

铸造手册

铸造工艺

第 5 卷



机械工业出版社

TG 2-62
Z 66
:5

铸造手册

第 5 卷

铸造工艺

中国机械工程学会铸造专业学会 编

2129/15



机械工业出版社

• 223248

(京)新登字054号

《铸造手册》共分铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺及特种铸造六卷出版，本书为第5卷《铸造工艺》。

本卷共有绪论、铸造工艺设计基础、铸造工艺设计、铸造工艺装备、铸件落砂清理及后处理、铸件缺陷分析及铸件质量检验、铸造工艺新技术等七章。论述了铸造工艺的发展和理论基础；详细介绍了铸造工艺设计、工艺参数、工艺装备以及铸件落砂清理和后处理方法；阐述了铸件缺陷形成原因和防止措施；系统地介绍了铸件质量检验内容和方法；最后扼要介绍了铸造工艺新技术和新工艺。内容丰富、新颖、实用。

本书可供从事铸造生产和科研设计的技术人员以及大专院校师生使用、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铸造手册 第5卷：铸造工艺/中国机械工程学会铸造专业学会编。—北京：机械工业出版社，1994

ISBN7-111-04073-2

- I. 铸…
- I. 中…
- II. ①铸造-工艺 ②铸造-手册
- IV. TG2-62

出版人：马九荣(北京市百万庄南街1号，邮政编码100037)

责任编辑：余茂祚 版式设计：王颖 责任校对：姚培新

封面设计：姚毅 责任印制：卢承祥

北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行

1994年10月第1版·1994年10月第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·56.5印张·1355千字

0 001—7000册

定价：62.00元



铸造手册编委会

顾 问 荣 科
主 任 陶令桓
副 主 任 缪 良 周尧和 沈嘉猷
委 员 (以姓氏笔划为序)
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

铸造手册铸造工艺卷编委会

主 任 姜希尚
副 主 任 **杨恩长** 安阁英
编 委 **周昭铭** 甘赞先 李弘英
朱文高 李承忠 刘书贤
主 审 谢明师
副 主 审 李维镕

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更新更高的要求,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很多,所以,正确选择合理的铸造技术,生产出质量好、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铸造技术水平的提高,并给铸造技术工作者提供工作上的方便,我会编译出版委员会与机械工业出版社组织有关专家编写了由铸钢、铸铁、铸造非铁合金(即有色合金)、造型材料、铸造工艺、特种铸造共六卷组成的《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成果和经验,也收集了国内有条件采用并应推广的国外先进技术。手册以图表和数据为主,辅以适当的文字说明。

手册的编写工作由我会编译出版委员会,会同机械工业出版社负责组织和协调。本卷的编写工作是在铸造专业学会铸造工艺及造型材料专业委员会的支持下,在《铸造手册》铸造工艺卷编委会的主持下,由全体编委及作者经过长时间的辛勤工作完成的。编写过程中,根据各编委的专长,组织有关专家分工起草,按章汇总,主编姜希尚对全卷编写工作负责。参加各章编写和汇总的编委和作者如下:

第一章 姜希尚(沈阳铸造研究所)、周静一(沈阳铸造研究所)。汇总:姜希尚。

第二章 安阁英(哈尔滨工业大学)、曾松岩(哈尔滨工业大学)、孟爽芬(哈尔滨工业大学)。汇总:安阁英。

第三章 李弘英(哈尔滨汽轮机厂)、甘赞先(第一汽车集团公司)、刘书贤(沈阳飞机制造公司)、黄河(第一汽车集团公司)、吉庆(沈阳飞机制造公司)、韩其良(第一汽车集团公司)、李东毅(第一汽车集团公司);参加本章编写工作的还有:孙宝璋(沈阳铸造厂)、李端(第一汽车集团公司)、柳刚(第一汽车集团公司)、郑际蔚(第一汽车集团公司)、张晓英(东风汽车集团公司)。汇总:李弘英、甘赞先。

第四章 甘赞先、刘亚民(第一汽车集团公司)、王瑞昌(第一汽车集团公司);参加编写工作的还有顾培根(第一汽车集团公司)。汇总:甘赞先。

第五章 李承忠(第一汽车集团公司)、钟鼎禹(第一汽车集团公司)、刘书贤、李弘英。汇总:李承忠。

第六章 朱文高(沈阳铸造研究所)、李承忠(第一汽车集团公司)、刘书贤(沈阳飞机制造公司)、彭仁山(第一汽车集团公司);参加编写工作的还有孟宪明(沈阳飞机制造公司)、张浦(第一汽车集团公司)、朱涤新(哈尔滨汽轮机厂)。汇总:朱文高。

第七章 **杨恩长**(沈阳铸造研究所)、白彦华(沈阳工业大学)。汇总:**杨恩长**。

全卷汇总工作由副主编**杨恩长**负责并与编委朱文高共同完成。

参加本卷分章审稿的有全体编委、吉庆、胡茂丰(济南铸造锻压机械研究所)、宋新华(沈阳工业大学)、祖兴民(沈阳第一机床厂)、邓茂安(沈阳第一机床厂)、田英志(沈阳中捷友谊厂)、施与众(沈阳铸造厂)、徐顺庆(济南铸造锻压机械研究所)。

