

铸件生产

流程精讲

彭凡 原晓雷 薛蕊莉 等编著

非外借

共享知识 共同进步

摆脱枯燥的理论 轻松掌握铸造技术

值得铸造人拥有的一本实用铸造技术图书



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

铸件生产流程精讲

彭 凡 原晓雷 薛蕊莉

[比] 亨德里克斯·斯塔夫 (Henderieckx Staaf)

编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书系统地介绍了从铸件的设计到铸件的标识和加工的所有生产流程。其主要内容包括：铸件设计和图样，铸造工艺设计，模样设计，铸型和芯，熔炼与浇注，铸件落砂、铲磨与清理，铸件的热处理，铸件的技术条件、检验和试验，铸件修复，铸件的表面处理，铸件标识和机械加工。本书语言文字简洁，并配有丰富的实际生产过程中的图片，直观易懂，实用性强。

本书可供铸造工程技术人员、工人阅读使用，也可作为相关专业在校师生的参考书。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2018-1089号。

图书在版编目（CIP）数据

铸件生产流程精讲 / 彭凡等编著. — 北京：机械工业出版社，2019.4
ISBN 978-7-111-62294-9

I . ①铸… II . ①彭… III . ①铸造 - 生产工艺 IV . ①TG24

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 049962 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：沈 红 臧弋心 责任编辑：贺 怡 李含杨 王 琰 王彦青

责任校对：陈 越 封面设计：马精明

责任印制：张 博

北京铭成印刷有限公司印刷

2019 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 14.5 印张 · 322 千字

0 001—2 500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-62294-9

定价：98.00 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

服务咨询热线：010-88361066 机 工 官 网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294 机 工 官 博：weibo.com/cmp1952

金 书 网：www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

前言

PREFACE

制造业是国民经济的主体，是科技创新的主战场，是立国之本、兴国之器、强国之基。铸造是装备制造业的基础产业，已有约 6000 年的发展历史。我国铸造产量连续 18 年稳居世界第一，全球每年铸件市场规模约为 1 万亿元，我国约占 45%，从业人数 200 万人，企业 2.6 万家，是名副其实的“铸造大国”。总体上，我国铸造产业存在生产环境差、劳动强度大、效率低、铸件质量不高、环境污染等问题，亟待向绿色智能转型发展。

无论是铸件的设计者和生产者，还是使用者，都肩负着持续提高铸造品质的使命，那么了解所有的铸造生产类型和工艺方法等内容，是非常必要的。大多数铸造产品的用户并不是很理解铸件的设计、生产和采购的基本原则和要求，大多数情况下他们会依据惯例进行相似产品的购买。作为铸造厂——铸件的设计者和生产者，有必要、也有义务向铸件市场的用户和铸造从业者适当地告知其铸造的基本概念、生产流程等，并尽可能地使其了解铸件的性能特点和局限性。因此，我们编写了这本《铸件生产流程精讲》。

我们试图在本书中对各种铸件生产流程做出阐述，但因为材料、生产类型的复杂性和动态性，难免有些新的技术、流程没有编写进去。希望读者对本书多提宝贵意见，以使本书日臻完善，更适应读者的需求。

本书主要内容由彭凡、原晓雷、薛蕊莉、亨德里克斯·斯塔夫（Henderieckx Staaf）编写。在编写过程中得到了张俊勇正高职高级工程师、张龙江博士、安玲玲工程师等多人的协助，在此一并表示感谢。

本书编写人员均来自企业一线，所编写的内容更加实用，但是难免有错误、遗漏和不妥之处，还望读者批评指正。

编 者



前言

第 1 章 概述 1

第 2 章 铸件设计和图样 5

2.1 简介	5
2.2 工艺参数	5
2.2.1 机械加工余量	5
2.2.2 模样起模斜度	5
2.2.3 消除砂芯的措施	7
2.2.4 机械加工的参考点及“基准面”	7
2.2.5 最大应力集中的区域/壁厚	7
2.2.6 铸件的尺寸公差	7
2.3 总结	10

第 3 章 铸造工艺设计 11

3.1 简介	11
3.2 材料和处理	11
3.3 浇注系统	12
3.3.1 简介	12
3.3.2 浇注系统描述	12
3.3.3 浇注系统设计	15
3.3.4 总结	15
3.4 冒口和冷铁	16
3.5 模拟程序	17
3.6 模样	18
3.7 作业指导书	18
3.8 总结	18

