



普通高等教育材料成型及控制工程  
系列规划教材

# 金属液态成型模具设计

龙文元 卢百平 主编



化学工业出版社



普通高等教育材料成型及控制工程  
系列规划教材

# 金属液态成型模具设计

龙文元 卢百平 主编



化学工业出版社  
·北京·

本书介绍了金属型铸造工艺与模具设计、压力铸造工艺与模具设计方面的内容,金属型铸造主要介绍了金属型铸造的成型特点、金属型铸造工艺设计、金属型结构设计、金属型铸造机、金属型设计实例等。压力铸造方面主要介绍了压力铸造的基本概念及其成型特点、压铸过程原理、压铸工艺及新技术、压铸件的工艺分析、压铸机、浇注系统及排溢系统设计、压铸模结构设计、压铸模材料的选择及技术要求、压铸模结构图例等。

本书可作为高等院校材料成型及控制工程、模具设计与制造以及机电类各相关专业的教材,也可供从事模具设计与制造的工程技术人员、高职高专相关专业学生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

金属液态成型模具设计/龙文元,卢百平主编. —北京:化学工业出版社,2010.5  
(普通高等教育材料成型及控制工程系列规划教材)  
ISBN 978-7-122-08104-9

I. 金… II. ①龙…②卢… III. 液态金属充型-模具-设计-高等学校-教材 IV. TG21

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第053974号

---

责任编辑:彭喜英  
责任校对:战河红

文字编辑:颜克俭  
装帧设计:周遥

---

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  
787mm×1092mm 1/16 印张12½ 字数306千字 2010年6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:26.00元

版权所有 违者必究

# 普通高等教育材料成型及控制工程系列规划教材 编审委员会

主 任 李春峰

委 员 (按姓氏笔画排序)

王文先	王东坡	王成文	王志华	王惜宝	韦红余
龙文元	卢百平	田文彤	毕大森	刘 峰	刘雪梅
刘翠荣	齐芳娟	池成忠	许春香	杨立军	李 日
李云涛	李志勇	李金富	李春峰	李海鹏	吴志生
沈洪雷	张金山	张学宾	张柯柯	张彦敏	陈茂爱
陈翠欣	林晓婷	孟庆森	胡绳荪	秦国梁	高 军
郭俊卿	黄卫东	焦永树			

## 序

材料成型及控制工程专业是 1998 年国家教育部进行专业调整时，在原铸造专业、焊接专业、锻压专业及热处理专业基础上新设立的一个专业，其目的是为了改变原来老专业口径过窄、适应性不强的状况。新专业强调“厚基础、宽专业”，以拓宽专业面，加强学科基础，培养出适合经济快速发展需要的人才。

但是由于各院校原有的专业基础、专业定位、培养目标不同，也导致在人才培养模式上存在较大差异。例如，一些研究型大学担负着精英教育的责任，以培养科学研究型和科学研究与工程技术复合型人才为主，学生毕业以后大部分攻读研究生，继续深造，因此大多是以通识教育为主。而大多数教学研究型和教学型大学担负着大众化教育的责任，以培养工程技术型、应用复合型人才为主，学生毕业以后大部分走向工作岗位，因此大多数是进行通识与专业并重的教育。而且目前我国社会和工厂企业的专业人才培养体系没有完全建立起来；从人才市场来看，许多工厂企业仍按照行业特征来招聘人才。如果学生在校期间的专业课学得少，而毕业后又不能接受继续教育，就很难承担用人单位的工作。因此许多学校在拓宽了专业面的同时也设置了专业方向。

针对上述情况，教育部高等学校材料成型及控制工程专业教学指导分委员会于 2008 年制定了《材料成型及控制工程专业分类指导性培养计划》，共分四个大类。其中第三类为按照材料成型及控制工程专业分专业方向的培养计划，按这种人才培养模式培养学生的学校占被调查学校的大多数。其目标是培养掌握材料成形及控制工程领域的基础理论和专业基础知识，具备解决材料成形及控制工程问题的实践能力和一定的科学研究能力，具有创新精神，能在铸造、焊接、模具或塑性成形领域从事设计、制造、技术开发、科学研究和管理等工作，综合素质高的应用型高级工程技术人才。其突出特色是设置专业方向，强化专业基础，具有较鲜明的行业特色。

由化学工业出版社组织编写和出版的这套“材料成型及控制工程系列规划教材”，针对第三类培养方案，按照焊接、铸造、塑性成形、模具四个方向来组织教材内容和编写方向。教材内容与时俱进，在传统知识的基础上，注重新知识、新理论、新技术、新工艺、新成果的补充。根据教学内容、学时、教学大纲的要求，突出重点、难点，力争在教材中体现工程实践思想。体现建设“立体化”精品教材的宗旨，提倡为主干课程配套电子教案、学习指导、习题解答的指导。

希望本套教材的出版能够为培养理论基础和专业知识扎实、工程实践能力和创新能力强、综合素质高的材料成形及加工的专业性人才提供重要的教学支持。

教育部高等学校材料成型及控制工程专业教学指导分委员会主任

李春峰

2010 年 4 月

# 前 言

我国模具工业的发展日益受到人们的重视和关注,在电子、汽车、电机、电器、仪器、仪表、家电和通信等产品中,60%~80%的零部件都要依靠模具成型(形)。用模具生产制件所具备的高精度、高复杂程度、高一致性、高生产率和低消耗,是其他加工制造方法所不能比拟的。近几年,我国模具工业一直以每年15%左右的增长速度发展,2005年,我国模具总产值超过610亿元人民币,其中金属液态成型模具的产值也已超过100亿元,特别是随着我国汽车、摩托车等产业的快速发展,金属液态成型模具在模具工业中所占的比重将越来越大。