参加全卷会稿、审定的有全体编委、吉庆、责任编辑余茂祚(机械工业出版社)、主审谢明师(沈阳铸造研究所)、副主审李维箴(沈阳铸造研究所)。

编委周昭铭 (第一汽车集团公司)在组织本卷篇幅较多的几个章节的编写过程中做了大量的工作,对保证全卷的完稿作出了重要贡献。

本卷编写过程中得到沈阳铸造研究所、中国造型材料公司、第一汽车集团公司、哈尔滨汽轮机厂、沈阳飞机制造公司、哈尔滨工业大学、东风汽车集团公司和沈阳铸造厂的大力支持。施与众、张闻博(青海省机械工业厅)、覃本德(沈阳铸造研究所)、褚成田(沈阳飞机制造公司)、丁能续(第一汽车集团公司)、吴涛(第一汽车集团公司)、傅耀民(第一汽车集团公司)等专家,为本卷的编写提供了宝贵的技术资料。对上述单位和专家的支持和帮助,在此一并表示感谢。编者在本卷编写过程中,力求全面、准确地反映当代国内外铸造工艺的发展水平及在生产中行之有效的成熟技术,但由于编写时间仓促、工作量浩大、加之编者水平所限,能否实现预期目的,有待于读者和专家们的评判,错漏不周之处,尚请批评指正,以便重印、修订和再版时予以订正。

