

鑄鋁合金的 熔煉與精煉

П.И.巴拉諾夫 著



机械工业出版社

76.81.
137

鑄鋁合金的熔煉與精煉

П.И.巴拉諾夫著

嚴大維 王一坐 譯



機械工業出版社

1758

鋁合金的优点是人所共知的了。由于它具有其他金屬所沒有的特性，故近年来在各工业部門广泛地采用了这种合金。

本書着重介紹了鑄造用鋁基合金的熔炼与精炼方法与特点。对熔炼时杂質的清除及改良处理等亦都作了較詳尽的叙述。对鋁基合金的制造工艺和鋁合金廢料的重炼也介紹頗詳。

本書可供专门从事于研究有色合金性能的科学研究人員、有色金属加工厂的工程技術人員、設計人員参考。对高等学校教师及研究生也有参考价值。

苏联 П. И. Баранов 著 ‘Рафинирование и плавка
литойных алюминиевых сплавов’ (Обorongиз 1949年版)

× × ×

№ 1897

1958年8月第一版 1958年8月第一版第一次印刷

850×1168 1/32 字数 127千字 印張5 1/16 0,001—2,600册

机械工业出版社 (北京东交民巷27号)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店发行

北京市書刊出版业营业許可証出字第 008 号

定价 (10) 0.95元

目 次

序 言	5
第一章 鑄鋁合金	8
第一节 合金的鑄造性能	8
第二节 鋁-硅系基合金	20
第三节 鋁-銅合金	26
第四节 鋁-硅-銅系基合金	31
第五节 鋁-鎂系基合金	33
第六节 鋁-銅-鎂-鋁系合金	35
第七节 含鋅的鑄鋁合金	37
第八节 耐热鑄鋁合金	41
第二章 鋁合金熔煉的物理-化学原理	42
第一节 鋁合金中氧化物和其他硬質非金属夹杂物的生成	42
第二节 气体对鋁合金的作用	46
第三节 鑄鋁合金中的合金組分和金属杂质	53
第三章 鋁合金熔煉时的精煉和改善方法	57
第一节 鋁中气体和非金属杂质的清除方法	57
1) 吹氩	57
2) 用盐类精煉	58
3) 用鈉精煉	60
4) 吹氮	62
5) 冻结和静置	63
第二节 鋁合金精煉时清除金属杂质的方法	64
1) 用非金属精煉	65
2) 借偏析进行精煉	67
3) 以金属处理方法进行精煉	74
鉛处理过程 (74) 汞处理过程 (75) 鍍处理过程 (76)	
鋅处理过程 (81) 三层槽中的电解 (81)	74-82
第三节 鋁合金的改良处理	82

第四章 鋁合金制造工艺	92
第一节 爐料	93
1) 新鮮金屬錠	93
2) 二次合金錠	95
3) 中間合金	95
第二节 鋁合金在各种不同結構爐中的熔煉	97
1) 坩堝爐	97
2) 火焰反射爐	103
3) 電爐	105
第三节 各种成分鋁合金的制造	108
1) 鋁-硅合金的制造	110
АЛ 2 合金 (110) АЛ 9 合金 (113) АЛ 4 合金 (114)	110~115
2) 鋁銅合金的制造	115
АЛ 7 合金 (116) АЛ 12 合金 (117)	116~117
3) 鋁-硅-銅基合金的制造	117
АЛ 6 合金 (117) АЛ 3 合金 (118) АЛ 5 合金 (119)	117~121
4) 鋁-銅-鎂-銀合金的制造	121
5) 鋁-鎂合金的制造	123
6) 含鋅合金的制造	125
第四节 合金質量的檢驗方法	126
第五章 鋁合金廢料的重煉	129
第一节 廢料的數量及分類	129
第二节 大塊廢料的重煉物	130
第三节 碎廢料的預先加工	135
1) 碎廢料的磁選分離	137
2) 碎廢料的打捆和壓制成團	139
第四节 重煉鋁廢料用熔劑	145
第五节 切屑及其他碎廢料的重煉	150
1) 切屑、鋸屑、鉋邊等的重煉	150
2) 熔渣的處理	159