随着我国经济的高速发展,金属液态成型模具工业突飞猛进,市场对金属液态成型模具人才的需求也越来越多。在金属液态成型模具产业中,最初是以压铸模具为主,目前金属型铸造模具也得到了迅速发展,占据了越来越重要的地位,但目前有关金属液态成型模具的教材主要都是介绍压铸模具,缺少对金属型铸造模具的介绍。为了适应我国金属液态成型模具工业发展的需要,我们根据新世纪人才培养模式的新变化,结合我校几十年从事模具专业教学改革的研究和实践,并吸收其他兄弟学校教学改革的成功经验,编写了本教材,系统介绍了金属型铸造和压铸的成型工艺及其模具设计相关的知识。

本书的编写由多年从事金属液态成型工艺、模具设计和研究的高校教师参加,参考了国内外大量有关压铸技术、金属型铸造技术和模具设计制造方面的专著与最新技术资料和研究成果。本书从内容上兼顾理论基础和设计实践两个方面,注意理论联系实际,加强实用性和新颖性,对一些新技术和新工艺进行了较详细的介绍。

本书由南昌航空大学龙文元老师主编,并参与编写了绪论、第1~5章,南昌航空大学卢百平老师参与编写了第8~10章,郑玉惠老师参与编写了第6、7章。在本书的编写过程中,南昌航空大学铸造工程系研究生林志斌、赵璐、李明、尤丁平和李培培等也付出了辛勤的劳动;并获得了南昌航空大学教材建设基金的资助,编者在此一并表示感谢。

由于科学技术的迅速发展,加上编者水平有限,书中不当之处难免,敬请广大读者给予批评指正。

编 者

2010年1月

# 目 录

绪论 .....	1	2.4.1 金属型设计实例 .....	35
0.1 模具工业的地位与发展 .....	1	2.4.2 金属型铸造工艺 CAD/CAE 实例 .....	36
0.2 金属液态成型模具的特点与发展趋势 .....	1	思考题 .....	38
0.2.1 金属液态成型模具的特点 .....	2	<b>第3章 压力铸造概述</b> .....	39
0.2.2 我国金属液态成型模具的发展 .....	2	3.1 压铸的基本概念 .....	39
<b>第1章 金属型铸造工艺</b> .....	5	3.1.1 压铸的工艺流程 .....	39
1.1 概述 .....	5	3.1.2 压铸的特点 .....	39
1.1.1 工艺过程 .....	5	3.2 压铸的应用 .....	40
1.1.2 工艺特点 .....	6	3.3 压铸的发展 .....	41
1.1.3 应用范围 .....	6	3.3.1 国外压铸的发展 .....	41
1.2 金属型铸件成型特点 .....	6	3.3.2 国内压铸的发展 .....	42
1.2.1 铸件凝固过程中热交换的特点 .....	6	思考题 .....	42
1.2.2 型腔内气体对填充过程的影响 .....	7	<b>第4章 压铸工艺</b> .....	43
1.2.3 金属型铸件收缩的特点 .....	8	4.1 金属液填充铸型的特点 .....	43
1.3 金属型铸造工艺设计 .....	9	4.1.1 喷射填充理论 .....	43
1.3.1 零件结构的工艺性分析 .....	9	4.1.2 全壁厚填充理论 .....	44
1.3.2 浇注系统的设计 .....	10	4.1.3 三阶段填充理论 .....	44
1.3.3 冒口的设计 .....	14	4.1.4 总结 .....	45
1.3.4 金属型涂料 .....	16	4.2 压铸工艺参数 .....	46
思考题 .....	18	4.2.1 压铸压力 .....	46
<b>第2章 金属型设计</b> .....	19	4.2.2 压铸速度 .....	47
2.1 金属型的结构形式 .....	19	4.2.3 温度 .....	49
2.1.1 金属型的组成 .....	19	4.2.4 时间 .....	51
2.1.2 金属型的结构形式 .....	19	4.3 压铸用涂料 .....	52
2.2 金属型的结构设计 .....	21	4.3.1 压铸涂料的作用 .....	52
2.2.1 金属型分型面、型腔和型壁厚度 的设计 .....	21	4.3.2 对涂料的要求 .....	52
2.2.2 型芯的设计 .....	24	4.3.3 压铸涂料的种类及使用 .....	53
2.2.3 排气系统的设计 .....	27	4.4 压铸件的后处理 .....	54
2.2.4 定位装置的设计 .....	28	4.4.1 压铸件的清理 .....	54
2.2.5 锁紧机构的设计 .....	29	4.4.2 压铸件的浸渗处理、整形和 修补 .....	54
2.2.6 顶出机构的设计 .....	31	4.4.3 压铸件的热处理、表面处理 .....	55
2.2.7 加热和冷却装置的设计 .....	32	4.5 压铸新工艺 .....	56
2.2.8 金属型的材料 .....	32	4.5.1 半固态压铸 .....	56
2.3 金属型铸造机 .....	33	4.5.2 真空压铸 .....	62
2.3.1 类型 .....	33	4.5.3 充氧压铸 .....	64
2.3.2 金属型铸造机的选用 .....	34	4.5.4 精速密压铸 .....	66
2.4 金属型设计实例分析 .....	35		