第4章 模样设计 19

4.1 定义	19
4.2 线收缩率(模样收缩率).....	21
4.3 模样设计要求	23
4.3.1 铸件尺寸公差	23
4.3.2 铸件质量	23
4.3.3 模样寿命	23
4.3.4 模样成本	24
4.3.5 铸件成本	24
4.4 标准	25
4.4.1 质量级别	25
4.4.2 尺寸公差级别	25
4.4.3 起模斜度	26
4.4.4 颜色	27
4.4.5 使用建议	28
4.5 模样概述和评价	28

第5章 铸型和芯 35

5.1 简介	35
5.2 造型方法	38
5.2.1 简介	38
5.2.2 手工造型	40
5.2.3 机器造型	43
5.2.4 壳型	49
5.2.5 熔模精密铸造(失蜡法).....	51
5.2.6 石膏型和陶瓷型	54
5.2.7 消失模造型	56
5.2.8 真空造型	60
5.2.9 永久型(金属型)铸造	61
5.2.10 3D打印型(芯).....	65
5.2.11 凝壳铸造	66
5.2.12 离心铸造	68
5.2.13 连续铸造	72
5.2.14 压力铸造	73
5.2.15 挤压铸造	77
5.2.16 半固态金属挤压铸造	78
5.2.17 单晶铸造	78



5.2.18 粉末冶金	79
5.3 铸型	81
5.4 制芯	83
5.4.1 简介	83
5.4.2 型芯类型	84
5.5 造型材料	85
5.5.1 造型用砂	86
5.5.2 陶瓷	89
5.5.3 石膏	89
5.5.4 金属	89
5.5.5 涂料	90
5.6 总结	92
第 6 章 熔炼与浇注	93
6.1 熔炼	93
6.1.1 简介	93
6.1.2 熔炼方法	93
6.1.3 浇注重量	103
6.1.4 金属炉料	105
6.2 浇注	108
6.2.1 简介	108
6.2.2 冶金处理	108
6.2.3 浇注要求	110
6.3 出炉温度与浇注温度	115
6.3.1 简介	115
6.3.2 温度计算	116
6.3.3 总结	118
第 7 章 铸件落砂、铲磨与清理	119
7.1 落砂	119
7.2 铸件清理工作量	120
7.3 铸件清理	121
7.3.1 抛丸	121
7.3.2 去除浇注系统和冒口	125
7.3.3 去除飞边及其他缺陷	126
7.4 建议	128

第 8 章 铸件的热处理	131
8.1 简介	131
8.2 热处理过程及材料的选择	132
8.2.1 热处理过程	132
8.2.2 材料的选择	134
8.3 硬度与淬透性	134
8.3.1 硬度	134
8.3.2 淬透性	136
8.3.3 相关数据	137
8.4 连续冷却转变图	139
8.5 热处理类型	141
8.5.1 正火	141
8.5.2 硬化	143
8.5.3 淬火和回火	143
8.5.4 回火	144
8.5.5 二次硬化	144
8.5.6 去应力退火	145
8.5.7 软化退火	146
8.5.8 碳化物溶解退火	146
8.5.9 低温处理(过冷)	147
8.5.10 马氏体等温淬火(硬化)	147
8.5.11 奥氏体等温淬火	148
8.6 总结	149
第 9 章 铸件的技术条件、检验和试验	150
9.1 简介	150
9.2 质量体系	151
9.2.1 简介	151
9.2.2 体系改进	151
9.2.3 设备和工具校准	153
9.2.4 铸件检验程序	153
9.3 铸件质量	156
9.3.1 简介	156
9.3.2 常规材料标准	156
9.3.3 尺寸检测	157
9.3.4 健全性质量检验	160
9.3.5 表面检验	164



9.3.6 其他检测	172
9.4 材料的性能	176
9.4.1 简介	176
9.4.2 分析	176
9.4.3 微观结构	177
9.4.4 力学性能	181
9.4.5 物理性能	189
9.4.6 耐蚀性	190

