

杨进德 周峥嵘 **主编**

金工实训

JINGONG SHIXUN



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

金 工 实 训

主编 杨进德 周峥嵘

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容提要

本书是依据教育部颁布的《金工实训教学基本要求》，结合作者多年的实训教学经验编写的。本书共分为 10 章，内容涵盖材料成形、切削加工、数控加工和特种加工等方面的内容。

本书本着简单实用的原则，内容力求精选、图文并茂，便于自学。

本书可作为机械类和近机类各专业本科、专科金工实训教材，也可供高职、高专、成人高校的学生参考。

图书在版编目（C I P）数据

金工实训 / 杨进德，周峥嵘主编. —成都：西南交通大学出版社，2012.4

ISBN 978-7-5643-1719-5

I. ①金… II. ①杨… ②周… III. ①金属加工—实习—高等学校—教材 IV. ①TG-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 066178 号

金工实训

主编 杨进德 周峥嵘

*

责任编辑 黄淑文

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码：610031 发行部电话：028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸：185 mm × 260 mm 印张：12.75

字数：317 千字 印数：1—4 500 册

2012 年 4 月第 1 版 2012 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1719-5

定价：28.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

前 言

金工实训是一门实践性很强的课程,通过实训能使了解机械制造的一般过程,熟悉典型零件的加工方法及加工设备的工作原理,了解现代制造技术在机械制造中的应用。在主要工种上具有独立完成简单零件加工的动手能力,进行工程实践综合能力的训练及进行思想品德和素质的培养与锻炼,培养学生严谨的科学作风,让学生有更多的独立设计、独立制作和综合训练的机会,使学生动手动脑,并在求新求变和反复归纳与比较中丰富知识,锻炼能力,从而提高学生的综合素质,培养创新精神和创新能力。

本教材结合我校多年的金工实训教学经验,并考虑金工教学发展新形势的需要,参考了众多金工实训教材及技术文档编写而成。

通过本教材的学习,可以使学生在金工实训时,了解零件毛坯的加工工艺过程,零件的主要切削加工方法,数控及特种加工等先进制造技术的应用。有利于学生在实训过程中快速、正确地掌握相应的操作技能。本教材注重理论和实践相结合,以实训为重点,适当淡化工艺理论知识,突出能力的培养。在教材编写中力求简明扼要,突出重点,注重基本概念,讲求实用,强调可操作性和便于自学,教材后面附有“学生实训守则”和“实训安全操作规程”,有利于保障金工实训的安全进行。

本教材由贵州大学工程实训中心组织编写。参加编写工作的有杨进德、周峥嵘两位老师。

本教材在编写过程中,参考了兄弟院校老师编写的有关教材及相关资料,得到了贵州大学工程实训中心全体教职工、贵州大学机械工程学院机械制造教研室老师的热情帮助和支持,在此一并致谢。

由于编者水平有限,加之经验不足、时间仓促,书中难免存在错误疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

第一章 铸 造	1
第一节 砂型铸造的造型方法	1
第二节 熔炼浇注及铸造缺陷分析	9
第二章 焊 接	13
第一节 手工电弧焊	13
第二节 气焊、气割及其他焊接方法	21
第三章 钳工	25
第一节 钳工应用及划线	25
第二节 锯 削	29
第三节 锉 削	33
第四节 孔加工	40
第五节 钳工综合实训	46
第四章 车削加工	48
第一节 车削的应用及卧式车床	48
第二节 车 刀	55
第三节 车削加工工艺	57
第四节 车工综合实训	62
第五章 铣削加工	66
第一节 铣床及铣床的应用	66
第二节 铣刀及其安装	69
第三节 铣床附件及工件的安装	71
第四节 常见形面的铣削方法	73
第六章 刨削加工	79
第一节 刨床和刨刀	79
第二节 各种形面的刨削方法	82
第七章 磨削加工	85
第一节 磨床及磨削的应用	85
第二节 砂 轮	88

第三节 磨 削	90
第八章 拆卸与装配	95
第一节 设备拆卸	95
第二节 机械设备的装配	99
第九章 数控加工实训	103
第一节 数控车加工工艺设计	103
第二节 数控车基本编程及应用	111
第三节 数控车简化编程及应用	123
第四节 数控车床（FANUC Oi Mate 系统）操作	135
第五节 零件的加工实例	144
第六节 数控铣床的基本实训	147
第七节 加工中心的基本实训	158
第十章 特种加工	168
第一节 电火花成型加工	168
第二节 电火花数控线切割加工	175
第三节 激光加工	182
附 录	193
参考文献	197

第一章 铸 造

第一节 砂型铸造的造型方法

一、实训目的

- (1) 了解铸造生产在机械制造中的地位和作用；
- (2) 了解砂型铸造生产的特点及生产工艺过程；
- (3) 了解造型材料的组成及作用；
- (4) 掌握常用手工造型工具的使用；
- (5) 掌握常用手工造型的操作方法。

