

# 金属论坛



重 庆 大 学 出 版 社

## 金属论坛

《金属论坛》编辑部  
责任编辑 谭若斌

※

重庆大学出版社出版发行  
重庆建筑专科学校印刷厂印刷

※

开本：787×1092 1/16 印张：8.000 字数：200千字  
1988年10月第1版 1988年10月第1次印刷  
印数：1-2200

标准书号：ISBN 7-5624-0223-X 定价：1.60元  
TG·11

## 前 言

1986年底，重庆大学有关材料学科的青年教师召开了联席会，决定发起召开第一届西南地区青年材料工作者学术讨论会。并决定由刘天模、潘复生、赵晓林三同志组成会议筹备组。会后，以筹备组的名义发出了征文通知，很快得到了西南地区材料界广大青年同行们的热烈响应。经过近十个月的紧张筹备，讨论会终于在1987年10月4日到7日顺利召开。

本次会议引起了各方面的极大兴趣，来自西南地区三省一区一市的一百余名青年材料工作者参加了会议。这是西南地区材料界青年同行们的一次盛会。它的召开，表达了我们青年材料工作者希望横向交流的迫切愿望。正是由于材料界广大青年朋友的热情支持和各方面的大力协助，这次会议才获得了圆满成功。

值得提出并感谢的是，重庆大学和重庆市金属学会对这次会议非常支持并提供了经济资助。重庆市金属学会还出资为会议出版论文集，《金属论坛》编辑部为文集的编辑出版付出了辛勤的劳动，在此谨向他们表示谢意。

会议文集收入论文和摘要共57篇，内容涉及材料科学的各个领域。这些论文反映了云南、贵州、四川、广西、重庆等省市自治区的有关大专院校、科研单位和厂矿企业的青年材料工作者们的工作。由于文集篇幅有限，故将文中插图和参考文献删去，甚至有的文章只刊载摘要，尽管如此，仍有若干篇论文不能刊出；又因文章涉及面广，内容庞杂，编排时难免有不尽周到合理之处，希望广大青年材料工作者和读者原谅、指正。

我们十分高兴地将此文集奉献给读者，希望它能引起材料界同行们的兴趣。我们的目的是为青年同行们提供一个发表学术论文，汇报工作成果的园地。虽然它并不意味着成熟，但它代表着创造，但愿它能给青年同行们的工作一点启迪。最后，我们希望能有更多的青年朋友参加明年在昆明召开的第二届西南地区青年材料工作者学术讨论会，并预祝会议将取得圆满成功！

**编 者**

一九八八年七月

## 出版者的話

为了滿足輕合金生产、使用及科学研究部門对国外技术文献的迫切需要，特选譯苏联輕合金方面的专题論文32篇，作为有色金属合金文集的輕合金專輯出版。

这次所选譯的32篇文章分作两部分：第一部分共14篇，內容分輕合金发展中的一般問題和輕合金金属学与热处理两个方面，已作为有色金属合金文集第2輯出版。第二部分共18篇，內容分輕合金熔炼与鑄造、輕合金压延、挤压、模压等四个方面，作为第3輯出版。

讀者对本文集的編选和譯校，如有意見和要求，請逕寄冶金工业出版社編輯部。

# 目 录

## 一、輕合金熔炼与鑄造

鋁合金圓鑄錠的晶层分裂和环状裂紋 В.И. 多巴特金等	1
鋁合金鑄錠晶粒大小对热裂紋产生的影响 В.И. 多巴特金	7
鎂合金鑄造的工艺特点 С.М. 沃罗諾夫	12
关于用連續鑄造法鑄造的鋁合金鑄錠上出現偏析浮出物的条件問題 И.Н. 弗利得良杰尔	21
在熔剂作用下鋁的熔炼过程的研究 А.Я. 拉金	31
鎂合金鑄錠的生产 М.В. 楚赫洛夫	43
关于消除鋁合金氧化夹杂物的几种方法 Ю.Д. 齐斯恰可夫等	54

## 二、輕合金压延

鋁合金、鎂合金压延时的寬展 А.И. 柯尔巴什尼可夫	60
鋁合金压延时鑄錠的裂开 А.И. 柯尔巴什尼可夫等	69
Д16 合金大鑄錠的試軋及鑄造状态和軋制状态性能的研究 В. Р. 斯德尼格尔等	74
改进鋁合金压延工艺的試驗 К.И. 庫兹涅佐夫	80

## 三、輕合金压挤

鎂合金管材的生产工艺 С.М. 沃罗諾夫	87
利用舌形模压挤鋁合金管材工艺的研究 С.Н. 塔兰托夫等	99
壁厚特別薄的鋁合金管材的試制 Ю.Ф. 舍瓦金等	110

## 四、輕合金模压

鎂合金浆叶的鍛造和模压 С.М. 沃罗諾夫	119
在热模压过程中所用潤滑剂的研究 Г.С. 沙哈洛夫	128
对鋁合金模压件內氧化膜的研究 Ф.В. 突梁金等	133
鋁合金模压件的氧化膜 И.Л. 鉄依捷尔	140

## 鋁合金鑄錠的晶層分裂和環狀裂紋

B. H. 多巴特金 兀. A. 蕭朱巴奇

在大批檢查 AB 和 AK 6 合金某些熔次的鑄錠斷口時，在柱狀晶區發現有晶層分裂現象。斷口的分層（裂紋）與晶界吻合。有時在低倍試片上沿晶界也發現有裂紋。這些裂紋是由一些細小的裂口匯合成的，在離鑄錠邊緣 20~40 毫米處分布成環形。按照分布區域來講，這些裂紋和有時在 Д1 合金鑄錠中出現的環狀裂紋相同（圖 1）。如果說 Д1 合金鑄錠的環狀裂紋很少出現但卻能明顯地看到的話，那麼，AB 合金鑄錠中的環狀裂紋卻是經常出現而不易看到的。因此要發現 AB 合金鑄錠中的環狀裂紋，需要很好地研磨試片和仔細的檢查。圖 2 是帶環狀裂紋的橫向低倍試片的照片。

