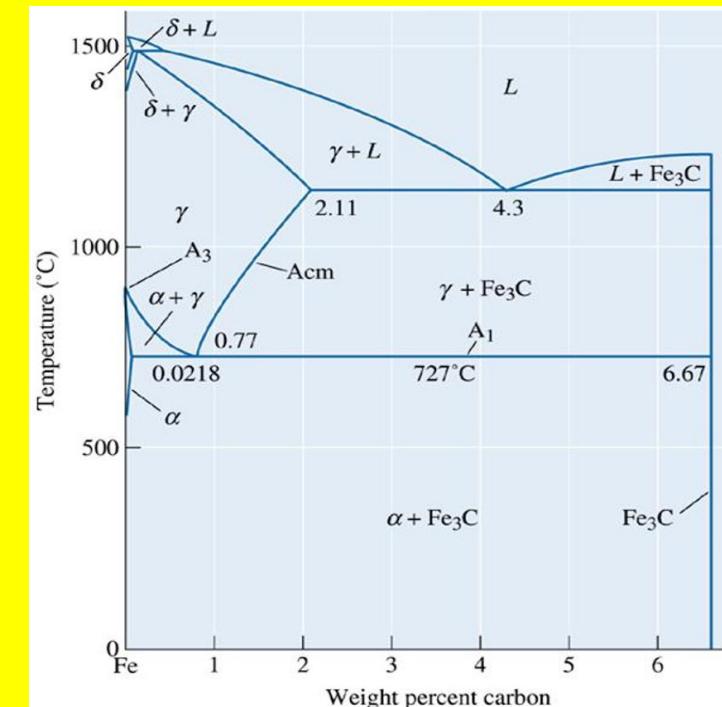
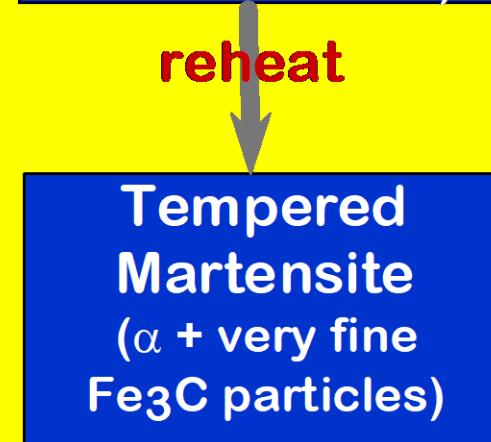
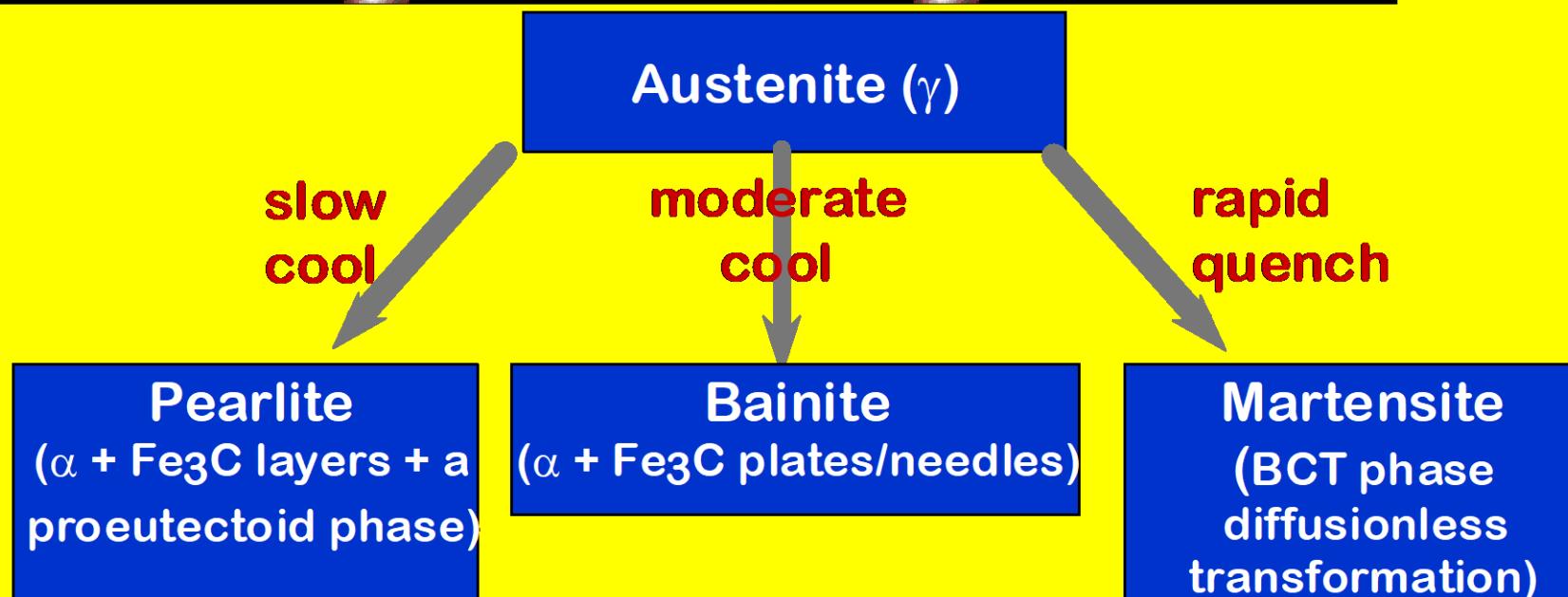
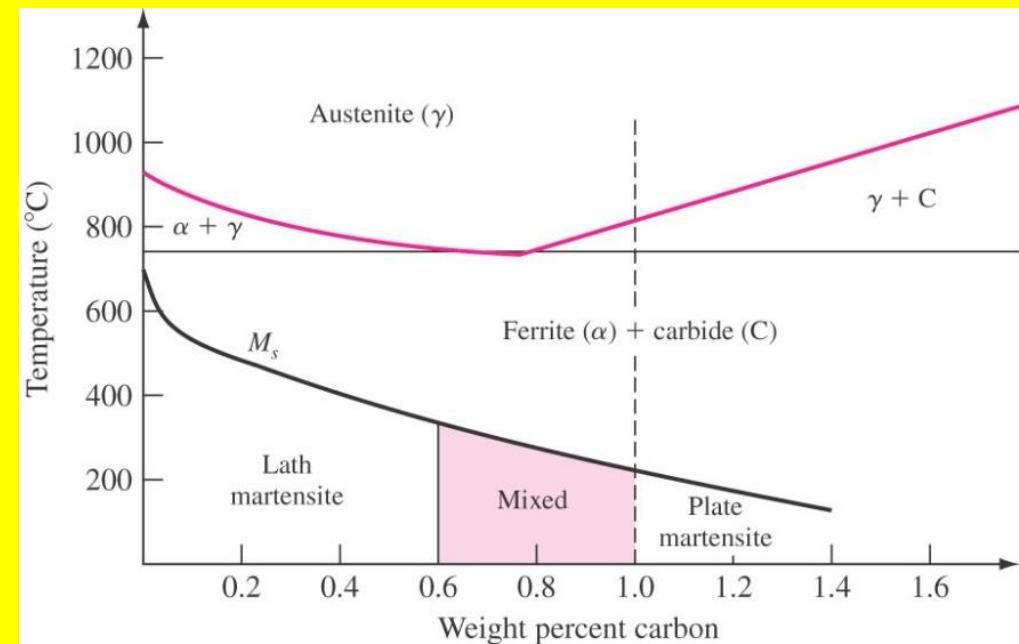


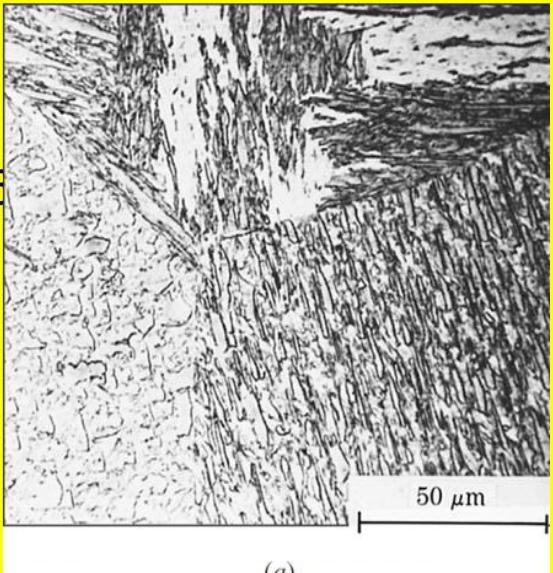
1. การอบชุบเหล็กกล้า (Heat Treatment)



โครงสร้างของมาร์เตนท์ขึ้นกับ ปริมาณคาร์บอน

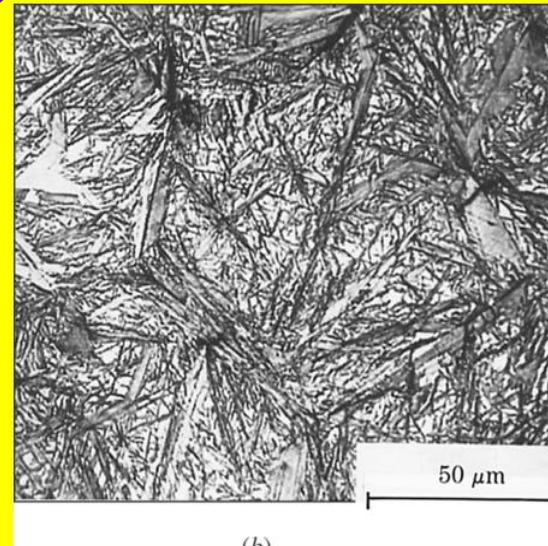


ปริมาณคาร์บอน
น้อยกว่า 0.6
โครงสร้าง
เป็นแบบ lath



0.2 % C , X600

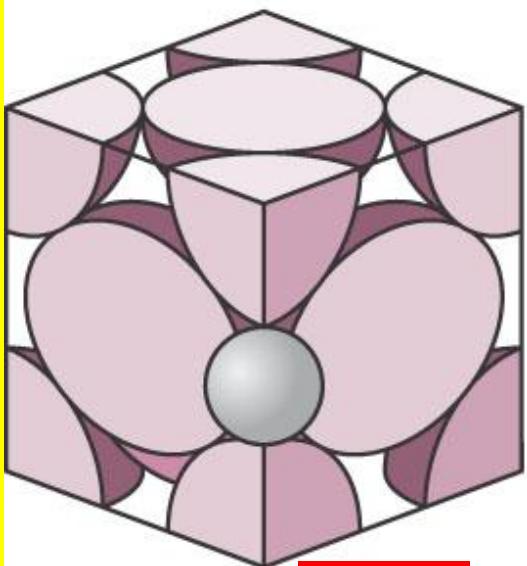
ปริมาณคาร์บอน
มากกว่า 0.6
โครงสร้าง
เป็นแบบ plate



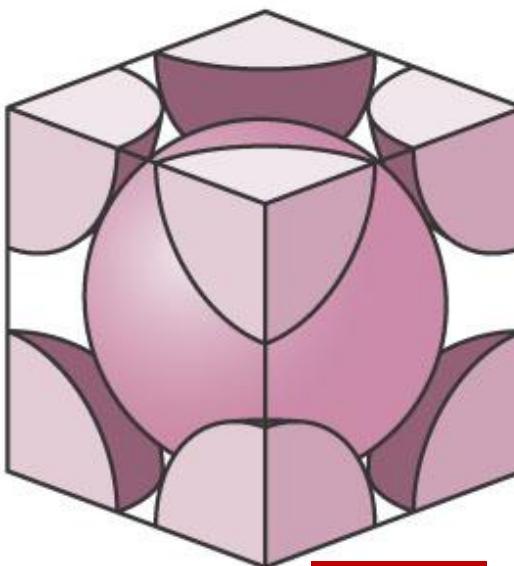
0.6 < % C , X600

โครงสร้างของมาร์เตนไซท์ ในระดับอะตอม

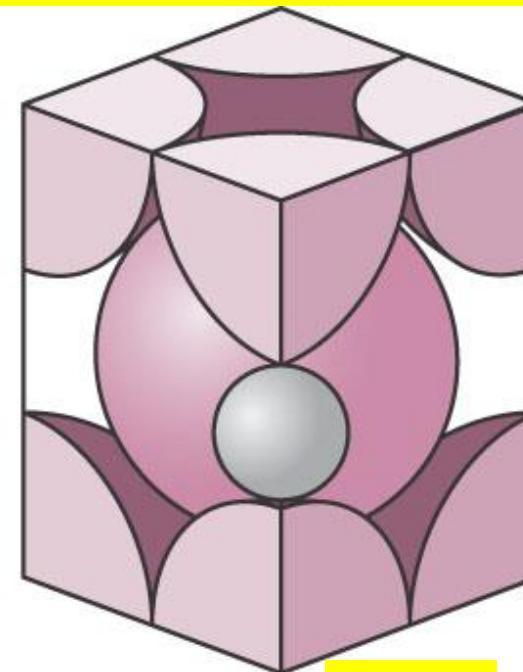
- การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจาก γ เป็น martensite (α') คาร์บอนไม่มีเวลาที่จะแพร่ ทำให้มีความแข็งสูง



(a) FCC

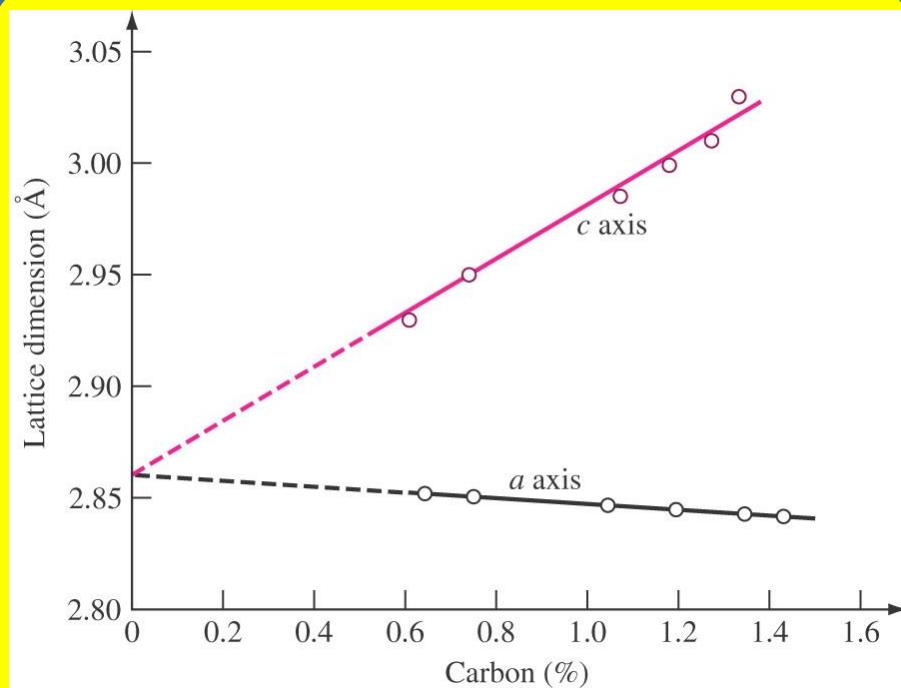
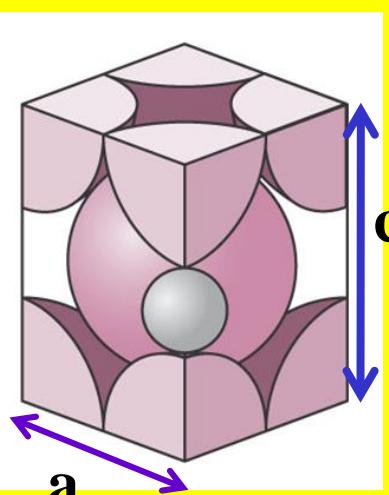


