

高等学校教材

特种铸造与 先进铸造技术

陈宗民 姜学波 类成玲 编



化学工业出版社

TG24/17

2008

高等学校教材

特种铸造与先进铸造技术

陈宗民 姜学波 类成玲 编



化学工业出版社

·北京·

本书共分两篇。第1篇为特种铸造,详细介绍了目前在铸造生产中常用的特种铸造工艺,包括金属型铸造、熔模铸造、陶瓷型铸造、石墨型铸造、低压铸造、压力铸造、离心铸造、挤压铸造和连续铸造;第2篇为先进铸造技术简介,包括消失模铸造、快速成型技术在铸造工艺中的应用、非占位涂料技术、半固态金属铸造工艺、计算机技术在铸造技术中的应用、数理统计方法在铸件质量控制中的应用、绿色铸造和集约化生产。书中附有大量的插图和实物照片。

本书在内容上反映了铸造技术的最新成就和发展方向,既注重理论讲解的清晰,又紧密地结合生产实际。本书可作为高等学校材料成型与控制专业铸造方向的教材,也可供相关专业研究生、工程技术人员参考。

特种铸造与先进铸造技术

陈宗民 姜学波 类成玲

图书在版编目(CIP)数据

特种铸造与先进铸造技术/陈宗民,姜学波,类成玲编. —北京:化学工业出版社,2008.1

高等学校教材

ISBN 978-7-122-01868-7

I. 特… II. ①陈…②姜…③类… III. 铸造-新技术-高等学校-教材 IV. TG24-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第003130号

责任编辑:金玉连 杨 菁

装帧设计:史利平

责任校对:蒋 宇

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)

印刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订:三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张13¼ 字数346千字 2008年8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: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

特种铸造与先进铸造技术是材料成型与控制工程专业铸造方向的一门主要专业课。

随着我国经济与技术的飞速发展和产业结构的调整，铸造业也发生了很大的变化。市场对铸件的需求量日益增加，对铸件质量、生产周期的要求也越来越苛刻。虽然近年来，通过技术改造，一批企业有了较大的进步和改观，形成一批具有先进水平的铸造骨干生产厂，但总体来说，我国铸造产业仍面临着经济效益差，铸件质量低，能源、材料消耗高，劳动条件恶劣，环境污染等严重问题，满足不了日益激烈的市场竞争的需要。为了缩短这些差距，为了满足我国经济建设的需要，也为了铸造行业自身的存在与发展，我国的铸造行业应以提高铸件质量和经济效益为中心，面向国内和国际两个市场；加强管理，打好基础，提高企业素质；调整产业结构，合理配置资源，提倡适度规模经营；继续以适用先进的生产工艺和技术装备改造铸造行业，实现清洁化生产，保证可持续发展。

目前，我国铸件年产量居世界前列，但其中高性能、优质铸件的比例只占 21%，而美国占 41%；近净形铸件比例只占 2%，而美国达 13%。又例如服务于航空、航天业的精确熔模铸造业，全世界年销售额 52 亿美元，其中美国 25 亿美元，占 47%，而中国只有 1.8 亿，占 3.4%。另外，我国铸件重量平均比国外重 10%~20%，劳动生产率低 5~8 倍，而能耗高两倍。再以汽车发动机缸体为例，我国生产的发动机缸体铸铁件平均壁厚 5.5~6.0mm，而国外只有 3.5~4.5mm。而特种铸造技术、先进铸造方法、计算机技术和现代管理技术的应用在升级铸件质量、提高铸造劳动生产效率和降低能源消耗、环境污染中具有重要的作用。

编写此书的目的是为了帮助学生和其他读者掌握特种铸造的基本工艺原理和设计方法；熟悉特种铸造的基本应用和发展方向；了解现代先进铸造技术（包括管理技术）的核心内容和基本问题；获得先进铸造技术发展的基本信息，为今后的技术改造、技术管理和新技术开发奠定必要的基础。

在编写本书时、从目前铸造生产的发展特点，铸造方向设置的特点及培养目标确定了编写的指导思想：以应用和指导为目的，在理论讲解方面以必需、够用为度，在技术特点方面，尽量以实际生产为例，并提供尽可能宽的知识面和尽可能新的发展信息。

书中的技术名词、定义符号均符合国际标准和我国最新发布的国家或行业标准。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者、专家和同仁不吝赐教。

编者
2007 年 10 月

目 录

第 1 篇 特种铸造

1 金属型铸造	2	2.1 概述	28
1.1 概述	2	2.2 熔模的制造	29
1.2 金属型铸件形成过程的特点	2	2.2.1 模料	29
1.2.1 金属型无透气性对铸件成型的影响	2	2.2.2 模料的种类和性能	30
1.2.2 金属型导热特点对铸件凝固过程中热交换的影响	4	2.2.3 模料的配制及回收	32
1.2.3 金属型无退让性对铸件质量的影响	7	2.2.4 熔模和模組的制造	34
1.3 金属型铸造工艺要点	7	2.3 型壳的制造	36
1.3.1 金属的预热	7	2.3.1 制造型壳用的材料	36
1.3.2 金属型的浇注	8	2.3.2 制壳工艺	42
1.3.3 铸件的出型和抽芯时间	8	2.3.3 陶瓷型芯	43
1.3.4 金属型工作温度的调节	8	2.4 熔模铸件的浇注和清理	43
1.3.5 金属型的涂料	9	2.4.1 熔模铸件的浇注	43
1.3.6 覆砂金属型(铁模覆砂)	10	2.4.2 熔模铸件的清理	44
1.3.7 金属型的寿命	10	2.5 熔模铸造工艺设计	44
1.4 金属型铸件的工艺设计	10	2.5.1 铸件结构工艺性的分析	44
1.4.1 铸件结构的工艺性分析	10	2.5.2 浇冒口系统的设计	45
1.4.2 铸件在金属型中的浇注位置	10	2.6 压型	48
1.4.3 铸型分型面的选择	11	2.6.1 压型的主要结构组成	49
1.4.4 浇注系统设计	12	2.6.2 压型型腔和型芯的设计	50
1.4.5 冒口设计	14	3 陶瓷型铸造	52
1.4.6 金属型铸件的工艺参数	14	3.1 概述	52
1.5 金属型的设计	15	3.2 陶瓷型铸造工艺	54
1.5.1 金属型的结构形式	15	3.2.1 陶瓷型铸造的工艺流程	54
1.5.2 金属型主体设计	16	3.2.2 陶瓷型所用的造型材料	54
1.5.3 金属型芯的设计	18	3.2.3 陶瓷浆料的配制及灌浆	54
1.5.4 金属型的排气	19	3.2.4 起模	55
1.5.5 顶出铸件机构设计	20	3.2.5 喷烧	55
1.5.6 金属型的定位、导向及锁紧机构	21	3.2.6 焙烧	55
1.5.7 金属型材料的选择	22	3.2.7 浇注与清理	55
1.6 金属型铸造机械化	24	4 石膏型铸造	56
1.6.1 金属型铸造机	24	4.1 概述	56
1.6.2 金属型铸造生产线	26	4.1.1 工艺简介	56
2 熔模铸造	28	4.1.2 工艺特点	56
		4.1.3 应用范围	56
		4.2 石膏型精密铸件工艺设计	57
		4.2.1 石膏型精密铸件工艺参数选择	57
		4.2.2 浇注系统及冒口设计	57