序 言

由于鋁合金具有一系列的优点，所以鋁鑄件广泛应用于一般的和專門的机械制造业以及其他工业部門中。鋁合金的特性是比重不大、单位强度高并具有可以鑄出形状复杂零件的良好鑄造性能。当用鋁合金来鑄造內燃机的气缸头、气缸排、活塞和其他零件时，与鑄鉄相比較，它的高导热性便是很大的优点。

由于鋁合金的特殊性質，而使鋁鑄件的生产工艺相当复杂。鋁合金与鑄鉄、青銅和黄銅的极重要的区别是它在熔融状态下与周圍介質的相互作用活潑。

由于鋁对氧、氯、氟、硫及其他元素的化学活潑性高，就使得我們难于清除鋁合金中的金屬和非金屬杂质。大多数工艺上的困难，都是由于熔融鋁有容易氧化、溶解气体和有害金屬杂质的倾向所造成的。

熔融鋁在空气中被复有严密的氧化膜，如果不受机械损伤，它能防止金屬繼續氧化。但是在熔炼的实际条件下，由于氧化物混入金屬，以及由于氧同爐料的組成部分一起落入金屬中，而經常使熔炼物为氧化物所沾污。

不溶于鋁的氧化鋁处于悬浮状态，并且只能以專門精炼处理才可以从金屬中除掉。

鋁合金的显著气孔傾向性是與气体（主要是氫）在熔融鋁中的溶解和金屬結晶时此种气体的析出有关的。当熔融鋁接触到水蒸汽时，除金屬氧化外同时还能吸收水在分解时所放出的氫。

鋁能使与氧亲和力較小的金屬（鉄、銅、鎳、鉻及其他）氧化物还原，同时这些金屬就轉变为合金。在熔融状态下，鋁不但易于溶解加入合金的金屬，而且也易于溶解有害的金屬杂质，同时應該注意到，如銅、鎂和硅这类合金在一些合金中是有益的組

分，而在另一些合金中則成为有害的雜質。

因此，若爐料被沾污，則爐內氣氛、爐衬或熔煉用坩堝的材料等便是鋁合金被非金屬與金屬雜質沾污的原因。有害的金屬雜質主要對鑄件的機械性能有影響。非金屬雜質，如：氧化鋁、氮化鋁、碳化鋁能降低鋁合金的鑄造性能，並對它的耐蝕性有很大影響。

應該特別指出，當鋁合金特型鑄造時，爐料中要加入大量廢料（澆口、冒口、廢鋼鐵、重煉切屑）。當生產大型及複雜鑄件時，廢料總量達到裝料量的75~80%。這一情況特別增加了合金沾污的危險性，並引起清除合金中非金屬及金屬雜質的特殊精煉工序的必要性。

某些鋁合金在熔融狀態下須經特殊形式的加工。例如，含硅量大於6~7%的合金用鈉鹽進行改良處理，以便取得組織良好與機械性能高的鑄件。

合金的配制及重煉是製造優質鑄件的決定性工藝部分，因為無論任何澆鑄和造型方法都不能根本改善被雜質所沾污的金屬。

盡量徹底防止合金被雜質所沾污是熔煉的基礎，但是如果金屬已經沾污，熔煉時就必須進行專門純化工序。

配制合金的工藝過程應該滿足下列基本要求：

- 1) 成品合金的基本成分及金屬雜質含量應符合工藝條件。
- 2) 合金應不含非金屬雜質及氣體。
- 3) 金屬的煉耗應尽可能減少。
- 4) 熔煉應具有高度生產效能，而燃料及能量的消耗應尽可能最小（在遵守前三條的條件下）。