(b) BCC

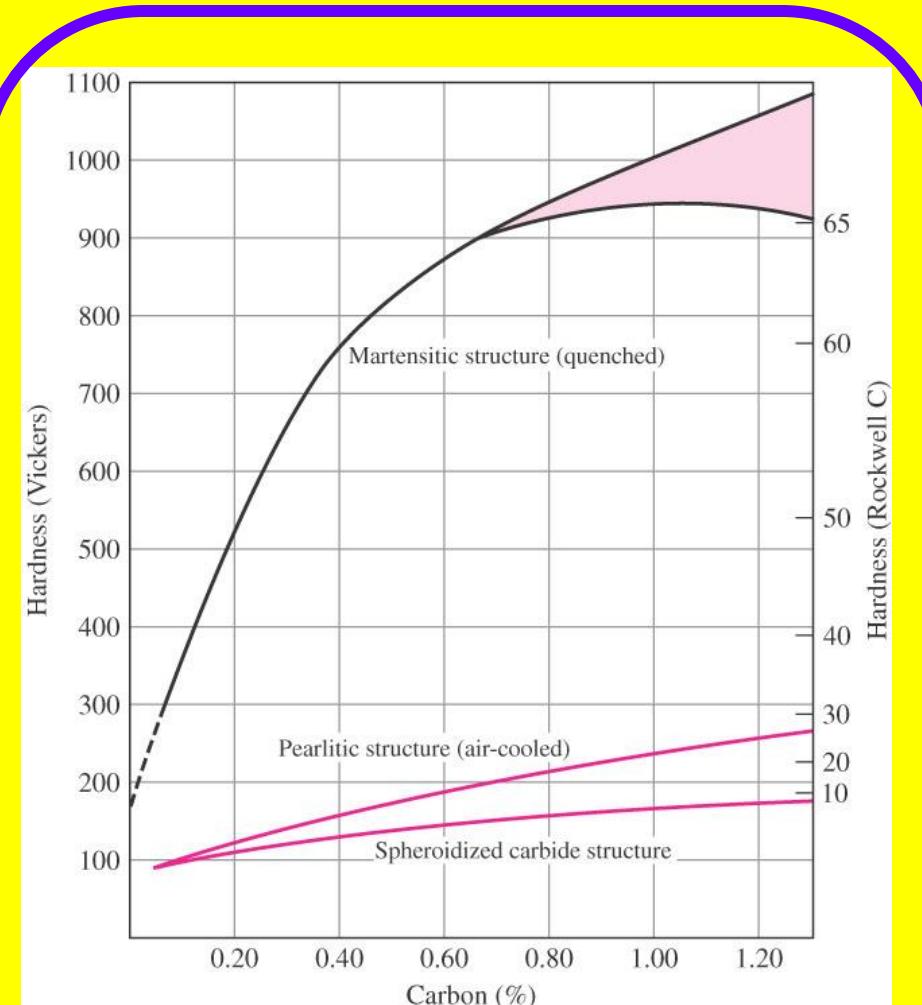


(c) BCT

ความแข็งและความแข็งแรงของมาร์เตนไซท์

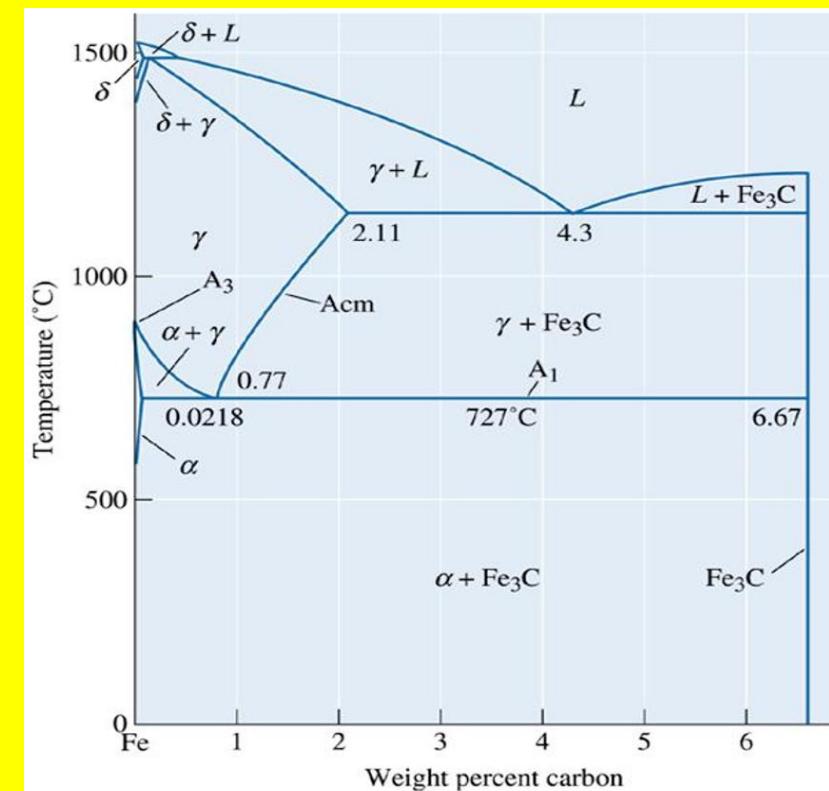
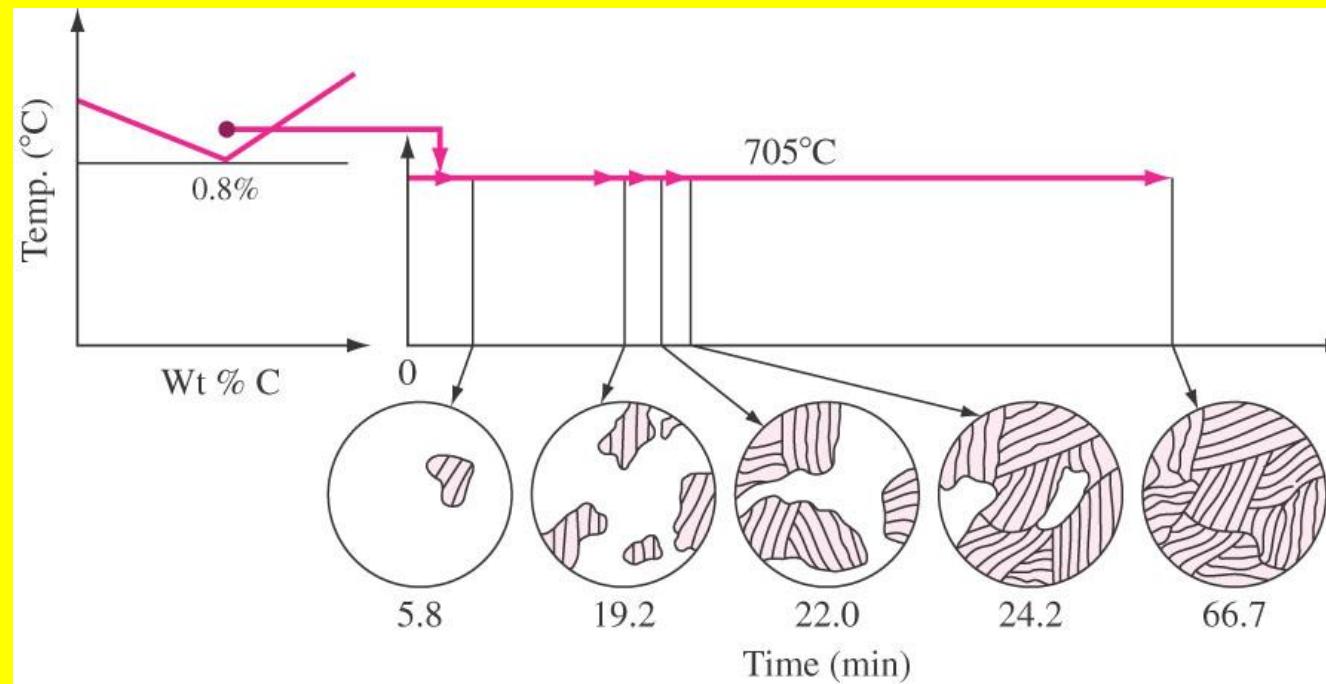
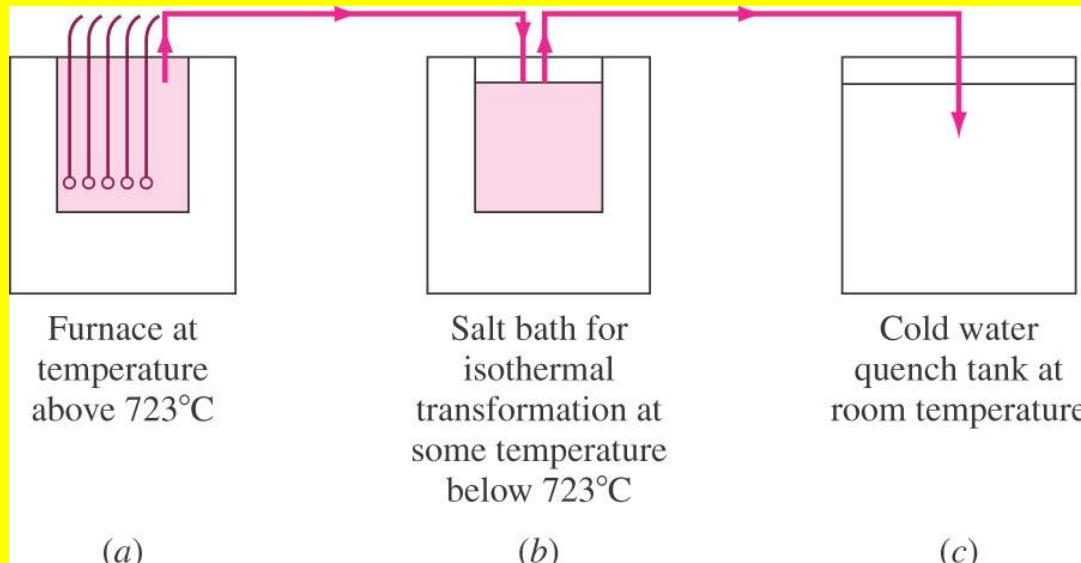


ค่า **a** และ **c** ของ martensite
ขึ้นกับปริมาณคาร์บอน

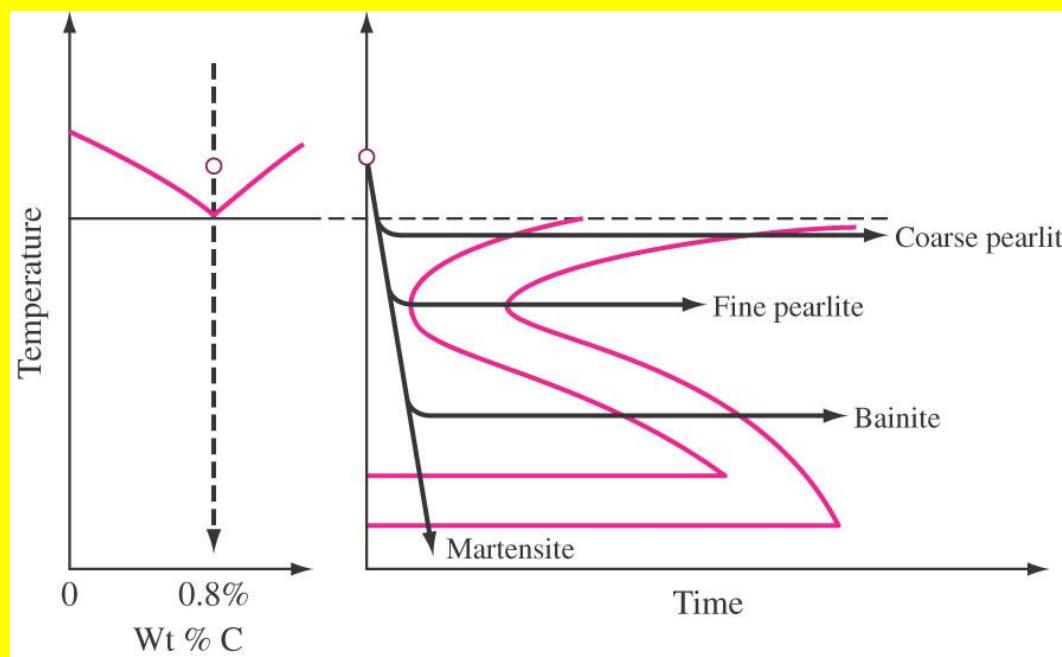
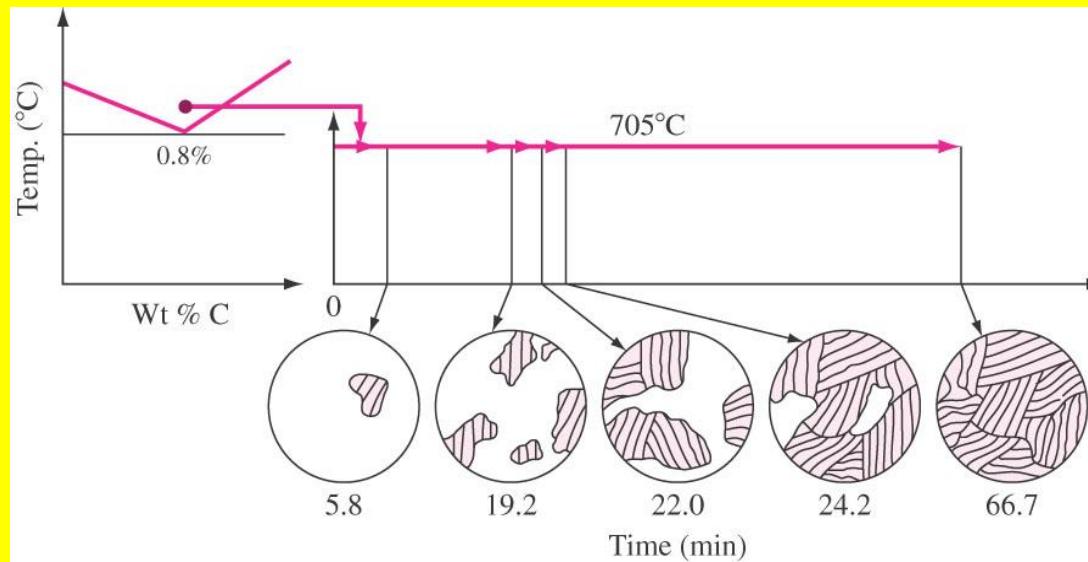


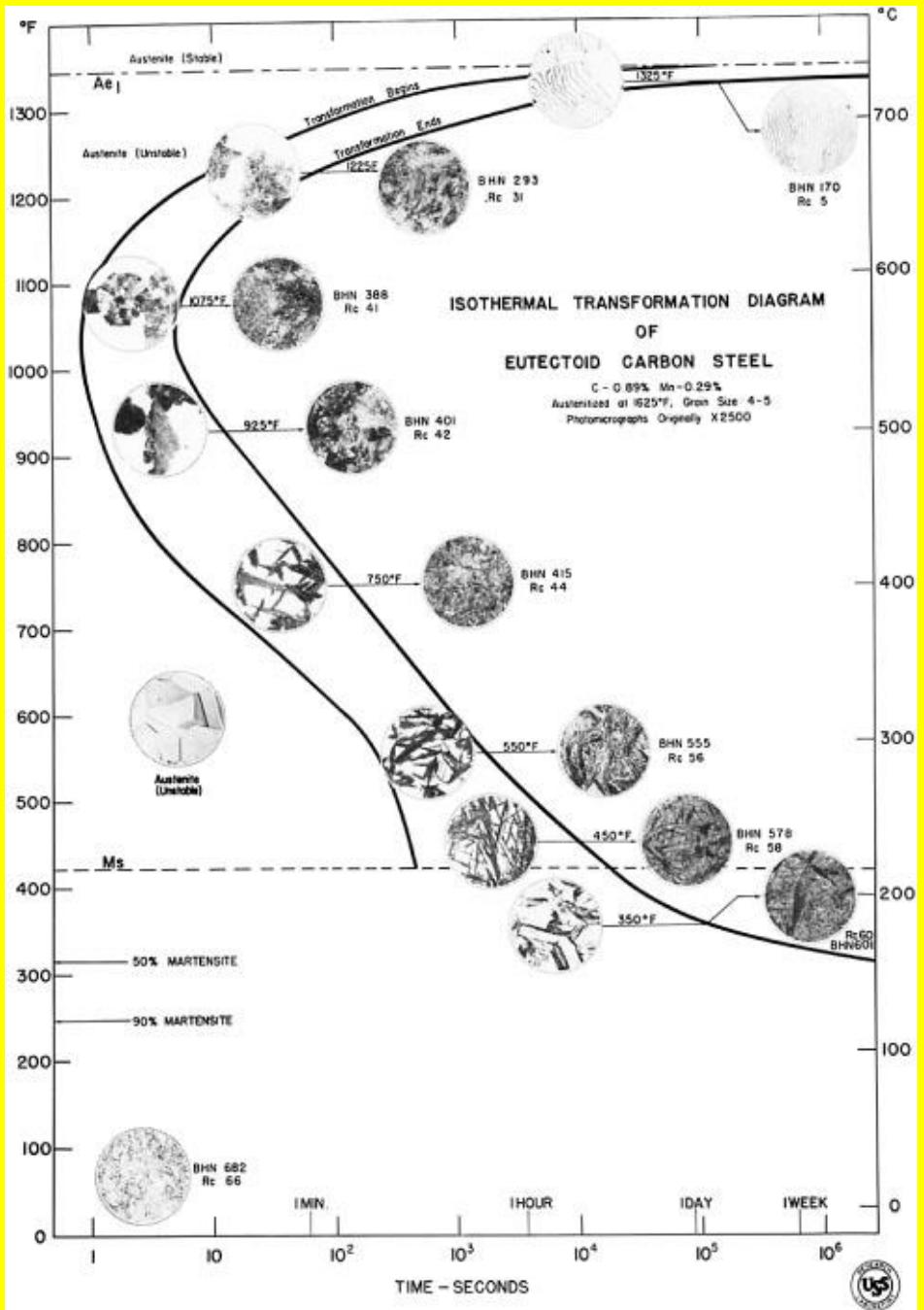
ค่าความแข็งจากการชุบของเหล็กกล้า
ที่มีปริมาณคาร์บอนต่าง ๆ กัน

การเปลี่ยนเฟสของอสเทนในที่ในเหล็กกล้า eutectoid 0.8 %C



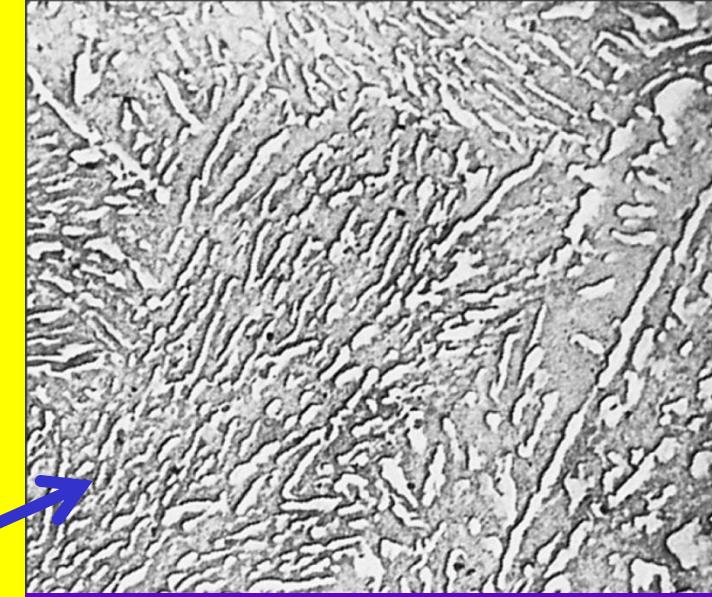
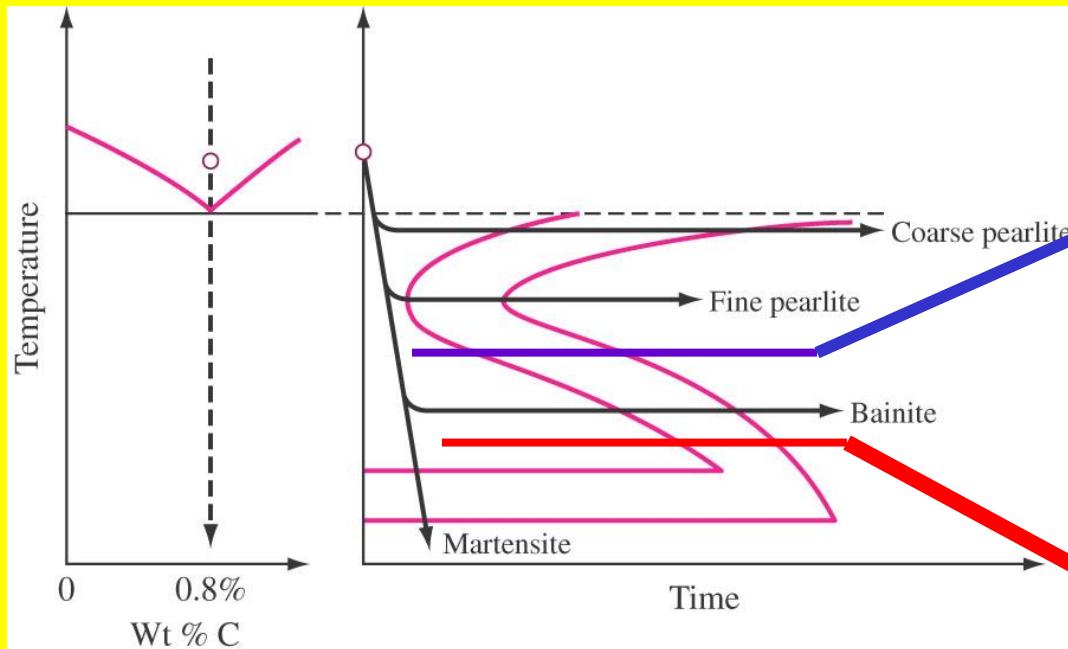
การเปลี่ยนเฟสของอสเทนในที่ในเหล็กกล้า eutectoid 0.8 %C



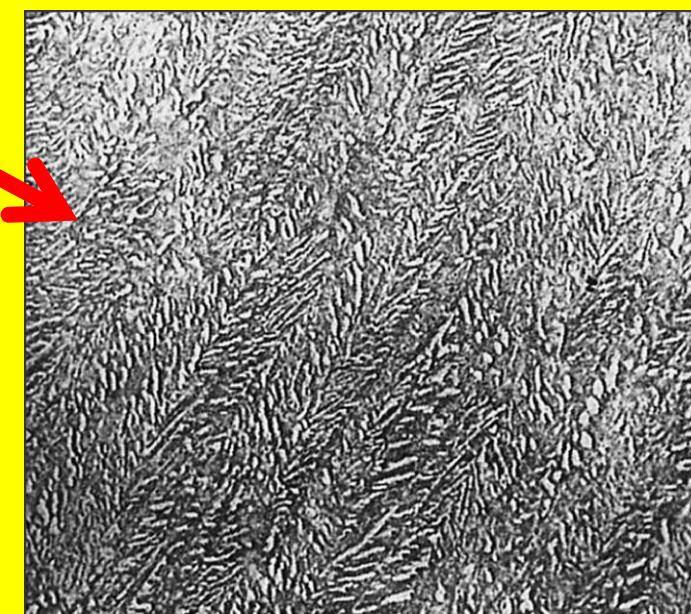


การเปลี่ยนเฟสจาก

$\gamma \rightarrow bainite$



โครงสร้างจุลภาคของ *upper bainite*



โครงสร้างจุลภาคของ *Lower bainite*

Ex.4

นำเหล็กกล้า 1080 ที่ผ่านการรีดร้อน ขนาด 0.25 mm ไปอบที่อุณหภูมิ 850°C นาน 1 h และนำไปดำเนินการดังต่อไปนี้ ให้หา โครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้น

(a) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

(b) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลวอุณหภูมิ 690°C นาน 2 h.