中国机械工程学会铸造专业学会

目 录

前言

第一章 绪论1

参考文献6

第二章 铸造工艺设计基础8

一、液态金属充型过程的流体

力学8

1. 液态金属的流体力学特性8

2. 充型过程的流体力学计算8

二、液态金属的充型能力11

1. 液态金属充型能力的基本概念11

2. 影响充型能力的因素12

(1) 金属性质方面12

(2) 铸型性质方面14

(3) 浇注条件方面15

(4) 铸件结构方面16

3. 提高充型能力的措施16

(1) 金属方面16

(2) 铸型方面16

(3) 浇注方面16

(4) 铸件结构方面17

三、液态金属与铸型的相互作用17

1. 热作用17

(1) 铸型水分迁移和强度的变化17

(2) 铸型产生膨胀和应力变形17

2. 物理、化学作用18

(1) 皮下气孔18

(2) 粘砂18

3. 机械作用18

四、铸件一次结晶的控制18

1. 固溶体型合金的结晶控制19

(1) 粒状(等轴)晶组织的控制19

(2) 柱状晶组织的控制20

2. 共晶型合金的结晶控制20

五、铸件的凝固21

1. 铸件的凝固方式21

(1) 凝固动态曲线21

(2) 铸件凝固方式及其影响因素21

2. 几种典型合金的凝固22

(1) 灰铸铁和球墨铸铁22

(2) 铸钢23

(3) 铝硅合金23

3. 合金的凝固方式与铸件质量的关系24

(1) 窄结晶温度范围的合金24

(2) 宽结晶温度范围的合金24

(3) 中等结晶温度范围的合金24

4. 铸件的凝固时间和凝固速度24

六、铸件的收缩26

1. 铸钢的收缩26

(1) 液态收缩26

(2) 凝固收缩26

(3) 固态收缩26

2. 铸铁的收缩27

3. 铸件的收缩27

4. 缩孔和缩松27

(1) 缩孔29

(2) 缩松30

(3) 缩孔和缩松的转化规律31

(4) 缩孔和缩松的防止31

5. 铸件的热裂31

6. 铸件的铸造应力、冷裂及变形35

(1) 铸造应力35

(2) 冷裂37

(3) 变形37

七、铸件中的气体和非金属夹杂物38

1. 铸件中的气体38

(1) 气体对铸件质量的影响38

(2) 气体的溶解38

(3) 气体的析出41

2. 铸件中的非金属夹杂物42

(1) 非金属夹杂物的分类42

(2) 非金属夹杂物的来源42

(3) 非金属夹杂物的生成43

(4) 非金属夹杂物对铸件质量的影响45

参考文献45

第三章 铸造工艺设计57

一、零件结构的铸造工艺性47

1. 铸件质量对零件结构的要求	47	2. 铸件重量公差	94
(1) 铸件的最小壁厚	47	3. 机械加工余量	96
(2) 铸件的临界壁厚	48	4. 铸造收缩率	100
(3) 铸件的内壁厚度	49	5. 起模斜度	104
(4) 铸件壁的过渡和连接	50	6. 非加工壁厚的负余量	106
(5) 铸造斜度	50	7. 最小铸出孔及槽	107
(6) 肋	50	8. 工艺肋	108
(7) 凸台	58	(1) 收缩肋	108
(8) 提高铸件质量的合理结构	58	(2) 拉肋	110
2. 铸造工艺对零件结构的要求	69	9. 反变形量	111
(1) 简化或减少分型面的铸件结构	69	10. 工艺补正量	112
(2) 减少砂芯数量的铸件结构	69	11. 分型负数	115
(3) 方便起模的铸件结构	71	五、砂芯设计	115
(4) 有利于砂芯的固定和排气的铸件 结构	72	1. 砂芯的分类及制造方法	115
(5) 具有铸造工艺孔的铸件结构	73	(1) 砂芯的分类	115
(6) 有利于铸件清整的铸件结构	73	(2) 砂芯的制造方法	116
(7) 有利于满足铸件尺寸公差的铸 件结构	74	2. 砂芯的设置	116
(8) 铸件与其他零件的装配间隙	75	3. 砂芯的固定和定位	119
(9) 退刀槽	75	(1) 砂芯的固定	119
二、造型方法的分类及特点	75	(2) 砂芯的定位	121
1. 按砂型种类分类	76	4. 芯头的尺寸和间隙	126
2. 按模样材料分类	76	(1) 垂直芯头的尺寸和间隙	127
3. 按砂型紧实成型方式分类	76	(2) 水平芯头的尺寸和间隙	128
(1) 手工造型	76	(3) 压环、防压环和集砂槽尺寸	128
(2) 机器造型	77	(4) 悬臂芯头的形式和尺寸	128
4. 手工造型操作	78	(5) 管接头芯头的长度	131
(1) 砂箱造型	78	(6) 芯头尺寸的验算	131
(2) 脱箱造型	80	5. 砂芯负数	132
(3) 刮板造型	80	6. 芯撑和芯骨	133
(4) 组芯造型	81	(1) 芯撑	133
(5) 地坑造型	82	(2) 芯骨	161
三、铸造工艺方案的确定	84	7. 砂芯的排气、拼合及预装配	163
1. 浇注位置的确定	84	(1) 砂芯的排气	163
2. 分型面的确定	86	(2) 砂芯的拼合及预装配	163
3. 砂箱中铸件数量的确定及其排列	89	六、浇注系统设计	166
(1) 确定砂箱中铸件数量的一般原 则	89	1. 浇注系统的类型及特点	166
(2) 吃砂量的确定	89	(1) 按浇注系统各组元截面比例分 类	166
(3) 铸件在砂箱中的排列	91	(2) 按内浇道在铸件上的注入位置 分类	167
四、工艺参数	92	2. 浇注系统各部分的尺寸	172
1. 铸件尺寸公差	92	(1) 灰铸铁件浇注系统各部分的尺寸	172
		(2) 可锻铸铁件浇注系统各部分的	

尺寸	193	(3) 非铁合金铸件的外冷铁	397
(3) 球墨铸铁件浇注系统各部分的尺寸	195	2. 内冷铁设计	400
(4) 铸钢件浇注系统各部分的尺寸	201	(1) 铸钢件的内冷铁	400
(5) 非铁合金铸件浇注系统各部分的尺寸	209	(2) 非铁合金铸件的内冷铁	408
3. 特殊形式浇注系统尺寸的确定	241	十、砂型及砂芯的烘干	410
(1) 阶梯式浇注系统	241	1. 几种典型烘干规范(JB/Z205—83)	411
(2) 垂直分型浇注系统	244	2. 一些厂家采用的砂型、砂芯烘干规范	412
(3) 压边浇口	251	3. 地坑砂型的烘干	412
(4) 阻流式浇注系统	252	十一、铸型装配	413
(5) 缓流式浇注系统	260	1. 下芯	413
(6) 雨淋式浇注系统	260	(1) 下芯原则	413
(7) 带集渣包的浇注系统	269	(2) 复杂砂芯下芯实例	414
(8) 过滤式浇注系统	270	2. 合型及定位	416
4. 浇注系统各组元结构和尺寸	275	(1) 合型	416
(1) 浇口杯尺寸	275	(2) 定位	416
(2) 直浇道尺寸	278	3. 合型力及紧固	418
(3) 横浇道尺寸	278	(1) 合型力	418
(4) 内浇道尺寸	278	(2) 紧固	419
5. 金属液引入位置的设计	283	十二、铸造工艺图及工艺卡片	419
七、冒口设计	285	1. 铸造工艺符号及其表示方法	419
1. 概述	285	2. 工艺卡片	431
2. 铸钢件冒口设计	285	十三、工艺设计实例	444
(1) 冒口补缩距离	285	1. 工艺设计典型分析	444
(2) 补贴的设计	288	(1) CA6102汽缸盖	444
(3) 冒口计算	292	(2) 200MW 汽轮机高压外缸下半部铸件	453
3. 铸铁件冒口设计	355	(3) 热连轧机中轴承座铸钢件	456
(1) 灰铸铁件冒口	355	(4) 模锻水压机基础平台铸钢件	457
(2) 可锻铸铁件冒口	355	2. 一般铸件工艺设计举例	458
(3) 球墨铸铁件冒口	360	(1) 进排气歧管	458
4. 非铁合金铸件冒口设计	367	(2) 变速箱外壳	459
(1) 铝合金铸件冒口	367	(3) 差速器外壳	459
(2) 铜合金铸件冒口	373	(4) 后轮轮毂	459
(3) 加强冒口作用的工艺措施	374	(5) 转接头	459
八、出气孔	378	(6) 顶盖	462
1. 出气孔的作用及设置原则	378	(7) 悬挂梁	462
2. 出气孔的分类、结构及尺寸	378	(8) 鼓轮	462
九、冷铁设计	392	(9) 后弧框	467
1. 外冷铁设计	382	(10) 铜套	417
(1) 铸钢件的外冷铁	382	(11) 阀体	467
(2) 铸铁件的外冷铁	394	(12) 蜗轮	469

