

# 铸造手册

特种铸造



中国机械工程学会铸造分会 组编  
姜不居 主编

第3版



# 铸造手册

## 第6卷

# 特种铸造

## 第3版

中国机械工程学会铸造分会 组 编  
姜不居 主 编



机械工业出版社

《铸造手册》第3版共分铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺和特种铸造6卷出版。本书为第6卷《特种铸造》。第3版对其第2版作了全面修订。不仅增添了若干新的特种铸造方法,而且着重介绍各种方法的最新技术、新工艺和新设备,并着重反映环保节能技术及其发展趋势,完善和更新了许多技术标准与工艺规范。本卷共有绪论,熔模铸造,石膏型铸造,陶瓷型铸造,消失模与V法铸造,金属型铸造,压力铸造、低压铸造、差压铸造、真空铸造和调压铸造,挤压铸造,离心铸造,连续铸造,快速铸造及铸造过程数值模拟等12章15种铸造方法的原理,工艺、工装设计,原辅助材料规格与技术条件及应用,设备规格及技术参数,质量控制及缺陷分析等。全书内容丰富、全面、新颖、实用。

本书主要供从事铸造生产的技术人员及高级技工使用,也可供从事材料研究、机械制造的工程技术人员和高等学校相关专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

铸造手册.第6卷,特种铸造/姜不居主编,中国机械工程学会铸造分会组编.—3版.—北京:机械工业出版社,2010.11(2014.1重印)  
ISBN 978-7-111-32294-8

I.①铸… II.①姜…②中… III.①铸造-手册 IV.①TG2-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第204425号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:余茂祚 责任编辑:余茂祚

版式设计:霍永明 责任校对:姚培新 李锦莉

封面设计:姚毅 责任印制:张楠

北京京丰印刷厂印刷

2014年1月第3版·第2次印刷

184mm×260mm·46.25印张·3插页·1521千字

3 001—5 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-32294-8

定价:149.00元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

## 铸造手册第3版编委会

顾问 周尧和 柳百成  
编委会主任 李新亚 李荣德  
副主任 娄延春 李奇  
委员 张伯明 娄延春 戴圣龙  
黄天佑 李新亚 姜不居  
李超群 苏仕方 余茂祚

## 特种铸造卷第3版编委会

主编 姜不居  
副主编 曹腊梅 吕志刚  
编委 (按姓氏笔画为序)  
叶升平 齐丕骧 甘雨  
刘国利 闫双景 陈金城  
郝启堂 胡家骢 崔旭龙  
翟春泉  
总策划 余茂祚



## 铸造手册第2版编委会

顾 问 陶令桓 周尧和 柳百成

主任委员 赵立信 李新亚

副主任委员 房贵如

委 员 (按姓氏笔画为序)

王君卿 刘兆邦 刘伯操

张伯明 余茂祚 (常务)

范英俊 钟雪友 姚正耀

黄天佑

## 特种铸造卷第2版编委会

主 编 范英俊

副 主 编 姜不居 甘智勇

编 委 陈金城 曹腊梅 郭士进

主 审 张伯明

总 策 划 余茂祚

## 第3版前言

建国以来,我国铸造行业获得很大发展,年产量超过3500万t,位居世界第一;从业人员超过300万人,是世界规模最大的铸造工作者队伍。为满足行业及广大铸造工作者的需要,机械工业出版社于1991年编辑出版了《铸造手册》,2002年出版了第2版,手册共6卷813万字。第2版手册自出版发行以来,先后分别重印4~6次,深受广大铸造工作者欢迎。两院院士、中国工程院副院长师昌绪教授,科学院院士、上海交通大学周尧和教授,科学院院士、机械科学研究院名誉院长雷天觉教授,工程院院士、中科院沈阳金属研究所胡壮麒教授,工程院院士、西北工业大学张立同教授,工程院院士、清华大学柳百成教授等许多著名专家、学者都曾对这套手册的出版给予了高度评价,认为手册内容丰富、数据可靠,具有科学性、先进性、实用性。这套手册的出版发行对跟踪世界先进技术,提高铸件质量,促进我国铸造技术进步起到了积极推进作用,在国内外产生较大影响,取得了显著的社会效益及经济效益。第1版手册1995年获机械工业出版社科技进步(暨优秀图书)一等奖,1996年获中国机械工程学会优秀工作成果奖,1998年获机械工业部科技进步二等奖。

第2版手册出版后的近8年来,科学技术迅猛发展,先进制造技术不断涌现,标准及工艺参数不断更新,特别是高新技术的引入,使铸造行业的产品及技术结构发生了很大变化,手册内容已不能适应当前生产实际及技术发展的需要。应广大读者要求,我们对手册进行了再次修订。第3版修订工作由中国机械工程学会铸造分会和机械工业出版社负责组织和协调。

修订后的手册基本保留了第2版风格,仍由铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺、特种铸造共6卷组成。第3版除对第2版已显陈旧落后的内容进行删改外,着重增加了近几年来国内外涌现出的新技术、新工艺、新材料、新设备的相关内容,并以最新的国内外技术标准替换已作废的旧标准,同时采用法定计量单位,修改内容累计达40%以上。第3版手册详细介绍了先进实用的铸造技术,数据翔实,图文并茂,基本反映了21世纪初的国内外铸造领域的技术现状及发展趋势。新版手册将以崭新的面貌为铸造工作者提供一套完整、先进、实用的技术工具书,对指导生产、推进21世纪我国铸造技术进步,使我国从铸造大国向铸造强国转变将发挥积极作用。

按GB/T 229—2007《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》规定,材料冲击吸收功用吸收能量 $KV$ 、 $KU$ 表示, $V$ 、 $U$ 分别代表试样缺口形状。但由于2007年后新制定的一些材料国家标准仍用过去的 $A_k$ 和 $a_k$ ,而且脆性材料的冲击试样往往不开缺口,故本手册在各章材料力学性能中仍用符号 $A_k$ 和 $a_k$ 表示。