จากนั้นทำให้เย็นตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

(c) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลวอุณหภูมิ 610°C นาน 3 Min.

จากนั้นทำให้เย็นตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

(d) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลวอุณหภูมิ 580°C นาน 2 Sec.

จากนั้นทำให้เย็นตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

(e) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลวอุณหภูมิ 450°C นาน 2 h.

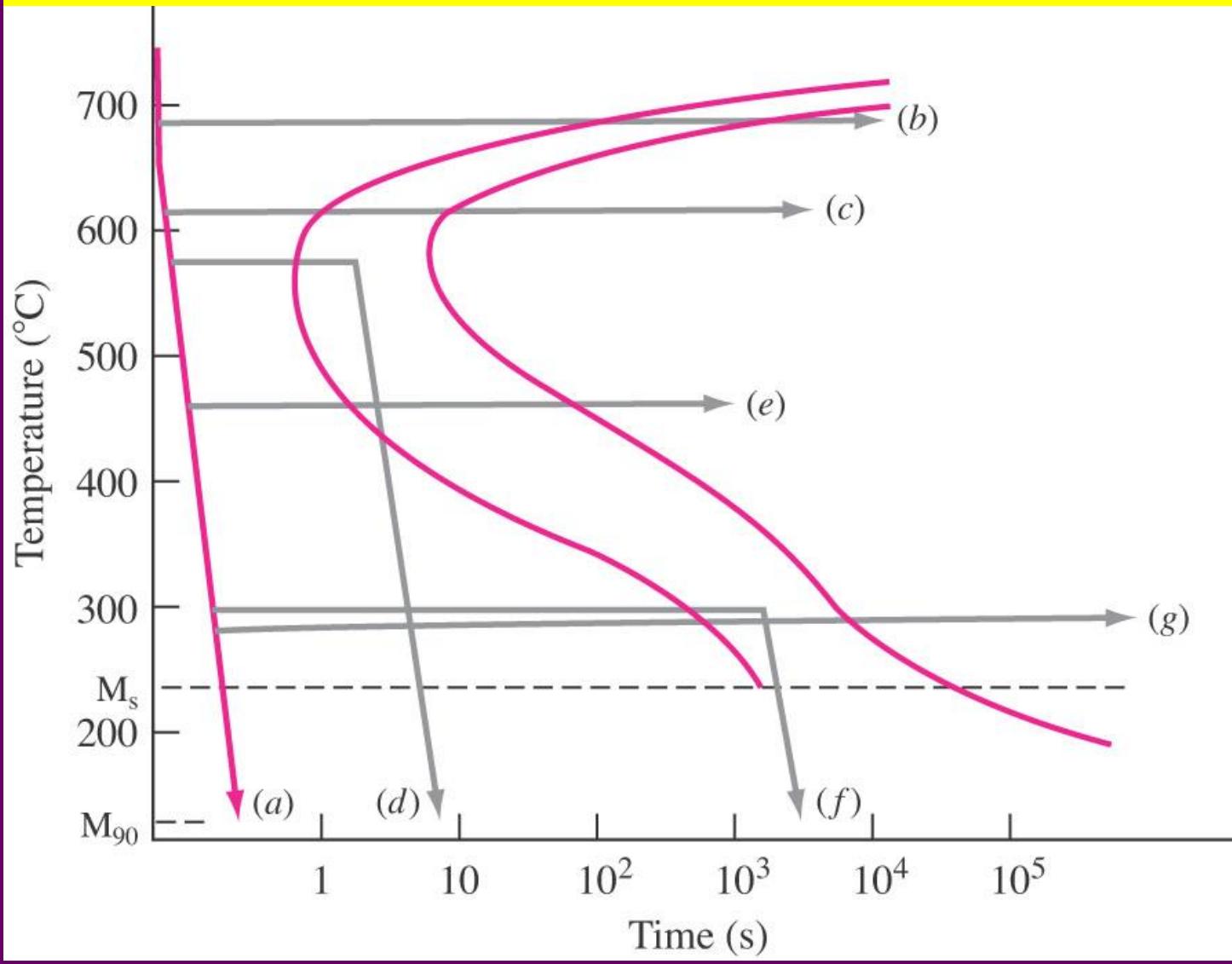
จากนั้นทำให้เย็นตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

(f) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลวอุณหภูมิ 300°C นาน 30 min.

จากนั้นทำให้เย็นตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

(g) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลวอุณหภูมิ 300°C นาน 5 h.

จากนั้นทำให้เย็นตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง



(d) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลวอุณหภูมิ $580\text{ }^{\circ}\text{C}$
นาน 2 Sec. จากนั้นทำให้เย็นตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

a) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

ได้ martensite 100 %

b) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลว

อุณหภูมิ $690\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 2 h.

จากนั้นทำให้เย็นตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

ได้ pearlite หยาบทั้งหมด

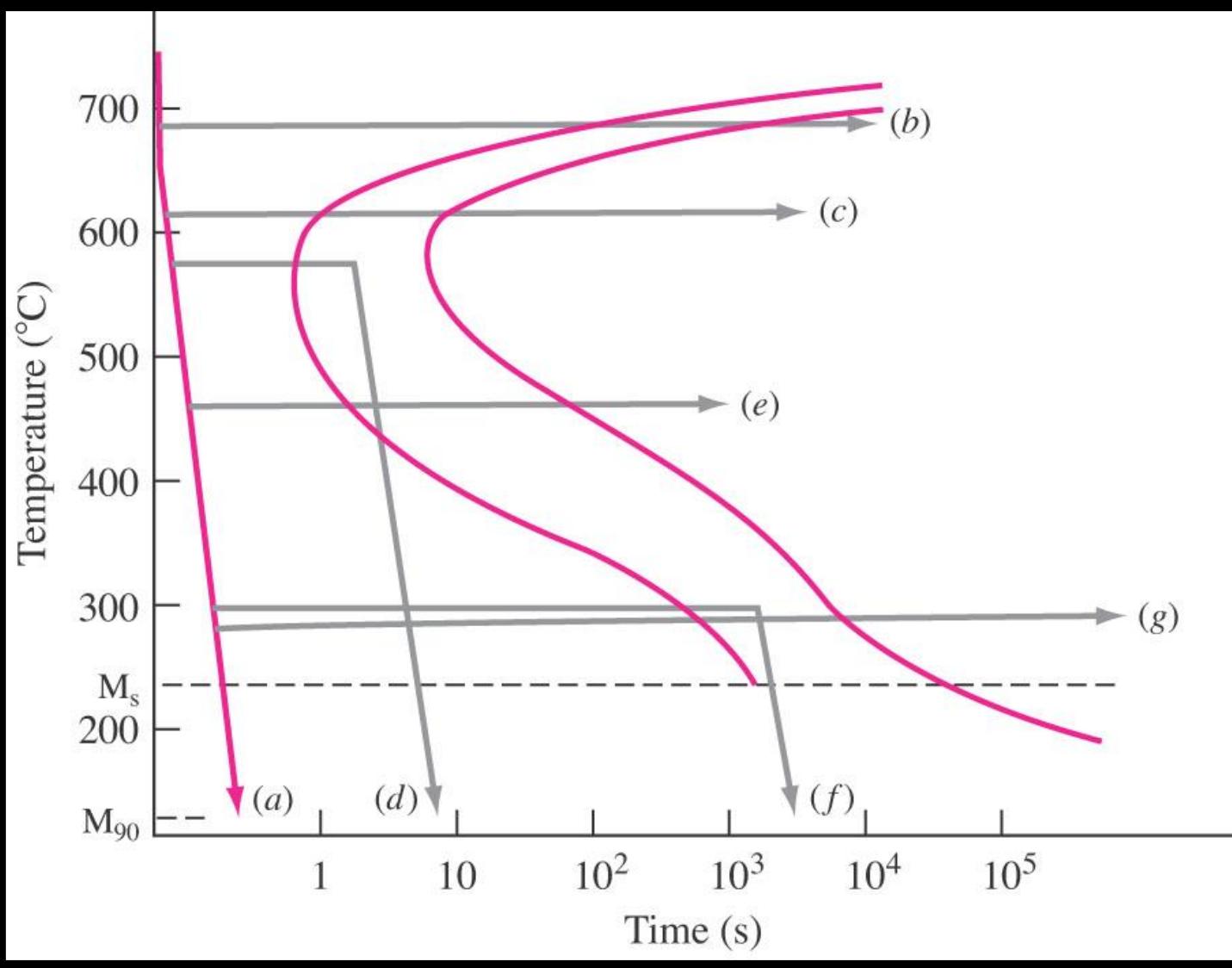
c) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลวอุณหภูมิ

$610\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 3 Min. จากนั้นทำให้เย็นตัวลง

ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

ได้ pearlite และ เอี้ยดทั้งหมด

ได้ pearlite และ เอี้ยด 50 %
และ martensite 50 %



(g) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลวอุณหภูมิ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 5 h.
จากนั้นทำให้เย็นตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

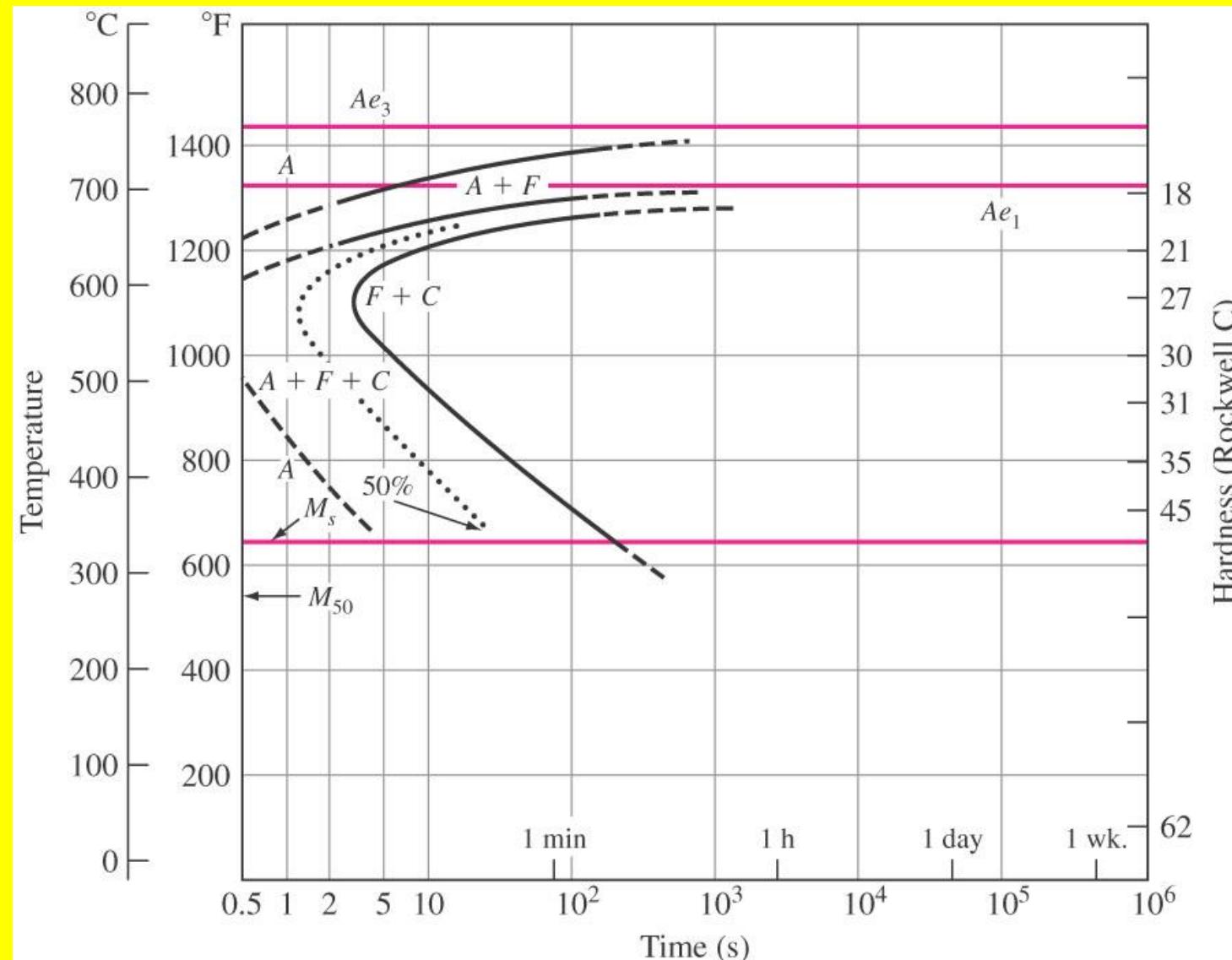
(e) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลวอุณหภูมิ $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 2 h. จากนั้นทำให้เย็นตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง Upper bainite ทั้งหมด

(f) ทำให้เย็นตัวลงทันทีในอ่างเกลือเหลวอุณหภูมิ $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ นาน 30 min.
จากนั้นทำให้เย็นตัวลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง

50% lower bainite ,
50% martensite

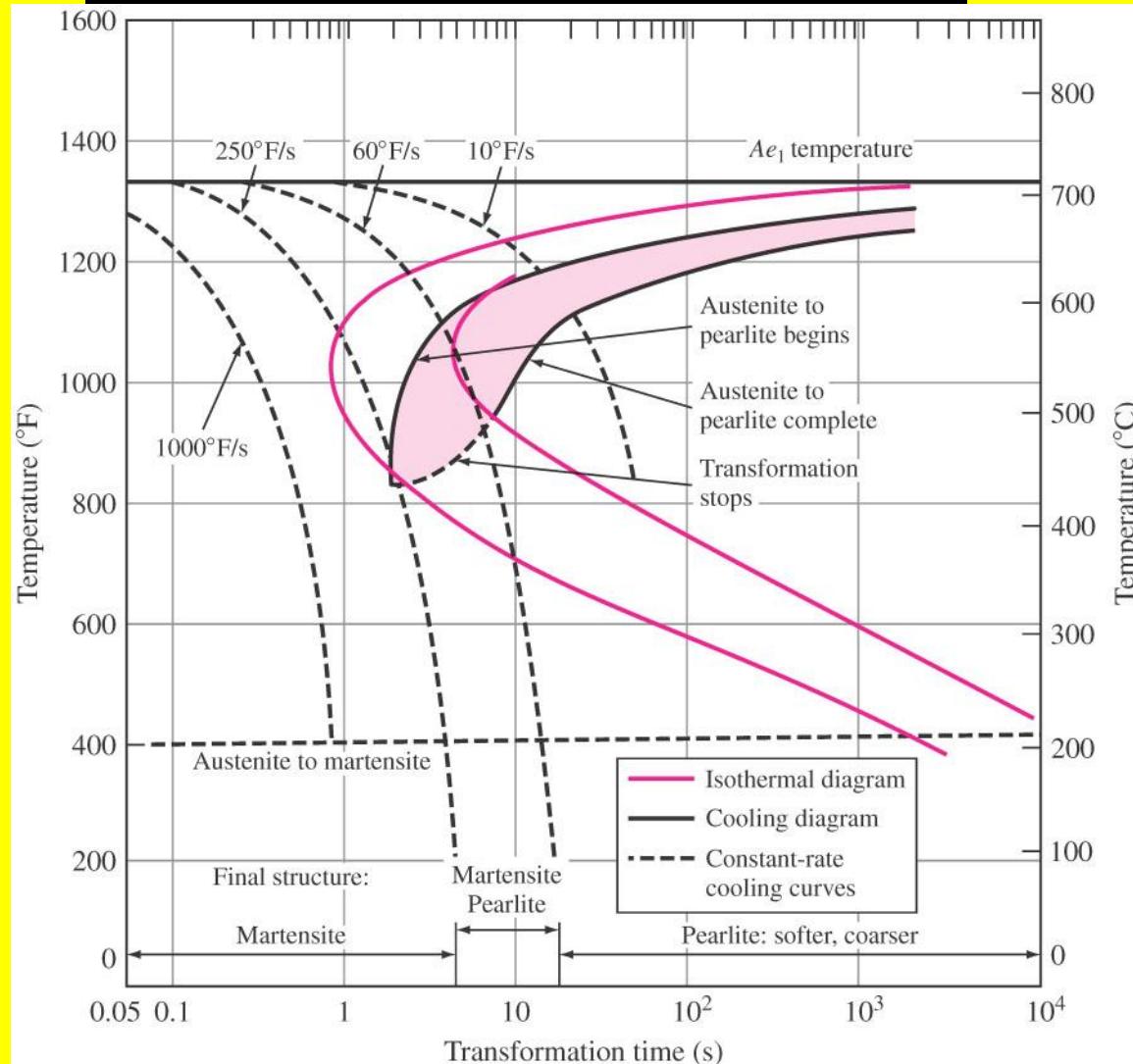
lowerer bainite ทั้งหมด

IT Diagram ของเหล็กกล้า noneutectoid plain- carbon

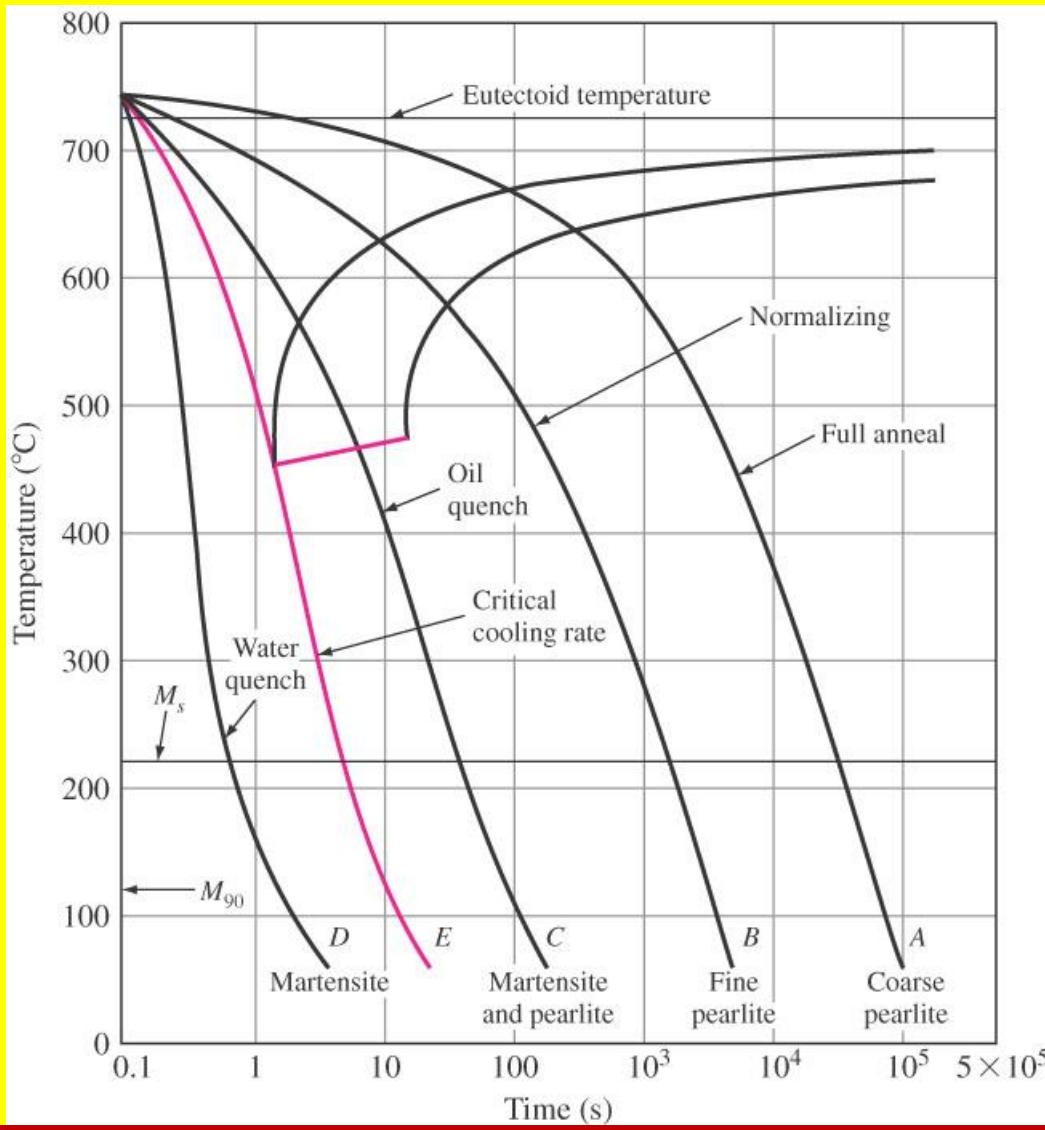


เหล็กกล้า Hypoeutectoid 0.47 %C, 0.57%Mn

CT Diagram ของเหล็กกล้า eutectoid

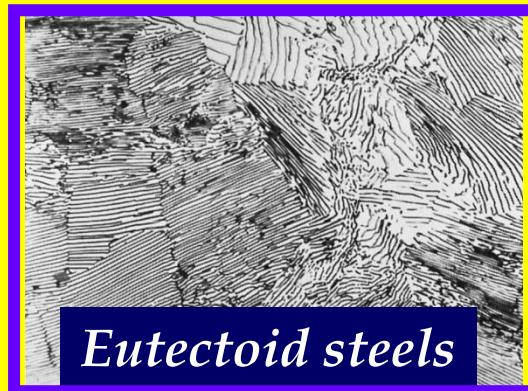
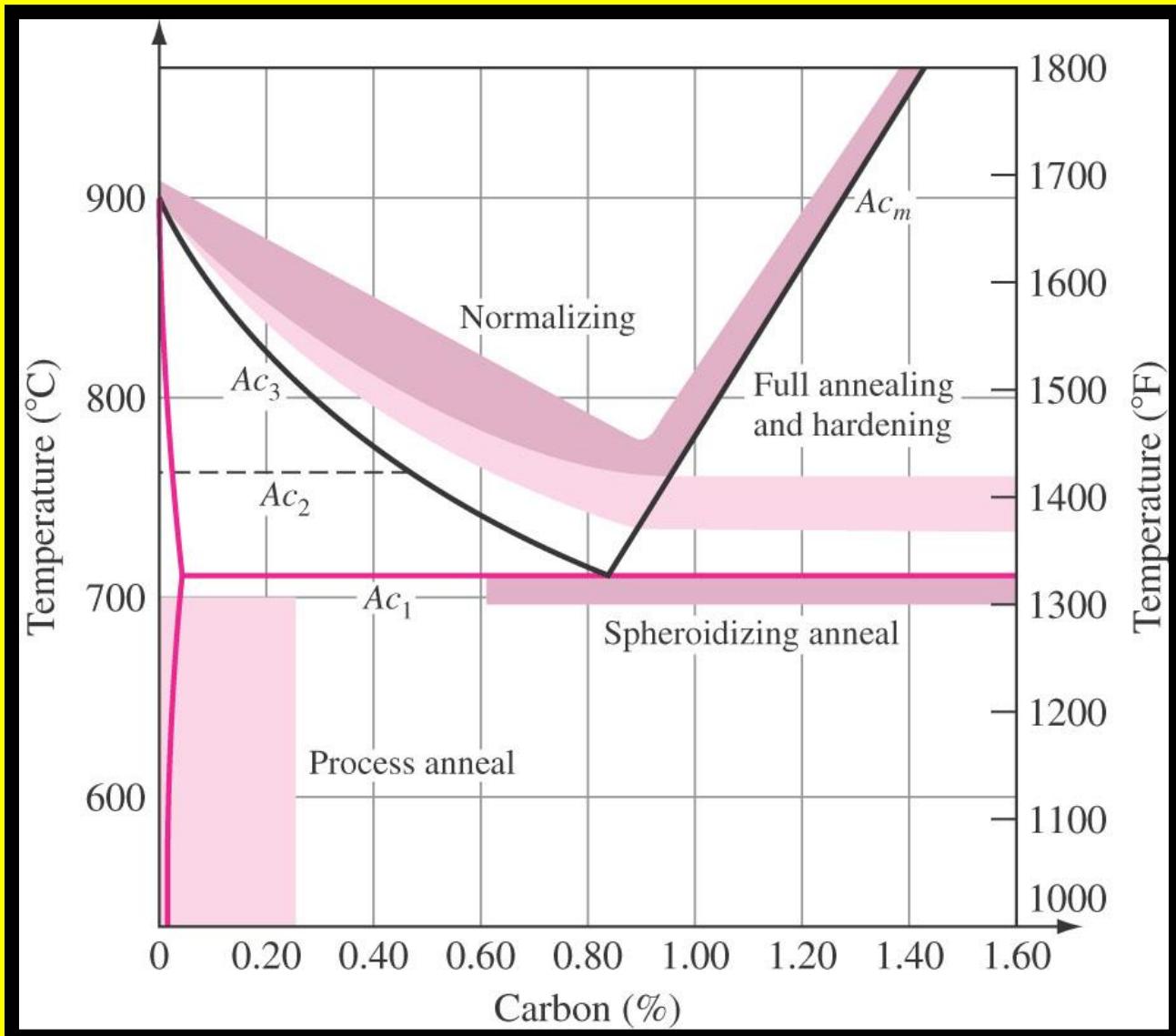


Continuous –cooling diagram ของเหล็กกล้า eutectoid

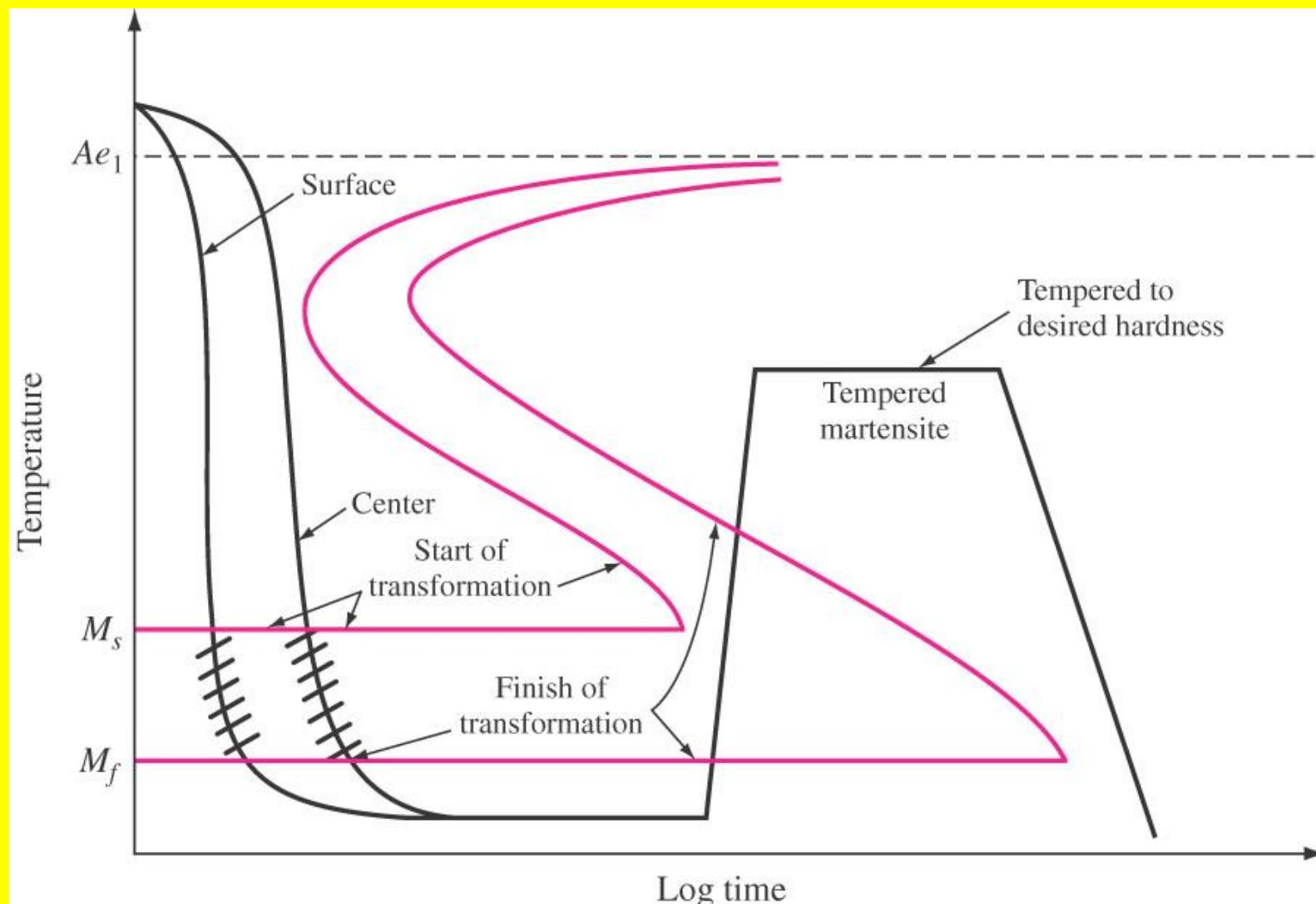


การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหล็กกล้า eutectoid ด้วยอัตราการเย็นตัวทีต่างกัน

การอบ annealing และ normalizing ของเหล็กกล้าคาร์บอน

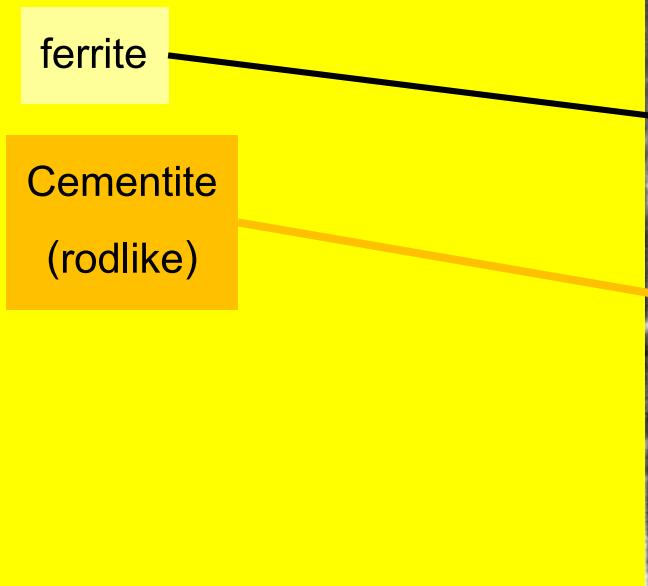


กระบวนการอบคืนตัว (tempering) ของเหล็กกล้าคาร์บอน



การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมาร์เตนไชต์ระหว่างการอบคืนตัว(tempering)

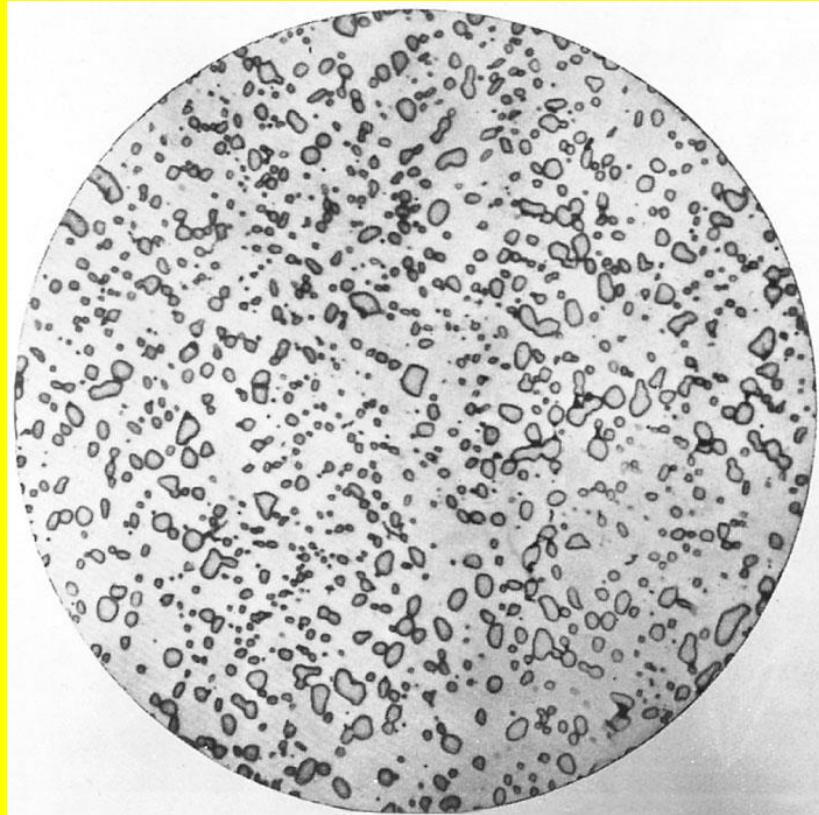
- อบที่อุณหภูมิ $< 200^{\circ}\text{C}$ จะเกิดการแตกผลึกของ ϵ carbide
- อบในช่วง $200 - 700^{\circ}\text{C}$ จะเกิดการแตกผลึกของเหล็ก carbide (Fe_3C)



การแตกผลึกของ Fe_3C ในโครงสร้างเหล็กกล้า $0.39\% \text{C}$ อบช่วง $200-300^{\circ}\text{C}$

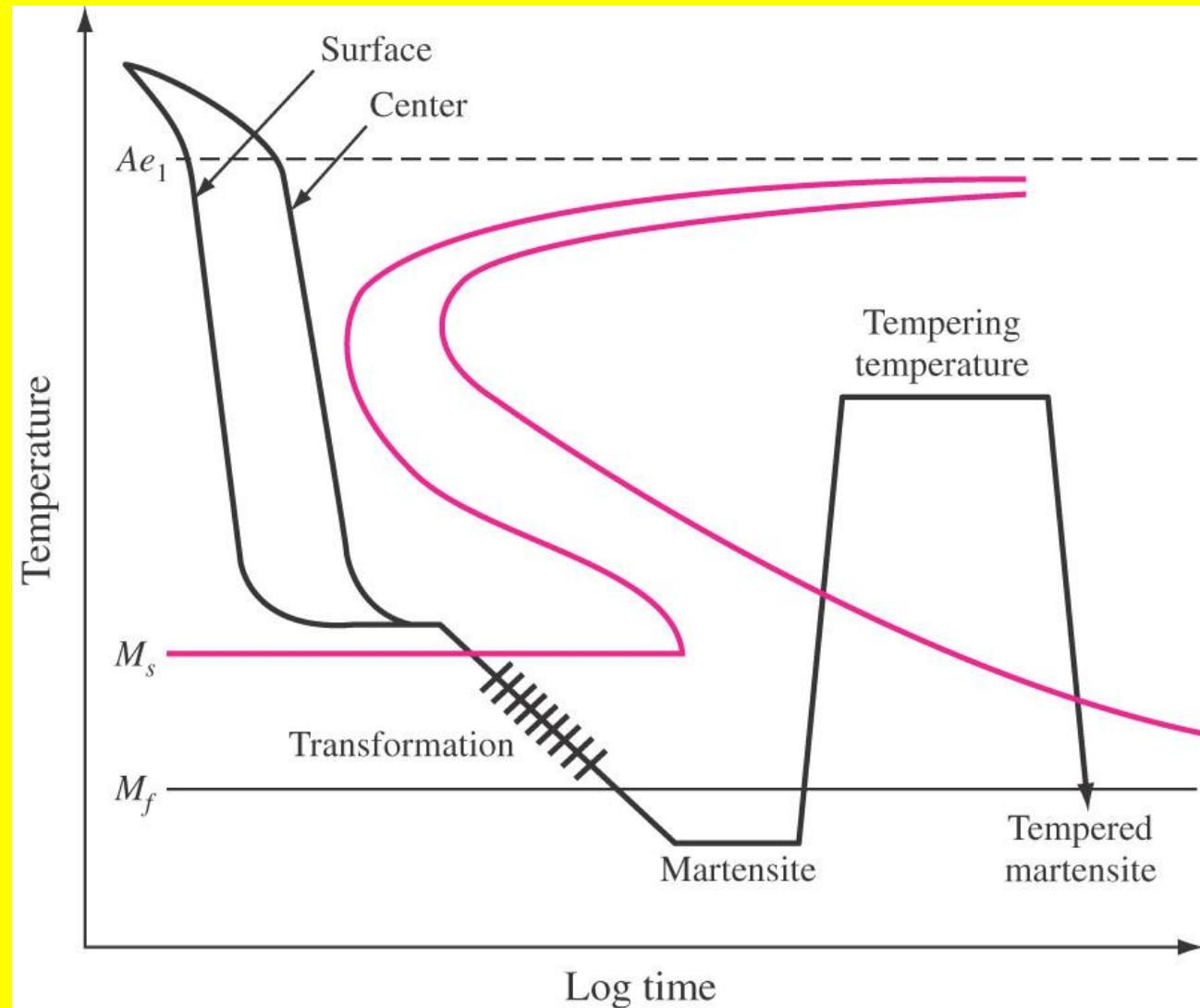
การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมาร์เต็นไซต์ระหว่างการอบคืนตัว(tempering)

- เหล็กกล้า Hypereutectoid 1.1 %C อบที่อุณหภูมิ $400-700^{\circ}\text{C}$ โครงสร้างจะได้คาร์บิดกลม