縱向低倍試片上裂紋的分布和方向示於圖 3。這個試片上的裂紋在照相前曾用鉛筆描劃，以便保存它的尺寸（長度）和方向。裂紋處的高倍組織示於圖 4，為比較起見，圖 5 是沒有裂紋處的高倍組織。

正如高倍檢查所指出的，AB 合金鑄錠的環狀裂紋在大多數情況下不易發現，只是在合金相成分劇烈腐蝕成為鏈狀時才能發現，因而稱它為裂紋是有條件的。顯然，這種裂紋本身是晶界的裂口（裂紋），它是在固相線溫度以上當液相含量較多時生成的，因此這個裂口就被母液所填充。

鑄錠斷口上的晶層分裂程度和晶粒大小有密切關係，在晶粒組織細致時，實際上是沒有晶層分裂的，晶層分裂只有在有中等大小的晶粒時才出現，並隨晶粒之粗大而更為明顯。

因此在 AB 和 AK 6 合金鑄錠中，只有柱狀晶充分生長時，才能產生晶層分裂。

鑄錠斷口生成晶層分裂組織的必要條件是由于有了脆性層，這種脆性層常以中間金屬夾雜物和非金屬夾雜物的形狀存在於鑄錠的晶界。當柱狀晶長大，特別是在用沉水鑄造法時，也可以使在其他合金鑄錠中出現晶層分裂。

填滿了母液的晶界裂口，促使出現粗大脆性層，從而就加劇生成晶層分裂。

一般說來，環狀裂紋是伴隨着晶層分裂而來的，它也是在有粗大晶粒組織的鑄錠中才出現，但也可以在晶粒細小的鑄錠中出現；有時也有這樣的情況，即晶粒粗大時，常有晶層分裂，但並不產生環狀裂紋。

顯而易見，晶界聯系大大減弱才會產生環狀裂紋，而促使晶界削弱的原因，除了晶粒粗大和柱狀晶生長外，還由于在沿晶界處沉積有低熔點組成物。我們有充分根據認為，AB 合金如同工業純鋁一樣，在熔融金屬中偏析到晶界去的鹽，在削弱晶界上起着重大的作用。從另一方面來看，產生環狀裂紋還必須在出現裂紋的地方有着徑向應力。

這種徑向應力產生於液穴的轉折處，在用高 180 毫米的冷凝槽鑄造直徑為 370 毫米的鑄錠時，液穴轉折處是在距離鑄錠表面約 30~40 毫米的地方。大家都知道，液穴轉折處就是从冷凝槽壁開始的合金結晶面與直接受水冷卻作用的結晶面交界處。當均勻冷卻

