

金相图谱

下 篇



机械工业出版社

75.71
627
:2

金 相 图 谱

下 篇

有 色 金 属 部 分

第一机械工业部机械制造与
工艺科学研究院材料研究所編著



机 械 工 业 出 版 社
1959

內 容 簡 介

本圖譜分成上下兩篇：上篇為黑色金屬部分；下篇為有色金屬部分，后者包括鋁及鋁合金、銅及銅合金、軸承合金、鎂及鎂合金等四大類。圖譜中所用的合金絕大部分屬於國內廣泛應用的品種，但亦有一部分系特為熔製以闡明合金相圖與顯微組織間之關係的。

大部分圖片具有標準的顯微組織，但亦有一些則系非標準的、有缺陷的和廢品的組織。

對於每一類合金的有關相圖、顯微組織及其性質等皆分節加以簡單的敘述。此外，每一張圖片亦均附以必要的說明。

本圖譜可供冶金廠、機械製造廠、高等學校和研究機關中從事金相或熱處理工作者參考之用。

NO. 2724

統一書號 15033·1732

1959年3月第一版 1959年3月第一版第一次印刷

787×1092 $\frac{1}{16}$ 字數 388 千字 印張 17 $\frac{7}{8}$ 0,001— 3,500 冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第 008 號

東方呢精裝 定價 6.50 元
亞麻布精裝 定價 6.10 元

前言

1959/08

用显微鏡研究金屬的方法，是研究金屬組織的最基本方法，苏联工程师 П. И. Аносов，是第一个用显微鏡来研究金屬組織的人，他用显微鏡解决了他厂里生产上的問題，并且对金屬組織进行了研究，从而确定了获得最优質量的組織。此后的研究，闡明了加热对金相組織的影响，化学成份与金相組織的关系，金相組織对性能的影响等等，从而控制金屬性能。

这本金相圖譜包括鋼鉄、鋁合金、銅合金、軸承合金及鎂合金等五部分。鋼鉄部分有圖片401張，鋁合金215張，銅合金219張，軸承合金24張，鎂合金33張，总共892張。这里除一部分样品选自过去工作中所收集者外，大部分是在这次編写前，作有計劃补充的，因此全部試样是反映我国鋼鉄及有色金屬常用的品种。这里表现了我国在解放后的短短几年中，冶金及机械工业获得了惊人的發展。在解放前中国的机械工业破旧不堪，数量又少，可是即使这样又少又陋的工业所需要的金屬，也全部仰給进口，前后对比，充分說明了社会主义制度的优越性。

这个圖譜里所选的組織，大部分是所謂“标准”的，一部分是不正常的。因为在实际生产中，不正常的組織是經常遇到的，它往往是造成廢品的一个原因。在鋼鉄部分有103張是鋼鉄缺陷的組織，这些圖片是过去工厂委托我們作廢品分析的实物試样。

在有色金相方面包含两类組織：一种是按照合金牌号成份，根据一定技术条件进行热处理，这样攝成的圖片最能与生产相結合；另一种是按照合金相圖選擇有代表性的成份的合金，进行热处理，这样的組織更能表明合金的組織变化，尤其对某些有关鍵性成份的合金組織可以有充分的認識。

圖譜的缺点很多，我們虽然制备了892張圖片，但仍然有很多遺漏，例如鋁合金只有鑄鋁，沒有鍛鋁，軸承合金中只包括錫基与鉛基的巴氏合金，鋼鉄部分亦不够齐全，如化学热处理及鍍層后的組織不多，尚有待于今后的补充。本圖譜我們虽曾校閱了几次，但由于工作水平限制，恐仍有未發現出来的錯誤，尤其是某些有色合金的組織。为了充实这项工作，希望生产單位能把它認為比較优秀的实物样品（正常的，不正常的），送給我們；并且希望讀者指出缺点与錯誤，以便补充或改正。

