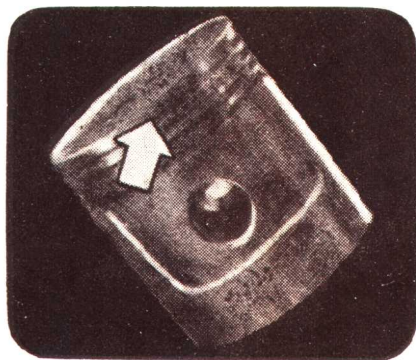


姜振魯編著

金屬型鋁合金鑄件缺陷的 生成原因和防止方法



机械工业出版社

机械工业出版社 中国材料 2011

张德全 著

金属型铝合金铸件缺陷的 生成原因和防止方法



机械工业出版社

編著者：姜振魯

NO. 1306

1957年2月第一版 1957年2月第一版第一次印刷

787×1092^{1/32} 字數 26 千字 印張 1^{3/16} 00,001—10,000 冊

機械工業出版社(北京東交民巷27號)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

統一書號
T 15033·422

定價(9)0.16元

出版者的話

祖國正在進行着大規模的經濟建設，大量的新工人將要不斷地參加到工業建設中來，同時現有的技術工人，由於在舊社會沒有學習的機會，經驗雖豐富，但理論水平較低。為了使新工人能夠很快地掌握技術的基本知識，並使現有工人也能把實際經驗提高到理論上來，因此，我們出版了〔機械工人活葉學習材料〕。

這套活葉學習材料是以機器工廠里的鑄、鍛、車、鉗、銑、刨、熱處理、鉚、焊等工種的工人為對象的。每一小冊只講一個具體的題目，根據各工種各級工人所應知應會的技術知識範圍，分成程度不同的〔活葉〕出版。

本書介紹了鋁合金的金屬型鑄件缺陷的生成原因和防止生成這些缺陷的方法，可供鑄造工人參考。

目 次

一 气孔是怎样产生的	3
1 熔化温度对气孔生成的影响——2 用料不当对气孔生成的影响——3 熔爐的形式和气体对气孔生成的影响——4 熔剂对气孔生成的影响	
二 怎样防止气孔的生成	7
1 採用清潔干燥的爐料——2 严格控制熔化温度和熔化時間——3 使用适当的被复剂和生气剂——4 排除鋁合金液中的气体——5 用冷却的方法排除合金液中的气体——6 严格掌握澆鑄的温度和操作	
三 縮孔、縮松的生成原因和防止的方法	14
1 縮孔和縮松的特征和生成的原因——2 怎样防止縮孔、縮松的生成	
四 滯流和裂紋的生成原因和防止方法	24
1 滯流的特征和生成的原因——2 怎样防止滯流的生成——3 裂紋的特征和生成的原因——4 怎样防止裂紋的生成	
五 鑄件缺陷的檢查方法	30
1 表面檢查——2 断面檢查和宏觀組織檢查——3 鹼液腐蝕檢查——4 車削試驗——5 其他檢查方法——6 气孔等級的鑑別	
六 金屬型鑄工工作須知	32
附 录	
1 金屬型鑄造中常用的鋁合金	35
2 常用的工具	36

用金屬型鑄造出來的毛坯，不僅精密度較高，而且由於鑄件冷卻得很快，可以得到晶粒細密的組織，使硬度、強度也都比較高。金屬型鑄造還給鑄件的大量生產創造了有利的條件。

鋁合金的金屬型鑄造，在工業上，特別在航空工業和汽車工業上，應用得很廣泛。但是，我們對鑄鋁合金的冶煉性質和鑄造性質目前還缺乏足夠的知識，常常因為熔鑄的方法不對頭，或者鑄型的構造不適合、鑄型使用得不妥當，使鑄件內部組織粗松或者產生氣孔、縮孔、縮裂等缺陷，降低了鑄件的機械性能，使它受不起壓力，甚至造成廢品。鑄件為什麼會產生這些缺陷呢？我們要怎樣來防止產生這些缺陷呢？這就是下邊所要研究的內容。

