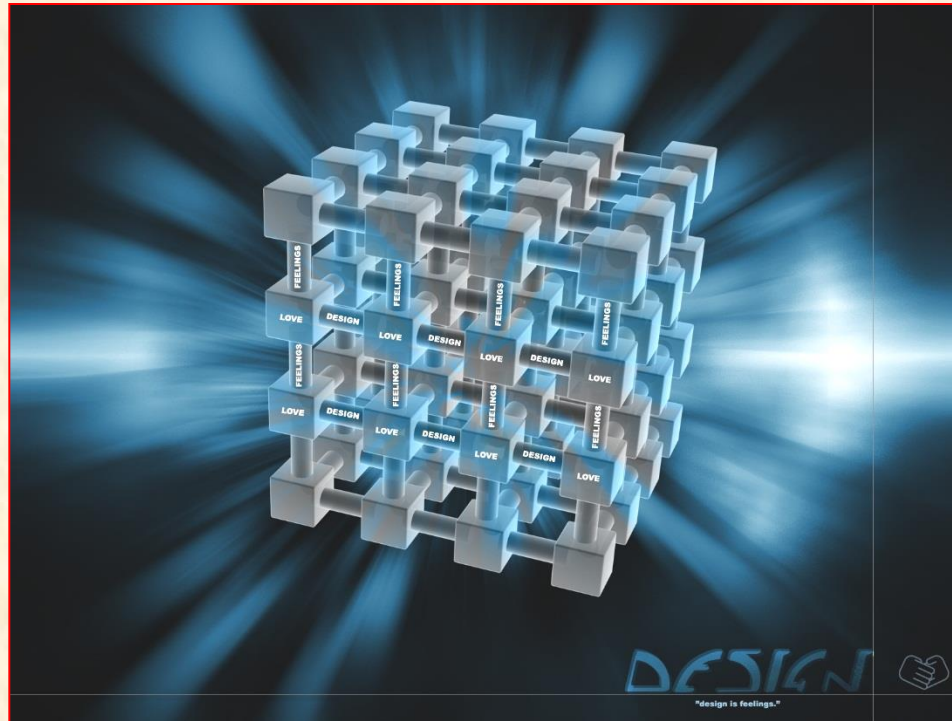


บทที่ 3

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของเหล็ก

Physical Metallurgy and Heat Treatment



รองศาสตราจารย์ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Mechanical Properties of Metals

Strength

Yield Strength

Yield Stress

Tensile Strength

Abrasive Resistance

Density

Fatigue

Creep

Hardness

Hardening

Toughness

Elasticity

Ductility

Machining Ability

Fusion Welding Process

Forging

Cold Working

Deep Drawing

Impact resistance

ปฏิกิริยายูเทคตอย

เกิดในสภาวะของแข็ง (Solid State)

0.80%

เปลี่ยนแปลงจากของแข็งหนึ่งเฟส (ออสเทนไนท์)

(723 °C)

แตกตัวเป็นของแข็งสองเฟส (เฟอร์ไรท์และซีเมนต์ไต์)

แพร่ซึม (Diffusion) เกิดโครงสร้างที่มีของแข็งเกิดสลับกันไปมา

ปฏิกิริยายูเทคติก

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสถานะของเหลว (Liquid State)
กับสถานะของแข็ง

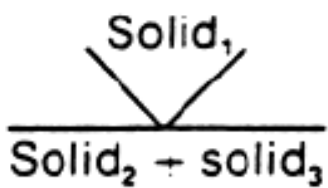
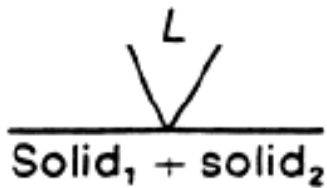


4.30%

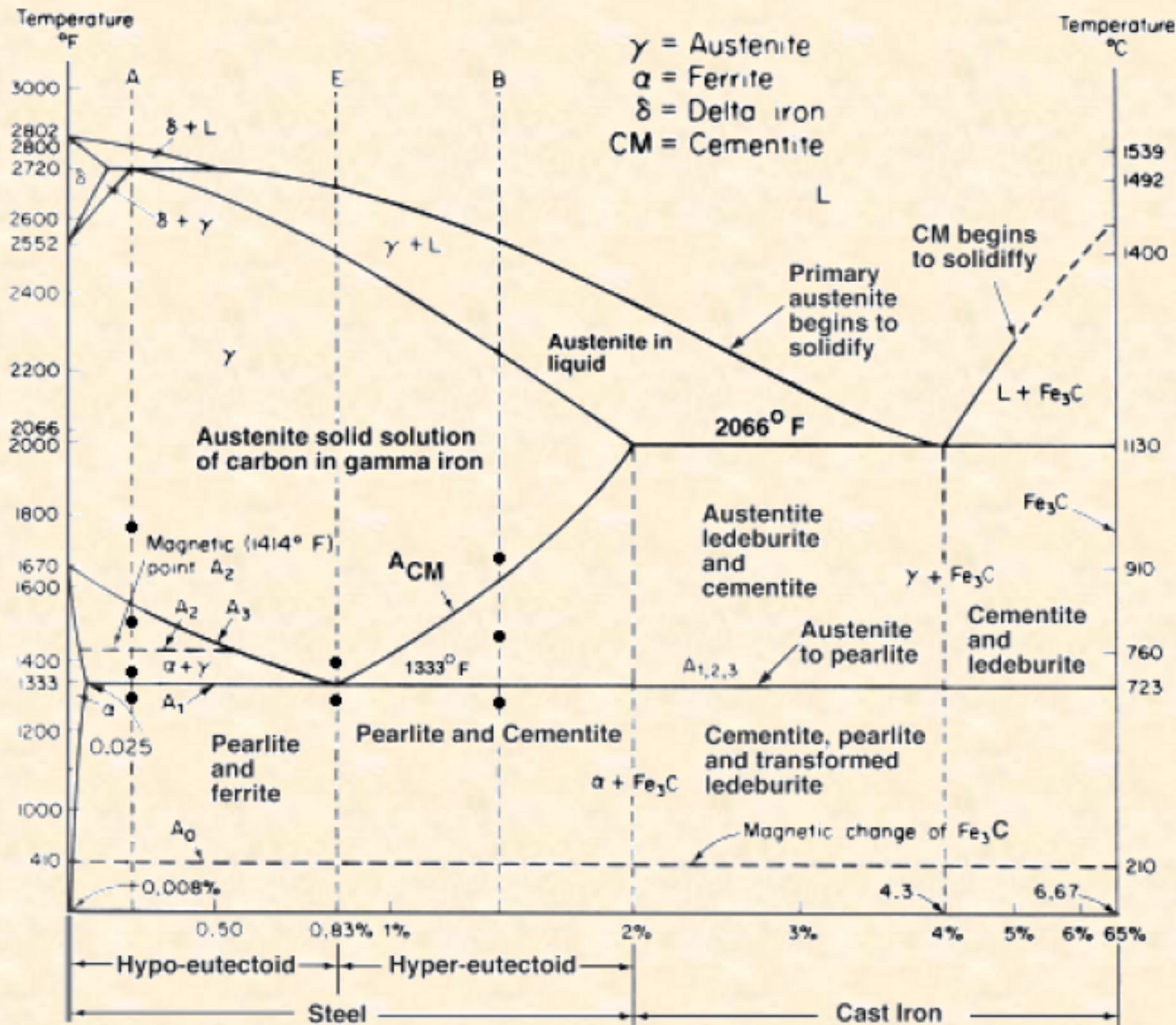
คาร์บอนแตกตัวเป็นของแข็ง 2 เฟส
(ออสเทนไนต์และซีเมนต์ไต์)



(1,148°C)

ปฏิกิริยา	สมการการเปลี่ยนแปลง	ไดอะแกรมการเปลี่ยนแปลง
ยูเทคตอย	$\text{Solid}_1 \xrightleftharpoons[\text{heating}]{\text{cooling}} \text{solid}_2 + \text{solid}_3$	
ยูเทคติก	$\text{Liquid} \xrightleftharpoons[\text{heating}]{\text{cooling}} \text{solid}_1 + \text{solid}_2$	

โครงสร้าง (Structure)



แผนภาพสมดุลเหล็ก-เหล็กคาร์บอน (Iron-carbon equilibrium diagram)

ออสเทนไนท์ (Austenite)

เหล็กเกรมม่า (Gamma Iron : γ)

F.C.C.

เหล็ก และคาร์บอนรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารละลายของแข็ง

คาร์บอนสามารถละลายเข้าไปผสม
ในเกรน หรือผลึก (Space Lattice) ได้

อ่อนและเหนียว เหมาะกับงานรีด (Rolling) งานดันขึ้นรูป (Extrusion)
และงานตีขึ้นรูป (Forging)

เฟอร์ไรท์ (Ferrite)

เหล็กอัลฟา (Alpha : α)

เหล็กบริสุทธิ์

B.C.C.

สารละลายของแข็ง

(Alpha : α Ferrite)

(Delta : δ Ferrite)

มีคุณสมบัติอ่อน (Soft) เหนียว (Ductile) และเป็นแม่เหล็ก (Magnetic)
เหมาะกับการขึ้นรูปเย็น

เพิร์ไลต์ (Pearlite)

โครงสร้างของเหล็กยูเทคตอย (Eutectoid steel)

0.80% ระดับอุณหภูมิ 723°C

ซีเมนต์ไต์และเฟอร์ไรต์

เพิร์ไลต์ละเอียด (Fine Pearlite)

เร็ว

เพิร์ไลต์หยาบ (Coarse Pearlite)

ช้า

มีการเย็นตัวแบบสมบูรณ์ ที่จุดยูเทคตอยด์

รับความเค้นแรงดึงได้ดี

ซีเมนต์ไต์ต์ (Cementite)

สารละลายของแข็ง



6.67%โดยน้ำหนัก

Fe_3C ซึ่งเรียกว่าเหล็กคาร์ไบด์ (Iron Carbide)



ขอบเกรน

ออร์ทอโรมบิก (Orthorhombic)



สารประกอบชนิดที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเหล็กกับคาร์บอน
(Interstitial compound)



รับความเค้นแรงดึงได้น้อย

รับความเค้นแรงอัดได้สูง

แข็งมากแต่เปราะ

มาร์เทนไซต์ (Martensite)

ออสเทนไนต์มีการเปลี่ยนโครงสร้าง
ซึ่งเกิดจากการเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว

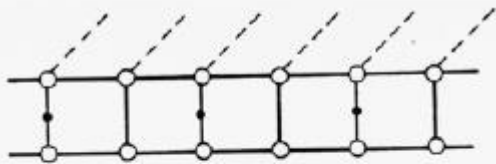


น้ำหรือน้ำเกลือ

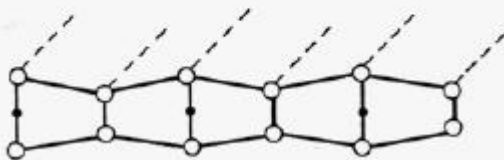
ต่ำกว่าการเกิดเบนไนต์

อะตอมของคาร์บอนเกิดการบิดเบี้ยว

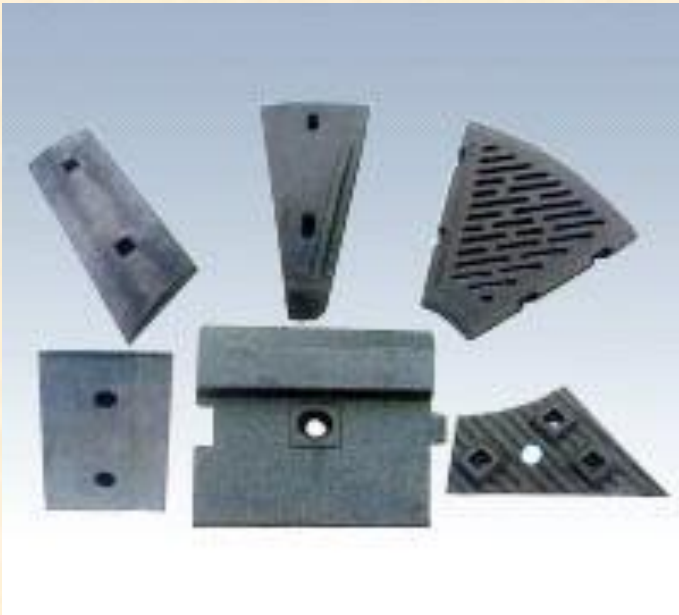
แข็งและเปราะ



ออสเทนไนต์ที่อุณหภูมิสูง



ออสเทนไนต์ภายหลังจากทำให้เย็นอย่างรวดเร็วได้มาร์เทนไซต์



Martensite



เบนไนท์ (Bainite) หรือ

ทรูสไตต์ (Troostite)

ออสเตนไนท์เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว

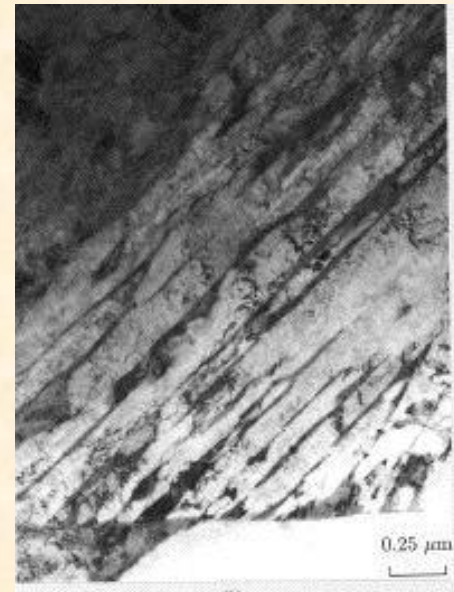
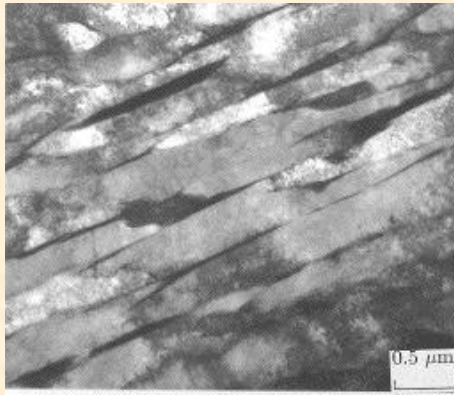
คล้ายเข็มยี่นเข้าสู่ใจกลาง
เกรนออสเตนไนท์