上列要求的實現決定於下列工藝基本部分及因素：

- 1) 爐料的組成及其準備。
- 2) 熔爐的結構及其熔煉工作規範。
- 3) 熔煉順序：爐料的裝載與熔化程序、溫度制度及快速熔煉制度。

4) 目的在于提高成品合金質量的熔炼物的特殊加工方法(精炼、改良处理)。

为了規定合适的工艺, 首先必須了解各种合金的性能、組成及用途, 因为, 熔炼工艺在某程度上根据其組成及用途而改变。

其次, 必須了解在熔炼时鋁合金同介質各种元素所产生的并且能引起合金沾污或純化的相互作用的物理-化学过程。

这些知識不仅对于制訂工艺規程是必要的, 同时对于正确执行工艺規程也是必要的, 因为, 甚至在最完善和詳細的生产規范中也不可能把所有实际工作中所能产生的各种条件全部包括。經常发生这样的情况, 形式上是遵守了工艺規程, 却产生了不明原因的廢品; 但是在仔細分析全部过程时这种原因可以很快查明。

在闡述鋁合金各种精炼方法的各章中还介紹了在工业中未被采用的, 但作为研究較為有利的和可实际应用的各种方法的基础还是有益的几种方法。

第一章 鑄鋁合金

在現代成批和大量生产的条件下，合金除强度、耐腐蝕性和其他工作性能之外，其工艺性能也具有极其重要的意义。

能承受各种不同压力加工的性能，是形变合金的最重要特性，同样，良好的鑄造工艺性能，則是鑄造合金所最需要的。由于所需工艺性能的这种区别，所以形变合金与鑄鋁合金的成分也就各不相同。

大多数形变合金的成分經相应的热处理后会引引起均質組織。这种均質組織能保証合金有高的塑性，从而具有良好的压力加工性。在这些合金中，合金組分的含量应是在均質化时这些組分能够完全或者几乎完全进入鋁的固溶体中。与此相反，大多数現代鑄鋁合金的特点为異質組織，因为，为了保証良好的鑄造性能，合金中需有大量含合金組分的共晶体。当然，固溶体在現代鑄造合金中也有很大意义，因为鑄造合金中的高度机械性能也与形变合金一样，是以热处理方法取得的。

第一节 合金的鑄造性能

决定鑄件質量的鑄造合金的最重要工艺性能如下：

- 1) 液流动性；
- 2) 在鑄件中形成热裂紋的傾向；
- 3) 形成密实和气密性鑄件的性能；
- 4) 偏析傾向；
- 5) 取决于鑄件截面值的合金机械性質改变的程度。

合金的液流动性或鑄型填充性，是以測量鑄于砂型或金屬型（見圖1）中的螺旋和棒的长度的方法来确定的。除合金成分（金屬組分、气体和非金屬杂质）之外，鑄造温度、澆鑄时的压

力值、澆道的截面、导热性、鑄型表面的光洁度和其他条件，对于这样确定的液流性的相对的数值是有影响的。因此，在确定比較各种不同合金的液流性时，鑄造方法、鑄型的結構和质量应当是固定的，而鑄造温度則应这样規定：使合金的过热与熔点（液相点）之比为一一定值。