4.5.5 黑色金属压铸	67	7.2.2 排气槽设计	115
思考题	68	思考题	118
<b>第5章 压铸件的工艺分析</b>	69	<b>第8章 压铸模结构设计</b>	119
5.1 压铸件结构设计	69	8.1 压铸模基本结构	119
5.1.1 压铸工艺对压铸件结构的要求	69	8.2 成型零件设计	121
5.1.2 压铸件基本结构的设计	72	8.2.1 成型零件的结构设计	121
5.1.3 压铸件的精度、表面粗糙度及加工余量	75	8.2.2 成型零件成型尺寸计算	131
5.2 分型面设计	77	8.3 压铸模结构零件的设计	135
5.2.1 分型面的类型	77	8.3.1 支承与固定零件的设计	135
5.2.2 分型面的选择	78	8.3.2 导向零件设计	138
5.3 常用压铸合金	82	8.3.3 推出机构的设计	140
5.3.1 对压铸合金的要求	82	8.4 抽芯机构设计	152
5.3.2 压铸合金分类及主要性质	82	8.4.1 常用抽芯机构的形式及特点	152
思考题	87	8.4.2 抽芯力和抽芯距离	152
<b>第6章 压铸机</b>	88	8.4.3 斜销抽芯机构	154
6.1 压铸机的种类和应用特点	88	8.4.4 弯销抽芯机构	160
6.1.1 压铸机的分类	88	8.4.5 斜滑块抽芯机构	163
6.1.2 压铸机的压铸过程及特点	88	8.4.6 齿轮齿条抽芯机构	166
6.1.3 国产压铸机代号和压铸机参数	91	8.4.7 液压抽芯机构	168
6.2 压铸机的基本结构	92	8.5 加热与冷却系统的设计	170
6.2.1 合模机构	92	8.5.1 加热与冷却系统的作用	170
6.2.2 压射机构	94	8.5.2 加热系统设计	170
6.3 压铸机的选用	95	8.5.3 冷却系统设计	171
6.3.1 确定压铸机的锁模力	95	思考题	173
6.3.2 压室容量的估算	97	<b>第9章 压铸模材料的选择及技术</b>	
6.3.3 开模行程的核算	97	要求	175
思考题	98	9.1 压铸模的材料选择	175
<b>第7章 浇注系统及排溢系统设计</b>	99	9.2 压铸模的技术要求	176
7.1 浇注系统设计	99	思考题	178
7.1.1 浇注系统的结构及分类	99	<b>第10章 压铸模结构图例</b>	179
7.1.2 浇注系统各组成部分的设计	102	10.1 压铸模设计程序	179
7.1.3 典型压铸件浇注系统分析	110	10.2 压铸模结构图例	180
7.2 溢流与排气系统设计	112	<b>参考文献</b>	191
7.2.1 溢流槽设计	113		



# 绪 论

模具是指利用其本身特定形状去成型具有一定形状和尺寸的制品的工具。模具生产制件所具备的高精度、高复杂程度、高一致性、高生产率和低消耗，是其他加工制造方法所不能比拟的。

## 0.1 模具工业的地位与发展

在现代化工业生产中，60%~90%的工业产品需使用模具加工，模具工业已成为工业发展的基础，许多新产品的开发和生产在很大程度上都依赖于模具生产，特别是汽车、轻工、电子、航空等行业尤为突出。而作为制造业基础的机械行业，据国际生产技术协会预测，21世纪，机械制造工业零件粗加工的75%和精加工的50%都将依靠模具完成。因此，模具工业已成为国民经济的重要基础工业。

模具工业发展的关键是模具技术的进步，模具技术又涉及多学科的交叉。模具作为一种高附加值产品和技术密集型产品，其技术水平的高低已成为衡量一个国家制造业水平的重要标志之一。世界上许多国家，特别是一些工业发达国家，都十分重视模具技术的开发，大力发展模具工业，积极采用先进技术和设备，提高模具制造水平，已取得了显著的经济效益。美国是世界超级经济大国，也是世界模具工业的领先国家，早在20世纪80年代末，美国模具行业有12554个企业，从业人员172800人，模具总产值达64.47亿美元。日本模具工业是从1957年开始发展起来的，当年模具总产值仅有106亿日元，到1998年总产值已超过4.88万亿日元，在短短的40余年内增加了460多倍，这也是日本经济能飞速发展并在国际市场上占有一定优势的重要原因之一。

纵观世界经济的发展，经济发展较快时，产品畅销，自然要求模具能跟上；而经济发展滞缓时期，产品不畅销，企业必然想方设法开发新产品，这同样会给模具带来强劲需求。因此，国内外行家都称现代模具工业是不衰的工业。

目前，世界模具市场仍供不应求。近几年，世界模具市场总量一直为600亿~650亿美元左右，其中美国、日本、法国、瑞士等国一年出口模具约占本国模具总产量的1/3。可见研究和发展模具技术，提高模具技术水平，对于促进国民经济的发展具有特别重要的意义。美国工业界认为模具是美国工业的基石；在日本模具被誉为“进入富裕社会的原动力”；在德国则冠之为“金属加工业中的帝王”；罗马尼亚视“模具就是黄金”。可以断言，随着工业生产的迅速发展，模具工业在国民经济发展过程中将发挥越来越重要的作用。