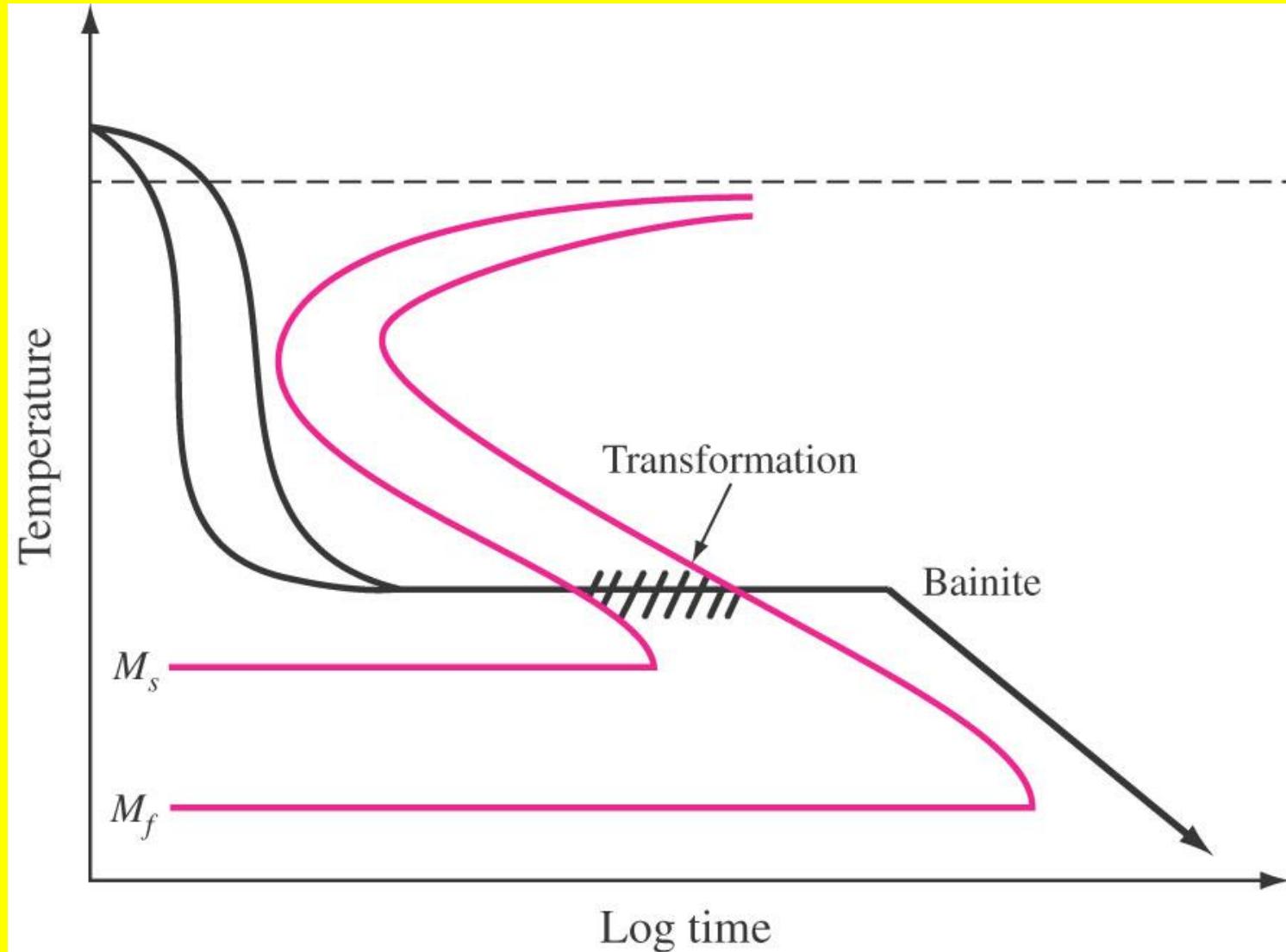


Spheroidite in 1.1%C hypereutectoid steels

กระบวนการ Martempering



กระบวนการ Austempering



2. Low -Alloys Steels(เหล็กกล้าผสมต่ำ)

- เหล็กกล้าผสมต่ำ ธาตุอื่นที่ผสม 1 – 4 %

ปัญหาของเหล็กกล้าคาร์บอน

- ไม่สามารถทำให้มีความแข็งแรงมากกว่า 100,000 psi หรือ 690 MPa โดยความเหนียวและความเหนียวต้านแรงกระแทกไม่ลด
- ไม่มีความสามารถในการซุบแข็งกับเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีความหนา
- มีความต้านทานการกัดกร่อนต่ำ
- การซุบแข็งโดยการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว กับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง จะทำให้เกิดการแตก
- ที่อุณหภูมิต่ำเหล็กกล้าคาร์บอนไม่มีความเหนียวต้านแรงกระแทก



AISI Designation

XXXX
Alloy Carbon
contents content

AISI Designation	Composition Range			
	Ni	Cr	Mo	Other
10XX				0.08-0.33S
11XX				0.10-0.35S
12XX				0.04-0.12P
13XX				1.60-1.90Mn
40XX			0.20-0.30	
41XX		0.80-1.10	0.15-0.25	
43XX	1.65-2.00	0.40-0.90	0.20-0.30	
46XX	0.70-2.00		0.15-0.30	
48XX	3.25-3.75		0.20-0.30	
51XX		0.70-1.10		
61XX		0.50-1.10		0.10-0.15V
86XX	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	
92XX				1.80-2.20Si

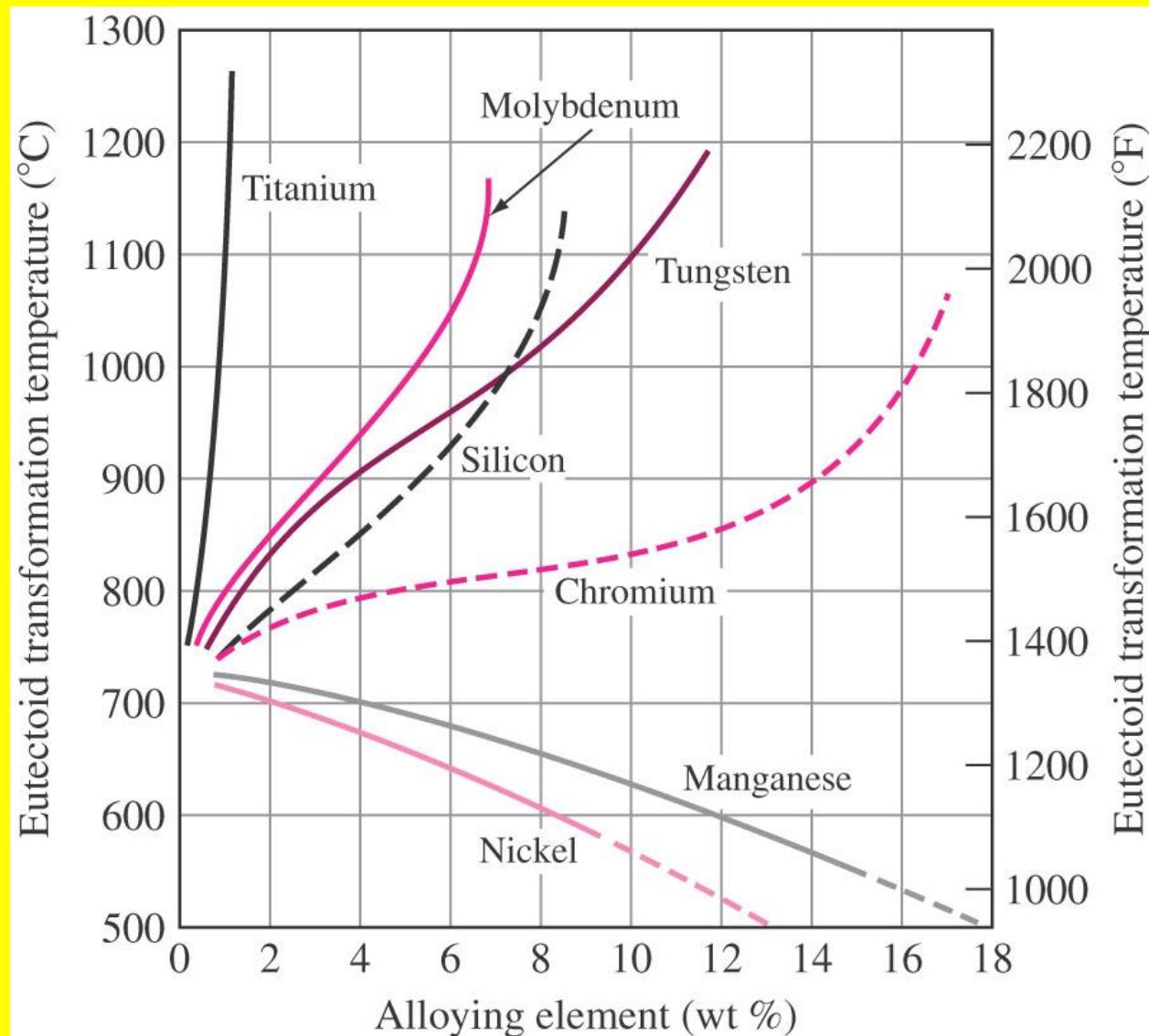
ตารางที่ 4
เหล็กกล้าผสานชนิดต่าง ๆ

13XX	Manganese 1.75
40XX	Molybdenum 0.20 or 0.25; or molybdenum 0.25 and sulfur 0.042
41XX	Chromium 0.50, 0.80, or 0.95, molybdenum 0.12, 0.20, or 0.30
43XX	Nickel 1.83, Chromium 0.50 or 0.80, molybdenum 0.25
44XX	Molybdenum 0.53
46XX	Nickel 0.85 or 1.83, molybdenum 0.20 or 0.25
47XX	Nickel 1.05, chromium 0.45, molybdenum 0.20 or 0.35
48XX	Nickel 3.50, molybdenum 0.25
50XX	Chromium 0.40
51XX	Chromium 0.80, 0.88, 0.93, 0.95, or 1.00
51XX X	Chromium 1.03
52XXX	Chromium 1.45
61XX	Chromium 0.60 or 0.95, vanadium 0.13 or 0.15
86XX	Nickel 0.55, chromium 0.50, molybdenum 0.20
87XX	Nickel 0.55, chromium 0.50, molybdenum 0.25
88XX	Nickel 0.55, chromium 0.50, molybdenum 0.35
92XX	Silicon 2.00; or silicon 1.40 and chromium 0.70
50BXX*	Chromium 0.28 or 0.50
51BXX*	Chromium 0.80
81BXX*	Nickel 0.30, chromium 0.45, molybdenum 0.12
94BXX*	Nickel 0.45, chromium 0.40, molybdenum 0.12

Distribution of Alloying Elements in Alloy Steels

Element	Dissolve in ferrite	Combined in carbide	Combined as carbide	Combined compound	Elemental
Nickel	Ni			Ni_3Al	
Silicon	Si			$\text{SiO}_2 \cdot \text{M}_x\text{O}_y$	
Manganese	Mn	Mn	$(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{C}$	$\text{MnS}; \text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$	
Chromium	Cr	Cr	$(\text{Fe},\text{Cr}_3)\text{C}$ Cr_7C_3 Cr_{23}C_6		
Molybdenum	Mo	Mo	Mo_2C		
Tungsten	W	W	W_2C		
Vanadium	V	V	V_4C_3		
Titanium	Ti	Ti	TiC		
Columbium	Cb	Cb	CbC		
Aluminum	Al			$\text{Al}_2\text{O}_3; \text{AlN}$	
Copper	Cu (small amount)				
Lead					Pb

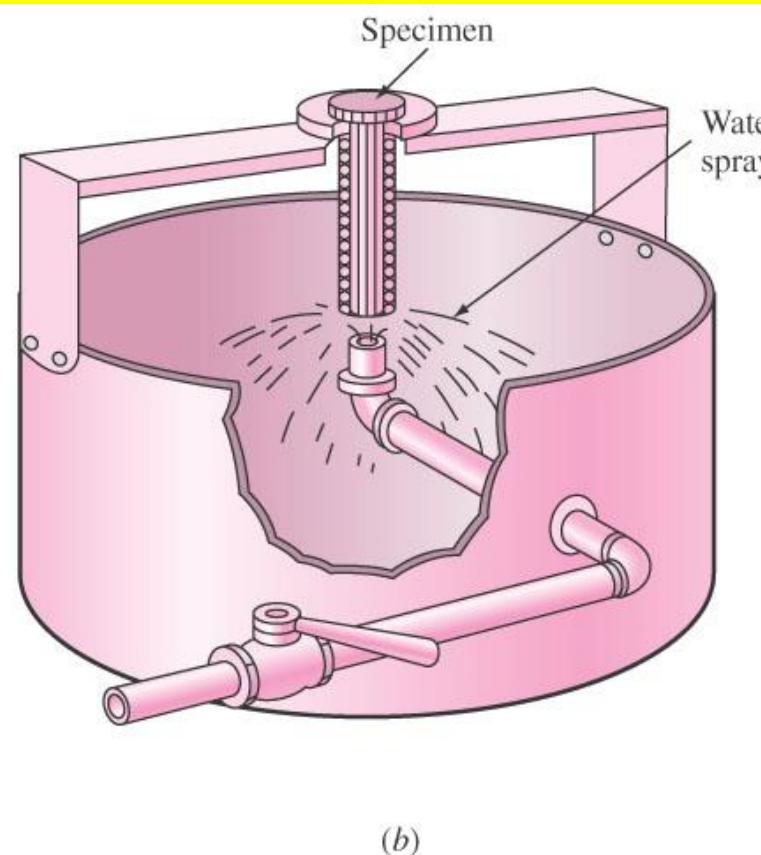
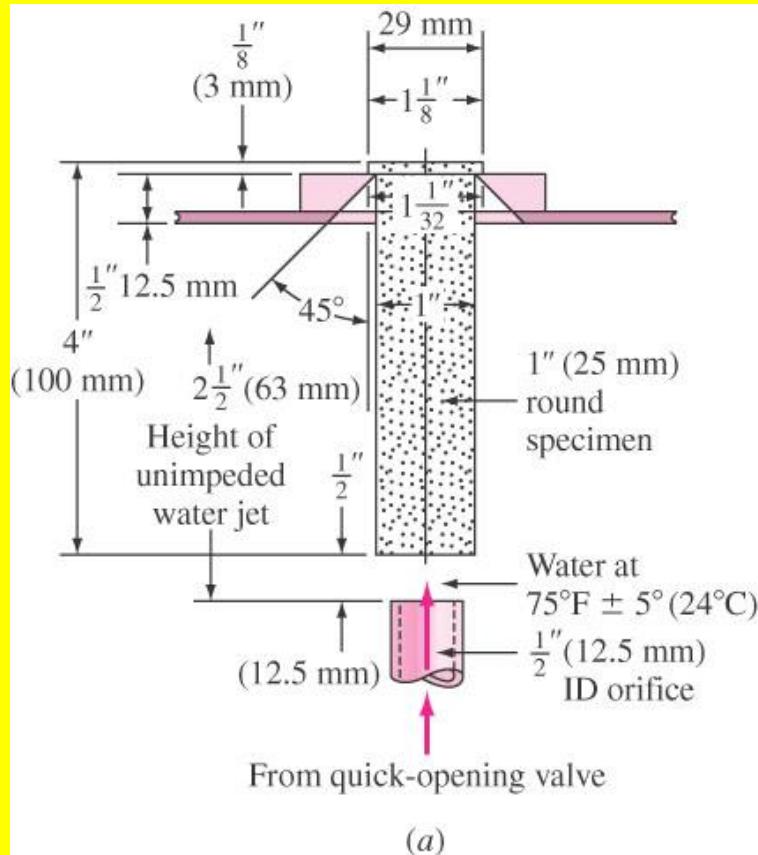
ผลของการเจือธาตุต่าง ๆ ต่ออุณหภูมิยेक्तอยด์ของเหล็กกล้า



ความสามารถในการซุบแข็งของเหล็กกล้า (*Hardenability*)

Hardenability ขึ้นกับ ● ส่วนผสมทางเคมี

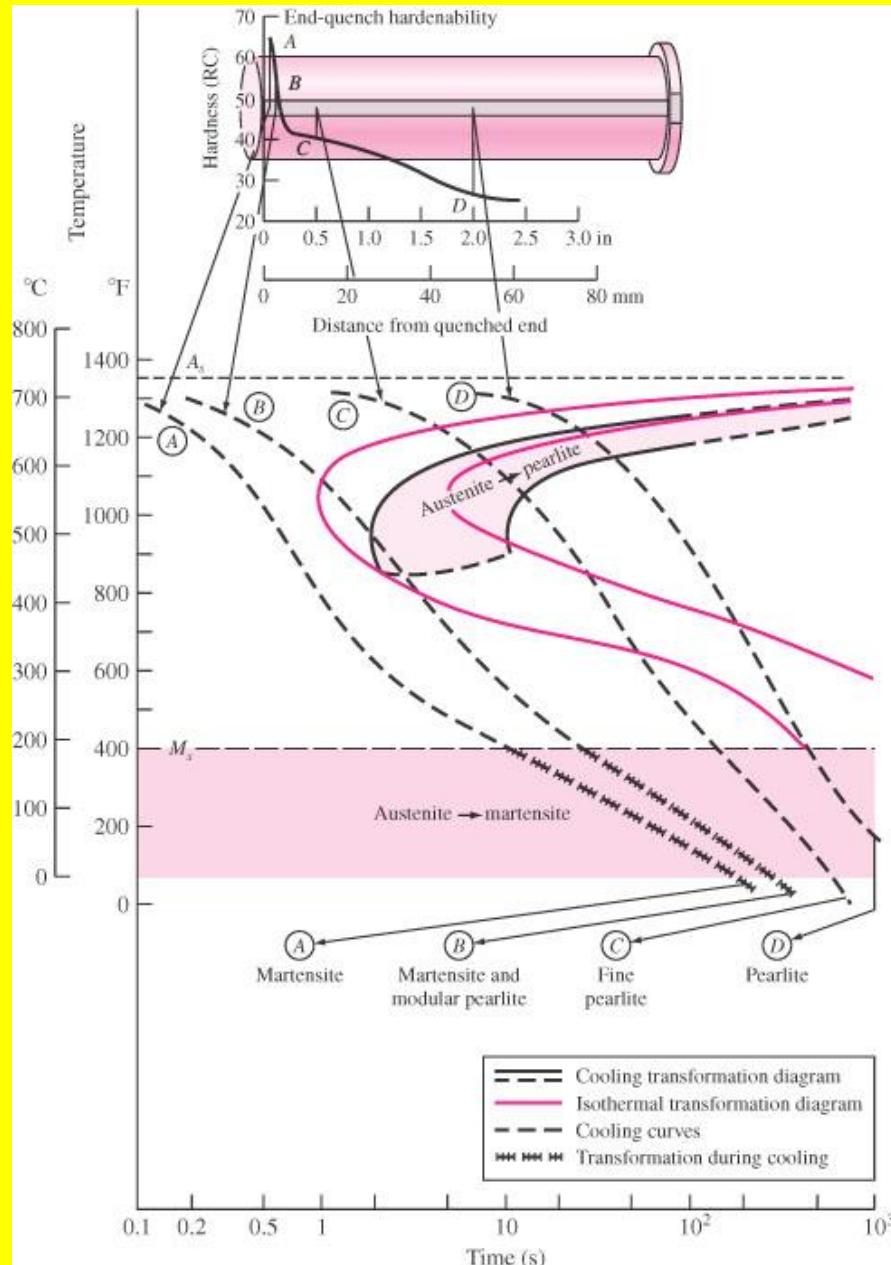
- ขนาดของเกรน austenite
- โครงสร้างของเหล็กก่อน quench



