

# 铸造手册

特种铸造

第2版

中国机械工程学会铸造分会 编

6



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

《铸造手册》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 2 版在第 1 版基础上,进行了全面的修订。更新了许多技术标准和工艺规范,完善和补充了新的技术内容,反映了技术发展趋势。本卷共 11 章:绪论,熔模铸造,陶瓷型铸造,金属型铸造,压力铸造,低压铸造、差压铸造和真空吸铸,离心铸造,消失模铸造,石膏型铸造,挤压铸造和连续铸造等。各章分别介绍了各种铸造方法的原理和工艺过程、铸件及其工艺设计、工装及模具设计、原辅材料的规格与技术条件及应用特点、设备类型及技术参数、铸造工艺、质量控制及缺陷分析等内容。全书内容丰富、新颖、实用。

本手册主要供从事铸造生产的技术人员使用,也可供从事材料研究的科研人员及高等院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/中国机械工程学会铸造分会编. —2 版. —北京:机械工业出版社,2003.2  
ISBN 7-111-03587-9

I. 铸… II. 中… III. ①铸造-技术手册②铸造,特种-技术手册 IV. TG2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 107179 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑:余茂祚 版式设计:冉晓华 责任校对:姚培新  
封面设计:姚毅 责任印制:闫焱  
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
2003 年 2 月第 2 版·第 1 次印刷  
1000mm×1400mm B5·23.375 印张·3 插页·1404 千字  
17 111—22 110 册  
定价:68.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646  
封面无防伪标均为盗版

## 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  
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

## 铸造手册第1版编委会

顾问 **荣科**

主任 陶令桓

副主任 缪良 周尧和 沈嘉猷

委员 (按姓氏笔画为序)

**丛勉**

刘兆邦 陈金城

余茂祚

罗志健 姜希尚

钟雪友

徐人瑞 黄恢元

谢明师

## 特种铸造卷第1版编委会

主任 陈金城

副主任 林伯年 何光新

编委 罗庚生 黎典 王玉玮

## 第1版前言

随着科学技术和国民经济的发展, 各行各业都对铸造生产提出了新的和更高的要求, 而铸造技术与物理、化学、冶金、机械等多种学科有关, 影响铸件质量和成本的因素又很多。所以正确使用合理的铸造技术, 生产质量好、成本低的铸件并非易事。有鉴于此, 为了促进铸造生产的发展和技术水平的提高, 并给铸造技术工作者提供工作上的方便, 我会编辑出版委员会与机械工业出版社组织有关专家编写了由铸铁、铸钢、铸造非铁合金 (即有色合金)、造型材料、铸造工艺、特种铸造六卷组成的《铸造手册》。

手册的内容, 从生产需要出发, 既总结了国内行之有效的技术经验, 也收集了国内有条件并应推广的国外先进技术。手册以图表数据为主, 辅以适当的文字说明。

手册的编写工作由我会编辑出版委员会会同机械工业出版社负责组织和协调。本卷的编写工作在《铸造手册》特种铸造编委会的主持下, 经过很多同志的辛勤工作完成的。编写过程中, 根据各编委和编写人员的专长分工编写各章, 并分章请专家审稿, 最后由正副主编集中审定和统稿。各章的编写人员如下:

第一章 林伯年 (哈尔滨工业大学)。

第二章 黎典 (北京航空材料研究所)、吴天尧 (北京航空材料研究所)、许云祥 (合肥工业大学)、陈荣章 (北京航空材料研究所) 等编写, 并由黎典汇总。

第三章 周静一 (沈阳铸造研究所)。

第四章 何光新 (江苏工学院)。

第五章 陈金城 (国营第七〇六厂)、王玉玮 (东北工学院)、岳崇焕 (国营第七〇六厂) 等编写, 并由陈金城汇总。

第六章 罗庚生 (芜湖造船厂)、朱健 (国营第一五九厂) 编写, 并由罗庚生汇总。

第七章 林伯年。

第八章 李观贤 (首都钢铁公司铸造厂)、佟铭铎 (东北工学院) 编写, 并由林伯年汇总。

第九章 佟铭铎。

附录 王玉玮搜集整理。

全卷的统稿工作由陈金城负责, 并有林伯年、何光新、黎典、王玉玮参加, 余茂祚对此做了大量工作。

参加本卷会稿、审稿的有全体编委、责任编辑余茂祚和谢明师 (沈阳铸造研究所)、陆培德 (上海广播器材厂)、曾昭昭 (浙江大学)、吕有纲 (芜湖造船厂)、章富升 (常州有色铸造厂)、李春立 (清华大学) 等同志。