一 氣孔是怎樣產生的

在談氣孔產生的原因以前，先談一下氣孔的特徵和氣孔的存在對鑄件物理性能的影響。

氣孔是一種鋁合金鑄件常有的缺陷。氣孔有兩種。一種是蜂窩狀的針孔（叫做針狀氣孔），它多半是成羣集中在一起的。圖1所示的是一個加工過的鋁合金活塞上的針孔聚集的情形。另一種是近似圓形內壁較光滑的氣孔，大小不一，散布在鑄件的表面上，如圖2所示。這兩種氣孔多半都發生在鑄件的表層。

氣孔對鑄件的機械性能影響很大，下邊的例子很清楚地說明了這一點。牌號是AL4的鋁合金的鑄件，在每平方公分內的氣孔數量不到5個的情況下，它的抗拉強度是26.6公斤/公厘²，屈服點是21.4公斤/公厘²，延伸率是5%；如果鑄件中的氣孔的數量增加到每平方公分20個，那末，它的抗拉強度就會降低到20公斤/公厘²，

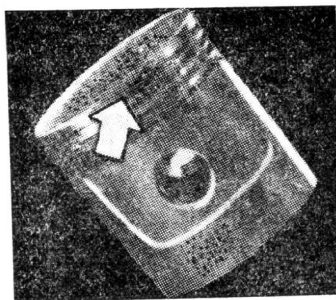


圖 1 針狀氣孔。

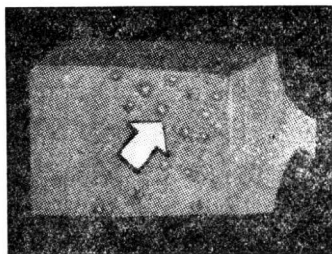


圖 2 圓形氣孔。

屈服点降低到16公斤/公厘²，延伸率降低到2%（参看表1）。

現在我們来进一步研究气孔生成的原因和防止的方法。

产生气孔的原因很多，需要从各个方面去找。一般地说，合金的熔化过程对气孔生成的影响最大，原材料的选择、澆鑄温度和澆鑄速度的控制，也跟气孔的产生有关系。下面分別談談影响

表1 AЛ4 鋁合金鑄件的气孔数量跟它的机械性能的关系

每平方公分內的气孔数量	5 以下	6~10	11~15	16~20	21~25
气孔的直径 (公厘)	90% 在0.1以下 10% 在0.1~0.2	80% 在0.1以下 20% 在0.1~0.2	80% 在0.3以下 20% 在0.3~0.5	70% 在0.5以下 30% 在0.5~1.0	60% 在0.5以下 40% 在0.5~1.0
机 械 性 能					
抗 拉 强 度 (公斤/公厘 ²)	26.6	26.2	25.0	20.0	15.0
屈 服 点 (公斤/公厘 ²)	21.4	21.1	20.5	16.0	12.0
延 伸 率(%)	5.0	4.7	3.0	2.0	1.5

气孔生成的最主要的因素。

1 熔化温度对气孔生成的影响 比起其他气体，氢气在熔化的铝合金中的溶解量最大，约佔合金吸收气体总量的60~90%。铝合金吸收氢气的量跟熔化温度有密切的关系：吸收量的多少跟温度的高低成正比。这就是说，合金熔化的温度越高，它吸收氢气的能力越大。圖3是铝合金的氢气溶解量跟加热温度的关系的曲线圖。

例如：一个重100公分的铝合金铸件，要是在700°C浇铸，它的氢气吸收量是2公分³，在800°C浇铸是10公分³，在900°C浇铸是17公分³，在1000°C浇铸是25.5公分³；在670°C浇铸的铝合金试样的致密度，要比在870°C浇铸的高8~9%。