本圖譜分上下两篇，上篇是黑色金屬部分由許鎮坤同志編写，下篇是有色金屬部分由桂立丰、陆澧及李焜輝同志編写，全書并經金相室全体同志协助完成，陶正耀同志校閱。

下 篇 目 录

	說明 頁数	圖片 頁数
I、鋁及鋁合金	7	92
第一节 純鋁	7	92
第二节 鋁硅类合金	9	96
1. 鋁硅合金	10	96
2. 鋁硅銅合金	12	100
3. 鋁硅鎂合金	15	106
4. 鋁硅銅鎂合金	18	116
第三节 鋁銅类合金	21	132
1. 鋁銅合金	21	132
2. 鋁銅硅合金	22	140
3. 鋁銅鎂合金	23	146
4. 鋁銅鎂硅合金	26	152
第四节 鋁鎂类合金	26	154
1. 鋁鎂合金	27	154
2. 鋁鎂硅合金	28	160
第五节 鋁鋅类合金	28	166
第六节 鋁的中間合金	30	172
附录 1. 鋁及鋁合金的常用侵蝕剂	31	
附录 2. 鑒別鋁合金中晶体类别的侵蝕方法 (附显微硬度)	36	
参考書	44	
II、銅及銅合金	45	174
第一节 純銅	45	174
第二节 銅合金	48	180
1. 黃銅	48	180
2. 特种黃銅	49	190
3. 錫青銅	54	212
4. 鋁青銅	57	226
5. 特种鋁青銅	58	232
6. 硅青銅及其他特殊青銅	63	246

75.71
627
:2

金 相 图 谱

下 篇

有 色 金 属 部 分

第一机械工业部机械制造与
工艺科学研究院材料研究所編著

机 械 工 业 出 版 社

內 容 簡 介

本圖譜分成上下兩篇：上篇為黑色金屬部分；下篇為有色金屬部分，后者包括鋁及鋁合金、銅及銅合金、軸承合金、鎂及鎂合金等四大類。圖譜中所用的合金絕大部分屬於國內廣泛應用的品種，但亦有一部分系特為熔製以闡明合金相圖與顯微組織間之關係的。

大部分圖片具有標準的顯微組織，但亦有一些則系非標準的、有缺陷的和廢品的組織。

對於每一類合金的有關相圖、顯微組織及其性質等皆分節加以簡單的敘述。此外，每一張圖片亦均附以必要的說明。

本圖譜可供冶金廠、機械製造廠、高等學校和研究機關中從事金相或熱處理工作者參考之用。

NO. 2724

統一書號 15033·1732

1959年3月第一版 1959年3月第一版第一次印刷

787×1092¹/₁₆ 字數 388 千字 印張 17⁷/₈ 0,001— 3,500 冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第 008 號

東方呢精裝 定價 6.50 元
亞麻布精裝 定價 6.10 元

前言

1959/08

用显微鏡研究金屬的方法，是研究金屬組織的最基本方法，苏联工程师 П. И. Аносов，是第一个用显微鏡来研究金屬組織的人，他用显微鏡解决了他厂里生产上的問題，并且对金屬組織进行了研究，从而确定了获得最优質量的組織。此后的研究，闡明了加热对金相組織的影响，化学成份与金相組織的关系，金相組織对性能的影响等等，从而控制金屬性能。

这本金相圖譜包括鋼鉄、鋁合金、銅合金、軸承合金及鎂合金等五部分。鋼鉄部分有圖片401張，鋁合金215張，銅合金219張，軸承合金24張，鎂合金33張，总共892張。这里除一部分样品选自过去工作中所收集者外，大部分是在这次編写前，作有計劃补充的，因此全部試样是反映我国鋼鉄及有色金屬常用的品种。这里表現了我国在解放后的短短几年中，冶金及机械工业获得了惊人的發展。在解放前中国的机械工业破旧不堪，数量又少，可是即使这样又少又陋的工业所需要的金屬，也全部仰給进口，前后对比，充分說明了社会主义制度的优越性。

这个圖譜里所选的組織，大部分是所謂“标准”的，一部分是不正常的。因为在实际生产中，不正常的組織是經常遇到的，它往往是造成廢品的一个原因。在鋼鉄部分有103張是鋼鉄缺陷的組織，这些圖片是过去工厂委托我們作廢品分析的实物試样。