ที่ขอบเป็นแถบบาง ๆ
ของซีเมนต์ไต์ต์ขึ้น

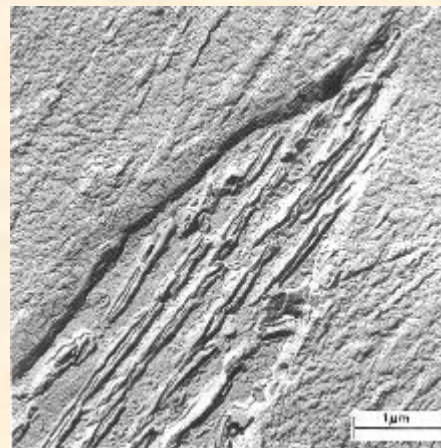
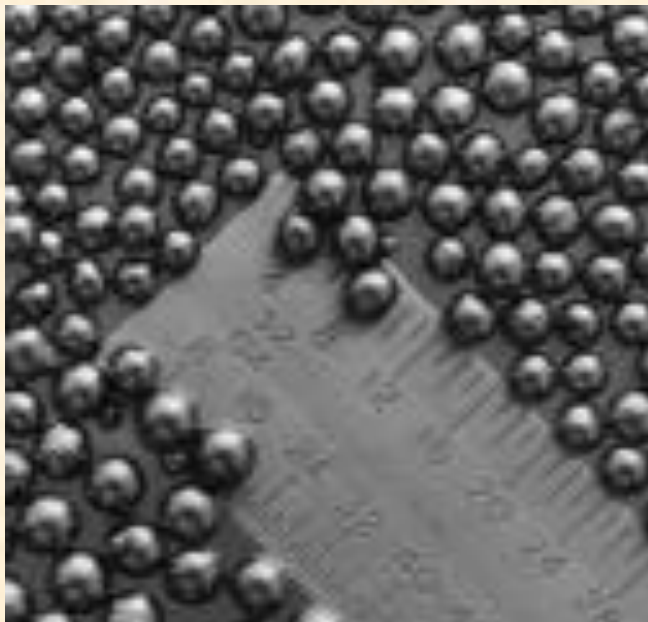
6.67%

เป็นกลุ่ม ๆ แทรกตัวอยู่
กับโครงสร้างมาร์เทนไซด์

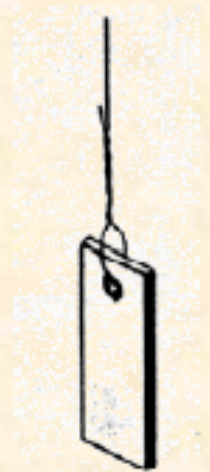
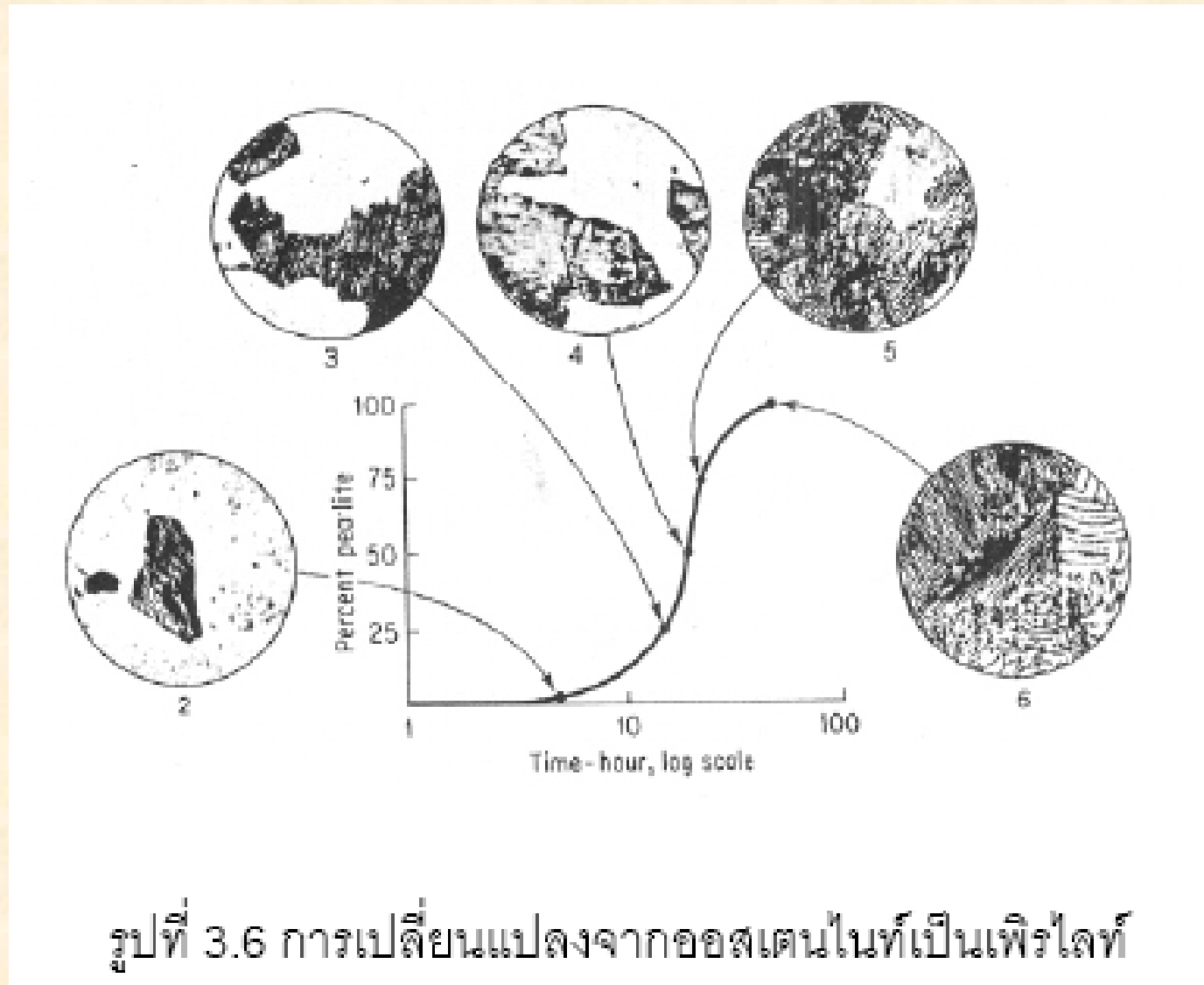
มีความแข็งมาก

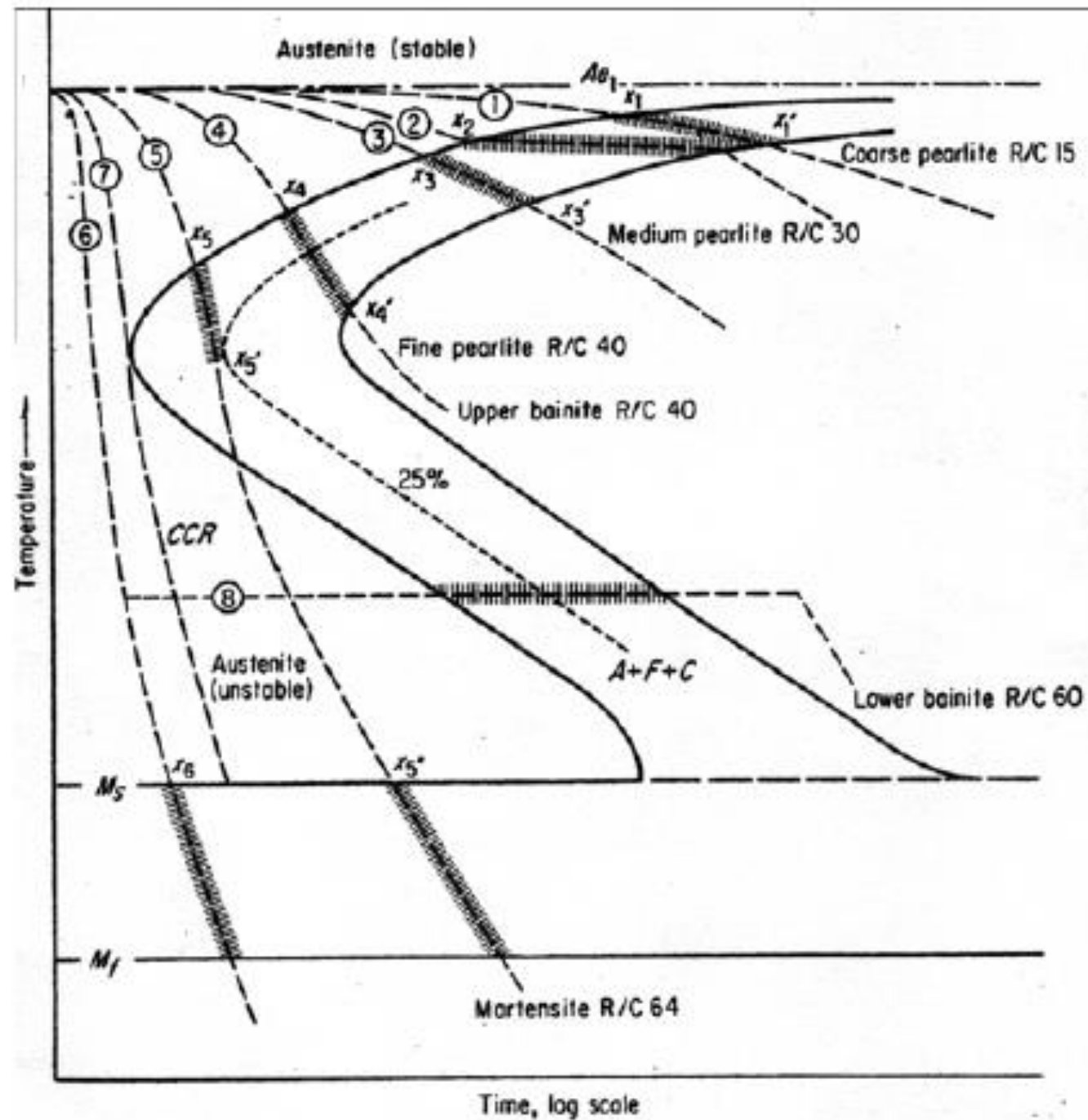


Bainite



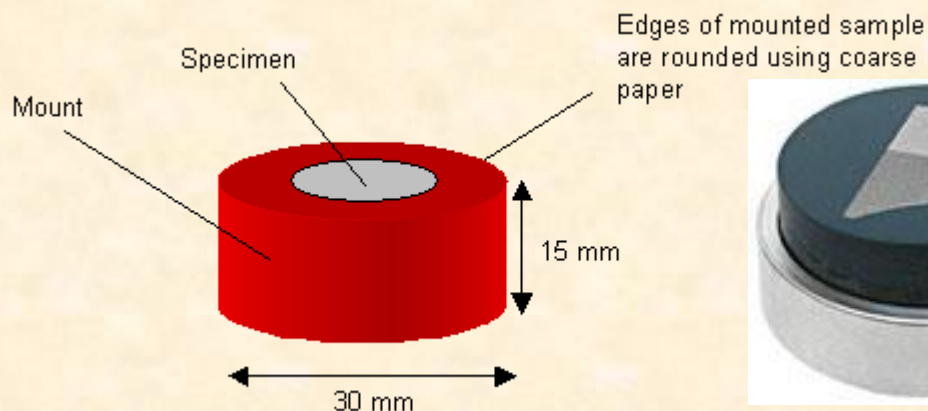
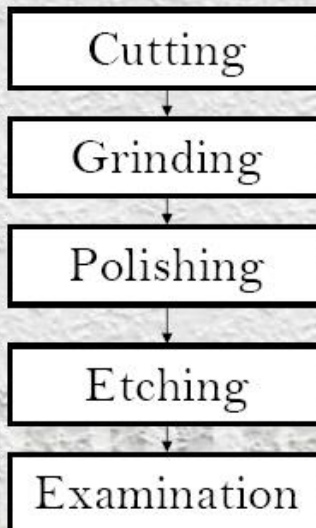
แผนภาพการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal Transformation Diagram) TTT Curve หรือ S-Curve





การเตรียมชิ้นทดสอบเพื่อดูโครงสร้าง

Microscopic Examination



mounted specimen



การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะ

- ตัดชิ้นส่วนที่ต้องการ
- ขัดผิวให้เรียบด้วยกระดาษทราย โดยค่อย ๆ เพิ่มความละเอียดของกระดาษทราย จนกระทั่งผิวของชิ้นงานเรียบไม่มีรอยขีดข่วน
- ขัดผิวละเอียดด้วยผงอะลูมินาและผ้าสักหลาดจนผิวชิ้นงานเรียบเหมือนกระจก
- นำชิ้นงานไปกัดกรด กรดจะกัดผิวหน้าชิ้นงานตามบริเวณ Grain Boundary ทำให้เกิดร่องที่ Grain Boundary
- นำชิ้นงานไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

ทดสอบด้วยกรดไนตริก (Nitric Acid) 2-4%
ผสมกับเอทิลแอลกอฮอล์(Ethyl Alcohol)



เครื่องขัด

เบอร์ 180 ,240, 320 , 400, 600, 800, 1,000 และ 1,200

น้ำไหลผ่านตลอด

ขัดบนผ้าสักหลาดเปียกน้ำ ด้วยความเร็วประมาณ 60 รอบต่อนาที และใส่
ผงอลูมินา (Alumina)

Optical Microscope

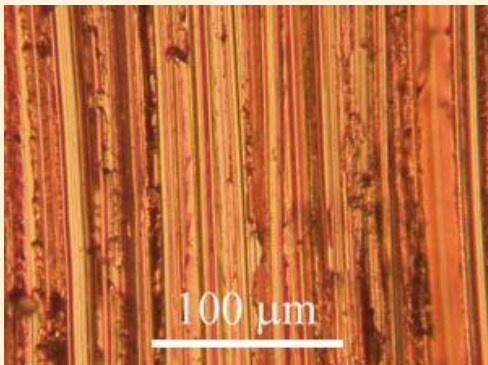


เมื่อแสงตกกระทบพื้นผิว

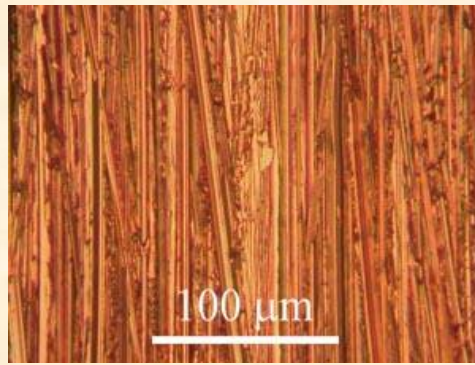
ผิวขรุขระ → สะท้อนออก
→ มืด

ผิวเรียบ → สะท้อนกลับ
→ สว่าง

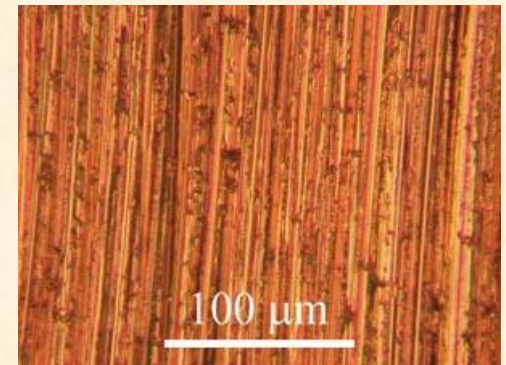
ส่องดูโครงสร้างด้วยกล้องขยาย (Metallurgical Microscope)