第 10 章 铸件修复 191

10.1 简介	191
10.2 缺陷类型	191
10.2.1 材料缺陷	192
10.2.2 铸件的内在和表面质量	193
10.2.3 铸件的外形尺寸	195
10.2.4 对服役环境的耐受性	195
10.2.5 其他要求	195
10.3 修复方法	196
10.3.1 热处理	196
10.3.2 磨削和喷丸	196
10.3.3 机械加工	196
10.3.4 黏结剂腻子子的使用	196
10.3.5 焊接	197
10.3.6 其他修补方法	197
10.4 焊接性	198
10.4.1 焊接碳当量	198
10.4.2 预热	198
10.4.3 焊后热处理	199
10.5 程序	200
10.6 报告	201
10.7 总结	201

第 11 章 铸件的表面处理 202

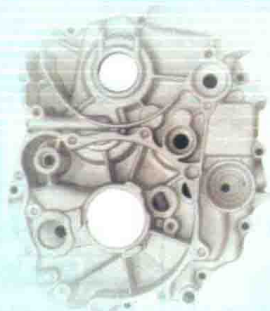
11.1 清理	202
11.1.1 机械清理	202
11.1.2 化学清理	202
11.1.3 电化学清理	203

11.1.4	抛光	203
11.2	改变铸件表面应力状态	204
11.3	在铸件上应用另一种材料(保护层)	204
11.3.1	电镀	204
11.3.2	热浸镀	205
11.3.3	特殊涂料	205
11.3.4	有机涂料	205
11.3.5	粉末涂料	207
11.3.6	电泳涂装	207
11.4	硬化层的应用	208
11.4.1	耐磨堆焊	208
11.4.2	熔覆焊	208
11.4.3	热喷涂	209
11.4.4	搪瓷	209
11.5	表面硬化	210
11.5.1	非合金化处理	210
11.5.2	加入合金元素	212

第 12 章 铸件标识和机械加工 214

12.1	简介	214
12.2	材料问题	217
12.2.1	非奥氏体材料(铁素体、珠光体、贝氏体基体)	217
12.2.2	马氏体材料	217
12.2.3	奥氏体材料	217
12.3	铸件缺陷	218
12.3.1	铸件表面	218
12.3.2	铸件补焊	218
12.3.3	铸型相关缺陷	218
12.3.4	起模斜度/斜率	219
12.3.5	加工余量太多或不足	219
12.3.6	铸件弯曲/变形	220
12.4	总结	220

参考文献 222



要生产出满足设计者或顾客所有要求和愿望的铸件，必须完成好铸件生产中的几个步骤。每一个步骤都是重要的，都会影响到铸件的最终质量。铸件生产的简化流程图如图 1-1 所示。

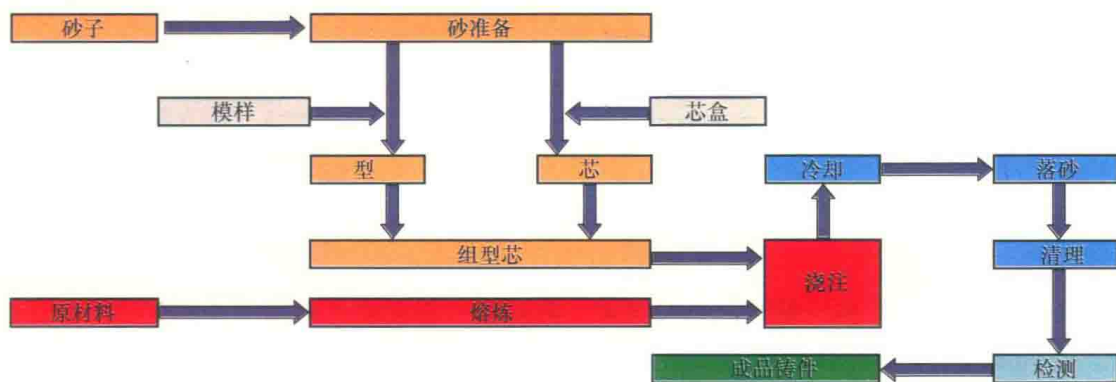


图 1-1 铸件生产的简化流程图

比较详细的铸件生产流程图如图 1-2 所示。这些都是正常的批量件生产流程，首件的生产流程当然是不一样的。技术部门依赖其技术和经验确定模样形状和尺寸、浇注系统、冒口和冷铁，保证铸件获得正确的尺寸、内在质量和表面质量。即使采用有效的模拟软件，如果首件（试验件）不符合质量要求，仍必须进行修改设计再生产新的试验件。如果试验件符合要求则要生产几件（批量验证）来验证工艺过程的稳定性，以保证获得正确的结果。