在有色金相方面包含两类組織：一种是按照合金牌号成份，根据一定技术条件进行热处理，这样攝成的圖片最能与生产相結合；另一种是按照合金相圖選擇有代表性的成份的合金，进行热处理，这样的組織更能表明合金的組織变化，尤其对某些有关鍵性成份的合金組織可以有充分的認識。

圖譜的缺点很多，我們虽然制备了892張圖片，但仍然有很多遺漏，例如鋁合金只有鑄鋁，沒有鍛鋁，軸承合金中只包括錫基与鉛基的巴氏合金，鋼鉄部分亦不够齐全，如化学热处理及鍍層后的組織不多，尚有待于今后的补充。本圖譜我們虽曾校閱了几次，但由于工作水平限制，恐仍有未發現出来的錯誤，尤其是某些有色合金的組織。为了充实这项工作，希望生产單位能把它認為比較优秀的实物样品（正常的，不正常的），送給我們；并且希望讀者指出缺点与錯誤，以便补充或改正。

本圖譜分上下两篇，上篇是黑色金屬部分由許鎮坤同志編写，下篇是有色金屬部分由桂立丰、陆澧及李焜輝同志編写，全書并經金相室全体同志协助完成，陶正耀同志校閱。

下 篇 目 录

	說明 頁数	圖片 頁数
I、鋁及鋁合金	7	92
第一节 純鋁	7	92
第二节 鋁硅类合金	9	96
1. 鋁硅合金	10	96
2. 鋁硅銅合金	12	100
3. 鋁硅鎂合金	15	106
4. 鋁硅銅鎂合金	18	116
第三节 鋁銅类合金	21	132
1. 鋁銅合金	21	132
2. 鋁銅硅合金	22	140
3. 鋁銅鎂合金	23	146
4. 鋁銅鎂硅合金	26	152
第四节 鋁鎂类合金	26	154
1. 鋁鎂合金	27	154
2. 鋁鎂硅合金	28	160
第五节 鋁鋅类合金	28	166
第六节 鋁的中間合金	30	172
附录 1. 鋁及鋁合金的常用侵蝕剂	31	
附录 2. 鑒別鋁合金中晶体类别的侵蝕方法 (附显微硬度)	36	
参考書	44	
II、銅及銅合金	45	174
第一节 純銅	45	174
第二节 銅合金	48	180
1. 黃銅	48	180
2. 特种黃銅	49	190
3. 錫青銅	54	212
4. 鋁青銅	57	226
5. 特种鋁青銅	58	232
6. 硅青銅及其他特殊青銅	63	246

	說明 頁數	圖片 頁數
第三节 銅的中間合金	66	260
附录 銅及銅合金金相檢驗用侵蝕劑	68	
参考書	70	
III、軸承合金	71	262
第一节 錫基巴氏合金	71	262
第二节 鉛基巴氏合金	75	268
附录 錫基、鉛基和軸承合金之侵蝕劑	78	
参考書	79	
IV、鎂及鎂合金	80	272
第一节 純鎂	80	272
第二节 鎂合金	81	272
附录 1. 显示鎂合金宏觀組織的侵蝕劑	88	
附录 2. 显示鎂合金显微組織的侵蝕劑	88	
参考書	89	

I 鋁及鋁合金

第一节 純 鋁

純鋁的比重为2.699，熔点为660.24℃，具有良好的导电性和导热性，塑性很高，在冷 热 状态下都易于鍛压或軋制；但鑄造性能則較差，所以一般較少直接用于鑄造，而系先将其澆成鋁錠再經压力加工后使用。

目前已能得到純度較99.999%为高的鋁供实验室之用。但工业上应用的鋁則或多或少地含有杂质，其量約自0.01%至2%不等。杂质的存在使鋁的熔点略有降低，例如純度为99.5%的鋁其熔点降至658℃左右。又杂质对鋁的机械性能影响很大，举例如下表：