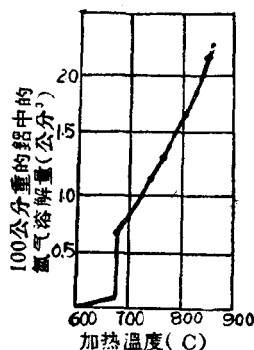


圖3 鋁合金的氫氣溶解量跟它的加熱溫度的關係。

鋁合金在高溫所吸收的氫氣，在鋁合金冷卻下來的時候都要從液體里面跑出來；可是合金液開始凝固的時候是要逐漸變得很稠黏而不容易流動的，而且它的外皮又因為緊靠着金屬型的內壁而冷卻得很快早就變硬了，這些氣體雖然從液體里面跑出來，卻不能跑到鑄件的外面去。於是鑄件里面就留下了許多很小的氣孔，鑄件的質量就受到了嚴重的影響。

2 用料不當對氣孔生成的影響 在我們一般工廠里，大家對所採用的原料的質量往往注意不夠。我們知道，鋁合金錠要是儲存在潮濕的地方，或者受過腐蝕，表面有腐蝕層存在，都會含有氫氣的化合物；把這些鋁合金錠熔化，氫氣就會給吸收在液體合金中，使凝結後的鑄件里有氣孔存在。

有人做过这样的試驗。把一部分鋁合金放在露天中，讓它受風吹雨打，半年后，这一批鋁合金錠的表面就有了腐蝕的斑痕。把另一部分鋁合金錠放在干燥通風的庫房里，半年后，它們的表面仍光澤如新，毫無腐蝕痕跡。然后把這兩部分鋁合金錠分別放在坩堝里熔化，再鑄出产品来。檢驗的結果是：用沒有腐蝕的一部分鑄出的，內部針孔極少，密度达到 2.99公分/公厘^3 ；用有腐蝕斑痕的一部分鑄出的，內部針孔密集，密度只有 $2.77\sim 2.76\text{公分/公厘}^3$ 。

此外，在鋁合金的爐料里，常常摻有一部分廢鋁料如澆冒口、廢鋁機件等。这些廢料上免不了附有一些油漬，要不設法把这些油漬去掉，熔化的时候它就会分解为碳氢化合物，使氫气溶入鋁合金中，鑄件也就会有气孔了。

由此可以看出，選擇原料也是一件很值得注意的事情。

3 熔爐的形式和气体对气孔生成的影响 熔化鋁合金用的爐子，应当是火焰不直接跟液体合金的表面接触的。要是忽視了这一点，熔爐建造得不合适，讓火焰直接跟液体合金表面接触了，那就会有这样的后果：如果火焰是氧化性火焰（就是有多余氧气的火焰），一部分鋁合金就会直接被氧化而成为氧化鋁，增加了合金的熔耗；如果火焰是还原性的火焰（就是氧气不足、燃燒不完全的火焰），就会使合金液溶解大量氫气，使凝固以后的鋁合金內部有針孔。

火焰的性質，一般从它的色澤来鑑別：外端出現藍白色的火焰是氧化性火焰，紅黃色帶有黑烟的火焰是还原性火焰。

同时熔爐里燃燒的气体，主要是碳氢化合物，它是氫气的主要来源之一。虽然我国目前多半採用以焦炭做燃料的坩堝爐，但是焦炭最容易受气候影响而受潮，熔化合金的时候，潮湿的水分分解了，新生的氫气大部分都溶解到鋁合金中去，促使在鑄件內

部生成气孔。

此外，要是在气候潮湿的时候熔鑄鋁合金，鑄件也会生成气孔。空气中含有大量的水分。这些水分一跟液体合金接触，就生成了氧化鋁和氫气，氧化鋁浮在表面，而氫气就被吸收而溶解在鋁合金中了。試驗的結果告訴我們：在空气干燥的晴天澆鑄鋁合金鑄件，因針孔而報廢的只佔0.5%，也就是說，澆鑄200个鑄件才有一个因有針孔而報廢；可是在陰湿的天气下进行澆鑄，因針孔而報廢的就会达到5%，也就是說，澆鑄100个鑄件就有5个因有針孔而報廢。从这里可以看出，气候的干燥和潮湿也会影响鑄件的質量。

