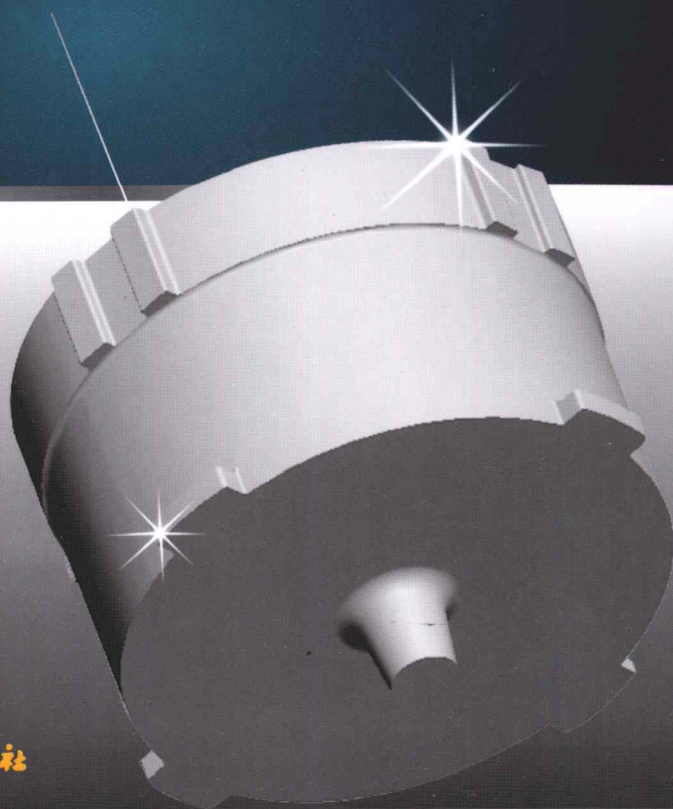


CHAYA ZHUZAO
SHENGCHAN JISHU

差压铸造

生产技术

朱秀荣 侯立群 等编著

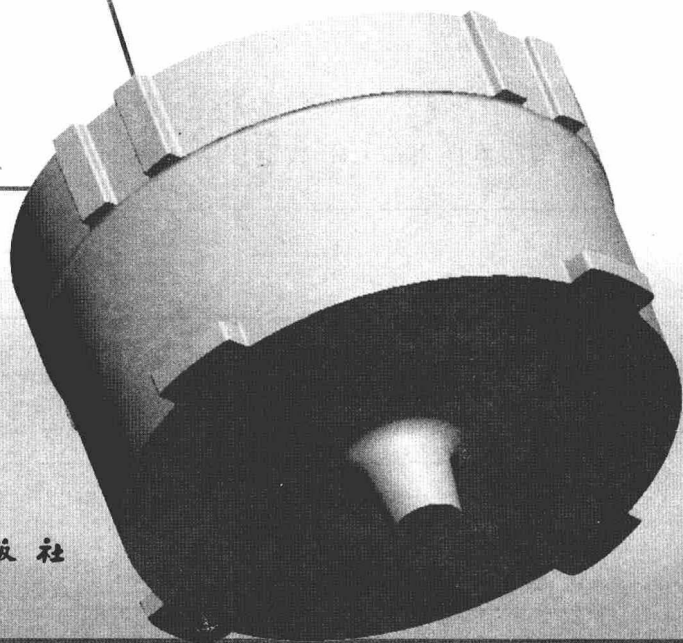
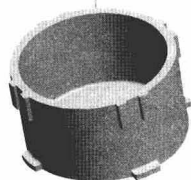


化学工业出版社

CHAYA ZHUZAO
SHENGCHAN JISHU

差压铸造 生产技术

朱秀荣 侯立群 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

差压铸造生产技术/朱秀荣, 侯立群等编著. —北京:
化学工业出版社, 2009. 3
ISBN 978-7-122-04775-5

I. 差… II. ①朱…②侯… III. 压力铸造 IV. TG249. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 016970 号

责任编辑: 刘丽宏

装帧设计: 韩 飞

责任校对: 宋 玮

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张 12 字数 237 千字 2009 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究