不同純度鋁（砂模鑄造状态）的机械性能

含 鋁 量, %	抗拉强度, 公斤/公厘 ²	伸長率, % ($l=5d$)	布 氏 硬 度
99.996	5.0	45	13~15
99.5	7.5	29	20
99.0	8.5	20	25
98.0	9.0	12.5	28

由上表可看出，当鋁中杂质含量增加时，鋁的强度和硬度逐漸上升，而延展性則迅速 下降。此外，杂质的存在还将严重地影响到鋁的导电性和导热性。

工业鋁中的杂质以鉄和硅最为常見，其次則为銅、錳、鋅、鎂、鈣等。

Al—Fe 合金平衡圖如圖 1-1 所示。由該圖可看出，鉄在固体鋁內的溶解度很小，在共晶溫度(655℃)时仅約0.052%，而随着溫度下降則更相应地减少。鉄与鋁形成化合物 Al_3Fe (θ 相)。根据某些資料指出，这化合物在 600℃ 以下时發生分解而产生另一种化合物 Al_3Fe_2 ；但此轉变的詳情現在仍知道得不够充分，故在平衡圖內亦并未将其标出。由于鉄在固体鋁中溶解度很小，因此少量的鉄就会使鋁中有針状的 Al_3Fe (或 Al_3Fe_2) 出現，与固溶体 (Al)

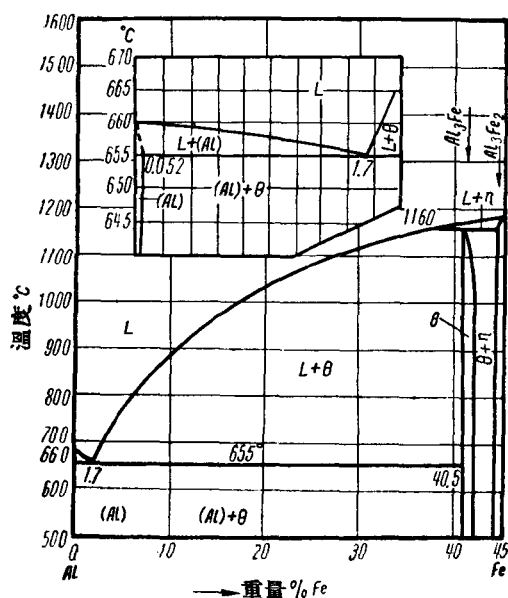


圖 1-1 Al—Fe 合金平衡圖

构成共晶体。不論 Al_3Fe 或 Al_3Fe_2 皆具有高的硬度，性極脆，影响鋁的塑性甚劇；如有多量存在时能使鋁的压力加工發生困难。不仅如此，鉄的存在还降低了鋁的导电性和耐蝕性。因此它是鋁内的一种有害雜質。

Al-Si 合金平衡圖屬於最簡單的共晶类，見圖 1-2。硅在固体鋁中的溶解度于共晶溫度 (577°C) 时为 1.65%；随着溫度下降，溶解度亦逐漸减小；到室溫时仅及 0.05% 左右。至于鋁在固体硅中的溶解度則至今尚未完全确定。

在鋁或鋁合金中，初晶硅常呈粗大的多角形，而共晶硅則常作長条状。这些游离的硅晶体对于鋁的机械性能或物理化学性能所發生的影响与雜質鉄（在鋁中构成 Al_3Fe 或 Al_3Fe_2 ）的作用相似。

由于雜質鉄和硅在鋁中常同时存在，因此若要詳細地探討它們对組織所發生的影响，最好能研究 Al-Fe-Si 三元合金平衡圖。此圖靠近 Al 隅的部分如圖 1-3 所示，其放大后情况則見圖 1-4。圖 1-5 为熔化沟綫（指位于空間中的二相共晶曲綫和包晶曲綫在底面上的投影）以及初晶区域情况。由圖 1-3 可知， Al-Fe-Si 系三元合金靠近 Al 隅部分可能出現的相除 α （鉄和硅在鋁中的固溶体）， Si 和 Al_3Fe 外，还可能出現 T_1 [$\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si}$ ，或称 $\alpha-(\text{Fe-Si})$]，有时亦書作 $\alpha(\text{Al-Fe-Si})$] 及 T_2 [$\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2$ ，或称 $\beta-(\text{Fe-Si})$]，