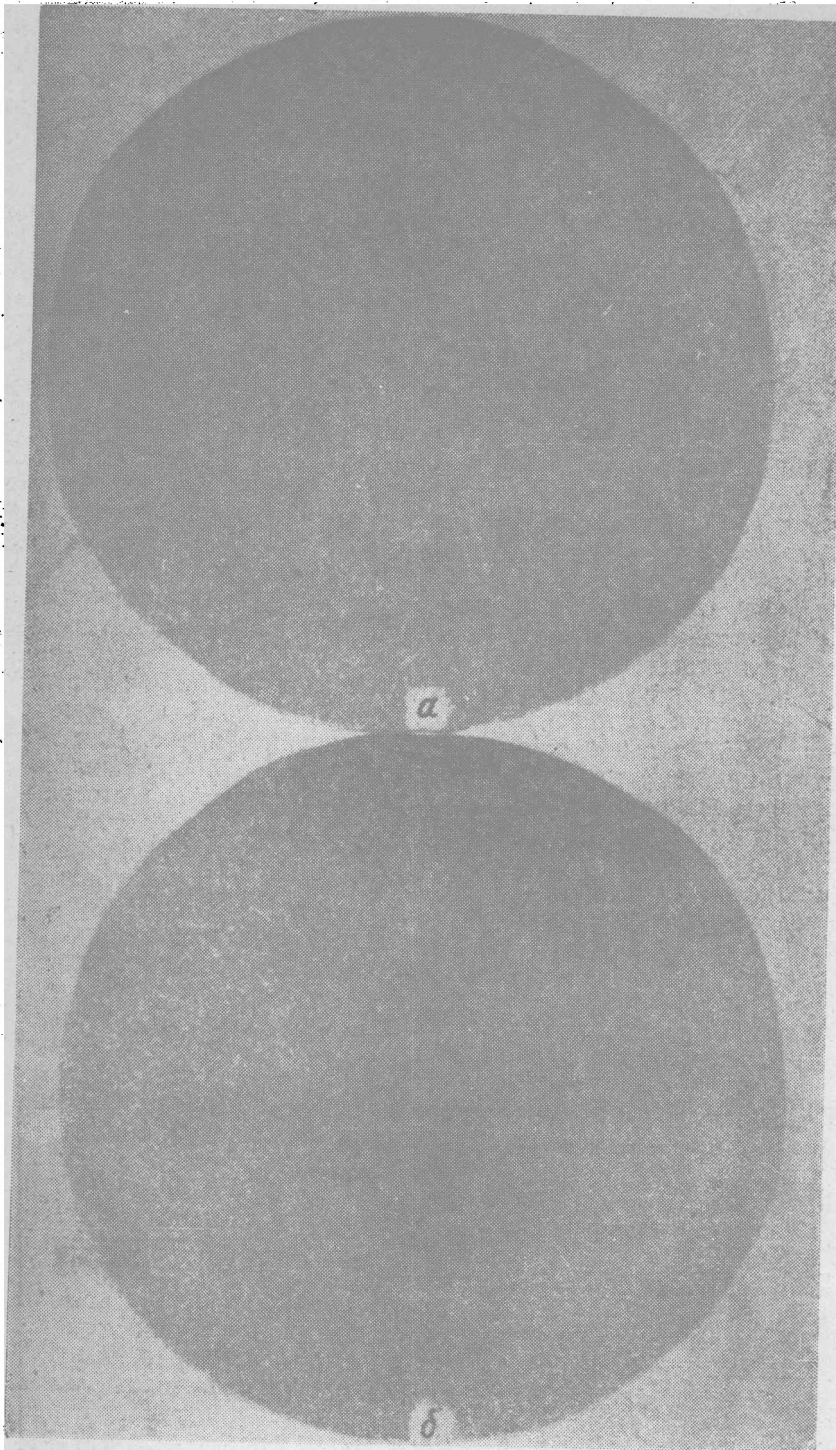


图 1 Д1 合金鑄錠的环状裂紋

а—鑄錠的底部  $\times \frac{1}{2}$ ; б—鑄錠的澆口部  $\times \frac{1}{2}$

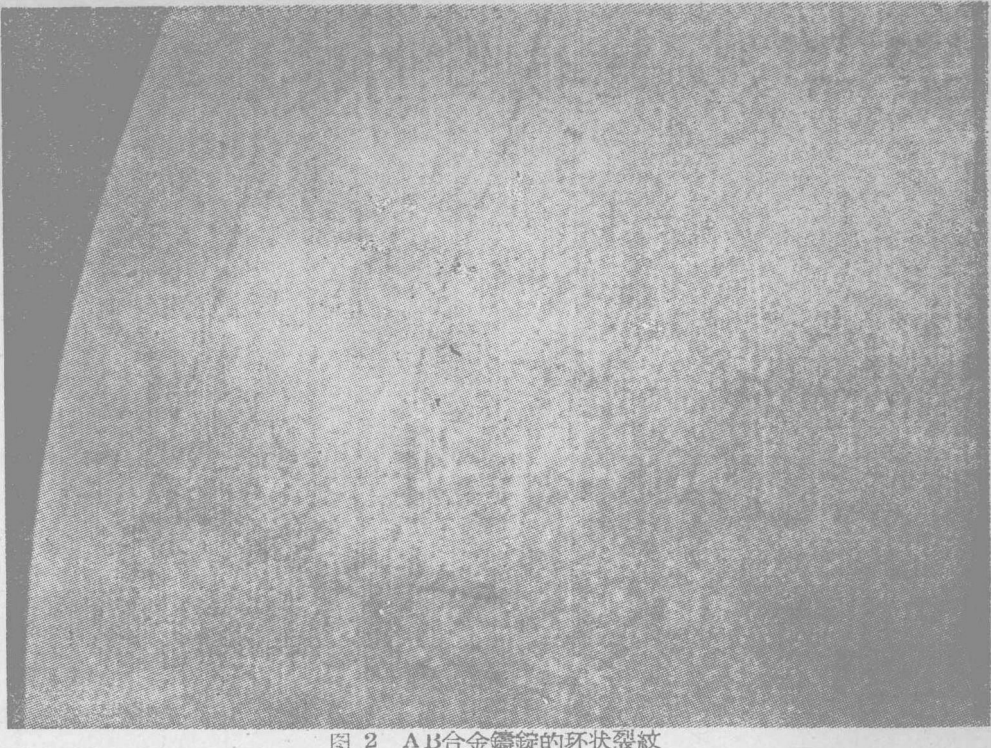


图 2 Al-B合金鑄錠的环状裂紋

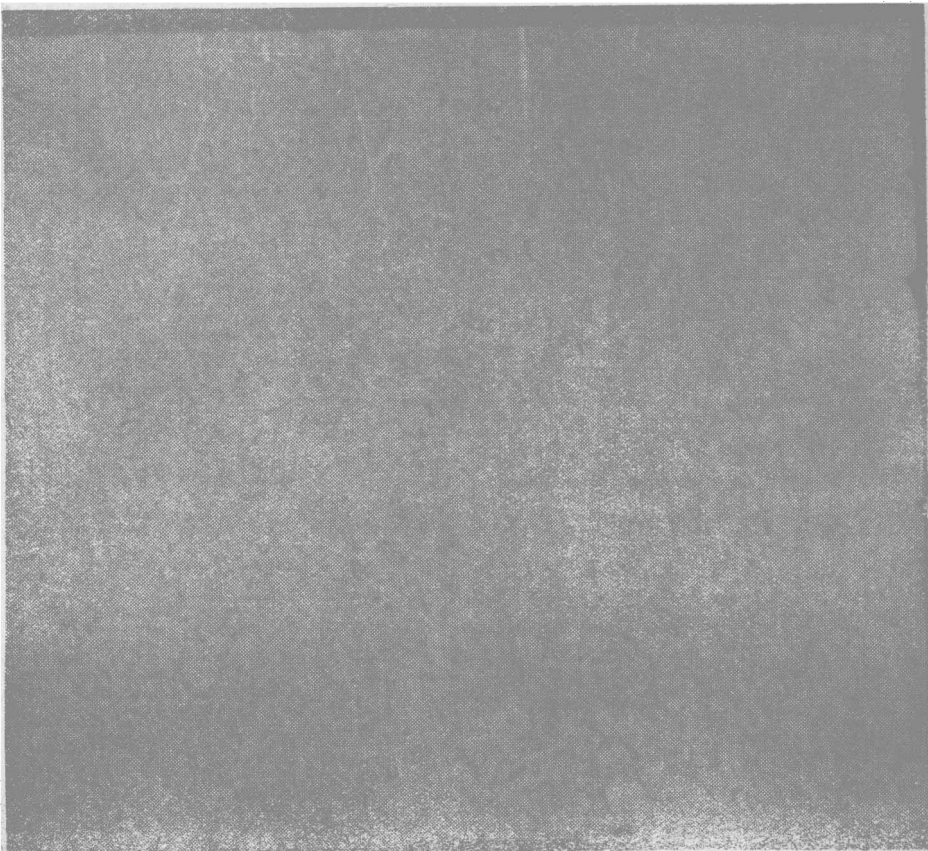


图 3 环状  
裂紋的分布  
方向(縱向;  
低倍試片,  
× 1)



