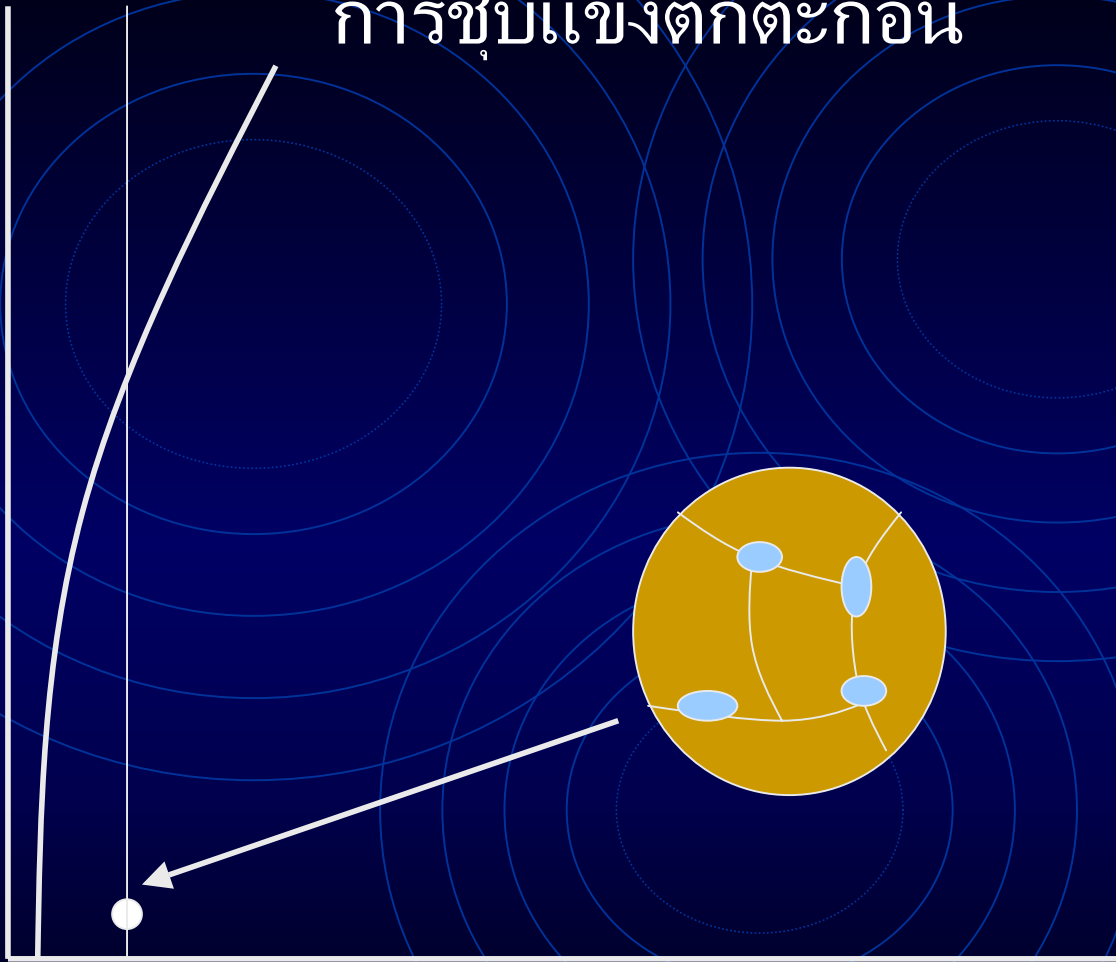




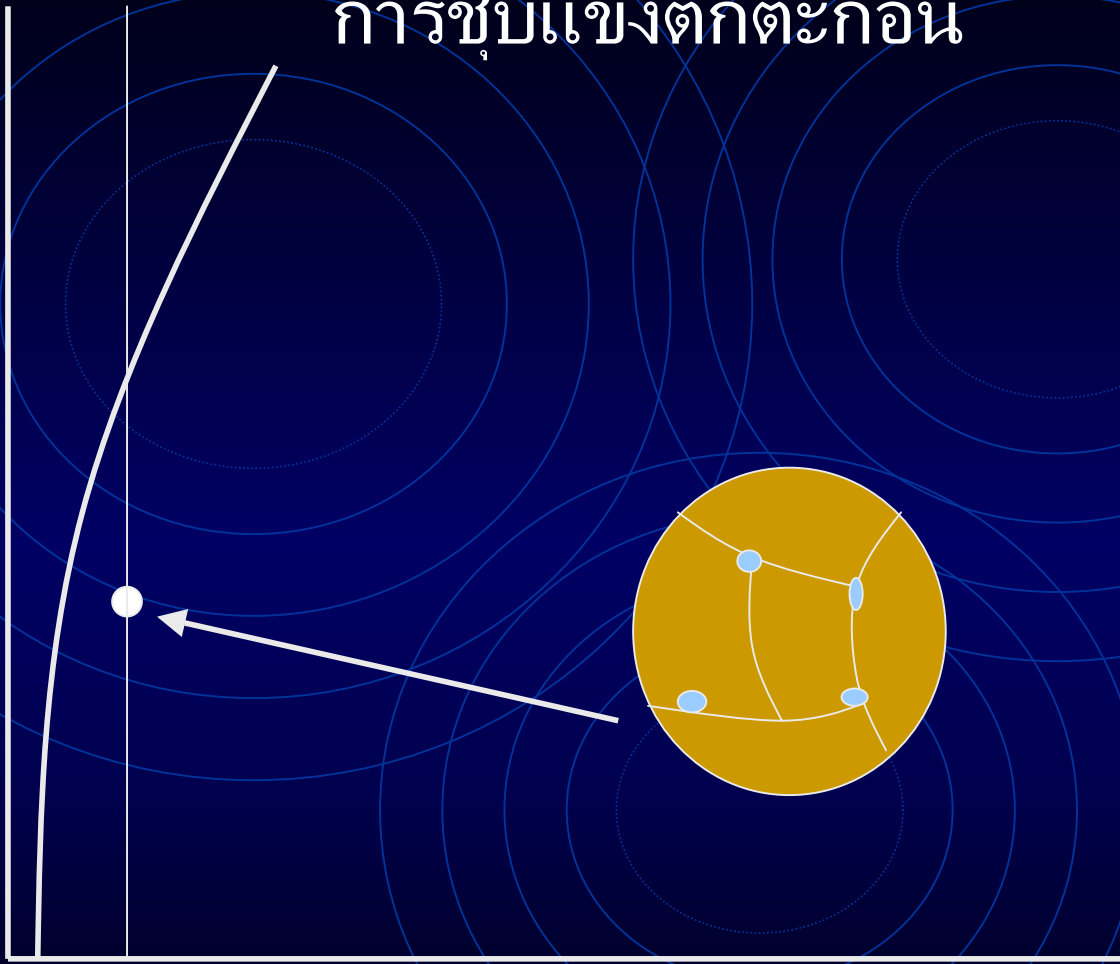
# การเพิ่มความแข็งแรงให้โลหะ (Strengthening Mechanisms)

- การอบชุบความร้อน/กรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatment) ที่มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโลหะ
  - 1. การชุบแข็งตกตะกอน (Precipitation Hardening) หรือการบ่มแข็ง (Age Hardening) มีบทบาทมากในโลหะนอกกลุ่มเหล็ก
  - 2. Hardening of Steel = การทำให้เหล็กแข็งโดยเปลี่ยนสภาพเป็นมาร์เทนไซต์