## 0.2 金属液态成型模具的特点与发展趋势

随着经济的高速发展，金属液态成型模具工业得到了迅速发展，在模具工业中占据了越

来越重要的地位。特别是汽车工业的迅速发展，铸件在制造业中所占比例有快速增长的趋势，目前中国铸造市场呈现良好趋势，2005年全国铸件总量达到约1800万吨，球墨铸件在总产量中的比重提高到20%~25%；随着轿车产量的增加，有色铸造件产量接近200万吨，今后国际市场需求也将保持高速增长态势，全球对中国铸件的年需求量约为4000万吨左右，其中球墨铸铁和有色合金铸件需求量增长迅速，金属液态成型模具产值将超过百亿元人民币。

### 0.2.1 金属液态成型模具的特点

(1) 形状更为复杂。

(2) 模具的种类多。砂型模具（模样/芯盒）、压铸模、消失模发泡模具、熔模铸造压型、金属型铸造模具、低压铸造模具等。

(3) 模具的数量众多。

(4) 模具材料及制造工艺种类较多。

模具材料主要有木模、泡沫、塑料、铝合金、铸铁、模具钢等。

制造工艺种类包括黏土砂、树脂自硬砂、热芯盒、冷芯盒、壳型、熔模精铸、金属型、压铸、低压铸造等。

(5) 模具的其他特点。圆角、拔模斜度、收缩率复杂。

### 0.2.2 我国金属液态成型模具的发展

中国虽然是铸造大国，但远非铸造强国，中国铸造工艺水平、铸件质量、技术经济指标等较先进国家还有很大差距。铸造工艺方法以砂型铸造为主，其中手工、半机械化造型仍占很大比例，但近年来中国压铸工业发展迅速，每年保持7%~10%的增长速度。中国的汽车工业也正在成长过程中，为了减轻汽车重量，轿车的铝、镁轻金属用量将进一步增长，这就对压铸件提出了更高的质量要求。中国铸造工艺装备同先进国家相比还有一定差距。20世纪90年代以前，铸造模具的设计使用计算机的很少，制造也主要以普通万能设备为主。进入90年代，巨大的市场需求，特别是汽车、摩托车业的快速发展，极大地推进了中国铸造模具业的发展。同时随着合资和独资企业的介入，国外先进的模具设备和制造技术的引进，促使国产铸造模具设计和制造技术水平逐步提高，一些企业已经具备设计和制造大型精密模具的能力，如一汽铸造有限公司铸造模具厂设计制造的一套3400t压铸机用的压铸模具，总重达33.5t，是目前国产压铸模中最大的模具。20世纪90年代以来，铸造模具业在设计和制造方面的主要变化有以下几点。

(1) 模具企业的生产技术水平提高，高新技术在模具的设计和制造中的应用，已成为快速制造优质模具的有力保证。CAD/CAM/CAE的应用，显示了用信息技术带动和提升模具工业的优越性，CAD/CAM/CAE已成为模具企业普遍应用的技术。CAD/CAM/CAE一体化技术已在铸造模具业中得到广泛使用，目前二维设计使用的软件主要是AutoCAD，三维设计使用的软件比较多，主要有Pro/E、UG、Cimatron等。

实现模具CAD/CAE/CAM一体化，其基本的工作步骤如下所述。

① CAD过程设计产品结构，产生三维产品模型为CAE、CAM过程准备设计数据。具体来讲就是在三维CAD软件中进行零件的三维建模，然后利用二次开发的程序进行三维铸造工艺设计，生成浇冒口系统、冷铁和砂芯等三维实体。

② CAE 模拟验证所设计的铸造工艺的合理性，为修改和优化工艺提供科学依据。具体内容是利用标准化的数据接口（比如生成 STEP、STL、IGES 文件），输入到铸造 CAE 软件进行流动场、温度场、应力场等计算分析，预测铸造缺陷。然后利用 CAE 的反馈信息优化铸造工艺。可能会经过几个“修改工艺-模拟-修改工艺”的反复过程，直到得出一个合适的铸造工艺。

③ CAM 铸模加工。根据 CAD 过程准备的三维数据模型，生成铸造模具加工工艺规程，得到 NC 编程所需的数据，然后将加工程序直接送入 NC 加工。

④ 利用制造出的模具，进行实际铸件生产。

从以上步骤可见，在设计、模拟与加工之间无需通过图纸来传递设计意图和加工信息，整个 CAD/CAE/CAM 过程都基于 CAD 过程产生的三维数据模型。以往的二维设计中许多时间是浪费在图纸绘制和对错误的修改上，图纸的更改常常是顾此失彼。而三维模型能自动生成二维图形，三维模型任意部位的修改都能及时地反映在二维图纸上。完全基于三维模型，可以消除二维图纸传递几何信息的不准确性，使最终生成的铸件和设计者的意图保持一致。