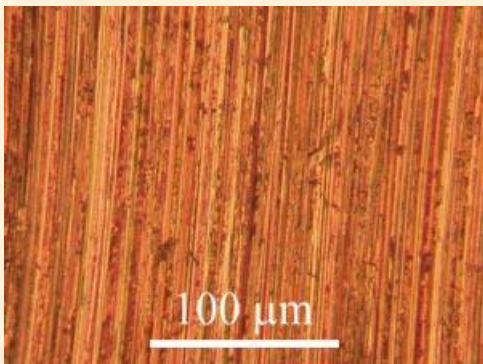
(ก) 180 grit



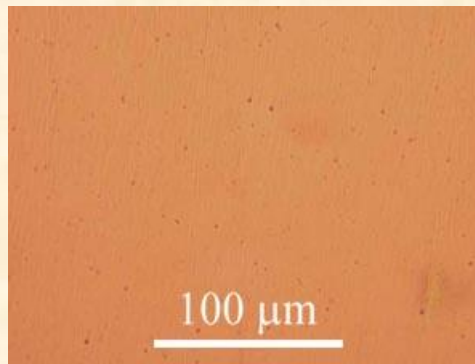
(ข) 400 grit



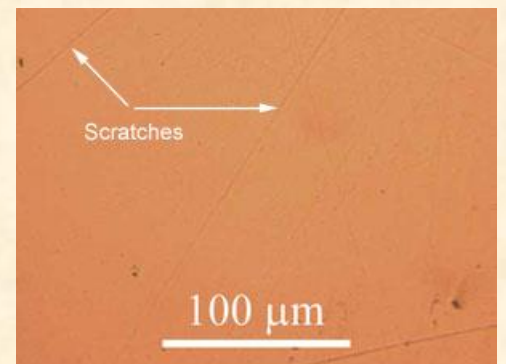
(ค) 800 grit



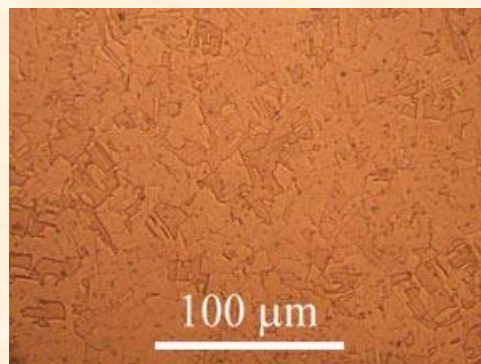
(ง) 1200 grit



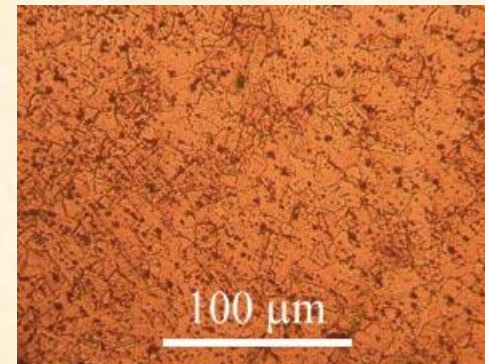
(จ) 6 micron



(ฉ) 1 micron

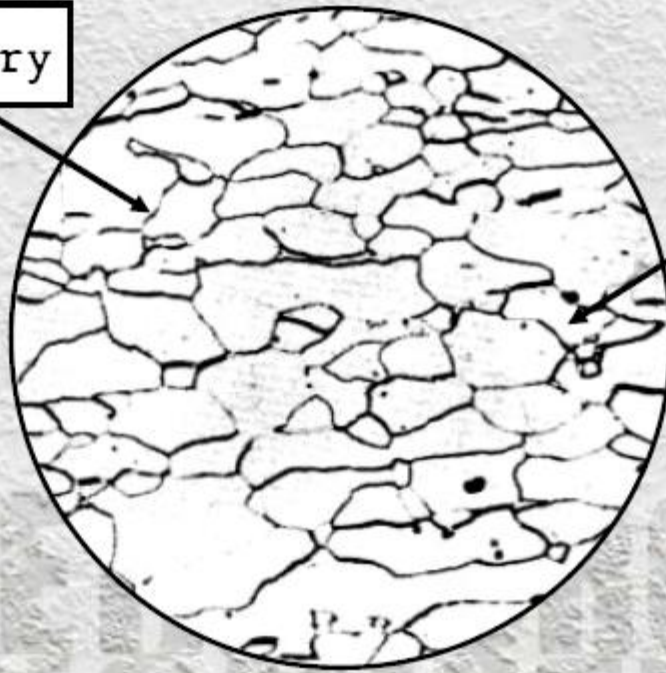


(ซ) ผ่านการกัดกรดแล้ว



(ซ) รอยกรดกัดมากเกินไป

Grain Boundary



Grain

Grain Size

$$N = 2^{n-1}$$

N = จำนวนเกรนในหนึ่งตารางนิ้วที่กำลังขยาย 100x

n = ASTM grain-size number

ตัวอย่าง เพื่อหาขนาดเกรนตามมาตรฐาน ASTM ของตัวอย่างโลหะชนิดหนึ่ง
ภาพถ่าย โครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยาย 100 เท่า ถูกถ่ายและนับจำนวนเกรนได้
64 เกรนในหนึ่งตารางนิ้ว ขนาดเกรนตามมาตรฐาน ASTM ของโลหะชิ้นนี้เท่ากับ
เท่าใด?

$$N = 2^{n-1}$$

$$\log 64 = (n - 1)(\log 2)$$

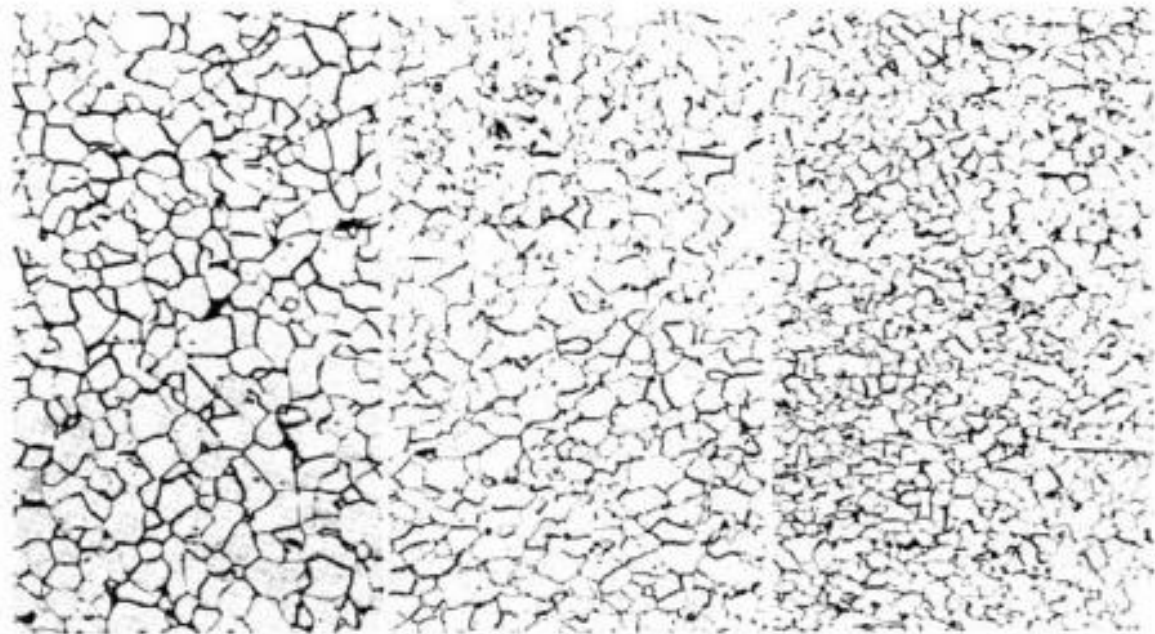
$$1.806 = (n - 1)(0.301)$$

$$n = 7$$

ขนาดเกรนตามมาตรฐาน ASTM ของโลหะชิ้นนี้เท่ากับ 7

ASTM Grain Sizes

Grain-size no.	Nominal number of grains	
	Per sq mm at 1×	Per sq in at 100×
1	15.5	1.0
2	31.0	2.0
3	62.0	4.0
4	124	8.0
5	248	16.0
6	496	32.0
7	992	64.0
8	1980	128
9	3970	256
10	7940	512



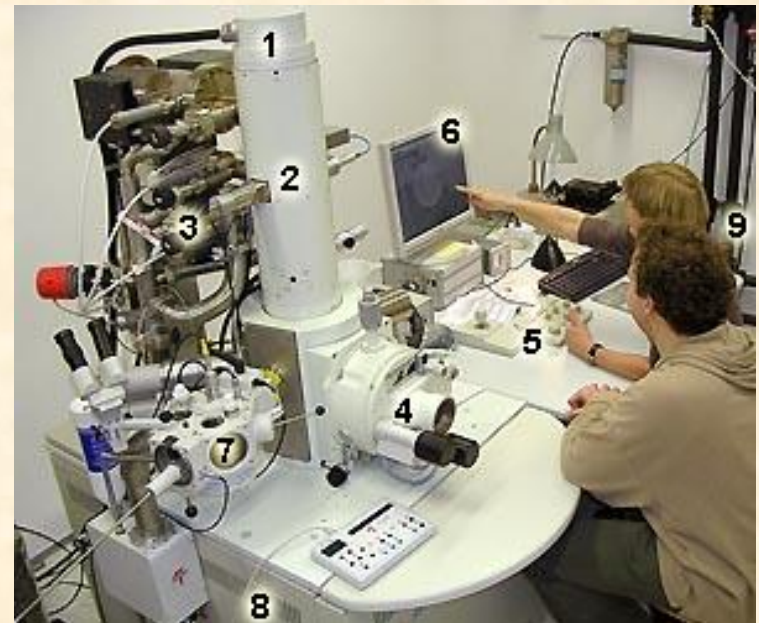
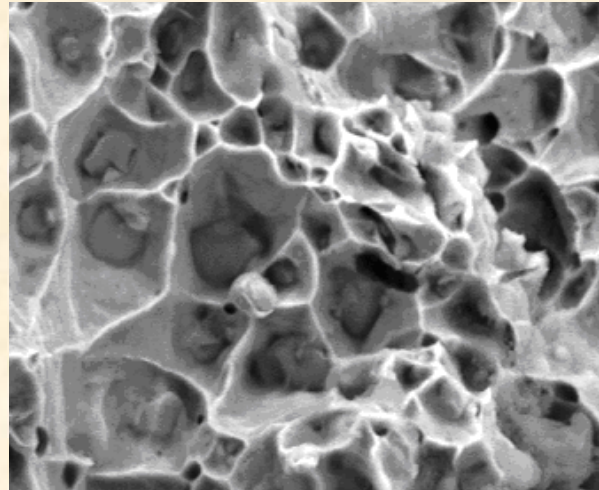
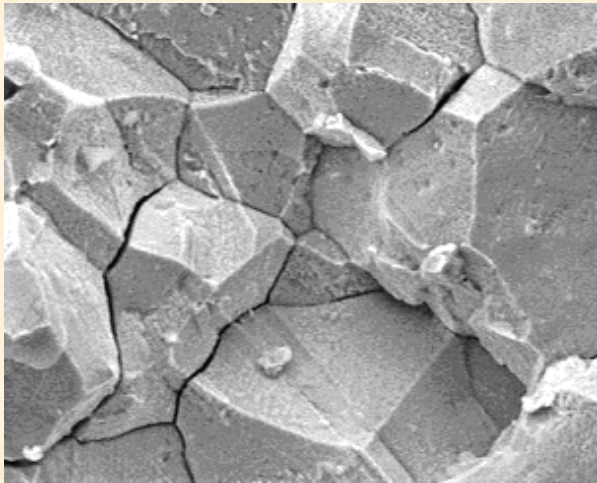
7

8

9

Scanning Electron Microscope

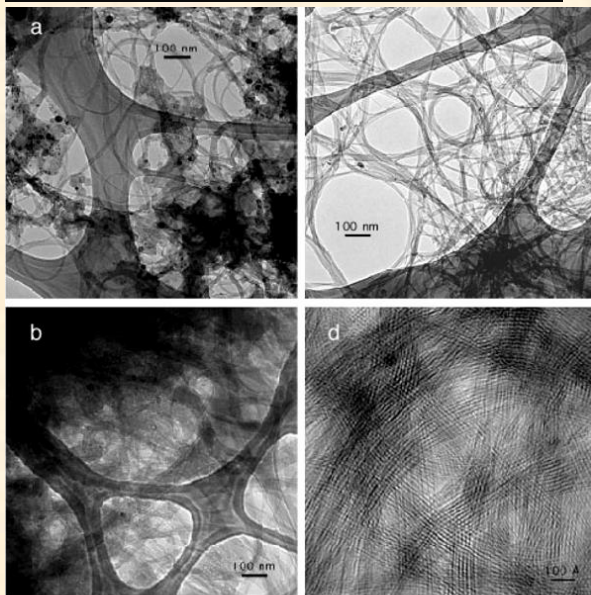
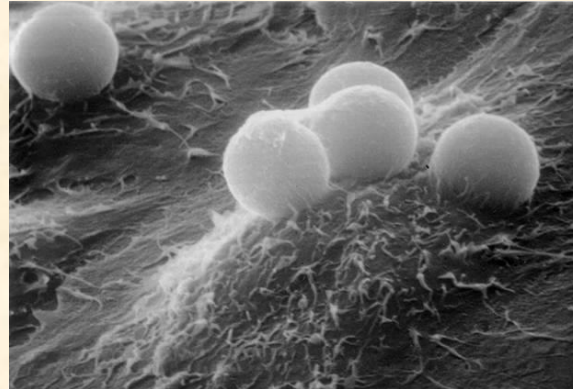
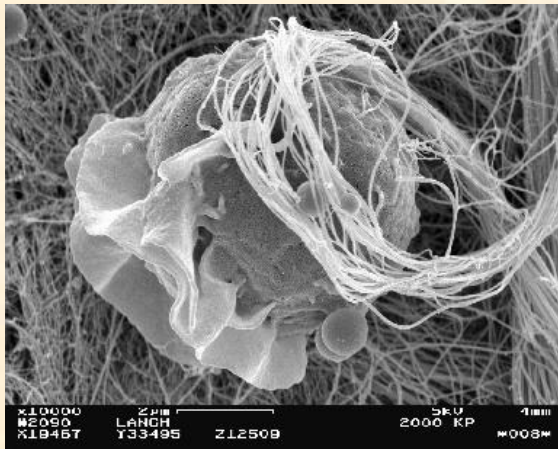
S.E.M



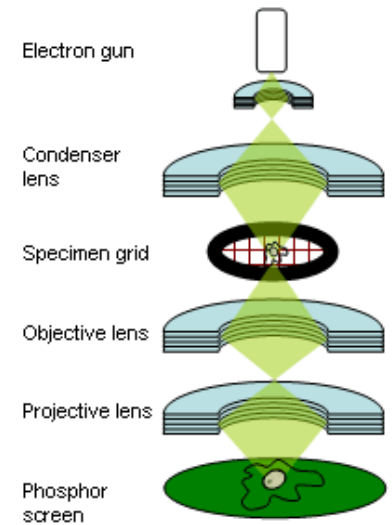
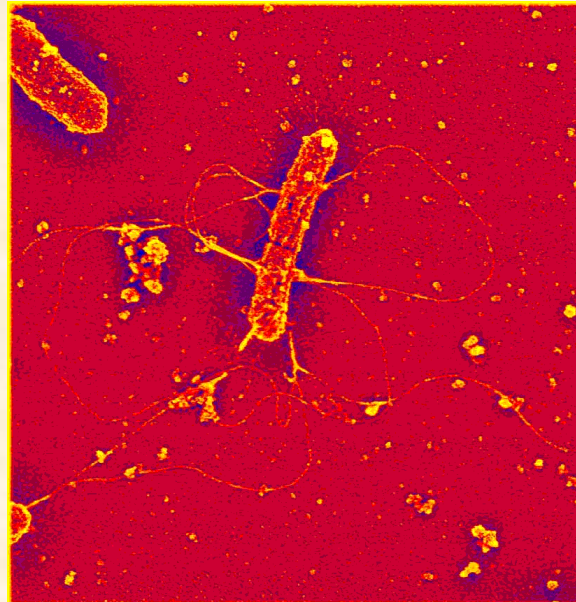
Transmission Electron Microscope

สามมิติ

T.E.M.



