

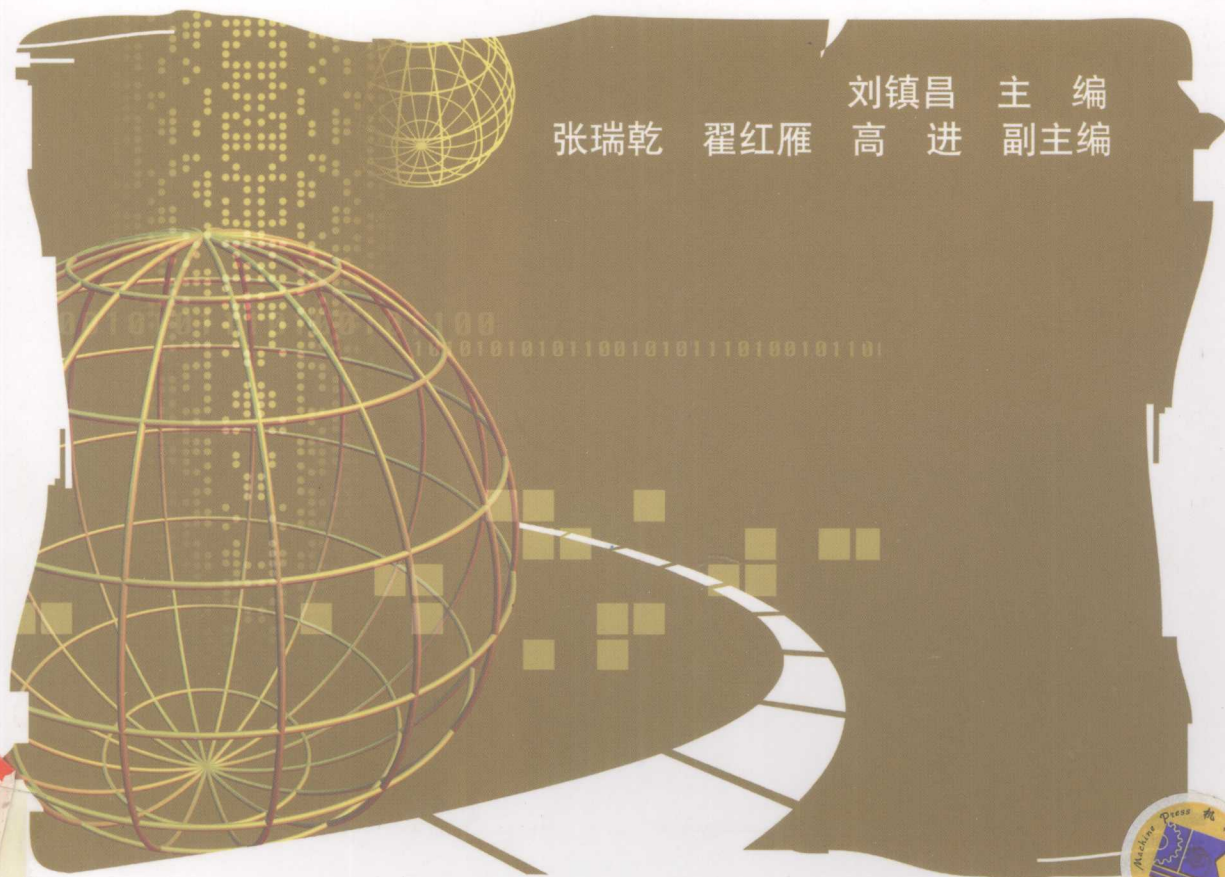


21世纪高校机电类规划教材

制造工艺实训教程

TEXTBOOK OF PRACTICAL TRAINING IN
MANUFACTURING PROCESSES

刘镇昌 主 编
张瑞乾 翟红雁 高 进 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高校机电类规划教材

制造工艺实训教程

主 编	刘镇昌			
副主编	张瑞乾	翟红雁	高 进	
参 编	王春涛	范 军	郭明飞	
	韩利春	刘松年	张 华	胡晓珍
主 审	潘晓弘			



机 械 工 业 出 版 社

本书内容参照教育部高教司颁布的“高等工业学校《金工实习》教学基本要求”编写。内容包括金属零件成形制造工艺（铸造、锻压、焊接）、金属零件去除加工工艺（普通机床加工、数控机床加工、特种加工、钳工加工）、金属零件理化性能改善工艺（热处理、表面处理）、非金属零件制造工艺（非金属材料及制造、快速成形制造）和制造工艺综合规划与分析（制造工艺性与制造经济性、制造与环境、典型产品综合实习操作示例）。本书力求突出实践性、系统性、先进性，注意介绍各种制造工艺的新进展。

本书为高等学校本科生的教材，也可供相应专业的电大、夜大、高职、高专学生选用，对企业的工人和工程技术人员亦不失为一本简明易懂的制造工艺参考书。

图书在版编目（CIP）数据

制造工艺实训教程/刘镇昌主编. —北京：机械工业出版社，2005.7

21 世纪高校机电类规划教材

ISBN7-111-16804-6

I. 制... II. 刘... III. 机械制造工艺 - 高等学校 - 教材
IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 068630 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：高文龙 版式设计：冉晓华 责任校对：张媛