最重要的文件是最终产品的图样，也就是“全加工后”和“完全热处理及表面处理后的”铸件图样。依据图样信息，设计生产铸件所需要的模样或铸型。

使用模样工装（模样、芯盒、上下模板等）生产铸型和砂芯，并进行合箱准备浇注。砂型铸造的示例如图 1-3 所示。

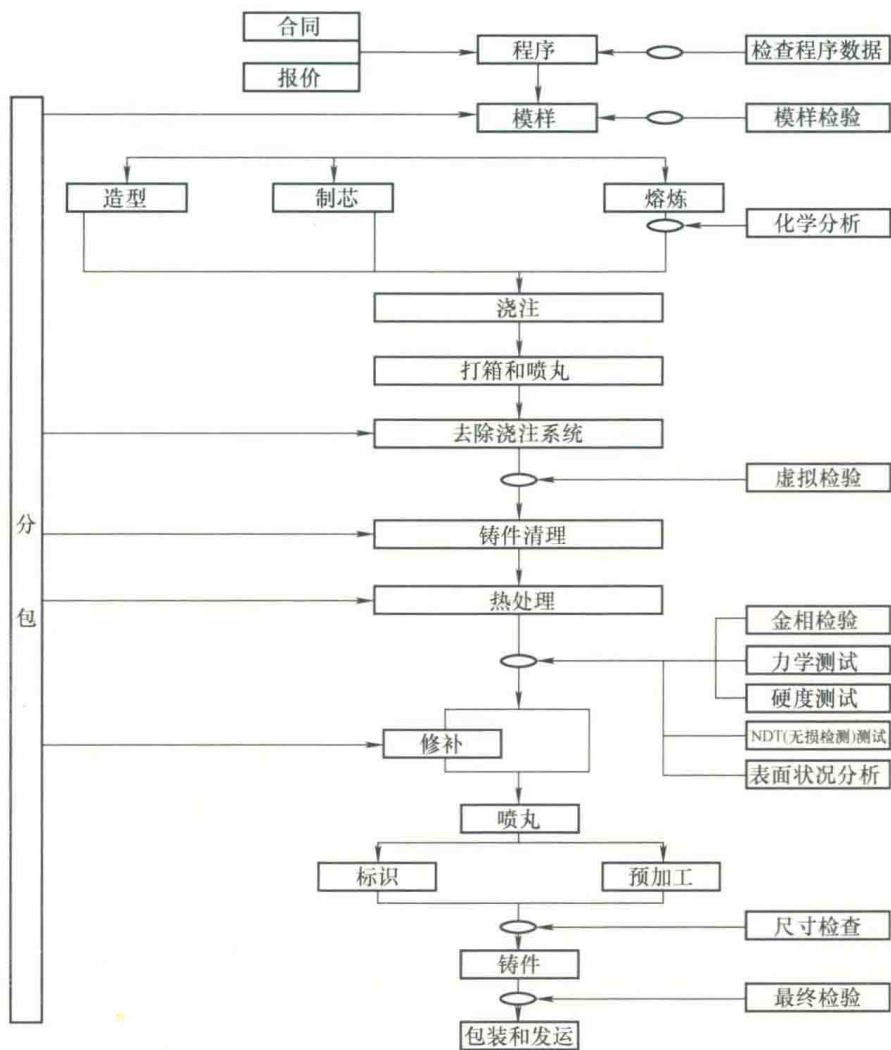


图 1-2 详细的铸件生产流程图

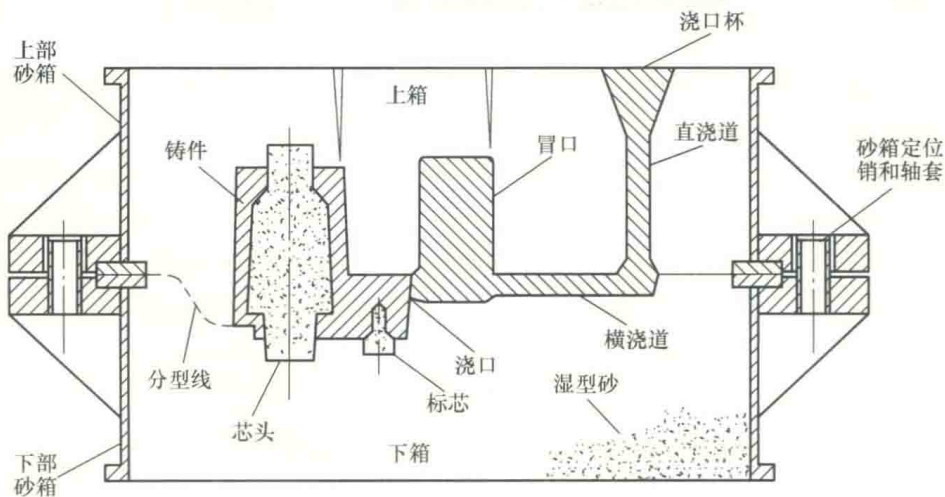


图 1-3 砂型铸造的示例

模样 / 芯盒是可以重复使用的，所以模样 / 芯盒的任何不符合性都是可以复制的，使用其生产的铸件就会产生相同的问题。

所有模样要完全正确并易于使用。尤其在批量件生产中，建议在通过首件和批量件验证后对模样进行彻底的改进以使其更加正确和易于使用。虽然这会花大量时间和费用，但是总比后续批量生产中由此引起的不合格和问题造成的成本要低。

不是所有的铸造厂都有模样生产部门，如果铸造厂只完成铸造工艺设计（起模斜、型芯间隙、模样收缩率、浇注系统等），并将模样分包给专业的和独立的模样生产厂则更能保证模样的质量。

但是工艺设计由分包模样设计公司来做是有风险的，这样的铸造厂不知道铸造工艺是如何设计的，从而依赖于某模样生产厂或供应商。

必须由铸造厂自己完成的工序有：造型、熔炼和浇注，有些工序如制芯、清理、修磨、检测和可能的铸件修补是可以分包的，当然这些都是需要权衡成本的。

有些性能要经过热处理才能达到要求，有时顾客会要求额外的热处理（如去应力退火）。这些热处理可由铸造厂自己做或由专业的公司做。