ภาพ การทดสอบ end – quench hardenability วิธี Jominy hardenability test

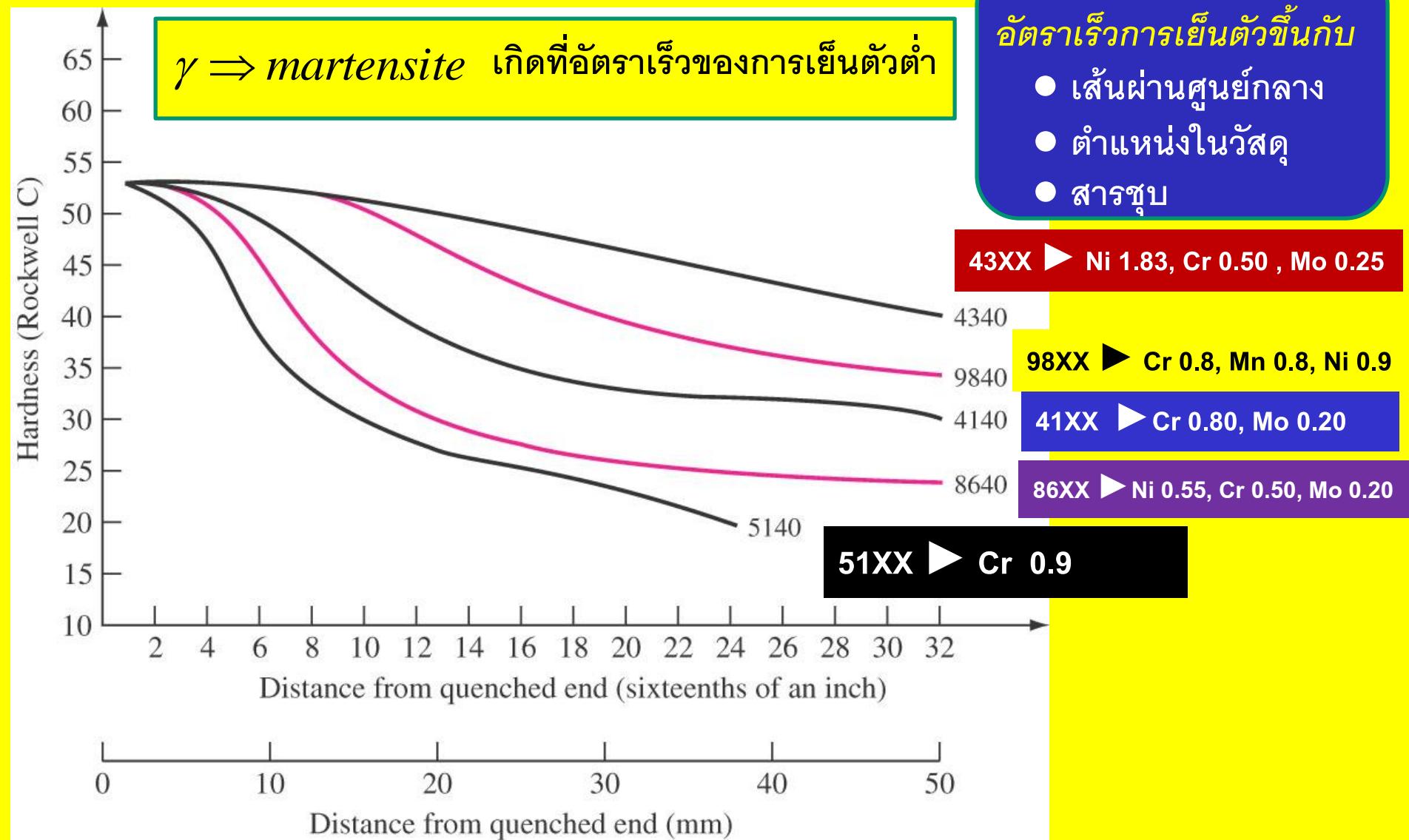
เหล็กกล้าคาร์บอน 1080

- ความสามารถในการชุบแข็งตัว
- ที่ A 65 HRC
- ที่ B 50 HRC (3/16 in.)
- เหล็กที่หนามาก ไม่สามารถชุบแล้วได้มาร์เตนซิตทั้งหมด



ภาพ ความสัมพันธ์ระหว่าง CT diagram กับ end-quench hardenability test

- เหล็ก 4340 มีความสามารถในการชุบแข็งสูง เพราะ ?

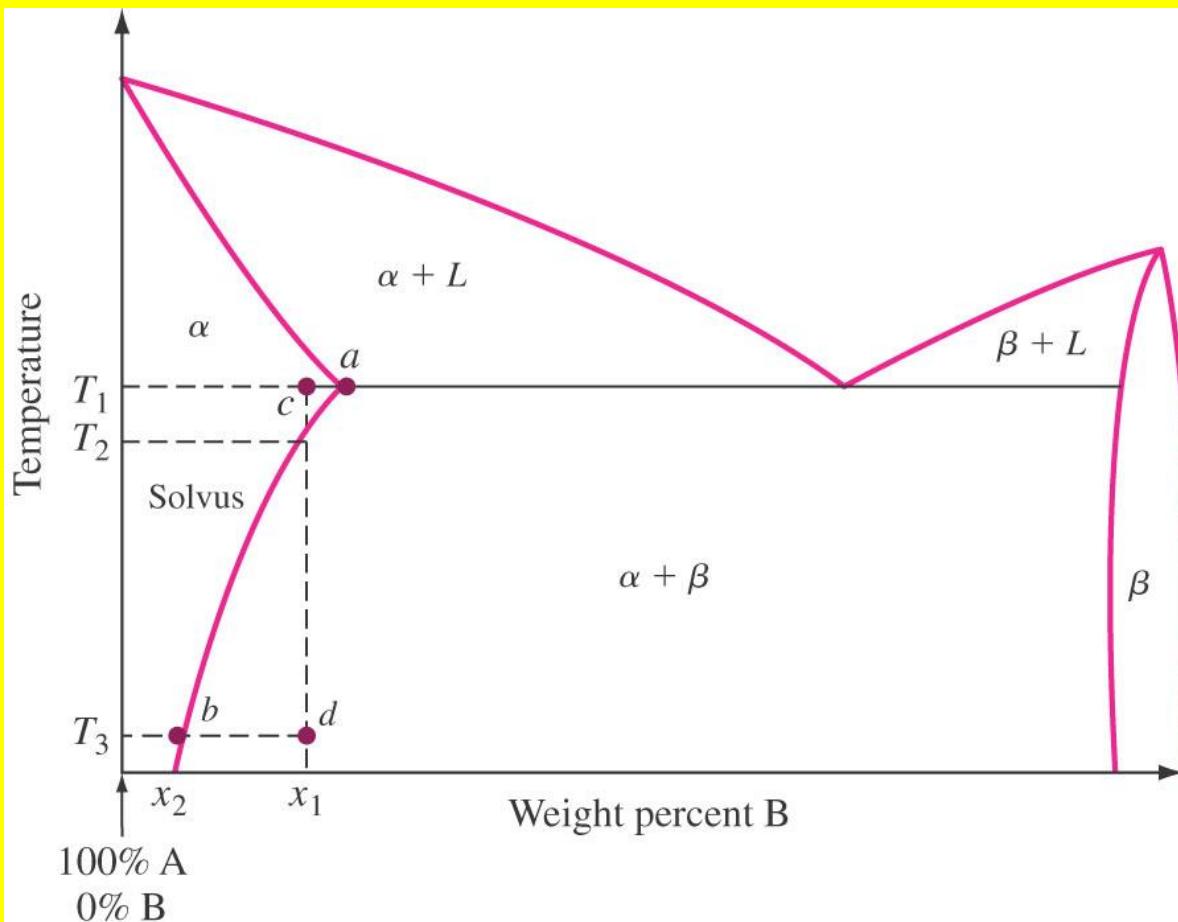


ภาพ การเปรียบเทียบความสามารถในการชุบแข็งของเหล็กเหล็กกล้าพสมที่มีคาร์บอน 0.4%

3. Aluminum Alloys

- โครงสร้าง สมบัติ และ การประยุกต์ใช้งาน

การเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกตะกอน



- ความสามารถของ B ที่ละลายใน A ลดลงตามอุณหภูมิ

กระบวนการเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกตะกอน มี 3 ขั้นตอน

1. Solution Heat Treatment (solutionizing)

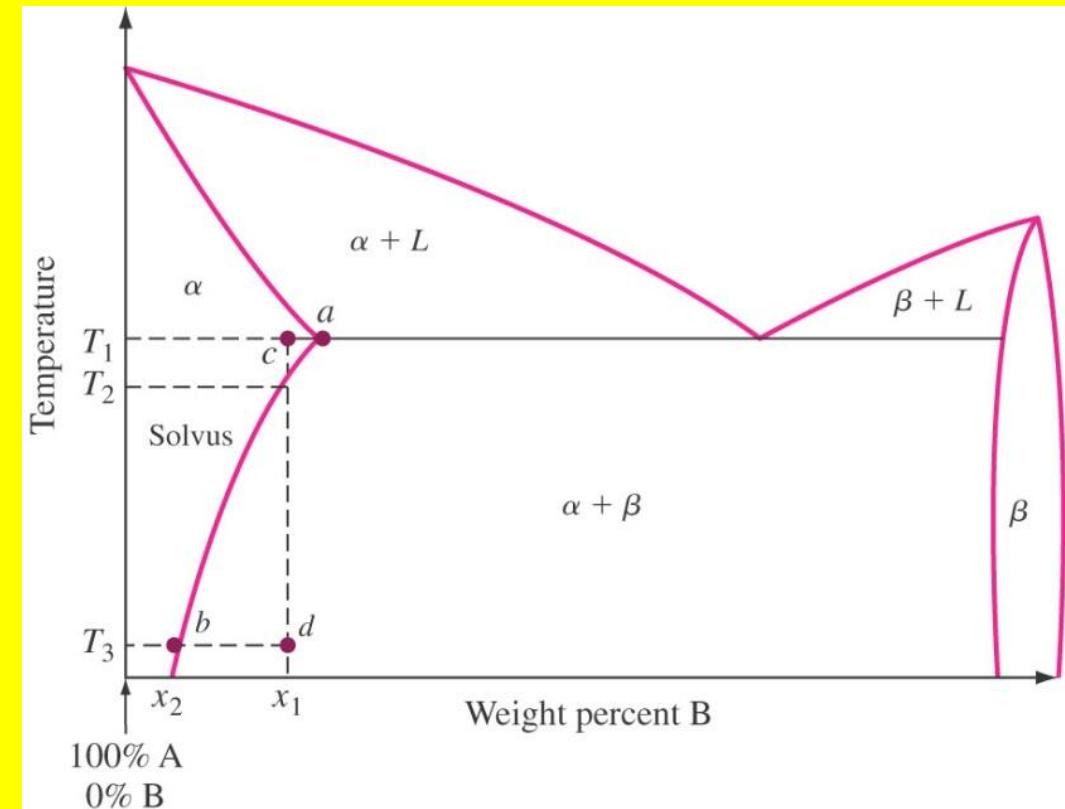
- อบชิ้นงานให้อยู่ระหว่างเส้น solvus กับ solidus
- โครงสร้างได้สารละลายน้ำแข็ง α

2. Quenching

- ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง
- ได้สารละลายน้ำแข็ง α ที่อิ่มตัวやすดิริจ

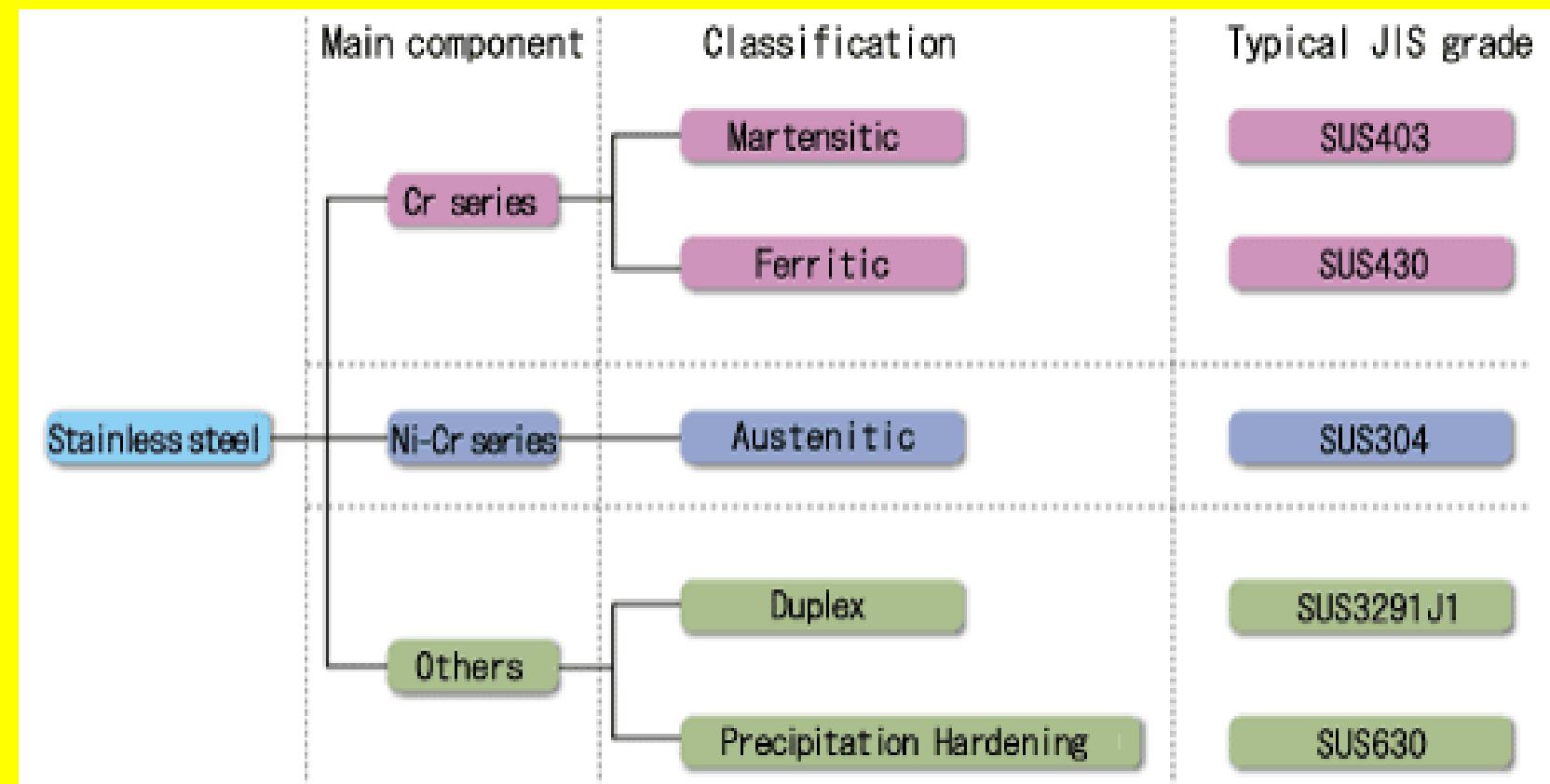
3. Aging

- ให้ α กระจายอย่างสม่ำเสมอ
- บ่มที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า natural aging
- บ่มที่อุณหภูมิสูง เรียกว่า artificial aging



4. Stainless Steels

- เหล็กกล้าไร้สนิม หรือ สเตนเลส นั้น ในทางโลหะวิทยาถือว่าเป็นโลหะผสมที่มีโครเมียมอย่างน้อยที่สุด 11%
- การที่ไม่เกิดสนิมอันเนื่องมาจากการเกิดเป็นพิล์มนบางๆ เคลือบผิวเหล็กไว้ป้องกันการทำปฏิกิริยากันระหว่างออกซิเจนในอากาศกับเนื้อเหล็กไว้
- แบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

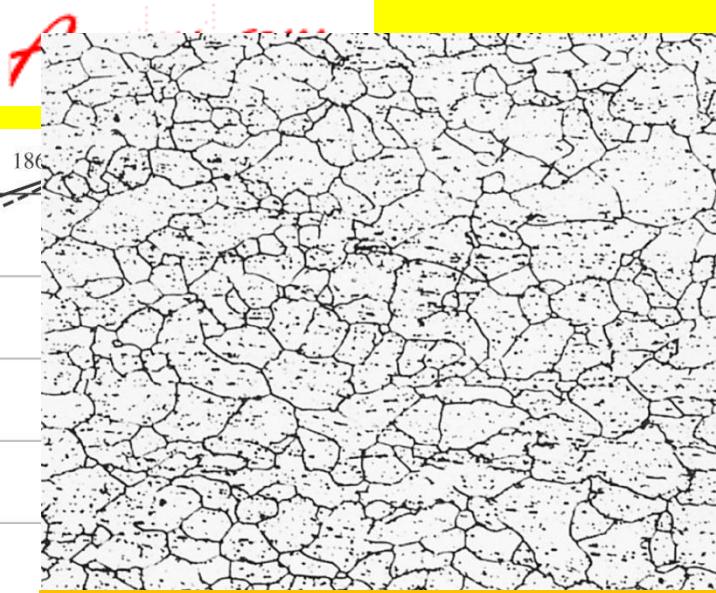
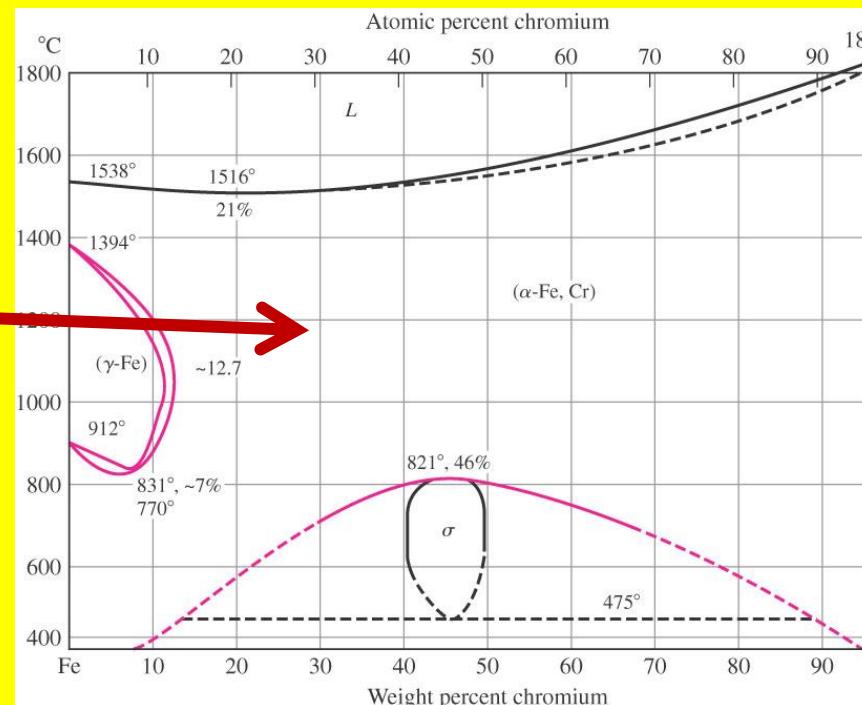
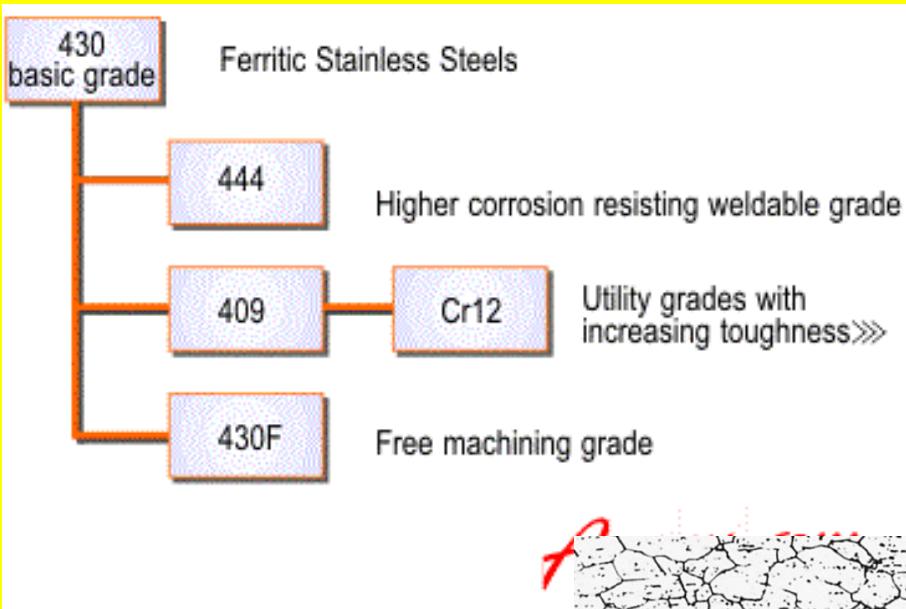