(13) 中央螺母.....	469	3. 热芯盒的设计.....	526
参考文献.....	470	(1) 热芯盒的材料.....	526
第四章 铸造工艺装备	471	(2) 热芯盒的结构设计.....	526
一、模样	471	(3) 加热装置的结构设计.....	540
1. 模样的分类及适用范围.....	471	(4) 射砂头的结构设计.....	544
2. 模样尺寸的计算与标注.....	471	(5) 热芯盒的安装.....	549
3. 常用模样的材料.....	472	(6) 热芯盒的加工制造及技术要求.....	556
(1) 金属模样.....	472	4. 壳芯盒的设计.....	556
(2) 木模样.....	474	(1) 壳芯盒的结构设计.....	557
(3) 环氧塑料模样.....	474	(2) 吹砂板的结构设计.....	562
(4) 泡沫塑料模样.....	477	(3) 加热装置的结构设计.....	562
(5) 菱苦土模样.....	477	(4) 壳芯机转向开盒的设计.....	565
二、模板	478	5. 冷芯盒的设计.....	566
1. 模板的分类.....	479	(1) 芯盒材料的选择.....	566
2. 模底板结构与尺寸.....	480	(2) 芯盒本体的结构设计.....	567
(1) 模底板的尺寸.....	480	(3) 密封装置的结构设计.....	567
(2) 模底板的壁厚和加强肋.....	481	(4) 芯盒射砂口的设计.....	567
(3) 模底板和砂箱的定位装置.....	483	(5) 排气装置的设计.....	568
(4) 模底板的搬运结构.....	487	(6) 顶出机构的设计.....	570
(5) 模底板与造型机工作台的联接装置.....	487	(7) 吹气装置的结构设计.....	571
3. 模样与模底板的装配.....	491	(8) 射砂头的结构特点.....	572
(1) 模样在模底板上的装配.....	491	(9) 冷芯盒结构及安装.....	572
(2) 浇冒口模样和芯头在模底板上的装配.....	495	四、砂箱	574
(3) 模板装配图上模样定位尺寸的标注.....	497	1. 砂箱的分类及结构.....	574
4. 模板装配结构图举例.....	498	(1) 砂箱的分类.....	574
5. 部分造型机规格.....	499	(2) 砂箱的结构形式.....	575
(1) 震压造型机.....	499	2. 砂箱的选择和设计.....	580
(2) 震实造型机.....	502	(1) 选择和设计砂箱的一般原则.....	580
(3) 压实造型机.....	503	(2) 砂箱及其附件的材料选用.....	580
(4) 射压造型机.....	504	(3) 整铸式砂箱的技术要求.....	580
(5) 抛砂机.....	505	3. 砂箱各部分的结构和尺寸.....	583
三、芯盒	506	(1) 砂箱内框尺寸的确定.....	583
1. 芯盒的种类及特点.....	506	(2) 箱壁截面形式和尺寸.....	583
(1) 按芯盒材料分类.....	506	(3) 砂箱侧壁加强肋的布置形式和尺寸.....	593
(2) 按造芯方法分类.....	507	(4) 箱带的布置形式、结构和尺寸.....	593
(3) 按芯盒结构分类.....	507	(5) 砂箱壁排气孔的形式和尺寸.....	593
2. 金属芯盒的设计.....	509	(6) 砂箱吊运部分的结构和尺寸.....	595
(1) 分盒面的确定.....	510	(7) 砂箱定位部分的结构和尺寸.....	600
(2) 芯盒内腔尺寸的计算.....	510	(8) 砂箱合箱夹紧部分的结构和尺寸.....	608
(3) 金属芯盒及其附具的结构设计.....	511	4. 特殊砂箱的结构和尺寸.....	614
		(1) 劈模造型用砂箱.....	614