封面设计：陈沛 责任印制：石冉

北京机工印刷厂印刷

2006 年 1 月第 1 版第 2 次印刷

787mm × 1092mm^{1/16} · 18.75 印张 · 402 千字

定价：26.00 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）68326294

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高校机电类规划教材

编 审 委 员 会

顾 问：李培根 华中科技大学
主 任：左健民 南京工程学院
副主任：童幸生 江汉大学
徐格宁 太原科技大学
党新安 陕西科技大学
刘全良 浙江海洋学院
张世亮 广东海洋大学
邓海平 机械工业出版社

郑 堤 宁波大学
陈 明 华北航天工业学院
胡 琳 深圳大学
马 光 温州大学
方庆琯 安徽工业大学
高文龙 机械工业出版社

委 员：(按姓氏笔画排序)

王卫平 东莞理工学院
仝基斌 安徽工业大学
刘小慧 机械工业出版社
刘镇昌 山东大学
李子琼 厦门理工学院
李洪智 黑龙江工程学院
赵先仲 北华航天工业学院
顾晓勤 电子科技大学(中山)

王 华 长春工程学院
朱志宏 福建工程学院
刘申全 华北工学院分院
张 茂 西南石油学院
李建华 中原工学院
陈廉清 宁波工程学院
夏凤芳 上海电机技术高等专科学校
倪少秋 机械工业出版社

序

为了适应我国制造业迅速发展的需要，培养大批素质高、应用能力与实践能力强应用综合型人才已成为当务之急。这同时对高等教育的办学理念、体制、模式、机制和人才培养等方面提出了全新的要求。

为了打通新形势下高等教育和社会需求之间的瓶颈，中国机械工业教育协会机电类学科教学委员会和机械工业出版社联合成立了“21 世纪高校机电类规划教材”编审委员会，本着“重基本理论、基本概念，淡化过程推导，突出工程应用”的原则，组织教材编写工作，并力求使本套教材突出以下特点：

(1) 科学定位 本套教材主要面向应用的综合型人才的培养，既不同于培养研究型人才的教材，也不同于一般应用型本科的教材；在保持高学术水准的基础上，突出工程应用，强调创新思维。

(2) 品种齐全 这套教材设有“力学”、“制图”、“设计”、“数控”、“控制”、“实训”、“材料”、“双语”等模块，方便学校选用。

(3) 立体化程度高 教材均要求配备 CAI 课件和相关的教辅材料，并在网站上为本套教材开设研讨专栏。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一，是国家级优秀出版社，是国家高等教育的教材出版基地之一，在机电类教材出版领域具有很高的地位。相信这套教材在中国机械工业教育协会机电类学科委员会和机械工业出版社的精心组织下，通过全国几十所学校老师的仔细认真的编写，一定能够为我国高等教育应用综合型人才的培养提供更好用、更实用的教材。

教育部·机械工程及自动化专业分教学指导委员会·主任
中国机械工业教育协会·高等学校机械工程及自动化学科教学委员会·主任
李培根 院士
于华中科技大学

前 言

“制造工艺实训教程”是机械类及其相关专业学生学习专业基础课和专业课、培养综合创新能力必不可少的一门实践性技术基础课。

近年来，制造科学与技术以及相关产业发生了多方面的重大变化。传统的“金属工艺实习”（简称“金工实习”）这一名称已经不能涵盖制造工艺实践教学的内容。本书用“制造工艺实训教程”这一名称取代“金属工艺实习”反映了时代的进步。它的使命除了为学生学习后续课程提供感性认识和实习训练指导之外，还应让学生对本专业的概貌及其新发展有大致了解，并为今后的综合创新设计与制造奠定实践基础。

本书内容符合国家教育部高教司 1995 年 5 月 3 日颁布的高等工业学校“金工实习”教学基本要求。在取材上注意制造工艺体系结构的系统性和完整性，同时，力求突出实践性和先进性，尽量介绍各种制造工艺的新进展；这对拓宽学生知识面、增强学生专业意识、让学生全面了解现代制造技术是必要的。在编写上注重体现培养学生实践能力的原则，对设备的介绍以图形为主，重点描述结构、功能和操作方法；对工艺的讲解以操作步骤和技术要点为主，力求文字简练、图文并茂。

本课程应以实践教学为主，适当穿插课堂讲授、音像教学和现场参观，学生进行独立操作训练的课时不应少于 2/3。为引导学生独立思考，每章后均附有一定量的复习思考题。

本书为高等学校本科生的教材，也可供相应专业的电大、夜大、高职、高专学生选用。对于企业的工人和工程技术人员亦不失为一本简明易懂的制造工艺参考书。

本书由山东大学博士生导师刘镇昌教授担任主编，山东轻工业学院高进教授、华北航天工业学院翟红雁副教授、北京信息科技大学张瑞乾副教授担任副主编，浙江大学博士生导师潘晓弘教授担任主审。各章节编写分工：刘镇昌（前言、第四章、第八章、第十四章），翟红雁（第一章、第二章），张瑞乾（第五章第一节、第二节），高进（第十章、第十一章、第十四章），浙江海洋学院王春涛（第三章、第九章），四川职业技术学院范军（第五章第三节），浙江工业大学郭明飞（第五章第四节），烟台大学韩利春（第五章第五节、第十三章），青岛建筑工程学院刘松年（第六章），安徽科技学院张华（第七章），浙江海洋学院胡晓珍（第十二章）。