第3版手册铸造的编写班子实力雄厚,共有来自工厂、研究院所及高等院校40多个单位的110名专家教授参加编写,而且有不少是新起之秀。各卷主编是:

第1卷铸铁 中国农业机械化科学研究院原副院长张伯明研究员。

第2卷铸钢 沈阳铸造研究所所长娄延春研究员。

第3卷铸造非铁合金 北京航空材料研究院院长戴圣龙研究员。

第4卷造型材料 清华大学黄天佑教授。

第5卷铸造工艺 机械研究院院长李新亚研究员。

第6卷特种铸造 清华大学姜不居教授。

本书为《铸造手册》的第6卷《特种铸造》，编写组织工作得到清华大学的大力支持，并在本书编委会的主持下，经过许多同志辛勤工作完成的。主编姜不居教授和副主编曹腊梅研究员、吕志刚副教授全面负责，会同编委完成各章的审定工作。本书共12章，各章的编写分工如下：

- 第1章 清华大学：姜不居教授、吕志刚副教授
- 第2章 北京航空材料研究院：曹腊梅研究员，清华大学：姜不居教授
- 第3章 清华大学：闫双景教授
- 第4章 清华大学：吕志刚副教授
- 第5章 华中科技大学材料学院：叶升平教授，中国机械工程学会铸造分会消失模与V法技术委员会：孙之娜高级工程师
- 第6章 北京航空材料研究院：刘国利高级工程师
- 第7章 上海交通大学：翟春泉教授，原国营706厂：陈金城研究员级高级工程师
- 第8章 西北工业大学：郝启堂教授、李新雷博士
- 第9章 中国兵器科学研究院宁波分院：齐丕骧研究员
- 第10章 中国农业机械化科学研究院：胡家骢研究员
- 第11章 西安理工大学：甘雨教授
- 第12章 清华大学：崔旭龙副教授

全书由主编姜不居与责任编辑余茂祚共同完成统稿工作。

本书在编写过程中得到很多单位大力支持，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，不周之处，在所难免，敬请读者指正。

中国机械工程学会铸造分会  
机械工业出版社

## 第2版前言

建国以来,我国铸造行业获得很大发展,年产量超过千万吨,位居世界第二;从业人员超过百万,是世界规模最大的铸造工作者队伍。为满足行业及广大铸造工作者的需要,机械工业出版社于1991年编辑出版了《铸造手册》,共6卷610万字。第1版手册自出版发行以来,先后分别重印3~6次,深受广大铸造工作者欢迎。两院院士、中国工程院副院长师昌绪教授,科学院院士、上海交通大学周尧和教授,科学院院士、机械科学研究院名誉院长雷天觉教授,工程院院士、中科院沈阳金属研究所胡壮麒教授,工程院院士、西北工业大学张立同教授等许多著名专家学者都对这套手册的出版给予了高度评价,认为手册内容丰富、数据可靠,具有科学性、先进性、实用性。这套手册的出版发行对跟踪世界先进技术、提高铸件质量、促进我国铸造技术进步起到了积极推进作用,在国内外产生较大影响,取得了显著的经济效益及社会效益。手册1995年获机械工业出版社科技进步(暨优秀图书)一等奖,1996年获中国机械工程学会优秀工作成果奖,1998年获机械工业部科技进步二等奖。

第1版手册出版后的近十年来,科学技术迅猛发展,先进制造技术不断涌现,标准及工艺参数不断更新,特别是高新技术的引入,使铸造行业的产品及技术结构发生了很大变化,手册内容已不能适应当前生产实际及技术发展的需要。应广大读者要求,我们对手册进行了修订。第2版修订工作由中国机械工程学会铸造分会和机械工业出版社负责组织和协调。

修订后的手册基本保留了第1版风格,仍由铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺、特种铸造共6卷组成。为我国加入WTO,与世界铸造技术接轨,并全面反映当代铸造技术水平,第2版除对第1版已显陈旧的内容进行删改外,着重增加了近十几年来国内外涌现出的新技术、新工艺、新材料、新设备的相关内容,并以最新的国内外技术标准替代已作废的旧标准,同时采用新的计量单位,修改内容累计达40%以上。第2版手册详细介绍了先进实用的铸造技术,数据翔实,图文并茂,基本反映了20世纪90年代末至21世纪初国内外铸造领域的技术现状及发展趋势。新版手册将以崭新的面貌为铸造工作者提供一套完整、先进、实用的技术工具书,对指导生产、推进21世纪我国铸造技术进步将发挥积极作用。

第2版手册的编写班子实力雄厚,共有来自工厂、研究院所及高等院校40多个单位的109名专家教授参加编写。各卷主编是:

- 第1卷 铸铁 中国农业机械化科学研究院副院长 张伯明研究员。
- 第2卷 铸钢 中国第二重型机械集团董事长 姚正耀研究员级高级工程师。
- 第3卷 铸造非铁合金 北京航空材料研究院院长 刘伯操研究员。
- 第4卷 造型材料 清华大学 黄天佑教授。
- 第5卷 铸造工艺 沈阳铸造研究所总工程师 王君卿研究员。
- 第6卷 特种铸造 中国新兴铸管集团公司董事长 范英俊研究员级高级工程师。

本书为《铸造手册》的第6卷特种铸造,编写组织工作得到中国新兴铸管集团公司的大力支持,并在该卷编委会的主持下,经过许多同志辛勤劳动完成的。在主编范英俊研究员级高级工程师全面负责的基础上,与主审张伯明研究员、副主编甘智勇研究员级高级工程师及各编委共同进行各章的审定工作。各章编写分工如下:

- 第1章 清华大学:姜不居教授。



第2章 北京航空材料研究院：曹腊梅研究员、黎典研究员、陈荣章研究员。

第3章 清华大学：姜不居教授。

第4章 北京航空材料研究院：刘国利高级工程师。

第5章 国营706厂：陈金城研究员级高级工程师，北京宇航伟业铸件有限责任公司：岳崇焕高级工程师。

第6章 北京内燃机集团公司：甘智勇研究员级高级工程师。

第7章 中国新兴铸管集团公司：范英俊研究员级高级工程师。

第8章 中国新兴铸管集团公司：范英俊研究员级高级工程师。

第9章 清华大学：闫双景副教授。

第10章 中国兵器工业总公司第五二研究所宁波分所：齐丕骧研究员。

第11章 西安理工大学：甘雨教授。

本书统稿工作由主编范英俊研究员级高级工程师、主审张伯明研究员与责任编辑余茂祚研究员级高级工程师共同完成。

本书在编写过程中得到各编写人员所在单位大力支持，北京航空航天大学陈冰教授对第2章内容提出了一些宝贵意见，中国农业机械化科学研究院胡家骢研究员对第7章的10~13节进行了修改，新兴铸管集团公司李兴工程师及张永杰工程师协助做了很多具体工作，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，不周之处，在所难免，敬请读者指正。

中国机械工程学会铸造分会编译出版工作委员会

（此处为模糊的出版委员会成员名单及说明，文字难以辨认）

# 本书所用主要符号表

(续)

符 号	名 称	单 位
$d, D (\phi)$	直 径	mm、cm、m
$l, L$	长 度	
$h$	高 度	
$\delta, d$	厚 度	
$R, r$	半 径	
$b$	宽 度	
$h_p$	压力头	
$A$	面 积	
$A_s$	直浇道面积	
$A_g$	内浇道面积	
$A_{\text{ru}}$	横浇道面积	
$A_b$	浇口杯面积	
$A_J$	集渣包口面积	
$A_z$	阻力面积	mm <sup>3</sup> 、cm <sup>3</sup> 、m <sup>3</sup>
$V$	体 积	
$t$	时 间	
$m$	质 量	g、kg
$W$	铸件重量	
$G$	重量、重力系数	
$F$	力	N
$P$	功 率	W、kW
$T, M$	转 矩	N·m
$p$	压 力	Pa、kPa、MPa 或 N/mm <sup>2</sup>
$R_m$	抗拉强度	
$\sigma_{bb}$	抗弯强度	
$R_{p0.2}$	屈服强度	
$\sigma_s$	屈服点	
$R_{mc}$	抗压强度	
$Z$	断面收缩率	
$A$	断后伸长率	
HBW	布氏硬度	
HRC	洛氏硬度	
HS	肖氏硬度	J
$KV, KU$	冲击吸收能量	
$A_k$	冲击吸收功	
$T$	热力学温度	K
$\theta, t$	摄氏温度	℃
$a$	热扩散率	m <sup>2</sup> /s
$C$	热 容	J/K

符 号	名 称	单 位
$c_p$	质量定压热容	J/(kg·K)
$c_L$	铁液的比热容	
$c_s$	铸铁的比热容	
$\alpha_l$	线胀系数	1/K
$\lambda$	热导率	W/(m·K)
$\varepsilon$	线收缩率	%
$w (A)$	A 物质的质量分数	
$\varphi (A)$	A 物质的体积分数	
$n$	数 量	
$K$	流量系数、收缩率	
$k$	比例系数、重量系数	
$\beta$	安全因数、收缩系数	
$\mu$	阻力系数 摩擦因数 流量消耗系数	
$\rho$	密 度	g/cm <sup>3</sup>
$\rho_L$	铁液密度	
$r$	重 度	N/cm <sup>3</sup>
$v$	速 度	m/s、mm/s
$v$	浇注速度	kg/s
$Q$	铁液流量	m <sup>3</sup> /s、m <sup>3</sup> /min
$Q$	砂处理能力	m <sup>3</sup> /h
$Q$	抽气量	m <sup>3</sup> /min
$q$	发气量	m <sup>3</sup> /kg
$M$	模 数	
$M_R$	冒口模数	
$M_N$	冒口颈模数	
$M_c$	铸件模数	
下角字		
s	直浇道	
g	内浇道	
r <sub>u</sub>	横浇道	
z	阻 力	
p	压 力	
R	冒 口	
J	集渣包口	
L	液 体	
S	固 体	
c	铸 件	

# 目 录

## 第3版前言

## 第2版前言

## 本书所用主要符号表

## 第1章 绪论

- 1.1 特种铸造 ..... 1
- 1.2 特种铸造发展概况 ..... 1
- 1.3 特种铸造方法比较 ..... 8
- 参考文献 ..... 8

## 第2章 熔模铸造

- 2.1 概述 ..... 9
  - 2.1.1 熔模铸造的特点 ..... 9
  - 2.1.2 熔模铸造的应用 ..... 10
- 2.2 铸件工艺设计及工装设计 ..... 12
  - 2.2.1 铸件工艺设计 ..... 12
  - 2.2.2 压型设计与制造 ..... 27
- 2.3 易熔模制造 ..... 46
  - 2.3.1 易熔模料分类 ..... 46
  - 2.3.2 易熔模料的配制工艺 ..... 47
  - 2.3.3 易熔模料的性能测定方法 ..... 52
  - 2.3.4 易熔模制造工艺 ..... 53
  - 2.3.5 制造易熔模的主要机械设备 ..... 55
  - 2.3.6 易熔模常见缺陷、产生原因及防止方法 ..... 58
- 2.4 铸型制造 ..... 60
  - 2.4.1 概述 ..... 60
  - 2.4.2 制壳用耐火材料 ..... 63
  - 2.4.3 制壳用黏结剂及其型壳 ..... 68
  - 2.4.4 脱蜡及型壳焙烧 ..... 95
  - 2.4.5 制壳用主要装置及设备 ..... 95
- 2.5 形成铸件复杂内腔的方法 ..... 101
  - 2.5.1 陶瓷型芯 ..... 101
  - 2.5.2 水溶性型芯 ..... 108
  - 2.5.3 型芯脱除 ..... 109
- 2.6 铸钢的熔炼与浇注 ..... 110
  - 2.6.1 铸钢牌号、成分、性能及用途 ..... 110
  - 2.6.2 铸钢熔炼设备 ..... 113
  - 2.6.3 铸钢熔炼常用材料 ..... 115
  - 2.6.4 感应熔炼 ..... 117
  - 2.6.5 铸钢的浇注 ..... 124