本卷编写初期, 沈阳黎明机械公司张锡卿同志作了大量的组织与协调工作。在编写过程中曾得到了七〇六厂、哈尔滨工业大学、江苏工学院、北京航空材料研究所、东北

# 本书所用符号表

(续)

| 符 号                              | 名 称     | 单 位                                              |
|----------------------------------|---------|--------------------------------------------------|
| $d, D (\phi)$                    | 直 径     | mm、cm、m                                          |
| $l, L$                           | 长 度     |                                                  |
| $h$                              | 高 度     |                                                  |
| $\delta$                         | 厚 度     |                                                  |
| $R, r$                           | 半 径     |                                                  |
| $b$                              | 宽 度     |                                                  |
| $h_p$                            | 压力头     |                                                  |
| $A$                              | 面 积     | mm <sup>2</sup> 、cm <sup>2</sup> 、m <sup>2</sup> |
| $A_s$                            | 直浇道面积   |                                                  |
| $A_g$                            | 内浇道面积   |                                                  |
| $A_w$                            | 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    |                                                  |
| $V$                              | 体 积     | mm <sup>3</sup> 、cm <sup>3</sup> 、m <sup>3</sup> |
| $t$                              | 时 间     | s、min、h                                          |
| $m$                              | 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<br>或 N/mm <sup>2</sup>                |
| $\sigma_b$                       | 抗拉强度    |                                                  |
| $\sigma_{bh}$                    | 抗弯强度    |                                                  |
| $\sigma_{0.2}$                   | 屈服强度    |                                                  |
| $\sigma_s$                       | 屈服点     |                                                  |
| $\sigma_{bc}$                    | 抗压强度    |                                                  |
| $\psi$                           | 断面收缩率   | %                                                |
| $\delta (\delta_5, \delta_{10})$ | 断后伸长率   |                                                  |
| HBS(或 HBW)                       | 布氏硬度    |                                                  |
| HRC                              | 洛氏硬度    |                                                  |
| HS                               | 肖氏硬度    |                                                  |
| $A_K$                            | 冲击吸收功   | J                                                |
| $a_K$                            | 冲击韧度    | J/cm <sup>2</sup>                                |
| $T$                              | 热力学温度   | K                                                |
| $\theta, t$                      | 摄氏温度    | °C                                               |
| $\alpha$                         | 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               |                                       |
| $k$            | 流量比例系数                 |                                       |
| $\beta$        | 安全因数                   |                                       |
| $\mu$          | 阻力系数<br>摩擦因数<br>流量消耗系数 |                                       |
| $\rho$         | 密 度                    | kg/mm <sup>3</sup> 、                  |
| $\rho_L$       | 铁液密度                   | kg/cm <sup>3</sup>                    |
| $r$            | 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>w</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                    |                                       |



## 机械工业出版社部分铸造类图书

- 铸造手册 第1卷 铸铁 (第2版) (书号: 03117)  
铸造手册 第2卷 铸钢 (第2版) (书号: 02745)  
铸造手册 第3卷 铸造非铁合金 (第2版) (书号: 03202)  
铸造手册 第4卷 造型材料 (第2版) (书号: 02875)  
铸造手册 第5卷 铸造工艺 (第2版) (书号: 04073)  
铸造手册 第6卷 特种铸造 (第2版) (书号: 03587)  
铸造设备选用手册 (第2版) (书号: 01943)  
熔模铸造手册 (书号: 08174)  
铸件缺陷和对策手册 (书号: 0500)  
铸造工程师手册 (书号: 05525)  
铸件配料手册 (书号: 07658)  
简明铸工手册 (第2版) (书号: 01623)  
袖珍铸造工手册 (书号: 07641)  
机械化运输手册 (书号: 05323)  
实用铸造技术手册 (书号: )  
铸造词典 (第2版) (书号: 04615)  
工业炉设计手册 (第2版) (书号: 08425)  
铸造用感应电炉 (书号: 05414)  
木模结构图册 (书号: 01979)  
最新国际铸造标准 (书号: 06651)  
凝固技术 (书号: 06490)  
贝氏体球墨铸铁 (书号: 08878)  
铸造工程的模拟仿真与质量控制 (书号: 08717)  
铸铁彩色金相学 (书号: 10453)  
镁基轻质合金理论基础及其应用 (书号: 10935)  
气力输送工程 (书号: )  
铸造工技师培训教材 (书号: 08807)  
初级铸造工技术 (书号: 06998)  
中级铸造工技术 (书号: 06839)