4.3 石膏型精铸工艺	57	6.6.1 压铸压力和压铸速度的选择	103
4.3.1 模样	57	6.6.2 浇注温度	103
4.3.2 石膏浆料的原材料	58	6.6.3 压铸型的温度	104
4.3.3 石膏型的制备	58	6.6.4 充填、持压和开型时间	105
4.3.4 合金熔炼及浇注	59	6.6.5 压铸用涂料	105
4.3.5 铸件清理	60	6.6.6 铸件清理	106
5 低压铸造	61	6.7 压铸工艺的新发展	106
5.1 概述	61	6.7.1 真空压铸	106
5.2 低压铸造工艺设计	61	6.7.2 加氧压铸	108
5.3 低压铸造工艺规范	63	6.7.3 精、速、密压铸	108
5.3.1 充型和增压(加压过程)	63	6.7.4 定向、抽气、加氧压铸	109
5.3.2 铸型温度及浇注温度	67	7 离心铸造	110
5.3.3 涂料	67	7.1 概述	110
5.4 低压铸造设备	67	7.2 铸件在离心力场中的成型特点	111
5.4.1 保温炉及其附属装置	68	7.2.1 离心力场	111
5.4.2 供气系统	70	7.2.2 离心力场中液体金属自由表面的形状	111
5.5 差压铸造	72	7.2.3 离心压力	114
5.5.1 基本原理与工艺过程	72	7.2.4 液体金属中异相质点的径向移动	115
5.5.2 铸造工艺特点	73	7.3 离心铸件在液体金属相对运动影响下的凝固特点	116
5.5.3 应用范围	74	7.3.1 离心铸型横断面上液体金属的相对运动及其对铸件结晶的影响	117
6 压力铸造	75	7.3.2 离心铸型纵断面上液体金属的相对流动及其对铸件结晶的影响	118
6.1 概述	75	7.4 离心铸造机	119
6.1.1 压力铸造特点	75	7.4.1 立式离心铸造机	119
6.1.2 压铸应用范围及发展趋势	75	7.4.2 卧式离心铸造机	120
6.2 压铸机	76	7.5 离心铸造工艺	121
6.2.1 压铸机的类型	76	7.5.1 离心铸型转速的选择	121
6.2.2 压铸机的主要机构	78	7.5.2 离心铸造用铸型	123
6.2.3 压铸机的选择	81	7.5.3 涂料	125
6.3 压铸工艺原理	82	7.5.4 离心浇注	125
6.3.1 压铸压力	82	7.5.5 几种离心铸件的铸造工艺	126
6.3.2 压铸速度	83	8 挤压铸造和液体金属冲压	132
6.3.3 充填压铸型的特点	84	8.1 挤压铸造的工艺过程和应用范围	132
6.4 压力铸造铸件的工艺设计	86	8.2 液体金属冲压的工艺过程及其应用	133
6.4.1 压铸件的结构工艺性	86	8.2.1 概述	133
6.4.2 铸件分型面的确定	89	8.2.2 液体金属冲压工艺特点	134
6.4.3 浇注系统	90	9 连续铸造	136
6.4.4 溢流槽、排气槽	95	9.1 基本原理、工艺特点及应用范围	136
6.5 压铸型设计	96	9.1.1 连续铸造的基本过程	136
6.5.1 压铸型的结构	96	9.1.2 连续铸造的特点和应用	136
6.5.2 压铸型的设计要求	96	9.2 连续铸铁管	136
6.5.3 型腔尺寸的设计	97		
6.5.4 抽芯机构	98		
6.5.5 顶出铸件机构	101		
6.5.6 压铸型的材料及压铸型的制造	102		
6.6 压铸工艺参数	103		

9.3 连续铸管工艺与操作	137	9.3.5 液面高度	137
9.3.1 连续铸铁管的基本工序	137	9.3.6 结晶器的水冷	137
9.3.2 铁液的化学成分	137	9.3.7 拉管速度	138
9.3.3 浇注温度	137	9.3.8 连续铸管的主要缺陷	138
9.3.4 脱模	137		