前言

差压铸造是 20 世纪 60 年代从保加利亚发展起来的一种新型铸造工艺，源于低压铸造，兼有低压铸造和压力釜铸造的优点，特别适用于大型复杂高品质铸件的生产，因此一经出现就在国内外得到快速发展，表现出强大的生命力。

本书是一本有关差压铸造生产技术的著作。在对差压铸造相关铸造方法、差压铸造技术概况介绍的基础上，系统阐述了差压铸造理论，重点介绍了差压铸造工艺设计、模具设计、生产工艺和差压铸造设备。

本书由兵器工业集团第五二研究所朱秀荣研究员、侯立群研究员等编著。其中，第 1、第 2 章由朱秀荣研究员和郑顺奇高工编写，第 3、第 5 章由彭银江工程师和高明灯研究员编写，第 4、第 6 章由王进华高工和侯立群研究员编写，第 7 章由邢志媛工程师和连付奎高工编写，全书由朱秀荣研究员和侯立群研究员进行了汇总和修改，并由齐丕骧研究员审阅。

在本书的编写过程中，得到了兵器工业集团第五二研究所各级领导和有关专家的关心和支持，在此对他们的帮助表示诚挚的感谢。

差压铸造在我国的研究和应用历史不长，虽然在编著过程中注意收集新的资料和信息，但由于水平所限，书中不当之处难免，敬请读者提出批评和指正。

愿本书对读者有所帮助！

编著者



目录

第 1 章 概 述

1.1 铸造的概念	1	1.2.4 铸件的变形	2
1.2 金属(合金)的铸造性能	1	1.2.5 铸件的裂纹	2
1.2.1 金属的流动性	1	1.3 铸造工艺流程	3
1.2.2 金属的收缩	2	1.4 铸造的分类	3
1.2.3 铸造应力	2	1.5 差压铸造技术的概念	3

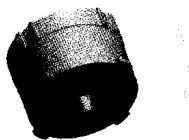
第 2 章 差压铸造技术的特点和分类

2.1 差压铸造技术特征	5	2.3 差压铸造与常见加压铸造工艺 的比较	10
2.2 差压铸造分类	8	2.4 差压铸造主要技术优势	12
2.2.1 气压式差压铸造	8	2.5 差压铸造技术的拓展	13
2.2.2 重力式差压铸造	9		
2.2.3 活塞式差压铸造	9		

第 3 章 差压铸造理论

3.1 压力对金属的热物性参数 的影响	16	3.5.2 成分过冷的过冷度	26
3.1.1 压力对纯金属与共晶合金 熔点的影响	16	3.5.3 成分过冷对晶体形态 的影响	26
3.1.2 压力对其他热物理参数 的影响	17	3.6 压力对气体析出过程 的影响	28
3.2 压力对合金状态图的影响	19	3.6.1 气体在金属中的 溶解度	28
3.2.1 铝-硅状态图	19	3.6.2 气泡的形成过程	28
3.2.2 铁-碳状态图	20	3.6.3 压力对气体析出过程 的影响	29
3.3 压力对结晶参数的影响	21	3.7 差压铸造计算机模拟	30
3.3.1 形核	22	3.7.1 金属液充填过程 数学模型	30
3.3.2 长大线速度	22	3.7.2 铸造模拟软件	35
3.4 压力与动力学条件的关系	24		
3.5 成分过冷	25		
3.5.1 成分过冷的判断式	25		

目录



第 4 章 铸件工艺设计

4.1 铸件工艺设计方案的选择	44	4.2.5 铸造收缩率	54
4.1.1 基准面的选择	44	4.2.6 铸造圆角	54
4.1.2 分型面的选择	45	4.2.7 铸造斜度	54
4.1.3 铸件在铸型中位置 的选择	47	4.3 浇注系统设计	55
4.1.4 浇注位置的选择	48	4.3.1 浇注系统的组成 及作用	55
4.1.5 分型方式的选择	49	4.3.2 浇注系统的设计原则	56
4.2 铸件工艺设计参数的选择	50	4.3.3 典型铸件的浇注系统	56
4.2.1 壁厚	50	4.4 冒口设计	58
4.2.2 尺寸公差	51	4.5 冷铁及强制冷却技术	60
4.2.3 机械加工余量	53	4.5.1 冷铁	60
4.2.4 工艺余量	53	4.5.2 强制冷却技术	61

