Chapter 3

Heat treatment of Non-ferrous Alloys

1302 310

Engineering Metallurgy

Lecturer: Dr.Sukangkana Lee

1. Introduction

- **Non-ferrous alloys are the important alloys used in the engineering applications.**
- **Only a small number are used in quantity as the basis for engineering materials, there are Aluminium, Copper, Magnesium, Nickel, Titanium, Zinc**
- **And many others are used as alloying elements or special purpose.**

Alloys

- **To be strengthen by forming solid solutions.**
- **To create alloys which will respond to strengthening heat treatments.**
- **To reduce melting temperatures and increase castability.**
- **To improve some other characteristic such as corrosion resistance.**

Alloys	Tensile Strength (MPa)	Density (10^3 kgm^{-3})	Tensile Strength / Density	Relative Cost/Unit mass
Aluminium	100 to 550	2.7	37 to 200	1
Magnesium	150 to 350	1.8	110 to 190	3
Zinc	200 to 350	6.7	30 to 52	0.5
Copper	200 to 1300	8	25 to 160	1 to 2
Nickel	400 to 1300	8.9	47 to 146	5
Titanium	400 to 1600	4.5	89 to 356	25

Materials may have harden by

1. **Strain hardening**- when ductile metals are cold worked, this leads to increase of dislocation density and distorted lattice. If the cold working stops, the atom may diffuse again into a more stable form. This process called **‘Annealing’** and can be speed up by controlled heat treating procedure. (The effect of temperature on grain structure includes Recovery, Recrystallisation and Grain growth)

2. **Solid solution hardening**- the solute distorts the lattice and drag the dislocation movement
3. **Precipitate hardening**- fine particle distributed within grain or at grain boundary to prevent dislocation movement

The Fact:

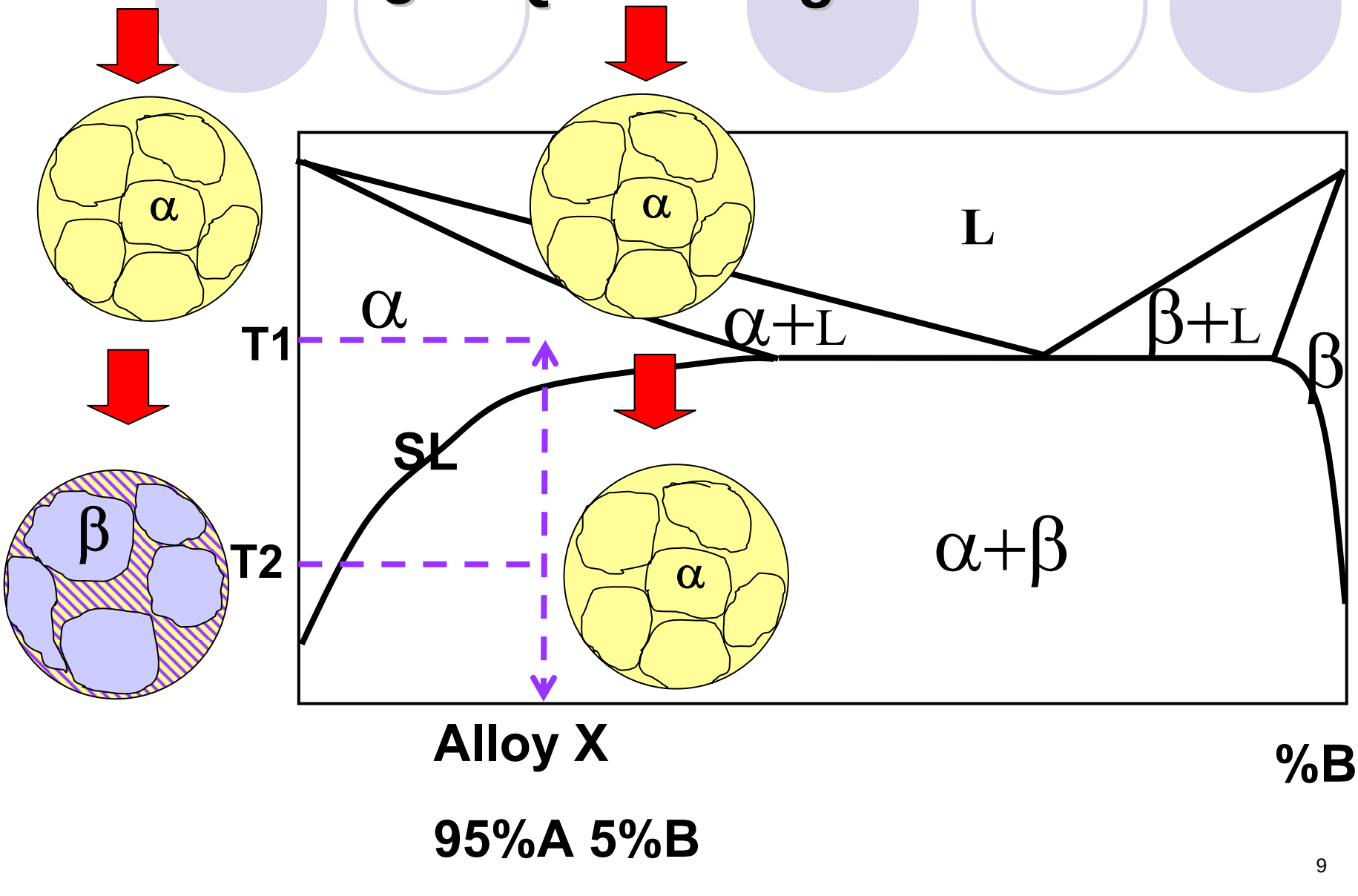
- **Many metals can be work hardened but can not be heat treated.**
- **Some alloys can only be formed by hot working or casting.**
- **Some alloys can be strengthened by <u>precipitation hardening</u>.**