有时亦書作 $\beta(\text{Al-Fe-Si})$]。至于 T_3 (Al_4FeSi_2)，按照平衡圖来看是不應該与 α 固溶体互相平衡的，但实际上由于合金在熔化和冷却过程中并不常处于平衡状态，可能有偏析存在，所以有时亦可見到 T_3 相与 α 固溶体共同存在。

当 T_1 相与 α 固溶体构成共晶体时，其分布常作骨骼状；而当 T_2 相与 α 固溶体构成共晶体时，則 T_2 相常作針状。不論是 T_1 或 T_2 相，当在鋁内存在时都会使鋁的塑性变坏，特别是針状的 T_2 相，为害尤烈。

在显微镜明場观察时， Si ，

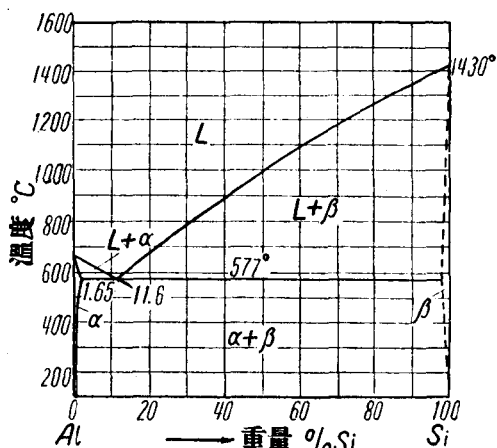


圖 1-2 Al-Si 合金平衡圖

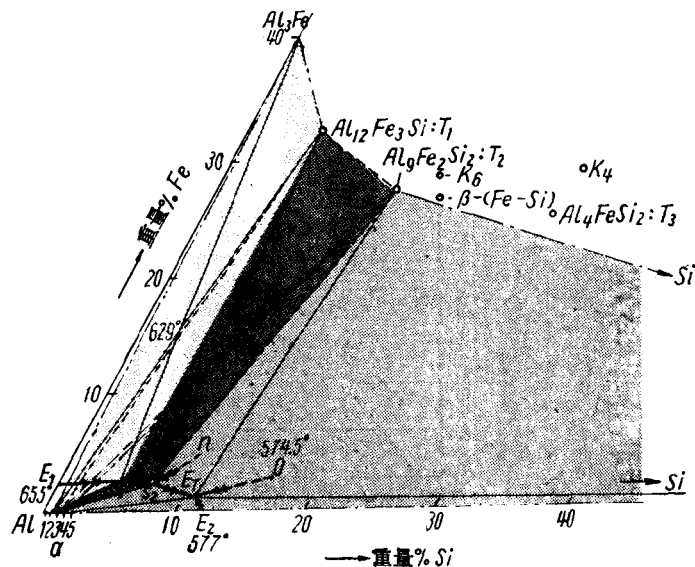


圖 1-3 Al-Fe-Si 合金平衡圖靠近 Al 隅部分

Al_3Fe , T_1 和 T_2 四相均呈灰色，其中以 Si 的顏色最深（且在正交尼科尔偏光下具有微紅色內反射），

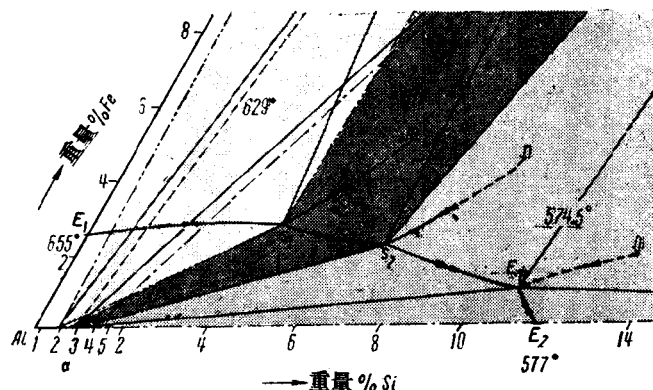


圖 1-4 Al—Fe—Si 合金平衡圖靠近 Al 隅部分的放大情況

T_2 次之, Al_3Fe 又次之, T_1 則最亮。以上四相亦可利用各種侵蝕劑侵蝕後加以區別 (鋁合金的常用侵蝕劑及其對各相的反應見附錄 1 及附錄 2: Si 對附錄 2 中所列各種侵蝕劑皆不受侵襲 (又硬度特高, 显微硬度為 $H_{50} = 1320$ 公斤/公厘²), 故最易鑒定。