第 5 章 差压铸造模具设计

5.1 差压铸造模具的技术要求	64	5.3.3 砂芯	83
5.1.1 差压铸造模具零部件 的技术要求	64	5.4 排气系统设计	85
5.1.2 模具总装后的技术 要求	65	5.4.1 排气系统设计原则	85
5.2 模具结构设计	65	5.4.2 排气系统的种类	85
5.2.1 壁厚的确定	65	5.5 模具锁紧机构设计	89
5.2.2 分型面上主要尺寸 的确定	66	5.5.1 偏心锁	89
5.2.3 配合公差、精度及表面 粗糙度	67	5.5.2 摩擦锁	92
5.2.4 型腔尺寸	75	5.5.3 套钳锁	95
5.3 型芯设计	78	5.5.4 楔销锁	97
5.3.1 型芯的选择	78	5.6 铸件顶出机构设计	98
5.3.2 金属芯	78	5.6.1 顶出机构设计原则	98
		5.6.2 铸件停留位置	98
		5.6.3 顶杆位置选择	99
		5.6.4 常见顶杆机构	99
		5.7 模具加热、保温及冷却	100



目录

5.7.1 模具加热	100	5.9 模具加工	113
5.7.2 模具保温	103	5.10 模具寿命	113
5.7.3 模具冷却	103	5.10.1 常见模具损坏形式 及原因	114
5.8 模具材料的要求及选择	105	5.10.2 提高模具寿命 的措施	115
5.8.1 模具材料的要求	105		
5.8.2 模具材料的选择	106		

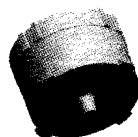
第6章 铝合金液处理及差压铸造工艺应用

6.1 铝合金液处理	117	6.3.4 含氮锌合金的差压 铸造	140
6.1.1 铝合金液精炼处理	117	6.4 铸件常见缺陷及防止 方法	142
6.1.2 铝合金液变质处理	123	6.4.1 气孔	142
6.1.3 铝合金液孕育处理	128	6.4.2 缩孔	143
6.2 差压铸造工艺	129	6.4.3 疏松	144
6.2.1 差压铸造工艺过程	129	6.4.4 裂纹	145
6.2.2 差压铸造工艺参数	130	6.4.5 冷隔	145
6.2.3 浇注工艺参数选择	132	6.4.6 欠注	146
6.3 差压铸造的实际应用	134	6.4.7 凹陷	146
6.3.1 铝合金的差压铸造	134		
6.3.2 铜合金的差压铸造	138		
6.3.3 钢的差压铸造	140		

第7章 差压铸造设备

7.1 概述	148	7.4 差压铸造设备	156
7.2 保温炉	149	7.4.1 差压铸造釜	156
7.2.1 炉体	150	7.4.2 垂直气动式差压铸 造机	159
7.2.2 电阻丝	150	7.4.3 气动活塞式差压 铸造机	162
7.2.3 坩埚	151	7.4.4 专用及其他设备	164
7.2.4 密封盖	152	7.5 国外差压铸造设备	168
7.2.5 升液管	153		
7.3 控制系统	154		

目 录



7.5.1 美国 CPC 公司的差压 铸造设备	168	7.6.1 国内差压铸造设备 的构成	171
7.5.2 保加利亚差压铸造 设备	170	7.6.2 国内部分差压铸造 设备举例	174
7.6 国内差压铸造设备	171		

附录 1 铸造技术的方法选择

附录 2 常见铸造缺陷及解决措施

参考文献



第1章 概述

1.1 铸造的概念

铸造是熔炼金属和制备铸型，并将符合一定要求的金属液浇入铸型，经过冷却凝固和清整处理后，得到具有一定形状、尺寸和性能的毛坯或产品的金属成形方法，是现代机械制造业中的基础工艺。