Ferritic Stainless Steels

- กลุ่มเฟอริติก (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด(magnetic)
ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำ
โครเมียม 12 – 30 %
- ราคาถูก เพราะไม่มีนิกเกิล
ทนต่อความร้อน และการกัดกร่อน
- Cr > 12 % ไม่มีการเปลี่ยนเฟส
จาก FCC → BCC

การนำไปดัดให้ความต้านทานการ
กัดกร่อนลดลง

การแก๊ส ปั๊จจุบันได้ลด C
และ N ทำให้ความต้านทาน
การกัดกร่อนดีขึ้น



โครงสร้าง Ferritic Stainless Steels(430)
อบอุ่นที่ 788°C ควรนำไปดัดกระเจยในโครง
สร้างหลักเพื่อรีเซ็ต

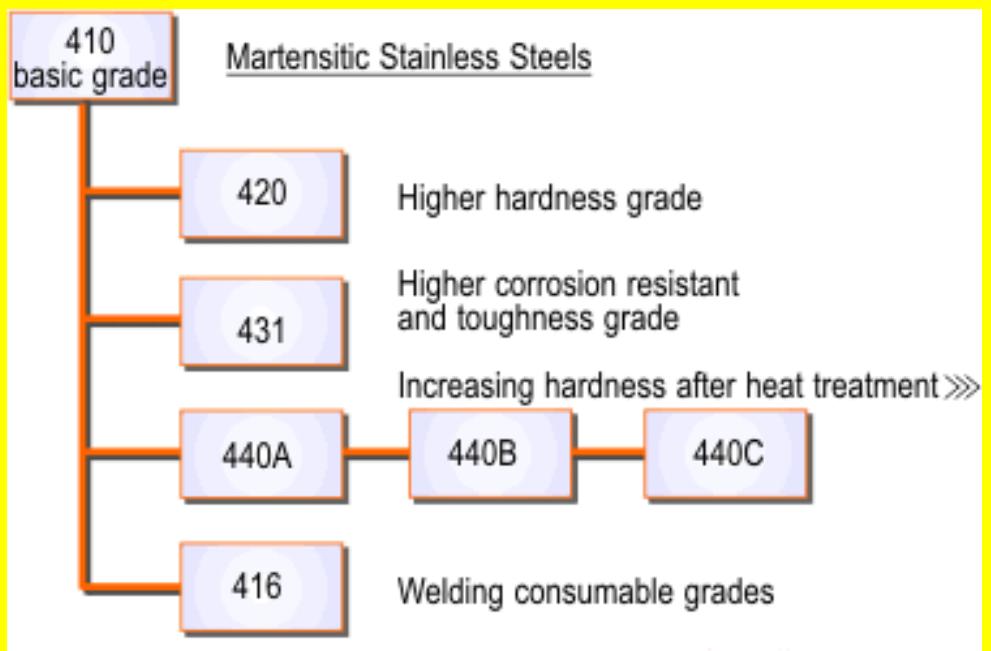
สมบัติเชิงกลและการใช้งานของเหล็กกล้าไร้สนิม

Alloy Number	Chemical composition	Condition	Tensile Strength		Yield Strength		Elongation in 2 in.(%)	Typical application
			ksi	MPa	ksi	Mpa		
<i>Ferritic Stainless Steels</i>								
430	17Cr, 0.012C	Annealed	75	517	50	345	25	General-purpose, nonhardable Uses: range hood, restaurant equipment
446	25Cr, 0.20C	Annealed	80	552	50	345	20	High-temperature applications: heaters, combustion chamber

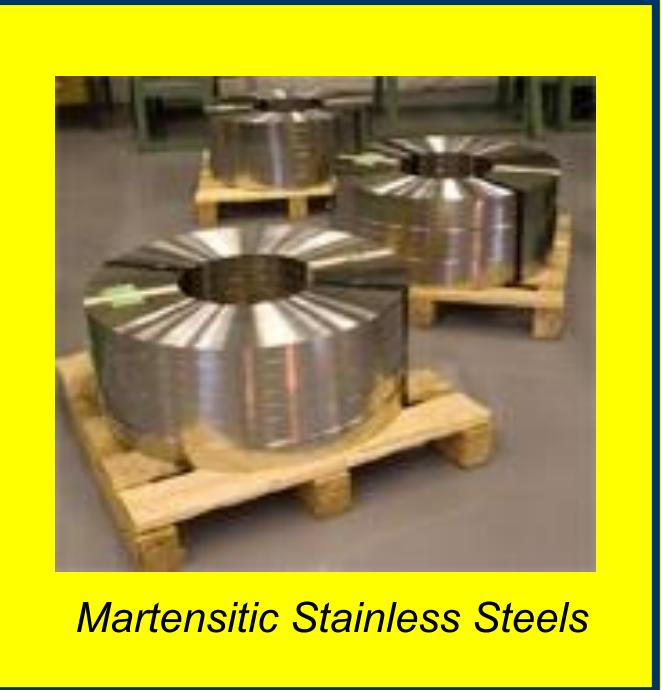


Martensitic Stainless Steels

- กลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) แม่เหล็กดูดไม่ติด
- ส่วนผสม 12-1%Cr, 0.15 – 1 %C, 0.2 – 1%Mo
- เพิ่มความแข็งโดยการอบชุบ



ทำให้ความต้านทาน
การกัดกร่อน
เพิ่มขึ้น



Martensitic Stainless Steels



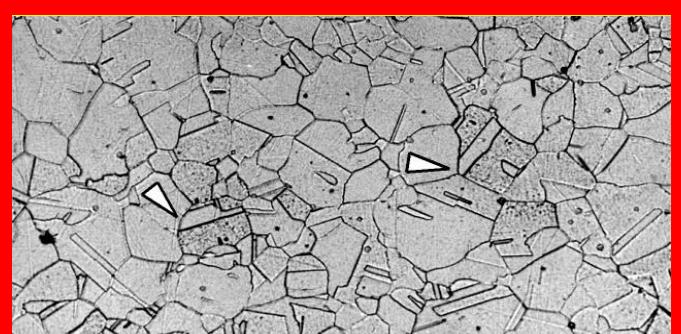
สมบัติเชิงกลและการใช้งานของเหล็กกล้าไร้สนิม

Alloy Number	Chemical composition	condition	Tensile		Yield		Elongation in 2 in.(%)	Typical application
			Strength ksi	MPa	Strength ksi	Mpa		
<i>Martensitic Stainless Steels</i>								
410	12.5Cr, 0.15C	Annealed Q&T	75	517	40	276	30	General-purpose, heat-treatable machine parts, pump shaft, valves
440A	17Cr, 0.70C	Annealed Q&T	105 265	724 1828	60 245	414 1690	20 5	Cutlery, bearing, surgical tools
440C	17Cr, 1.1C	Annealed Q&T	110 285	759 1966	70 275	276 1897	13 2	Balls, bearing, races, valve parts

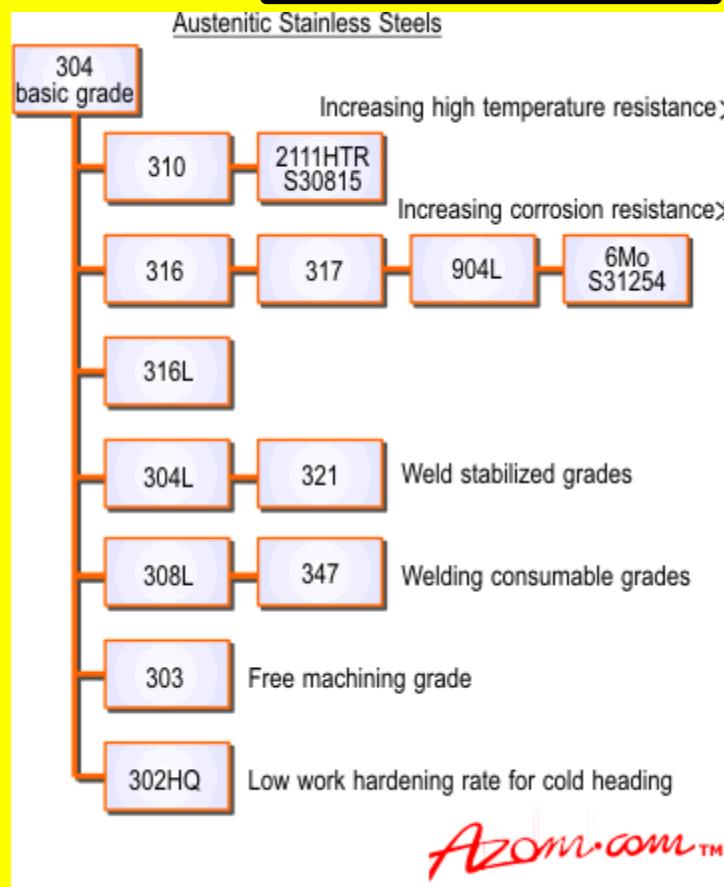


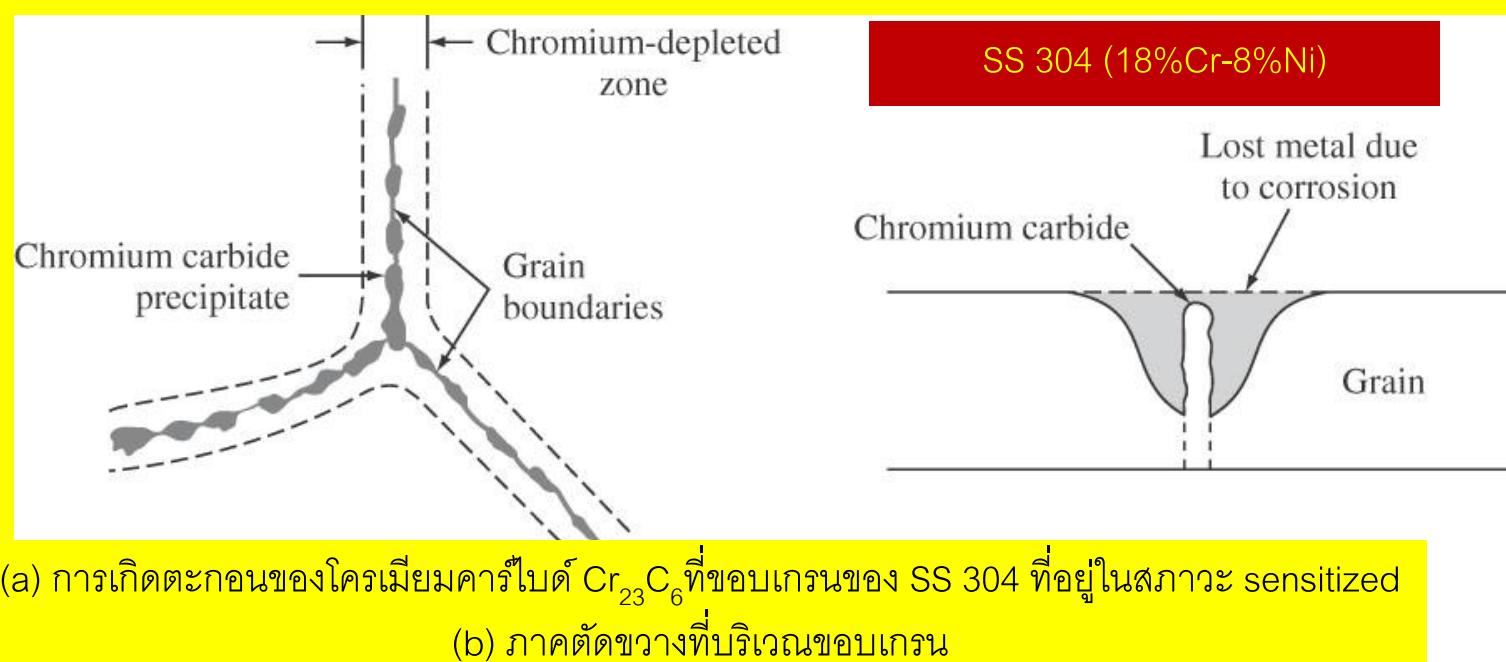
Austenitic Stainless Steels

- สมบัติที่แม่เหล็กดูดไม่ติด (non – magnetic)
- ส่วนผสม Cr 16 - 25 %, C \leq 0.15%, Ni 7 – 20 %
- เกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายเกรด 18/10 มีส่วนผสมของ Cr 18% และ Ni 10%
- ต้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่าเกรด ferritic และ martensitic

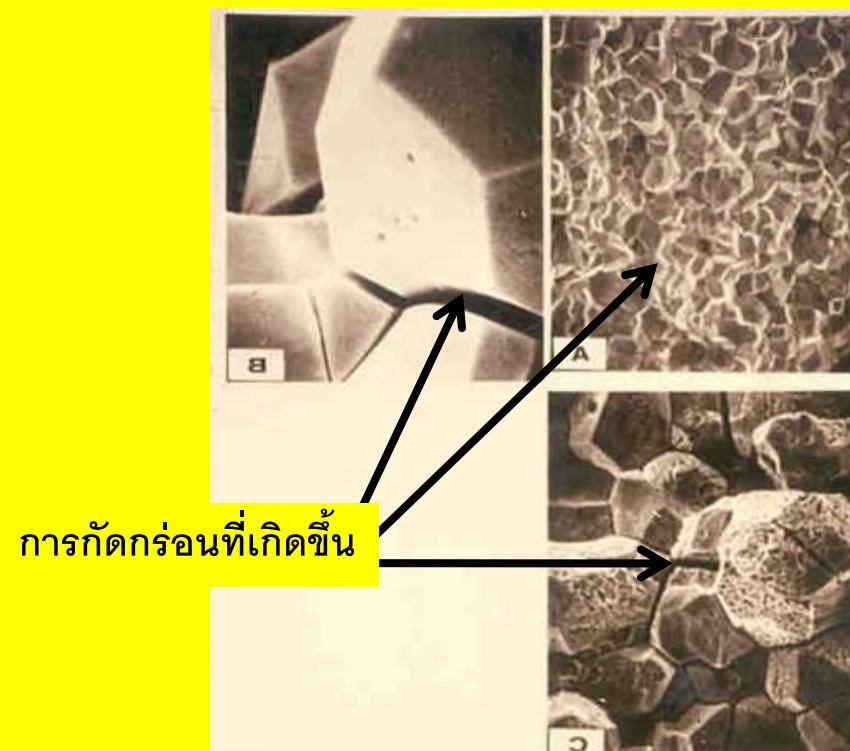
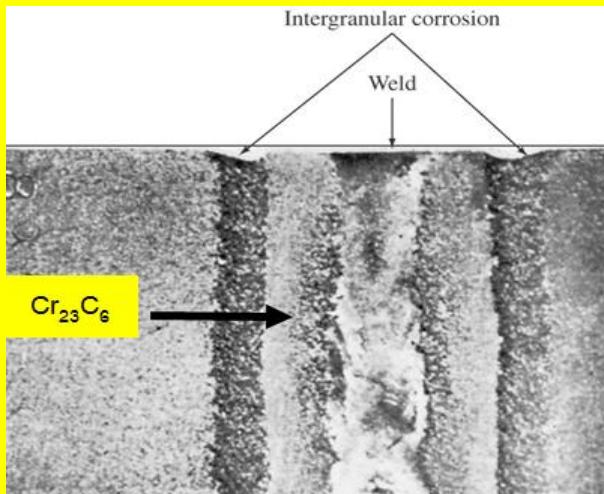


โครงสร้างปร่องอบด้วยเฟสของ
austenite





(a) การเกิดตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ Cr_{23}C_6 ที่ขอบเกรนของ SS 304 ที่อยู่ในสภาวะ sensitized
 (b) ภาคตัดขวางที่บริเวณขอบเกรน