限于编者的教学经验和知识水平，书中错漏在所难免，恳请广大读者不吝赐教。

编 者

目 录

序

前言

第一篇 金属零件成形制造工艺	1
第一章 铸造工艺	1
第一节 概述	1
第二节 砂型铸造	3
第三节 铸造合金的熔炼和浇注	15
第四节 浇注系统的作用和组成	17
第五节 铸件的落砂、清理及缺陷分析	19
第六节 特种铸造工艺	22
第七节 铸造安全生产及经济分析	26
复习思考题	27
第二章 锻压工艺	29
第一节 基本知识	29
第二节 自由锻	32
第三节 模锻与胎模锻	41
第四节 冲压	47
第五节 锻压安全生产及经济分析	52
复习思考题	53
第三章 焊接工艺	55
第一节 概述	55
第二节 焊条电弧焊	56
第三节 气焊和气割	63
第四节 其他焊接方法	71
第五节 焊接件的缺陷分析	75
复习思考题	76
第二篇 金属零件去除加工工艺	77
第四章 常用量具及其使用方法	77
第一节 游标式量具	77
第二节 螺旋测微量具	82
第三节 比较测微量具	84

第四节 其他常用量具	87
复习思考题	88
第五章 普通机床切削加工工艺	89
第一节 切削加工基础知识	89
第二节 车削加工工艺	97
第三节 铣削加工工艺	112
第四节 磨削加工工艺	125
第五节 其他通用机床加工工艺	141
复习思考题	154
第六章 数控机床切削加工工艺	155
第一节 数控机床与编程	155
第二节 加工中心与编程	166
第三节 数控机床安全操作	171
复习思考题	172
第七章 特种去除加工工艺	174
第一节 电化学加工	174
第二节 电火花加工	179
第三节 激光加工	186
第四节 超精密加工与微细加工简介	187
复习思考题	189
第八章 钳工加工工艺	190
第一节 划线技术	190
第二节 切除技术	196
第三节 钻床技术	209
第四节 精整技术	217
第五节 装拆技术	223
复习思考题	228
第三篇 金属零件理化性能改善工艺	230
第九章 金属热处理工艺	230
第一节 常用钢铁材料简介	230
第二节 热处理概述	231
第三节 钢的退火、正火、淬火和回火	233
第四节 钢的表面淬火	237
第五节 钢的化学热处理	238
第六节 热处理技术新进展	240
复习思考题	242
第十章 金属表面处理工艺	243
第一节 表面强化处理	243

第二节 表面防腐蚀处理	246
复习思考题	250
第四篇 非金属零件制造工艺	251
第十一章 非金属材料及其制造工艺	251
第一节 高分子材料	251
第二节 陶瓷材料	256
第三节 复合材料	258
复习思考题	259
第十二章 快速成形制造工艺	260
复习思考题	265
第五篇 制造工艺综合规划与分析	266
第十三章 制造工艺性与制造经济性	266
第一节 制造工艺性	266
第二节 制造经济性	273
复习思考题	275
第十四章 制造与环境	276
第一节 绿色制造基本知识	276
第二节 可持续发展概念	278
复习思考题	280
第十五章 典型产品综合实习操作示例	281
复习思考题	285
参考文献	286

第一篇 金属零件成形制造工艺

第一章 铸造工艺

内容提要：本章以砂型铸造为主，详细讲述了型（芯）砂性能及组成、模样和型芯盒、造型和造芯以及综合工艺分析实例；扼要叙述了铸造合金的熔炼和浇注、浇注系统的作用和组成、铸件的落砂清理及缺陷分析等，最后介绍了特种铸造工艺、铸造安全生产及经济分析。

第一节 概 述

铸造是将金属液浇入预先制备好的铸型中，凝固后获得具有一定形状、尺寸的毛坯或零件的一种成形方法。铸造分砂型铸造和特种铸造两大类。前者铸型材料以原砂为主，因其成本低廉，适应性广，是目前铸造生产中应用最广泛的一种方法。后者铸型采用的是少用砂或不用砂的特殊工艺装备，获得比砂型铸造表面光洁、尺寸精确、力学性能较高的铸件。

一、铸造的特点

1. 能铸造各种铸件

铸造能够制造出形状复杂的铸件，如各种箱体、机架、床身等；铸件的轮廓尺寸可小至几毫米，大至十几米；重量可小至几克，大至数百吨。

2. 适应性广

不仅表现在对各种形状的适应性，还表现在铸件的材质几乎不受限制，对于某些塑性很差的材料（如铸铁、青铜等），铸造则是制造零件毛坯的唯一方法。

3. 成本低

通常情况下，铸造不需要昂贵的设备，原材料来源广泛，价格低廉，故铸件的成本较低。铸件的形状和尺寸与零件接近，从而节省金属，减少切削加工工时。

铸造作为制造毛坯的方法之一，在机械制造业中获得了广泛的应用。但是，传统的砂型铸造，无论在产品质量、生产率、劳动条件、环境污染方面都存在不少问题，铸件的力学性能不如锻件高，特别是对于承受动载荷或交变载荷的重要零件一般不宜采用铸件。近年来，铸造在机械化、自动化方面取得新发展，新工艺、新技术得到推