# 目

# 录

第2版前言

第1版前言

本书所用符号表

## 第1章 绪论 ..... 1

1.1 特种铸造方法 ..... 1

1.2 特种铸造发展概况 ..... 1

1.3 特种铸造工艺方法比较 ..... 3

参考文献 ..... 5

## 第2章 熔模铸造 ..... 6

2.1 概述 ..... 6

2.1.1 熔模铸造的特点 ..... 7

2.1.2 熔模铸造的应用 ..... 11

2.2 铸件工艺设计 ..... 11

2.2.1 铸件结构设计 ..... 11

2.2.2 基准面选择 ..... 19

2.2.3 浇注系统设计 ..... 20

2.3 压型设计与制造 ..... 31

2.3.1 压型分类 ..... 31

2.3.2 机械加工压型 ..... 32

2.3.3 易熔合金压型 ..... 52

2.3.4 石膏压型 ..... 54

2.3.5 其他压型 ..... 56

2.4 易熔模制造 ..... 58

2.4.1 模料分类 ..... 59

2.4.2 易熔模料的配制工艺 ..... 59

2.4.3 易熔模料的性能测定方法 ..... 66

2.4.4 旧模料回收处理 ..... 67

2.4.5 易熔模制造工艺 ..... 69

2.4.6 制造易熔模的主要机械  
设备 ..... 71

2.4.7 浇口棒的制作 ..... 75

2.4.8 易熔模常见缺陷、产生原因及  
防止方法 ..... 75

2.5 铸型制造 ..... 77

2.5.1 铸型分类 ..... 77

2.5.2 制壳用耐火材料 ..... 78

2.5.3 表面活性剂 ..... 82

2.5.4 硅酸乙酯粘结剂及制壳  
工艺 ..... 83

2.5.5 硅溶胶粘结剂及制壳工艺 ..... 93

2.5.6 水玻璃粘结剂及制壳工艺 ..... 96

2.5.7 表面孕育晶粒细化 ..... 104

2.5.8 脱蜡及型壳焙烧 ..... 105

2.5.9 制壳用主要装置及设备 ..... 108

2.5.10 测试方法 ..... 114

2.6 形成铸件复杂内腔的  
方法 ..... 118

2.6.1 陶瓷型芯 ..... 118

2.6.2 水溶性型芯 ..... 125

2.6.3 型芯脱除 ..... 127

2.7 铸钢的熔炼与浇注 ..... 127

2.7.1 铸钢熔炼设备 ..... 127

2.7.2 铸钢常用材料 ..... 132

2.7.3 感应炉熔炼 ..... 135

2.7.4 电渣熔炼 ..... 141

2.7.5 合金的浇注 ..... 143

2.8 高温合金真空熔炼及  
铸造 ..... 146

2.8.1 高温合金牌号、成分、  
性能及用途 ..... 146

2.8.2 合金重熔和浇注 ..... 150

2.8.3 定向凝固及单晶铸造技术 ..... 158

2.8.4 细晶铸造 ..... 160

2.8.5 热等静压处理 ..... 161

2.8.6 铸件的热处理 ..... 161

2.9 清理与防锈 ..... 162

2.9.1 铸件组清壳 ..... 162

2.9.2 切割浇冒口 ..... 164

2.9.3 铸件表面清理 ..... 165

|                                |     |                                |     |
|--------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 2.9.4 焊补 .....                 | 171 | 4.3.2 金属型结构设计 .....            | 234 |
| 2.9.5 铸件防锈 .....               | 174 | 4.3.3 金属型操纵机构设计 .....          | 253 |
| 2.10 铸件质量检查及<br>缺陷防止方法 .....   | 175 | 4.3.4 金属型加热和冷却 .....           | 269 |
| 2.10.1 铸件质量检查 .....            | 175 | 4.3.5 金属型用材料及其选用 .....         | 273 |
| 2.10.2 常见缺陷产生原因<br>及防止方法 ..... | 176 | 4.3.6 金属型的尺寸精度及<br>表面粗糙度 ..... | 275 |
| 参考文献 .....                     | 178 | 4.3.7 金属型寿命 .....              | 276 |
| <b>第3章 陶瓷型铸造</b> .....         | 179 | 4.3.8 金属型结构实例 .....            | 278 |
| 3.1 概述 .....                   | 179 | 4.4 铸造工艺 .....                 | 281 |
| 3.1.1 工艺过程 .....               | 179 | 4.4.1 金属型的准备 .....             | 281 |
| 3.1.2 铸造特点 .....               | 180 | 4.4.2 金属型的浇注工艺 .....           | 285 |
| 3.1.3 应用范围 .....               | 181 | 4.4.3 金属型的试铸 .....             | 286 |
| 3.2 铸件工艺设计 .....               | 183 | 4.4.4 典型铸件铸造工艺举例 .....         | 288 |
| 3.2.1 铸造工艺方案的确定 .....          | 183 | 4.5 金属型铸造机 .....               | 300 |
| 3.2.2 铸造工艺参数选择 .....           | 183 | 4.5.1 类型 .....                 | 300 |
| 3.2.3 母模 .....                 | 184 | 4.5.2 通用金属型铸造机 .....           | 301 |
| 3.2.4 浇注系统和冒口设计 .....          | 185 | 4.5.3 铸造机的选定 .....             | 310 |
| 3.3 铸造工艺 .....                 | 186 | 4.5.4 金属型铸造机实例 .....           | 311 |
| 3.3.1 铸型用原材料 .....             | 186 | 4.5.5 铸造生产流水线 .....            | 315 |
| 3.3.2 制型工艺 .....               | 190 | 4.6 铸件常见缺陷及防止<br>方法 .....      | 318 |
| 3.4 铸件常见缺陷及防止<br>方法 .....      | 193 | 参考文献 .....                     | 321 |
| 参考文献 .....                     | 194 | <b>第5章 压力铸造</b> .....          | 322 |
| <b>第4章 金属型铸造</b> .....         | 196 | 5.1 概述 .....                   | 322 |
| 4.1 概述 .....                   | 196 | 5.1.1 铸造原理和工艺过程 .....          | 322 |