4 熔剂对气孔生成的影响 鋁合金熔化过程所使用的熔剂，無論是固体熔剂（如氯化鈉、氟化鈉）或者气体熔剂（如氯气、氮气），都对改善鑄件質量起显著的作用。加入熔剂可以保护液体鋁合金，使不受氧化損失，同时可以把所吸收的氫气排除出去，使鑄件組織細密而無針狀气孔發生。根据性能和作用，熔剂一般分为被复剂和去气剂两种（關於熔剂的种类和除气作用，可以参看机械工人活叶學習材料第44本許鎮宇編著的〔鋁合金的熔鑄法〕第9~15頁）。

但是，熔剂要是用得恰当，不但不能起好作用，还会产生相反的效果。例如，用了潮湿的熔剂，在处理合金的时候，潮湿的水分就会分解，而分解出来的氫气全部会被吸收溶解在鋁合金中，反而使鑄件有了气孔。

二 怎样防止气孔的生成

我們已經明白了鋁合金鑄件中的气孔的生成原因，現在来談談应当採取哪些措施才能使鑄件不产生气孔。

1 採用清潔乾燥的爐料 爐料最好完全用預先熔制好的合金錠配制。如果要摻進一部分廢料和澆冒口，就得預先把附在鋁料上的切削液、潤滑油燒掉，把鋁料洗刷干淨，除去鋁料上的腐蝕層和髒東西（腐蝕表面層可以用噴砂機清除掉）。

此外，無論用的是焦炭爐或者煤氣爐，爐襯都必須徹底烘干，爐子的形式都一定要符合「火焰不直接跟合金表面接觸」的原則，熔化都應當在中性或微弱氧化性的氣氛下進行。如果使用焦炭作燃料，一定要使它保持乾燥而不混有冰雪或含有過多的水分。

2 嚴格控制熔化溫度和熔化時間 在熔化鋁合金過程中，一定要用熱電偶嚴格控制熔化溫度，使它最多不超過 750°C ；因為溫度一超過 750°C ，鋁合金液就會大量吸收氣體。

鋁合金最好在可以調整火焰的快速熔爐里熔化，熔化的時間要看熔爐類別和合金容量多少而定。根據一般的經驗，使用容量 $150\sim 200$ 公斤的自然通風坩堝爐；從開始熔化到澆鑄的時間最好不超過半小時，如果使用油爐，熔化時間還要短些。鋁合金在熔爐中停留的時間越長，合金的結晶組織越粗大，鑄件的機械性能也就越差。

3 使用適當的被復劑和生氣劑 在熔化鋁合金的時候，使用了適當的被復劑，可以使合金跟空氣隔離，減少合金吸收氣體的數量，並且可以防止合金氧化，改善合金的質量，降低熔耗。常用的被復劑是 50% 氯化鉀和 50% 氯化鈉的混合物或 55% 氯化鉀和 45% 氯化鈉的混合物。

鋁合金熔化以後，要進行一次純化處理。所謂純化處理，一般就是在合金液里加入氣化物的熔劑。最常用的熔劑是氯化鋅，在澆鑄前 15 分鐘加入，加入方法可以參看「鋁合金的熔鑄法」第 11 頁。

溶剂的加入量是合金重量的0.05~0.15%。氯化鋅的沸点是730°C，所以加入时候的合金温度最好在730°C左右，如果温度过低，去气纯化的作用就不会彻底。氯化鋅加入后跟鋁起化学作用，生成了氯化鋁和鋅。氯化鋁的蒸气猛烈地搅拌着合金，使氧化物浮到合金液表面，同时带走了一部分气体。所用的氯化鋅必须非常干燥。氯化鋅是一种会吸收潮气的化合物，如果长期同空气接触，就会吸收水分而变成液体；如果遇到这种情况，最好把它熔化，再浇成同样大小的块子，保存在密封的干燥器皿内。使用氯化鋅前要把它放在110~120°C的烘箱里彻底烘干。