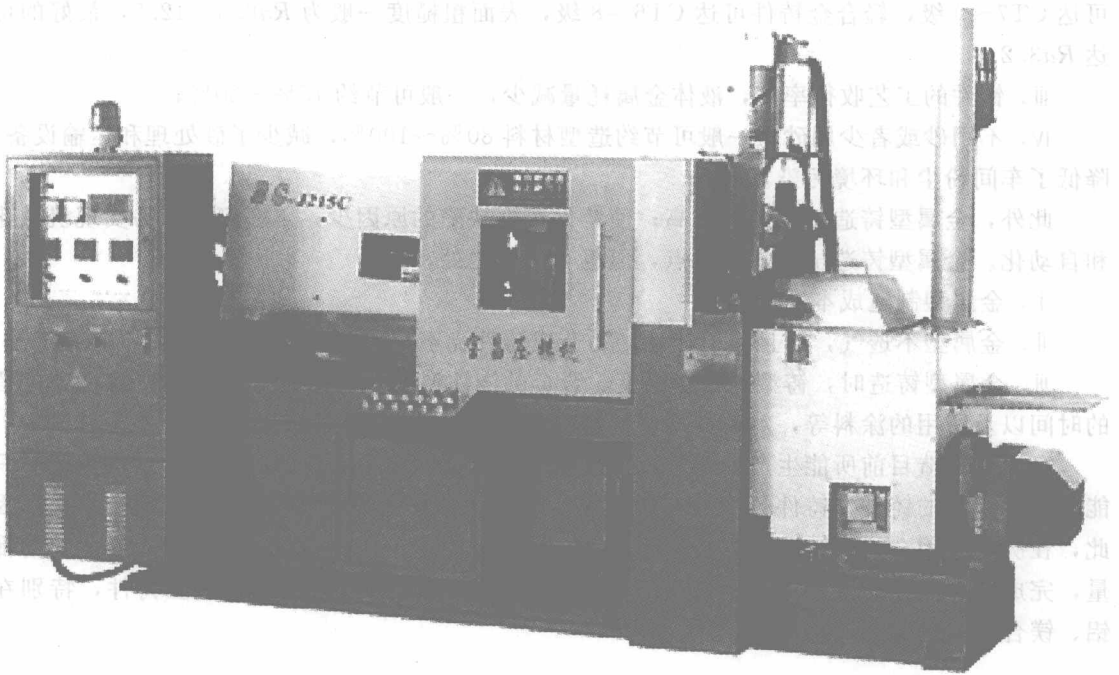
第 2 篇 先进铸造技术简介

10 消失模铸造	140	11.1 引言	161
10.1 概述	140	11.2 立体平版印刷 (SLA) 技术	163
10.1.1 国外消失模铸造的发展	140	11.2.1 工艺原理	163
10.1.2 消失模铸造在中国的发展	140	11.2.2 技术特点和应用	163
10.1.3 消失模铸造技术的特点	141	11.3 选择性激光烧结 (SLS) 技术	164
10.2 消失模铸造的工艺流程	142	11.3.1 工艺原理	164
10.2.1 预发泡	143	11.3.2 工艺应用	165
10.2.2 预发珠粒的熟化处理	143	11.3.3 常用造型材料介绍	165
10.2.3 模型成型	143	11.3.4 应用实例	166
10.2.4 模型簇组合	143	11.4 激光薄片叠层制造 (LOM) 技术	166
10.2.5 模型簇浸涂	144	11.4.1 工艺原理	166
10.2.6 浇注	144	11.4.2 薄片叠层制造工艺的材料	167
10.2.7 落砂清理	144	11.4.3 LOM 工艺后置处理中的表面 涂覆	168
10.3 消失模铸造需要的专用设备	144	11.4.4 薄片叠层制造工艺在铸造中的 应用实例	168
10.3.1 白区和黑区	144	11.5 FDM——熔丝沉积成型法	169
10.3.2 预发机	144	11.5.1 工艺原理	169
10.3.3 发泡成型设备	145	11.5.2 FDM 的工艺特点	170
10.3.4 振荡台	148	11.5.3 FDM 工艺用材料	170
10.3.5 砂箱	149	11.5.4 FDM 工艺的应用	171
10.3.6 真空系统	149	11.6 DSPC 工艺——直接制壳生产铸件 工艺	171
10.3.7 消失模铸造生产线	149	11.6.1 工艺原理	171
10.4 消失模铸造用专用泡沫珠粒及 使用	150	11.6.2 工艺应用实例	171
10.4.1 种类及应用范围	150	11.7 FCP (Freeze Casting Process)——冷冻 铸造	173
10.4.2 使用方法	151	11.7.1 发展背景	173
10.5 消失模造型材料	152	11.7.2 RFP 工艺原理	173
10.5.1 原砂	152	11.7.3 RFP 在铸造生产中的应用和 优势	175
10.5.2 涂料	152	12 非占位涂料 (转移涂料) 技术	176
10.6 干砂造型工艺	153	12.1 概述	176
10.7 铸造工艺	154	12.2 国内外的研究应用情况	176
10.8 磁型铸造	155	12.3 非占位涂料技术的特点	178
10.8.1 磁型铸造的实质和应用范围	155	12.4 非占位涂料技术对涂料的技术 要求	178
10.8.2 磁型铸造所用的材料与要求	155	12.5 非占位涂料技术对脱模剂的选择	179
10.8.3 磁型铸造的浇注工艺及铸件 质量的控制	157		
10.8.4 磁型机及磁型生产线	160		
11 快速成型技术及其在铸造中的 应用	161		

12.6	非占位技术的起模	180	14.4.1	引言	195
13	半固态金属铸造工艺	182	14.4.2	专家系统在铸造工艺设计中的应用	196
13.1	概述	182	14.4.3	工艺装备设计专家系统	197
13.2	工艺原理	182	14.4.4	型砂质量管理专家系统	197
13.3	半固态金属的流变特性	182	15	数理统计方法在铸件质量控制中的应用	199
13.4	合金制备	184	15.1	前言	199
13.5	成型方法	185	15.2	主要方法应用实例	199
13.6	技术优势	188	15.2.1	用排列图法分析现状	199
14	计算机技术在铸造技术中的应用	189	15.2.2	用因果图讨论分析造成废品和不良品的主因(以导轨砂眼为例)	200
14.1	铸件凝固过程数值模拟	189	15.2.3	用直方图判断分析工序状况	201
14.1.1	概述	189	15.2.4	利用散布图分析两个变量的相关性	201
14.1.2	数学模型的建立和程序设计	189	15.2.5	用控制图法动态地分析判断工序过程	202
14.1.3	温度场的数值模拟	189	16	绿色铸造与集约化生产	205
14.1.4	铸件充型过程的数值模拟	189	16.1	绿色铸造	205
14.1.5	应力场的数值模拟	190	16.2	铸造集约化—克服粗放	205
14.1.6	铸件微观组织模拟	190	16.3	铸造清洁生产—减低污染及消耗	206
14.1.7	低压铸造工艺模拟	190	16.4	实现清洁、绿色铸造的技术手段	207
14.2	铸造工艺计算机辅助设计技术	192	16.4.1	发展高性能铸造合金,提高产品的材质水平	207
14.2.1	铸造工艺 CAD	192	16.4.2	发展先进的造型、制芯、落砂、清理工艺和设备	209
14.2.2	铸造工艺 CAD 的特点	192	16.4.3	将计算机技术引入铸造领域	210
14.2.3	图形处理的软件系统	193	参考文献	211	
14.2.4	铸造机械及铸造工程 CAD	194			
14.3	铸造企业管理信息系统	194			
14.3.1	概述	194			
14.3.2	铸造企业的管理信息系统(MIS)	195			
14.3.3	可行性及实施办法	195			
14.3.4	各子系统的算法及系统开发工具	195			
14.4	铸造专家系统	195			

