



鋁 合 金

鋁的性能

鋁是地球上含量極豐富的金屬元素，其蘊藏量在金屬中居第 2 位。在工程應用中是具有競爭力的金屬，航空、建築、汽車三大重要工業的發展，要求材料特性具有鋁及其合金的獨特性質。

鋁 及 鋁 合 金	性 能	用 途
	質輕	鋁的密度只有 2.7g/cm^3 ，約為鋼、銅或黃銅的密度的 $1/3$ 。
	抗腐蝕性佳	在大多數環境條件下，包括在空氣、水(或鹽水)、石油化學和很多化學體系中，鋁能顯示優良的抗腐蝕性。
	表面具有高度的反射性	輻射能、可見光、輻射熱和電磁波都能有效地被鋁反射，而陽極氧化和深色陽極氧化的表面可以是反射性的，也可以是吸收性的，拋光後的鋁在寬波長範圍內具有優良的反射性，因而具有各種裝飾用途及具有反射功能性的用途。
	優良的電導率和熱導率	在重量相等的基礎上，鋁的電導率近於銅的兩倍。鋁合金的熱導率大約是銅的 50~60%，這對制造交換器、蒸發器、加熱電器、炊事用具，以及汽車的缸蓋與散熱器皆為有利。
	非鐵磁性	對電氣工業和電子工業而言是一重要特性
	不能自燃、無毒	不能自燃，這對涉及或接觸易燃易爆材料的應用來說是重要的，鋁無毒性，通常用於制造盛食品和飲料的容器。
	具很大強度-重量比	一些鋁合金在強度上超過結構鋼材，但是純鋁及某些鋁合金的強度和硬度極低。



鋁的產量

1.原鋁產量

1992 年世界上 10 個主要產鋁國家的原鋁產量如下：

國家	產量(kt)	國家	產量(kt)	國家	產量(kt)	國家	產量(kt)	國家	產量(kt)
美國	4042	加拿大	1972	巴西	1195	挪威	860	委內瑞拉	566
俄羅斯	3100	澳大利亞	1216	中國	1000	德國	603	法國	418

2.再生鋁產量 (kt)

國家	1989 年	1992 年	國家	1989 年	1992 年
美國	1844	2230	意大利	390	353
法國	225	236	英國	110	252
聯邦德國	537	538	日本	1350	1480



鋁及鋁合金的分類

鋁合金可分為兩大類：鑄造合金與變形合金

鋁 合 金		合 金 牌 號	實 例
鑄造鋁合金	Al- Si 系鑄造合金	ZL-1xx	如 ZL-101
	Al- Cu 系鑄造合金	ZL-2xx	如 ZL-201
	Al-Mg 系鑄造合金	ZL-3xx	如 ZL-301
	Al- Zn 系鑄造合金	ZL-4xx	如 ZL-401
變形鋁合金	防銹鋁,屬 Al-Mg 或 Al-Mn 系	LF xx	LF21
	硬鋁,屬 Al-Cu-Mg-Mn 系	LYxx	LY12
	鍛鋁,屬 Al-Mg-Si-Cu 系	LDxx	LD10
	超硬鋁,屬 Al-Zn-Mg-Cu 系	LCxx	LC4



鑄造鋁合金 T 代號標注熱處理狀態符號，其涵義如下所示：

km	符號	熱處理類別	符號
未經淬火的人工時效	T1	淬火及完全人工時效	T6
退火	T2	淬火及穩定化回火	T7
淬火	T3	淬火及軟化回火	T8
淬火及自然時效	T4	冷處理或冷熱循環處理	T9
淬火及不完全人工時效	T5		



國際的鋁及其合金分類

美國鋁協會制定的代號標示系統在美國普遍被人接受。他們的合金鑑別系統對鑄造合金與變形合金採用不同的代號標示法，為簡化起見，將合金劃分為系列。

(一) 對於變形合金，採用一個四位數系統，從而提出了下面的加工合金成分系列：

代號系統	合金成分
1xxx	表示未合金化(即純鋁)的控制成分
2xxx	合金中銅是主要的合金元素，其他元素，特別是鎂，可以規定一定含量
3xxx	合金中錳是主要的合金元素
4xxx	合金中硅是主要的合金元素
5xxx	合金中鎂是主要的合金元素
6xxx	合金中鎂和硅是主要的合金元素
7xxx	合金中鋅是主要的合金元素，其他元素如銅、鎂、鉻和鋇，可以規定一定含量
8xxx	合金中包括錫及鋰的成分，表示不屬上述各系列的合金成分
9xxx	備用