- 2.7 高温合金真空熔炼及浇注 ..... 127
  - 2.7.1 高温合金牌号、成分、性能及用途 ..... 127
  - 2.7.2 高温合金熔炼与重熔浇注 ..... 127
  - 2.7.3 定向凝固及单晶铸造技术 ..... 138
  - 2.7.4 细晶铸造 ..... 140
- 2.8 钛合金的熔炼与浇注 ..... 140
  - 2.8.1 钛合金牌号、成分、性能 ..... 140
  - 2.8.2 钛合金熔炼与浇注的设备和方法 ..... 141
- 2.9 清理与防锈 ..... 144
  - 2.9.1 铸件组清壳 ..... 144
  - 2.9.2 切割浇冒口 ..... 144
  - 2.9.3 铸件表面清理 ..... 145
  - 2.9.4 焊补 ..... 149
  - 2.9.5 铸件防锈 ..... 152
- 2.10 铸件质量检查及缺陷防止方法 ..... 154
  - 2.10.1 铸件质量检查 ..... 154
  - 2.10.2 常见缺陷产生原因及防止方法 ..... 154
- 参考文献 ..... 156

## 第3章 石膏型铸造

- 3.1 概述 ..... 157
  - 3.1.1 工艺过程 ..... 157
  - 3.1.2 石膏型铸造工艺特点 ..... 157
  - 3.1.3 应用范围 ..... 157
- 3.2 石膏型铸件工艺设计 ..... 160
  - 3.2.1 浇注位置和分型面选择 ..... 160
  - 3.2.2 母模选择 ..... 160
  - 3.2.3 铸件精度 ..... 160
  - 3.2.4 铸造工艺参数选择 ..... 160
  - 3.2.5 浇注系统及冒口设计 ..... 161
  - 3.2.6 冷铁的应用 ..... 161
- 3.3 石膏型铸造工艺 ..... 162
  - 3.3.1 母模 ..... 162
  - 3.3.2 石膏型用原材料 ..... 163
  - 3.3.3 石膏浆料 ..... 165
  - 3.3.4 灌浆 ..... 167
  - 3.3.5 石膏型的蒸汽处理、干燥和脱蜡 ..... 167

3.3.6 焙烧 .....	168	5.5.1 铸造工艺参数 .....	209
3.3.7 浇注 .....	169	5.5.2 浇注系统的结构形式 .....	210
3.3.8 石膏型铸件修整 .....	170	5.5.3 冒口结构设计 .....	213
3.4 首饰石膏型铸造 .....	171	5.5.4 浇注工艺 .....	214
3.4.1 制首饰熔模 .....	171	5.6 铸造缺陷及其防止对策 .....	215
3.4.2 制首饰石膏型 .....	172	5.6.1 铸钢件增碳缺陷及预防对策 .....	215
3.4.3 首饰合金及其熔炼、浇注 .....	173	5.6.2 防止铸铁件皱皮缺陷对策 .....	215
3.5 石膏铸型缺陷分析及防止措施 .....	176	5.6.3 防止泡沫模样和铸件变形的措施 .....	216
参考文献 .....	176	5.6.4 防止铸铝件针孔和缩松缺陷对策 .....	217
<b>第4章 陶瓷型铸造</b> .....	<b>178</b>	5.6.5 其他铸件缺陷及防止措施 .....	217
4.1 概述 .....	178	5.7 真空系统 .....	219
4.1.1 工艺过程 .....	178	5.7.1 真空泵的选型 .....	219
4.1.2 工艺特点 .....	179	5.7.2 真空系统控制与节能 .....	220
4.2 铸造工艺设计 .....	180	5.7.3 气尘分离装置 .....	220
4.2.1 铸造工艺方案确定 .....	180	5.8 V法铸造用材料 .....	221
4.2.2 铸造工艺参数选择 .....	180	5.8.1 塑料薄膜 .....	221
4.2.3 母模 .....	180	5.8.2 V法涂料 .....	223
4.2.4 浇注系统和冒口设计 .....	181	5.8.3 型砂 .....	225
4.3 铸造工艺 .....	181	5.9 V法铸造工艺装备 .....	226
4.3.1 铸型用原材料 .....	181	5.9.1 薄膜烘烤器 .....	226
4.3.2 制型工艺 .....	184	5.9.2 模具与模底板 .....	227
4.4 铸件常见缺陷及防止方法 .....	187	5.9.3 负压砂箱 .....	227
4.5 参考工艺——非占位涂料造型技术 .....	188	5.10 V法铸造工艺 .....	229
参考文献 .....	189	5.10.1 浇注系统 .....	229
<b>第5章 消失模与V法铸造</b> .....	<b>190</b>	5.10.2 通气孔与补缩冒口 .....	231
5.1 概述 .....	190	5.10.3 V法铸造用砂芯 .....	233
5.1.1 消失模铸造工艺简述 .....	190	5.11 消失模与V法造型线 .....	235
5.1.2 V法铸造工艺简述 .....	191	5.11.1 消失模造型线 .....	235
5.1.3 消失模与V法铸造在我国的发展 .....	193	5.11.2 V法造型线 .....	235
5.2 泡沫模样制作 .....	194	5.12 消失模和V法铸造砂处理系统 .....	238
5.2.1 泡沫原料种类与检测 .....	194	5.12.1 砂冷却设备 .....	238
5.2.2 预发泡 .....	195	5.12.2 砂处理系统 .....	240
5.2.3 发泡成型与模具设计 .....	196	参考文献 .....	241
5.2.4 泡沫模样的分片与粘结 .....	198	<b>第6章 金属型铸造</b> .....	<b>242</b>
5.3 消失模涂料 .....	202	6.1 概述 .....	242
5.3.1 涂料组分及其作用 .....	203	6.1.1 铸造原理 .....	242
5.3.2 商品涂料与自配涂料 .....	204	6.1.2 工艺过程 .....	242
5.3.3 涂料制备 .....	205	6.1.3 工艺特点 .....	242
5.4 干砂充填与震实造型 .....	206	6.1.4 应用范围 .....	243
5.4.1 造型用砂 .....	206	6.2 铸件工艺设计 .....	244
5.4.2 砂箱结构 .....	206	6.2.1 基准面的选择 .....	244
5.4.3 加砂与震实 .....	208	6.2.2 铸件在金属型中的位置 .....	245
5.5 消失模铸造工艺设计 .....	209	6.2.3 分型面的选择 .....	246