100 nm

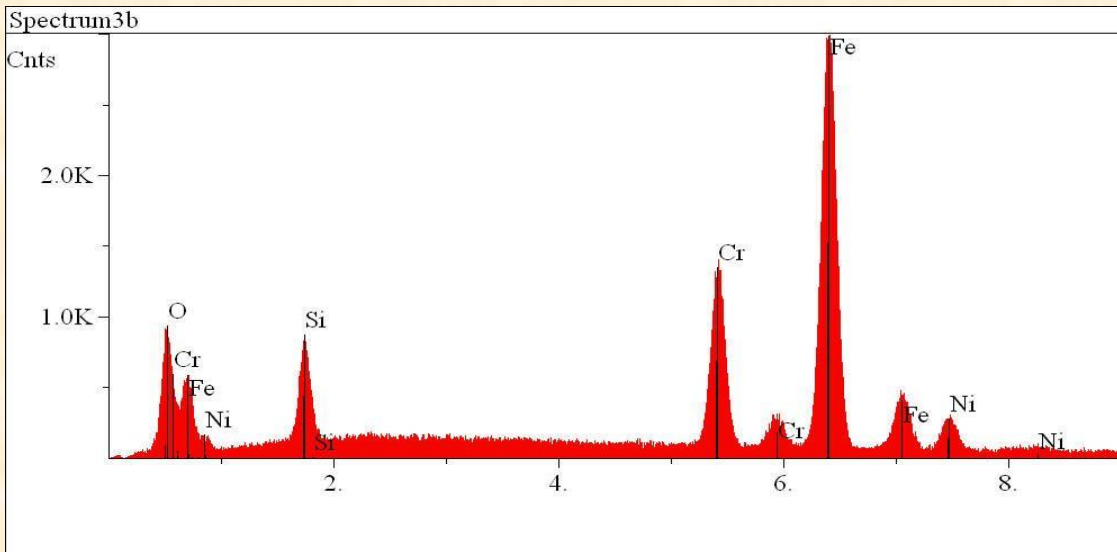
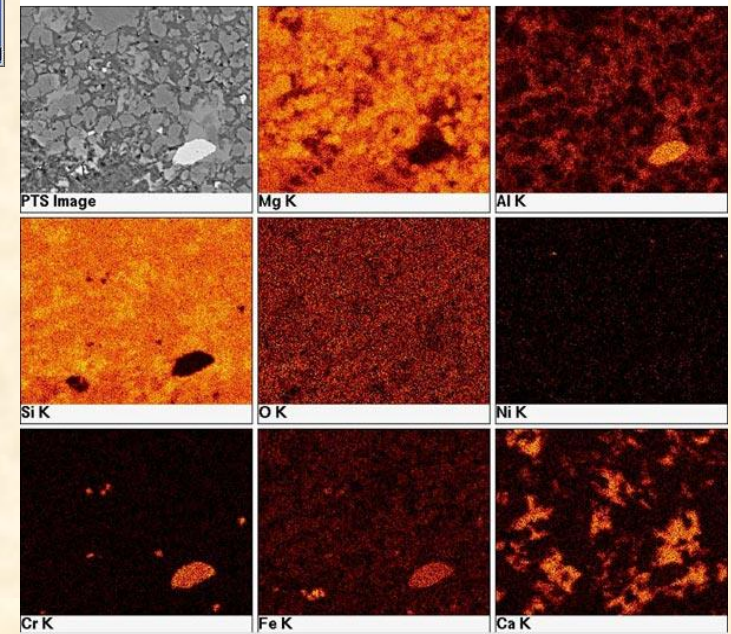
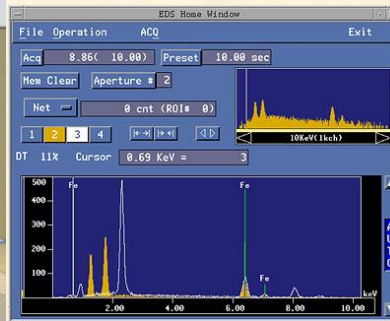
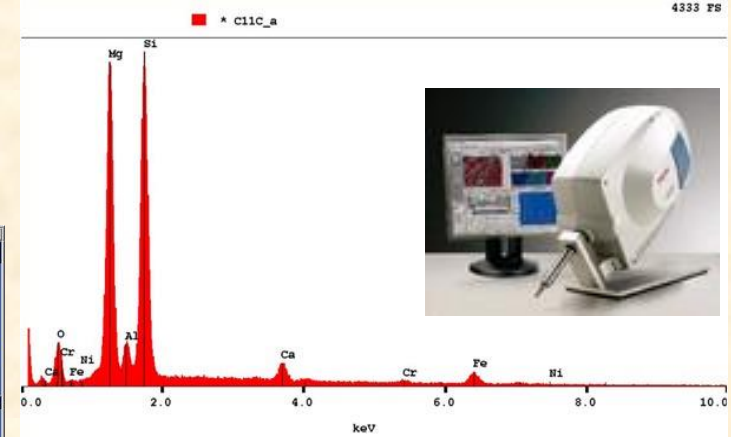


energy dispersive spectrometer (EDS)

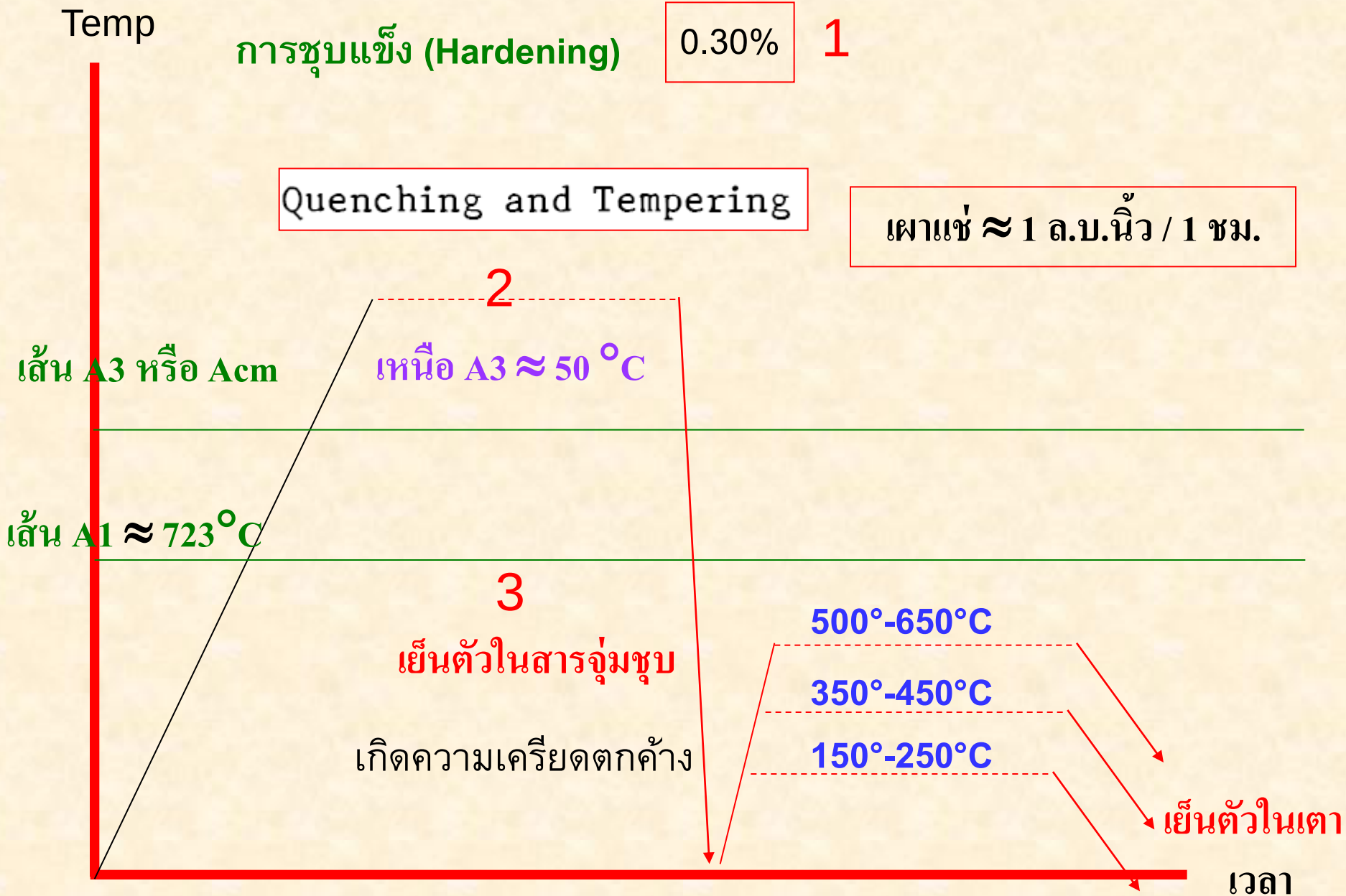
อุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุโลหะ โพลีเมอร์ เซรามิค

กำลังขยาย 30 - 300,000 เท่า

Elemental maps and spectrum from a very rare ultra-fine-grained rock known as a pseudotachylite, a rock chiefly made of glass rather than crystalline material due to frictional heating. The Cr, Al, Fe, Ni and Mg-rich mineral without Si, is Chrome-Spinel, an oxide typical of mantle rocks formed at high pressures. The majority of the very small Mg-rich grains are olivine. The matrix, which appears in dark gray on the backscatter image, contains Mg, Si and some Al and Fe, a composition that agrees with that of pyroxenes. The light gray colored mineral grains rich in Ca, Si and Al but without Mg is newly grown plagioclase crystals engulfing other minerals.



กระบวนการอบชุบด้วยความร้อน (Heat Treatment Processes)



การอบคืนไฟ (Tempering)

1) ช่วงอบคืนไฟที่อุณหภูมิต่ำ (150°C - 250°C) กระทำเพื่อลด

ความเครียดภายใน แต่ความเหนียวจะเพิ่มขึ้น ระดับความแข็งคงเดิม

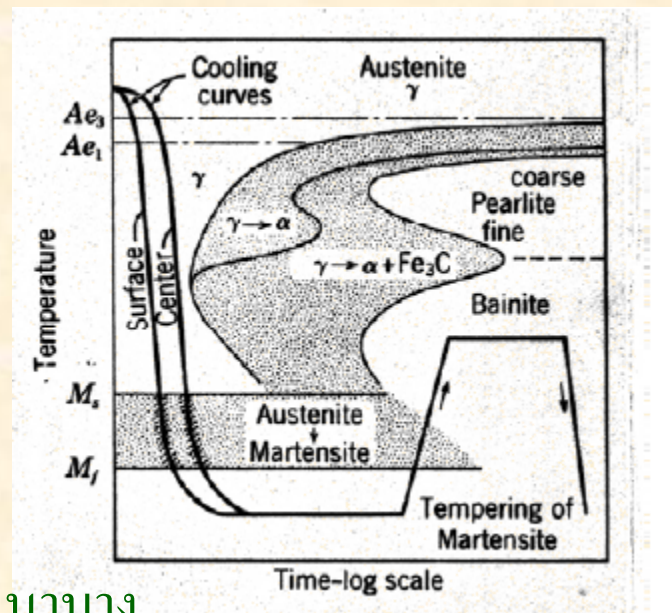
ใช้เวลา 1-2 ชั่วโมง

2) ช่วงอบคืนไฟที่อุณหภูมิปานกลาง (350°C - 450°C) กระทำเพื่อเพิ่ม

ความเหนียวให้สูงขึ้น มักกระทำกับเหล็กที่ใช้ ทำเหล็กสปริงชนิดต่าง ๆ

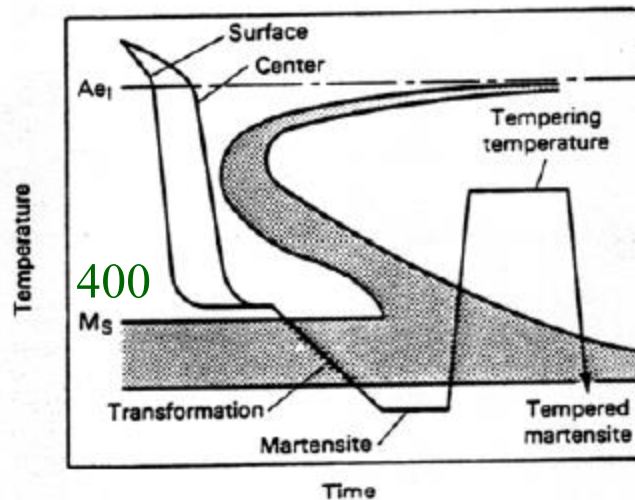
3) ช่วงอบคืนไฟที่อุณหภูมิสูง (500°C - 650°C) กระทำเพื่อลด

ความเครียดภายในให้หมดไป พร้อมกับเพิ่มความเหนียวและความแข็ง

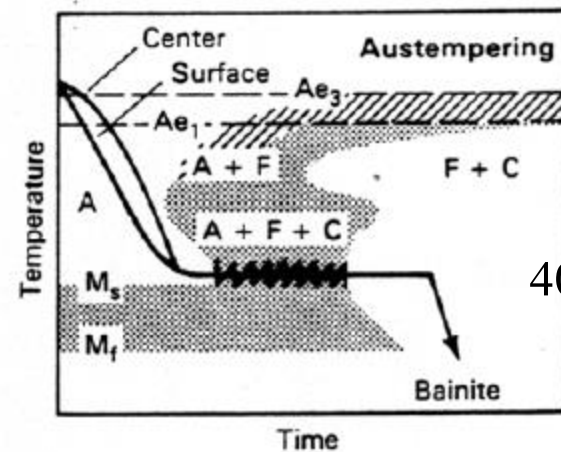


มีรูปร่างสลับซับซ้อน ความหนาบาง
แตกต่างกันมากๆ เพราะแก้ไขการบิดงอ
แตกร้าว

โครงสร้างสุดท้ายที่ได้คือ เบนไนท์



รูปที่ 3.13 แสดงการชุบแข็งแบบมาร์เทมเพอริง



รูปที่ 3.14 แสดงการชุบแข็งแบบออสเทมเพอริง

400°-600°C

การชุบผิวแข็ง (Surfaces Hardening)

0.30%

คาร์บูไรซิง (Carburizing)

1) Pack Carburizing หรือ Solid Carburizing

ส่วนผสมของธาตุต่างๆ ห่อหุ้มแท่งเหล็กบรรจุในหีบเหล็กปิดฝาอย่างมิดชิดไม่ให้
อากาศแทรกเข้าไปได้ 900°C - 950°C นาน 1 ชั่วโมงต่อความหนา 0.1 มม. ไปชุบ
ลงในน้ำหรือน้ำมัน

ธาตุ	สัดส่วน (โดยน้ำหนัก)	คุณสมบัติ
ถ่านไม้ (Charcoal)	74 – 78%	เพิ่มธาตุคาร์บอน
แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3)	12 – 15%	ดูดซึมธาตุคาร์บอน
น้ำเหล็ขน้ำตาล (Molasses)	4.5 – 5%	ช่วยในการยึดตัวให้แน่น
โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	1 – 1.5%	ช่วยเร่งปฏิกิริยาการดูดซึมธาตุคาร์บอน
แคลเซียมคาร์บอเนต (Ca CO_3)	3 – 5%	

2) Liquid Carburizing

NaCl 10–15% และ Na_2CO_3 75–85%

ความหนาของผิวแข็ง (มม.)