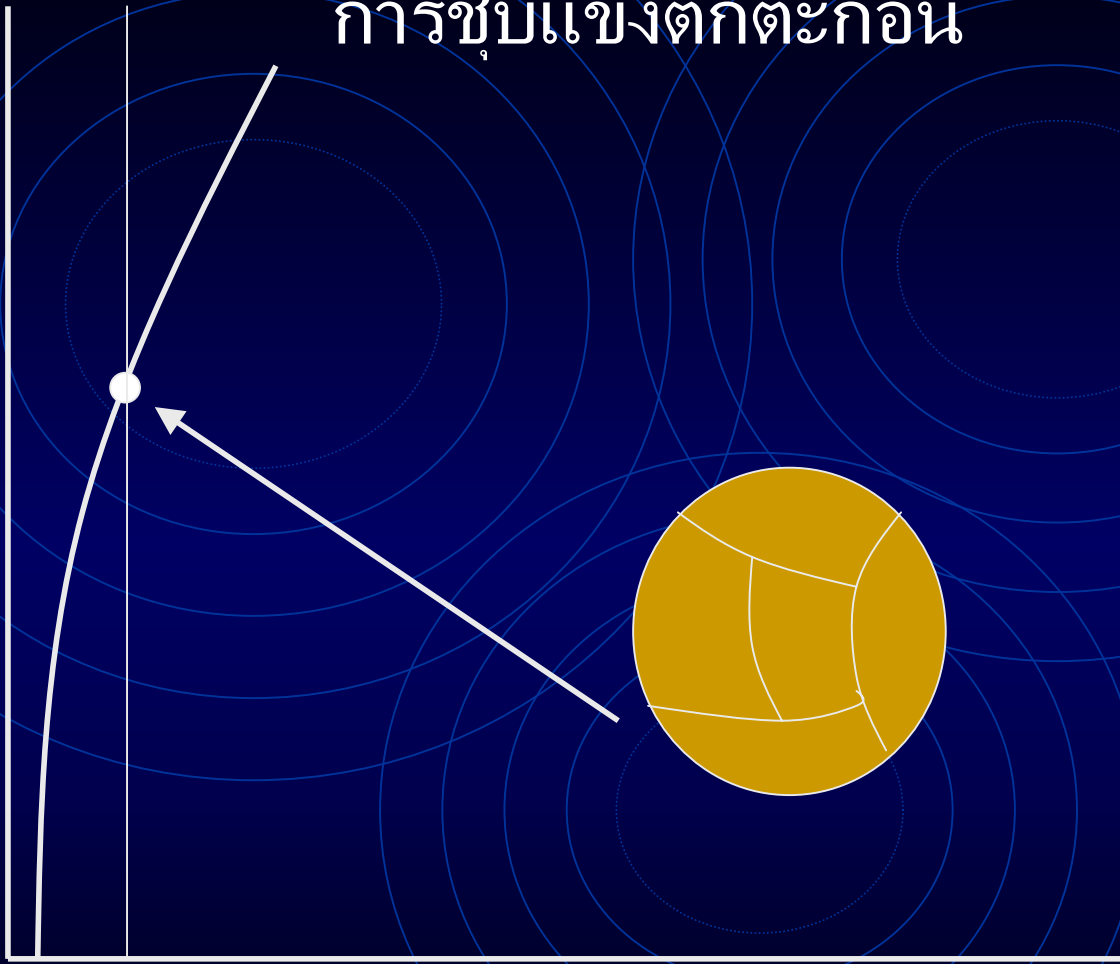
# การชُبแข็งตกตะกอน



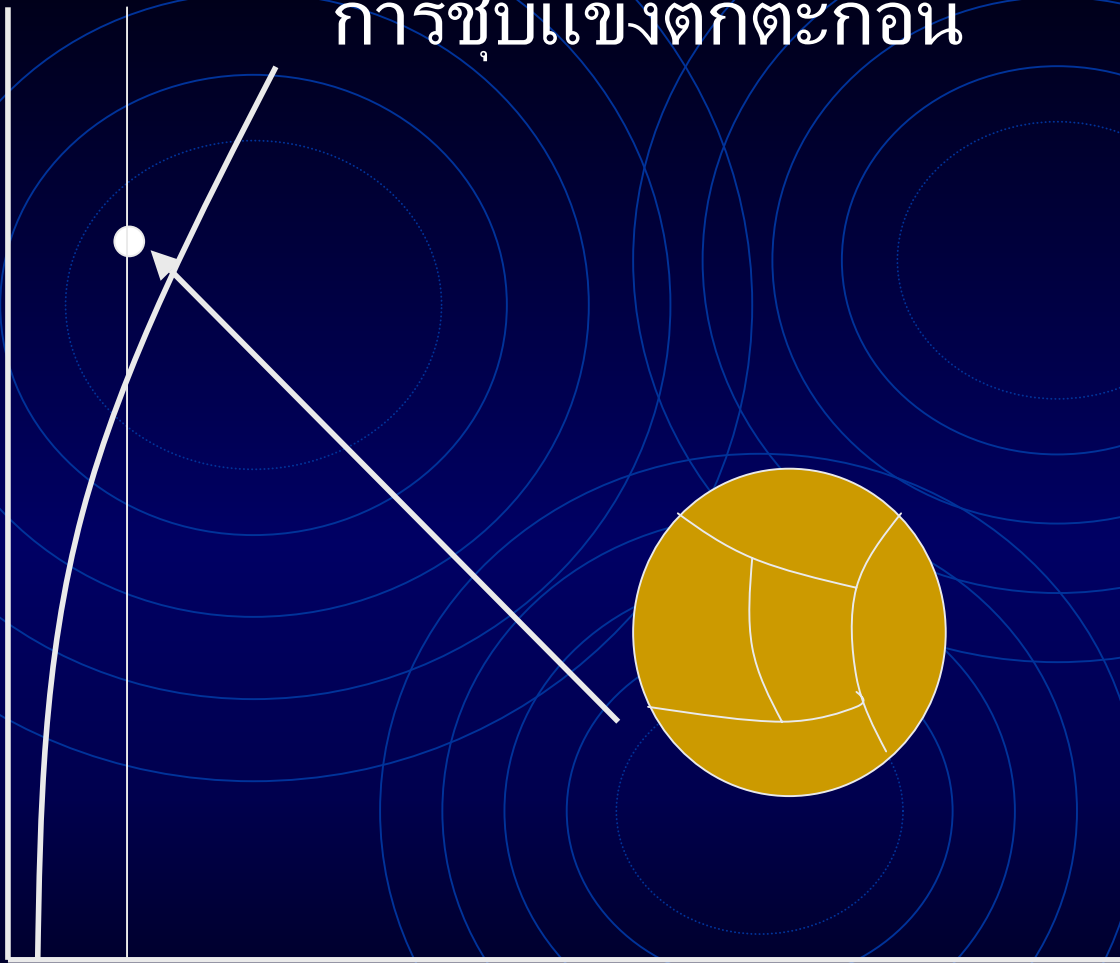
# การชُبแข็งตกตะกอน



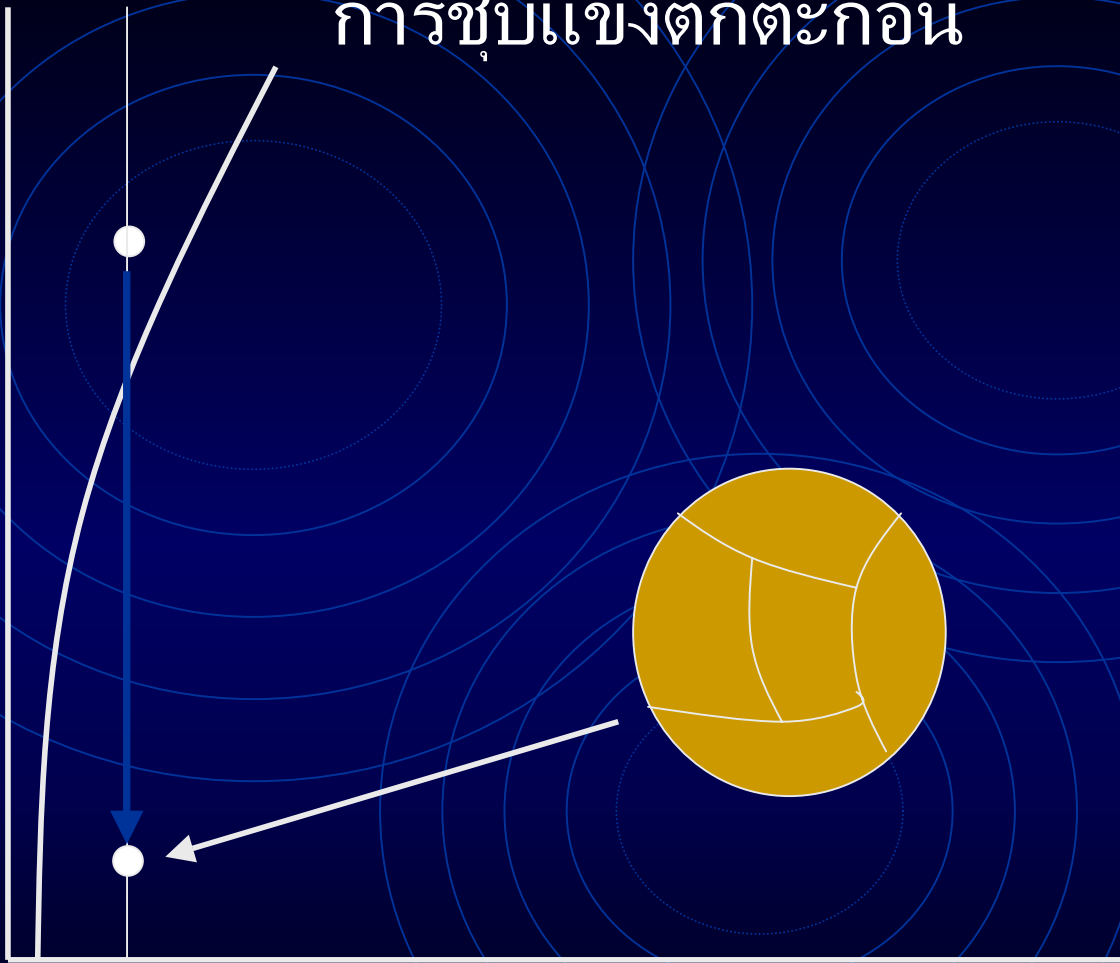
# การชُبแข็งตกตะกอน



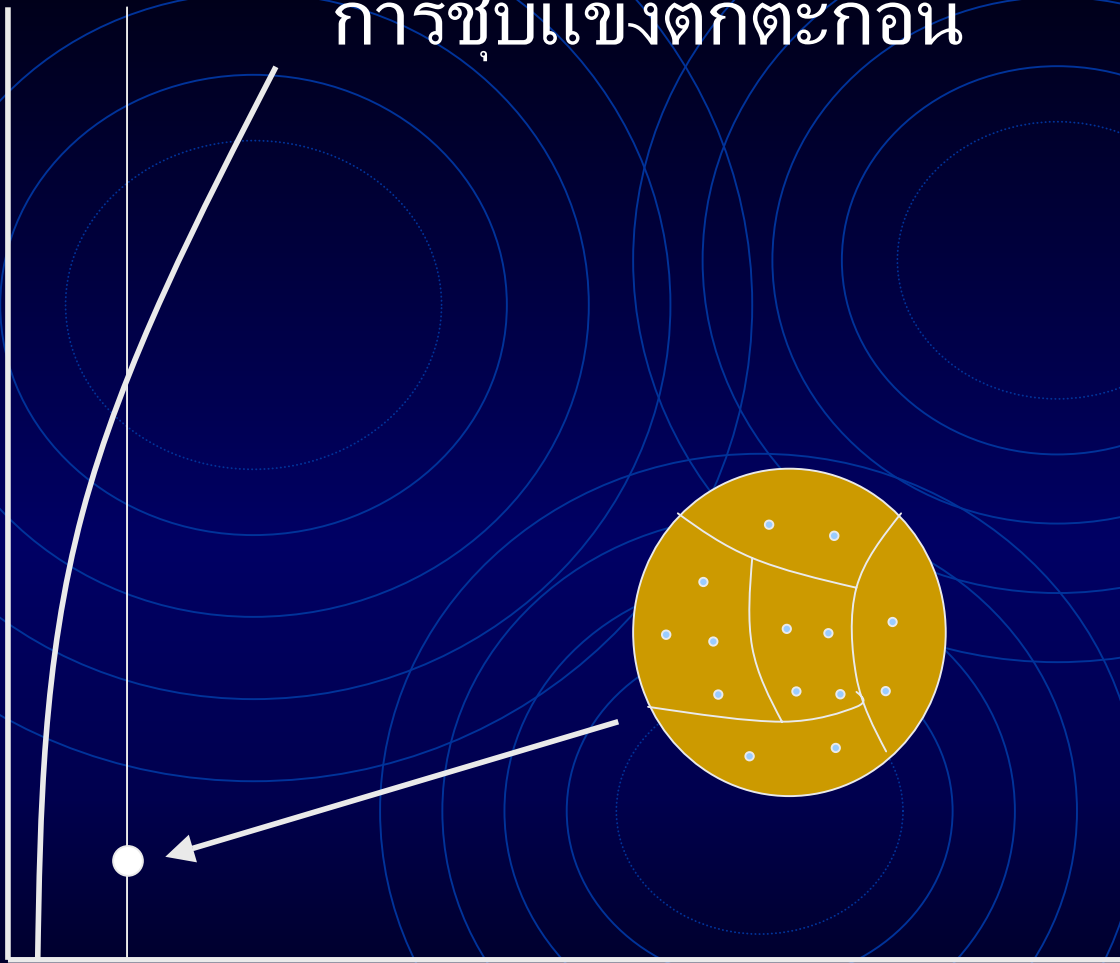