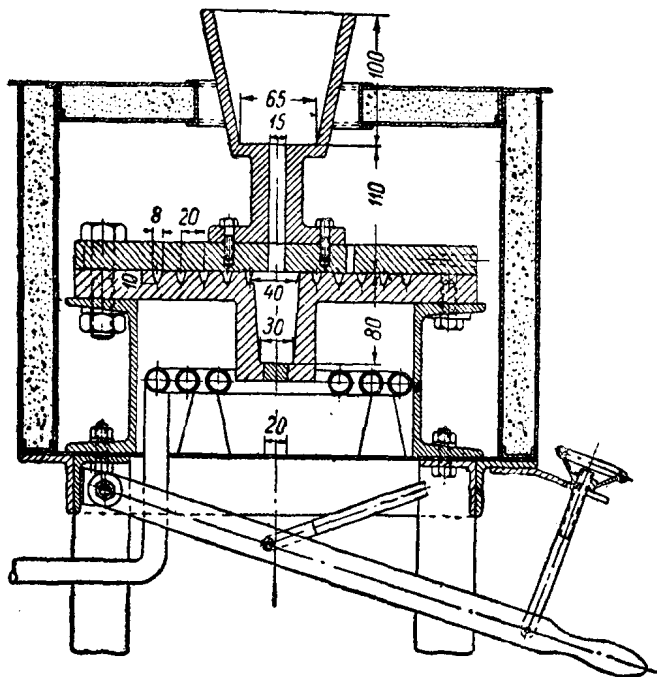


图 1 确定合金液流性用的金属模

鑄件中合金形成热裂紋的傾向决定于合金的結晶特点和凝固时收縮应力的大小，以及合金于高温下的强度和塑性。

图 2 所示为按A.A. 保切瓦尔和M.K. 哈基姆得日諾娃法确定

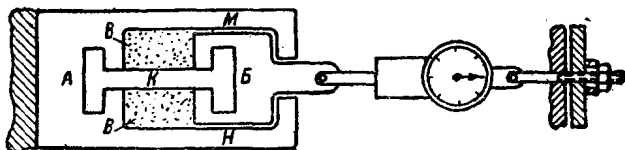


图 2 合金对收縮应力的抗性测定装置简图

合金对收缩应力的抗性时所用的装置简图。用这种仪器，以收缩抗力值来确定合金形成裂纹的倾向（收缩至在固定尺寸的工字形试样上出现裂纹为止）。

试样浇铸于铸型中，铸型的一部分（A）固定不动，另一部分（B）可沿试样长度缩短的方向移动。在每次浇铸试验时，铸型的B部分由预先张紧的测力计保持住一定的拉力。采用这种方法时，不考虑砂芯的抗收缩强度（这种强度由于砂的湿度、填充密度和强度可能是不同的）。

另一种试验合金裂纹倾向的方法，是对工字形试样最小截面的测定（这时在收缩困难的情况下不产生裂纹）。图3所示为裂纹倾向的测定方法。这种方法用于铝合金和镁合金的比较试验很成功。用所试验的合金往预先插入钢横杆 σ 的铸型中浇铸试样 α 。钢横杆的安放距条板 θ 有不同的距离，并且取试样中不形成裂纹时的最小距离（公分）来表明合金在形成裂纹方面的耐性。

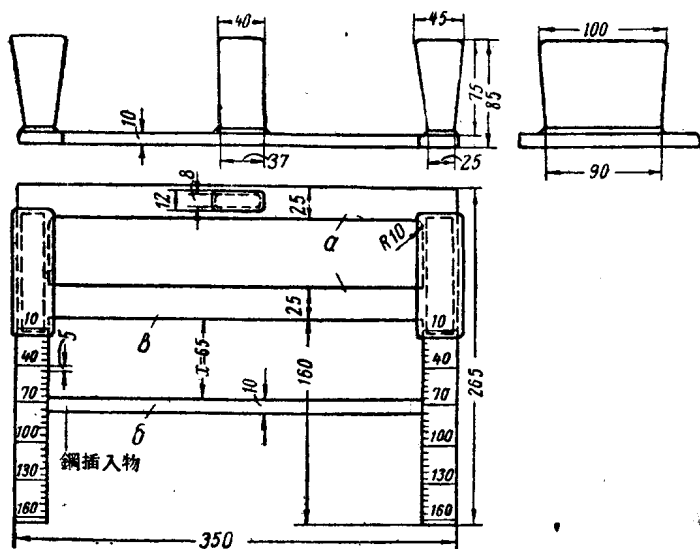


图 3 合金的裂纹倾向测定方法

合金的气密性，即为合金能承受住液体或气体压力而不漏泄

的性能。鑄件的气密性不仅决定于其疏松度，同时也决定于孔隙的特性及其分布的情形。由毛細管道所連通的扩散收縮孔隙，在最大程度上会增加鑄件的透气性。

在圓筒形試样中或“試筒”中压入液体，来測定合金的气密性。气密性的度量有二：1) 由一定壁厚的試样所承受的最大压力（不漏泄），或者2) 在一定压力下而不漏泄的最小壁厚。在第二种情况下，将鑄造的坯料从外面和內面逐渐地分层磨削，在一定液压下重复进行試驗，直到发生漏泄为止。

科学院士A.A.保切瓦尔研究出了合金鑄造性能的理论。这一理论确定出合金成分与其工艺鑄造性能——液流动性、气密性、对收縮应力的抗性及其他性能之間的关系。合金鑄造性能与状态图所确定的合金結晶特性的关系，成为A.A.保切瓦尔的理论基础。