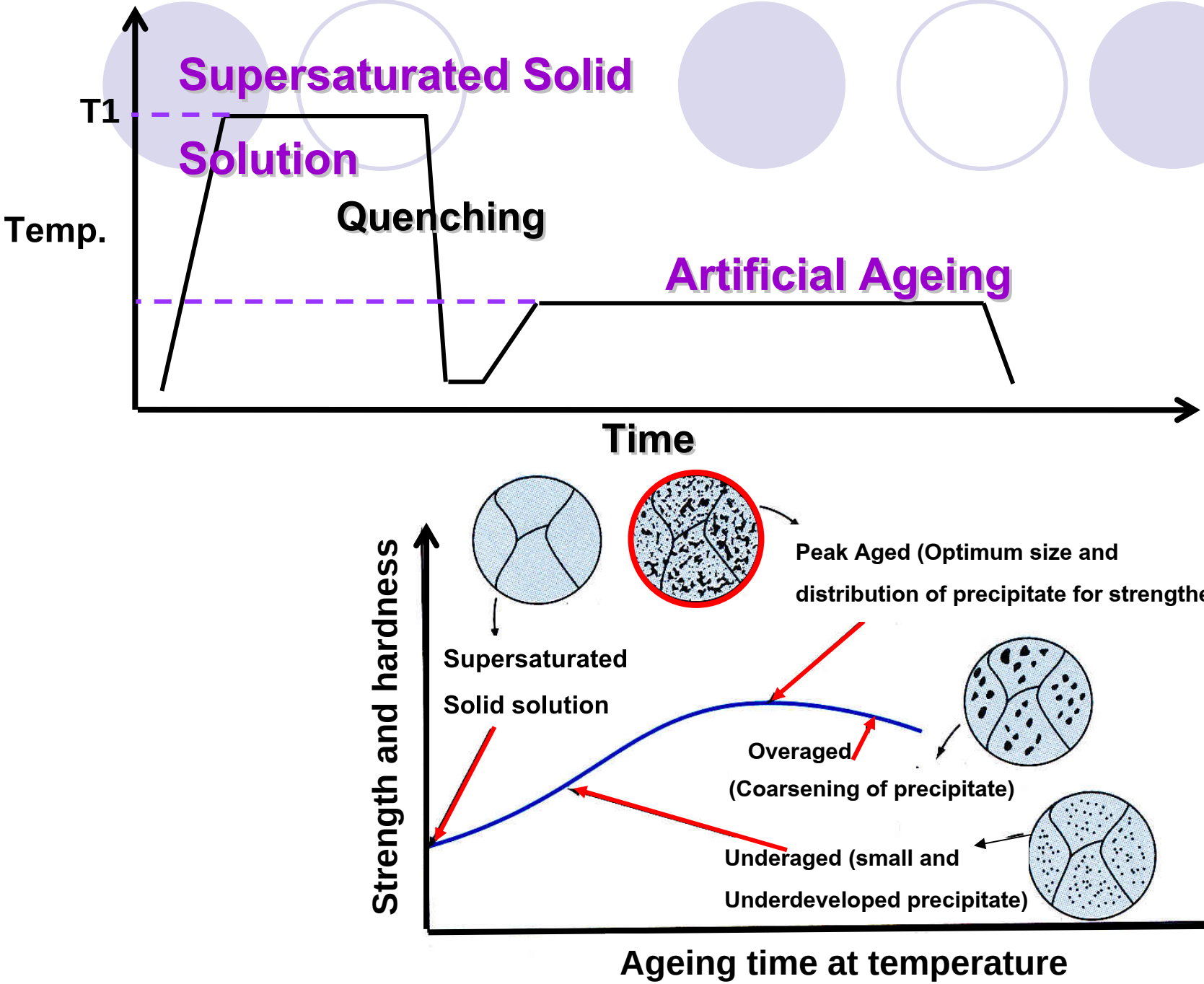
2. Solution heat treatment and age hardening