# การชุปแข็งตกตะกอน



# การชุปแข็งตกตะกอน



# การชُبแข็งตกตะกอน



# การชุบแข็งตกตะกอน (Precipitation Hardening, Age Hardening)

## ขั้นตอน

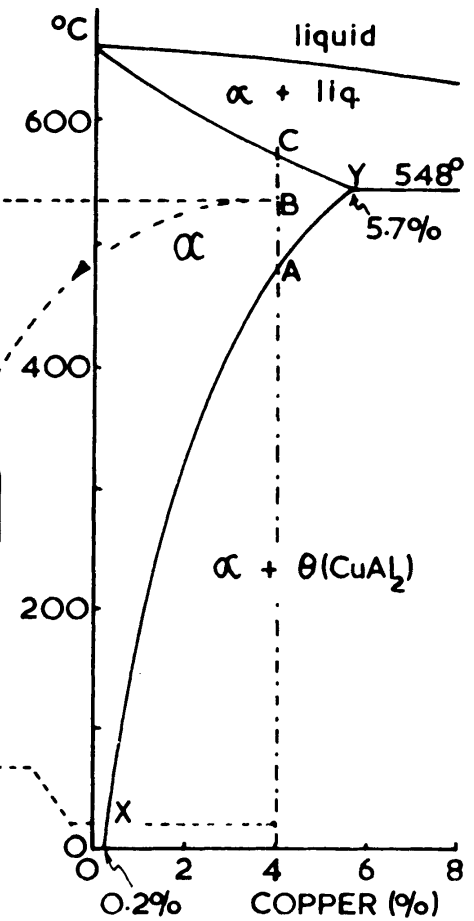