第 1 篇 特种铸造

特种铸造方法通常是指一些区别于普通砂型铸造的方法。除砂型铸造外，通过改变铸型料、浇注方法、液态金属充填铸型的形式和铸件凝固条件等因素，出现了许多特种铸造方法。这些方法不但能提高铸件质量，而且多数方法可以一型多铸，便于实现机械化和自动化生产，因而适于成型生产和大批量生产。但这些方法的工艺装备和设备的投资费用较大，生产数量较少的铸件时则不便采用。常见的有：熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、石膏型铸造、陶瓷型铸造、连续铸造、挤压铸造等。



点铸前屏长取取并铸压源全 (C.1)

铸型材料、浇注方法、液态金属充填铸型的形式和铸件凝固条件等因素，出现了许多特种铸造方法。这些方法不但能提高铸件质量，而且多数方法可以一型多铸，便于实现机械化和自动化生产，因而适于成型生产和大批量生产。但这些方法的工艺装备和设备的投资费用较大，生产数量较少的铸件时则不便采用。常见的有：熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、石膏型铸造、陶瓷型铸造、连续铸造、挤压铸造等。

铸型材料、浇注方法、液态金属充填铸型的形式和铸件凝固条件等因素，出现了许多特种铸造方法。这些方法不但能提高铸件质量，而且多数方法可以一型多铸，便于实现机械化和自动化生产，因而适于成型生产和大批量生产。但这些方法的工艺装备和设备的投资费用较大，生产数量较少的铸件时则不便采用。常见的有：熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、石膏型铸造、陶瓷型铸造、连续铸造、挤压铸造等。

铸型材料、浇注方法、液态金属充填铸型的形式和铸件凝固条件等因素，出现了许多特种铸造方法。这些方法不但能提高铸件质量，而且多数方法可以一型多铸，便于实现机械化和自动化生产，因而适于成型生产和大批量生产。但这些方法的工艺装备和设备的投资费用较大，生产数量较少的铸件时则不便采用。常见的有：熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、石膏型铸造、陶瓷型铸造、连续铸造、挤压铸造等。

1 金属型铸造

1.1 概述

金属型铸造又称硬模铸造，它是将液体金属浇入金属铸型以获得铸件的一种铸造方法。铸型是用金属制成，可以反复使用多次（几百次到几千次）。

金属型铸造与砂型铸造相比，在技术与经济上有许多优点：

- i. 金属型生产的铸件，其力学性能比砂型铸件高，同样合金，其抗拉强度平均可提高约 25%，屈服强度平均提高约 20%，其抗蚀性能和硬度亦显著提高；
- ii. 铸件的精度和表面光洁度比砂型铸件高，而且质量和尺寸稳定，铸件尺寸精度一般可达 CT7~9 级，轻合金铸件可达 CT6~8 级，表面粗糙度一般为 $Ra6.3\sim 12.5$ ，最好的可达 $Ra3.2$ ；
- iii. 铸件的工艺收得率高，液体金属耗量减少，一般可节约 15%~30%；
- iv. 不用砂或者少用砂，一般可节约造型材料 80%~100%，减少了砂处理和运输设备，降低了车间粉尘和环境污染。

此外，金属型铸造的生产效率高；使铸件产生缺陷的原因少；工序简单，易实现机械化和自动化。金属型铸造虽有很多优点，但也有不足之处，如：

- i. 金属型制造成本高；
- ii. 金属型不透气，而且无退让性，易造成铸件浇不足、开裂或铸铁件白口等缺陷；
- iii. 金属型铸造时，铸型的工作温度、合金的浇注温度和浇注速度，铸件在铸型中停留的时间以及所用的涂料等，对铸件质量的影响甚为敏感，需要严格控制。

金属型铸造目前所能生产的铸件，在形状和重量方面还有一定的限制，如对黑色金属只能是形状简单的铸件，铸件的重量不可太大；壁厚也有限制，较小的铸件壁厚无法铸出。因此，在决定采用金属型铸造时，必须综合考虑下列各因素：铸件形状和重量大小，足够的批量，完成生产任务的期限许可。所以金属型铸造适用于生产批量大的中小型铸件，特别在铝、镁合金铸件方面应用广泛。

1.2 金属型铸件形成过程的特点

金属型和砂型在性能上有显著的三大区别：砂型有透气性，而金属型则没有；砂型的导热性差，金属型的导热性很好；砂型有退让性，而金属型没有。金属型的这些特点决定了它在铸件形成过程中有自己的规律。

1.2.1 金属型无透气性对铸件成型的影响

金属在充填时，型腔内的气体必须迅速排出，但金属又无透气性，只要对工艺稍加疏忽，就会给铸件的质量带来不良影响。

金属型在浇注前，如型腔内的气体温度为 $T(K)$ ，气体的体积为 $V(m^3)$ ，气体压强 p (Pa) 可由气体状态方程式来表示，即

$$p = \frac{1}{V}GRT$$

式中 G ——型腔中气体的物质的量, mol;
 R ——气体常数。

当液体金属进入型腔, 如果在排气不良或不能排气, 且气体与型壁之间的热交换又可忽略的情况下, 气体受到压缩, 其 V 值减小, 如不计气体的受热膨胀, 型腔内气体的压强 p 变化将如图 1-1 所示, 如考虑加热膨胀, 其压强变化就更加剧烈。

在充型时, 型腔中的气体实际是处于被加热状态, 即上述公式中的 T 值不断增加, 增加的程度取决于合金的种类和流束的性质。就同一合金而言, 在充填平稳时(如为宽厚浇口), 气体与流束的热交换仅限于流束的前端, 气体受热较少。但如果液流紊乱, 则金属液与气体的热交换加剧而造成气体强烈受热。对于不同合金(如铝合金或铸铁), 型腔内气体被加热的程度也有显著的差别。