Heat treatable alloy is subject to a two stage phenomenon

1. **Solution Heat treatment**
2. **Ageing**
   - Natural Ageing
   - Artificial Ageing

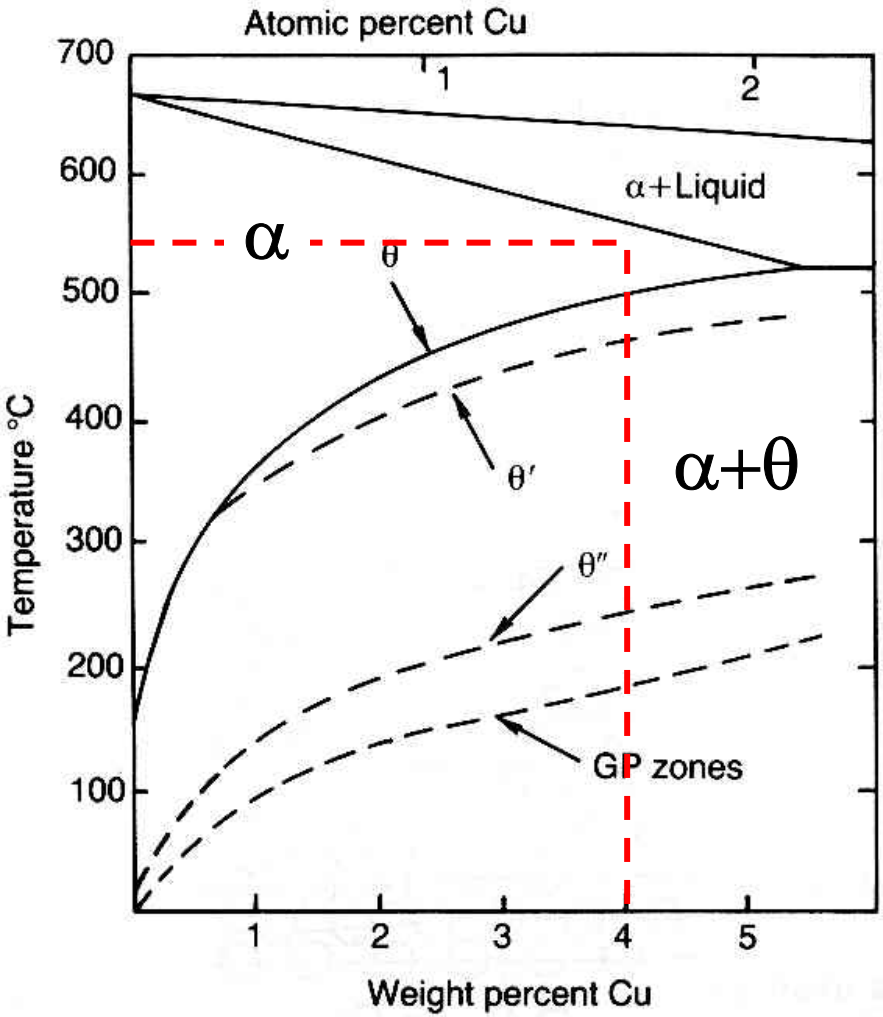
Slow Cooling Quenching




Supersaturated Solid
Solution
T1
Temp.
Quenching
Artificial Ageing
Time
Peak Aged (Optimum size and
distribution of precipitate for strengthening
Supersaturated
Solid solution
Overaged
(Coarsening of precipitate)
Underaged (small and
Underdeveloped precipitate)
Strength and hardness
Ageing time at temperature

2.2 ตัวอย่างการทำ Age-Hardening

อลูมิเนียม-ทองแดง

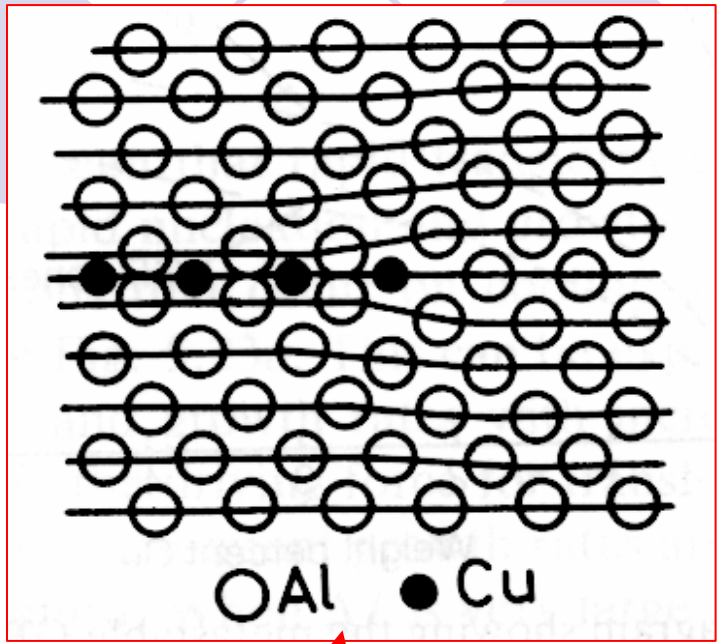


Equilibrium θ-phase ($CuAl_2$)