广应用,使铸件的质量和性能均取得了显著的改善和提高。

二、砂型铸造工艺过程

砂型铸造工艺过程如图 1-1 所示。

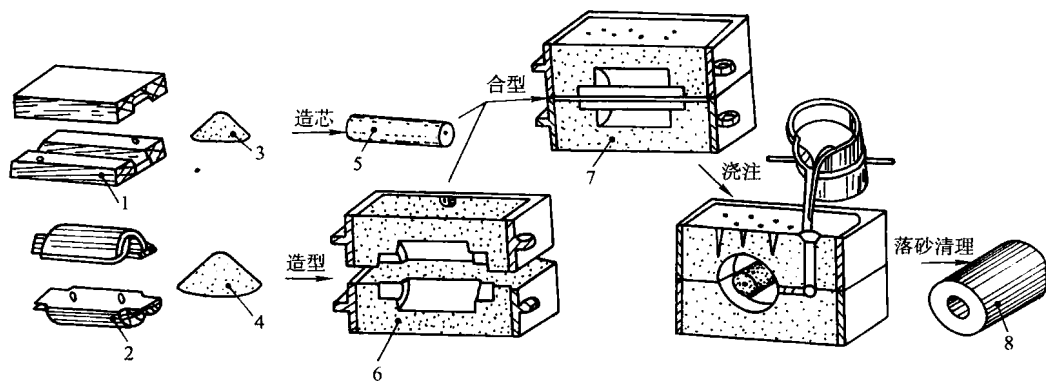


图 1-1 套筒的砂型铸造过程

1—型芯盒 2—模样 3—芯砂 4—型砂 5—型芯 6—砂型 7—铸型 8—铸件

- 1) 根据零件图制造模样和型芯盒;
- 2) 配制性能符合要求的型(芯)砂;
- 3) 用模样和型芯盒进行造型和造芯;
- 4) 烘干型芯(或砂型)并合箱;
- 5) 熔炼金属并进行浇注;
- 6) 出砂、清理和检验。

三、砂型的结构

砂型各部分名称和主要结构如图 1-2 所示。

1. 分型面

铸件上位于上、下砂箱的分界面。它使起模时不损坏型腔的完整性,其上为上砂型,其下为下砂型。

2. 型腔

起出模样后在砂型中保留下来的空腔。

3. 型芯

砂型中获得铸件内孔的部分。型芯的外伸部分称型芯头,用以定位和支承型芯。砂型中专为放置型芯头的空腔称型芯座。

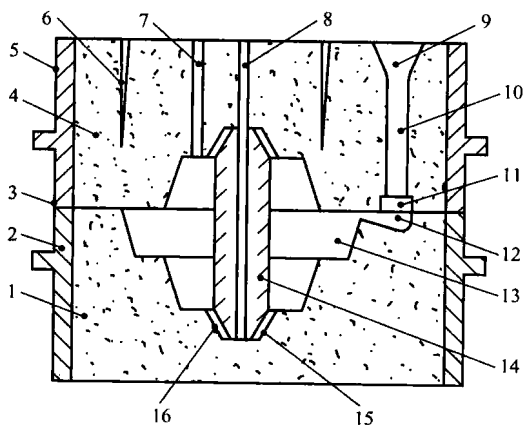


图 1-2 砂型的各部分名称

1—下型 2—下砂箱 3—分型面 4—上型
5—上砂箱 6—出气孔 7—冒口 8—芯排
气孔 9—浇口杯 10—直浇道 11—横浇道
12—内浇道 13—型腔 14—型芯 15—芯
头 16—型芯座

4. 浇注系统

金属液从外浇道（即浇口杯）进入型腔的通道。通常它由直浇道、横浇道、内浇道组成。

5. 通气孔

排出型腔（或型芯）中产生的气体，避免铸件出现气孔缺陷。

第二节 砂型铸造

一、型砂、芯砂的性能及组成

用于制造砂型的材料称为型砂；用于制造型芯的材料称为芯砂。型（芯）砂的质量直接影响着铸件的质量，其质量不好会使铸件产生气孔、砂眼、粘砂和夹砂等缺陷。由于型（芯）砂的质量问题而造成的铸件废品约占铸件总废品的 50% 以上。

1. 对型砂、芯砂性能的要求

根据铸造工艺要求，型（芯）砂要具备以下的性能：

（1）强度 型砂或芯砂在造型后能承受外力而不致被破坏的能力称为强度。砂型及型芯在搬运、翻转、合型及浇注金属时，有足够的强度才会保证不破坏、塌落和胀大。若型（芯）砂的强度不足，铸件易产生砂眼、夹砂等缺陷。

（2）透气性 型（芯）砂孔隙透过气体的能力称为透气性。在浇注过程中铸型与高温金属液接触，水分气化、有机物燃烧及液态金属冷却时析出的气体，必须通过铸型排出，否则将在铸件内产生气孔或使铸件浇不足。