6.2.4 铸件工艺设计 .....	247	7.2.14 压铸件加工余量 .....	362
6.2.5 浇注系统 .....	250	7.2.15 尺寸精度 .....	362
6.2.6 冒口设计 .....	264	7.2.16 镶铸件 .....	366
6.2.7 铸件工艺图实例 .....	268	7.3 压铸机 .....	371
6.3 金属型设计 .....	270	7.3.1 分类 .....	371
6.3.1 金属型结构形式 .....	270	7.3.2 基本参数 .....	373
6.3.2 金属型结构设计 .....	273	7.3.3 中国压铸机生产的现状及 发展 .....	374
6.3.3 金属型操纵机构设计 .....	290	7.3.4 压铸机使用和维护 .....	376
6.3.4 金属型加热和冷却 .....	305	7.4 压铸模 .....	377
6.3.5 金属型用材料及其选用 .....	309	7.4.1 压铸模的组成 .....	377
6.3.6 金属型的尺寸公差等级及表面 粗糙度 .....	311	7.4.2 设计原则 .....	377
6.3.7 金属型使用寿命 .....	312	7.4.3 压铸机选用 .....	378
6.3.8 金属型结构实例 .....	314	7.4.4 分型面 .....	378
6.4 金属型铸造机 .....	316	7.4.5 浇注系统 .....	379
6.4.1 金属型铸造机的分类 .....	316	7.4.6 排溢系统 .....	389
6.4.2 通用金属型铸造机 .....	316	7.4.7 压铸模成形零件的设计 .....	392
6.4.3 铸造机的选定 .....	324	7.4.8 抽芯机构 .....	399
6.4.4 铸造生产流水线 .....	325	7.4.9 顶出机构 .....	423
6.5 铸造工艺 .....	326	7.4.10 压铸模的基本零件 .....	437
6.5.1 金属型的准备 .....	326	7.4.11 模架的标准化 .....	447
6.5.2 金属型的浇注工艺 .....	330	7.4.12 模具的冷却系统 .....	447
6.5.3 金属型的试铸 .....	331	7.4.13 压铸模的技术要求 .....	448
6.5.4 典型铸件铸造工艺举例 .....	332	7.4.14 压铸模 CAD/CAE/CAM .....	451
6.6 铸件常见缺陷及防止方法 .....	339	7.5 压铸工艺 .....	454
参考文献 .....	342	7.5.1 压射过程的阶段划分 .....	454
<b>第7章 压力铸造</b> .....	<b>343</b>	7.5.2 压力参数 .....	455
7.1 概述 .....	343	7.5.3 速度参数 .....	455
7.1.1 铸造原理和工艺过程 .....	343	7.5.4 温度参数 .....	456
7.1.2 铸造特点 .....	346	7.5.5 时间参数 .....	456
7.1.3 应用范围 .....	346	7.5.6 余料饼厚度 .....	456
7.2 压铸件设计 .....	347	7.5.7 定量浇注 .....	457
7.2.1 设计原则 .....	347	7.5.8 压室充满度 .....	457
7.2.2 分类及级别 .....	347	7.5.9 压铸用涂料 .....	457
7.2.3 压铸件结构 .....	347	7.5.10 压铸生产 .....	458
7.2.4 壁厚 .....	353	7.5.11 真空压铸 .....	463
7.2.5 肋的设置 .....	353	7.5.12 充氧压铸 .....	464
7.2.6 铸造圆角 .....	355	7.5.13 定向抽气加氧压铸 .....	465
7.2.7 铸造斜度 .....	356	7.5.14 精速密压铸 .....	465
7.2.8 压铸孔 .....	357	7.5.15 半固态压铸 .....	465
7.2.9 压铸齿形及螺纹 .....	359	7.5.16 铁合金压铸 .....	466
7.2.10 长方形孔和槽 .....	360	7.5.17 $p-Q^2$ 技术 .....	467
7.2.11 凸台 .....	360	7.6 压铸件缺陷 .....	470
7.2.12 凸纹与直纹 .....	361	7.7 压铸合金 .....	478
7.2.13 文字、图案和符号 .....	361	7.7.1 压铸合金选用原则 .....	479