Process

- **Solution treating**

$$\alpha + \theta \xrightarrow{540\ ^\circ C} \alpha_0$$



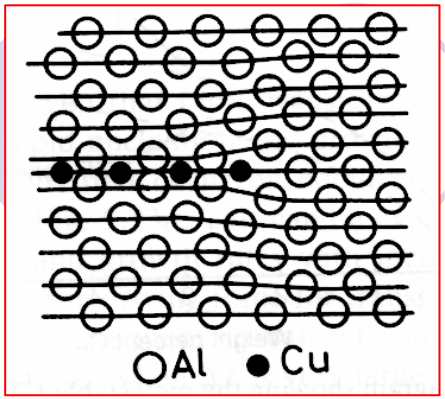
- **Artificial Ageing**

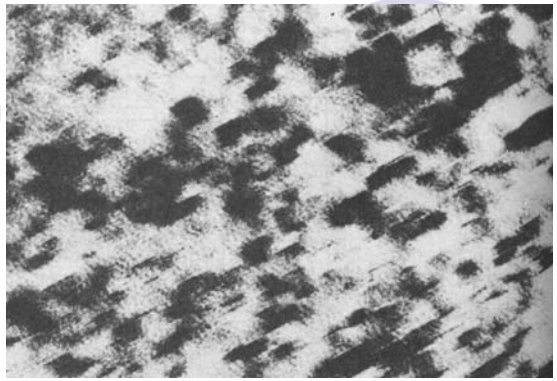
$$\alpha_0 \xrightarrow{180\ ^\circ C} \alpha_1 + \text{GP Zones}$$

$$\rightarrow \alpha_2 + \theta''$$

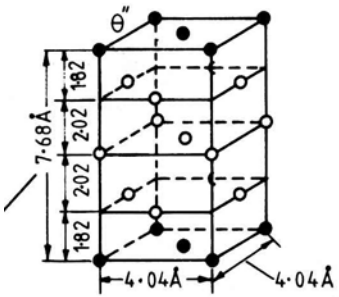
$$\rightarrow \alpha_3 + \theta'$$

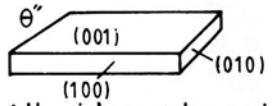
$$\rightarrow \alpha_4 + \theta$$



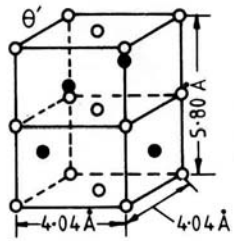


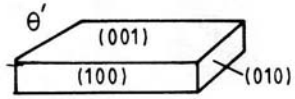
GP Zones





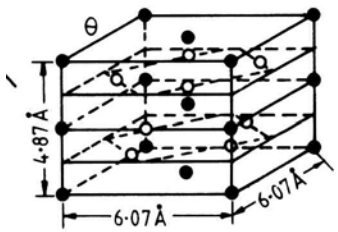
All sides coherent

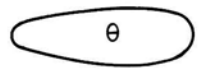




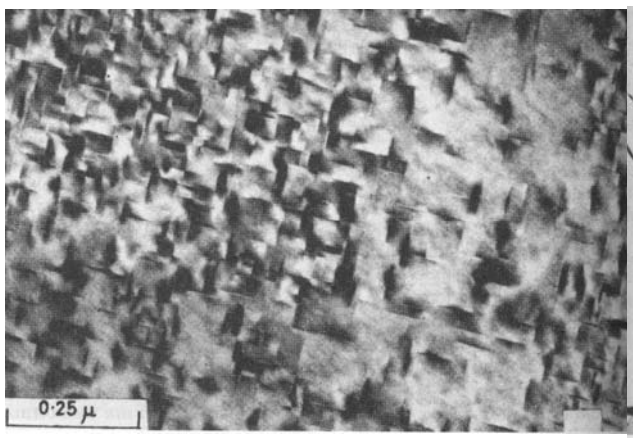
(001) Coherent or semicoherent

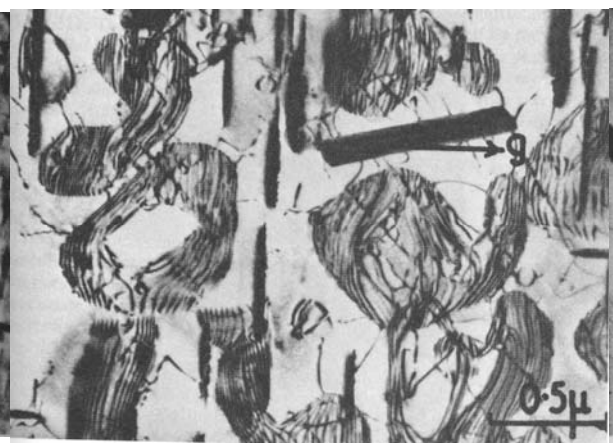
(100) } not coherent
(010)