(二) 鑄造合金的成分可用一個三位數系統後跟一個小數點數字來表示。小數 .0 在所有情況下均指鑄造合金極限值。小數 .1 和 .2 涉及鑄錠成分，在鑄錠熔化和加工後在化學成分上應符合鑄造規範的要求。鑄造合金成分系列如下：

代號系統	合金成分
1xx . x	表示未合金化鋁（即純鋁）的控制成分，特別適用於電機轉子制造
2xx . x	合金中銅是主要的合金元素，可以規定其他合金元素
3xx . x	合金中硅是主要的合金元素，可以規定其他合金元素，如銅和鎂
4xx . x	合金中硅是主要的合金元素
5xx . x	合金中鎂是主要的合金元素
6xx . x	未使用
7xx . x	合金中鋅是主要的合金元素，可以規定其他合金元素，如銅和鎂
8xx . x	合金中錫是主要的合金元素
9xx . x	未使用

鋁及其合金的狀態代號系統

美國使用的鋁及鋁合金的狀態編號系統適用於除錠以外的所有產品（壓力加工件和鑄件）。該系統是基於能導致不同的狀態的機械處理和／或熱處理的次序而成的。狀態代號是接在合金代號之後並在兩者中間加“-”使兩者分開。基本的狀態代號是由各個大寫字母組成。若基本的狀態還要再細分類時，可在大寫字母後接一個或加上數字予以表明。這些數字表明特定的處理次序（因而具有特定的綜合性能）。在細分類中不同的處理條件可用輔加數字予以表明。在一定條件下的熱處理（如時間、溫度、淬火速度）可使某一合金具有特定的狀態，但不定能使另一鋁合金具有相同的特定狀態。



基本的狀態代號

一般性的狀態代號及導致該狀態的處理次序敘述如下。

F, 制造狀態 可應用於冷加工、熱加工或鑄造成型的產品而無須對熱條件或應變硬化予以特別的控制。而壓力加工產品卻沒有機械性能限制。

O, 退火 可應用於經退火處理的壓力加工產品以達到最低強度狀態，以及應用於經退火處理的鑄件以改善延性和尺寸穩定性。該 O 之後可跟一個數字，但不是零。

H, 應變硬化(僅對壓力加工產品而言) H 表示產品已經過應變硬化而得以強化，可輔以熱處理(也可不輔以熱處理)以降低一些強度。該 H 總是跟兩個或兩個以上的數字。

W, 固溶熱處理 這是一個不穩定的狀態，僅應用於一些合金，其熱處理後的強度在室溫下經數月或數年發生自然(自發)變化。該代號只有在標明自然時效期的條件下才是特定的。

T, 固溶熱處理 應用於一些合金，其強度在幾星期內固溶熱處理仍是穩定的。該 T 之後總是跟著一個或以上的數字。

應變硬化產品的系統

用應變硬化以提高強度的壓力加工產品的狀態代號是由一個 H 及其後面的二個或以上的數字組成的。H 後的第一個數字表示基本的加工作業的特定次序。

H1, 僅經應變硬化 應用於經應變硬化而獲得所需的強度(無須附加熱處理)的產品。H1 後面的數字表示應變硬化程度。

H2, 經應變硬化和部分退火 經應變硬化而超過最終所需強度，然而可經部分退火以降低強度到所需的程度。H2 後面的數字表示產品經部分退火後餘留的應變硬化程度。

H3, 應變硬化及穩定化處理 應用於經應變硬化的產品。該產品的機械性能由於低溫熱處理而穩定化，或者由於在加工中加熱而穩定化。

附加的狀態代號 對於在室溫時效軟化的合金，當每個 H2x 及 H3x 的第二個數字相同時，它們具有相的最小極限拉伸強度。而對於其他合金，當每個 H2x 及 H1x 的第二個數字相同時，它們具有相同的最小極限拉伸強度，但 H2x 的延伸率較高些。