生产好的铸件还需要一些额外的作业，包括：涂装和表面硬化等，几乎所有的铸件都要经过机械加工，如：车、铣、钻等，这些有时候可以授权给铸造厂做，但在大多数情况下都是顾客自己做。

总结

- 1) 模样生产，包括芯盒、浇注系统和模板。这些必须要符合铸件的形状结构。
- 2) 砂芯可以单独采购。
- 3) 砂子要与黏结剂（如膨润土）进行彻底、充分的混合，以增加黏结性和最终强度（仅对于湿型砂）。
- 4) 模样和浇注系统（内浇道、横浇道、冒口、出气和浇口杯）周围填砂时要进行很好的紧实。冷铁是用来加快厚大断面或热节部位冷却，调整凝固顺序。紧实操作（捣实、振动等）使型芯强度均匀。起模后，铸型要经过干燥窑烘干以增加强度或等待自硬干燥（呋喃、酚醛等）。
- 5) 组芯并与铸型装配在一起准备浇注金属。两半铸型的配合是由铸型里的或排列在两个砂箱之间的“定位销”（砂芯或金属的）来实现，形成一个考虑到金属收缩量的所需尺寸和形状的型腔，成品铸件所需要的任何复杂结构都包含在型腔中。因此铸型材料必须能重复制作所需的产品形状细节，并具有耐火性能，使其不会受到熔融金属的显著影响。生产每一个铸件都需要一个新的铸型，或由能够承受重复使用的材料制作，后者称为永久性铸型。
- 6) 金属在熔炉中加热到高于液相线的一个合适的温度范围（浇注完成前金属不能凝固）。确切的温度要依据应用情况严格地控制。脱气和除去杂质等冶金处理都在这个阶段进行。金属炉料的一部分是用以前的废件或浇注系统、冒口等的回收料。



7) 金属液浇入浇口盆, 平稳而连续地填充铸型, 直到铸型充满。熔融金属浇入到充满空气或气体的铸型, 型腔中的气体和金属与造型材料反应产生的气体要通过出气孔或明冒口溢出, 型腔完全充满。高质量的铸件必须是致密的, 没有缩松和气体缺陷。