鑄錠凝固時，這兩個結晶面沿圓錠同心圓周相交。鑄錠內層的冷卻速度比外層的冷卻速度大，導致在積穴轉折處生成拉伸徑向應力。

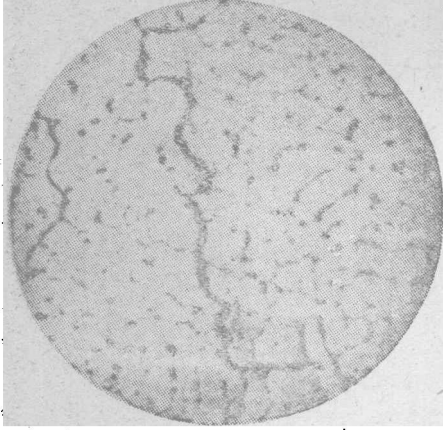


圖 4 AB合金鑄錠裂紋處的高倍組織 ×50

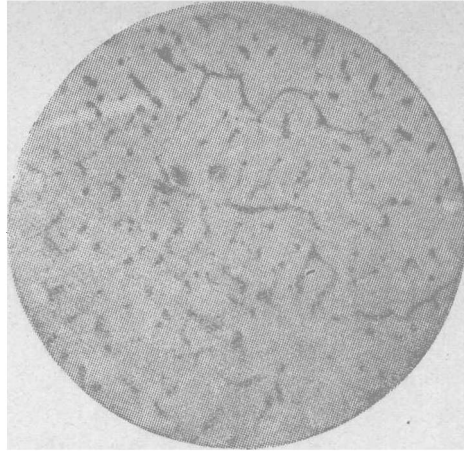


圖 5 AB合金鑄錠靠近裂紋處的高倍組織 ×50

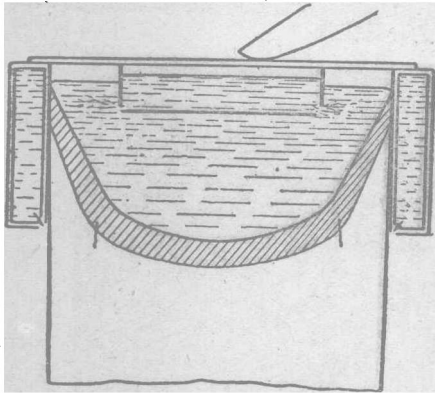


圖 6 鑄造直徑為 370 毫米鑄錠時的液穴斷面

圖 7 所示的這種裂紋從鑄錠邊緣向中心自下而上延伸很長，這是與鑄錠停止下降時的液穴轉折處大致相符的。

Д1、AK5、AK6 合金直徑為 370 毫米的鑄錠停止下降停在冷凝槽內保持不同的金屬水平時，則產生這種裂紋。裂紋位置和在冷凝槽內的金屬水平（當鑄造機停車時）的關係圖示於圖 8。如果在停止供給金屬後，鑄錠繼續下降或者在冷凝槽內金屬水平不超過 80 毫米時停止下降，澆口部的裂紋就不能產生。

在鑄造 AB 合金鑄錠的制度恒定時，統計產生環狀裂紋的情況指出，促使出現裂紋有下列因素：

- 1) 合金的新鋸量增加；
- 2) 熔體在鑄煉和鑄造時停留時間太長；
- 3) 在製造合金過程中金屬在爐內過熱；

如果鑄錠緊貼冷凝槽壁的一面（用輓式鑄造機常能見到），則液穴轉折處就不呈同心圓。這個圓周相對着鑄錠橫截面外圓周就有移動。因此徑向應力在某一部分減少，在另一部分就要加大，於是環狀裂紋不是沿整個圓周分布，而只是在圓周的一部分出現。實際上在大多數情況下，只是在鑄錠截面一半的地方發現裂紋。