H1,H2,H3 後面可接數字 1—9 以表示應變硬化程度。數字 8 表示極限拉伸強度相當於完全退火後經 75%冷加工(加工溫度 $<50^{\circ}\text{C}$, 120°F)所達到的狀態。狀態 O(經退火)到 8 之間定為狀態代號的數字 1—7。極限拉伸強度介於 0—8 狀態的定為數字 4，介於 0—4 狀態定為數字 2，介於 4—8 狀態定為數字 6。數

字 9 表示某些狀態，它們在 10Mpa(2ksi)或以上的最小極限拉伸強度超出狀態 8 的極限拉伸強度則定為 9。對於兩位數字的 H 狀態，它們的第二位數字是奇數，則其標準強度範圍是相鄰的兩位數字的 H 狀態(它們的第二位數字是偶數)的標準強度範圍的數字平均值。

當需要辨認兩位數字的各種 H 狀態時，可以使用第三位數字(1—9)。當狀態的控制程度或機械性能與兩位數字和 H 狀態代號相近但又有所不同時或者當某些其它特性受到顯著影響時，可加上第三位數字，三位數字的 H 狀態的最小極限拉伸強度至少近乎相應的任何一個兩位數字的 H 狀態，如與其任一相鄰兩位數-8-字和 H 狀態一樣。在諸產品的 H 狀態低於 Hx1 狀態的機械性能則定為變型的 Hx1。在所有合金中的壓力加工產品已有一些三位數字的 H 狀態代號。



熱處理可強合金系統

經熱處理可強化的鑄件和壓力加工產品的狀態代號採用如“基本的狀態代號”一節中的W及T代號，W表示不穩定狀態，而T表示與F，O，H不同的穩定狀態。T后接一個1—10的數字，每個數字都表示一種特定的基本處理的次序。

狀態代號	名稱	說明
T1	高溫成形後冷卻及自然時效至穩定的狀態	該代號應用於經高溫成形後(如鑄造或擠壓)未經冷加工的產品，而其機械性能經室溫時效後呈穩定狀態。該代號也應用於經高溫成形、冷卻、平整、腳直的產品。但其平整或矯直所產生的冷加工效果在規定的性能範圍內未加以說明。
T2	高溫成形後冷卻、冷加工、自然時效至穩定狀態	該代號是指經熱加工(如軋制或擠壓)、冷卻後又冷加工(旨在提高強度)的產品，而其機械性能經室溫時效得以穩定。該代號也應用於平整或矯直產品所產生的冷加工效果，但在規定的性能範圍內已加以說明。
T3	固溶熱處理，冷加工及自然時效至穩定狀態	T3 應用於經固溶熱處理後冷加工(旨在提高強度)，而其機械性能經室溫時效而呈穩定化。該代號也應用於平整或矯直產品所產生的冷加工效果，但在規定的性能範圍內已加以說明。
T4	固溶熱處理及自然時效至穩定狀態	該編號表明經固溶熱處理後未再冷加工的產品，而其機械性能經室溫時效得以穩定，如產品經平整或矯直，其冷加工效果在規定的性能範圍內未加以說明。
T5	高溫成形、冷卻及人工時效	T5 包括鑄造或擠壓高溫成型後不再冷加工的產品，其機械性能經沉淀(或析出)熱處理得以顯著提高。若又經平整或矯直，其冷加工效果在規定的性能範圍內未加以說明。