决定于合金成分和其結晶特性的固溶体型合金液流动性的变化情况示于图4。液流动性随着結晶的温度間隔和水平綫上液相点及固

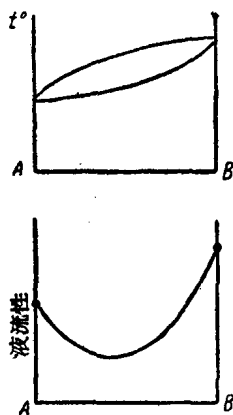


图 4 固溶体液流动性与成分的关系

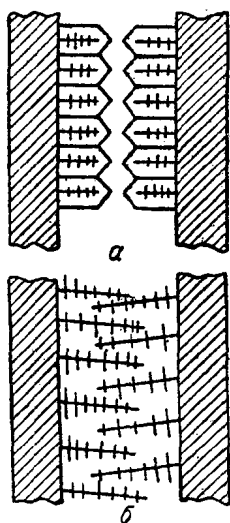


图 5 合金凝固簡图
a—有窄結晶間隔的；b—有寬結晶間隔的。

相点間的距离增大而降低。从有窄和寬結晶間隔的合金結晶簡图（图 5）的比較中可看出这一現象的原因。在寬温度間隔內結晶的合金，由于产生細分叉的树枝状組織，很快轉为半液态，这将大大降低金屬的活动性和其在模型中的流动性。

随着水平綫上液相綫与固相綫之間距离的增大，树枝状偏析也将加强，因为在进行結晶的金屬中濃度差在增大。这就使得树枝状組織成分的不均匀性增长，因为在快速冷却的条件下，成分均与化的扩散过程远不能全部貫通。

收縮疏松特性与固溶体結晶間隔的关系示于图 6。有寬凝固温度間隔的合金，其树枝状組織結晶的特性，会促成扩散疏松。这种現象的产生是因为液体不能浸透树枝状組織間所形成的縮空。当有窄結晶間隔的合金和純金屬凝固时，則产生集中縮孔。

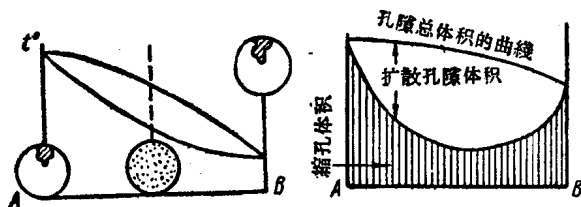


图 6 固溶体收縮疏松特性与成分的关系

固溶体結晶間隔增大，合金对热裂紋的傾向也随之增长。凝固的（如图 5，a 所示）和有窄結晶間隔的合金，当已形成能够抵抗收縮应力的足够硬的外壳时，即产生收縮应力。寬温度間隔內結晶的合金，在收縮困难的情况下，半凝固金屬薄弱部位上容易产生裂紋。

但是应当指出，在固定温度下凝固的純金屬，由于强度低和收縮应力值大，也有产生热裂紋的傾向。

有固溶体受限制区域的共晶混合物的鑄造性能与成分的关系示于图 7 和图 8。这样的系对于鋁基鑄造合金是极为典型的。

在固溶体的区域内，所有鑄造性能皆随着合金結晶的温度間隔的增大而变坏。在按照成分位于固态中第二种組分的溶度界綫

之外的合金中，共晶体的含量对结晶特性和铸造性能有很大影响。

共晶体对液流性的良好影响，在成分与共晶体极其不同的合金中是很小的，因为在这些合金中液体的流动在共晶体结晶开始之前就停止了。液流性在靠近共晶体处急剧增长。同样，愈是接近于共晶成分，则合金的气密性也愈高。这种气密性的改变是与结晶间隔的缩小和分散的收缩疏松向集中缩孔的转化相适应的。

合金中共晶体含量的增加，对缩孔和孔隙的特性有极大影响。集中收缩增大和分散孔隙相应减少的曲线与液流性曲线相比较，后者的倾斜度极大。这证明，数量较小的共晶体，对于收缩特性的逐渐改变影响，已经是足够的。