| 4.1.1 铸造原理 .....               | 196 | 5.1.2 铸造特点 .....               | 324 |
| 4.1.2 工艺过程 .....               | 196 | 5.1.3 应用范围 .....               | 326 |
| 4.1.3 铸造工艺特点 .....             | 197 | 5.2 压铸件设计 .....                | 327 |
| 4.1.4 铸造工艺应用范围 .....           | 198 | 5.2.1 设计原则 .....               | 327 |
| 4.2 铸件工艺设计 .....               | 199 | 5.2.2 分类及级别 .....              | 327 |
| 4.2.1 基准面的选择 .....             | 199 | 5.2.3 压铸件结构 .....              | 327 |
| 4.2.2 铸件在金属型中的位置 .....         | 199 | 5.2.4 壁厚 .....                 | 333 |
| 4.2.3 分型面的选择 .....             | 200 | 5.2.5 肋的设置 .....               | 333 |
| 4.2.4 铸件工艺性设计 .....            | 201 | 5.2.6 铸造圆角 .....               | 335 |
| 4.2.5 浇注系统 .....               | 204 | 5.2.7 铸造斜度 .....               | 336 |
| 4.2.6 冒口设计 .....               | 225 | 5.2.8 压铸孔 .....                | 337 |
| 4.2.7 铸件工艺图实例 .....            | 228 | 5.2.9 压铸齿形及螺纹 .....            | 339 |
| 4.3 金属型设计 .....                | 231 | 5.2.10 长方形孔和槽 .....            | 340 |
| 4.3.1 金属型结构形式 .....            | 231 | 5.2.11 凸台 .....                | 340 |
|                                |     | 5.2.12 凸纹与直纹 .....             | 341 |
|                                |     | 5.2.13 文字、图案和符号 .....          | 341 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 5.2.14 压铸件加工余量 .....   | 342 |
| 5.2.15 尺寸精度 .....      | 342 |
| 5.2.16 镶铸件 .....       | 346 |
| 5.3 压铸机 .....          | 351 |
| 5.3.1 分类 .....         | 351 |
| 5.3.2 基本参数 .....       | 353 |
| 5.3.3 压铸机使用和维护 .....   | 354 |
| 5.4 压铸模 .....          | 355 |
| 5.4.1 压铸模的组成 .....     | 355 |
| 5.4.2 设计原则 .....       | 356 |
| 5.4.3 压铸机选用 .....      | 356 |
| 5.4.4 分型面 .....        | 357 |
| 5.4.5 浇注系统 .....       | 357 |
| 5.4.6 排溢系统 .....       | 367 |
| 5.4.7 压铸模成形零件的设计 ..... | 370 |
| 5.4.8 抽芯机构 .....       | 376 |
| 5.4.9 顶出机构 .....       | 399 |
| 5.4.10 压铸模的基本零件 .....  | 413 |
| 5.4.11 模具的冷却系统 .....   | 422 |
| 5.4.12 压铸模的技术要求 .....  | 423 |
| 5.5 压铸工艺 .....         | 425 |
| 5.5.1 压射过程的阶段划分 .....  | 425 |
| 5.5.2 压力参数 .....       | 425 |
| 5.5.3 速度参数 .....       | 426 |
| 5.5.4 温度参数 .....       | 427 |
| 5.5.5 时间参数 .....       | 427 |
| 5.5.6 余料饼厚度 .....      | 427 |
| 5.5.7 定量浇注 .....       | 427 |
| 5.5.8 压室充满度 .....      | 428 |
| 5.5.9 压铸用涂料 .....      | 428 |
| 5.5.10 压铸生产 .....      | 429 |
| 5.5.11 真空压铸 .....      | 434 |
| 5.5.12 充氧压铸 .....      | 435 |
| 5.5.13 压铸新技术 .....     | 436 |
| 5.6 压铸件缺陷 .....        | 439 |
| 5.7 压铸合金 .....         | 447 |
| 5.7.1 压铸合金选用原则 .....   | 447 |
| 5.7.2 压铸合金分类及性能 .....  | 448 |
| 5.7.3 压铸合金凝固特点 .....   | 448 |
| 5.7.4 各类压铸合金 .....     | 449 |
| 参考文献 .....             | 457 |

## 第6章 低压铸造、差压铸造和真空吸铸 .....

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 6.1 低压铸造 .....              | 458 |
| 6.1.1 概述 .....              | 458 |
| 6.1.2 铸件工艺设计 .....          | 459 |
| 6.1.3 铸型设计 .....            | 464 |
| 6.1.4 低压铸造工艺 .....          | 472 |
| 6.1.5 低压铸造设备 .....          | 483 |
| 6.1.6 低压铸造铸件常见缺陷及防止方法 ..... | 498 |
| 6.2 差压铸造 .....              | 501 |
| 6.2.1 概述 .....              | 501 |
| 6.2.2 差压铸造铸件工艺设计 .....      | 502 |
| 6.2.3 差压铸造的浇注工艺 .....       | 503 |
| 6.2.4 差压铸造设备 .....          | 504 |
| 6.2.5 差压铸造微机控制系统 .....      | 507 |
| 6.3 真空吸铸 .....              | 507 |
| 6.3.1 概述 .....              | 507 |
| 6.3.2 真空吸铸设备 .....          | 509 |
| 6.3.3 结晶器的真空吸铸工艺 .....      | 513 |
| 6.3.4 其他铸型真空吸铸工艺 .....      | 517 |
| 参考文献 .....                  | 518 |