二、实训准备知识

1. 铸造生产在机械制造中的地位和作用

铸造是熔炼金属、制造铸型，并将熔融金属浇入铸型，凝固后获得一定形状与性能铸件的成型方法。采用铸造方法获得的金属毛坯或零件称为铸件。在机械制造中，大部分机械零件是用金属材料制成的。采用铸造方法制成的毛坯或零件，具有如下优点：

(1) 铸件的形状可以十分复杂，不仅可以获得十分复杂的外形，更为重要的是能获得一般机械加工设备难以加工的复杂内腔。

(2) 铸件的尺寸和重量不受限制，大到十几米、数百吨，小到几毫米、几克。

(3) 铸件的生产批量不受限制，可单件小批生产，也可大批大量生产。

(4) 成本低廉，节省资源，铸件的形状、尺寸与零件相近，节省了大量的金属材料和加工工时，材料的回收和利用率高。尤其是精密铸造，可以直接铸出零件，是少无切削加工的重要途径之一。

(5) 铸件材质内在质量变化较大，一些现代铸造方法生产的铸件材料质量已逐步接近锻件。

铸造生产是机械制造业中一项重要的毛坯制造工艺过程，其质量和产量以及精度等直接影响到机械产品的质量、产量和成本。

2. 砂型铸造生产过程简介

根据生产方法的不同，铸造可以分为砂型铸造和特种铸造两大类。砂型铸造是常用的基本铸造方法，其生产的铸件占铸件总量 90% 以上。

砂型铸造又分为湿型（砂型未经烘干处理）铸造和干型（砂型经烘干处理）铸造两种。

砂型的铸造一般由制造砂型、制造型芯、烘干、合箱、浇注、落砂、清理及检验等工艺过程组成，图 1.1.1 所示为齿轮毛坯的砂型铸造工艺过程。

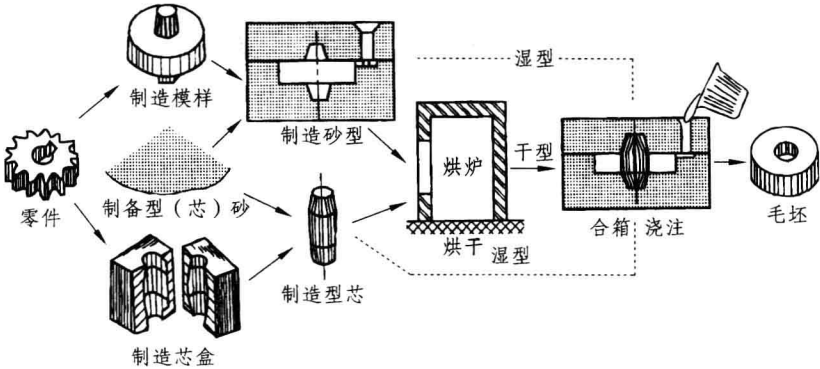


图 1.1.1 砂型铸造工艺过程

3. 造型材料的性能及制备

制造砂型与型芯的材料称为造型材料。型砂由原砂和黏结剂混制而成，原砂是耐高温材料，是型砂的主体，常用二氧化硅含量较高的硅砂或海（河）砂作为原砂。常用的黏结剂为黏土、水玻璃或渣油等。为满足透气性等性能要求，型砂中还加入锯末、煤粉等材料。

型砂和芯砂应具备如下基本性能：

- （1）强度——为了使铸型在造型、合箱、搬运和在液体冲击作用下不致损坏，型砂必须具有一定的强度。
- （2）透气性——型砂和芯砂能让气体通过的性能，称为透气性。在浇注时，会产生大量气体，若透气性差，气体将留在铸件里，形成气孔。
- （3）耐火性——在高温和液体的作用下，型砂和芯砂不被烧结或融化的性能，称为耐火性。
- （4）退让性——铸件冷却收缩时，型砂和芯砂具有可被压缩的性能，称为退让性。退让性差，会阻碍铸件的收缩，在铸件中形成较大的内应力，引起铸件的变形和开裂。

4. 浇注系统的作用和类型

在铸型中用来引导金属液流入型腔的通道称为浇注系统。浇注系统对铸件的质量影响较大，浇注系统安排不当，可能产生浇不足、气孔、夹渣、砂眼、冲砂、缩孔和裂纹等铸造缺陷。合理的浇注系统，应具有下述作用：

- （1）将金属液平稳地导入型腔，以获得轮廓清晰完整的铸件。
- （2）隔渣，阻止金属液中的杂质和熔渣进入型腔。
- （3）控制金属液流入型腔的速度和方向。
- （4）调节铸件的凝固顺序。