7.7.2 压铸合金分类及性能 .....	479	9.4.1 通用立式液压机 .....	555
7.7.3 压铸合金凝固特点 .....	479	9.4.2 立式挤压铸造机(立式 挤铸机) .....	555
7.7.4 各类压铸合金 .....	480	9.4.3 卧式挤压铸造机(卧式 挤铸机) .....	557
参考文献 .....	498	9.4.4 挤铸机的选择原则 .....	558
<b>第8章 低压铸造、差压铸造、真空 吸铸和调压铸造</b> .....	499	9.5 挤压铸造铸型的设计 .....	558
8.1 概述 .....	499	9.5.1 挤铸型压力补缩的设计原则 .....	558
8.1.1 低压铸造 .....	499	9.5.2 避免气体及夹杂物卷入的 挤铸型设计 .....	560
8.1.2 差压铸造 .....	501	9.5.3 挤铸型的设计参数 .....	560
8.1.3 真空吸铸 .....	502	9.5.4 挤铸型常用材料 .....	563
8.1.4 调压铸造 .....	503	9.6 挤压铸造工艺参数 .....	563
8.2 铸件工艺设计 .....	504	9.6.1 压力 .....	563
8.2.1 铸件的凝固顺序及补缩 .....	504	9.6.2 开始加压时间 .....	563
8.2.2 浇注系统的设计 .....	506	9.6.3 保压时间 .....	563
8.2.3 铸型设计 .....	508	9.6.4 加压速度与充型速度 .....	563
8.3 成形工艺设计 .....	510	9.6.5 浇注温度 .....	563
8.3.1 反重力铸造工艺过程 .....	510	9.6.6 挤铸型工作温度 .....	564
8.3.2 浇注工艺参数的设定 .....	512	9.6.7 铸型涂料 .....	564
8.3.3 反重力铸造工艺应用 .....	516	9.7 挤压铸造件缺陷 .....	564
8.4 反重力铸造设备 .....	520	9.7.1 缩孔、缩松、气孔类缺陷 .....	564
8.4.1 反重力铸造装备主体 .....	520	9.7.2 挤压铸造异常偏析缺陷 .....	565
8.4.2 熔化及密封系统 .....	528	9.7.3 冷隔、未熔合、未充满型类 缺陷 .....	565
8.4.3 液面加压控制系统 .....	535	9.7.4 夹渣类缺陷 .....	566
8.5 铸件常见缺陷及设备故障分析 .....	541	9.7.5 裂纹类缺陷 .....	566
8.5.1 反重力铸造常见铸造缺陷及 防止方法 .....	541	9.7.6 热处理起泡缺陷 .....	567
8.5.2 设备故障分析及防治 .....	543	9.8 挤压铸造工艺应用举例 .....	567
参考文献 .....	544	9.8.1 汽车铝轮毂 .....	567
<b>第9章 挤压铸造</b> .....	545	9.8.2 解放牌汽车活塞 .....	568
9.1 概述 .....	545	9.8.3 汽车空调压缩机缸体 .....	568
9.1.1 工艺原理 .....	545	9.8.4 摩托车发动机镁合金外壳 .....	569
9.1.2 工艺分类 .....	545	9.8.5 铝基复合材料活塞 .....	570
9.1.3 工艺过程 .....	545	9.8.6 几种典型零件挤压铸造工艺 举例 .....	571
9.1.4 工艺特点 .....	546	参考文献 .....	572
9.1.5 应用范围 .....	546	<b>第10章 离心铸造</b> .....	573
9.2 挤压铸造合金的组织与性能 .....	546	10.1 概述 .....	573
9.2.1 压力下结晶对合金组织、 性能的影响 .....	546	10.1.1 基本原理及分类 .....	573
9.2.2 各种合金挤压铸造件(挤铸件) 的性能 .....	547	10.1.2 离心铸造的优点和局限性 .....	574
9.3 挤铸件设计及挤铸方式选择 .....	550	10.1.3 离心铸造工艺的应用范围 .....	574
9.3.1 各种挤铸方式的特征 .....	550	10.2 离心铸造生产原理 .....	574
9.3.2 挤铸方式的选择 .....	552	10.2.1 离心铸造原理 .....	574
9.3.3 挤铸件的设计 .....	554	10.2.2 金属液在铸型内流动 .....	576
9.4 挤压铸造机 .....	555		