## 第7章 离心铸造 .....

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 7.1 概述 .....             | 519 |
| 7.1.1 国内外离心铸铁管生产概况 ..... | 519 |
| 7.1.2 离心铸造的分类 .....      | 519 |
| 7.1.3 离心铸造的优缺点 .....     | 521 |
| 7.1.4 三种离心铸铁管的工艺特点 ..... | 521 |
| 7.2 离心铸造生产原理 .....       | 521 |
| 7.2.1 离心铸造原理 .....       | 521 |
| 7.2.2 离心铸管模转速计算 .....    | 522 |
| 7.2.3 铁液在管模内的运动过程 .....  | 523 |
| 7.2.4 离心铸造中铁液的凝固特点 ..... | 524 |
| 7.2.5 离心球墨铸铁管生产工艺 .....  | 526 |
| 7.3 离心球墨铸铁管的铁液制备 .....   | 526 |
| 7.3.1 离心球墨铸铁管对           |     |

|                                   |     |                                 |     |
|-----------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 铁液成分的要求 .....                     | 526 | 7.8.3 管模材质 .....                | 577 |
| 7.3.2 熔炼设备的特点 .....               | 528 | 7.8.4 管模的维修与保存 .....            | 579 |
| 7.3.3 高炉—混铁炉—感应<br>电炉熔炼工艺 .....   | 528 | 7.9 离心球墨铸铁管<br>缺陷分析与防止 .....    | 582 |
| 7.3.4 冲天炉—感应电炉<br>熔炼工艺 .....      | 529 | 7.10 离心铸造气缸套 .....              | 588 |
| 7.3.5 炉外脱硫 .....                  | 530 | 7.10.1 铸铁气缸套的类型和<br>特性 .....    | 588 |
| 7.3.6 孕育处理 .....                  | 534 | 7.10.2 铸铁气缸套离心铸造机 .....         | 589 |
| 7.4 水冷金属型离心铸管机 .....              | 535 | 7.10.3 铸铁气缸套离心铸造<br>工艺 .....    | 591 |
| 7.4.1 水冷金属型离心铸管机<br>的工艺特点 .....   | 535 | 7.11 离心铸造复合轧辊 .....             | 593 |
| 7.4.2 水冷金属型离心铸管机<br>生产工艺节拍 .....  | 537 | 7.11.1 离心铸造复合轧辊的<br>种类和特性 ..... | 593 |
| 7.4.3 水冷金属型离心铸管机<br>主体结构 .....    | 539 | 7.11.2 立式离心铸造轧辊 .....           | 595 |
| 7.4.4 水冷金属型离心铸管机<br>冷却系统 .....    | 543 | 7.11.3 卧式离心铸造轧辊 .....           | 596 |
| 7.4.5 水冷金属型离心铸管机<br>浇注装置 .....    | 545 | 7.11.4 倾斜式离心铸造轧辊 .....          | 597 |
| 7.4.6 水冷金属型离心铸管机拔管<br>及运管装置 ..... | 549 | 7.11.5 轧辊离心铸造工艺 .....           | 598 |
| 7.5 热模法离心铸管机 .....                | 552 | 7.11.6 铸铁轧辊的时效处理 .....          | 599 |
| 7.5.1 热模法离心铸管的特点 .....            | 552 | 7.12 轴套和轴瓦 .....                | 600 |
| 7.5.2 单工位热模离心铸管机 .....            | 552 | 7.12.1 轴套、轴瓦特性 .....            | 600 |
| 7.5.3 多工位热模离心铸管机 .....            | 556 | 7.12.2 轴套离心铸造 .....             | 600 |
| 7.5.4 热模离心铸管的涂料 .....             | 561 | 7.12.3 钢背铜套(瓦)离心<br>铸造 .....    | 600 |
| 7.6 离心球墨铸铁管退火炉 .....              | 563 | 7.13 轮类铸件 .....                 | 602 |
| 7.6.1 高温连续式退火炉 .....              | 563 | 7.13.1 轮类铸件特性 .....             | 602 |
| 7.6.2 低温连续式退火炉 .....              | 567 | 7.13.2 铜合金叶轮 .....              | 603 |
| 7.6.3 台车式退火炉 .....                | 567 | 7.13.3 合金钢涡轮 .....              | 603 |
| 7.6.4 立式退火炉 .....                 | 570 | 7.13.4 钛合金轮 .....               | 603 |
| 7.7 离心球墨铸铁管整理<br>设备 .....         | 571 | 参考文献 .....                      | 605 |
| 7.7.1 简介 .....                    | 571 | 第8章 消失模铸造 .....                 | 607 |
| 7.7.2 喷锌机 .....                   | 571 | 8.1 概述 .....                    | 607 |
| 7.7.3 水压试验机 .....                 | 571 | 8.1.1 铸造工艺的发展 .....             | 607 |
| 7.7.4 水泥涂衬机 .....                 | 573 | 8.1.2 消失模铸造的特点 .....            | 608 |
| 7.7.5 包装工艺及设备 .....               | 574 | 8.1.3 消失模铸造的适应性<br>与经济性 .....   | 609 |
| 7.8 离心铸管的管<br>模制作与维修 .....        | 574 | 8.2 消失模铸造工艺原理 .....             | 610 |
| 7.8.1 管模的工作条件 .....               | 575 | 8.2.1 消失模铸造工艺过程 .....           | 610 |
| 7.8.2 管模尺寸 .....                  | 575 | 8.2.2 消失模铸造铸型成形机理 .....         | 611 |
|                                   |     | 8.2.3 铸型的强度 .....               | 612 |
|                                   |     | 8.2.4 砂箱内真空度的分布 .....           | 613 |
|                                   |     | 8.3 泡沫塑料模的气化 .....              | 614 |