铸造是常用的金属成形方法，其主要优点如下：

① 制造成本低，工艺灵活性大，可以获得复杂形状和大型的铸件。在机械制造业中铸件占有很大的比重，如机床的 60%~80%、汽车的 25%、拖拉机的 50%~60% 零件采用铸造方法制造。铸件的质量直接影响着产品的质量，因此，铸造在机械制造业中占有重要的地位。

② 铸造生产的毛坯成本低廉，对于形状复杂，特别是具有复杂内腔的零件，更能显示出它的经济性。

③ 铸造工艺的适应性较广，且具有较好的综合力学性能。

1.2 金属（合金）的铸造性能

金属的铸造性能是表示金属铸造成形获得优质铸件的能力。通常用流动性和收缩性来衡量。

1.2.1 金属的流动性

(1) 流动性的概念 流动性是指金属液的充型能力。流动性好的金属易于浇注出轮廓清晰、薄而复杂的铸件，有利于非金属夹杂物和气体的上浮和排除，易于补缩及热裂纹的弥合。

金属的流动性是以螺旋形流动试样的长度来衡量。试样越长，流动性越好。

(2) 影响金属流动性的因素

① 金属性质方面。纯金属、共晶合金在恒温下结晶，凝固层内表面光滑，因此流动性好。亚共晶和过共晶合金在一定温度范围内结晶，凝固层内表面粗糙

不平, 因此流动性差。

② 铸型和浇注条件。提高流动性的措施主要有: 提高铸型的透气性, 降低热导率, 确定合理的浇注温度, 提高金属液的压头, 简化浇注系统。

③ 铸件结构。铸件壁厚应大于最小允许壁厚。

1.2.2 金属的收缩

(1) 收缩的概念 收缩是铸件中的缩孔、疏松、变形和开裂等缺陷产生的直接原因。在铸造过程中, 收缩分三个阶段, 即:

液态收缩 } 形成缩孔、缩松 (体收缩率)
凝固收缩 }
固态收缩——产生变形和裂纹 (线收缩率)

对铸造合金来说, 收缩率越小越好。

(2) 铸件的缩孔和缩松 一般来说, 纯金属或共晶成分的合金易形成缩孔, 结晶温度范围大的亚共晶、过共晶合金易形成疏松。

通过实现定向凝固可以有效防止缩孔和疏松的形成, 即在铸件可能出现缩孔的厚大部位, 通过增设冒口或冷铁等工艺措施, 使铸件上远离冒口的部位先凝固, 然后是靠近冒口的部位凝固, 冒口本身最后凝固。这样使铸件各个部分的凝固收缩均能得到液态金属的补充, 而将缩孔转移到冒口中。

1.2.3 铸造应力

铸造内应力分为热应力和机械应力, 是铸件产生变形和开裂的基本原因。热应力是由于热胀冷缩不均衡造成的, 机械应力是由于收缩受阻造成的。

减少和消除应力的主要措施包括: 从结构上, 尽可能使壁厚均匀、圆角连接、结构对称; 从工艺上, 实现同时凝固, 并进行去应力退火。

一般来说, 定向凝固用于收缩大或壁厚差距较大、易产生缩孔的合金铸件, 如铸钢、铝硅合金等。定向凝固补缩效果好, 铸件致密, 但铸件成本高, 内应力大。

1.2.4 铸件的变形

对于厚薄不均匀、截面不对称及具有细长特点的杆件类、板类及轮类等铸件, 当残余铸造应力超过铸件材料的屈服强度时, 产生翘曲变形。一般采用反变形法防止铸件的变形。

1.2.5 铸件的裂纹

铸件的裂纹有热裂纹和冷裂纹之分。热裂纹主要通过改善型芯的退让性解决, 如将大的型芯制成中空形状。冷裂纹主要通过减少铸件应力、降低合金的脆性解决。

1.3 铸造工艺流程

(1) 铸型准备 铸型是使液态金属成为固态铸件的容器。铸型按所用材料可分为砂型、金属型、陶瓷型、泥型、石墨型等；按使用次数可分为一次性型、半永久型和永久型。铸型的优劣是影响铸件质量的主要因素之一。