(2) 滑脱式砂箱	620	(3) 典型水爆工艺	687
(3) 装配式砂箱	629	5. 电液清砂	682
(4) 铸铝和钢板焊接砂箱	629	(1) 优缺点	682
五、其他工艺装备	631	(2) 工作原理及工艺过程	683
1. 压砂板	631	(3) 电液清砂设备	683
(1) 滑脱式砂箱用压砂板	631	6. 电化学清砂	684
(2) 有箱造型用压砂板	631	(1) 电化学清砂原理	684
(3) 高压造型用压头	632	(2) 工艺流程及主要工艺参数	685
2. 填砂框	632	(3) 电化学清砂设备	686
3. 砂箱托板	633	(4) 电化学清砂的操作	686
4. 套箱	634	二、铸件浇冒口、飞翅和毛刺的	
5. 浇注系统模具	634	去除	688
6. 烘芯板	638	1. 机械冲、切	689
(1) 铸铝烘芯板	638	(1) 机械冲、锯机、砂轮机	689
(2) 铸铁烘芯板	640	(2) 机械冲、锯的操作	690
(3) 随形烘芯板	642	2. 等离子切割	691
(4) 烘芯器	642	(1) 等离子切割装置	691
(5) 烘芯器(板)制造的一般技术	642	(2) 等离子切割工艺参数的选择	692
要求	642	(3) 等离子切割操作	692
7. 砂芯修磨用具	644	3. 导电切割	695
8. 砂芯检验用具	645	(1) 导电切割机的组成和规格	695
参考文献	648	(2) 导电切割的操作技术	695
第五章 铸件的落砂、清理及后处		4. 电弧气刨	696
理	649	(1) 电弧气刨的特点	696
一、铸件的落砂除芯	651	(2) 电弧气刨设备的组成	697
1. 铸件的冷却	651	(3) 电弧气刨工艺参数的选择	698
(1) 铝、镁合金铸件的出型温度	651	(4) 电弧气刨的操作要点	700
(2) 铸钢件在砂型中的冷却时间	652	5. 氧-乙炔焰气割	701
(3) 铸铁件在砂型中的冷却时间	654	(1) 气割前的准备工作	701
2. 机械落砂除芯	657	(2) 冒口切割余量	701
(1) 机械振动落砂机的结构类型	657	(3) 热割冒口的规定	701
(2) 滚筒式落砂机	660	(4) 冒口气割工艺	702
(3) 风动砂芯落砂机	661	(5) 高锰钢铸件浇冒口的切割	703
(4) 选择机械落砂机的原则	661	三、铸件的表面清理	703
(5) 机械落砂、除芯的操作	664	1. 表面清理方法、特点及应用	703
3. 水力清砂除芯	664	2. 选用清理设备的原则	705
(1) 水力清砂除芯的工作原理	664	3. 滚筒清理	705
(2) 水力清砂工艺参数的选择	665	(1) 滚筒清理设备	705
(3) 水力清砂除芯设备	665	(2) 滚筒清理的操作	705
(4) 水力清砂除芯的操作	670	4. 喷丸清理	706
4. 水爆清砂除芯	673	(1) 喷丸清理设备	706
(1) 水爆清砂除芯装置	673	(2) 喷丸清理的操作	706
(2) 水爆清砂除芯的操作	679	5. 喷砂清理	708

6. 抛丸清理	709	(2) 白口铸铁件消除内应力退火	754
(1) 抛丸清理设备的分类	709	(3) 球墨铸铁件消除内应力时效处 理	755
(2) 抛丸清理的操作	713	2. 铸钢件内应力的消除	755
(3) 使用抛丸设备注意事项	714	(1) 铸钢件消除内应力回火	755
7. 机械和风动工具表面清理	715	(2) 焊补后铸钢件消除内应力回火	755
(1) 砂轮机表面清理	715	3. 非铁合金铸件内应力的消除	756
(2) 风动工具表面清理	718	(1) 铝合金铸件内应力的消除	756
四、铸件的矫形	721	(2) 铜合金铸件内应力的消除	756
1. 矫形方法	721	七、铸件的防锈涂装	757
(1) 自由矫形	721	1. 铸铁、铸钢件的防锈涂装	757
(2) 冷矫形和热矫形	722	(1) 常用涂装方法	757
(3) 矫形模整体矫形	723	(2) 常用防锈漆的品种及施工要求	766
2. 矫形设备的分类及选择	723	(3) 防锈漆品种的选择	765
(1) 矫形设备的类型、特点及适用 范围	723	(4) 铸件的防锈	766
(2) 矫形设备压力的选择	724	2. 非铁合金铸件的防锈处理	767
3. 矫形模	725	(1) 镁合金铸件的氧化防锈处理	787
(1) 矫形模用材料	725	(2) 钝化处理	770
(2) 矫形模的设计	725	参考文献	770
(3) 矫形模的典型结构	726	第六章 铸件缺陷分析及铸件质量 检验	771
五、铸件的修补	727	一、铸件缺陷分析	771
1. 手工电弧焊焊补	727	1. 多肉类缺陷	771
(1) 铸铁件的焊补	727	(1) 飞翅(飞边、披缝)、毛刺	771
(2) 铸钢件的焊补	733	(2) 抬型(抬箱)	772
(3) 非铁合金铸件的焊补	735	(3) 胀砂	773
2. 气体保护焊焊补	737	(4) 冲砂	773
(1) 铸铁件的焊补	737	(5) 掉砂	774
(2) 铸钢件的焊补	738	(6) 外渗物(外渗豆)	775
(3) 非铁合金铸件的焊补	738	2. 孔洞类缺陷	776
3. 气焊焊补	738	(1) 气孔、针孔	776
(1) 铸铁件的焊补	738	(2) 缩孔、缩松、疏松(显微缩松)	778
(2) 铸钢件的焊补	742	3. 裂纹、冷隔类缺陷	780
(3) 非铁合金铸件的焊补	742	(1) 冷裂	780
4. 环氧树脂粘补法	744	(2) 热裂	781
(1) 环氧树脂胶粘剂	744	(3) 白点(发裂)	782
(2) 粘补操作	746	(4) 冷隔	782
5. 铸件渗漏的修补方法	747	(5) 热处理裂纹	783
(1) 浸渍法	747	4. 表面缺陷	784
(2) 金属喷镀法	751	(1) 鼠尾、沟槽、夹砂结疤	784
(3) 腻子填补法	752	(2) 粘砂(机械粘砂、化学粘砂、 热粘砂)和表面粗糙	785
六、消除铸件的内应力	752	(3) 皱皮	787
1. 铸铁件内应力的消除	753		
(1) 灰铸铁件消除内应力时效处理	753		