|                                  |     |                                |     |
|----------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 8.3.1 泡沫塑料模 .....                | 614 | 9.1.1 工艺过程 .....               | 648 |
| 8.3.2 泡沫塑料模在浇注过程中<br>的分解气化 ..... | 615 | 9.1.2 工艺特点 .....               | 648 |
| 8.3.3 金属液的充型过程 .....             | 618 | 9.1.3 应用范围 .....               | 648 |
| 8.4 泡沫塑料模的制备与<br>粘接 .....        | 620 | 9.2 铸件工艺设计 .....               | 652 |
| 8.4.1 泡沫塑料模的性能 .....             | 620 | 9.2.1 浇注位置和分型面选择 .....         | 652 |
| 8.4.2 珠粒的种类 .....                | 621 | 9.2.2 母模选择 .....               | 652 |
| 8.4.3 珠粒的预发泡 .....               | 622 | 9.2.3 铸件尺寸公差 .....             | 652 |
| 8.4.4 模块的制作 .....                | 623 | 9.2.4 铸造斜度 .....               | 653 |
| 8.4.5 模样的熟化 .....                | 623 | 9.2.5 加工余量 .....               | 653 |
| 8.4.6 模样的粘接 .....                | 624 | 9.2.6 线收缩率 .....               | 653 |
| 8.5 消失模铸造的浇注系统 .....             | 625 | 9.2.7 浇注系统及冒口设计 .....          | 654 |
| 8.5.1 浇注系统 .....                 | 625 | 9.2.8 冷铁的应用 .....              | 654 |
| 8.5.2 浇注系统的类型与特点 .....           | 625 | 9.3 铸造工艺 .....                 | 654 |
| 8.5.3 浇注系统的设计 .....              | 626 | 9.3.1 母模 .....                 | 654 |
| 8.6 消失模涂料 .....                  | 627 | 9.3.2 石膏型用原材料 .....            | 656 |
| 8.6.1 涂料的作用和要求 .....             | 627 | 9.3.3 石膏浆料 .....               | 658 |
| 8.6.2 涂料的组成 .....                | 627 | 9.3.4 灌浆 .....                 | 660 |
| 8.6.3 消失模涂料的配比 .....             | 630 | 9.3.5 石膏型的蒸气处理、<br>干燥和脱蜡 ..... | 660 |
| 8.6.4 消失模涂料的配制 .....             | 631 | 9.3.6 焙烧 .....                 | 661 |
| 8.6.5 施涂工艺与烘干 .....              | 631 | 9.3.7 浇注 .....                 | 662 |
| 8.7 消失模铸件的造型与<br>浇注 .....        | 632 | 9.3.8 铸件清理 .....               | 662 |
| 8.7.1 造型 .....                   | 632 | 9.4 铸件常见缺陷及防止<br>方法 .....      | 664 |
| 8.7.2 浇注 .....                   | 632 | 参考文献 .....                     | 665 |
| 8.8 消失模生产线 .....                 | 633 | <b>第 10 章 挤压铸造</b> .....       | 666 |
| 8.8.1 简介 .....                   | 633 | 10.1 概述 .....                  | 666 |
| 8.8.2 消失模机械化生产线简介 .....          | 634 | 10.2 挤压铸造机 .....               | 666 |
| 8.8.3 消失模简易造型线简介 .....           | 635 | 10.3 挤压铸件及铸型设计 .....           | 669 |
| 8.8.4 消失模机械化生产线<br>主要设备 .....    | 636 | 10.3.1 各种挤压方式的特征 .....         | 669 |
| 8.9 消失模铸件的缺陷与<br>防治 .....        | 640 | 10.3.2 挤压方式的选择 .....           | 671 |
| 8.10 消失模铸件的质量控制 .....            | 646 | 10.3.3 铸型设计要点与参数 .....         | 672 |
| 8.10.1 珠粒预发前的质量控制 .....          | 646 | 10.3.4 铸型常用材料 .....            | 672 |
| 8.10.2 消失模涂料的质量控制 .....          | 646 | 10.4 挤压铸造工艺参数 .....            | 672 |
| 8.10.3 铸造用砂的质量控制 .....           | 647 | 10.4.1 压力 .....                | 672 |
| 参考文献 .....                       | 647 | 10.4.2 开始加压时间 .....            | 673 |
| <b>第 9 章 石膏型铸造</b> .....         | 648 | 10.4.3 保压时间 .....              | 673 |
| 9.1 概述 .....                     | 648 | 10.4.4 加压速度与充型速度 .....         | 673 |
|                                  |     | 10.4.5 浇注温度 .....              | 673 |
|                                  |     | 10.4.6 铸型工作温度 .....            | 673 |
|                                  |     | 10.4.7 铸型涂料 .....              | 674 |