4 排除鋁合金液中的气体 鋁合金在熔化的过程中，免不了会或多或少地吸收一部分气体，这些气体需要我们设法从合金液中排除出去。

常用的排气方法是：用某些气体如氯气、氮气等，从底部向合金液吹去，使合金液发生〔沸腾〕现象而把气体带走。

氯气排除气体效果较好。在一定的压力和一定的速度下，经过石墨管往合金液里通入干燥的氯气，不但可以使合金液冒泡，而把氢气从合金液里带出来，而且氯气会跟溶解在合金液里的氢气发生化学反应，形成容易挥发的氯化氢。氯气还会跟合金液里的鋁作用，形成气态氯化鋁，把氢气从合金液里带走。

加氯去氢处理，最好在合金液温度稍稍高于本身熔点，即在670~690°C的时候进行，因为这时候鋁合金的溶气量最少。处理的时间长短，决定于所用材料的纯度。当氯气的压力是100公厘水银柱的时候，处理的时间一般在5~6分钟左右，气体的流量大约是每秒鐘15~22个泡。进行处理的时候，要把熔爐封闭好。处理后再很快地把合金的温度提高到690~750°C。

使用氯气有两个缺点：第一，处理后，鋁合金中的杂物被去

除了，結晶核心的數目也就減少，因而晶體增大了。第二，氯氣很毒，操作的時候要穿戴防毒設備。

使用氯氣吹煉，雖然在效果上比用氯氣要差一些，容易產生渣子，但是費用節省，操作安全，並且不會損壞坩堝，所以一般多採用氯氣來吹煉。用氯氣吹煉的時候，氣體流量應該控制在500升/時左右，吹煉時間要根據合金氣體吸收量的多少來決定，一般大約是5~10分鐘。

氯氣在使用前先要進行乾燥處理，一般可以讓氯氣通過填滿銅切屑（加熱到850℃）的圓筒，以除去水分（壓力大於20個大氣壓的可以不必要進行處理）。

關於加氣體熔劑的設備的使用，可以參看[鋁合金的熔鑄法]第12~15頁。

合金液經過吹煉就可以準備澆鑄。

5 用冷卻的方法排除合金液中的氣體 這是一種比較簡單的排除氣體的方法。我們知道，氣體在液體合金里的溶解程度，是隨著溫度的降低而減少的。所以為了排除溶解的氣體，可以把合金液慢慢地冷卻到凝固，使氣體都跑走，然後再迅速把它加熱到適宜的澆鑄溫度進行澆鑄。這種方法能發生多大效力，要看第二次熔化時吸收氣體多少而定。如果氣體大部分是合金錠和廢料表面帶進來的話，用這種方法就是極有效的；如果氣體來源是周圍的空氣，這種方法就不會有多大效力了。

6 嚴格掌握澆鑄的溫度和操作 要得到質量高的鋁合金鑄件，熔化溫度和澆鑄溫度都要尽可能地低到最小的範圍內，並且等鋁合金液一達到適宜的溫度，就應該立刻設法控制爐溫進行澆鑄。澆鑄溫度要用刷好塗料的浸入式熱電偶（圖4）去測量：在合金液還沒澆入鑄型以前，把熱電偶的一端浸入澆包裏，停留

30~35 秒鐘。如果合金液的溫度超过了規定的澆鑄溫度 30°C ，這包合金液就只好作廢（要澆在鑄錠的金屬型里，而不應該澆入鑄型）。

掌握正確的澆鑄溫度是一件很重要的工作。我們看了圖 5，就可以知道澆鑄溫度跟合金機械性能的關係。圖 5 表示一種鋁合金（成分是銅 1.2%、硅 5%、鎂 0.5%，其餘是鋁）在各種不同的溫度下鑄造的試