（3）耐火度 型（芯）砂经受高温热作用的能力，称为耐火度。耐火度主要取决于砂中 SiO_2 的含量，若耐火度不够，就会在铸件表面或内腔形成一层粘砂层，不但清理困难、影响外观，而且为机械加工增加了困难。

（4）退让性 铸件凝固和冷却过程中产生收缩时，型砂能被压缩、退让的性能称为退让性。若型（芯）砂退让性不足，会使铸件收缩时受到阻碍，产生内应力、变形和裂纹等缺陷。

（5）可塑性 指型（芯）砂在外力作用下变形，去除外力后仍保持变形的能力。可塑性好，型（芯）砂柔软易变形，起模和修型时不易破碎和掉落。

除上述性能的要求外，还有溃散性、发气性、吸湿性等性能要求。型（芯）砂的诸多性能，有时是互相矛盾的，如强度高、塑性好，透气性可能下降。因此，应根据铸造合金的种类、铸件大小以及结构、批量等来具体决定型（芯）砂的配比。

2. 型砂和芯砂的组成

型砂与芯砂相比，由于芯砂的表面被高温金属液所包围，受到的冲刷和烘烤较厉害，因而对芯砂的性能要求要比型砂的性能要求高。就其基本组成来说，都由以下 3 部分组成：

（1）原砂 主要成分为硅砂，根据来源可分为山砂、河砂和人工砂。硅砂的主要

成分为 SiO_2 ，它的熔点高达 1700°C ，砂中的 SiO_2 含量越高，其耐火度越高。

(2) 粘结剂 用来粘结砂粒的材料称为粘结剂。常用的粘结剂有粘土和特殊粘结剂两大类。粘土是配制型（芯）砂的主要粘结剂，用粘土作为粘结剂配制的型砂称粘土砂。常用的粘土砂分湿型砂和干型砂；特殊粘结剂包括桐油、水玻璃、树脂等，芯砂常选用这些特殊的粘结剂。

(3) 附加物 为了改善型（芯）砂的某些性能而加入的材料称为附加物。如加入煤粉以降低铸件外表面、内腔表面的粗糙度数值；加入木屑以提高型（芯）砂的退让性和透气性。

3. 型砂与芯砂的配制

(1) 型（芯）砂常用的配比 型（芯）砂组成物需按一定比例配制，以保证一定的性能。型（芯）砂有多种配比方案，下面举两例，供参考。

小型铸铁件湿型型砂的配比：新砂 10% ~ 20%，旧砂 80% ~ 90%；另加膨润土 2% ~ 3%，煤粉 2% ~ 3%，水分 4% ~ 5%。

中、小型铸铁件芯砂的配比：新砂 40%，旧砂 60%；另加粘土 5% ~ 7%，纸浆 2% ~ 3%，水分 7.5% ~ 8.5%。

(2) 型（芯）砂的制备 型（芯）砂的混制工作是在混砂机中进行的。目前工厂常用的是碾轮式混砂机，其外形如图 1-3 所示。混砂工艺是：按比例将新砂、旧砂、粘土、煤粉等加入混砂机中先进行干混约 2 ~ 3min，混拌均匀后再加入水或液体粘结剂（水玻璃、桐油等），湿混约 10min，即可打开出砂口出砂。混制好的型砂应堆放 2 ~ 4h，使水分分布得更均匀，这一过程叫调匀。型砂在使用前还需进行松散处理，使砂块松开，空隙增加。

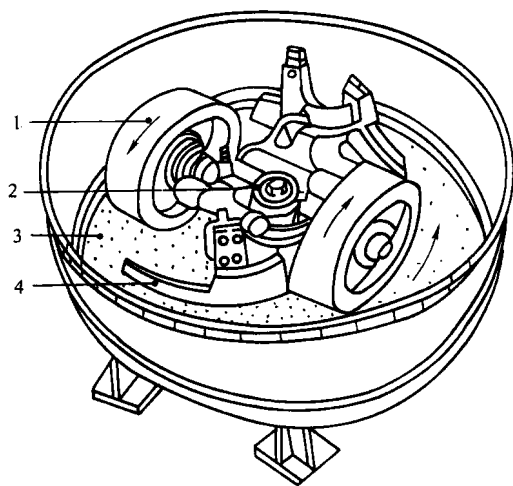


图 1-3 碾轮式混砂机

1—碾轮 2—中心轴 3—碾盘 4—刮板

配好的型（芯）砂需经性能检验后方可使用。对于产量大的专业化铸造车间，常用型砂性能试验仪检验，单件小批量生产时，可用手捏检验法：用手抓一把型（芯）砂，捏成团后把手掌松开，如果砂团不松散也不粘手，手印清楚，掰断时断面不粉碎，则可认为砂中粘土与水分含量适宜。

二、模样和型芯盒

模样和型芯盒是制造砂型和型芯的模具。模样用来造型，制得型腔以形成铸件的外形。型芯盒用来造芯，大多以形成铸件的内腔为主。在单件、小批量生产中其材质

广泛采用木材来制造, 故又称木模。在大批量生产中其材质常用铝合金 (又称金属模) 或塑料来制造。模样和型芯盒形状与尺寸的制作, 必须以零件图为依据, 考虑铸造工艺的特点, 绘制铸造工艺图来加以确定的。具体示例如图 1-4 所示。