狀態代號	名稱	說明
T6	固溶熱處理及人工時效	指固溶熱處理后未經冷加工的產品。它們經沉淀熱處理而顯著提高了機械性能和/或尺寸穩定性。若又經平整或矯直，其產生的冷加工效果在規定的性能範圍內未加以說明。
T7	固溶熱處理及過時效或穩定化處理	應用於超出高強度點的沉淀熱處理以獲得某些特殊性能的壓力加工產品，如增強其抗應力-腐蝕裂紋和剝離腐蝕的性能。T7 也應用於經固溶熱處理後人工時效以改善產品的尺寸和強度的穩定性。
T8	固溶熱處理、冷加工和人工時效	應用於經固溶熱處理後冷加工而提高了強度的產品。它們經沉淀熱處理後的機械性能和尺寸穩定性獲得了顯著的提高，其平整和校直產生的冷加工效果在規定性能範圍內加以說明。
T9	回溶熱處理、人工時效及冷加工	應用於經沉淀熱處理再冷加工而提高了強度的產品。
T10	高溫成型、冷卻、冷加工及人工時效	T10 表明經熱加工——軋制或擠壓，再冷卻及冷加工，從而提高了強度的產品，其機械性能經析出熱處理而顯著改善，又其平整或校直產生的冷加工效果在規定的性能內加以說明。

備註： X 51 固溶體處理後用伸張的方法消除內部應力，TX 52 固溶體處理後用壓縮的方法消除內部應力，TX 53 用伸張及壓縮的方法消除內部應力



常用材料的熱處理

退火及淬火時效是鋁合金的基本熱處理形式。退火是一種軟化處理。其目的是使合金在成分及組織上趨於均勻和穩定，消除加工硬化，恢復合金的塑性。淬火時效則屬強化熱處理，目的是提高合金的強度，主要應用於可熱處理強化的鋁合金。

常用鋁合金代號、化學成分：

分類	中國	美國	化 學 成 分 (%)						
			Cu	Mg	Mn	Zn	Fe	Si	其它
工業純鋁	L2	1070,1060	0.01				0.25	0.20	0.36(Fe+Si)
鍛鋁合金	LD2	6061	0.20~0.60	0.45~0.9	0.15~0.35 (或 Cr)	0.20	0.50	0.50~1.2	0.15Ti



6061 熱處理規範

加熱溫度

合金代號	強化相(括號中為少量的)	加熱溫度(°C)	過燒溫度(°C)	熔化開始溫度(°C)
6061	Mg ₂ Si, Al ₂ CuMg	515~530	565	595

熱處理規範

固溶溫度	時效溫度		時效時間		退火溫度	退火時間	
	管、棒、型材	鍛件	管、棒、型材	鍛件		厚度<6mm	厚度>6mm
530°C±3°C	155~160°C	150~165°C	8h	8~15h	415°C±3°C	40~60	60~90

(L2 退火溫度 345°C)

固溶保溫時間

厚度(mm)	T<10mm	10≤T<20mm	20≤T<30	T≥30
時間(min)	30	40~50	50~60	70~80



鋁合金析出硬化熱處理程序：

實用的析出硬化熱處理程序必須包括下列三個基本步驟：

固溶熱處理(solution treatment)→淬火(quench)→時效處理(aging treatment)

固溶處理係指將材料生溫至固溶體單相區一段時間，以便讓溶質全部溶入基體而成單一 α 相；淬火係指將固溶處理後的材料迅速冷卻以得飽和固溶體。時效處理則將此過飽和固溶體放置在恆溫，使其逐漸析出析出物而造成性質上的變化。此恆溫若為室溫則稱為自然時效(natural aging)，若在叫高溫爐中進行則稱之為人工時效(artificial aging)。

何謂鋁合金的過時效處理？

一般而言，初時效硬度上升是由於析出物逐漸析出，體積比逐漸增加，析出物間距越小所致；到了最高時效時，此時析出物呈現最佳的分佈狀態，亦即對差排的阻力最大；過時效的形成是由於析出物的粗化，造成析出物半徑增大，個數減少，間距加大，根據前述之強化機構，可知粗化降低對差排的阻力，並使硬度下降。

鋁合金最常見的熱處理強化機構為何？

(1) 析出硬化：熱處理鋁合金為 2XXX，6XXX 及 7XXX，其利用淬火處理及時效處理使材料內部結構發生一種相變化，產生細緻析出物，藉此種析出物，強化材料。這種現象叫析出硬化或時效硬化。

(2) 固溶處理：非熱處理合金則無析出硬化現象(但也會有析出物)，故其強化作用通常借助一般的方法，如固溶體強化，晶粒細化強化。