10.2.3 离心铸造时金属液凝固特点 ..... 577

10.3 离心铸造工艺 ..... 579

10.3.1 对离心铸造金属液和生产方式的要求 ..... 579

10.3.2 浇注温度选择 ..... 579

10.3.3 金属液的定量 ..... 580

10.3.4 铸型涂料工艺 ..... 580

10.3.5 铸型衬砂工艺 ..... 584

10.3.6 铸件脱型及后处理 ..... 585

10.4 离心铸造用铸型 ..... 586

10.4.1 水冷离心机用铸型 ..... 586

10.4.2 热模法离心机用金属型 ..... 590

10.4.3 其他离心铸造用铸型 ..... 591

10.5 离心球墨铸铁管 ..... 597

10.5.1 离心球墨铸铁管标准 ..... 597

10.5.2 离心球墨铸铁管生产工艺 ..... 598

10.5.3 水冷金属型离心铸管 ..... 603

10.5.4 热模法离心铸管 ..... 612

10.5.5 辅助生产工艺和设备 ..... 617

10.5.6 主要缺陷与防止 ..... 624

10.6 离心排水灰铸铁管 ..... 627

10.6.1 排水灰铸铁管标准 ..... 627

10.6.2 排水灰铸铁管生产工艺 ..... 628

10.6.3 排水管生产用离心铸造机 ..... 630

10.6.4 主要缺陷与防止 ..... 630

10.7 离心铸造缸套 ..... 632

10.7.1 缸套的类型和特性 ..... 632

10.7.2 缸套的离心铸造工艺 ..... 633

10.7.3 缸套生产用的离心铸造机 ..... 634

10.7.4 主要缺陷与防止 ..... 636

10.8 离心铸造复合轧辊 ..... 637

10.8.1 复合轧辊的类型和特性 ..... 637

10.8.2 复合轧辊的化学成分和性能 ..... 638

10.8.3 复合轧辊的离心铸造 ..... 639

10.8.4 轧辊离心铸造工艺参数 ..... 642

10.8.5 铸铁轧辊的时效处理 ..... 643

10.8.6 主要缺陷与防止 ..... 644

10.9 离心铸造合金钢管 ..... 645

10.9.1 离心钢管的使用场合和材质成分 ..... 645

10.9.2 离心钢管的铸造工艺特点 ..... 646

10.9.3 主要缺陷与防止 ..... 646

10.10 轴套和轴瓦 ..... 648

10.10.1 轴套和轴瓦特性 ..... 648

10.10.2 轴套离心铸造 ..... 648

10.10.3 钢背铜套(瓦)离心铸造 ..... 649

10.10.4 主要缺陷与防止 ..... 650

10.11 轮类铸件 ..... 651

10.11.1 轮类铸件特性 ..... 651

10.11.2 铜合金叶轮 ..... 651

10.11.3 合金钢涡轮 ..... 651

10.11.4 钛合金轮 ..... 652

10.11.5 铝合金轮 ..... 653

10.11.6 铜碗形轴瓦 ..... 653

参考文献 ..... 653

**第11章 连续铸造** ..... 655

11.1 连续铸铁管 ..... 655

11.1.1 连续铸铁管的生产设备 ..... 657

11.1.2 铸造工艺分析及主要铸造工艺装备 ..... 664

11.1.3 主要工艺参数 ..... 678

11.1.4 连铸铸铁管主要缺陷分析及防止 ..... 681

11.2 铸铁型材水平连续铸造 ..... 685

11.2.1 铸铁型材的特点与应用 ..... 686

11.2.2 铸造工艺及常用工艺装备 ..... 690

11.2.3 水平连续铸造铸铁型材的设备 ..... 693

11.2.4 铸铁型材的生产和质量控制 ..... 695

参考文献 ..... 698

**第12章 快速铸造及铸造过程数值模拟** ..... 699

12.1 快速铸造 ..... 699

12.1.1 概述 ..... 699

12.1.2 快速成形技术 ..... 699

12.1.3 快速成形工件的表面处理 ..... 702

12.1.4 快速铸造 ..... 703

12.2 铸造过程数值模拟 ..... 711

12.2.1 铸造过程数值模拟的定义 ..... 711

12.2.2 铸造过程数值模拟的基本原理 ..... 711

12.2.3 模拟软件 ..... 711

12.2.4 模拟软件的使用 ..... 713

12.2.5 铸造过程数值模拟技术应用实例 ..... 715

12.2.6 铸造模拟软件应用存在的问题 ..... 720

参考文献 ..... 722



# 第1章 绪论

## 1.1 特种铸造

1. 特种铸造方法 铸造是将液态金属浇入铸型中使之冷却、凝固而形成零件的方法,又称液态金属成形法。在各种铸造方法中,以型砂制备铸型的砂型铸造因对铸件形状、尺寸、重量、合金种类、生产批量等几乎都没有限制,应用最普遍。但随着科学技术的发展,对铸造产品精度要求更高,铸件性能要求更好。为适应这些要求,铸造工作者发明了许多新的铸造方法,这些方法统称为特种铸造方法。

常用的特种铸造方法有熔模铸造、石膏型铸造、陶瓷型铸造、消失模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、差压铸造、真空吸铸、调压铸造、挤压铸造、离心铸造、连续铸造、V法铸造、石墨型铸造、壳型铸造、电渣熔铸等。特种铸造方法已得到日益广泛的应用,从20世纪80年代占铸件产量的10%~20%,发展到今天的20%~30%。其中一些特种铸造方法属于近净成形的先进工艺,近年来发展速度极快。

同时,随着科学技术的发展,新的特种铸造方法还在不断产生。如20世纪末出现的快速铸造,是快速成形技术和铸造结合的产物。而快速成形技术则是计算机技术、CAD、CAE、高能束技术、微滴技术和材料科学等多领域高科技的集成。快速铸造使铸件能很迅速地被生产出来,提高了铸造企业对市场快速反应的能力。今后,新的特种铸造方法仍将不断涌现出来。

本手册叙述的是目前生产中应用较广泛的熔模铸造、石膏型铸造、陶瓷型铸造、消失模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、差压铸造、真空吸铸、调压铸造、挤压铸造、离心铸造、连续铸造、V法铸造,以及最新出现的快速铸造共15种特种铸造方法。

2. 特种铸造与砂型铸造的区别 与砂型铸造相比,特种铸造与前者区别可概括为:

(1) 模样不同 砂型铸造使用的模样是木模或金属模,造型后必须取出,因而铸型为两开箱或多開箱的。熔模铸造及部分石膏型铸造则采用容易熔失的易熔(蜡)模,而消失模铸造则使用泡沫塑料模,此模在浇注时能被金属液熔失。所以,这些方法的铸型均做成整体的,不用开箱起模,从而提高了铸件的

尺寸精度。

(2) 铸型材料和制造工艺不同 熔模铸造、石膏型铸造、陶瓷型铸造分别使用了陶瓷浆料和石膏浆料作铸型材料,制作的铸型比砂型尺寸精度高、表面粗糙度值低,当然,其制造工艺也不同。例如,熔模铸造是通过在易熔(蜡)模组上涂涂料、撒砂、干燥等工序制成一个薄壳铸型。另一类铸型材料为金属材料,如金属型铸造、压力铸造、挤压铸造等。则采用金属铸型,尺寸比砂型更精确,而且可一型多铸。

(3) 改善液体金属充填铸型和随后的凝固条件 在一些特种铸造方法中,金属液是在离心力(离心铸造)或压力(压力铸造、低压铸造、差压铸造、挤压铸造等)作用下完成充型和凝固的,因而铸件质量好。又如金属型铸造虽然仍是在重力下充型,但金属型使铸件冷却速度加快,使所得铸件晶粒细化,力学性能有所提高。由于离心铸造、挤压铸造等特种铸造方法是在较大压力下完成充型和凝固的,有利于减少或消除铸件缩孔、缩松,凝固时铸件冷却快、结晶细化、组织致密,从而使铸件的力学性能可以与锻件相媲美。

以上三方面特点,并不是每一种特种铸造方法都具备的,有些特种铸造方法可能只具有一方面或两方面特点,有的特种铸造可能同时具有三方面特点。

3. 特种铸造的优点 归纳起来特种铸造有下列优点:

- 1) 铸件尺寸精确、表面粗糙度值低,更接近零件最后尺寸,从而易于实现少切屑或无切屑加工。
- 2) 铸件内部质量好、力学性能高,从而铸件壁厚可以减薄。
- 3) 降低金属消耗和铸件废品率。
- 4) 简化铸造生产工序(除熔模铸造外),便于实现生产过程的机械化、自动化。
- 5) 改善劳动条件,提高劳动生产率。