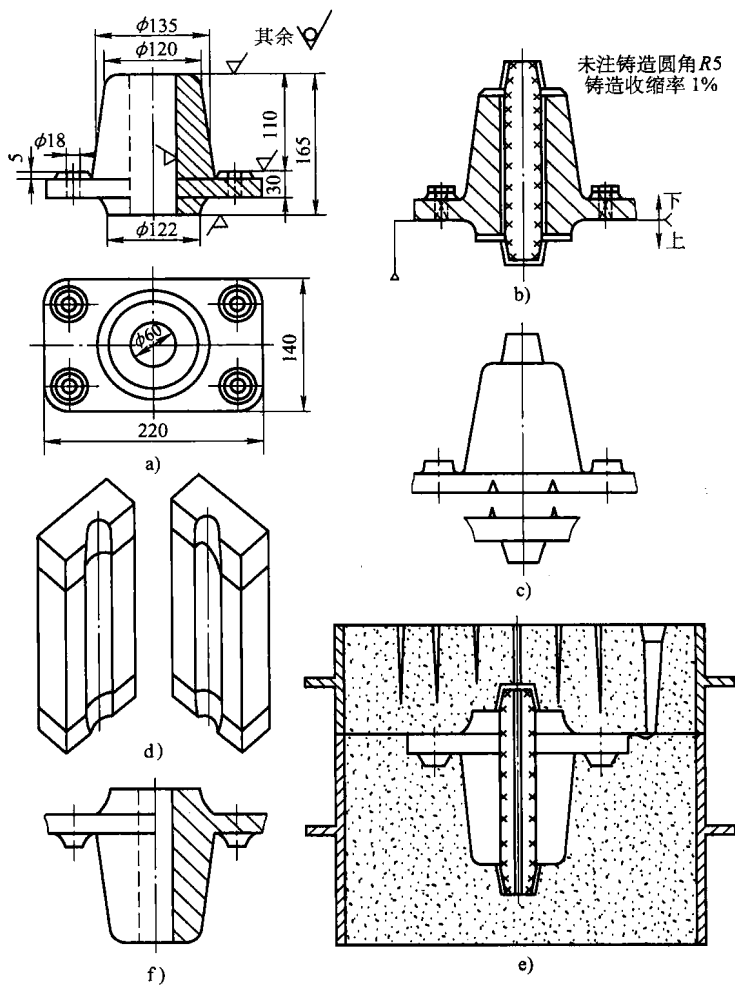


图 1-4 支座的铸造工艺

a) 零件图 b) 铸造工艺图 c) 模样图 d) 型芯盒图 e) 铸型图 f) 铸件图

三、造型和造芯

造型和造芯是铸造生产中最主要的工序，它对于保证铸件精度和质量有极其重要的影响。在单件、小批量生产中，常用手工造型和造芯；在大批、大量生产中则采用机器造型和造芯。

(一) 造型

1. 手工造型

造型时，填砂、紧砂和起模等工序均由手工操作来完成的称为手工造型。这种方法具有操作灵活、工艺装备简单、适应性强等优点，但生产率低，劳动强度大，铸件质量较差。实际生产中，受各种条件和因素的影响，手工造型的方法是多种多样的。