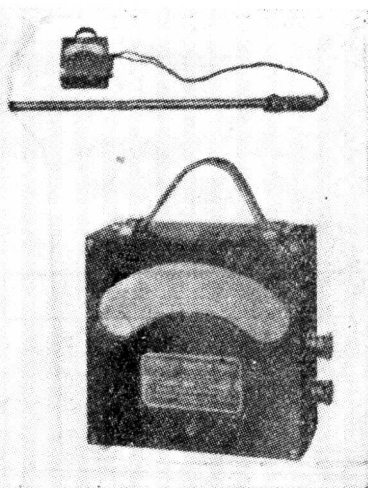


圖 4 刷有塗料的浸入式熱電偶。

樣的機械性能（取 3 個試樣的平均值）。從圖上可以明顯地看出，澆鑄溫度越高，機械性能越差。那末究竟什麼樣的澆鑄溫度才算

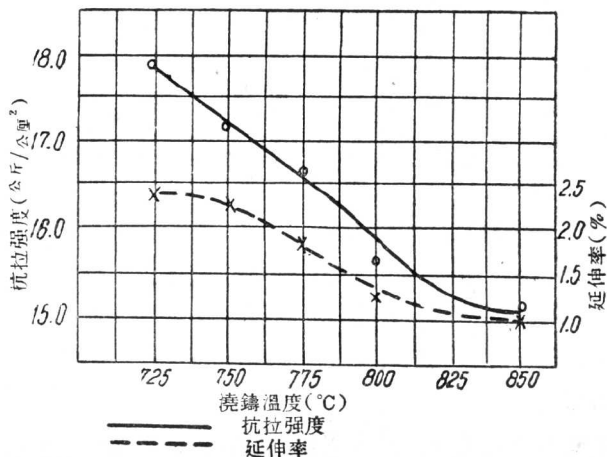


圖 5 含銅 1.2%、硅 5%、鎂 0.5% 的鋁合金的澆鑄溫度跟機械性能的關係。

是合适的呢？这就很难作确定的答复。各种铝合金，根据铸件的形状、合金的特性以及金属型的温度，是有它最理想的浇注温度的，而这温度需要通过实验后才能确定。

根据苏联资料的介绍，几种苏联牌号的铝合金的浇铸温度如表 2 所示，可供我们参考。

表 2 铝合金的浇铸温度

合 金 牌 号	浇铸温度(°C)	合 金 牌 号	浇铸温度(°C)
АЛ-1	720~770	АЛ-6	690~730
АЛ-2	680~780	АЛ-7	690~740
АЛ-3	700~750	•АЛ-8	640~700
АЛ-4	730~750	АЛ-9	690~740
АЛ-5	690~720	АЛ-10	690~730

根据其他的资料介绍，铝合金铸件厚度在 12 公厘以下的，浇铸温度是 730°C；厚度在 12~30 公厘的，浇铸温度大约是 710°C；厚度在 30 公厘以上的，浇铸温度大约是 690°C。

合金液的浇铸不要进行得太快，否则容易裹入空气，造成气孔。合金液注入金属型的速度，是用试验法来选定的，一般是 0.25~3.8 公斤/秒。为了检查一下合金液中的气体是否除净，最好在正式浇铸工件以前先浇铸一塊试样。试样可以用一个长方形的烘干砂型来浇铸。在试样还没凝固的时候，用薄铁片把合金液轻轻地刮去一层，要是表面平静，就表示气体已经排除干净，可以进行浇铸；如果有气泡产生，就表示合金液里还有气体，应当继续去气处理。试样的大小可以参看 [铝合金的熔铸法]。

总的来说，要防止铝合金吸收气体，必须从这样几方面着手：做好配料和熔剂的准备、清理工作，遵守正确的熔化规范，经常注意炉内情况，正确地控制熔化和浇铸温度，等等。结合目前国内