由于以上的优点,使特种铸造方法得到日益广泛的应用。其中一些方法属于近净成形的先进工艺。但每种特种铸造方法也都存在着一些缺点,其应用范围也有一定的局限性。

## 1.2 特种铸造发展概况

1. 熔模铸造 (Investment Casting) 熔模铸造又



称熔模精密铸造,是一种近净形成形工艺。它是用可熔(溶)性一次模样和型芯使铸件成形的铸造方法。其生产的铸件可为各种合金的精密、复杂、接近于零件最后形状的件,可不经加工直接使用或经很少加工后使用,适于生产中中小精密复杂铸件。

4000年前熔模铸造起源于埃及、中国和印度,后被用于制牙和珠宝首饰业中。20世纪30年代末,人们发现 Austenal 实验室的外科移植手术研制的钴基合金有优异的高温性能,可用于飞机涡轮增压器。但这类合金很难机械加工,熔模铸造就成为该类合金成形的最佳工艺方法,迅速地发展成工业技术,进入航空航天和国防工业,并很快地应用到其他工业部门。

经过近70多年历程,熔模铸造在不断吸收新工艺、新技术、新材料中发展自己,现熔模铸造已可生产出更精、更大、更复杂、更薄、更强的产品,极大地扩大了其应用面,并保持了高速的发展。据报道熔模铸造生产的精密复杂件最大可达1000kg、轮廓尺寸2.1m,最小壁厚不到1mm。2007年世界熔模铸造业(不包括前苏联)年产值约102.8亿美元,分布大约为:北美40%、欧洲27%、亚洲30%、其余3%。其中,中国熔模铸造已占到世界熔模铸造业的19.4%,发展速度极为迅速,2007年年产值为1988年的64倍。

熔模铸造产品主要分两大类:军工和航空类产品、商品类产品。前者为高质量高附加值的产品;后者质量不如前者。从欧美情况看,熔模铸造仍以生产前类高质量高附加值产品为主。

2. 陶瓷型铸造(Ceramic Mold Casting) 陶瓷型铸造又称陶瓷型精密铸造,它是使用陶瓷浆料灌注成铸型或铸型型腔表面的一种铸造方法。生产的铸件尺寸精度和表面粗糙度优于砂型铸件。

20世纪50年代初,英国人诺尔·肖氏兄弟(Clifford & Noel Shaw)研究成功陶瓷型铸造,并于1954年获得专利,很快在生产中得到应用。在此基础上出现了几百个专利,派生出 Unicast 工艺、Schott 工艺、Ceramcast 工艺等,使得陶瓷型铸造在不断改进中发展成长,故又称肖氏法铸造(Shaw Process Casting)。

陶瓷型铸造主要用来生产各种复杂的精密铸件、模具和模具工装,特别是生产各种合金的模具。

3. 石膏型铸造(Plaster Mold Casting) 石膏型铸造是使用石膏浆料灌注成铸型生产铸件的一种铸造方法。细分起来可分为两种石膏型铸造:用易熔(蜡)模生产的石膏型铸造和用木模或金属模生产的石膏型铸造。前者所生产的铸件精度和表面粗糙度与熔模铸

件相似,又称为石膏型精密铸造;后者生产的铸件表面质量差于熔模铸件,但优于砂型铸件。石膏型铸造法特别适宜生产中大型复杂薄壁铝合金铸件。

用石膏铸造艺术品的历史已久远于世,19世纪末石膏即被用于制作假牙的铸型材料。在工业生产中应用石膏型铸造是20世纪40年代初,经过蒸汽压蒸处理的透气性较好的安提阿(Antioch)石膏型被用来铸造轮胎模具,后来又发展出发泡石膏型、普通石膏型,当时主要用于生产形状不太复杂的铝、锌、铅等中小型铸件。20世纪60年代末,石膏型铸造被用来生产金银饰物和铜合金文物复制品等,并逐渐用于制造铸造机床、电器、仪表、汽车等零部件。20世纪70年代随着大型、薄壁、复杂铝铸件的发展,石膏型精密铸造新工艺在美国、德国、法国、加拿大、日本等国家发展很快,尤其在航天航空等部门发展更快,用于生产塑料成型模具以及进行铸件的试制等,铸造合金也从铝、锌、铅等合金扩大到青铜等合金。现石膏型已可生产尺寸达1000mm,壁厚1.5mm,公差 $\pm 0.125\text{mm}/25\text{mm}$ 的铸件。

4. 消失模铸造 EPC(Expandable Pattern Casting)或LFC(Lost Foam Casting) 消失模铸造是把涂有耐火涂层的泡沫塑料模样组放入砂箱,在模样四周用干砂或自硬砂充填紧实,浇注时高温金属液使泡沫塑料模样热解“消失”,并占据模样所退出空间,而最终获得铸件的铸造方法。此法所生产的铸件尺寸精度较高、表面光洁,生产过程污染少。消失模铸造是一种近净形成形工艺,适于生产结构复杂的各种大小的较精密铸件,合金不限。

该工艺是美国H. F. Shroyer于1956年试验成功,1958年获专利。1961年德国亚琛工业大学A. Wittmoser从美国引进专利,与Hartman等合作生产工业铸件,在1963年GIFA展出,引起工业界兴趣,消失模铸造很快用于工业生产中。1980年前,消失模铸造主要用于单件、小批量、大中型铸件生产中,用板材加工成泡沫塑料模,采用自硬砂或铁丸造型。1980年后,消失模发展到大批量生产中,采用发泡成形的泡沫塑料模干砂振动造型。典型的工厂如美国通用汽车公司1990年在Saturna建的年产5.5万t的消失模生产厂,生产铝合金四缸缸体、缸盖、珠光体球墨铸铁曲轴等;2001年建的Sapainaw Metal Casting Operation工厂消失模线生产Vortec 4200六缸铝合金缸体和缸盖;2003年投产的Defiance Casting Plant的消失模铸造线,生产Vortec货车用铝合金缸体和缸盖。又如1991年意大利都灵CASTEK铸铁厂建的全自动EPC生产线,年产5000t球墨铸铁件,工人及管