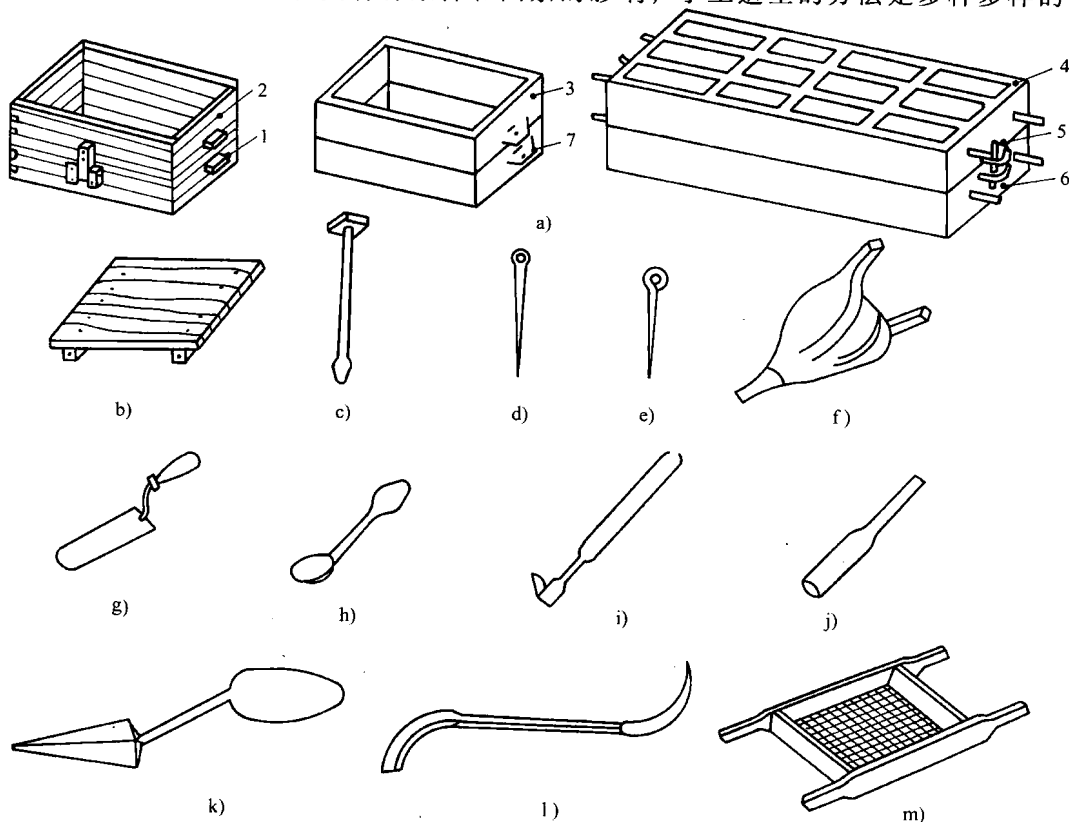


图 1-5 砂箱及造型工具

- a) 砂箱（容纳和支承砂型） b) 模底板（放置模样用） c) 砂春（尖头砂春用于春砂，平头砂春用于紧实砂箱顶部的型砂） d) 通气针（扎砂型出气孔） e) 起模针（比通气针粗，起模用） f) 皮老虎（手风箱，用来吹去模样中的分型砂及散落的型腔中的散砂） g) 慢刀（修平面及挖沟槽用） h) 双头钢勺（秋叶，修凹曲面用） i) 提钩（修凸底面或侧面及钩出砂型中散砂用） j) 半圆（铜环，修圆柱型内壁用） k) 铲勺 l) 法兰钩 m) 筛子
1、6、7—下箱 2、3、4—上箱 5—定位销

但是,合理的选择造型方法,对于减少制模和造型工时,缩短生产周期,降低铸件成本都是非常重要的。砂箱及造型工具如图 1-5 所示。以下介绍几种主要的手工造型方法。

(1) 手工两箱造型

1) 整模造型 模样的最大截面在一端且是平面。模样为一个整体,分型面多为平面,造型时模样全部放在一个砂箱内;整模造型操作简单,适用于形状简单的铸件,如盘、盖类。其造型过程如图 1-6 所示。

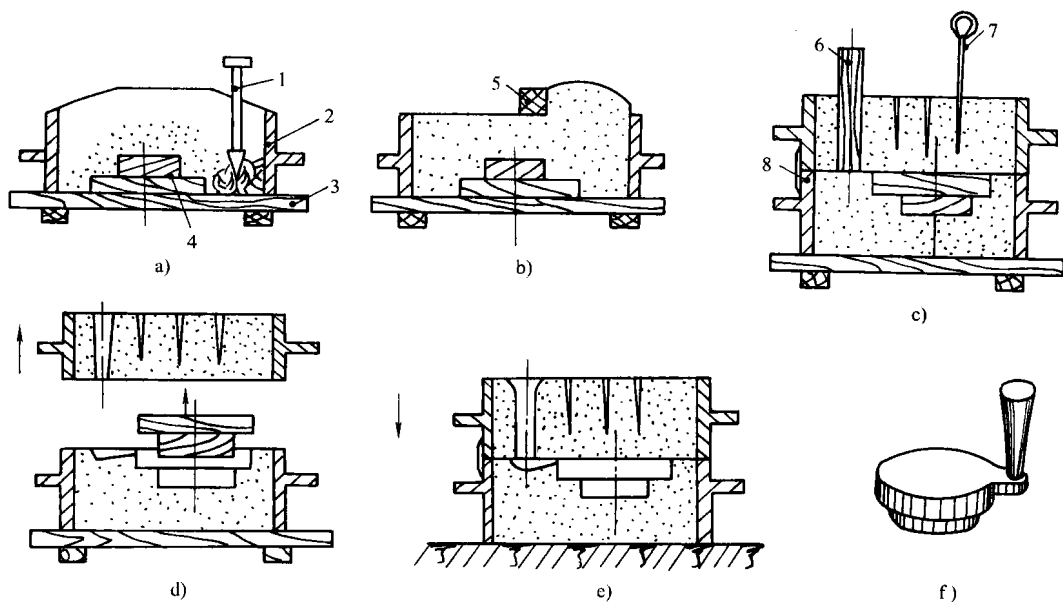


图 1-6 整模造型过程

- a) 造下型填砂、舂砂 b) 刮平、翻箱 c) 造上型、扎气孔、开浇道、
做泥号 d) 起模 e) 合型 f) 落砂后带浇道的铸件
1—砂冲子 2—砂箱 3—底板 4—模样 5—刮板
6—浇口棒 7—气孔针 8—泥号

2) 分模造型 模样的最大截面在中间且是平面。模样沿外形的最大截面分成两半,并用销钉定位。模样上分开的平面常作为造型的分型面,所以分模造型时,模样分别放置在上、下砂箱内。图 1-7 为套筒的分模造型过程。分模造型适用于形状较复杂的铸件,特别是用于有孔的铸件,如套筒、阀体、管子等。