Incoherent





θ″ θ′ θ

Base metal	Alloy	Precipitation sequence
Aluminium	Al–Ag	GPZ (spheres) → γ' (plates) → γ (Ag_2Al)
	Al–Cu	GPZ (discs) → θ'' (discs) → θ' (plates) → θ ($CuAl_2$)
	Al–Cu–Mg	GPZ (rods) → S' (laths) → S ($CuMgAl_2$) (laths)
	Al–Zn–Mg	GPZ (spheres) → η' (plates) → η ($MgZn_2$) (plates or rods)
	Al–Mg–Si	GPZ (rods) → β' (rods) → β(Mg_2Si) (plates)
Copper	Cu–Be	GPZ (discs) → γ' → γ (CuBe)
	Cu–Co	GPZ (spheres) → β (Co) (plates)
Iron	Fe–C	ε-carbide (discs) → Fe_3C (plates)
	Fe–N	α'' (discs) → Fe_4N
Nickel	Ni–Cr–Ti–Al	γ' (cubes or spheres)

3. Temper designation

CODE: EC, F, O, H, T

	ใช้แทน	ความหมาย
EC	งานด้านไฟฟ้า	เป็นอลูมิเนียมที่มีความบริสุทธ์ 99.45% และมีธาตุผสม เช่น โบรอน และ ทองแดง เล็กน้อย
F	สภาพเดิมของการขึ้นรูป	ชิ้นงานที่ไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ต่อเนื่อง หรือ ทางกล เช่น งานหล่อ หมายถึง สภาพที่ได้ จากการหล่อ

	ใช้แทน	ความหมาย
O	สภาพการอบอ่อน (Annealed) สภาพการอบทำให้เกิดผลึกใหม่ (Wrought product only)	เป็นการอบคลาย ทำให้อ่อนด้วย การอบอ่อน หรือการอบทำให้เกิดผลึกใหม่ (Recrystallisation) ทำให้มีคุณสมบัติด้านความอ่อน และเหนียว มักจะใช้กับงานขึ้นรูปเย็น

	ใช้แทน	ความหมาย
W	สภาพไม่คงรูปตามด้วยการอบด้วยความร้อนของสารละลายของแข็ง	หมายถึง หลังจากทำกรรมวิธี ให้ความร้อน เพื่อให้เกิด การละลายตัวของธาตุผสม ให้เป็นเนื้อเดียวกันกับอลูมิเนียม (solid solution) จากนั้นทำให้เย็นตัว ลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากโลหะชนิดนี้ มีการเปลี่ยนแปลง (ทางโครงสร้าง) ตลอดเวลาที่ทิ้งไว้ในอากาศ ดังนั้นจึงต้อง ระบุเวลาหลังกรรมวิธี การให้ความร้อน กำกับไว้ด้วย