浇注系统一般包括外浇口、直浇道、横浇道和内浇道等，如图 1.1.2 所示。

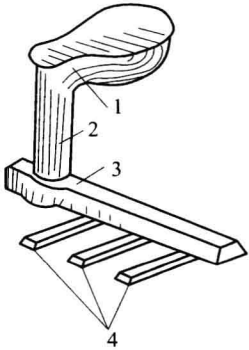


图 1.1.2 浇注系统示意图

外浇口：其作用是容纳注入的金属液并缓解液态金属对砂型的冲击。小型铸件通常为漏斗状（称浇口杯），较大型铸件为盆状（称浇口盆）。

直浇道：直浇道是连接外浇口与横浇道的垂直通道。改变直浇道的高度可以改变金属液的流动速度，从而改变液态金属的充型能力。

横浇道：横浇道是将直浇道的金属液引入内浇道的水平通道，一般开在砂型的分型面上。横浇道的主要作用是分配金属液进入内浇道和隔渣。

内浇道：内浇道直接与型腔相连，它能调节金属液流入型腔的方向和速度，调节铸件各部分的冷却速度。

浇注系统的类型很多，最常用的为顶注式（见图 1.1.3）。

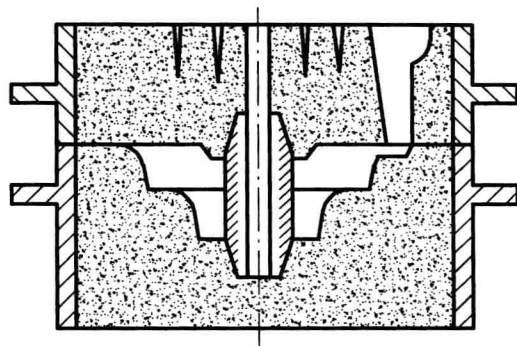


图 1.1.3 顶注式浇注系统

顶注式浇注系统的优点是易于充满型腔，型腔中金属的温度自下而上递增，因而补缩作用好，简单易做，节省金属。但对铸型冲击较大，有可能造成冲砂、飞溅和加剧金属的氧化。所以这类浇注系统多用于重量小、高度低和形状简单的铸件。

5. 铸型的组成和作用

铸型用于浇注金属液，以获得形状、尺寸和质量符合要求的铸件。以最常用的两箱砂型造型为例（见图 1.1.4），它主要由上砂型、下砂型、浇注系统、型腔、型芯和出气孔组成。上、下砂型之间的接触面称为分型面，它们的作用列于表 1.1.1。

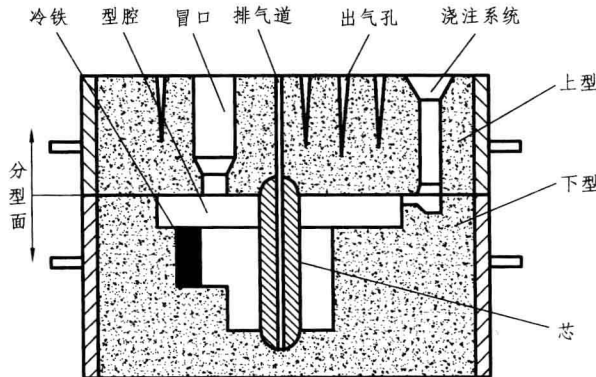


图 1.1.4 砂型的组成

表 1.1.1 铸型各组成部分的作用

组元名称	作用
砂 箱	造型时填充型砂的容器，分上、中、下砂箱
铸 型	通过造型获得具有型腔的工艺组元，分上、中、下等铸型
分型面	各铸型组元间的结合面，每一对铸型间都有一个分型面
浇注系统	金属液流入型腔的通道
冒 口	供补缩铸件用的铸型空腔，有些还起观察、排气和集渣的作用
型 腔	铸型中由造型材料所包围的空腔部分，也是形成铸件的主要空间
型 芯	为获得铸件内腔或局部外形，用芯砂制成安放在铸型内部的组元
出 气 孔	在铸型或型芯上，用针扎出的出气孔，用以排气
出 气 口	在铸型或型芯中，为排除浇注时形成的气体而设置的沟槽或孔道
冷 铁	为加快铸件局部冷却，在铸型、型芯中安放的金属物

分型面是指上型和下型之间的结合面。在铸造工艺图上，分型面用细直线和箭头表示，并注明“上、下”字样。

分型面决定了铸件在铸型中的位置，直接关系到模样结构、铸造工艺和铸件质量等，所以，合理选择分型面是一个重要而复杂的问题，总的原则要使起模方便，并有利于保证铸件质量。分型面可以是平面、斜面和曲面，为方便造型，分型面最好采用平面。分型面必须设在铸件的最大水平截面处，否则难以起模。为简化工艺，保证铸件质量，分型面应尽量少，最好是一个。