由此可见, 金属型在浇注过程中, 型腔内的气体, 一方面随着液体金属的充填被压缩; 另一方面又被强烈加热, 温度升高。从上述公式中清楚地看出, 浇注过程必然要引起压强升高。其压强升高的程度与浇注速度、合金种类、铸件结构等因素有关, 更与铸型排气的好坏有直接关系。如果排气不良, 在型腔被充满的瞬间, 压强甚至高达 400~450kPa。

型腔内气体压强的升高, 造成充型反压强, 阻碍液体金属充填型腔。如果气体压强 p 升高, 一旦高过压强 $\sum p_{\text{外压}}$ ($\sum p_{\text{外压}}$ 指大气压、液体金属压力和表面张力之和) 时, 气体就有可能冲破金属液流束的表层, 通过内浇口向外逸出。这样不仅破坏了金属液的连续流动, 而且对于某些合金(如铝合金)还会造成强烈氧化。当气体穿越金属液时, 如果受到初晶或凝固层的阻拦, 便会留在金属中形成气孔。

在金属型的某些局部(如拐角、凹坑处), 气体的通路被金属液阻拦或包围如图 1-2(a)、(c) 所示无法逸出。有时该处的气体压强 p 虽未大到 $\sum p_{\text{外压}}$, 但造成的“气阻”往往阻碍金属充满型腔, 一般在型腔顶部如图 1-2(b) 所示, 液体金属最后充填的地方, 也较易形成“气阻”。如果金属型未刷涂料, 虽然型腔里的气体通过排气孔(或排气塞、排气槽)可以排除大部分, 但仍有部分气体残留在型壁与金属液之间形成“气阻”。这些“气阻”会使铸件出现浇不足的缺陷。

型腔里的气体还会由于型腔工作面的烧伤而增加, 因为烧伤处往往产生微小裂纹, 在裂纹深处易积聚铁锈 ($x\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot y\text{H}_2\text{O}$), 当与高温铁水或钢水接触时, 铁锈分解并与液体金属进行一系列反应:

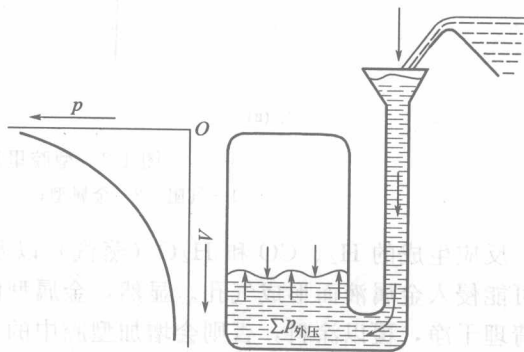


图 1-1 金属型浇注时型腔内气体压强变化示意
 V —型腔内气体的体积; p —型腔内气体的压强;
 $\sum p_{\text{外压}}$ —液体金属、大气等对型腔内气体的压强

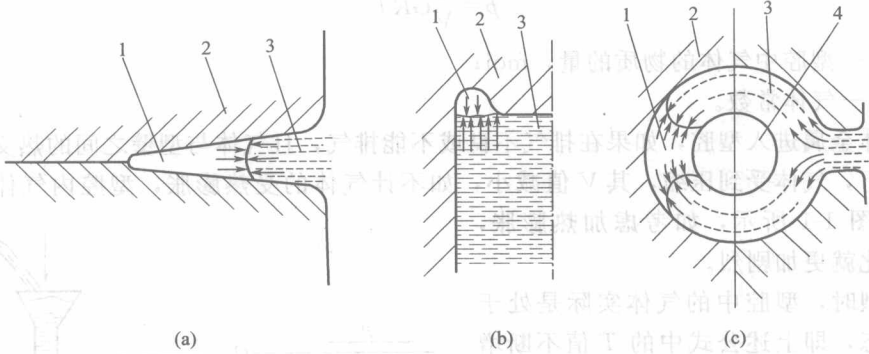


图 1-2 型腔里形成的“气阻”

1—气阻；2—金属型；3—液态金属；4—金属型芯

反应生成的 H_2 、 CO 和 H_2O （蒸汽）以及裂纹内部的气体受热膨胀，无法排出型腔，亦可能侵入金属液而形成气孔。显然，金属型的工作面一旦锈蚀，存在铁锈时，在浇注前必须清理干净，覆以涂料，否则会增加型腔中的气体量。

当用带有砂芯的金属型铸造时，液体金属充填过程中，砂芯受热、黏结剂分解以及涂料未烘干或金属型预热不充分，都会增加型腔里的气体量。

1.2.2 金属型导热特点对铸件凝固过程中热交换的影响

金属液一旦进入型腔，就把热量传给金属型壁，这时型壁起到两个作用：一是把热量积蓄起来；二是把积蓄的热量散发到周围介质中去。液体金属通过型壁散发热量，进行凝固并产生收缩，而型壁在获得热量，升高温度的同时产生膨胀，结果在铸件与型壁之间形成了

“间隙”。在“铸件—间隙—金属型”系统未到达同一温度之前，可以把铸件视为在“间隙”中冷却，而金属型壁通过“间隙”被加热。因此要分析此“系统”的热交换情况，以便有效地控制铸件的冷却速度，进而达到控制铸件质量的目的。

为使热交换问题的讨论简化起见，现对板形铸件进行分析。假定“系统”是稳定传热，“系统”中各组元的温度场呈直线分布规律（见图 1-3），纵坐标表示温度 $t(^\circ C)$ ，横坐标表示距离 $x(m)$ 。如果在热交换过程中，通过“系统”中各组元的比热流 $q(W/m^2)$ 都相同，根据傅立叶定律， q 值可用下述三式表达：

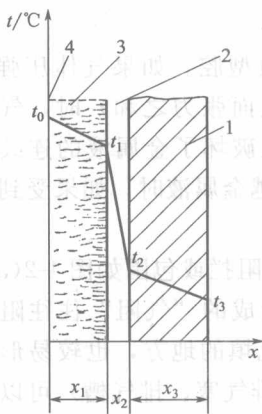


图 1-3 铸件—间隙—金属型系统的温度分布

1—金属型；2—间隙；3—铸件；4—铸件中心

$$q = \frac{\lambda_1}{x_1} (t_0 - t_1)$$

$$q = \frac{\lambda_2}{x_2} (t_1 - t_2)$$

$$q = \frac{\lambda_3}{x_3} (t_2 - t_3)$$

式中 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ——铸件、间隙和金属型壁的热导率， $W/(m \cdot ^\circ C)$ ；

x_1, x_2, x_3 ——板形铸件壁厚之半，间隙厚度和金属型壁厚度， m ；

t_0, t_1, t_2, t_3 ——铸件中心温度，铸件表面温度，金属型壁工作表面温度，金属型壁外表面温度， $^\circ C$ 。

将以上三式进行整理，相加得比热流 q 为：

$$q = \frac{t_0 - t_3}{\frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3}}$$