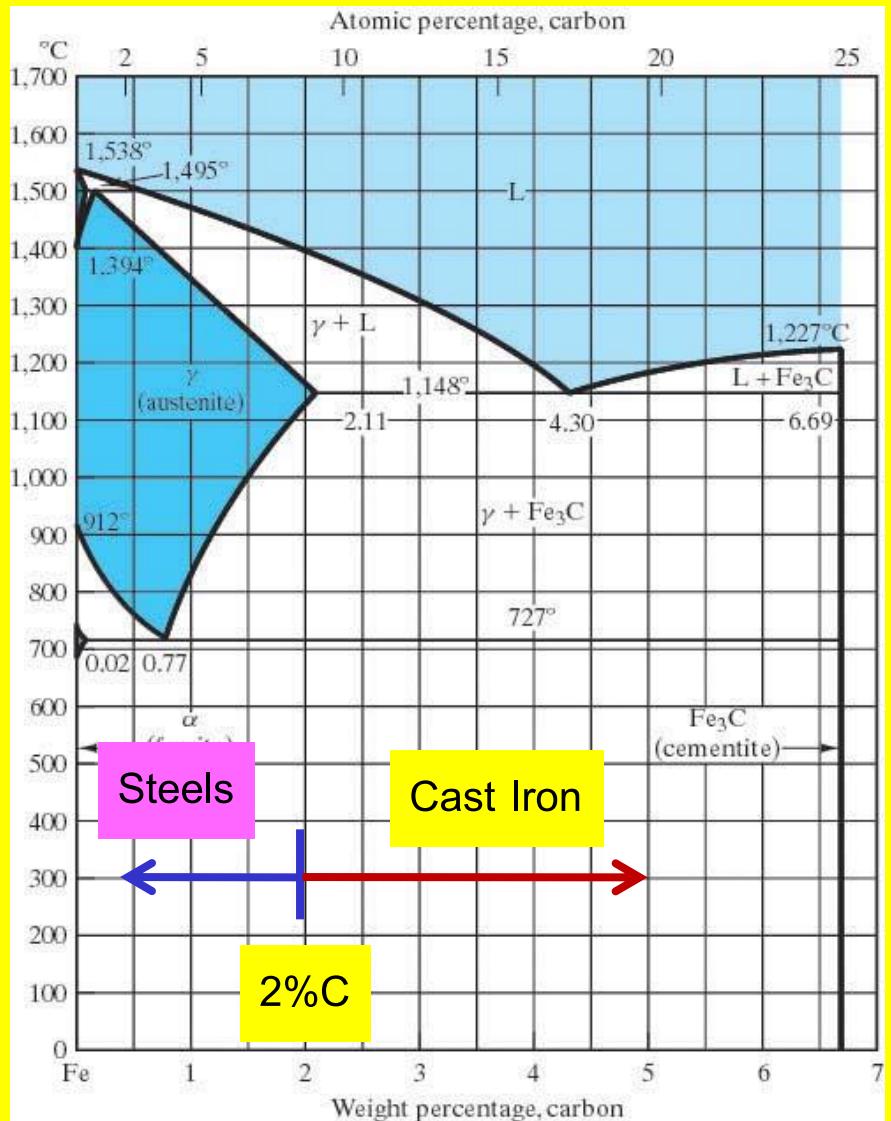


สมบัติเชิงกลและการใช้งานของเหล็กกล้าไร้สนิม

Alloy	Chemical composition	condition	Tensile		Yield		Elongation in 2 in.(%)	Typical application
			Strength ksi	MPa	Strength ksi	Mpa		
			<i>Austenitic Stainless Steels</i>					
301	17Cr, 7C	Annealed	110	759	40	276	60	High work-hardening rate alloy; Structural applications
304	19Cr, 10Ni	Annealed	84	580	42	290	55	Chemical and food processing equipment
304L	19Cr, 10Ni, 0.03	Annealed	81	559	39	269	55	Low carbon for welding; chemical tanks



5. Cast Irons



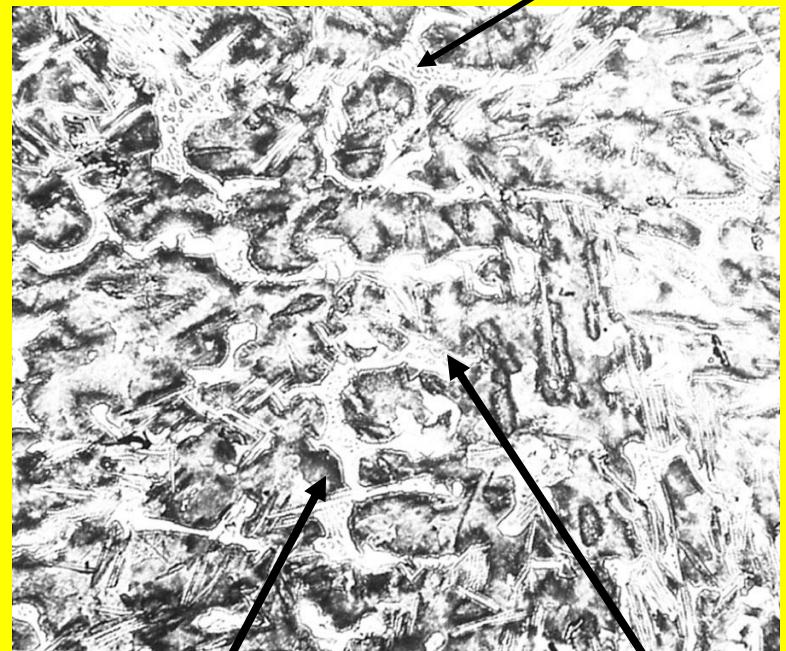
ประเภทของเหล็กหล่อ

- เหล็กหล่อขาว
- เหล็กหล่อเทา
- เหล็กหล่อเนียนๆ
- เหล็กหล่ออบเนียนๆ

ส่วนผสมหลัก

C 2.5 – 4 %, Si 1 – 3%

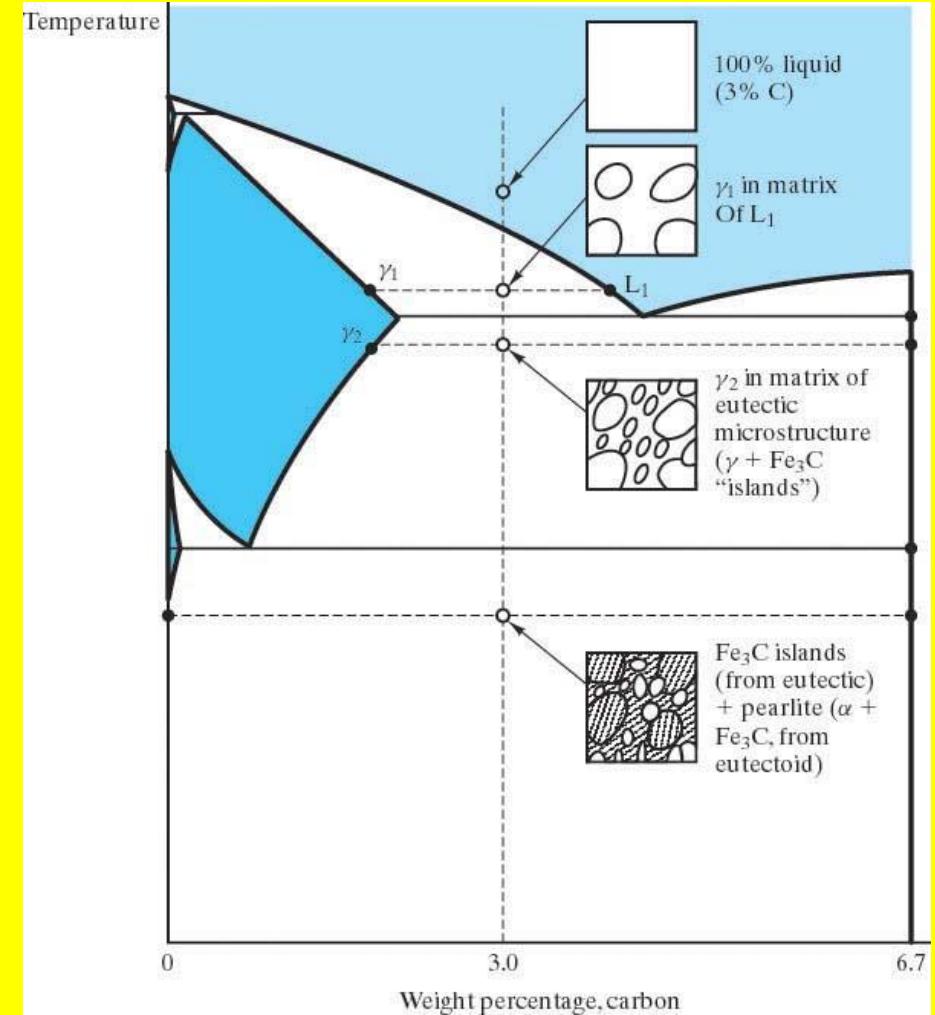
เหล็กหล่อขาว (White Cast Iron)



Pearlite

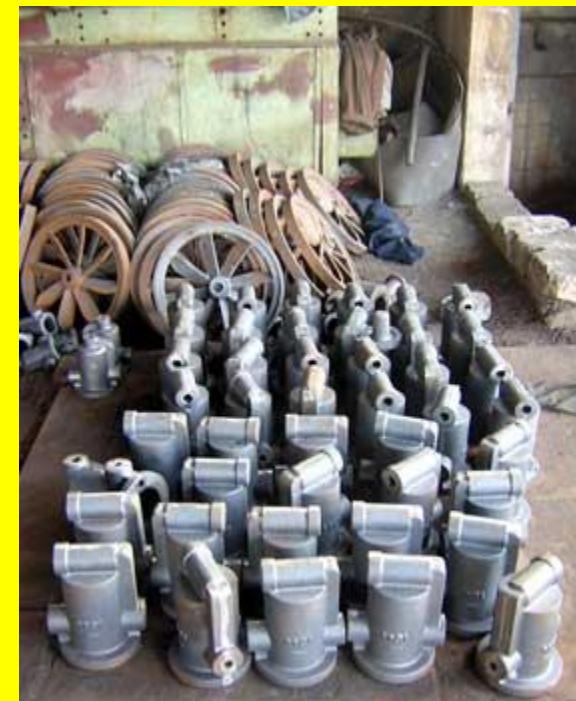
Cementite(Fe_3C)

Ledeburite



เหล็กหล่อขาว (*White Cast Iron*)

- การประยุกต์ใช้งาน
- ใบพัดเครื่องมือ หัวรีดอัด ถังผสมซีเมนต์



เหล็กหล่อเทา (Grey Cast Iron)

เกล็ดกราไฟต์
(graphite flake)

Ferrite



โครงสร้างจุลภาค

เหล็กหล่อเทา (Grey Cast Iron)

- การประยุกต์ใช้งาน
- โครงมอเตอร์ ตัวเรือนห้องเกียร์ชนิดต่างๆ
ภาชนะรับความดัน ตัวเรือนเครื่องยนต์
และอื่นๆ

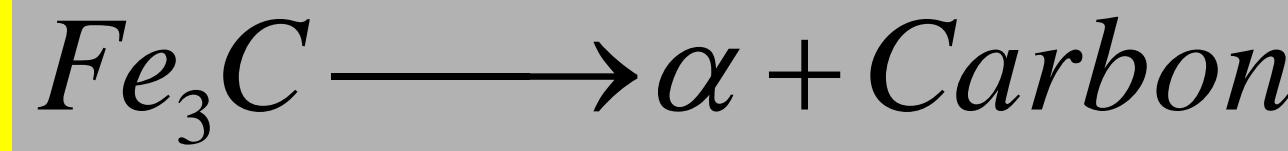
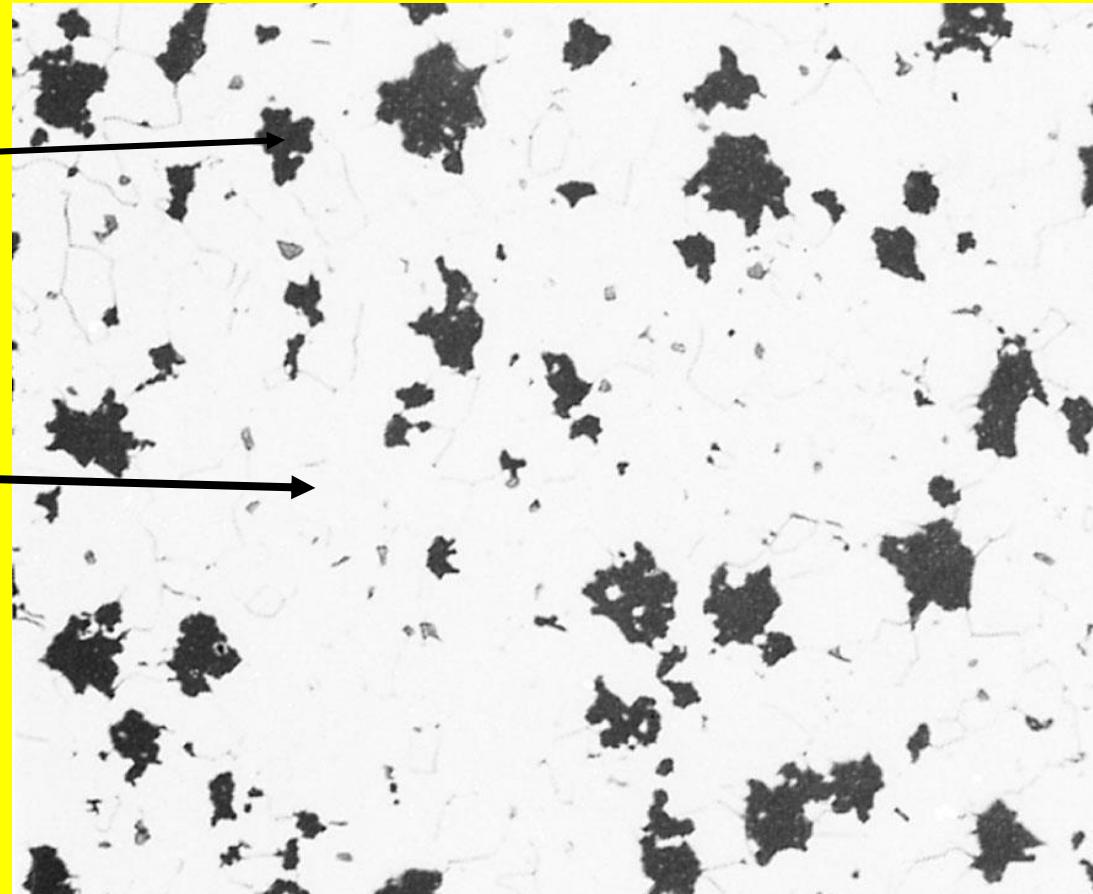


เหล็กหล่ออบเนื้อ (Malleable Cast Iron)

โครงสร้างจุลภาค

Tempered
carbon

Ferrite(α)



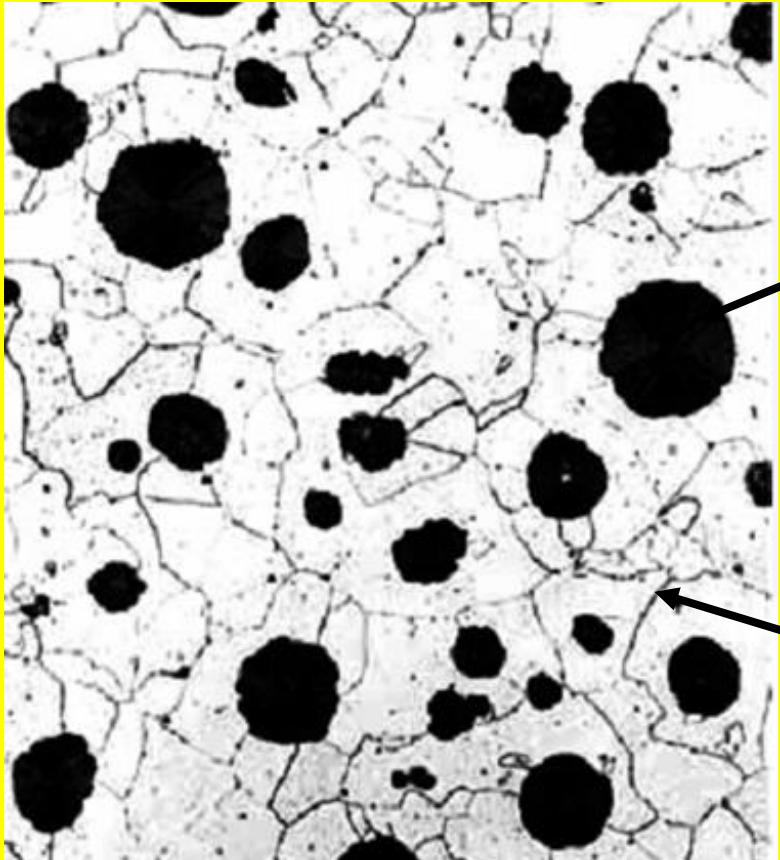
เหล็กหล่ออบเนินยา (Malleable Cast Iron)

การประยุกต์ใช้งาน

- กระปุกเพ่องห้ายรถยนต์
เพลาข้อเหวี่ยง เพ่องเกียร์
ค้อน ประจำ และ อื่นๆ



เหล็กหล่อเนียน (Ductile Cast Iron)



กราไฟต์กลม
(Spheroidal graphite)

Ferrite

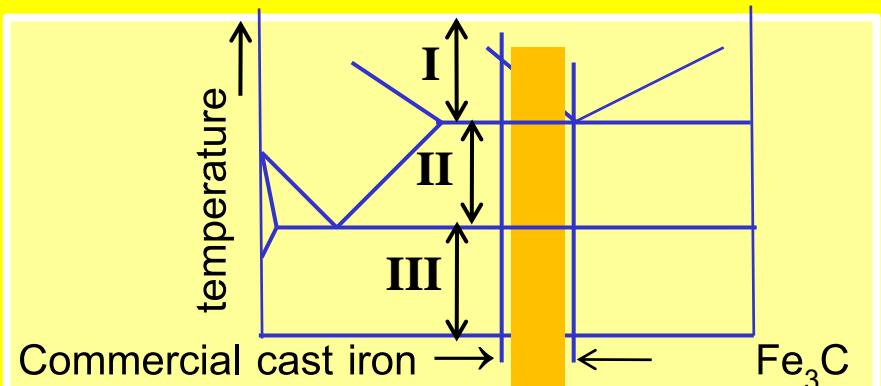
โครงสร้างจุลภาค

เหล็กหล่อเนนี่ยา (Ductile Cast Iron)

การประยุกต์ใช้งาน

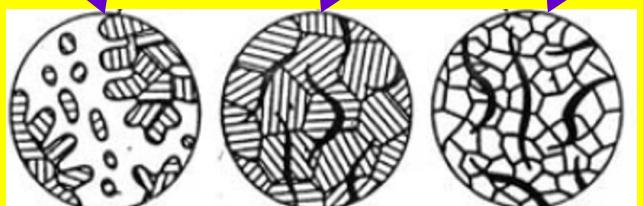
- อุปกรณ์โรงรีดเหล็ก ประจำหัวจับดอกสว่าน และ อื่นๆ





Fast cool Moderate Slow cool

I	$\gamma + L$	$\gamma + L$	$\gamma + L$
II	$\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$	$\gamma + G_f$	$\gamma + G_f$
III	$P + \text{Fe}_3\text{C}$	$P + G_f$	$\alpha + G_f$



White cast
iron

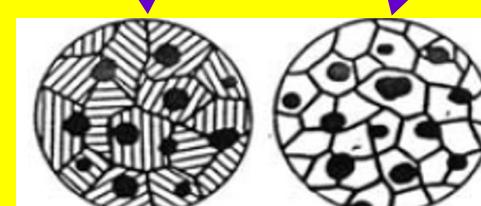
Pearitic
grey cast
iron

Ferritic
grey cast
iron

Desulfurized

Moderate Slow cool

I	$\gamma + L$	$\gamma + L$
II	$\gamma + G_s$	$\gamma + G_s$
III	$P + G_s$	$\alpha + G_s$



Pearitic
ductile cast
iron

Ferritic
ductile cast
iron



White cast iron

*Pearitic
grey cast iron*

*Ferritic
grey cast iron*

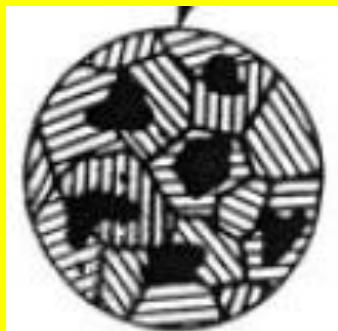
*Pearitic
ductile cast iron*

*Ferritic
ductile cast iron*



Reheat ; hold in zone II 30 + hour

	Fast cold	Slow cool
II	$\gamma + G_t$	$\gamma + G_t$
III	$P + G_t$	$\alpha + G_t$



*Pearitic
malleable cast iron*



*Ferritic
malleable cast iron*