6. 常用手工造型工具

实际生产中，由于铸件的大小、形状、材料、批量和生产条件不同，需要采用不同的造型方法。造型可分为手工造型和机器造型两种，本章仅介绍手工造型。

造型时，为了便于舂砂、翻砂和搬运砂型，以及增加砂型承受金属熔液压力的能力，通常需要砂箱。手工造型时，还需要应用一些造型工具，常用的手工造型工具及其作用如图 1.1.5 所示。

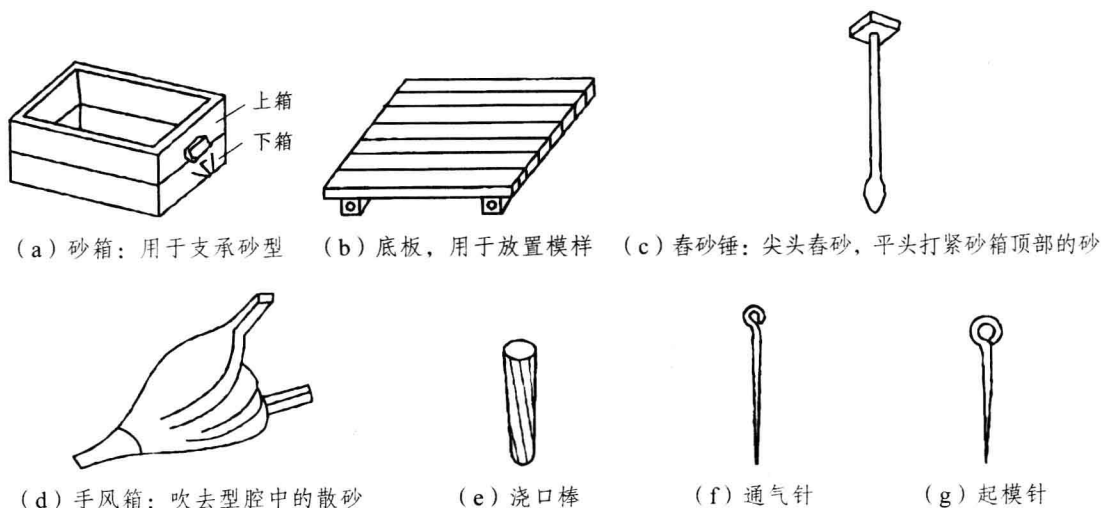




图 1.1.5 造型工具

三、实训示例

根据铸件结构、生产批量和生产条件，可采用不同的手工造型方案，表 1.1.2 为常用手工造型方法的特点和应用范围。

表 1.1.2 常用手工造型方法的特点和应用范围

造型方法	特 点			应用范围
	模样结构和分型面	砂箱	操作	
整模造型	整体模，分型面为平面	两个砂箱	简单	较广
分模造型	分开模，分型面多为平面	两到多箱	较简单	回转体铸件
活块造型	模样上有妨碍起模的部分，须做成活块	两到多箱	较费事	各种单件小批、中小件
挖砂造型	整体模，铸件的最大截面不在分型面处，须挖去阻碍起模的型砂才能取出模样，分型面一般为曲面	两到多箱	对技能要求较高、费事	单件小批、中小件
假箱造型	为免去挖砂操作，利用假箱来代替挖砂操作，分型面为曲面	两到多箱	较简单	成批生产的需挖砂件
刮板造型	用与铸件截面相适应的木板代替模样，分型面为平面	两个砂箱	对技能要求较高、费事	大中型轮类、管类单件小批生产
两箱造型	各类模样，分型面为平面或曲面，可机器造型也可手工造型	两个砂箱	简单	较广
三箱造型	铸件中间截面较两端小，使用两箱造型取不出模样，所以必须采用分开模。分型面一般为平面，有两个分型面，不能机器造型	三个砂箱	费事	较广

1. 整模造型

1) 整模造型工艺特点

整模造型的模样是一个整体，造型时模样全部在一个砂箱内，分型面是一个平面。这类模样的最大截面在端部，模样截面由大到小，放在一个砂箱内，可以一次从砂型中取出，造型比较方便。