在鑄錠澆口部出現環狀裂紋可以証實在依靠冷凝槽壁導熱而結晶的鑄錠邊緣部分同鑄錠中心部分之間產生了徑向應力。

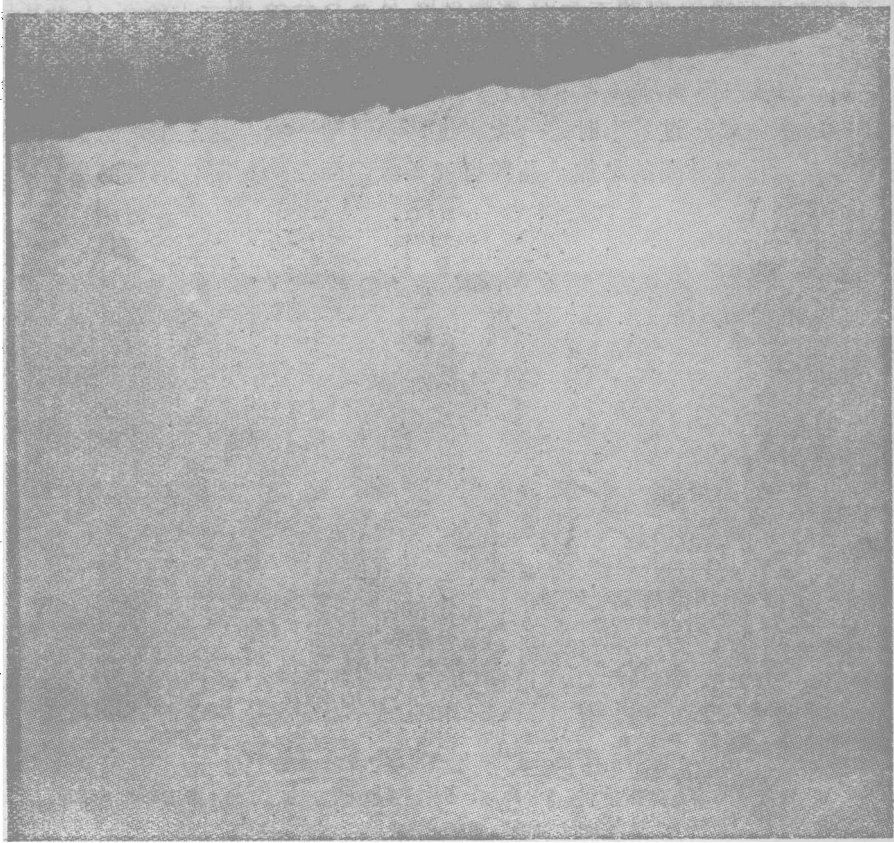


图 7 直径为 370 毫米的鑄錠澆口部的环状裂紋（縱向，低倍試片） $\times 1$

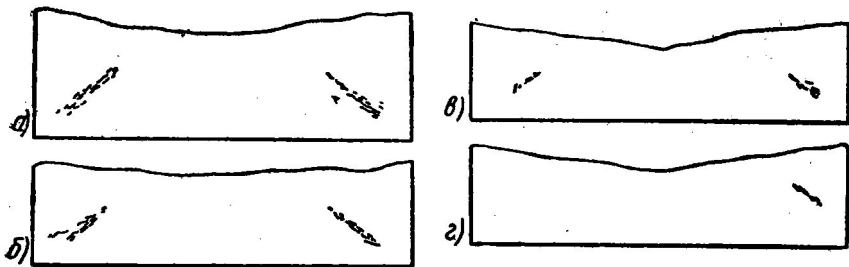


图 8 鑄錠澆口部的环状裂紋分布图，鑄造机停車时在冷凝槽内的金屬水平

a—160毫米；б—140毫米；в—120毫米；г—100毫米

4) 合金爐料中加入了事先在煤氣爐中熔制的液體純鋁。

所有上述因素都使鑄錠的晶粒粗大，后面的三个因素还使合金的气体飽和度增加。金屬在熔融状态时停留時間太长的影响可以从AB合金的一个熔次（其化学成分是0.40%Cu、0.65%Mg、0.31%Mn、0.84%Si、0.20%Fe）中得到驗証。金屬长期在溫度为730°C的爐內停留后（20小时），將熔体轉入靜置爐并分三次鑄造：即在靜置爐注滿金屬时馬上就鑄，过8小时鑄一次和过16小时鑄一次。这三个鑄次的鑄錠断面組織示于图9。随着停留時間的增加，晶粒也就长大，而在鑄錠断口的柱状晶区的晶层分裂亦愈厉害。

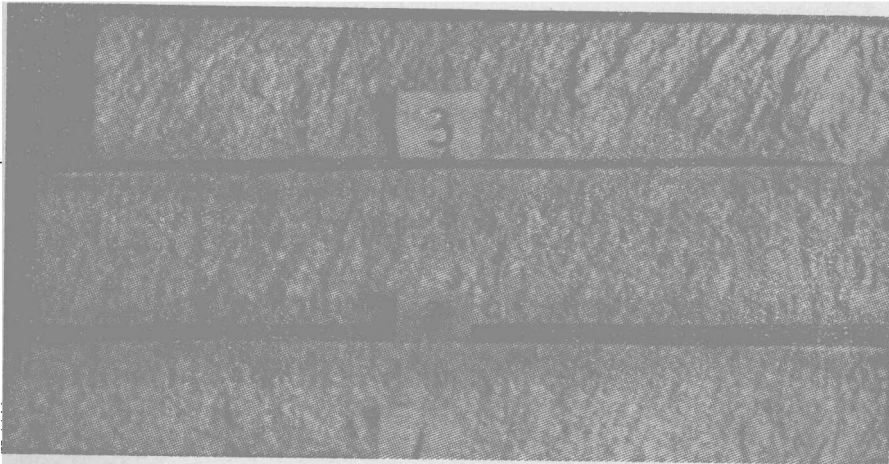


图9 AB合金鑄錠的断面組織

- 1—靜置爐裝滿金屬后立即鑄造的鑄錠；2—靜置爐裝滿金屬后經8小时再鑄造的鑄錠；  
3—靜置爐裝滿金屬后經16小时再鑄造的鑄錠

研究高倍組織并未发现这三个試驗鑄錠的組織有明显的差別。

消除鑄錠环状裂紋和晶层分裂的措施之一是借降低冷凝槽高度来改变液穴的轉折面。AB合金的試驗和大批鑄造AK6合金鑄錠指出，鑄造直径为370毫米的鑄錠，采用高度为100毫米的冷凝槽以代替高度为180毫米的冷凝槽，使鑄錠大大的減少出現这二种缺陷。

第二个措施是使鑄錠晶粒細化。在AB合金內試加入0.02%鈦指出，鈦对消除环状裂紋与晶层分裂有良好的作用。限制液體金屬的溫度和停留時間亦有很大的意义，因为它不仅保証細化晶粒，而且还可以降低熔体的气体飽和度。

（譯自“*Металлургические основы литья легких сплавов, Оборонгиз*”，1957，  
197~203頁）

刘崑高 譯 张敏鈞 校

## 鋁合金鑄錠晶粒大小对热裂紋产生的影响

B. H. 多巴特金

工业用純鋁在連續鑄造时发现因晶粒粗大裂紋废品急剧增加。工作經驗及对組織的研究表明，粗大晶粒对于其他鋁合金，也会使合金对結晶裂紋或热裂紋的敏感性显著增加。这个結論原則上并不是新的結論，因为 Д. К. 契尔諾夫早就确定了鋼錠产生裂紋与粗大柱状晶存在有关。另外一些研究人員发现，有色金屬合金鑄錠的裂紋废品，随鑄件晶粒的增大而增加。

我們的研究工作指出，鑄錠在連續鑄造的条件下，即在鑄造过程中有着快速結晶和产生很大內应力的条件下，这种关系表現的最突出。

改变鑄造制度，能使具有粗大晶粒組織的鑄錠产生各种类型的热裂紋。当采用能保証得到優質鑄錠（晶粒組織細小）的鑄造制度时，在某些場合下，也会使普通类型的裂紋出現或增加。在方鑄錠中，粗大晶粒組織使縱向表面裂紋增加。在圓鑄錠中，晶粒增大能促使产生中心裂紋。这时，硬鋁鑄錠中心裂紋有时产生在沿晶界分布的細小裂紋网的地方（图 1），后来，其中某些裂紋在縱向方面获得了优先发展（图 2），于是沿鑄錠的截面中心形成粗大裂紋。