共晶体对收缩疏松特性的这种影响，是由于孔隙和气孔是在凝固的最后阶段，当共晶结晶开始时才形成的。外部压力的大小对缩孔

的特性有很大影响。随着外部压力的增加，由于外部收缩的增大则内部疏松度（特别是分散的疏松度）亦减小。

图8所示为收缩、收缩应力、裂纹倾向和共晶混合物类的合金成分等之间的关系。这些性能变化曲线的各曲折点不与固溶体界线的极限点相适应。这些点依照状态图中所画出的线收缩起始

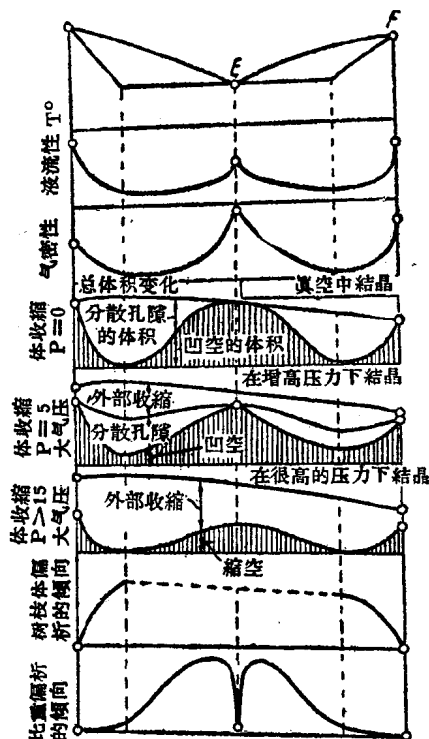


图 7 共晶混合物类合金铸造性能与成分的关系

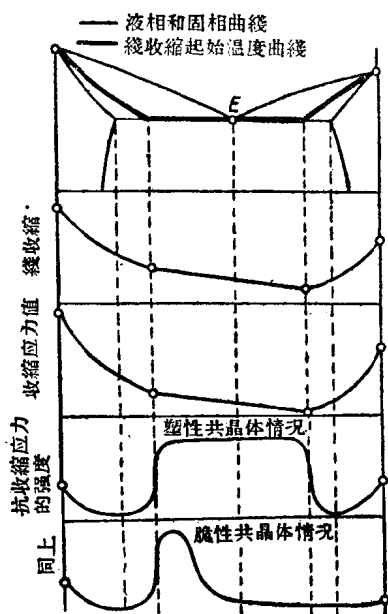


图 8 共晶混合物类合金铸造性能与成分的关系

温度曲线移向共晶体之侧。

随着固溶体区域中结晶间隔的增大而降低的抗收缩应力强度，当出现共晶结晶阶段时，急剧增大。其后，当共晶体含量增大时，抗收缩应力强度的曲线根据共晶体的塑性不同而有各种不同形状。

如果共晶体为可塑性时，则高的抗收缩应力强度一直保持到共晶组成。脆性共晶体含量的增大，也会大大降低抗收缩应力的能力。

所以，含有大量在窄温度间隔内结晶的共晶体的合金是铸造性能的最良好结合。

图 9 和 10 所示为铝硅合金及铝铜合金的液流性与成分的关系曲线。

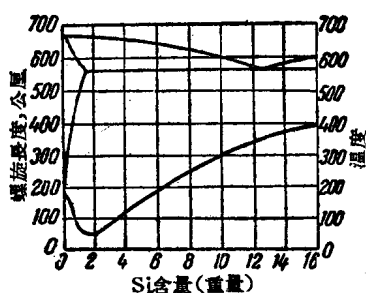


图 9 铝硅合金的液流性

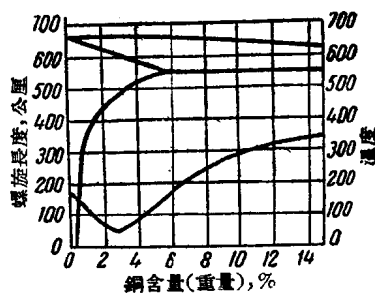


图 10 铝铜合金的液流性

这些数据是根据所有合金在相同铸造温度 750°C 下往金属模

中澆鑄螺旋件的方法所取得的。在兩系中，隨着合金中第二種組分含量的增大，由於合金結晶間隔的增大，液流性在開始時降低，而後，根據合金中共晶体含量的增大和其結晶溫度間隔的減小而增大。