H ใช้กับงานแปรรูปเย็น

H	ใช้แทน	ความหมาย
H1	ผ่านการทำให้แข็งโดยการขึ้นรูปเย็นอย่างเดียว	เป็นการผ่านการแปรรูปเย็นอย่างเดียว ตัวเลขตัวที่สองจะแสดงความรุนแรงของการแปรรูป ในบางครั้งอาจมีตัวเลข ตัวที่สามบอกถึง การควบคุมการอบคลาย หรือระบุถึง คุณสมบัติทางกลพิเศษ
H2	ผ่านการทำให้แข็งโดยการแปรรูปเย็นแล้วทำการอบคลาย	ใช้กับงานแปรรูปเย็นเพื่อต้องการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุเกินกว่าระดับที่ต้องการเล็กน้อย ต่อจากนั้นจึงนำไปอบคลาย ความแข็งแรงจะถูกลดลงระดับหนึ่ง
H3	เพิ่มความแข็งโดยการแปรรูปเย็น และ ทำให้เสถียรภาพ	ใช้กับงานที่ผ่านการแปรรูปเย็นเพื่อเพิ่มความแข็งแรง จากนั้นนำไปทำกรรมวิธีทางความร้อน เพื่อให้โลหะคงรูป แต่ยังมีความเค้นตกค้างในโลหะ ส่วนใหญ่ใช้กับโลหะผสมที่มี แมกนีเซียมอยู่ด้วย

- **H เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้กับงานที่ต้องการ เพิ่มคุณสมบัติทางกลให้สูงขึ้น โดยการแปรรูปเย็น อาจจะมี กรรมวิธีทางความร้อนควบคู่ และ H ต้องตามด้วยตัวเลขตัวเดียวหรือหลายตัว ซึ่งตัวเลขแสดงถึง การกำหนด ในการผลิต (Strain hardened)**
- **HXX ตัวเลขตัวที่ 2 จะมีตั้งแต่ 1 คืออ่อนที่สุด ถึง 8 คือแข็งที่สุด (Full hardness: เป็นการอบชุบที่ให้ค่า Ultimate Tensile Strength เท่ากับ 75% ของค่าที่ได้จากการขึ้นรูปเย็นภายหลังจากการทำ Full annealing) เช่น**

Strain hardened tempers (H) are followed by at least two digits.

H	x	x	Degree of strain hardening
		2	1/4 hard
		4	1/2 hard
		6	3/4 hard
		8	fully hard
		9	extra hard
		Secondary treatment	
	1	Cold worked only (no anneal)	
	2	Cold worked + partial anneal	
	3	Cold worked + "stabilized"	

- **H12 หมายความว่า เป็นโลหะที่ผ่านการทำให้แข็งโดยการขึ้นรูปเย็นอย่างเดียว และมีค่าความแข็ง 2/8 = ¼ Hard เรียกว่า a Quarter-hard และมีปริมาณการแปรรูปเย็นเท่ากับ ¼ x 75% = 18.75%**
- **H16 หมายความว่า เป็นโลหะที่ผ่านการทำให้แข็งโดยการขึ้นรูปเย็นอย่างเดียว และมีค่าความแข็ง 6/8 = ¾ Hard และมีปริมาณการแปรรูปเย็น เท่ากับ ¾ x 75% ~ 56%**

- T เป็นการปฏิบัติการทางความร้อนเพื่อให้โลหะเสถียรภาพ (precipitation hardened) ใช้กับโลหะที่ ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (Solution treatment and Ageing) ซึ่งอาจทำร่วมกับกรรมวิธีทางกลด้วยหรือไม่ก็ได้
- ใช้อักษรตัว T ตามด้วยเลข 2 ถึง 10 เป็นข้อกำหนดของการทำงานเพื่อเปลี่ยนสภาพของชิ้นงานแตกต่างกันออกไป โดยการเติมตัวเลข ตัวเดียว หรือ หลายตัวก็ได้

T1	Cooled from elevated temperature shaping process > Naturally aged to a substantially stable condition
T2	Cooled from elevated temperature shaping process > Cold worked > Naturally aged
T3	Solution heat treated > Cold worked > Naturally aged
T4	Solution heat treated > Naturally aged
T5	Cooled from high temperature shaping > Artificially aged

T6	Solution heat treated > Artificially aged
T7	Solution heat treated > Overaged (i.e. beyond maximum strength)
T8	Solution heat treated > Cold worked > Artificially aged
T9	Solution heat treated > Artificially aged > Cold worked