(4) 缩陷.....788

5. 残缺类缺陷.....789

(1) 浇不到.....789

(2) 未浇满.....789

(3) 跑火、型漏(漏箱).....790

(4) 损伤(机械损伤).....791

6. 形状及重量差错类缺陷.....792

(1) 尺寸和重量差错.....792

(2) 变形.....793

(3) 错型(错箱).....794

(4) 错芯.....795

(5) 偏芯(漂芯).....795

(6) 春移.....796

7. 夹杂类缺陷.....797

(1) 金属夹杂物.....797

(2) 冷豆.....797

(3) 内渗物(内渗豆).....798

(4) 夹渣、渣气孔.....799

(5) 砂眼.....800

8. 性能、成分、组织不合格.....800

(1) 物理、力学性能和化学成分不合格.....800

(2) 石墨漂浮.....801

(3) 石墨集结(石墨粗大).....802

(4) 组织粗大.....803

(5) 偏析.....803

(6) 硬点.....805

(7) 白口.....806

(8) 反白口.....806

(9) 球化不良和球化衰退.....807

(10) 亮皮(珠光体层过厚).....808

(11) 菜花头.....808

二、铸件质量检验.....809

1. 铸件外观质量检验.....810

(1) 铸件形状和尺寸检测.....810

(2) 铸件表面粗糙度的评定.....816

(3) 铸件重量偏差的检验.....820

(4) 铸件浇冒口残余量的检验.....821

(5) 铸件表面和近表面缺陷检验.....821

2. 铸件内在质量检验.....831

(1) 铸件力学性能检验.....831

(2) 铸件特殊性能检验.....833

(3) 铸件的化学分析.....834

(4) 铸件显微组织的检验.....835

(5) 铸件内部缺陷的无损检验.....835

参考文献.....841

第七章 铸造工艺新技术.....843

一、铸件凝固过程计算机数值模拟.....843

1. 铸件传热的基本方程.....843

2. 不稳定导热方程数值解法.....843

3. 铸件凝固过程数值方程求解条件.....845

(1) 初始条件.....845

(2) 边界条件.....846

(3) 热物性值.....846

(4) 凝固潜热处理.....853

(5) 铸件几何模型.....854

4. 铸件缩孔和缩松的预计.....854

(1) 等温曲线法.....855

(2) 温度梯度法.....855

5. 计算举例.....855

(1) 一维显式差分法.....855

(2) 二维交替方向隐式解法.....864

二、实型铸造.....867

1. 实型铸造原理.....867

2. 模样材料与制模.....867

(1) 聚苯乙烯泡沫塑料性能.....867

(2) 制模.....868

3. 实型铸造工艺.....869

(1) 造型.....869

(2) 浇冒口系统.....869

(3) 涂料.....869

(4) 落砂.....870

4. 实型铸造生产实例.....870

三、悬浮铸造.....872

1. 悬浮剂.....872

(1) 悬浮剂的作用.....872

(2) 悬浮剂的基本要求.....873

(3) 悬浮剂的制作.....874

2. 悬浮铸造工艺.....875

(1) 悬浮剂的加入量.....875

(2) 悬浮剂加入方法.....876

(3) 浇冒口系统计算.....877

3. 悬浮铸造对铸件组织和性能的影响.....879

4. 悬浮铸造举例.....	879	3. 真空密封造型的主要工艺装备.....	883
(1) 锥体悬浮铸造工艺简介.....	879	4. 真空密封造型主要原材料.....	885
(2) 锥体铸件质量检验.....	879	5. 真空密封造型的工艺参数.....	886
四、真空密封造型.....	881	6. 真空密封造型举例.....	888
1. 真空密封造型的原理.....	881	参考文献	889
2. 真空密封造型的主要设备.....	882		

第一章 绪 论

铸造是零件毛坯最常用的生产工艺之一。目前在汽车、拖拉机、机床等产品中，约有25%~80%（按重量）的零件毛坯采用铸件。

铸造具有很多特点；与其他成形工艺相比，它不受零件毛坯的重量、尺寸和形状的限制，重量从几克到几百吨，壁厚由0.3mm到1m的零件，以及形状十分复杂，用机械加工十分困难，甚至难以制得的零件，都可用铸造方法获得。

铸造由于可选用多种多样成分、性能的铸造合金，加之基本建设投资小，工艺灵活性大和生产周期短等优点，因而广泛地应用在机械制造、矿山冶金、交通运输、石化通用设备、农业机械、能源动力、轻工纺织、土建工程、电力电子、航天航空、国防军工等国民经济各部门，是现代大机械工业的基础。

铸造工艺（造型、造芯、浇注、落砂、清理及其后处理等）是铸造生产的核心，是能否生产优质铸件的关键，古今中外都把提高和发展工艺水平，视为推动行业技术进步，满足经济和社会发展需要的一个重要组成部分。

据出土文物考证和文献记载，我国的铸造技术已有6000年的悠久历史，是世界上最早掌握铸造工艺的文明古国之一。铸造技术的成就推动了农业生产、兵器制造、人民生活及天文、医药、音乐、艺术等方面的进步。