从传热学可知， $\frac{x_1}{\lambda_1}$ 、 $\frac{x_2}{\lambda_2}$ 及 $\frac{x_3}{\lambda_3}$ 分别为铸件、间隙和金属型壁的“热阻”。可见，通过“系统”的比热流 q 与铸件断面中心温度和金属型外表面温度之差 ($t_0 - t_3$) 成正比，而与热阻之和 ($\frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3}$) 成反比。显然，比热流 q 愈大，铸件的冷却速度亦愈大。因而影响比热流 q 的各个因素也影响铸件的冷却速度。

如果铸件的材质一经确定，其热阻 $\frac{x_1}{\lambda_1}$ 和铸件中心温度 t_0 就可视为定值，在热交换过程中比热流 q 的大小就主要决定于 $\frac{x_3}{\lambda_3}$ 、 $\frac{x_2}{\lambda_2}$ 和 t_3 的大小。下面就着重分析它们对比热流 q 的影响。

(1) 关于金属型壁厚阻 $\frac{x_3}{\lambda_3}$ 的影响

如果金属型壁的热导率 λ_3 愈大，则它的热阻就愈小，铸件的冷却速度愈大。常用金属型材料的热导率如表 1-1 所示，可见铜铸型比铁铸型的冷却速度要大得多。如果金属型壁厚 x_3 愈大，则它的热阻就愈大，铸件的冷却速度应该减小，这不完全符合实际情况。因为金属型壁在热交换过程中，除了导热作用外，还兼有蓄热作用，而上述公式却没有反映金属型壁的蓄热作用。

表 1-1 金属型材料的热导率 λ_3 [W/(m·°C)]

铸铁	铸钢	铸造铝合金	铸造铜合金
39.5	46.4	272.6	390.9

假定金属型壁与铸件的接触面积为 A (m²)，其密度为 ρ (kg/m³)，比热容为 c_3 [J/(kg·°C)]，金属型壁温度场的平均温度为 $t_{均}$ (°C)，则金属型的蓄热量 Q (J) 可以下式表示：

$$Q = A \cdot x_3 \cdot \rho \cdot c_3 \cdot t_{均}$$

由上式可见，增大 x_3 ，可增加金属型壁的蓄热量 Q 。由于金属型的蓄热能力和导热能力是相互依赖的，如果金属型壁热导率 λ_3 很大，金属型壁厚的增加为其蓄热量的增加创造了条件，这样铸型能迅速从“间隙”吸收大量的热量，从而提高了铸件的冷却速度。图 1-4 曲线 a 、 b 区间所表明实验结果证明这一分析是正确的。因为在这个范围内，随着壁厚增加，金属型壁的热容量也增加，加之金属型壁的导热性好，传给金属型壁的热量很快被积蓄起来，使得铸件的冷却速度急剧上升。但值得注意的是当金属型壁厚超过一定值时（如 $> b$ 点），尽管铸型壁厚继续增加，铸件的冷却速度变化不大，这主要由于金属型的热传导性能决定了金属型壁中离工作表面较远的地方温度不能升得太高。该处的金属型壁也就起不到蓄热的作用，因此金属型壁厚的过分增加便对铸件的冷却速度没有显著影响了。

从上述分析还可以看出，如果在其他条件相同的情况下，降低型壁外表面温度 t_3 （如采用介质强化冷却），增大型壁的比热流 q ，这对提高铸件的冷却速度十分有利。此时，应尽可能减小热阻 $\frac{x_3}{\lambda_3}$ ，即减小金属型壁厚度和提高金属型材料的热导率，以充分发挥铸型外壁上的介质强化冷却作用。

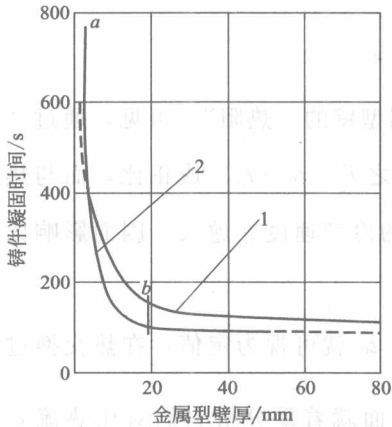


图 1-4 铸件凝固时间与金属型壁厚的关系

1—平板铸件；2—圆柱形铸件

(2) 关于“间隙”热阻 $\frac{x_2}{\lambda_2}$ 的影响

令 K_1 、 K_2 分别等于下式的比值，即

$$K_1 = \frac{t_0 - t_1}{t_1 - t_2} = \frac{\delta_1 t}{\delta_2 t} = \frac{\frac{x_1}{\lambda_1}}{\frac{x_2}{\lambda_2}}$$

$$K_2 = \frac{t_2 - t_3}{t_1 - t_2} = \frac{\delta_3 t}{\delta_2 t} = \frac{\frac{x_3}{\lambda_3}}{\frac{x_2}{\lambda_2}}$$

式中 K_1 、 K_2 称为“魏氏准则”，它表示铸件与“间隙”和金属型与“间隙”之间的热交换特点。下面分析 K_1 、 K_2 值的两种情况，即

$$K_1 \gg 1, K_2 \gg 1$$

和

$$K_1 \ll 1, K_2 \ll 1$$

第一种所表示的情况是“间隙”断面上的温度差 $\delta_2 t$ 与铸件及金属型壁断面上的温度差相比，显得十分微小，因而可认为铸件与金属型壁表面的温度非常相近（如图 1-5 所示），这也表明“间隙”的热阻 $\frac{x_2}{\lambda_2}$ 相当小，此时的热交换状况就完全取决于铸件和金属型的热物性性质。第二种情况则相反，它表明“间隙”热阻 $\frac{x_2}{\lambda_2}$ 与铸件热阻 $\frac{x_1}{\lambda_1}$ 、铸型热阻 $\frac{x_3}{\lambda_3}$ 比较，它的数值相当大，此时铸件的冷却速度主要由间隙热阻所决定。 $K_1 \ll 1$ 及 $K_2 \ll 1$ 还表明铸件断面的温度差 $\delta_1 t$ 及金属型壁温度差 $\delta_3 t$ 与“间隙”断面温度差 $\delta_2 t$ 相比，是可忽略不计的数值（如图 1-6 所示），故为考虑问题方便起见，可认为铸件和金属型断面上的温度分布是均匀的。