0.2

0.25

0.35

0.4

0.5

เวลาที่ใช้ (ชม.)

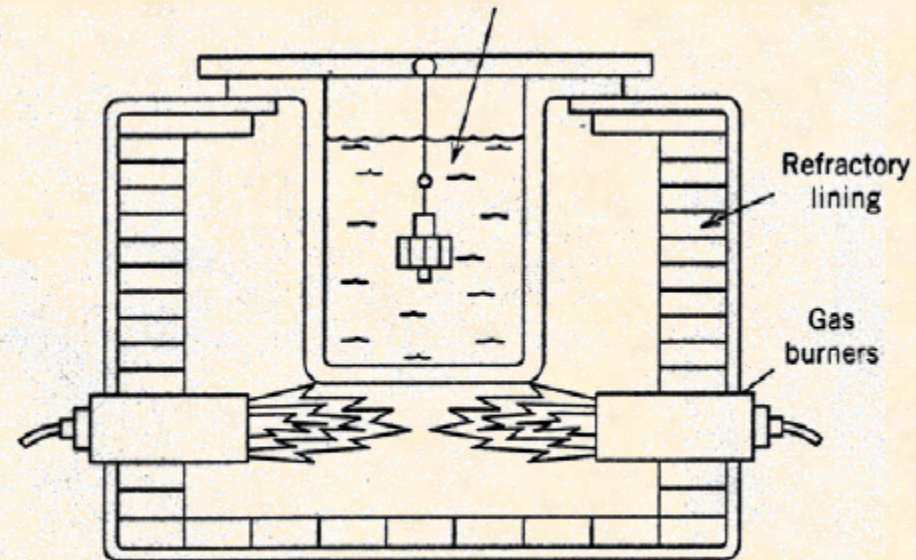
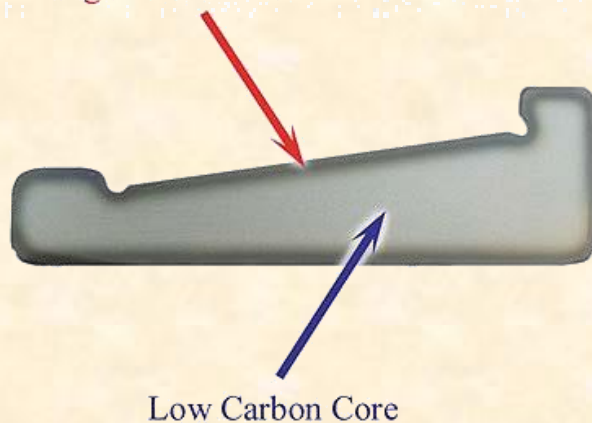
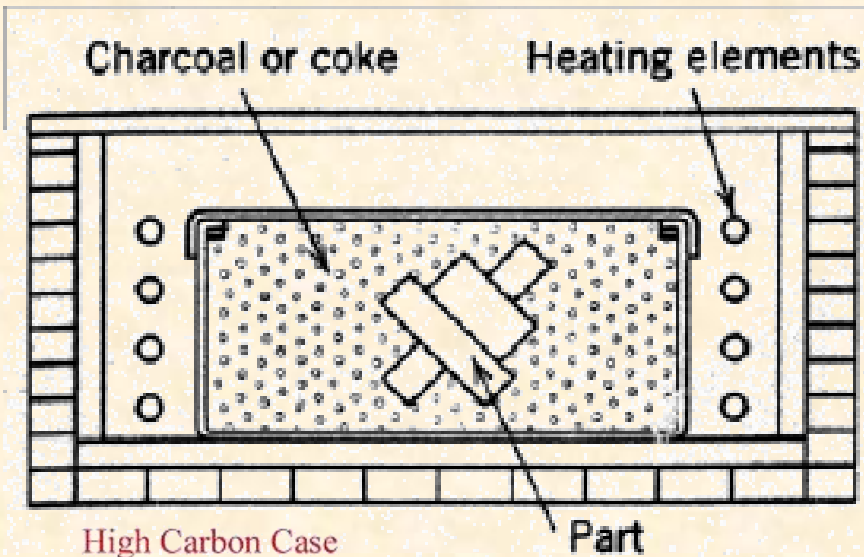
0.5

1.0

1.5

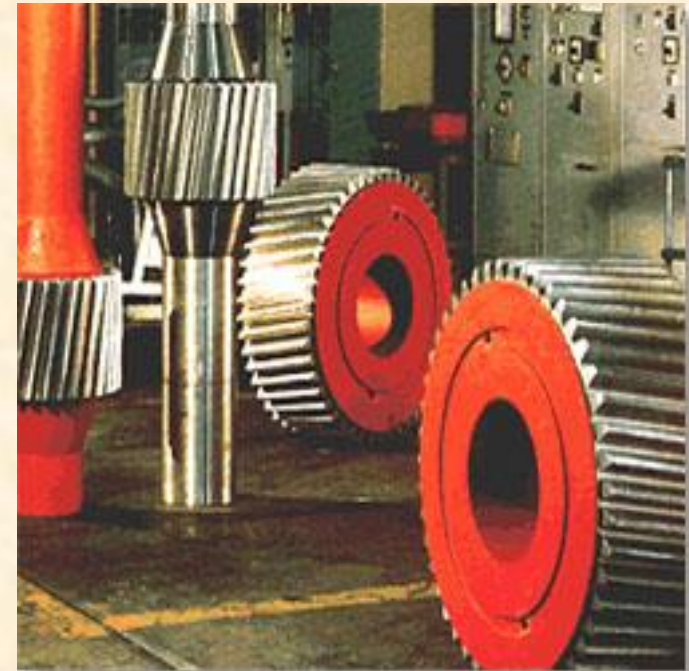
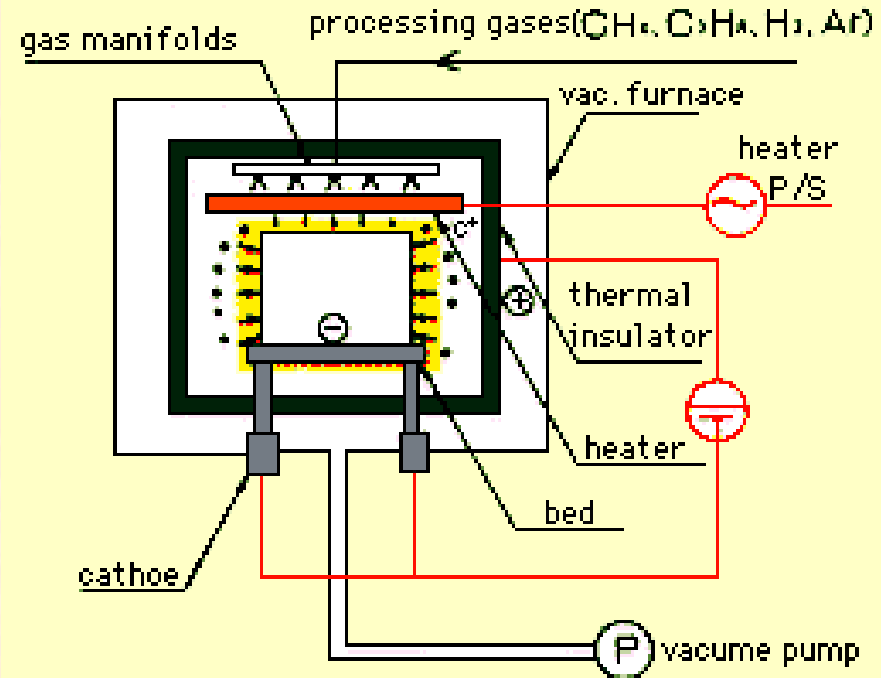
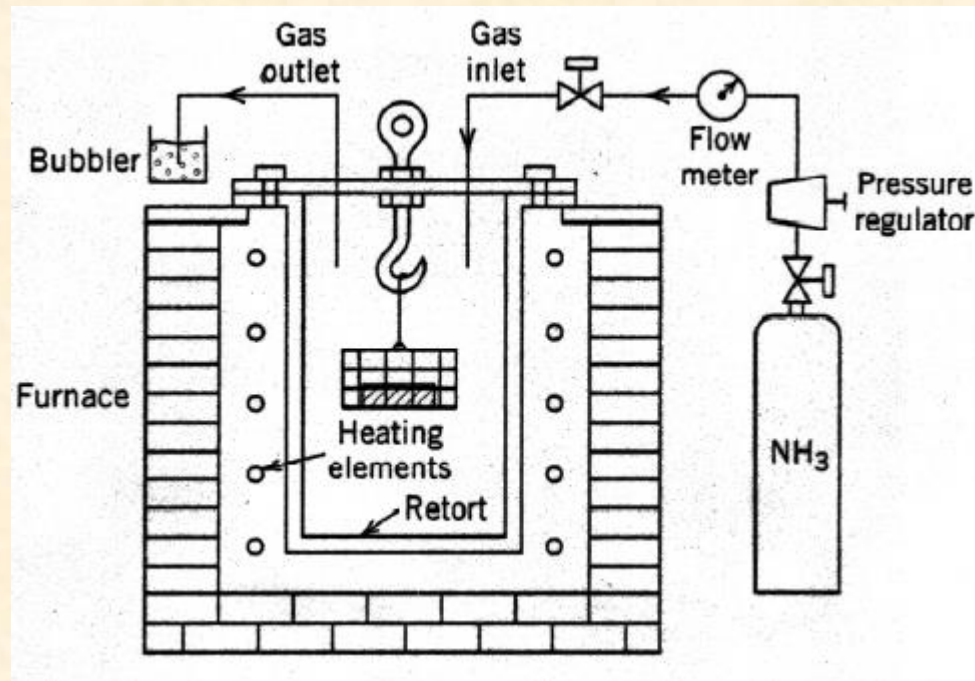
2.0

3.0



850°-900°C

3) Gas Carburizing



คาร์โบไนไตรดิง (Carbonitriding)

Dry Cyaniding

1) คาร์โบไนไตรดิงที่อุณหภูมิต่ำ ($540^{\circ}\text{--}560^{\circ}\text{C}$)

0.02–0.04 มม.

Cutting Tool High Speed Steel Drill Tap



2) คาร์โบไนไตรดิงที่อุณหภูมิปานกลาง ($840^{\circ}\text{--}860^{\circ}\text{C}$)

1 มม.

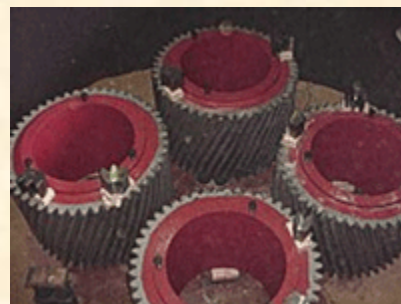
รูปร่างสลับซับซ้อน ทำ Tempering



3) คาร์โบไนไตรดิงที่อุณหภูมิสูง ($900^{\circ}\text{--}950^{\circ}\text{C}$)

0.1–0.2 มม.ต่อชั่วโมง

Tempering



ไซยาไนด์ดิ่ง (Cyaniding)

ไซยาไนด์ (NaCN)

โปแตสเซียมไซยาไนด์ (KCN)

แคลเซียมไซยาไนด์ (Ca(CN)_2)

1) ไซยาไนด์ดิ่งที่อุณหภูมิต่ำ ($550^\circ\text{--}600^\circ\text{C}$)

0.02–0.04 มม. ใช้เวลา 5-30 นาที

Cutting Tool High Speed Steel Drill Tap

2) ไซยาไนด์ดิ่งที่อุณหภูมิปานกลาง ($750^\circ\text{--}850^\circ\text{C}$)

0.075–0.25 มม.

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่ว ๆ

Pre-Heat อุณหภูมิ
 $100^\circ\text{--}400^\circ\text{C}$

3) ไซยาไนด์ดิ่งที่อุณหภูมิสูง ($900^\circ\text{--}950^\circ\text{C}$)

ประมาณ 5 ชั่วโมง ประมาณ 0.5–1.5 มม.

เหมาะกับการที่ต้องการผิวแข็งสูงมาก ๆ

สารพิษ

ไนไตรดิง (Nitriding)

(500°–590°C)

ความลึกผิวแข็งน้อย ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่ว ๆ ไป

ได้ความแข็งผิวสูง

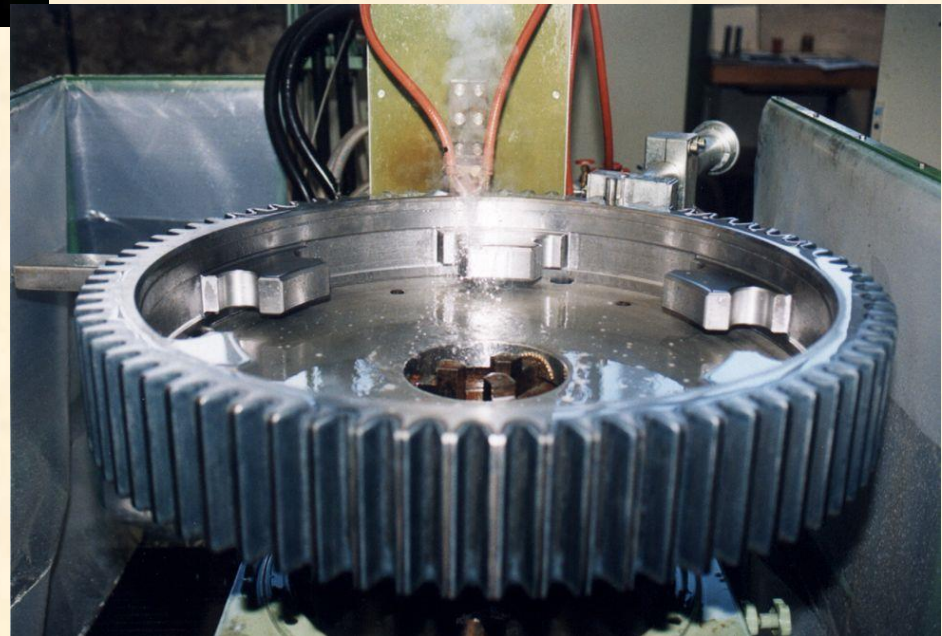
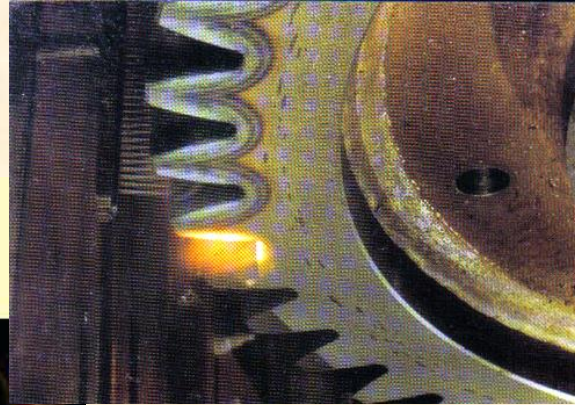
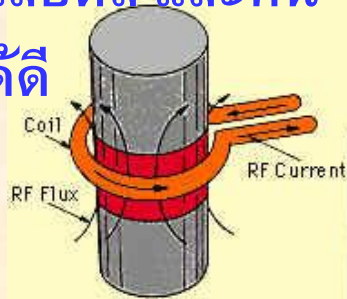


การชุบผิวแข็งด้วยกระแสเหนี่ยวนำ (Induction Hardening)

(0.4–0.5%C) and (0.8–1.2%C)

การถ่ายเทความร้อน

จะทนต่อการเสียดสี และทน
ต่อความล้าได้ดี



การชุบผิวแข็งโดยใช้เปลวไฟให้ความร้อน (Flame Hardening)

3,000°-3,200°C

ออสเทนไนต์ เป็นโครงสร้างใหม่ มาร์เทนไซต์

เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยการชุบน้ำ หรือน้ำมัน หรือใช้

อากาศเย็นเป่า

แบบธรรมดา (Manual Surface Hardening)

แบบหมุนชิ้นงาน (Spin Surface Hardening)

แบบต่อเนื่อง (Progressive Surface Hardening)

แบบหมุนต่อเนื่อง (Progressive Spin Surface Hardening)

การอบอ่อน (Annealing)

Temp

การอบอ่อนอย่างสมบูรณ์ (Full annealing)

(Forging Hot Rolling) (Cold Rolling และ Drawing))

Full Annealing

เผาแช่ $\approx 30-60$ นาที/25 มม.