晶粒粗大也能促使圓鑄錠及空心鑄錠环状裂紋的发展。在其他情況下，晶粒粗大引起新型的裂紋，这种裂紋甚至是細小晶粒組織在不正常的鑄块冷却制度下所沒有的。有时在低倍試片上发现局部裂紋，这种裂紋只有当鑄錠晶粒很粗大时才有。图 3 所示是直径为 280 公厘的 AMn 合金鑄錠的裂紋。

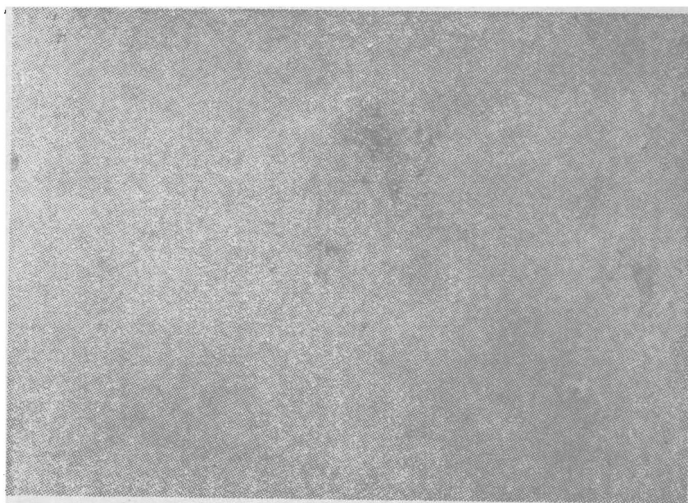


图 1. 直径 360 公厘的 Д1 合金鑄錠产生中心裂紋的地方  $\times \frac{1}{2}$

局部裂紋很难被发现，所以是很危险的。即使将鑄錠按低倍組織一一检查也不能保証把所有帶局部裂紋的鑄錠都挑出来。因此，在这样場合下，粗大晶粒組織的本身，就应当是报废的标志。粗大晶粒的柱状組織会使鑄錠断口处出現晶层分裂現象，这种晶层分裂現象在細小晶粒等軸組織的鑄錠中是完全沒有的。