在利用 CAD/CAE/CAM 一体化系统制造铸模过程中，三维造型所花费的时间和精力最大，通常占整个工作量的  $1/3 \sim 1/2$ 。减少三维造型的工作量是软件开发人员的责任。根据铸造工艺的形状特点去构造专门化的三维造型算法，基于三维 CAD 软件平台进行三维铸造工艺二次开发是将三维造型的工作量降到最低的有效途径。基于通用三维 CAD 软件平台进行二次开发，建立三维铸造工艺 CAD 系统，以得到基于铸造工艺基本特征的统一的三维数据模型，从而实现 CAD/CAE/CAM 之间信息共享。三维铸造工艺 CAD 是实现 CAD/CAE/CAM 一体化的必由之路。

(2) 铣削加工是型腔模具加工的重要手段。高速加工（High Speed Machining，简称 HSM）是以高切削速度、高进给速度和高加工质量为主要特征的加工技术，具有工件温升低、切削力小、加工平稳、加工质量好、加工效率高（为普通铣削加工的  $5 \sim 10$  倍）及可加工硬材料（可达 60HRC）等诸多优点，因而在模具加工中日益受到重视。高速加工技术引入模具工业，提高了模具精度，大大缩短了模具制造时间。研究表明，对于一般复杂程度的模具，HSM 加工时间可减少 30% 以上。

目前，模具企业为了缩短制模周期、提高市场竞争力，采用高速切削加工技术越来越多。HSM 一般主要用于大、中型模具加工，如汽车覆盖件模具、压铸模、大型塑料模具等曲面加工，其曲面加工精度可达  $0.01\text{mm}$ 。在生产中采用数控高速铣削技术，可大大缩短制模时间。经高速铣削精加工后的模具型面，仅需略加抛光便可使用，节省了大量修磨、抛光时间。增加数控高速铣床，是模具企业设备投资的重点之一。

(3) 精密、复杂、大型模具的发展，对检测设备的要求越来越高。现在精密模具的精度已达  $2 \sim 3\mu\text{m}$ ，铸造模具的精度要求也达到  $10 \sim 20\mu\text{m}$ 。目前国内厂家使用较多的检测设备有意大利、美国、德国等具有数字化扫描功能的三坐标测量机。如一汽铸造有限公司铸造模具设备厂拥有德国生产的  $1600\text{mm} \times 1200\text{mm}$  三坐标测量机，具有数字化扫描功能，可以实现从测量实物到建立数学模型，输出 NC 代码，最终实现模具制造的全过程，成功地实现逆向工程技术在模具制造中的开发和应用。这方面的设备还包括：英国雷尼绍公司的高速扫描仪，该扫描仪可实现激光测头和接触式测头优势互补，激光扫描精度为  $0.05\text{mm}$ ，接触式测头扫描精度达  $0.02\text{mm}$ 。利用逆向工程制作模具，具有制作周期短、精度高、一致性好及价

格低等许多优点。

(4) 快速原型制造铸造模具已进入实用阶段，LOM、SLS 等方法应用的可靠性和技术指标已经达到国外同类产品水平。

(5) 模具毛坯快速制造技术。主要有干砂实型铸造、负压实型铸造、树脂砂实型铸造等。

(6) 发展和深化研究压铸的新工艺。压铸件难以避免的缺陷是内部气孔和疏松，产生的原因在于充型时，型腔内的气体没有被完全排出。且在铸件凝固收缩时也得不到补缩，这对压铸件的性能和扩大其应用范围都有不利的影响。为了解决这个问题，近年来国内外采用了一些新的工艺措施，如半固态压铸、真空压铸和充氧压铸等。

(7) 用户要求模具交付期越来越短、模具价格越来越低。为了保证按期交货，有效地管理和控制成本已成为模具企业生存和发展的主要因素。采用先进的管理信息系统，实现集成化管理，对于模具企业，特别是规模较大的模具企业，已是一项亟待解决的任务。如一汽铸造模具厂基本上实现了计算机网络管理，从生产计划、工艺制定，到质检、库存、统计、核算等，普遍使用了计算机管理系统，厂内各部门可通过计算机网络共享信息。利用信息技术等高新技术改造模具企业的传统生产已成为必然。

# 第 1 章 金属型铸造工艺

## 1.1 概 述

### 1.1.1 工艺过程

金属型铸造是用金属材料制造铸型，在重力作用将液体金属浇入金属铸型中，以获得铸件的一种铸造方法。由于金属铸型可以反复使用很多次（几百到几十万次），故有永久型铸造之称。金属型铸造工艺流程如图 1-1 所示。