เหนือ $A_{c3} \approx 30 - 50^\circ\text{C}$

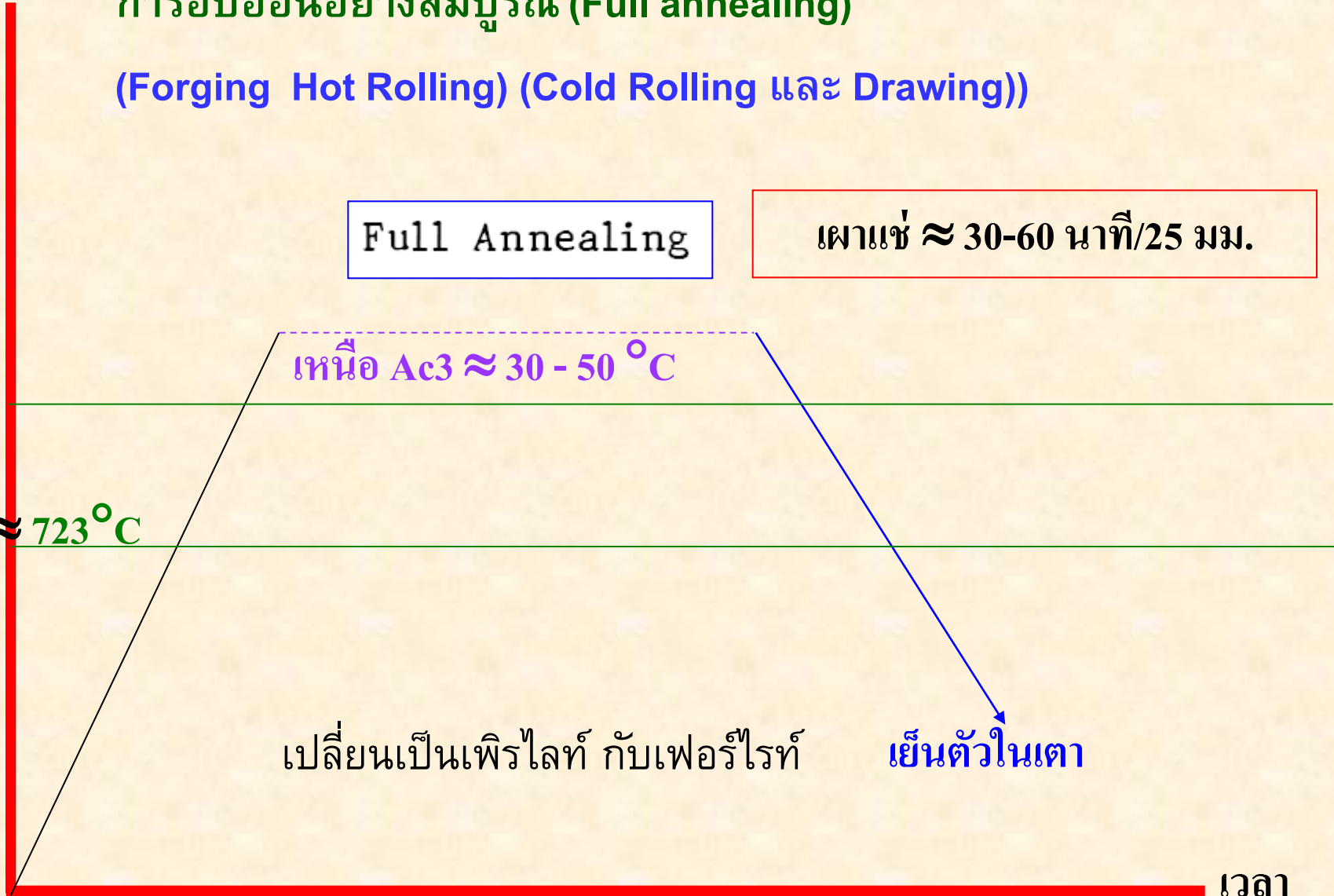
เส้น A_3

เส้น $A_1 \approx 723^\circ\text{C}$

เปลี่ยนเป็นเฟอไรต์ กับเพอร์ไรท์

เย็นตัวในเตา

เวลา



การอบอ่อนไม่สมบูรณ์ (Incomplete Annealing)

ต่ำกว่าเส้น Ac1

1) การอบอ่อนเพื่อขจัดความเครียดเหลือค้าง (Stress-relief Annealing)

Lattice Distortion แข็งแต่จะสูญเสียความเหนียว

เผาแช่ $\approx$ ประมาณ 1-2 ชั่วโมง

เส้น A1 $\approx 723^{\circ}\text{C}$

(550°-650°C)

Stress Relief

กลุ่มอะตอมที่ไม่อยู่ในสภาพสมดุลก็จะค่อยๆ
กลับคืนสู่สภาพปกติ

เย็นตัวในอากาศ

เวลา

2) การอบอ่อนเพื่อความอ่อนตัวสูง (Spheroidising Anneals)

%C 0.7–1.2

Temp ประกอบด้วยเฟอร์ไรต์ และโปรยูเทคตอยด์ซีเมนต์ไต่ตามขอบเกรน

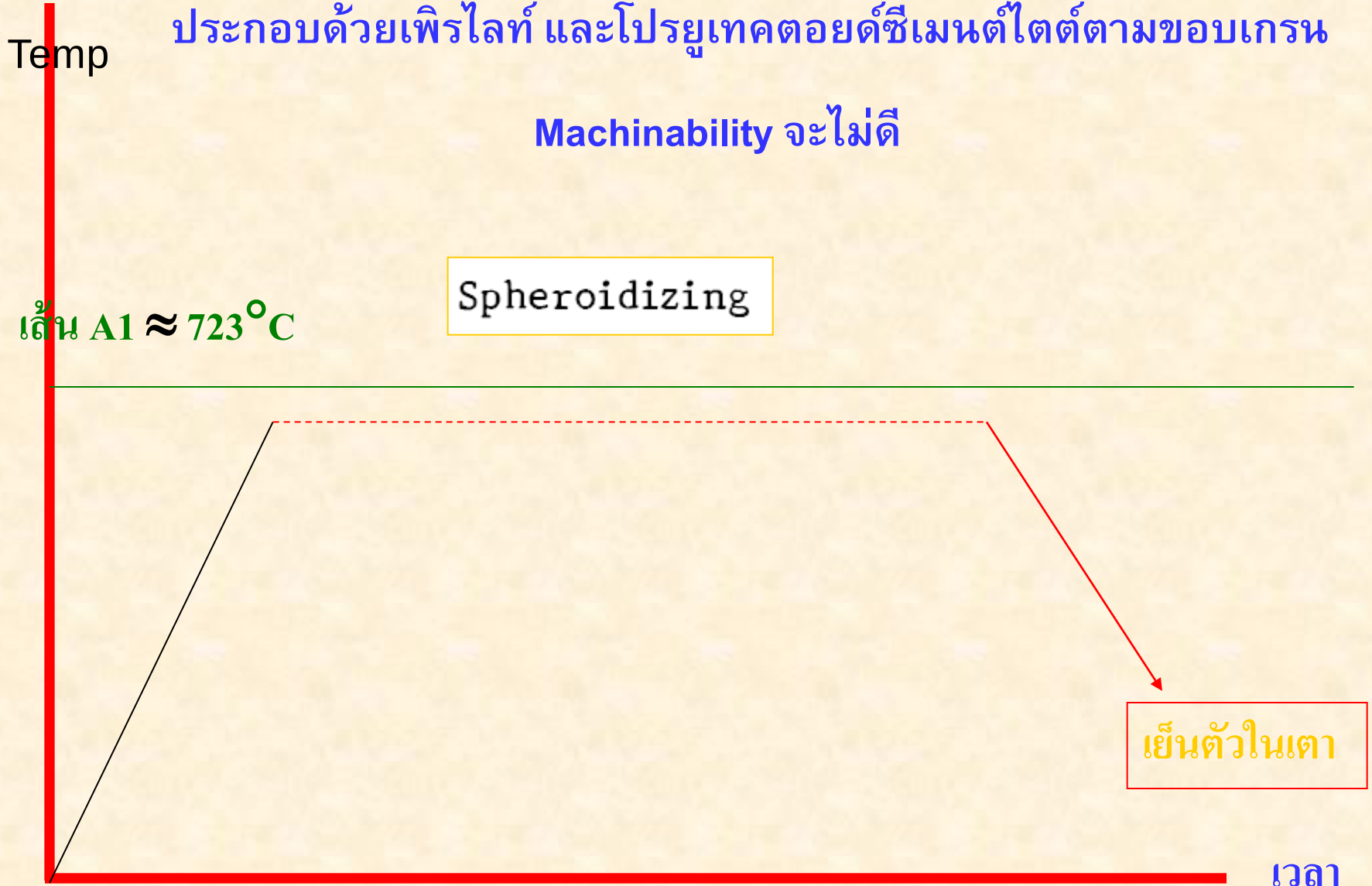
Machinability จะไม่ดี

เส้น $A_1 \approx 723^\circ\text{C}$

Spheroidizing

เย็นตัวในเตา

เวลา



การอบชุบเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ (Normalizing)

Temp

ผ่านกระบวนการผลิตคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติด้านความเหนียว
เสียไป มีความเครียดตกค้างอยู่

มักจะเกิดการบิดงอ ความเหนียว และความแข็งไม่สม่ำเสมอ
เมื่อนำไปเข้ากระบวนการชุบแข็งเลย

ประมาณ $30^{\circ}\text{--}50^{\circ}\text{C}$ นาน 30–60 นาที ต่อความหนา 25 มม.