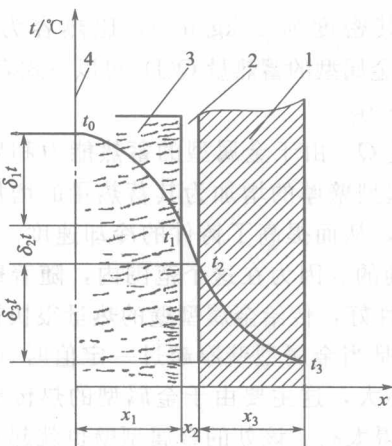


图 1-5 $K_1 \gg 1, K_2 \gg 1$ 时的温度分布
1—金属型；2—间隙；3—铸件；4—铸件中心

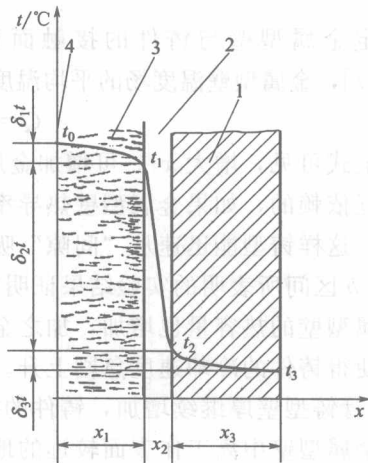


图 1-6 $K_1 \ll 1, K_2 \ll 1$ 时的温度分布
1—金属型；2—间隙；3—铸件；4—铸件中心

在金属型铸造时，金属型壁与铸件之间是有涂料的，在“铸件—间隙—金属型”系统中，涂料也被认为是“间隙”的一部分。涂料和空气的热导率 λ 都很小，并且间隙层都很薄，故金属型铸造时的传热情况属于 $K_1 \ll 1, K_2 \ll 1$ 的情况，所以有可能用改变涂料的热物

理性质和厚度来达到控制铸件凝固速度的目的。实践证明,采用不同涂料或同一涂料的不同厚度都能有效地改变金属型铸造时的热交换情况。随着涂料厚度增加,通过减小涂料层的比热流,不同成分的涂料,由于热导率的不同,虽然厚度相同,但通过涂料层的比热流也不一样。常用耐火材料的热导率见表 1-2。用不同耐火材料可以配成不同热阻的涂料。

表 1-2 常用耐火材料的热导率 $[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$

材 料	白 堇	大理石粉	石 棉	耐火黏土	氧化锌	二氧化钛	氧化镁	石 墨	氧化铝
热导率	0.6~0.8	1.8~3.0	0.1~0.2	0.6~0.8	约 10	约 4	约 23	约 13.7	约 18

综上所述,可见金属型铸造时,通过改变“间隙”的热物理性质、合理地选择涂料及控制涂料的厚度的方法,便能控制铸件的凝固速度。

1.2.3 金属型无退让性对铸件质量的影响

金属型或金属型芯在铸件凝固过程中不能退让而阻碍铸件的收缩,这是它的又一特点。

从研究铸件凝固过程中知道,在金属液的温度进入结晶区间时,就开始有凝固收缩,当收缩受到阻碍,就可能形成热裂的缺陷。

由于金属型会阻碍铸件的收缩,故采用金属型铸造时,需要慎重对待,特别是在浇注那些凝固收缩率大的合金时更需注意。

当铸件温度降低到低于固相线,进入弹性变形温度时,由于金属型的阻碍,在铸件内会引起应力,这个应力 σ 的大小,可用下式表达:

$$\sigma = E(\epsilon - K)$$

式中 E ——铸件材料的弹性模量;

ϵ ——铸件在弹性温度范围内的自由收缩率;

K ——表明金属型或金属型芯退让性大小的系数。

金属型或金属型芯无退让性, $K=0$, 故其收缩应力必然最大, 即

$$\sigma = E\epsilon$$

如果铸件在这个温度区间的线收缩系数为 α , 从弹性变形开始时的温度 $t_{\text{弹}}$, 到铸件出型温度或抽芯温度 $t_{\text{出(抽)}}$ 止, 其自由收缩率为 ϵ , 则

$$\epsilon = \alpha[t_{\text{弹}} - t_{\text{出(抽)}}]$$

由此可得:

$$\sigma = E\alpha[t_{\text{弹}} - t_{\text{出(抽)}}]$$

从式中看出,由于金属型及金属型芯阻碍收缩,如果铸件在金属型中停留的时间愈长,即出型或抽芯温度愈低,在铸件内部产生的收缩应力就愈大。当 $\sigma > \sigma_b$ (σ_b 为铸件材料的抗拉强度极限) 时,铸件就可能被拉裂,出现冷裂的缺陷。

可见在金属型铸造时,由于金属型或金属型芯无退让性这一特点,故要求严格控制工艺。稍有疏忽,就会使抽芯或铸件的出型发生困难,严重时甚至会使铸件开裂。

1.3 金属型铸造工艺要点

1.3.1 金属型的预热

未预热的金属型不能进行浇注。这是因为金属型导热性好,液体金属冷却快,从而使流动性剧烈降低,容易使铸件出现冷隔、浇不足、夹杂、气孔等缺陷。未预热的金属型在浇注

时, 铸型将受到强烈的热冲击, 应力倍增, 极易被破坏。因此, 金属型在开始工作前, 应该先预热, 适宜的预热温度 (即工作温度) 随合金的种类、铸件结构和大小而定, 一般通过试验确定, 也可参照表 1-3。对于薄壁铸件可取上限, 对于厚壁简单件可取下限, 但一般情况下, 金属型的预热温度不低于 150℃。