毫不夸张地说，铸造在我国古老的历史上占有极其重要的地位。远在青铜时代和封建社会的前期，大部分青铜器件和铁器件都由铸造成形，这一点和欧洲主要使用锻造成形有所不同。聪明的古代铸造匠师们以其精湛的技艺创造了一系列优秀技术，从而谱写了留芳于后世的铸造史。

在我国夏代，就开始采用陶范（泥型）铸造青铜手工器具和农具，它对商周社会的发展起了重大作用，从而，造就了举世闻名的以葬器铸造为特征的灿烂的商周青铜文化。铸接工艺到商代晚期已臻成熟，并具有各种形式。最著名的司母戊大方鼎，高1.33m、长1.16m、宽0.79m，重达875kg。经X射线探伤检测，认定其鼎耳就是用铸接工艺同鼎体连接的。

春秋战国时期，陶范铸造技术有了新的发展，突出表现在编钟和剑的铸造上。湖北随县曾侯乙大型编钟群共65枚，总重达2.5t，每钟可发出两种乐音。它的出土，引起了国内外普遍重视，被誉为“世界第八大奇迹”。形状极其复杂的甬钟，铸型分为两段四个层次，由百余块范芯组成。湖北江陵出土的越王勾践剑，至今光亮无锈，锋利如新，剑首同心圆薄壁构造，厚仅0.4mm，系铸造成形。

铸铁，是生铁冶铸技术在世界上的最先发现并得以广泛使用的一项发明，是世界冶金史上具有重大意义的事件，并由此而形成了东西方古代钢铁技术的不同发展途径——东方的铸铁文化和西方的锻铁文化。我国最早的铸铁实物出现于春秋中期（公元前6、7世纪）。就对中国社会历史发展的影响来说，铸铁所起的作用继古代四大发明之后，称之为中国第五大发明是当之无愧的。

为了创制更复杂的器形和纹饰，到西周东周之交，在陶范铸造的基础上，我国又发明了熔模（失蜡）铸造工艺。1978年湖北随县出土的战国初期的青铜尊和盘，就是我国先秦熔模

铸造产品的例证。铜尊中形状与范纹最复杂的部位是颈部的透空附饰，它是由三个层次的铜撑、铜梗和纹饰组成，经考古反复论证，它属于熔模铸造的铸件。

西汉时期云南滇池生产的贮贝器、铜兵器，有的由数百个动物、人像镶铸成形，有的蟠绕着牛、虎、蛇等动物形象，具有熔模铸造艺术铸件的典型特征。该文物的出土是这一工艺在边远少数民族地区得以应用的重要例证。

到清代，宫廷手工业就是采用熔模铸造法作为创作艺术铸件的主要方法。

从早期的青铜尊、盘透空附饰，到现今的无余量叶片，显然有其内在的历史联系与渊源。

随着生铁冶铸技术的发展和铸铁性能的提高，采用铁范（铸铁金属型）成批铸造生铁铸件，是我国冶铁术的重大创造，曾引起了国内外的广泛重视。汉代至南北朝，我国铁范的应用范围逐步扩大，斧、铤、锄、镰等农具，都采用铁范来生产。唐宋时期犁铧、犁镜，鸦片战争期间的铸炮等，也是采用铁范铸制的。我国1942年出版的《铸炮铁模图说》一书中详细记述了铁范制作工艺及其优点，铁范可多次使用、铸件质量好、生产成本低、节省工时、适于战时使用等，这可称得上是世界上最早阐述铸铁金属型的专著，也说明我国用铸铁金属型有较长的历史。

到春秋中、晚期，我国开始采用层叠铸造批量生产小型铸件的先进技术，如铸造青铜刀币，它不仅能减少作业面积、提高生产率，而且可以改善铸件质量。到汉代叠铸技术应用得更为广泛，如用来制作钱币、车马器等，规范化的程度更高。至今叠铸仍在我国一些手工制作和个别机器造型的厂家中应用，这是一种深受工人欢迎的工艺。

唐代以后，大型、特大型铸件的不断涌现，表明中世纪我国冶铸生产的宏大规模。现存著名的大型铸件有：沧州铁狮（约40t）、正定铜佛（约50t）、当阳铁塔（约40t）、兰州铁柱（约14t）、永乐大钟（约46t）等。目前，我国各地可见的大型铸件还有鼎、炉、旗杆、铁牛、大炮、浑仪和针炙铜人等，其铸造方法有分段接铸，分铸组装和整体浇注等三种。造型、造芯工艺大多为先作好蜡模或其他材质的实样，外型用泥范分组分段成型，泥芯一般是做成整体的，如沧州铁狮用409块泥范做出外型，泥芯就是整体的。隋唐以来，大型铜、铁铸件生产规模之大，铸造技术难度之高，在世界上是罕见的。

总之，我国古代的铸造工匠，在长期的实践中表现出了卓越的才能、无穷的智慧及惊人的创造力，为铸造业的发展做出了巨大的贡献。上述商周陶范铸造、传统熔模铸造、生铁冶炼技术、铸铁金属型、层叠铸造和大型铸件铸造等重大技术成就，使我国古代的铸造工艺，从商代中、晚期到产业革命前，一直处于世界领先地位。其中有些铸造工艺，虽然经历了几千年的发展和演变，但仍沿用到今，受到广大铸造工作者的欢迎。