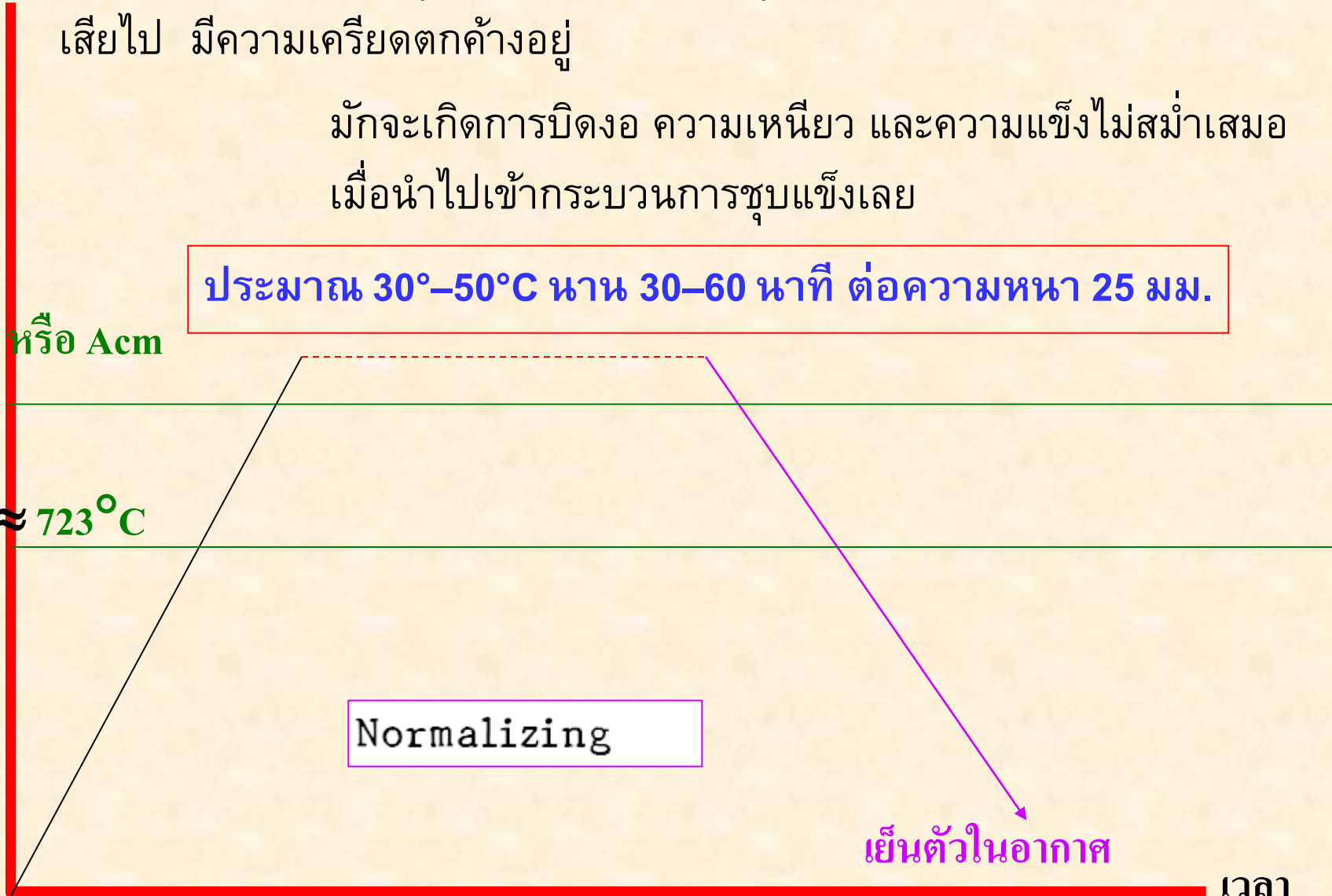
เส้น A3 หรือ Acm

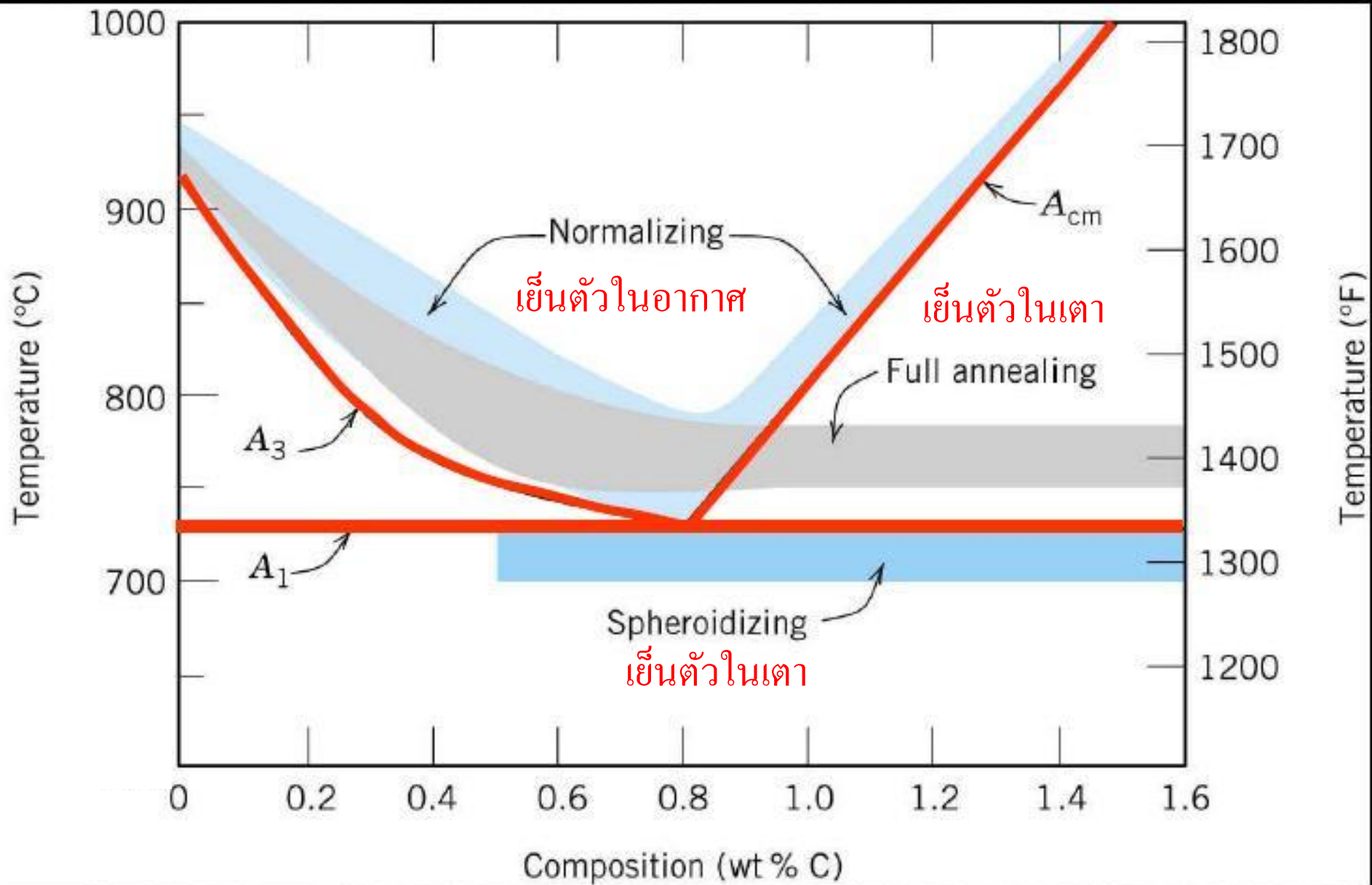
เส้น A1 $\approx 723^{\circ}\text{C}$

Normalizing

เย็นตัวในอากาศ

เวลา





Temp

heat treatment สำหรับเหล็กกล้า

เส้น A3
หรือ Acm

เส้น A1 723°C

Quenching and Tempering

เหนือ A3 $\approx 50^\circ\text{C}$

เหนือ A3 $\approx 30^\circ\text{--}50^\circ\text{C}$ นาน 30–60 นาที ต่อความหนา 25 มม.

Normalizing

Full Annealing

(550°–650°C) ประมาณ 1-2 ชั่วโมง

300 – 600 °C

เย็นตัวในอากาศ

Spheroidizing

เย็นตัวในเตา

Process Annealing

เย็นตัวในอากาศ

100-500°C

เย็นตัวในเตา

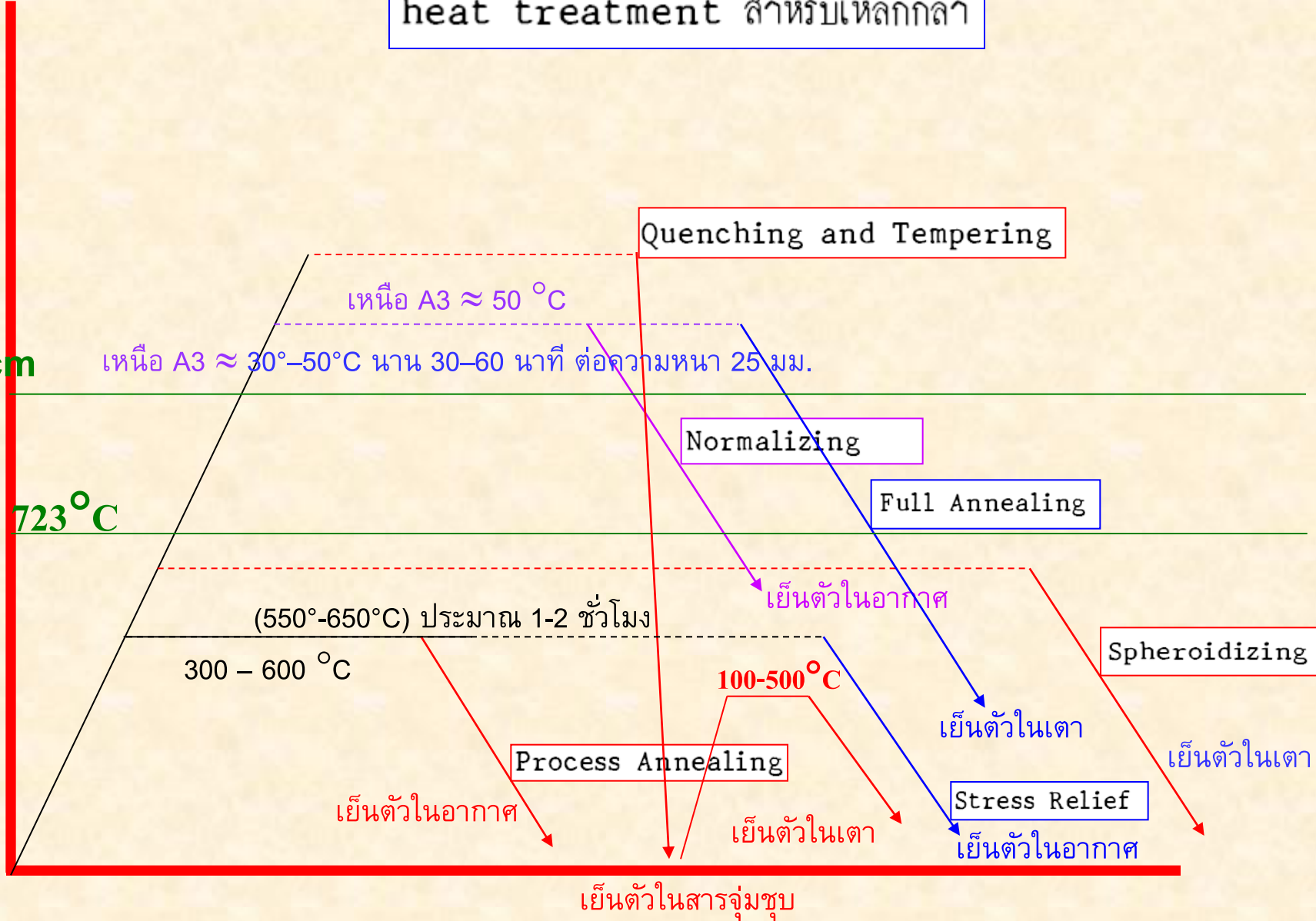
Stress Relief

เย็นตัวในอากาศ

เย็นตัวในเตา

เย็นตัวในสารจุ่มชุบ

เวลา



สารชุบ (Quenching Medium)

ออสเทนไนต์เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์

ก. อัตราการถ่ายเทความร้อนของสารชุบ

ข. ขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน

ค. ลักษณะโครงสร้างที่ต้องการภายหลังการอบชุบ

น้ำ (Water) บิดงอหรือแตกร้าว สนิม เกิดความเครียดมาก

น้ำเกลือ (Brine) ประมาณ 10% น้ำเกลือ ความเครียดภายในมีน้อยลง เกิดการบิดงอน้อยกว่า ถ่ายเทความร้อนดีมาก อัตราการเย็นตัวสูงสุด จะทำปฏิกิริยาต่อถังชุบ และอุปกรณ์ต่างๆ เกิดการผุกร่อนอย่างรุนแรง

น้ำมัน (Oil) มีจุดวาบไฟ 160°C - 170°C ถ่ายเทความร้อนต่ำ/อุ่นน้ำมัน

อัตราการเย็นตัวสม่ำเสมอ ไม่เกิดความเครียด เหล็กผสมต่ำหรืองานขนาดใหญ่ไม่ต้องการความแข็งมาก

สารชุบ (Quenching Medium)

ออสเทนไนต์เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์

น้ำผสมน้ำมันชนิดที่ละลายน้ำได้ (Water-Soluble Oil) (Emulsion)

ผสมน้ำมันมากกว่าถ่ายเทความร้อนจะคล้ายน้ำมัน

แยกชั้นจากน้ำมันอยู่กันอย่าง

ผสมน้ำมากกว่าการถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกับน้ำ

น้ำผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50%

ผิวงานที่ได้สะอาด เพราะสารละลายของไฮดรอกไซด์ทำหน้าที่กัดเหล็กออกไซด์ที่เกิดขึ้นในขณะเผาได้ดี

เสื่อมคุณภาพการระเหยของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อคนงาน

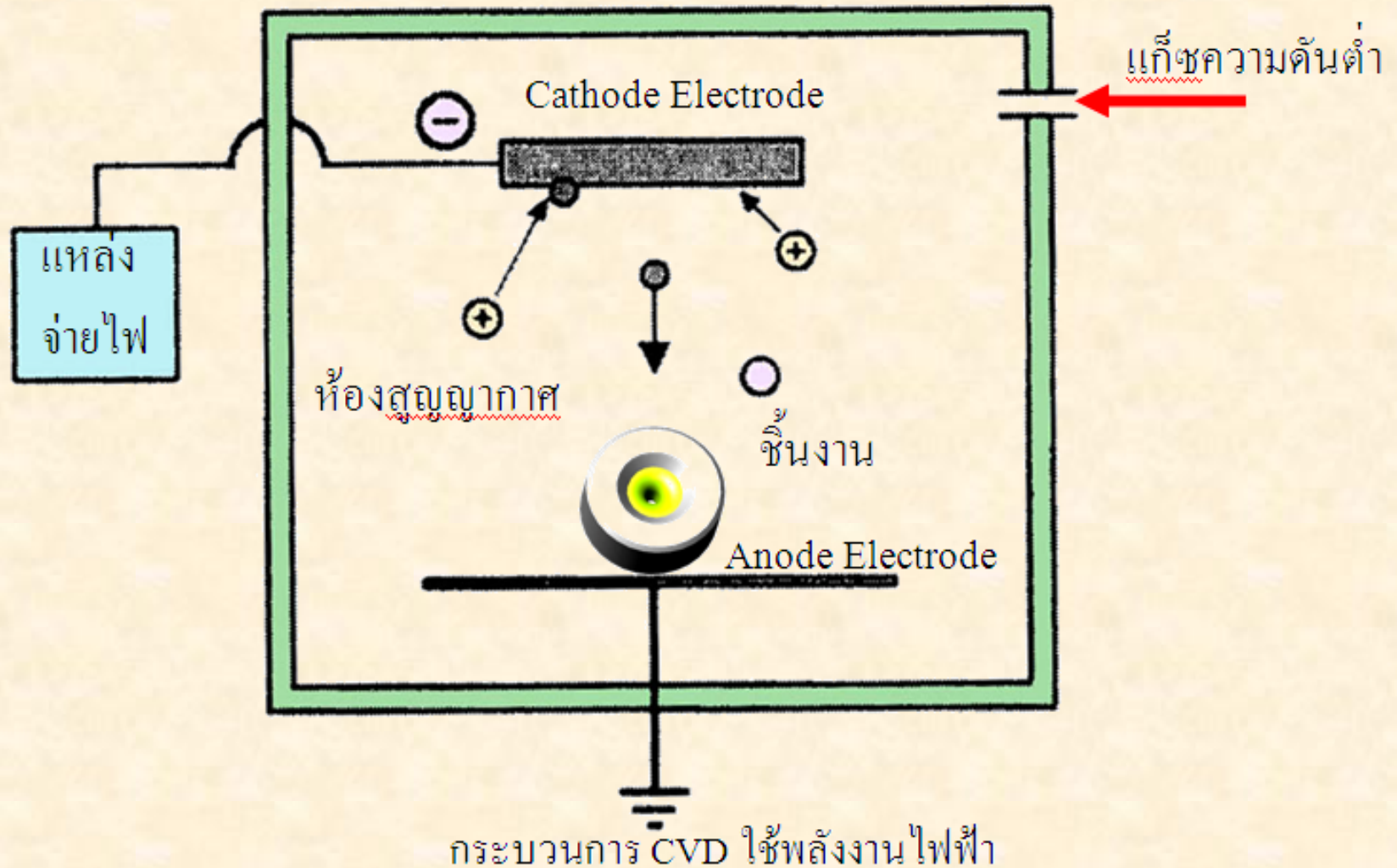
ได้
ลม (Air)