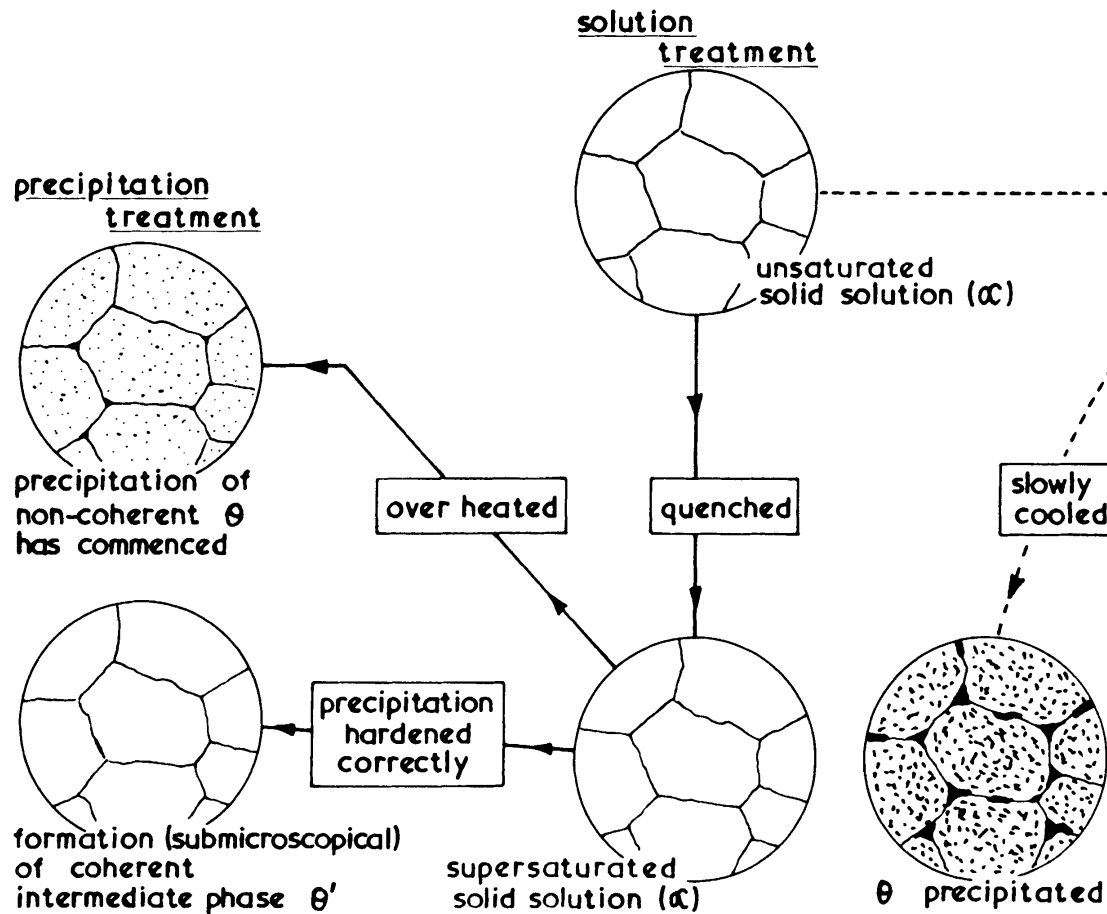
1. การทำให้เป็นสารละลายเนื้อเดียว (Solution Treatment)
2. การชุบ (Quenching) เพื่อให้เกิดสภาพสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated Solid Solution)
3. การบ่ม (Aging) เพื่อให้เกิดการแยกตัวของเฟสที่สอง  
เฟสที่สองนี้จะเป็นอนภาคเล็ก ๆ (Particles) ที่กระจายตัวอยู่ทั่ว  
ไปในเนื้อพื้ช ช่วย “ตรึง” ให้เนื้อพื้ชเกิดการแปรรูปเนื่องจากรัง  
กระทำไต้ยากขึ้น