2) 整模造型操作过程示例（见图 1.1.6）

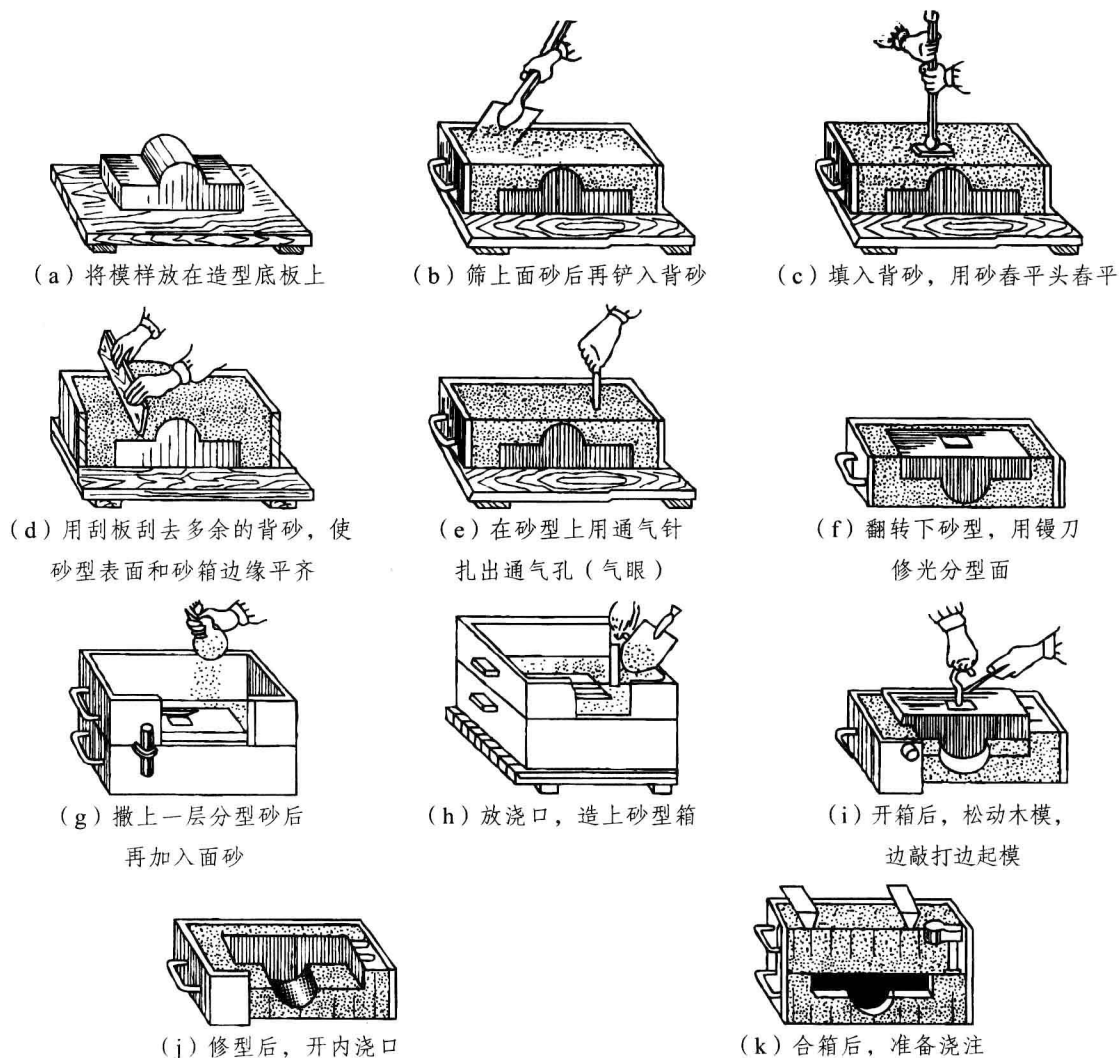


图 1.1.6 整模造型操作过程

2. 分模造型

1) 分模造型工艺特点

分模造型是将模样从其最大截面处分开，并以此面作为分型面，造型时将模样分别放在上、下砂

箱内，这类零件的最大截面不在端部。分模造型操作简单，适用于生产各种批量的管子、阀体、曲轴等形状较为复杂的铸件。造型时，要注意模样上下两半是否严密、易开合，模样的定位销是否牢固可靠。