|                                 |     |                                  |     |
|---------------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 10.5 挤压铸造工艺应用举例 .....           | 674 | 11.1.2 连续铸铁管设备 .....             | 682 |
| 10.5.1 汽车铝轮毂的挤压铸造 .....         | 674 | 11.1.3 连续铸管工艺 .....              | 705 |
| 10.5.2 铝活塞的挤压铸造 .....           | 674 | 11.1.4 铸铁管主要缺陷<br>及防止方法 .....    | 713 |
| 10.5.3 几种典型零件挤压<br>铸造工艺举例 ..... | 675 | 11.2 水平连续铸造铸铁坯<br>(铸铁型材) .....   | 716 |
| 10.6 挤压铸造工艺新发展 .....            | 677 | 11.2.1 简介 .....                  | 716 |
| 10.6.1 半固态金属挤压铸造 .....          | 677 | 11.2.2 铸铁型材的组织<br>性能特点及应用 .....  | 717 |
| 10.6.2 金属基复合材料挤压<br>铸造 .....    | 677 | 11.2.3 水平连续铸造铸铁<br>型材的生产 .....   | 723 |
| 参考文献 .....                      | 678 | 11.2.4 铸铁型材质量检验及<br>常见缺陷分析 ..... | 726 |
| <b>第 11 章 连续铸造</b> .....        | 679 | 参考文献 .....                       | 728 |
| 11.1 连续铸管 .....                 | 679 |                                  |     |
| 11.1.1 简介 .....                 | 679 |                                  |     |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 特种铸造方法

随着科学技术和生产的发展,对铸造提出了更高的要求,要求生产更加精确、性能更好、成本更低的铸件。为适应这些要求,铸造工作者发明了许多新的铸造方法。在铸型材料和造型方法、金属液充型形式和随后的冷凝条件等方面与普通砂型铸造有着显著区别,这些铸造方法被称为特种铸造方法。对于某特种铸造方法可能具有一方面的特点或几个方面的特点。

常用的特种铸造方法有:熔模铸造、陶瓷型铸造、石膏型铸造、消失模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、差压铸造、挤压铸造、离心铸造、连续铸造、半连续铸造、真空吸铸、壳型铸造、石墨型铸造、电渣熔铸等等。本手册叙述的是目前生产中应用较广泛的前 14 种特种铸造方法。

与砂型铸造相比,特种铸造有如下的优点:

(1) 铸件尺寸精确、表面粗糙度值低,更接近零件最后尺寸,从而易于实现少切削或无切削加工。

(2) 铸件内部质量好,力学性能高,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形成形的先进工艺。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 它是一种古老而又年轻的铸造技术。说它古老是因为历史已有 4000 年之久,发源于埃及、中国和印度,后传到非洲、欧洲和美洲。说它年轻是该法进入工业领域仅 60 年,并在不断发展着。中国古代留下了很多熔模铸造精品,如战国时期的曾侯乙尊、盘,汉代的错金博山炉

等。16 世纪熔模铸造工艺被用来生产艺术品,如蔡利尼的 Persus 仙座和女妖首领的铜像就是最杰出的代表作。19 世纪末,该工艺结合离心浇注被用于生产牙科件。20 世纪 30 年代末,人们发现 Austenal 实验室为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,并应用于其他工业部门。

半个多世纪以来,熔模铸造在不断吸收新工艺、新技术、新材料发展自己,如水溶性型芯、陶瓷型芯、钛合金精铸技术、定向凝固和单晶技术、过滤技术、热等静压技术和快速成形技术等,使得熔模铸造工艺可生产出无余量复杂的较大铸件,最大铸件重达 1000kg,轮廓尺寸达 1.8m,最小壁厚不到 2mm,即熔模铸造已能生产更精、更大、更复杂、更薄、更强的产品,极大的扩大了其应用面,使它现在仍然是一种近净形成形的先进工艺。

2. 陶瓷型铸造 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。该法又称肖氏法铸造(Shaw Process Casting),在生产中很快得到应用。在此基础上出现了几百个专利,派生出 Unicast 工艺、复合型肖氏工艺、Schott 工艺、Ceramacast 工艺等,被广泛用于生产各种复杂精密铸件、模具和铸造工装。

3. 石膏型铸造 用石膏铸造艺术品的历史已久远于世。19 世纪末石膏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,但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,并逐渐用于铸造机床、电器、仪表、汽车等零部件上。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、日本等西方