(2) 铸造金属的熔化与浇注 铸造金属（铸造合金）主要包括铸铁、铸钢和有色合金等。

(3) 铸件处理和检验 铸件处理包括清除型芯和铸件表面异物、切除浇冒口、铲磨毛刺和披缝等凸出物以及热处理、整形、防锈处理和粗加工等。

1.4 铸造的分类

铸造分类方法很多，按造型方法可分为：

(1) 普通砂型铸造 包括湿砂型、干砂型和化学硬化砂型三类。

(2) 特种铸造 按造型材料又可分为以天然矿产砂石为主要造型材料的特种铸造（如熔模铸造、泥型铸造、壳型铸造、负压铸造、实型铸造、陶瓷型铸造等）和以金属为主要铸型材料的特种铸造（如金属型铸造、压力铸造、连续铸造、低压铸造、离心铸造等）两类。

按铸造过程是否有压力存在可分为：

(1) 重力铸造。

(2) 加压铸造 又分为压力下充型、压力下结晶、压力下充型及结晶三类（见图 1-1）。

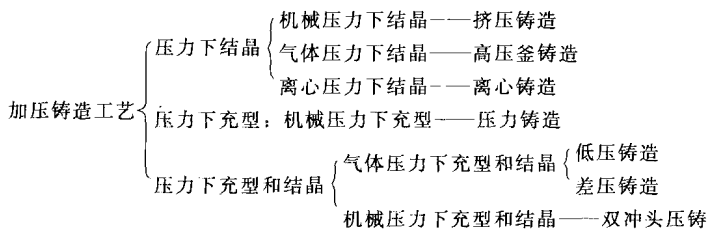


图 1-1 加压铸造工艺种类

1.5 差压铸造技术的概念

差压铸造又称反压铸造（counter-pressure casting）、压差铸造。它是在低压铸造的基础上，铸型外罩个密封罩，同时向坩埚和罩内通入压缩空气，但坩埚内的压力略高，将坩埚内的金属液在压力差的作用下经升液管充填铸型，并在压力下结晶。它是低压铸造与压力釜铸造两种铸造方法的结合。

差压铸造的特点之一就是浇注系统与位于铸型下方的升液管直接相连，充型时液态金属从内浇口引入，由下而上地充填铸型，凝固过程中升液管中炙热的金属液由浇注系统向铸件提供补缩。因此，通常情况下，实现“自上而下的顺序凝固”方式是历来公认的差压铸造原则。充型凝固时，铸件纵向温度分布是中下部温度高，顶部温度低，温差逐步增大，横向温度分布是沿内浇口向两侧由高到低。铸件顶部横向温差小，铸件底部横向温差大，这种温度分布正好有利于反重力铸造的金属液充填和补缩。因此，在凝固过程中，铸件底部到顶部温度分布的趋势是由高到低。



第2章 差压铸造技术的特点和分类

2.1 差压铸造技术特征

差压铸造的工艺和设备以一种新颖的方法解决铸件的充型和凝固等铸造技术问题。它有以下特征。

(1) 充型速度与压力 熔融金属的充型速度并不依赖于施加于熔体上的压力，而是依赖于压力与反压力之间的压差 Δp 。通过改变 Δp ，可在较大范围内进行充型速度的调节和控制。

(2) 熔体输送 熔体的实际输送主要决定于浇注速率，以及作用在流动熔体上的压力与反压力之差 Δp 。

在差压铸造中，压力和反压力之间的差值可以在一个较大的范围内进行调节和控制，因此，在两个压力之间有可能找到一个合适的差值来实现铸件以及铸件各部分的充型和成形，生产出的铸件能很好地复制铸模结构特征。