2) 分模造型操作过程示例（见图 1.1.7）

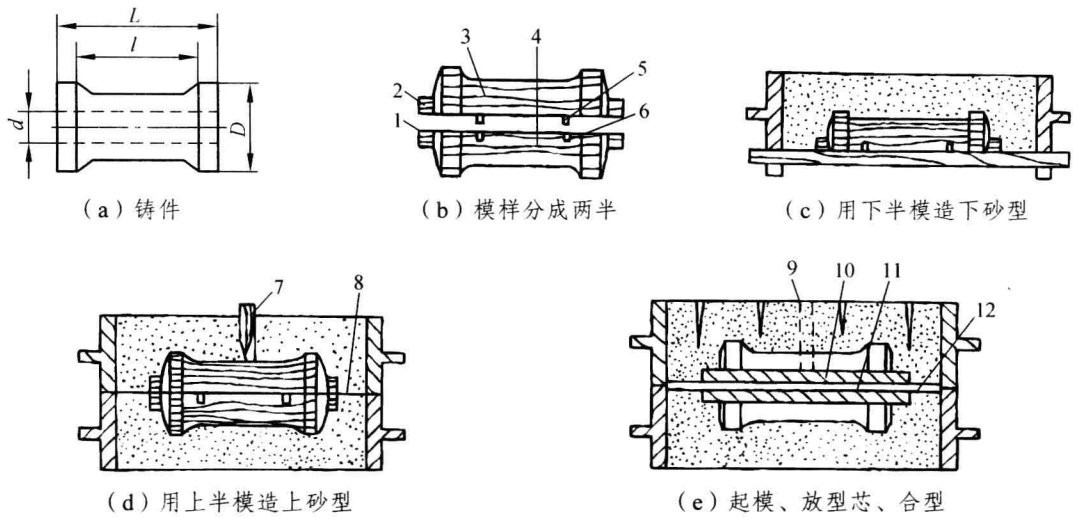


图 1.1.7 分模造型操作过程

1—分模面；2—型芯头；3—上半模；4—下半模；5—销钉；6—销孔；7—直浇道棒；8—分型面；9—浇注系统；10—型芯；11—型芯通气孔；12—排气道

3. 挖砂造型

1) 挖砂造型工艺特点

有些铸件的分型面是一个曲面，起模时覆盖在模样上面的型砂阻碍模样的起出，必须将覆盖其上的砂挖去，才能正常起模，采用这种方法造型称为挖砂造型。挖砂造型的生产效率很低，对操作人员的技术水平要求较高，它只适用于单件小批生产的小型铸件。

2) 挖砂造型操作过程示例（见图 1.1.8）

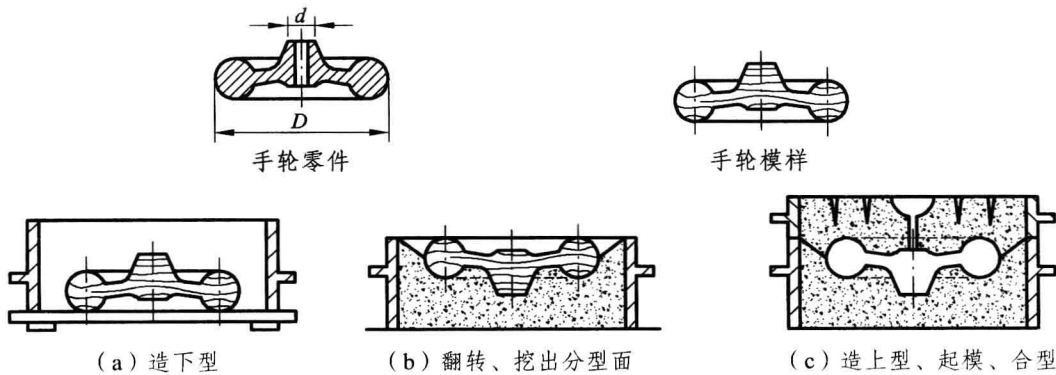


图 1.1.8 挖砂造型操作过程

挖砂造型时将妨碍起模的那部分型砂挖去，并将挖砂面修光，使挖去的那部分砂型在造上砂型中形成。挖砂造型除了在制造下砂型时，多一个挖砂操作工序，使其上砂型的分型面多出吊砂部分外，其他基本与整模造型相同。

3) 挖砂造型时应注意的几个问题

(1) 挖砂时，所挖的曲线分型面的投影一定是最大的投影面，否则不能起模，失去了挖砂造型的意义。

(2) 分型面应修整光滑平整，挖砂部位的坡度应适当。

(3) 由于分型面是一个曲面，在上砂型形成吊砂，所以在开型和合型时，应特别仔细，避免损坏型腔。

4. 活块造型

1) 活块造型的工艺特点

活块造型是将整体模样或芯盒侧面的伸出部分做成活块，起模或脱芯后，再将活块取出的造型方法，如图 1.1.9 所示。活块用销子或燕尾榫与模样主体连接。造型时应特别细心，舂砂时要防止舂坏活块或将其位置移动，起模时要用适当的方法从型腔侧壁取出活块。活块造型操作难度较大，取出活块要花费工时，活块部分的砂型损坏后修补较困难，故生产率低，且要求操作人员的操作水平高。活块造型只适用于单件小批量生产。