8) 熔融金属冷却时 (从几秒钟到几小时, 这取决于铸件的壁厚) 金属会收缩, 体积将减小 (取决于金属的类型和化学成分)。在此期间, 液体金属可从冒口流入铸件进行补缩 (补偿体积收缩) 以保持所需的形状。必须注意的是铸型在金属凝固后的收缩过程中不能产生太大的阻力, 否则会造成铸件开裂 (铸件在高温时的强度较低)。另外, 铸件的设计必须使铸件在液态和凝固收缩时不产生裂纹或内部缩松。

9) 当铸件开始凝固, 就会在内部产生细小的枝晶, 这个过程决定金属的性能, 并产生内部应力。如果一个铸件以恒定的冷却速率缓慢冷却, 则最终获得的铸件组织相对比较均匀而且没有内部应力。

10) 一旦铸件完全凝固至低于共晶点, 在这个阶段拆开铸型取出铸件 (打箱) 将不影响最终金属的性能。此时铸件表面还黏附着一定的砂子, 并且里面还有未溃散的芯砂。为确保从铸型中取出铸件, 大多数的铸型 (尤其是永久性铸型) 必须由两半或由更多部分组成。

11) 大量的剩余型砂或芯砂可通过机械敲击铸件或手工方式去除。另外也可以选择振动、抛丸等方法。

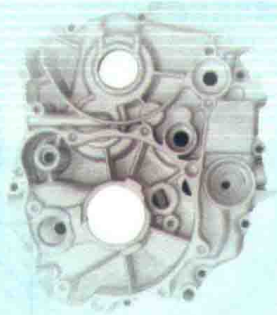
12) 落砂后清理操作就是需要将铸件的多余材料去除, 如引入金属的浇注系统、补缩的冒口及附着在铸件上的粘砂。打磨操作就是去除一些遗留的多肉, 清理操作就是去除一些氧化物等。铸件需使用风铲、焊炬切除浇道、内浇口等, 并通过磨削去除多余金属, 清理氧化夹杂物。

13) 采用机械加工获得最终形状的铸件。

14) 铸件检测: 铸件材料力学性能、表面状况、表面和内在质量、尺寸等。

这些步骤在下面的章节将要逐一讨论。

第2章



铸件设计和图样

2.1 简介

产品图是铸件生产的基础。这是因为图样是铸件生产的开始，包含了生产铸件的所有信息，这些信息可以保证加工后获得最好的产品。以产品图（铸件图）为开始，制定其他图样：铸造工艺图和模样图。要实现这些，下面的内容是必需的。

2.2 工艺参数

2.2.1 机械加工余量

ISO 8062（GB/T 6414）中规定了机械加工余量的选取。机械加工余量应适应由于材料的收缩而引起的长度上的尺寸波动，另外还要考虑铸件位于上箱的一侧总会有夹杂物（氧化物、夹砂、夹渣等），要去除夹杂物就需要额外增加加工余量。

2.2.2 模样起模斜度

图 2-1 给出了模样起模斜度或用型芯代替斜度，以保证铸型的起模。

模样从铸型里取出必须在表面上有斜度，斜度越大越容易取出，如图 2-2 和图 2-3 所示。

如果不允许有斜度，则有两种方法解决：

- 1) 将斜度包含在加工余量里，加工后就没了（见图 2-4）。
- 2) 可以利用额外的型芯来代替斜度（见图 2-1 右侧）。

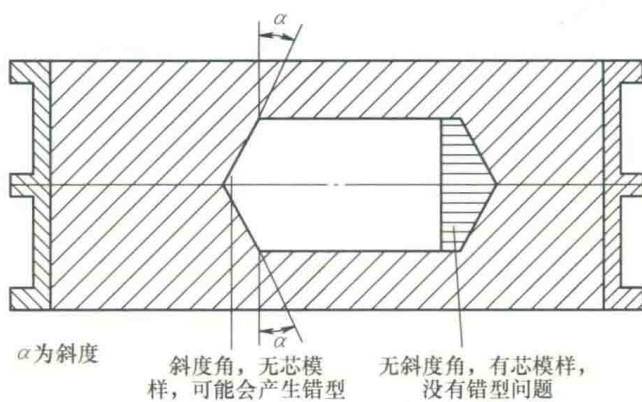


图 2-1 模样斜度 (左侧) 和型芯 (右侧)