(3) 工艺参数的可控性 差压铸造可以根据不同的零件选择不同的工艺参数，通过优化组合，使生产的铸件质量更高。

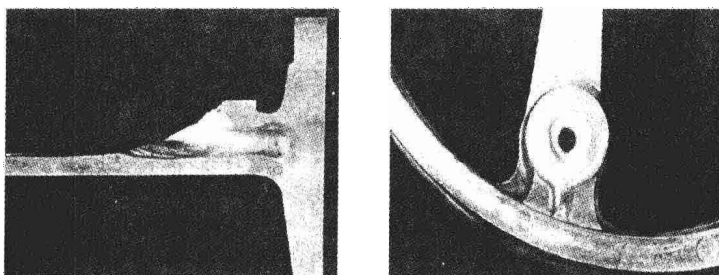
(4) 差压铸造适用于各种类型的模具和型芯 作用于砂型孔隙中的压力和作用于模具中熔体表面上的压力相等。因此，在差压铸造中，可使用各种类型的模具和型芯（如金属、砂、壳型等）。不论作用于系统中的压力有多大，模具和型芯都不会破坏或变形。

以上几点保证了差压铸造工艺能生产出具有高精度和表面光洁的铸件。

(5) 铸造缺陷 对于因补缩不畅而出现的铸造缺陷，差压铸造中可以通过三条途径予以解决。

- ① 采用更大的压力，提高补缩能力；
- ② 在适当的位置设置内浇道，或采用多条内浇道；
- ③ 设置暗冒口。

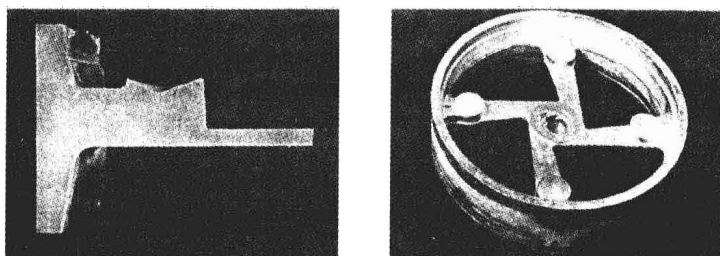
图 2-1 显示的是冒口对铸造收缩的影响，太小的冒口不能完全解决铸件缩孔问题。图 2-2 显示的是筒形件铸造内浇道和冒口的设置。



(a) 冒口太小情况

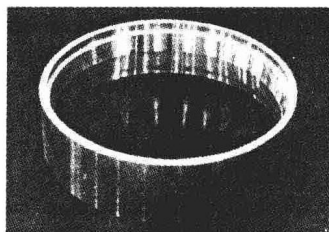
(b) 冒口稍微增大情况

图 2-1 冒口对铸造收缩的影响



(a) 冒口横截面

(b) 带内浇道和冒口的铸件



(c) 机加工后的铸件

图 2-2 筒形件差压铸造中冒口的设置

差压铸造可以消除常见的铸造缺陷。

① 轴向孔隙 差压铸造有利于消除铸件轴向孔隙，从而提高铸件的不同部位性能的准各向同性。轴向孔隙的控制只能通过控制铸件中心区域中的合金熔体向生长过程中的微晶前沿的渗透状态来实现。这一过程可以通过 Darcy 的一个简化公式进行说明。

$$\Delta W = \frac{k}{\mu} \times \frac{\Delta p'}{\Delta l} \times \Delta t F \quad (2-1)$$

式中 ΔW ——熔体渗入量；

k ——考虑到熔体特性的渗透系数；

μ ——绝对黏度；

$\Delta p'$ ——导致渗透的压力差；

Δl ——渗透区域长度；

Δt ——渗透时间；

F ——渗透剖面面积。

在凝固前沿存在着三个特征区域（见图 2-3），第一区域由液相等温线 $a-a$ 和零流动性等温线 $b-b$ 之间的区域组成。在这一区域中，凝固过程开始发生，并且熔体中单个的晶粒可长大到一定的尺寸。在等温线 $b-b$ 和 $c-c$ 之间，晶粒开始生长直到它们开始互相接触。所获得的复杂组织像一个浸在熔体中的不规则空间晶格。这就是渗透区域，其长度为 Δl ，它等于等温线 $b-b$ 与等温线 $c-c$ 之间的距离。等温线 $c-c$ 与固相等温线 $d-d$ 之间的区域为微变形区域，在此区域内的晶粒已经长到足够大的尺寸，几乎处处互相接触，而熔体处于它们之间的微间隙中。