2) 活块造型操作过程示例（见图 1.1.9）

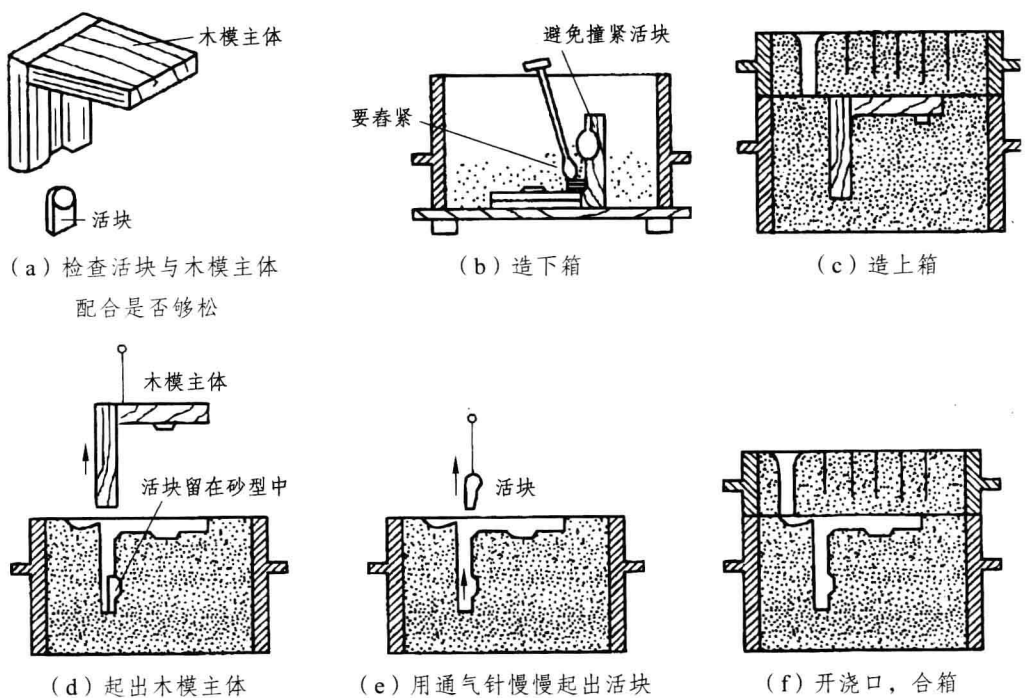


图 1.1.9 活块造型操作过程

5. 造型芯

型芯主要作用是形成铸件的内腔，有时亦可用型芯形成铸件的外形。浇注时由于型砂受到液体金属的冲击，浇注后型芯的大部分被液体金属包围，因此要求芯砂比型砂具有更好的综合性能。为了加强型芯的强度，在型芯中要放置芯骨，小型芯骨用钢丝制成，大、中型芯骨用铸铁制成。制芯的方法分手工制芯和机器制芯两大类

第二节 熔炼浇注及铸造缺陷分析

一、实训目的

- (1) 了解冲天炉的构造及各部分的作用；
- (2) 了解冲天炉的工作原理及基本操作方法；
- (3) 能对铸件进行质量检验和缺陷分析。

二、实训准备知识

熔炼是铸造生产的基本环节，它直接影响铸件质量、生产效率和生产成本。用于铸造的合金有铸铁、铸钢、铜合金和铝合金等。为了生产高质量的铸件，首先要求熔炼出合格的金属液，熔炼铸造合金应满足：金属液温度足够高；金属液的化学成分应符合要求；熔化效率高，燃烧消耗小。大多数工厂熔炼铸铁是用冲天炉，也可以用工频电炉。冲天炉结构简单，操作方便，燃烧效率较高，消耗少，应用广泛。

1. 冲天炉的构造

冲天炉的构造如图 1.2.1 所示。

- (1) 后炉是冲天炉的主体部分，包括炉身、烟囱、火花罩、加料口、炉底、支柱和过道等部分。它主要的作用是完成炉料的预热、熔化和过热铁水。
- (2) 前炉起储存铁水的作用，上面有出铁口、出渣口和窥视口。
- (3) 加料系统包括加料吊车、送料机和加料桶。它的作用是使炉料按一定配比和分量，按次序分批从加料口中送进炉内。
- (4) 送风系统包括鼓风机、风管、风带和风口。它的作用是把空气送到炉内，使焦炭充分燃烧。
- (5) 检测系统包括流量计和风压计。