內情况，做好配料的准备、清理工作以及遵守正确的工艺规范，尤其重要。

为了帮助大家正确地掌握鋁合金的熔化工作，避免因發生偏差而給生产帶來損失。下面重点介紹一下常用的 АЛ-1、АЛ-2 和 АЛ-4 等三种牌号的鋁合金的熔制方法。

在熔煉 АЛ-1 号鋁合金之前，要先把刷好塗料的鑄鉄坩堝預熱到 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。然後加入配料計算好的全部銅鎳中間合金和一小部分鋁塊，熔化後仔細加以攪拌，再加入其余的鋁塊。鋁塊應當是預熱到 $120\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的。等完全熔化以後，用攪拌器仔細加以攪拌，並讓爐溫保持在 $700\sim 730^{\circ}\text{C}$ （或把坩堝從爐中吊出來），用鐘罩壓入爐料總重 0.1% 的氯化鋅脫氣。氯化鋅在使用以前必須熔化以除去水分，並用鋁箔包好，否則潮濕的氯化鋅反而會使合金吸入氣體。

在澆鑄之前加入鎂塊。鎂塊必須預熱到 120°C 左右。用鉗子夾緊鎂塊，一直插入坩堝底（或者用鐘罩壓入），並不斷攪拌。這時要注意，鎂塊沒有全部熔化切不可把鉗子提出，因為沒熔化的鎂塊會浮到鋁液表面，增加了鎂的燒損，結果將使合金的成分不正確。鎂塊的加入時間和加入方法都要掌握正確，不然鎂的燒損率很大，甚至會達到 80%。加鎂後立即清渣，並加入 0.1% 氯化鋅。這時鋁合金液的溫度應當在 700°C 左右；合金液保持在這個溫度 10~15 分鐘後澆入預熱到 $90\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的鑄錠模中成為鋁錠（即再生合金）或直接澆鑄鑄件。根據蘇聯專家建議，必須先制成再生合金，因為這樣特別適宜於成批或大批生產，可以使合金成分均勻，縮短熔化時間，減少熔耗，保證產品成分的精確，滿足技術條件的要求。

熔煉 АЛ-2 号和 АЛ-4 号鋁合金的時候，要先把刷好塗料的鑄

鉄坩堝預熱到 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，再裝入預熱到 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 的同牌號鋁錠（同牌號澆冒口及廢鑄件用量允許到70%）和硅鋁合金（矽鋁明），或者按合金配料成分加入鋁錠和含硅20%的鋁硅中間合金，然後升溫把它們熔化。

熔化後攪拌一分鐘，再升溫到 710°C 。然後除去表面熔渣，用鉄鉗或鐘罩把經過預熱的鎂塊壓入並在液面上運動5~6分鐘，這樣鎂就可以全部熔化，擴散到合金液中。在溫度 $690\sim 710^{\circ}\text{C}$ 的時候，用0.2%氯化鋅或氯氣、氮氣進行脫氣處理。脫氣作用完畢後，停留10~15分鐘，除去表面熔渣，就可以往金屬型澆鑄。鋁合金液的溫度應當控制不超過 750°C ，它的澆鑄溫度是 $700\sim 740^{\circ}\text{C}$ 。脫氣後的鋁合金液要在兩小時內用完，如果停留的時間過久，必須取試樣快速分析，並再作脫氣處理，然後才可以用來澆鑄鑄件。

三 縮孔、縮松的生成原因 和防止的方法

1 縮孔和縮松的特徵和生成的原因 縮孔是鑄件冷卻時由於收縮作用留下的孔，表面呈暗白色。縮孔的形狀大部分都是不規則的，有些像海綿狀，是一種樹枝狀結晶組織，鑄件粗加工後就會發現。圖6和圖7表示兩種鋁合金鑄件中的縮孔的形狀。

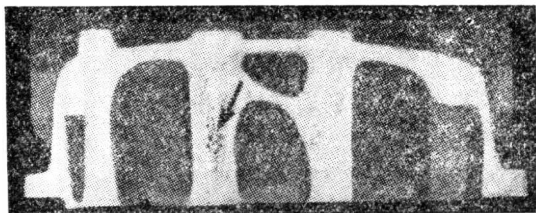


圖6 縮孔(一)。