由于中国封建社会的历史过于漫长，进入近代后，中国铸造技术长期处于停滞状态，新中国成立后，挣脱了封建的枷锁，我国的铸造技术又有了很大的发展，突出地表现在三个方面：造型、造芯的机械化自动化程度明显提高；取代干型粘土砂和油砂的化学硬化砂的广泛应用；铸造工艺技术由凭经验走向科学化。这对于提高生产效率，降低劳动强度，改善铸件的内在质量和外观质量，节约原材料及能源，起了重大作用。

世界各国都很重视企业铸造生产的机械化自动化程度。从工业发达国家的造型机械化程度来看，1970年日、美达50%~60%，前苏联40%，到1980年日、美增加到80%，前苏联75.8%。他们经历了从单机开发，提供成套工艺设备和普及机械化、自动化生产线到机电一

体化, 电子计算机等自控系统在铸造工艺、设备和管理中应用等三个发展阶段。我国从50年代初纺织机械行业(上海中国纺织机械厂, 山西经纬纺织机械厂)自行设计、投产的机械化造型的铸造车间开始, 先后在机床、汽车、拖拉机、等企业从国外引进了机械化造型生产线, 从此结束了我国长期沿袭下来的单一的手工造型方法, 进入了机械化生产年代。低噪声的气动微震造型机是批量生产中、小铸件, 较为经济、应用最广泛的一种造型设备, 由于它使用的砂箱简单、动力源单一、灵活性大、对型砂无特殊要求等特点, 近几年的实践证明, 由一对或两对造型机为主机布线的机械化、半自动、自动造型线具有投资少、周期短、可靠性好和操作维修方便等优点、特别是具有稳定可靠的生产率, 为中小企业带来了可观的效益。但是, 这种设备生产的砂型紧实度较低, 起模斜度较大, 生产出的铸件精度和表面质量仍不理想, 用来生产壁厚 $3.5\sim 4.0\pm 0.5\text{mm}$ 的铸件十分困难。60年代以后, 在大批量生产铸铁件的铸造车间又开发了高压造型生产线。高压造型的主要优点是: 由于机械化自动化程度高, 因而生产效率很高, 一般200型/h左右; 砂型紧实度高且较均匀, 浇注时变形小, 铸件精度高(可达CT10~CT12级)和表面质量好(一般表面粗糙度为 $R_a.25\sim 50\mu\text{m}$)。高压造型机的种类很多, 近年来国内外推广应用的主要是多触头高压造型机和射压造型机。后者又分为水平分型和垂直分型两种。相对来说, 多触头高压造型机多用于比较大的铸件, 而射压造型机多用于比较小的铸件。无箱射压造型机的结构简单、紧凑, 成线辅机少, 生产效率高。只要工艺上合理, 具备批量生产规模, 用这种造型机是比较经济的, 特别适用于无芯或少芯的铸件。其中水平分型的射压造型机更引起不少企业的关注, 因为在工艺上不需要变动, 又可省去大量价格昂贵且维修量大的砂箱, 所以国内外目前应用较多。但是, 多触头高压造型机的结构比较复杂, 造价高, 对设备的维修保养要求也较高, 对工艺装备如模样、砂箱等要求高, 尤其是噪声较大, 砂型紧实度分布不均。为此, 瑞士GF公司于1978年提出了燃气冲击造型工艺的专利, 并于1980年出售了第一条生产线。该公司又于1982年开发售出了空气冲击造型生产线, 随后德国BMD公司1983年也售出了第一条气冲造型生产线。这种最新的造型方法可以一次紧实成型, 能以较低的有效压力得到较大的砂型强度和较高的紧实度。它的主要特点是: 机器结构较简单, 砂型的紧实度高且分布均匀, 能生产出较复杂的砂型, 生产效率高, 工作噪声较低, 对模样选材无特殊要求。尤其是压缩空气冲击造型机, 不需要特殊的压气机, 使用安全可靠, 工作方便, 是近年来发展较快, 应用较广的一种造型方法, 在我国已有不少工厂投产应用。而且, 空气冲击造型机在国内也已研制成功并设计制造出成套的气冲造型线。但是, 拥有较先进的成套技术设备的铸造厂目前在我国还为数不多, 仅限于汽车、内燃机、机床等一些大、中型企业里。我国约80%以上的铸造厂点, 仍然以手工造型为主, 特别是占全国铸造厂点55%以上的乡镇企业更是如此。我国造型机械化程度平均为27.3%, 而且, 各工部不协调, 成套性差等问题还严重存在。因此提高我国铸造生产机械化自动化程度, 对于改善铸件质量, 节约能源与原材料, 减轻劳动强度、增加企业效益, 有着极其重要的作用。

我国铸造行业中80%以上的铸造车间属于单件、小批量、多品种生产, 特别是生产大中型铸件, 仍以粘土砂干型为主, 因为它的生产成本低, 灵活性大, 适用范围广。但是用此法生产出的铸件尺寸精度低, 表面质量差, 能源和原材料消耗多, 生产效率低, 劳动强度大, 企业的效益差。早在50年代初, 英国首次将水玻璃作为型砂粘结剂引进了铸钢车间, 当时唯一的硬化剂是 CO_2 。 CO_2 法是第一个替代粘土砂干型和热硬化硅砂的化学硬化砂造型工艺。它的