2. 备 料

冲天炉的炉料由铁矿石或废铁、燃料（焦炭）和熔剂（石灰石）组成。废铁包括回炉料、废

旧铸件、浇注系统及冒口、废钢和铁合金（硅铁、锰铁）。

3. 冲天炉的熔化原理

焦炭燃烧，高温炉气上升，金属料和熔剂下行。在两者的相对流动中，进行热能传递和冶金反应，达到熔炼目的。冶金反应主要是还原成铁和增碳过程。

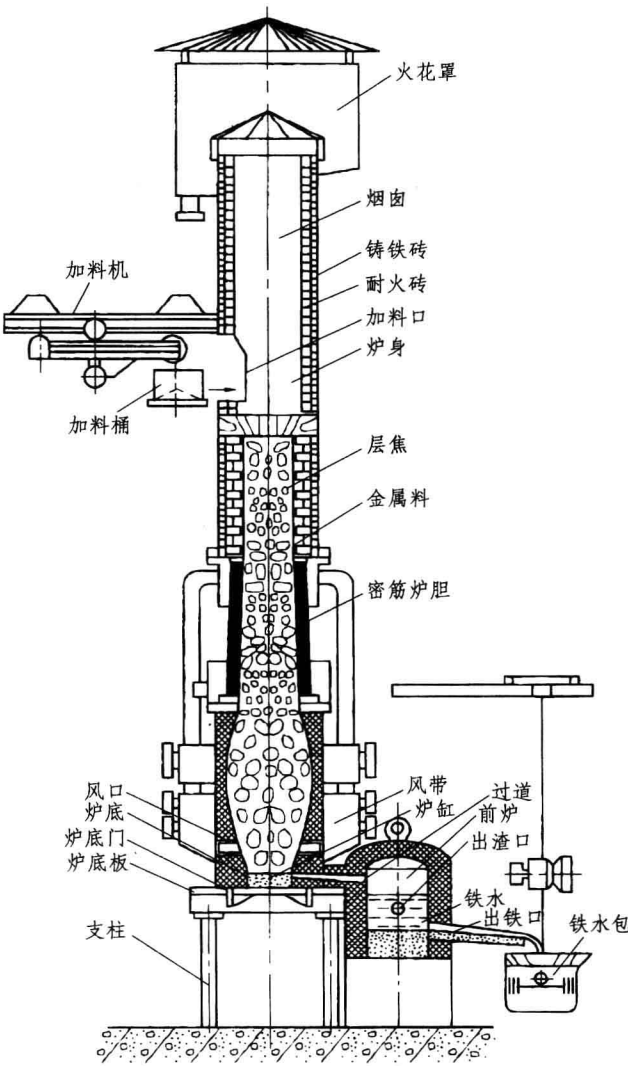


图 1.2.1 冲天炉的构造

4. 浇注、落砂、清理

浇注是保证铸件质量的重要环节之一，据统计，铸造生产中，由于浇注原因而报废的铸件，占报废件总数的 20% ~ 30%。因此在浇注过程中，必须严格控制浇注温度和浇注速度。

1) 浇 注

① 扒渣。即清除金属液表面熔渣，以免熔渣进入型腔，产生夹杂等缺陷。扒渣操作要迅速，

以免扒渣时间过长，导致金属液温度下降。

② 引火。在出气冒口和出气孔处，引火燃烧，促使气体快速排出，减少铸件气孔等。

③ 将浇包口或底注口靠近浇口杯，在开始浇注时和将近结束时都应以细流状注入。

④ 在浇满的浇冒口上面加盖干砂、稻草灰，既可以阻止光辐射，又可保温。

⑤ 当铸件凝固后进入固态收缩阶段时，应及时卸去压铁，使铸件自由收缩，阻止铸件产生变形或裂纹等缺陷。

2) 铸件落砂

将铸件从砂型中取出来称为落砂。落砂时应注意铸件的温度。温度太高时落砂，会使铸件急冷而产生白口、变形和裂纹。落砂过晚，会造成铸件晶粒粗大，导致固态收缩受阻而产生铸造压力和冷裂，因此应在保证铸件质量的前提下尽早落砂。铸件在砂型中合适的停留时间与铸件形状、大小、壁厚等有关，一般铸件在 400 ~ 500 °C 时落砂。落砂的方法有手工落砂和机械落砂两种。在大量生产中一般用落砂机进行落砂。

3) 铸件清理

落砂后的铸件必须经过清理工序，才能使铸件外表面达到要求。清理工作主要包括：

① 去除浇冒口。对灰铸铁小件，一般直接用锤子敲击去除浇冒口；对于大型铸件，要先在浇冒口根部锯槽，再用重锤敲击；对有色金属和铸钢等韧性材料铸件，可采用锯割、气割或等离子弧切割冒口。

② 清砂。指清除铸件表面的黏砂和内部芯砂，有手工清砂、水力清砂和水爆清砂等多种方法。

③ 铸件修整。用圆铲和砂轮清除铸件上的飞边毛刺和浇口根之后，用清理滚筒或抛丸处理修整铸件表面。

④ 用高温退火和清除内应力退火的方式对铸件进行热处理。

5. 铸件的质量检验与缺陷分析

铸件质量包括内在质量和外观质量。内在质量包括化学成分、物理和力学性能、金相组织以及存在于铸件内部的孔洞、裂纹、夹杂物等缺陷；外观质量包括铸件的尺寸精度、形状精度、位置精度、表面粗糙度、质量偏差及表面缺陷等。铸件质量好坏，关系到产品的质量及生产成本，也直接关系到经济效益和社会效益。铸件结构、原材料、铸造工艺过程及管理状况等均对铸件质量有影响。表 1.2.1 为常见铸件缺陷的特征及产生的原因。

表 1.2.1 常见铸件缺陷分析

缺陷名称	产生的主要原因	缺陷名称	产生的主要原因
气孔	1. 春砂太紧或造型起模时刷水过多	裂纹	1. 铸件设计不合理，厚薄相差太大
	2. 型砂含水过多或透气性差		2. 浇注温度太高，冷却不均匀
	3. 型砂芯砂未烘干或芯通气孔阻塞		3. 浇口位置不当
	4. 金属液温度过低或浇注速度过快		4. 春砂太紧或落砂过早