其次, 當用氫氟酸溶液侵蝕時, T_2 將變為棕色, 而 T_1 和 Al_3Fe 均不起作用。最後, 欲區別 T_1 和 Al_3Fe , 可應用硫酸溶液侵蝕, 因 T_1 不易變色而 Al_3Fe 將被溶去; 亦可應用氫氧化鈉溶液侵蝕, 此時 T_1 不易侵襲而 Al_3Fe 則變色發暗。

欲消除雜質的片狀或針狀組織, 一般常將鋁 (或鋁合金) 於熱狀態下鍛軋後並進行長時間的擴散退火。這樣, 上述組織將發生碎裂並能部分地收縮成為圓粒狀, 因而改善了金屬的塑性。如不應用壓力加工而單獨使用擴散退火, 則只能收到部分效果。例如對晶体硅而言, 由於它在鋁中的溶解度較大, 所以仍可逐步變成球粒狀 (惟效果亦較經壓力加工者為差), 但雜質鐵所形成的各種化合物則由於在鋁中的溶解度均甚小, 因而它們的形狀不致有顯著的改變。

(本節之金相圖片請參閱 92~95 頁)

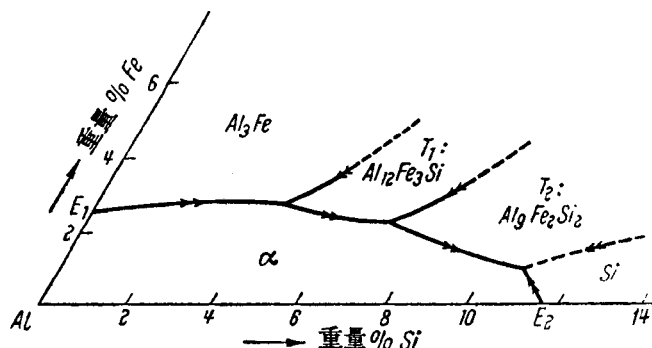


圖 1-5 Al—Fe—Si 合金的熔化溝綫和初晶區域

第二節 鋁硅類合金

鋁硅類合金通稱為硅鋁明, 一般以含硅 4~14% 作為基本成份。它們在工業上開始應用的時間雖較鋁銅類合金為晚, 但後來却獲得了最廣泛的應用。目前幾乎有半數以上的鑄鋁合金是屬於鋁硅類的。

目前有許多學說來解釋鈉對於鋁硅合金的變質作用，但至今尚無一種較為完整而公認的學說。此處僅舉一種說法如下：鈉僅能微溶于液體鋁中；而在凝固點附近，其溶解度幾近於零。此時出現的硅晶核，其表面有吸附自鋁液中析出的鈉的傾向。所吸附的鈉薄膜阻礙了硅晶體的長大，同時亦使合金更易于過冷，即降低了合金的共晶溫度。