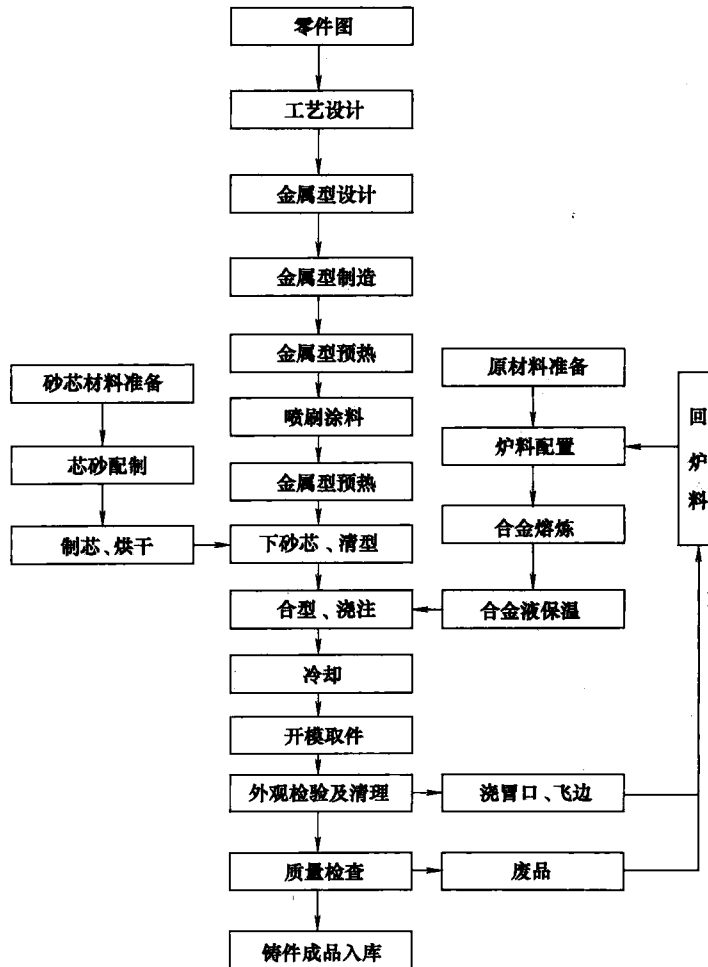


图 1-1 金属型铸造工艺流程

### 1.1.2 工艺特点

与砂型铸造相比，金属型铸造的优点可归纳如下。

(1) 金属型的热导率和热容量大，铸件的冷却速度快于砂型铸造，所得铸件组织致密，力学性能优于砂型铸造。

(2) 能获得较高尺寸精度 CT6~CT9 级和较低表面粗糙度  $R_a=6.3\sim 12.5\mu\text{m}$  的铸件，并且质量稳定性好，废品率低，工艺出品率高。

(3) 不用砂或少用砂，简化了工序，易于实现机械化、自动化，生产效率高，改善了劳动条件。

同时，金属型铸造也具有如下的缺点。

(1) 金属型无退让性，铸件冷却速度大，容易产生浇不足、冷隔、裂纹和变形等缺陷。

(2) 金属型无透气性，必须采取措施导出型腔中的气体。

(3) 成本高，不宜铸造结构复杂、薄壁或大型铸件。

(4) 用于铸钢、铸铁等熔点较高的合金时，铸型寿命短；灰铸铁件铸造时还易得白口组织。

### 1.1.3 应用范围

我国是世界上应用金属型最早的国家。早在春秋战国时代，人们已熟练地用白口铁铸型（古时称为铁范）铸造各种农具、兵器和日用品，如铁犁、铁锄、铁镰和铁斧等。在汉代，制造犁的铁范长可达 0.5m，还用铁范生产出可锻铁件。如今，金属型铸造已被广泛地用于生产铝合金、镁合金、铜合金、灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁件，有时也用于生产碳钢件。在永久型铸造中，金属型铸造是应用得最广泛的方法。

## 1.2 金属型铸件成型特点

与砂型铸造比较，在金属型铸造时，铸件的成型特点主要表现在以下 3 个方面：金属型导热性比砂型大、无透气性和无退让性。

### 1.2.1 铸件凝固过程中热交换的特点

当液体金属进入铸型后，随即形成一个铸件-中间层-铸型的传热系统，如图 1-2 所示。金属型铸造的中间层由铸型内表面上的涂料层和因铸件表面冷却收缩、铸型膨胀以及由涂料析出、铸型表面吸附气体遇热膨胀而形成的气体层所组成。中间层中的涂料材料和气体的热导率远比浇注的金属和铸型的金属小得多。因此，金属型铸造时的传热系统特点可用图 1-2 上的系统温度分布曲线表示。

金属型铸造的传热过程主要取决于中间层的传热过程。中间层的比热流可用式 (1-1) 表示：

$$q = \frac{\lambda_3}{x_3} (T_1 - T_2) t \quad (1-1)$$

式中  $q$ ——比热流；

$\lambda_3$ ——中间层热阻；

$x_3$ ——中间层厚度；

$T_1$ ——铸件表面温度；  
 $T_2$ ——铸型内表面温度；  
 $t$ ——时间。

由此可见，通过调节中间层的热阻  $\lambda_3$ （如改变涂料层的厚度或材料），可以控制金属型中铸件的凝固、冷却速度。

金属型对铸件凝固、冷却速度的影响主要与金属型材料的热物理性能（如热导率  $\lambda_2$ 、比热容  $C_2$ 、热扩散系数  $\alpha = \lambda_2 / \rho C_2$ ）、金属型壁厚和金属型的冷却条件有关。

铸件在凝固过程中，通过中间层将热量传至铸型，铸型在吸收热量的同时，通过型壁将热量传至外表面，并向周围介质散发。在铸型自然冷却的情况下，一般铸型吸收的热量往往大于铸型向周围介质散失的热量，因此在生产中连续浇注铸件时，铸型的温度会不断升高。对金属型外表面采取强制冷却如风冷、水冷却等，可加强金属型的散热效果，提高铸件的凝固速度。另外金属型材料的热扩散系数越大，则  $T_2$  值越小，通过中间层的传热速度也大，铸件的凝固速度越快。纯铜的热扩散系数比铸铁的大很多倍，所以铸铁金属型壁的局部如镶以铜块作为“外冷铁”，可以提高该处铸件的冷却速度。