## การชุบแข็งตกตะกอน (Precipitation Hardening, Age Hardening)

- พบครั้งแรกในโลหะผสม Al-Cu
- แผนภูมิเฟส จะต้องมีลักษณะคือ เส้น Solvus บอกถึงลักษณะความสามารถในการละลายต่ำที่อุณหภูมิต่ำ และความสามารถในการละลายสูงที่อุณหภูมิสูง
- นั่นคือ โดยปกติ ที่อุณหภูมิใช้งาน จะมีสองเฟส
- แต่ที่อุณหภูมิสูง จะมีเฟสเดียว (สารละลายของแข็ง)

# การชุบแข็งตกตะกอน (Precipitation Hardening, Age Hardening)



# การชุบแข็งเหล็กกล้า (Hardening of Steels)

- จากโครงสร้างออสเทนไนต์
- ตามเฟส ไดอะแกรมทำนายว่าจะเกิด เฟอไรต์ + ซีเมนไตต์
- ในความเป็นจริง อัตราการเย็นตัวมีค่าต่าง ๆ กัน
- อธิบายด้วยแผนภูมิการแปลงเฟสระหว่างการเย็นตัวต่อเนื่อง (Continuous Cooling Transformation Diagram- CCT Diagram)

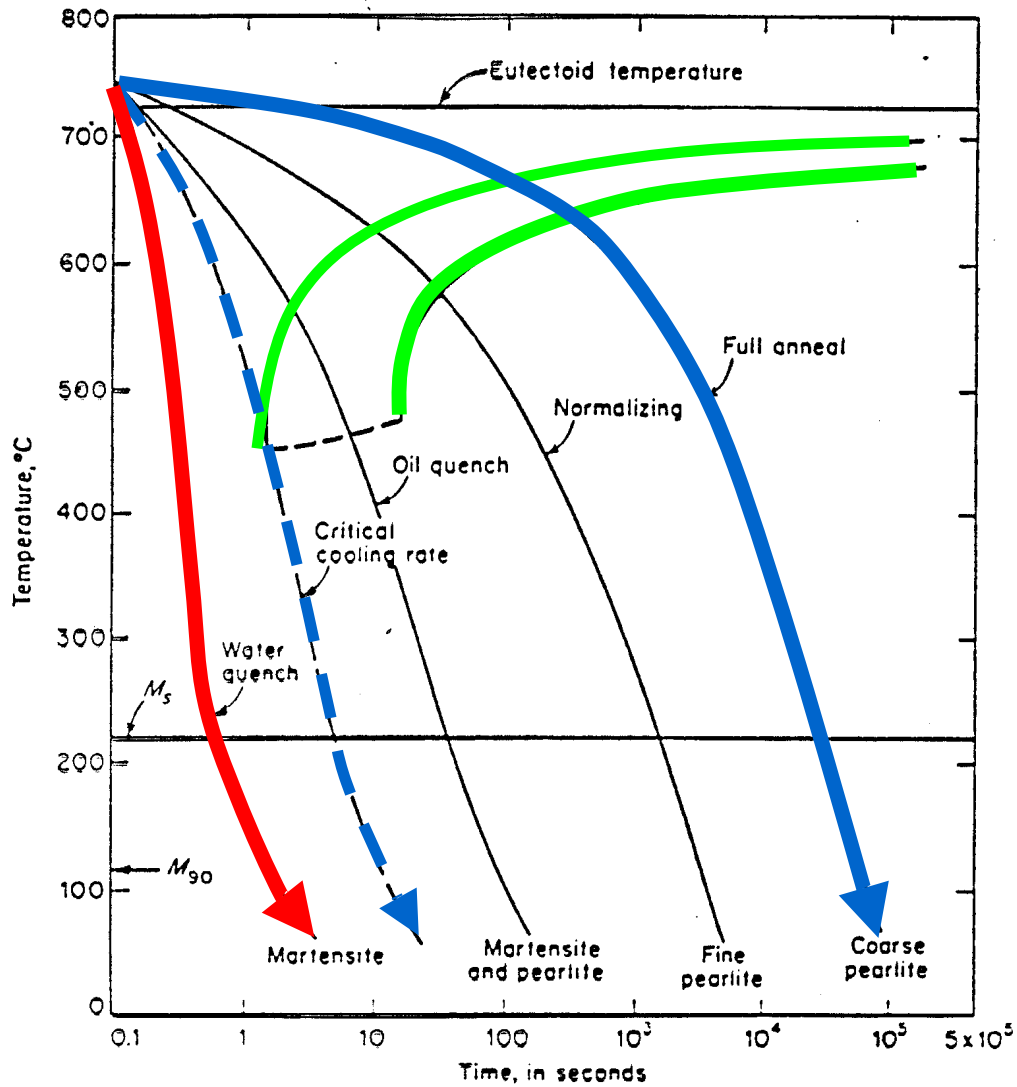
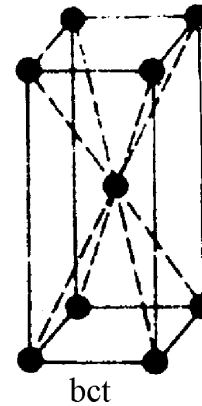
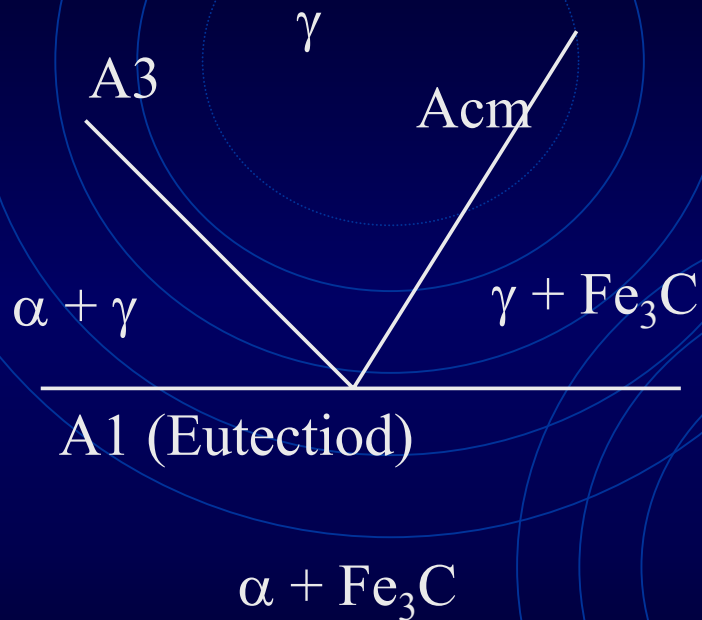


FIG. 17.2 The variation of microstructure as a function of cooling rate for an eutectoid steel



**Figure 10.13** Photomicrograph showing the martensitic microstructure. The needle-shaped grains are the martensite phase, and the white regions are austenite that failed to transform during the rapid quench. 1220 $\times$ . (Photomicrograph courtesy of United States Steel Corporation.)

# อุณหภูมิการทำให้เป็นออสเทนไนต์สำหรับชุบแข็ง (Hardening)



- เหล็กไฮโปยูเทกตอยด์  
เผาสูงกว่า A3
- เหล็กไฮเปอร์ยูเทกตอยด์  
เผาสูงกว่า A1  
(ไม่จำเป็นต้องสลายเหล็ก  
คาร์ไบด์ ให้หมด)

# การปรับปรุงคุณสมบัติด้าน ความเหนียว/ความแกร่ง

- การอบอ่อนหลังขึ้นรูปเย็น
- การอบคืนตัวหลังการชุบแข็งของเหล็กกล้า
- การอบปกติ (สำหรับเหล็กกล้า)
- การอบนึ่งเต็มที่ (สำหรับเหล็กกล้า)