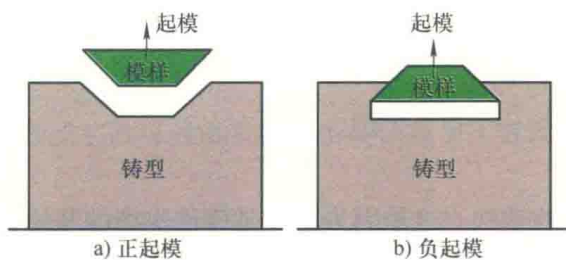


图 2-2 正确的和错误的斜度

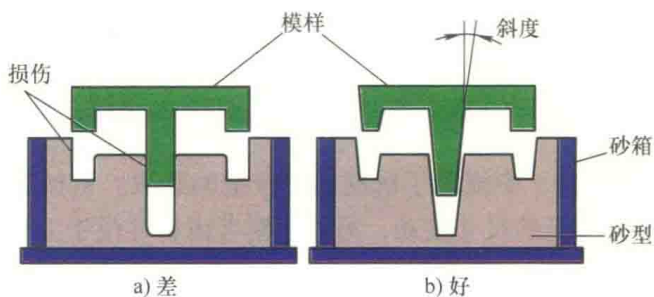


图 2-3 无斜度和有斜度

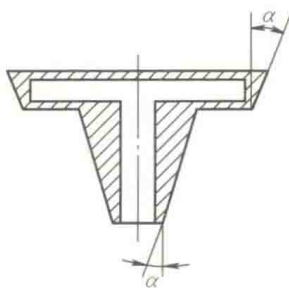


图 2-4 带斜度的加工余量

2.2.3 消除砂芯的措施

铸件设计中一些很小的改变就能避免使用型芯，这会大大降低铸件成本并能降低出现尺寸问题的风险，如图 2-5 所示。

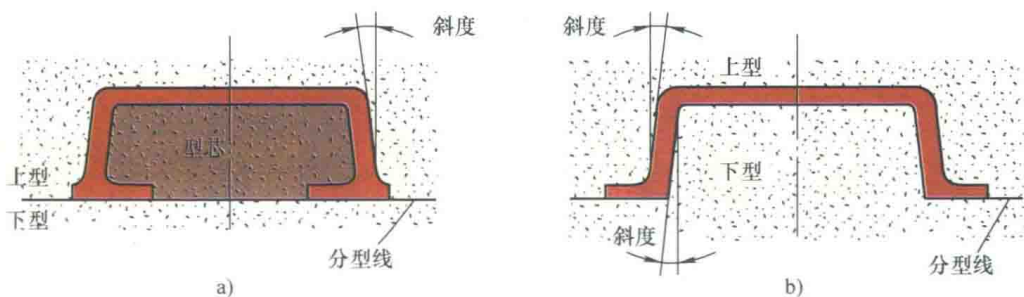


图 2-5 通过设计取消型芯

2.2.4 机械加工的参考点及“基准面”

铸件与其后续机械加工的参考点（0 点，基准面）必须是相同的，通常基准点必须要在铸件非加工表面上清楚标识。

为了方便机械加工，有时需要添加额外的加工余量，如图 2-6 所示。

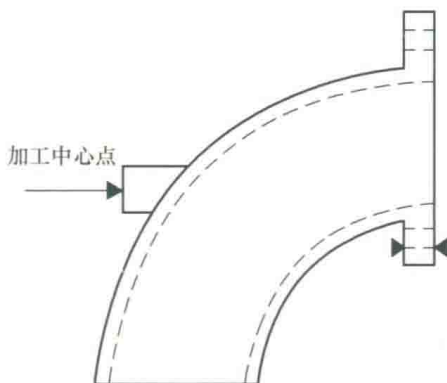


图 2-6 便于加工的加工余量

注：加工中心点作为夹紧装置。

2.2.5 最大应力集中的区域 / 壁厚

这个区域 / 壁厚是代表性断面 / 壁厚，其力学性能要满足要求，还决定着代表壁厚的试块尺寸的大小。

铸造厂可以通过一些工艺措施保证这些区域满足最小尺寸，有足够的加工余量以保证去除夹杂物和最低（或更好的）需求的断面质量。

2.2.6 铸件的尺寸公差

非加工面的尺寸公差由造型方法决定。各种材料的铸件尺寸公差参照 ISO 8062 (GB/T 6414)。表 2-1~表 2-4 列出了这个标准中的相关技术数据。