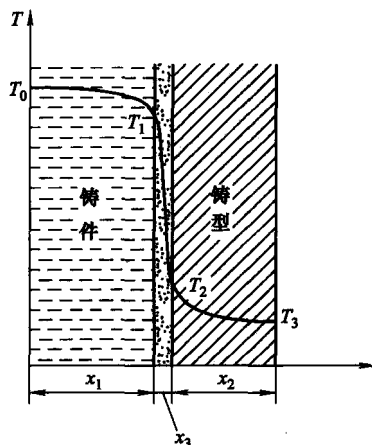


图 1-2 金属型铸造时传热系统的温度分布

对金属型外表面采取强制冷却如风冷、水冷却等，可加强金属型的散热效果，提高铸件的凝固速度。另外金属型材料的热扩散系数越大，则  $T_2$  值越小，通过中间层的传热速度也大，铸件的凝固速度越快。纯铜的热扩散系数比铸铁的大很多倍，所以铸铁金属型壁的局部如镶以铜块作为“外冷铁”，可以提高该处铸件的冷却速度。

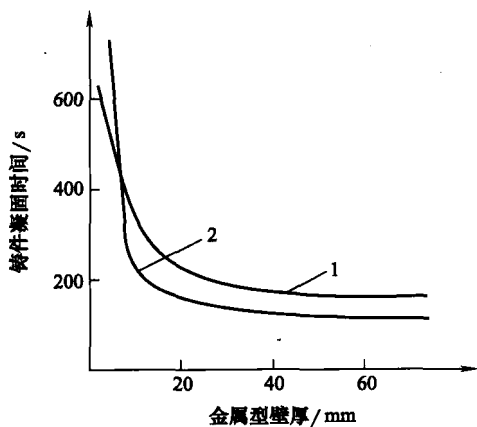


图 1-3 铸件凝固时间与金属型壁厚的关系  
 1—平板铸件 (300mm×300mm×30mm)；  
 2—圆柱形铸件 (φ68mm×250mm)

一般来说，增加金属型壁的厚度，可提高其蓄热能力，降低金属型内表面的温度，加速通过中间层的传热能力，提高铸件的凝固冷却速度。但是由于铸型壁内温度由内表面起始逐步下降是越来越平缓的，当壁厚增加到一定程度后，对铸件凝固速度的影响逐渐减弱。图 1-3 示出了铸件凝固时间与金属型壁厚的关系，在此图的曲线上可见当铸型壁厚超过约 20mm 后，铸件的凝固时间变化很小。

综上所述，可见在金属型铸造中，铸型材料的导热性对于铸件-中间层-铸型系统的热交换过程起着主导的作用，它对金属液的型腔填充和铸件成型过程有很大的影响。在一定的条件下，可通过相应的工艺措施改变金属型本身的导热作用，获得优质的铸件。

### 1.2.2 型腔内气体对填充过程的影响

在金属型铸造中，液体金属填充铸型需挤走型腔中原有的气体和由于涂料、砂芯和铸型表面受热作用而析出的气体，由于金属型本身没有透气性，很易被挤赶入铸型内凹处的死角或两股金属液流的汇合处，形成气阻，使液体金属不能充满该处而使铸件形成浇不足、轮廓

不清晰和冷隔的缺陷（如图 1-4 所示）。另一种可能是处于这些部位排不走的气体受热膨胀，形成很大的反压力，把金属液反推出去，严重时甚至会引起金属液返流、自浇口涌出的事故。

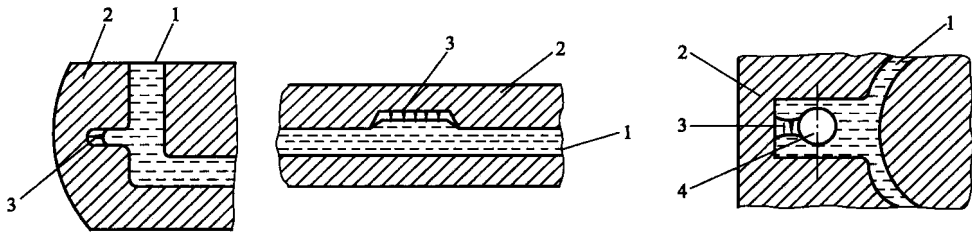


图 1-4 金属型腔内局部形成气阻示意

1—液态金属；2—金属型壁；3—气阻；4—金属型芯

此外，经长期使用的金属型表面会出现许多细微裂纹，如果涂料层太薄，在浇注后被液态金属封闭了出口的裂纹中气体会受热膨胀，产生很大的压力，也会通过涂料层钻入已失去流动性的糊状铸件金属中，会使铸件表面出现密集或分散的针孔。

因此，设计金属型时，必须注意金属型排气系统的建立，如在金属型上部开设出气冒口；在难以排气部位安放排气塞；在分型面上开排气槽。考虑金属型铸造工艺时，必须注意型腔气体的引出。如利用砂芯和较厚的涂料层排气。还要尽可能消除产生气体的根源，如采用发气性小的涂料原材料，金属型必须预热至 100℃ 以上才浇注，涂料层应充分干燥，及时去除型腔表面的铁锈和微裂纹等。