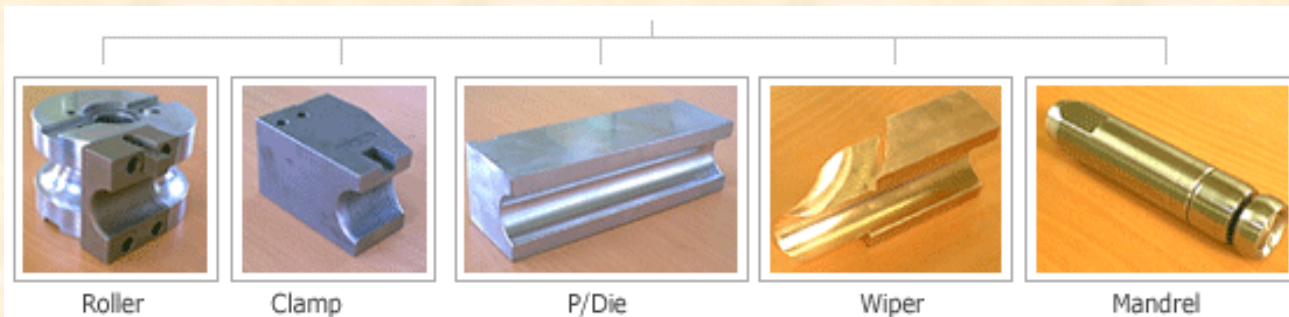
เหล็กที่มีส่วนผสมสูง เล็กและบาง

เกิดสนิม

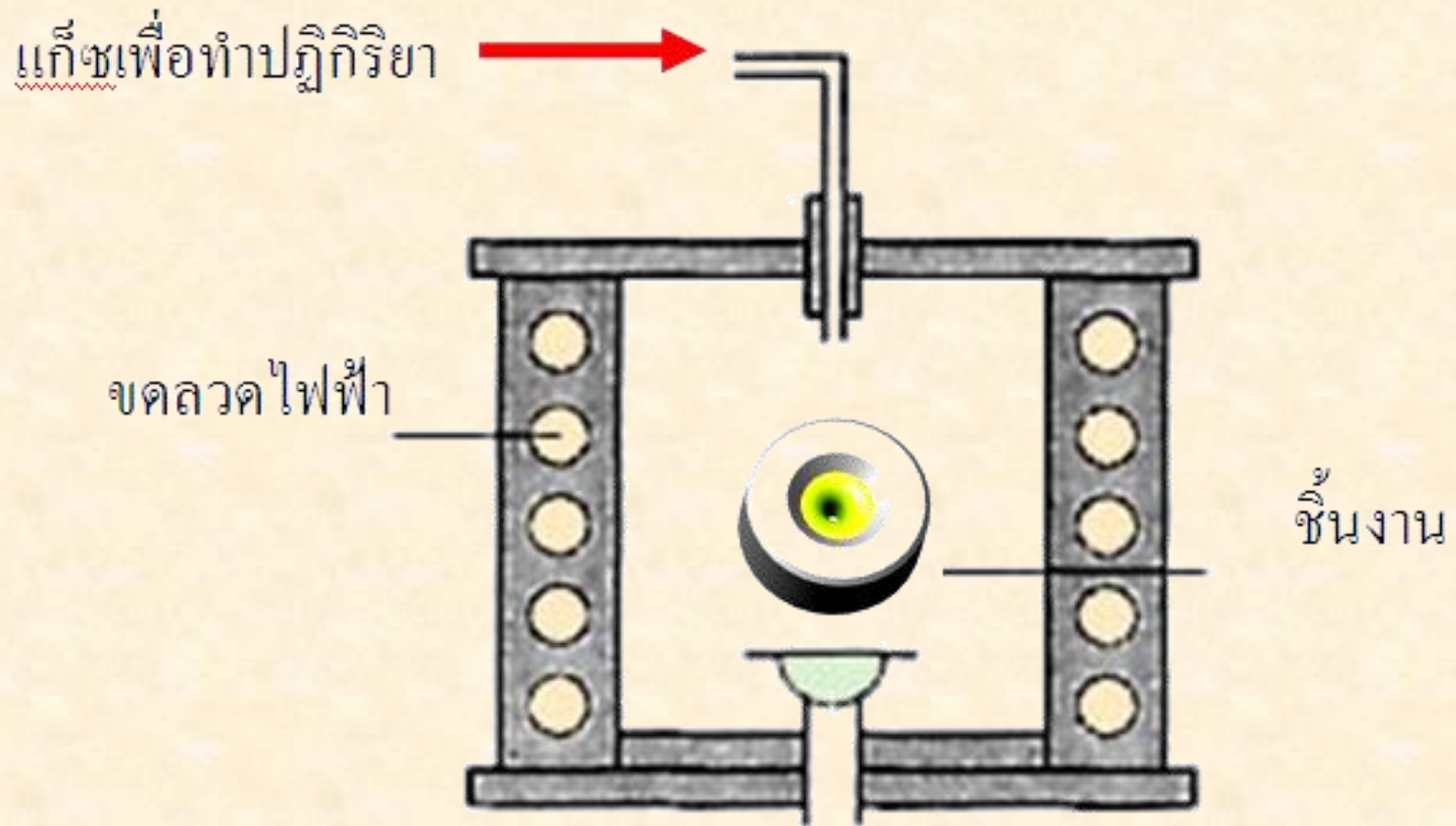
การเคลือบผิว (Surface Coating)

ก. การเคลือบผิวด้วยไอเคมี (Chemical Vapour Deposition, CVD)





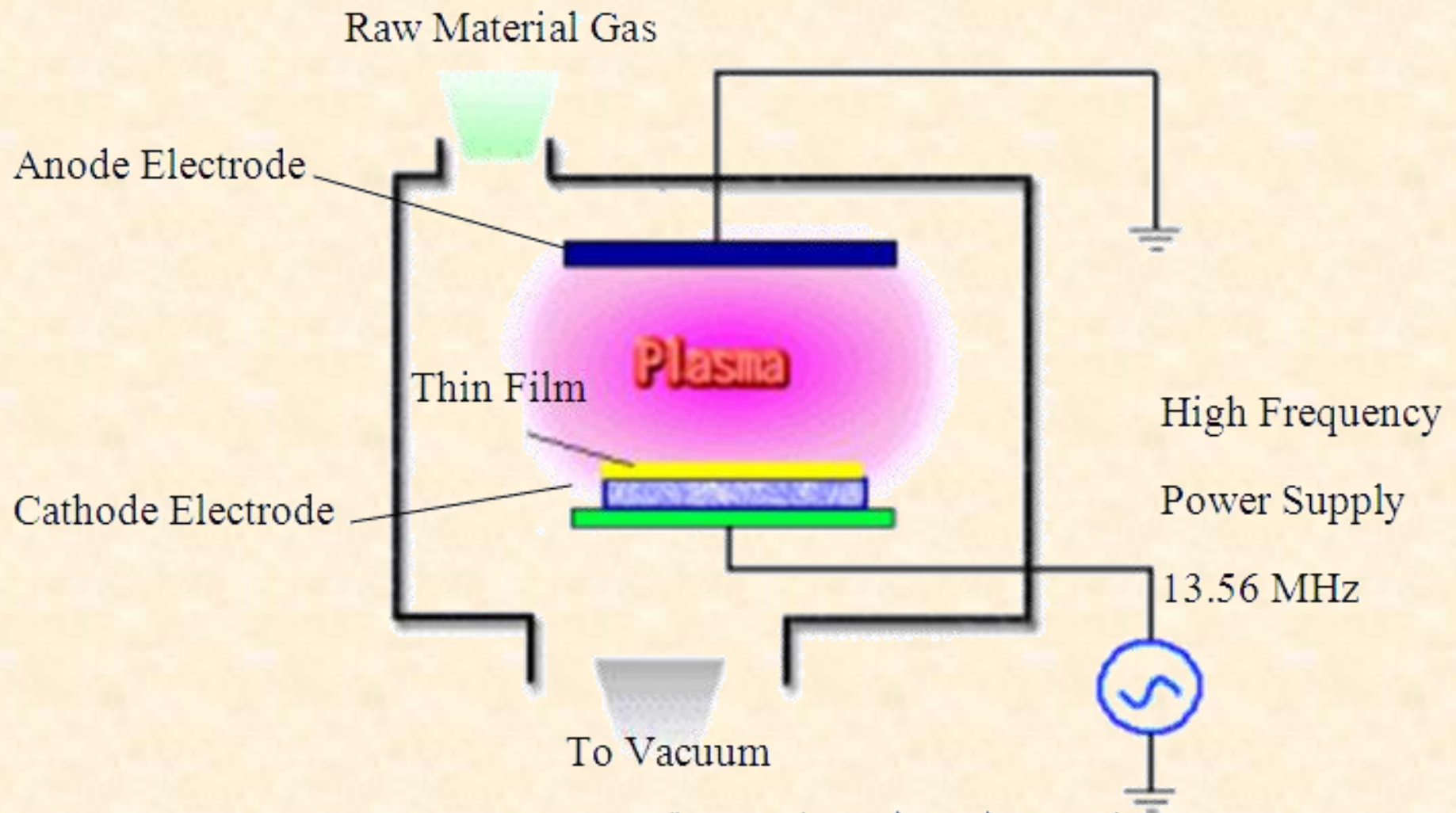
ข. การเคลือบผิวด้วยไอกายภาพ (Physical Vapour Deposition, PVD)



กระบวนการ PVD ใช้พลังงานไฟฟ้า [11]



ค. การเคลือบผิวด้วยฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC)



กระบวนการการเคลือบผิวด้วยฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC)

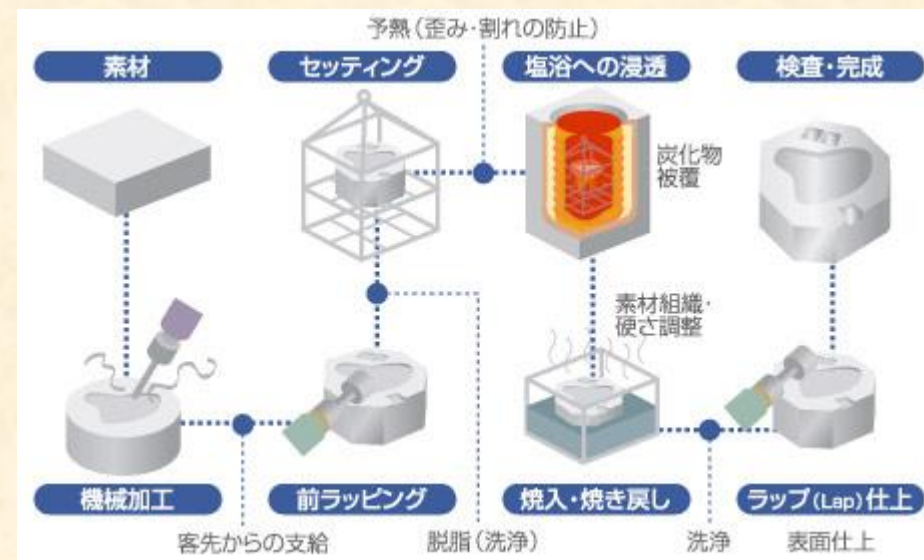
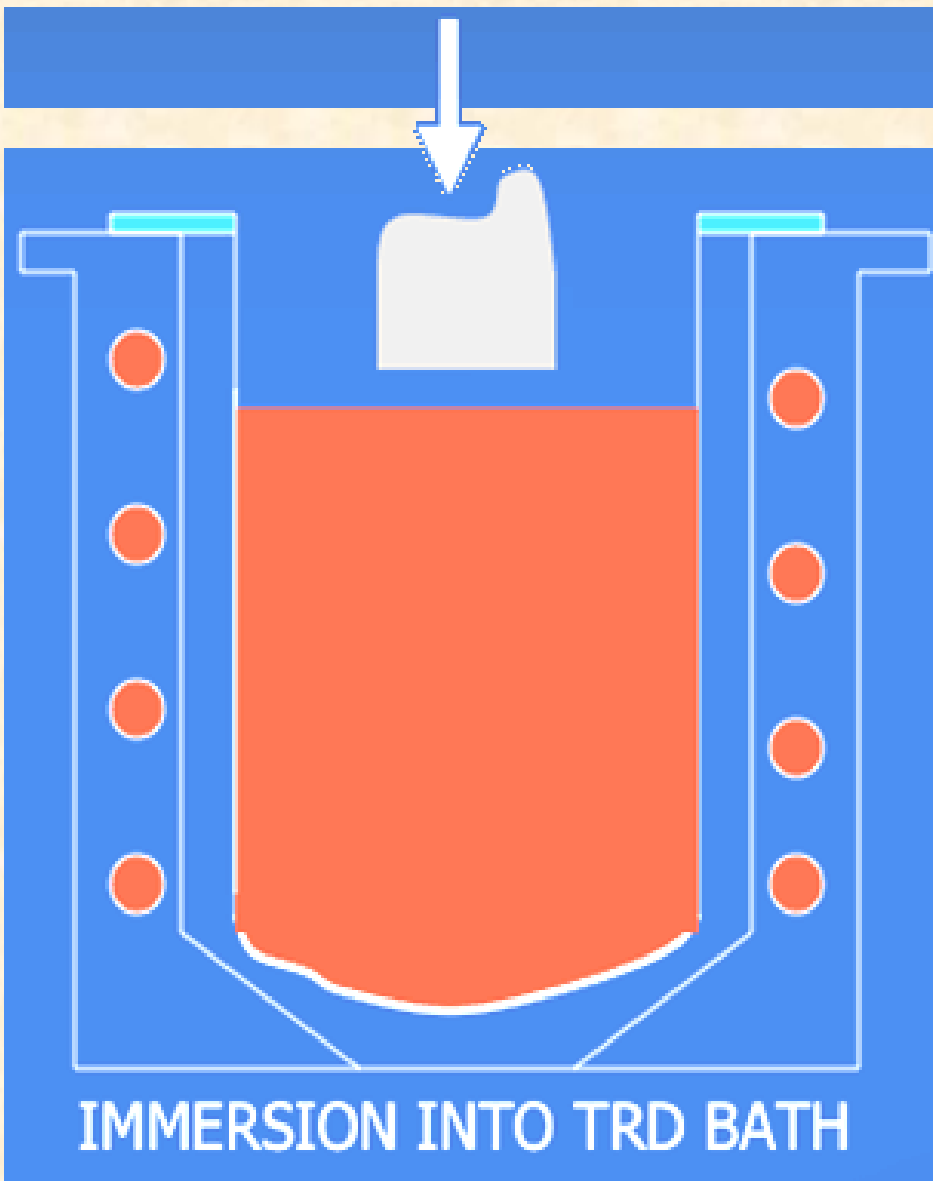


Nico club.com



世界腕錶OnLine
WORLD WRIST WATCH ON LINE

ง. การเคลือบผิวเหล็กกล้าด้วยไนโอเบียมคาร์ไบด์โดย กระบวนการ TRD





▶ 큰이미지 보기

การอบปกติ (*Normalizing*) เหล็กกล้า มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.4%

การอบอ่อน (*Full Annealing*) เหล็กกล้าเครื่องมือ มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.6%

การอบให้เม็ดเกรนสม่ำเสมอ (*Spheroidizing*) เหล็กมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.8%

การชุบแข็ง (*Quenching and Tempering*) เหล็กมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 1.2%

การชุบแข็ง (*Quenching and Tempering*) เหล็กมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.4%

การชุบแข็ง (*Quenching and Tempering*) เหล็กมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 1.6%

การชุบแข็ง (*Quenching and Tempering*) เหล็กมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 0.8%

การชุบแข็ง (*Quenching and Tempering*) เหล็กมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน 1.0%

เอกสารอ้างอิง

1. ชลิตต์ มธุรสมนตรี ปราโมทย์ พูนนายม กุลชาติ จุลเพ็ญ, กระบวนการผลิต (Manufacturing Processes) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, กรุงเทพฯ, 2544
2. สารัมย์ บุญมี, Engineering Materials – วัสดุวิศวกรรม และ foundry sands, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. อนุวัฒน์ จุติลาภถาวร, กรรมวิธีการผลิต2, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์ ,2548
4. SCHULER, Metal Forming Handbook, Springer, Verlag Berlin Heidelberg New York, 1998
5. Repp McCarthy, Metalwork Technology and Practice, New York, 1989
6. Matthew Yuen, Extrusion , Research. May 15, 2009 from <http://faculty.ksu.edu.sa/maesaleh/IE%20351/Ch6-Extrusion.ppt>
7. ทวี เทศเจริญ, กรรมวิธีการผลิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2536.
8. สารัมย์ บุญมี, Engineering Materials, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, Research. May 15, 2008 from <http://www.sut.ac.th/Engineering/Metal/courses/engmat.html>
9. ปัญญา บัวสมบุรา และอุษณีย์ กิตกำธร, Physical Metallurgy Lab I, สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, Research. May 15, 2012 from <http://www.sut.ac.th/Engineering/Metal/courses/phymet1.html>