鐵在硅鋁明中往往是一種不可避免的雜質。它的存在會損害合金的塑性，因為如在第一節內所提到的，鐵常與鋁和硅形成硬脆的 Al_3Fe ， $\text{T}_1(\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si})$ 以及 $\text{T}_2(\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2)$ 等相；特別是 T_2 相，由於其常作針狀存在，為害最大。但若在硅鋁明中加入少量的錳，則上述危害性可以大大地減小。錳對硅鋁明這一種有利的作用，至今尚未能完全解釋其原因，但大致可認為如下：錳與鋁形成化合物 Al_6Mn ，或與鋁及硅形成三元化合物 $\text{Al}_{10}\text{Mn}_2\text{Si}$ ；這兩種化合物均能溶解一部分鐵而成為固溶體（在圖 1-7 $\text{Al}-\text{Fe}-\text{Mn}$ 三元合金平衡圖上即可看出鐵在 Al_6Mn 中溶解度甚大，最高時可達 13% Fe，此時錳的含量則為 14%。至於鐵在 $\text{Al}_{10}\text{Mn}_2\text{Si}$ 中的溶解情況則在三元平衡圖中無法表示）。由於鐵部分地溶于 Al_6Mn 或 $\text{Al}_{10}\text{Mn}_2\text{Si}$ 中，結果就減少或避免了針狀的 Al_3Fe 及 $\text{T}_2(\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2)$ 等相的出現。雖然，當 Al_6Mn 或 $\text{Al}_{10}\text{Mn}_2\text{Si}$ 與 α 固溶體構成

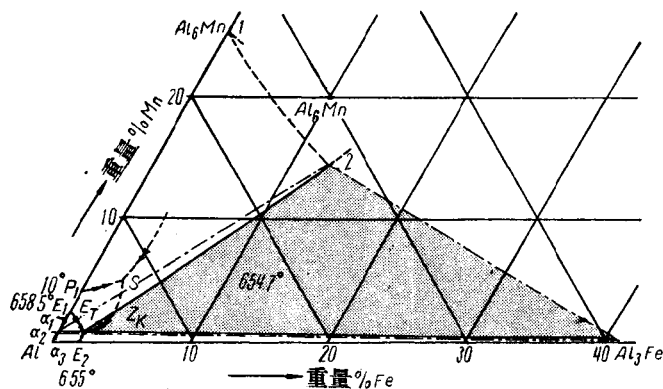


圖 1-7 $\text{Al}-\text{Fe}-\text{Mn}$ 合金平衡圖靠近 Al 隅部分

共晶體時亦常呈骨骼或漢字狀，但其排列較為緊密，且杆條亦較短小，故危害性不如 Al_3Fe 及 $\text{T}_2(\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2)$ 為烈。

圖 1-6 為 $\text{Al}-\text{Mn}$ 合金平衡圖。圖 1-7 及圖 1-9 分別為 $\text{Al}-\text{Fe}-\text{Mn}$ 及 $\text{Al}-\text{Mn}-\text{Si}$ 合金平衡圖；圖 1-8 及圖 1-10 則分別表示這些合金在凝固後的各相分布範圍。

由圖 1-6 可知，在共晶溫度（658.5°C）時，錳在鋁中的溶解度為 1.82%。隨著溫度下降，溶解度亦相應地減小，至 500°C 時約為 0.36%，至室溫時則更低。從這一點來看，鋁錳合金似可進行淬火及時效處理，但實際上却並不存在這一類可熱處理的鋁錳合金。

當錳的含量超過溶解度時，錳與鋁形成化合物 Al_6Mn 。 Al_6Mn 呈亮灰色，較 Al_3Fe 為亮，且在正交尼科爾偏光下觀察時具有明顯的外圈，因此易與 Al_3Fe 區別。此外，利用侵蝕方法亦可將兩者加以區分，例如用硫酸溶液侵蝕

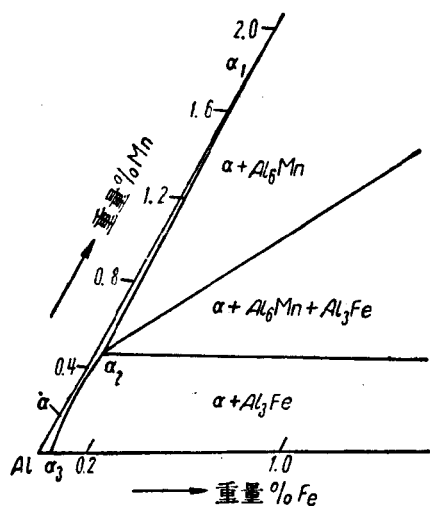


圖 1-8 $\text{Al}-\text{Fe}-\text{Mn}$ 合金在三元共晶溫度時各相分布範圍