表 1 鑄鋁合金的液流性

(C.T.葛拉駿諾夫)

合 金 牌 号	成 分, %				液流性: 公 厘
	Si	Cu	Mg	Mn	
鋁	—	—	—	—	317
АЛ7	—	4.5	—	—	163
АЛ12	—	8	—	—	334
АЛ12	—	12	—	—	341
АЛ5	5	1.2	0.5	0.4	344
АЛ9	7	—	0.3	—	271
АЛ4	9	—	0.2	0.4	359
АЛ2	12	—	—	—	420
АЛ13	1.2	—	5	—	322
АЛ8	—	—	10	—	318

表 1 中列出關於工業合金液流性的比較數據。這些數據是根據鑄造溫度為 700°C，在濕砂型中澆鑄棒體鑄件的方法所求得的。АЛ2 共晶合金的液流性最好；寬結晶間隔的 АЛ7 合金的液流性最差。

圖 11~14 所示為鋁硅合金和鋁銅合金實驗所確定的氣密性和裂紋傾向與結晶間隔和共晶体含量的關係。大量含共晶体的鋁硅合金的特點是抗裂紋性和氣密性良好。關於鋁銅合金則發現它的裂紋傾向隨着銅含量的增加而減小，唯在銅含量為 12% 時其裂紋傾向仍然高於硅含量為 4~6% 的鋁硅合金。合金中銅的含量繼續增加，會增高合金的脆性，此外其比重還會大大增加。

這樣，含有大量在窄溫度間隔內結晶的共晶体的合金，是鑄造性能的最良好結合。

正如 А.А. 保切瓦爾所指出的：“含有少量共晶体的現代鑄造

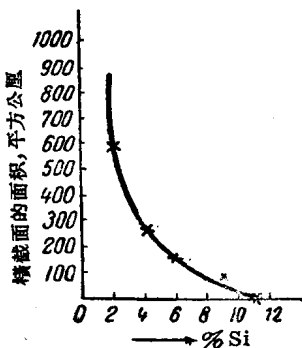


图 11 铝硅合金对形成裂纹的倾向

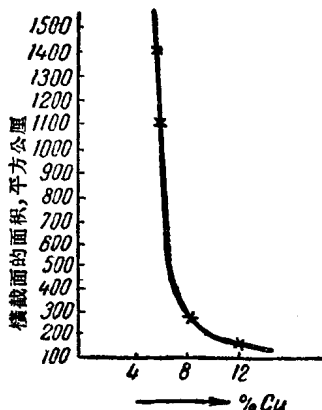


图 12 铝铜合金的裂纹倾向

合金，在试样和不甚复杂的零件中虽然可以得到所需的机械性能，但同时却因疏松度、气密性缺乏和收缩裂纹而产生大量废品，当从薄截面急变为厚截面的复杂零件的情况下，除铸造废品外，在成品的铸件中还会有达不到的机械性能的要求”。有宽凝固间隔的合金，其不足的气密性可由压力下合金结晶的方法来提高；为了防止收缩裂纹，合金中共晶体的含量必须不低于 10~25%。

在铸件的实际强度方面，当零件截面增大时铸造合金保持住足够强度的性能，具有极其重要的意义。同时于一个模子中铸造各种不同截面的试样坯件（图15），可作为增大铸件截面时测定机械性能稳定性的最简单方法之一。这种方法使模型对由坯件切取的试样强度的影响成为固定不变的。

在铸件的厚大部分中，特别是在凝固时对此部分供应金属困难的条件下，由于金属密度减低，粗视与显微组织粗糙和偏析现象增强，合金的机械性能会有某种程度的降低。

当铸件截面改变时，结晶间隔和共晶体含量对机械性能稳定性的影响，可从AJ12和AJ18合金的比較中看出。

AJ12共晶合金（硅铝明合金）的强度，由于铸件截面的增大