# การอบอ่อนหลังขึ้นรูปเย็น (Cold Working Annealing, Process Annealing)

- ทำหลังขึ้นรูปเย็น
- จะลดความแข็งแรงลง แต่ได้ความเหนียวกลับคืนมา
- เช่น ในเหล็กแผ่นรีดเย็น, อะลูมิเนียมแผ่นรีดเย็นที่จะนำไปทำ Deep Drawing ต่อ
- อุณหภูมิที่ใช้  $T > 0.3T_m$ ; ใช้หน่วย K!
- Al ประมาณ  $350^\circ\text{C}$
- Fe ประมาณ  $600^\circ\text{C}$



# การอบคืนตัวหลังการชุบแข็งของเหล็กกล้า (Tempering)

- โครงสร้างมาร์เทนไซต์ จะสลายตัวเป็น เฟอไรต์ + เหล็กคาร์ไบด์
- ถ้าอบคืนตัวที่อุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงลดลงเล็กน้อย, ได้ความแกร่งเพิ่มขึ้น
- ถ้าอบคืนตัวที่อุณหภูมิสูง ความแข็งแรงลดลงมาก, ได้ความเหนียวและความแกร่ง
- อุณหภูมิไม่เกิน A1

# Normalizing & Full Annealing

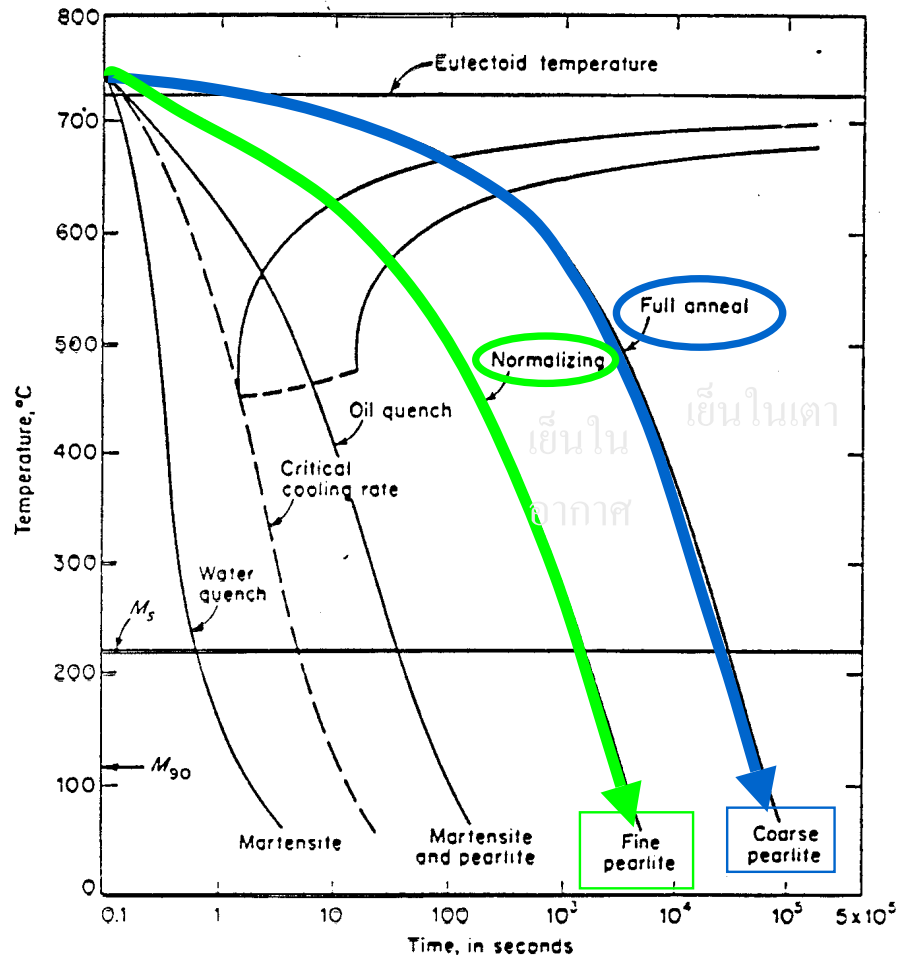


FIG. 17.2 The variation of microstructure as a function of cooling rate for an eutectoid steel

# Normalizing & Full Annealing

- การอบปกติ (Normalizing) ได้ เพิร์ลไลต์ละเอียด
- ได้ทั้งความแข็งแรงและความเหนียว
- การเผา...ทำให้เป็นออสเทนไนต์เฟสเดี่ยวทุกกรณี
  - แล้วทิ้งให้เย็นตัวในอากาศ
- การอบนึ่งเต็มที่ ได้ เพิร์ลไลต์หยาบ หรือ เฟอไรต์+ซีเมนไตต์
- ได้ความเหนียวสูงสุด สำหรับนำไปขึ้นรูปต่อไป
- การเผา...เหมือนกรณีชุบแข็ง
  - แล้วทิ้งให้เย็นตัวในเตา (เย็นช้ามาก ๆ)