国家发展很快,尤其在航天航空等部门发展更快。并可生产塑料成型用模具以及进行铸件的试制等,铸造合金也扩大到青铜等合金。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 消失模铸造 (Expendable Pattern Casting 简称 EPC) 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, 并在 1963 年 GIFA 展出。从而引起各国铸造工作者极大兴趣, 开始研究, 并用该法生产铸件。1967 年一些国家的 150 多个企业组成国际消失模铸造协会。1968 年 GIFA 展出磁丸消失模铸造。1980 年前消失模铸造主要用于单件、小批量大中型铸件生产, 泡沫塑料模用板材加工成形, 型砂采用含粘结剂的自硬砂或铁丸。1980 年后消失模铸造发展到第二个时期, 主要用于大批量小件生产中, 泡沫塑料模采用发泡成形, 造型用干砂振动法, 典型的工厂有: 美国 Ford 汽车公司 1980 年在加拿大 Essex 铸铝厂建的第一条干砂消失模生产线; 美国 GM 汽车公司在 Saturn 建的年产 5.5 万吨的消失模生产线, 1990 年生产铝合金四缸气缸体、缸盖和球墨铸铁曲轴; 德国宝马汽车公司建的一条年产 20 万只铝合金气缸盖 EPC 生产线, 1999 年 2 月成品率达 90%; 意大利 FATA 1991 年为都灵 CASTEK 铸铁厂建的一条全自动 EPC 生产线, 年产 5000t 球墨铸铁件, 工人及管理人员仅 22 人。消失模铸造是一种近净形工艺, 为铸件设计提供了充分的自由度, 容易实现清洁生产, 被称为“21 世纪的铸造技术”, 很有发展前景。

5. 金属型铸造 金属型铸造是一种古老的铸造方法, 由我国发明。现发现的最早金属型是在战国时代, 这些金属型被用来生产各种农具和工具。金属型铸造有很多优点, 被广泛用于发动机、仪表、农机等行业中。

6. 压力铸造 这是一种重要的特种铸造方法, 已有 100 多年历史。1838 年格·勃鲁斯首先用压铸法生产铅字。1849 年英国 Sturges 取得热压室压铸机专利。1907 年 Wagner 制成气动活塞压铸机。1920 年英国开发了冷压室压铸机, 1927 年捷克 Josef Polak 设计了立式冷压室压铸机。1958 年真空压铸在美国获得专利。1966 年美国

General Motors 公司提出精、速、密压铸法。1969 年美国爱列克斯提出充氧压铸法。压力铸造属近净形先进成形工艺, 随着铝合金、镁合金、金属复合材料的发展, 半固态铸造技术的应用, 压力铸造必将得到进一步的发展。

7. 低压铸造 20 世纪 20 年代初英国 E. H. Lake 申请了第 1 个低压铸造专利, 最初主要用于巴氏合金。同时期法国制出用于铜、铝合金的低压铸造机, 这种方法真正被推广应用是在“二战”后, 被用来生产汽车气缸体、电动机转子、炊事用具、高硅铝啤酒桶等。1955 年德国出现铸铁和铸钢用低压铸造专利。1961 年保加利亚索非亚铸造研究所在低压铸造基础上研制成差压铸造。20 世纪 60 年代英国率先发展低压铸造汽车轮毂, 随后美、日、德相继发展。1989 年仅美、日、德三国用此法就生产 630 万只轮毂。低压铸造是实现铸件精密化、薄壁化、轻量化和生产大型薄壁铝铸件的工艺方法之一, 有着良好的发展前景。

8. 挤压铸造 挤压铸造工艺于 1937 年在前苏联问世, 几十年来已建立起完整的工艺体系和理论基础, 如 1964 年前苏联 В. М. Пляцкий 发表的“液态金属模压”。挤压材质有铝、铜、锌、镁、钴的合金及钢、铁, 铝合金占比例最大, 钢、铁挤压铸造于 20 世纪 50 年代末已用于生产。

9. 离心铸造 1809 年英国 A. Erehart 申请了第一个离心铸造专利。1849 年英国 Andraw Shank 制造出第一台离心铸管机, 生产了长 3600mm 直径为 75mm 的离心铸铁管。1857 年德国 Henery Bessemer 提出用立式离心铸造生产轮圈, 1862 年英国 Whileley 和 Bouwer 生产出这种离心机。1910 年德国 Otto Bride 发明用移动浇注槽生产金属型离心铸管。1914 年巴西人研制成水冷金属型离心铸管法。1917 年美国 W. L. Moore 创造了砂型离心铸管法, 并于 1920 年用于大量生产中。20 世纪 30 年代后离心铸造法被用于生产气缸套、炮身、鼓轮等铸件。40 年代出现了用此法生产双金属复合冶金轧辊的工艺。1950 年瑞典开始用涂料金属型离心铸造法, 50 年代美国使用了树脂砂型离心铸造法。

10. 连续铸造 1857 年德国人 Bessemer 获得了第一个连续铸造的专利。1950 年后连续铸锭等铸造方法在生产中获得发展。1949 年前苏联 Мясоєдов 兄弟发明半连续铸管法。