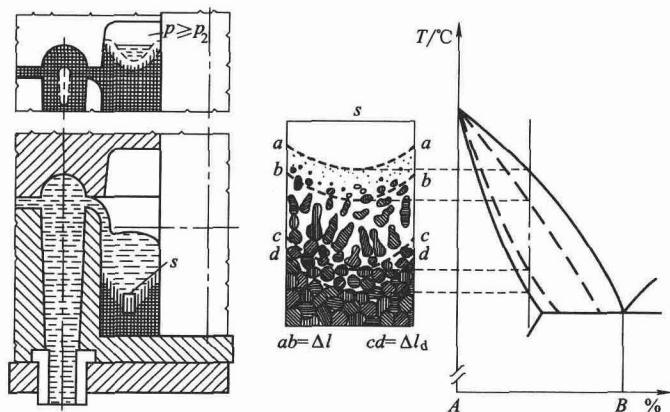


图 2-3 凝固过程特征区域

对式 (2-1) 的分析说明， Δt 和 $\Delta p'$ 可以影响渗透过程。提高熔体和铸模的温度以延迟结晶过程，可以达到延长时间 Δt 的效果。这一影响因素的应用比较有限，因为它将直接导致生长速度的降低，出现大尺寸的晶粒，在铸件中出现气孔的危险性增加。延长凝固时间将直接导致渗透区域长度 Δl 的增长，熔体渗透量也因此减少。

在实际应用中，加速凝固并消除轴向孔隙的一个实际有效因子是压力差 $\Delta p'$ 。这个压力差是作用在单位面积渗透区上的力之和，调整该压力差就可以增加或降低熔体的流速。

在差压铸造中， $\Delta p'$ 的值主要是由作用在模具室中的压力值 p_2 所决定的，这是与其他铸造方法相比主要的不同点。在整个铸造和凝固过程中，在 p_2 的作用下，可以很大程度上减少或完全消除铸件中的轴向孔隙。

② 显微缩松 在普通铸造中，微变形区域（图 2-3 中等温线 $c-c$ 与等温线 $b-b$ 之间的区域）中晶粒之间的熔体收缩直接导致显微疏松，它分布于整个铸件。这些孔洞不能被消除，是典型的铸造缺陷。因此被很多的学者称作是固有孔洞，只能通过塑性变形才能消除。

在差压铸造过程中,当模具室中的压力值 p_2 达到一定值时,因熔体凝固收缩产生的微小空洞被压实,即发生显微塑性变形。尤其是在接近固相线温度,具有低强度和高塑性的晶体更易于发生显微塑性变形。

2.2 差压铸造分类

根据作用在液态金属上的压力来源,差压铸造可以分为三类:气压式差压铸造、重力式差压铸造和活塞式差压铸造。

2.2.1 气压式差压铸造

气压式差压铸造分为增压式和减压式两种方式。气压式差压铸造示意图如图 2-4 所示。

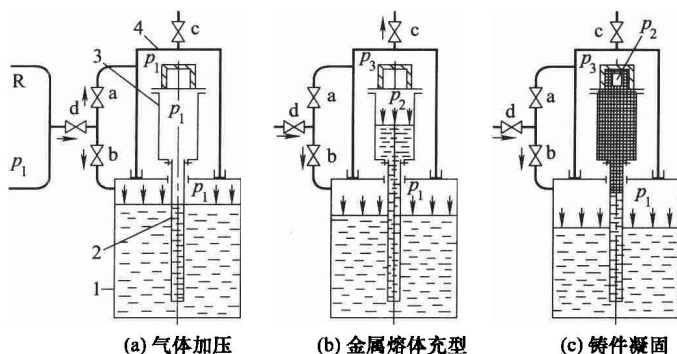


图 2-4 气压式差压铸造示意图

1—保温炉; 2—升液管; 3—模具; 4—模具室罩

(1) 减压式差压铸造 在工作循环开始前,由保温炉 1、开液管(浇注管) 2、模具 3 和模具室罩 4 组成一个密闭系统。由压力罐 R 通入的气体在密闭系统中产生压力 P_1 。这是差压铸造工艺的一个关键特征。