3) 活块模造型 有些模样上带有凸台等突出部位,造型时,这些部位经常妨碍起模。为此,常把这些突出部分做成活块,这些活块用销子或燕尾与模样主体联接。起模时,先将模样主体取出,留在铸型内的活块单独取出,其过程如图 1-8 所示。活块模造型,要求造型特别细心,操作技术水平高,生产率低,质量也难以保证。

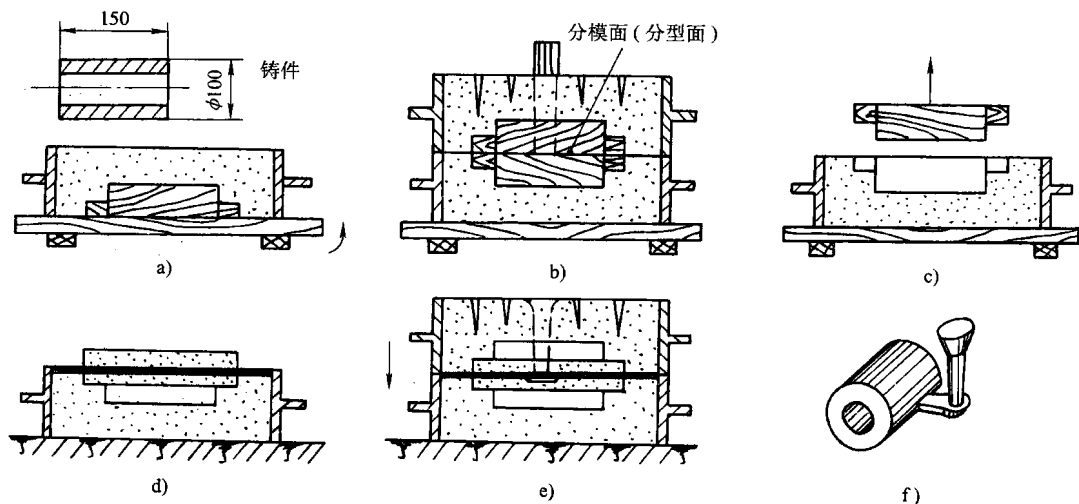


图 1-7 套筒的分模造型过程

a) 造下型 b) 造上型 c) 起模 d) 开浇道, 下芯 e) 合型 f) 带浇道的铸件

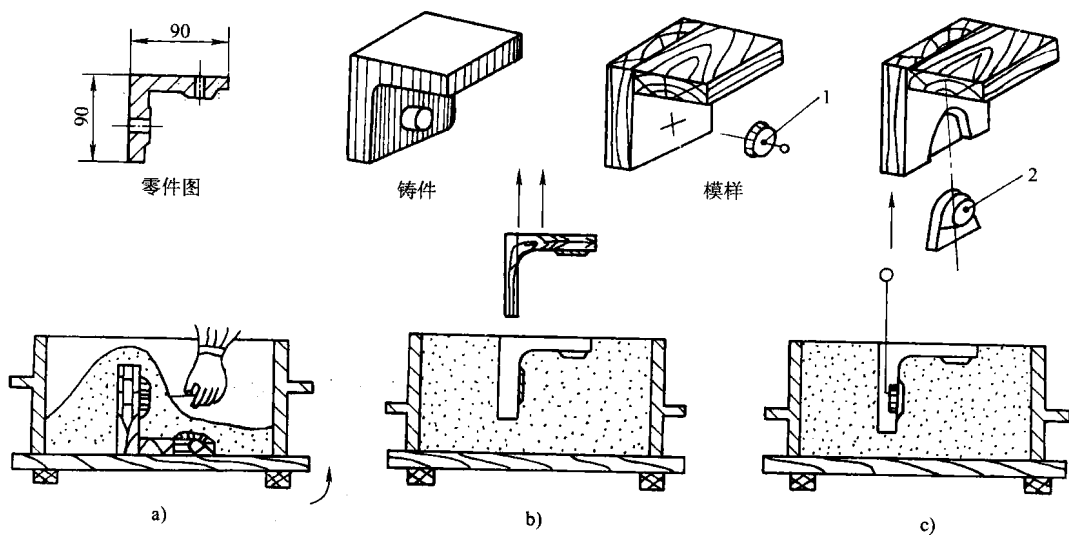


图 1-8 活块造型

a) 造下型, 拔出钉子 b) 取出模样主体 c) 取出活块

1—用钉子联接的活块 2—用燕尾联接的活块

4) 挖砂造型 如果铸件的外形轮廓为曲面或阶梯面, 其最大截面亦是曲面, 由于条件所限, 模样不便分成两半时, 常采用挖砂造型。图 1-9 为手轮的挖砂造型过程。挖砂时应注意, 要挖到模样的最大截面的位置, 否则就会在分型面产生毛刺, 影响铸件的外形和尺寸精度。挖砂造型时, 每造一型需挖砂一次, 操作麻烦, 生产率低, 要求操作技术水平高。此方法仅用于形状复杂铸件的单件生产。