图 4 示出直径为 360 公厘的 Д1 合金鑄錠的低倍組織，这些鑄錠是分三个熔次，按

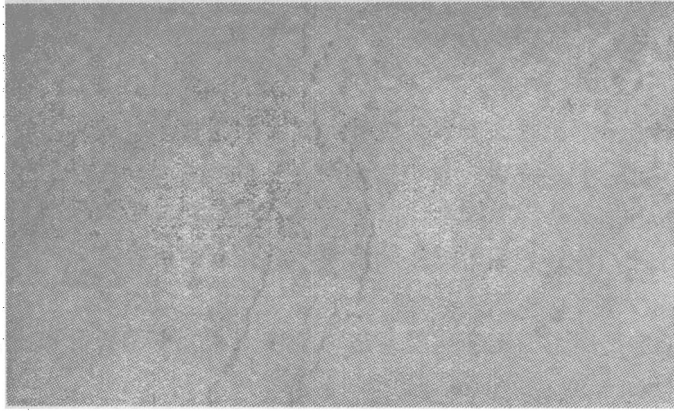


图 2 中心裂纹的发展 ×1

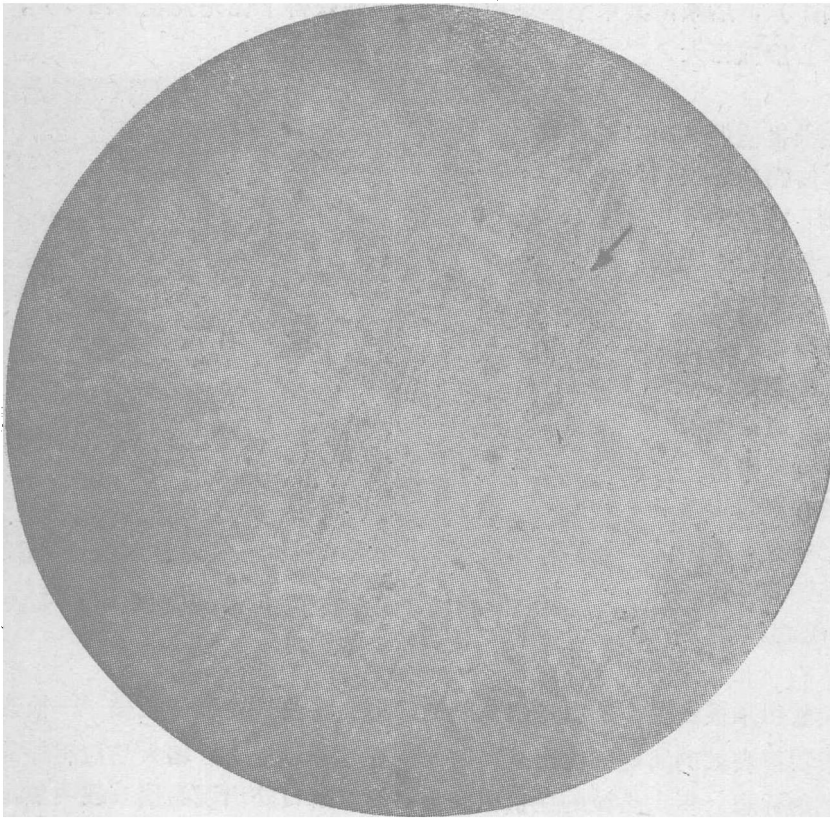


图 3 AMII合金直径230毫米透镜上的局部裂纹 × $\frac{1}{2}$

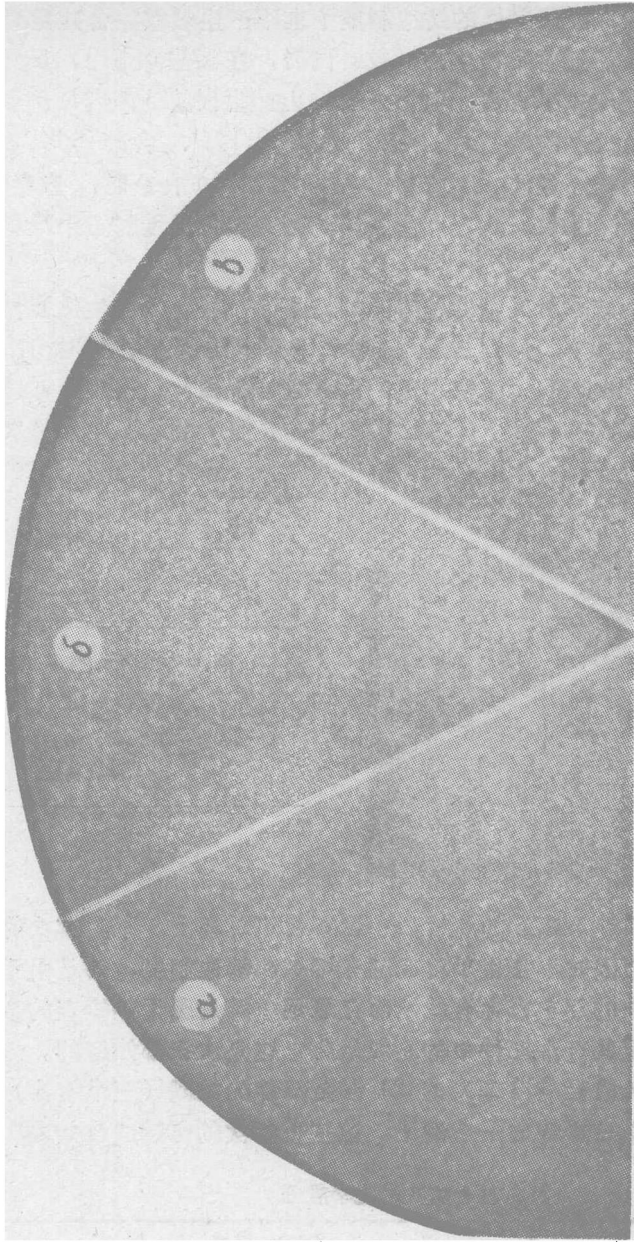


圖 4 Al合金直徑370毫米鑄錠的低倍組織  
a-17-1138號次; b-13-153號次; c-14-854號次

同一鑄造制度鑄造的。這些鑄錠試片的斷口組織如圖 5 所示。由粗大晶粒的鑄錠斷口上看出，外圍區域內晶層分裂現象嚴重。

對於不同合金或對同一種合金若合金成份和雜質含量不同，晶粒的大小對產生裂紋的影響程度也不同。往往不管晶粒怎樣粗大，但鑄錠中並不產生裂紋。例如純度為 99.99% 的鋁鑄錠，晶粒極其粗大，在最嚴格的鑄造制度下也不產生裂紋。含硅量高的 AK8 硬鋁合金，不管晶粒如何大小，通常不產生熱裂紋。同時，在某些合金中，雖然加入鈦和其他一些物質使晶粒達到任何細小程度，但仍未能抑止產生裂紋的傾向。例如，在最嚴格的鑄造制度下，於含大量錳及銅的 AMr 合金及含鐵 0.1%、含硅 0.1% 的 AMu 合金中，即使加鈦也難消除結晶裂紋。因此鑄造 AMr 及 AMu 合金時，應當採用特殊的鑄造制度。總的來說，細化晶粒，對於產生裂紋的傾向表現得很弱或中等程度的合金，將起明顯的良好作用。

合金的成分及由合金成分所決定的過渡區的結晶性質對合金產生熱裂紋的影響，本文不予討論。控制合金的成分，特別是限制合金中雜質的含量，往往對消除熱裂紋傾向有著非常重大的影響（這種影響比晶粒細化的影響更為強烈）。但是，在成批生產中，合金成分不可避免會有波動的條件下，晶粒的細化乃是減少裂紋廢品的重要方法之一；相反，鑄錠的晶粒組織粗大、或不同熔次鑄錠中晶粒大小懸殊，都是促使廢品總量增加的因素。

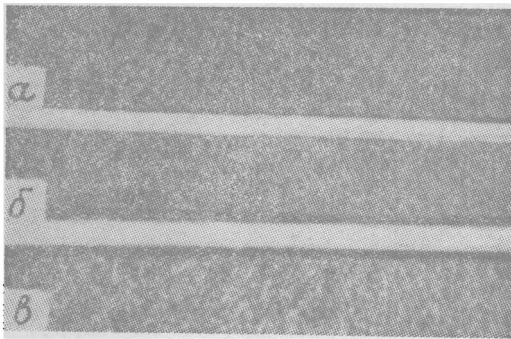


圖 5 直徑 360 毫米的 Al 合金鑄錠試片的斷口組織  $\times 1/2$

a—17-1333 熔次；b—13-153 熔次；

c—14-845 熔次

在說明為什麼生產條件下鑄錠的晶粒大小很不穩定時指出，不同熔次的鑄錠，其晶粒大小也不同，主要的原因並不是由於沒有遵守熔煉和鑄造制度，而是由於鈦的含量有差別，直到現在，大多數的鋁中都含有鈦，而在原鋁中鈦是屬於不檢查的雜質。然而，有鈦雜質存在，能使鋁及其合金鑄件中的晶粒細化，這是大家都知道的。

圖 4 和圖 5 中所示為直徑 360 毫米的 Al 合金鑄錠的組織（三個熔次），就是少量的鈦對硬鋁鑄錠晶粒大小有影響的一個例子。這三個熔次的化學成分如表 1 所示。