关闭阀 a 并打开阀 c,使模具和模具室罩内的压力降低,分别为 p_2 和 p_3 ,和保温炉内的压力 p_1 形成压力差。

在可控压力差 $\Delta p = p_1 - p_2$ 的作用下,保温炉中的金属熔体以一定速率通过升入管 2 充型模具 3。在充型过程中,金属熔体表面平稳上升,因此,不会发生熔体与加压气体相混合的现象。

在充型模具的整个时段内,始终存在一个压力作用于熔体表面。一方面,该压力使熔体和模具型壁完全贴合,另一方面,防止溶于熔体的气体的逸出。

在凝固和结晶过程中,压力差 Δp 始终保持,直至完全凝固为止。

(2) 增压式差压铸造 在工作循环开始前,由保温炉 1、浇注管 2、模具 3 和模具室罩 4 组成一个密闭系统。由压力罐 R 通入的气体在密闭系统中产生压力 p_1 。



关闭阀 a 和阀 c, 通过阀 b 继续通入气体, 使保温炉 1 中的压力 p_1 增加, 和模具 3 及模具室罩 4 中的压力形成压力差。

在可控压力差 $\Delta p = p_1 - p_2$ 的作用下, 保温炉中的金属熔体以一定速率通过升液管 2 充型模具 3。

在充型模具的整个时段内, 始终存在一个压力作用于熔体表面。在凝固和结晶过程中, 压力差 Δp 始终保持, 直至完全凝固为止。

2.2.2 重力式差压铸造

重力式差压铸造示意图如图 2-5 所示。

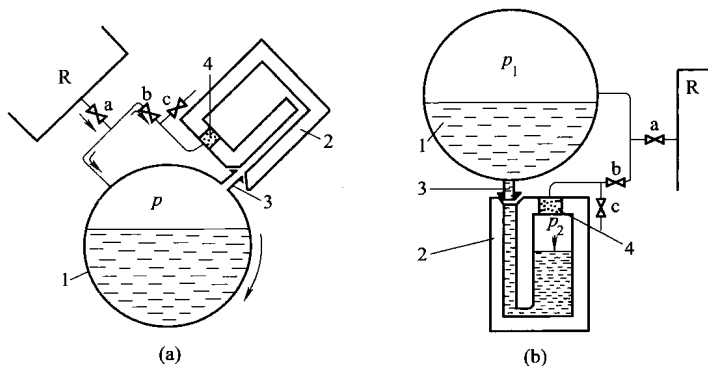


图 2-5 重力式差压铸造示意图

1—装有金属熔体的容器；2—模具室；3—连接管；4—接头

在图 2-5 (a) 所示的初始位置, 装有金属熔体的容器 1 和模具 2 处于相同压力 p 作用下。将整个系统旋转至图 2-5 (b) 所示的位置。在恒压 p_1 下, 容器中的金属熔体在重力作用下通过连接管 3 进入模具 2 型腔中。

通过对阀 a、b 和 c 进行操作, 可调节模具腔室内的压力, 从而控制铸造速度。在此情况下, 压力差可以表示为:

$$\Delta p = \gamma H + p_1 - p_2 \quad (2-2)$$

式中 γ ——熔体密度;

H ——炉内熔体表面与模具内熔体表面间的高度差;

p_1 ——作用于容器内熔体表面的压力;

p_2 ——模具内熔体表面的压力。

2.2.3 活塞式差压铸造

活塞式差压铸造示意图如图 2-6 所示。

活塞式差压铸造通过一个活塞使熔融金属进入模具型腔。活塞 3 直接作用在金属熔

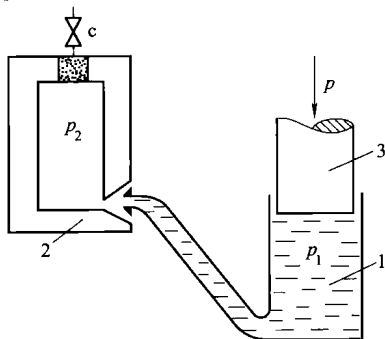


图 2-6 活塞式差压铸造示意图

1—金属熔体；2—模具室；3—施压活塞