表 1-3 合金对金属型预热温度的要求

合金种类	预热温度/℃	合金种类	预热温度/℃
灰铸铁	250~350	铅黄铜	350~400
可锻铸铁	150~250	锡青铜	150~250
铝合金	200~300	铅青铜	50~125
镁合金	200~250	铸钢	150~300

金属型的预热方法有:

- i. 用喷灯或煤气火焰预热;
- ii. 采用电阻加热器;
- iii. 采用烘箱加热, 其优点是温度均匀, 但只适用于小件的金属型;
- iv. 先将金属型放在炉上烘烤, 然后浇注金属液体将金属型烫热。这种方法, 只适用于小型铸型, 因为它要浪费一些金属液, 也会降低铸型寿命。

1.3.2 金属型的浇注

金属型的浇注温度, 一般比砂型铸造时高。可根据合金种类、化学成分、铸件大小和壁厚, 通过试验确定。表 1-4 中数据可供参考。

表 1-4 各种合金的浇注温度

合金种类	浇注温度/℃	合金种类	浇注温度/℃
铝锡合金	350~450	黄铜	900~950
锌合金	450~480	锡青铜	1100~1150
铝合金	680~740	铝青铜	1150~1300
镁合金	715~740	铸铁	1300~1370

由于金属型的激冷和不透气, 浇注速度应做到先慢、后快、再慢。先慢可防止金属液飞溅, 后快可使液态金属能够很好充型, 再慢是防止浇注末期金属液溢出型外。在浇注过程中应尽量保证液流平稳。

1.3.3 铸件的出型和抽芯时间

金属型芯在铸件中停留的时间愈长, 由铸件收缩产生的抱紧型芯的力就愈大, 因此需要的抽芯力也愈大。金属型芯在铸件中最适宜的停留时间, 是当铸件冷却到塑性变形温度范围内, 并有足够的强度时, 是最好的抽芯时机。铸件在金属型中停留的时间过长, 就会使金属型壁温度升高, 冷却时间加长, 也会降低金属型的生产率。

最合适的抽芯与铸件出型时间可参阅有关手册, 一般用试验方法确定。

1.3.4 金属型工作温度的调节

要保证金属型铸件的质量稳定、生产正常, 首先要使金属型在生产过程中温度变化恒定。所以每浇一次, 就需要将金属型打开一次, 停放一段时间, 待冷却至规定温度时再浇。如果靠自然冷却, 需要时间较长, 会降低生产率, 因此常用强制冷却的方法。冷却的方式一

般有以下几种：

(1) 风冷

风冷是在金属型外围吹风冷却，强化对流散热。其冷却效果与金属型外部的散热面积有关，散热面积大，冷却效果好。为提高冷却效果，可在金属型背面设置散热片（针）如图 1-7 所示。与没有散热片（针）的金属型相比，冷却效果可提高 20%~30%。风冷方式的金属型，虽然结构简单、制造容易、成本低，但冷却效果不十分理想。

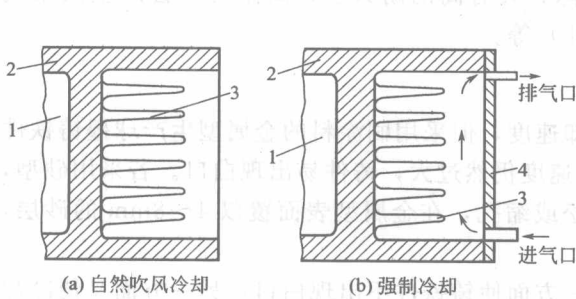


图 1-7 金属型的两种风冷方式

1—型腔；2—金属型；3—散热片（针）；4—铸铁盖板

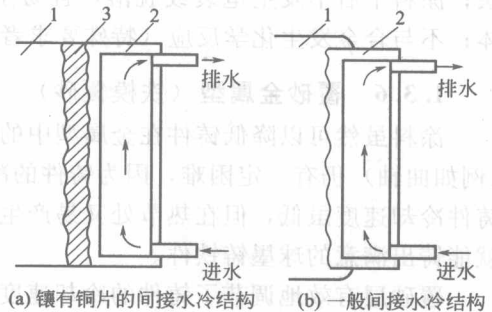


图 1-8 间接水冷金属型结构示意图

1—金属型；2—水套；3—铜片

(2) 间接水冷

在金属型背面或某一局部，镶铸水套，其冷却效果比风冷好，适于浇铸铜件或可锻铸铁件。但对浇铸薄壁灰铁铸件或球铁铸件，激烈冷却，会增加铸件的缺陷。为防止金属型在背面因强烈冷却产生应力和裂纹，可在水套和金属型壁之间镶铸导热性好的材料，如图 1-8 所示。

(3) 直接水冷

在金属型的背面或局部直接制出水套，在水套内通水进行冷却，这主要用于浇铸钢件或其他合金铸件以及铸型要求强烈冷却的部位。因其成本较高，只适用于大批量生产，其结构如图 1-9 所示。

如果铸件壁厚薄悬殊，在采用金属型生产时，也常在金属型的一部分采用加热，另一部分采用冷却的方法来调节型壁的温度分布。图 1-10 为金属型局部电阻加热。

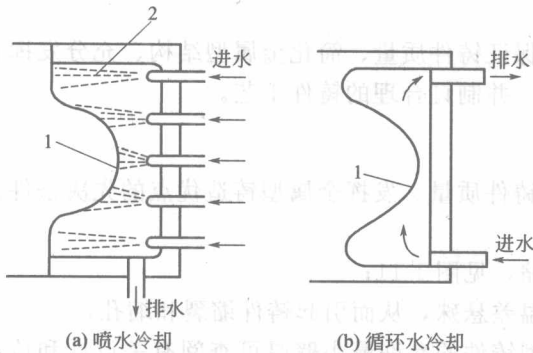


图 1-9 金属型直接水冷

1—金属型壁；2—喷水分布

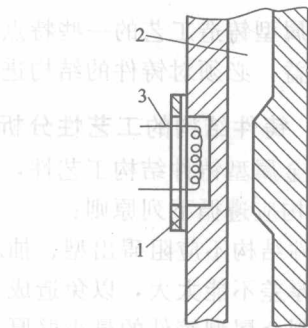


图 1-10 金属型局部加热

1—云母片；2—型腔；3—电阻丝

1.3.5 金属型的涂料

在金属型铸造过程中，常需在金属型的工作表面喷刷涂料。涂料的作用是：调节铸件的