三個熔次的化學成分

表 1

熔次號	含 量 (%)						晶 粒 大 小	
	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Ti		
17-1133	4.20	0.61	0.74	0.28	0.20	0.03	細	小
13-153	4.30	0.53	0.67	0.40	0.39	0.008	中	等
14-845	4.21	0.64	0.59	0.37	0.33	0.004	粗	大

由上述三个熔次鑄錠上切下来的各个試样，曾在各种鑄造溫度下再次熔炼成一些小鑄錠。在所有各种溫度下鑄造，都保存了直径 360 公厘鑄錠最初所具有的晶粒大小比例。

当鈦在合金中不是主要成分时，合金中鈦含量的变化，主要与加入配料中的原鋁錠成分的差别很大有关。表 2 示出不同牌号鋁中的鈦进行了分析的结果。

分析结果证明了两个问题：第一，不同供应者所供应的鋁中鈦的含量有很大差别；第二，供应方所供应的高级純鋁中鈦的含量低。在各种硬鋁合金配料中使用 A1 及 A2 牌号的純鋁时，合金中約含鈦 0.1%。采用高级純鋁，則使配料中鈦含量降低了  $\frac{1}{2} \sim \frac{3}{4}$ ，因而会引起晶粒粗大，并使合金更易生成热裂纹。在生产中，某些合金鑄錠热裂纹废品增加，在一定程度上与增加高级純鋁的用量和提高配料中新鋁量的百分比有关。

研究热裂纹的性质时指出，在不改变能保证鑄錠最好性能及鑄造机最高生产率的鑄造制度的条件下，消除热裂纹是可能的。除了調整合金中杂质的成分和减小合金的气体饱和度以外，細化鑄錠中的晶粒，也是解决这个问题的方法之一。

表 2

不同牌号的純鋁中鈦的含量

鋁的 供应厂名称	品 种 (鋁錠牌号)	鈦 (%)
BA3	A00	0.0018
BA3	A 1	0.0056
BA3	A 2	0.0034
CTA3	A00	0.0038
CTA3	A 2	0.0103
YA3	A00	0.0059
YA3	A 1	0.0108

为了細化晶粒和稳定晶粒的大小，必須使熔炼和鑄造溫度保持在很小的范围内，限制液体金屬停留的时间，并使熔融金屬流入熔体液穴的条件相同。但是試驗指出，在采用高级純鋁时要想得到晶粒組織細小的鑄錠，只采取上述这些措施是不够的。提高合金中鈦的含量，可以使晶粒細化，只要加入 0.01~0.02% 的鈦，就不会形成很大的晶粒。

AMu 及 AB 合金中采用加鈦 0.02% 的工艺。

加入鈦可使晶粒的細化，降低裂纹废品，而在制品性能上并没有显著的改变。后来按照 M. B. 馬利切夫的建議，在某些合金中加入到 0.04~0.05% 的鈦。

Л. А. 加尔巴齐, В. К. 季諾維也夫, М. Л. 莎云可娃及 А. А. 絲波罗金娜进行了加鈦細化鑄錠晶粒及鑄錠組織的研究工作。

(譯自“Металлургические основы литья легких сплавов”,

Оборонгиз, 1957, - 182~187頁)

高澤生 譯 刘崙高 校



# 鎂合金鑄造的工艺特点<sup>①</sup>

C.M. 沃罗諾夫

生产優質鑄錠，对国民經济有着重大意义。

鑄錠的質量，决定着鑄錠能否成功地進行压力加工，并对成品的机械性能有很大的影响。

金屬熔体的結晶速度，是鑄錠获得必需的物理性能的决定因素。因为枝状結晶格的平均尺寸表示排列不同的軸間距离，所以是金屬組織的特性之一。然而，可以大致認為在結晶时决定局部扩散涉及范围的这个特性具有物理意义。很明显，結晶速度愈高，該范围愈小〔1〕。

研究証明，枝晶网的尺寸，实际上仅决定于結晶速度。試驗証明，多相合金和按固溶体方式結晶的合金之机械性能，随着枝晶网的細化不断的改善。因此，决定着枝晶組織內部結構的結晶速度，是决定鑄件机械性能的主要因素。

表1所列某些数据，說明硬鋁的这种关系〔1〕。这不意味着應該忽視晶粒（粗晶粒）的大小、位置以及决定着它們的因素：鑄造溫度和溶体进入液穴时的攪拌。大家知道，譬如交叉結晶，就能給鑄造时造成很多麻煩，而当鑄錠在一定条件下冷却（例如連續鑄造用水直接从鑄錠將热排出时）时，能引起晶間裂紋。晶粒粗大时机械性能降低，也可以得到証明。然而，毋庸置疑，枝晶組織內部結構对鑄件性能的影响比晶粒大小对它的影响大得多。

表 1

Д 1 合金鑄錠的平均統計机械性能与鑄造条件的关系

鑄 造 方 法	鑄錠直径 (毫米 <sup>2</sup> )	結晶的平均 速 度 (公尺/小时)	未經热处理 的鑄錠	淬火及时效后的鑄錠	
			抗张强度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	抗张强度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	延伸率 (%)
鑄鉄模.....	280	0.5	10	15	2.5
連續鑄造，冷澀槽高 500 毫米，不用水冷 却鑄錠.....	280	1.5	16	25	3.5
同上，用水冷却鑄錠.....	280	1.7	20	30	4.5
冷澀槽高 250 毫米，用水冷却鑄錠.....	280	2.5	22	32	5.0
冷澀槽高 150 毫米，用水冷却鑄錠.....	280	6.0	25	35	—
冷澀槽高 100 毫米，用水冷却鑄錠.....	280	8.0	28	38	8.0

自然，这条原則，对鎂合金也不例外。跟鋁合金一样，这里也可以証明晶粒內部結構的重要作用。

連續鑄造时，随着結晶速度的增加，合金的平均机械性能升高到一定的限度。当达到此限度时，虽然結晶速度再有增高，但机械性能开始下降，这与鑄造速度高时，枝晶体的疏松增加有关。

① C.M. 沃罗諾夫 Сборник "Литье Магниеых Сплавов", 国防工业出版社, 1952年.