### 1.2.3 金属型铸件收缩的特点

在金属型铸造中，金属型芯及型壁凸起部分没有退让性。因此，当金属凝固至固相枝晶形成连续骨架时，铸件上某些部位产生的线收缩便会受到金属型和金属型芯的阻碍，在此情况下，铸件上收缩受阻的部位内出现拉应力，不能收缩的铸件部位呈现拉伸变形。其变形值  $\epsilon$  大小可用式 (1-2) 粗略估算。

$$\epsilon = \alpha_1 (T_{\text{缩}} - T_1) \quad (1-2)$$

式中  $\alpha_1$ ——合金在  $T_{\text{缩}} \sim T_1$  温度范围内的线收缩率；

$T_{\text{缩}}$ ——合金开始出现线收缩时的温度；

$T_1$ ——凝固至某一时刻铸件的温度。

当  $\epsilon$  值大于铸件本身在温度  $T_1$  时的可允许变形率时，在铸件上就可出现热裂纹。若铸件收缩受阻的部位有热节存在，则铸件的受拉应变值会向热节部位集中，促使铸件更易形成热裂。

铸件金属随着温度的下降，其弹性模量值  $E$  迅速增大。收缩受阻的铸件部位一方面由于温度下降，其拉应变不断增大，另一方面  $E$  值的增大，会促使铸件中拉应力迅速上升。当拉应力值超过铸件材料的抗拉强度时，铸件上就会出现冷裂纹。更多的情况是铸件中拉应力的增大，使铸件与金属型的接触面产生大的压力，当需将铸件自型中取出或将金属型芯自铸件中取出时，大的压力所引起的接触面上的大摩擦力将会阻碍铸件自型中取出或从铸件中取出金属型芯，使生产过程不能顺利进行，或使铸件和金属型受损。

考虑到金属型和金属型芯无退让性可能引起的后果，在金属型铸造时特别注意尽可能早地自型中取出铸件和自铸件中取出金属型芯；金属型设计时需考虑设置能简易、平稳取出铸



件和型芯的机构；还可采取一些工艺措施，如对严重阻碍铸件内孔收缩的部位改用砂芯、增大金属型铸件的铸造斜度、增加涂料层的厚度、在涂料中加入可减少摩擦系数的成分等。

### 1.3 金属型铸造工艺设计

#### 1.3.1 零件结构的工艺性分析

零件结构铸造工艺性分析的目的，是审查其结构是否适合于金属型铸造。在生产中遇到的困难或发生的一些问题，不少是由于零件的结构不符合金属型铸造的特殊要求所致，这就是零件的铸造工艺性不良。下面就金属型铸造轻合金件时的工艺要求加以叙述。

(1) 零件的结构不应太复杂，应具有规则的几何外形，避免复杂的曲线形状，还应尽量避免有阻碍开型和收缩的凹凸块 [如图 1-5 (a)]，这就是要使铸件能从具有简单分型面的铸型中取出。

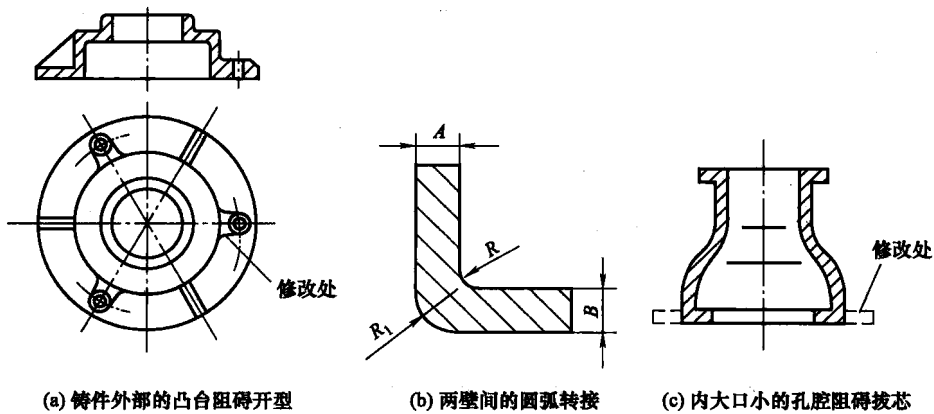


图 1-5 铸件结构的工艺性分析

(2) 零件的壁厚应力求均匀，避免断面由薄至厚处的急剧变化，以免因温差过大引起铸件局部缩松或变形。零件上两壁相交或断面变化处都应作成圆角。铝合金铸件的最小圆角半径为 1mm，镁合金为 2mm。对较大的铸件、较厚的断面、或裂纹倾向大的合金，圆角半径应更大些，这样可以减少应力集中和裂纹倾向，还可使金属液流动较平稳。

(3) 零件上不应有内部大而出口小的孔腔，否则会使金属型芯复杂化，甚至要采用砂芯。能铸出的最小孔有所限制 (见表 1-1)。一般情况下，铝、镁合金铸件最常铸出的最小孔径是 10mm。比这更小的孔，除非特殊需要，一般都不铸出。

表 1-1 金属型铸件内孔的最小孔径

单位: mm

铸造合金	孔的最小直径 $d$	相应的最大孔深	
		不通孔	通孔
镁合金	6~8	9~12	12~20
铝合金	8~10	12~15	15~25
铜合金	10~12	10~15	15~20

(4) 为了防止因浇不足而产生废品，铸件的最小壁厚应有一定的限制。各种常用合金的最小壁厚见表 1-2 所列，铝、镁合金铸件最适应的最小壁厚是 4~7mm。