



石油高等院校特色教材

机械制造技术实践

宋玉杰 闫月娟 祖海英 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油高等院校特色教材

机械制造技术实践

宋玉杰 闫月娟 祖海英 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是围绕石油高等院校教学中广泛开展的工程训练项目而编写的。全书共分十二章,内容包括铸造、压力加工、焊接、钢的热处理、车削加工、刨削和铣削加工、钳工、数控编程基础、数控车削、数控铣削、数控线切割和 CAD/CAM。

本书可以作为石油高等院校工程训练的指导教材,也可供从事机械制造的相关人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造技术实践/宋玉杰, 闫月娟, 祖海英主编.

北京: 石油工业出版社, 2009. 4

石油高等院校特色教材

ISBN 978 - 7 - 5021 - 7025 - 7

I. 机…

II. ①宋…②闫…③祖…

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 (2009) 第 024433 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523574 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京晨旭印刷厂

2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14.25

字数: 365 千字

定价: 23.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

前 言

面向 21 世纪的高级工程技术人才应该是复合型、创造型的人才，具有较强的适应能力、发展能力和竞争能力，还应具有扎实的理论基础，宽广的知识和较强的工程意识、创新意识以及解决工程实际问题的能力。为实现这一目标，高等院校将工程训练作为最重要的提升学生综合素质的手段。在这一背景下，工程训练的目标、内容、方式和对象都发生了很大变化：在原有训练项目的基础上增加了新内容，如数控加工、特种加工等先进制造技术的训练；训练过程中综合运用各种教学手段，注重实际动手能力、创新能力的培养；参与工程训练的学生已不仅限于机械类、近机械类专业。为了适应这一变化，并考虑到国内大多数院校工程训练教学的实际情况，编写了此教材，希望能对工程训练教学目标的实现有所裨益。

工程训练的内容涉及机械、电工电子等方面。本书是针对机械制造这一部分训练内容编写的，在兼顾传统金工实习内容的基础上，增加了数控车削、数控铣削和数控线切割等先进制造技术的内容，强调了学生手工数控编程能力的培养；考虑到实际生产中 CAD/CAM 技术的广泛应用，又增加了基于 UG NX 的三维建模与自动数控编程的内容。

参加本书编写的有祖海英（第一章）、王玥（第二章）、孟碧霞（第三章）、李森（第四章）、宋玉杰（第五、第六、第七章）、温后珍（第八、第九、第十章）、闫月娟（第十一章）、田密（第十二章），吴泽民参加了第十一章的部分编写工作。宋玉杰、闫月娟、祖海英任主编。

由于编写人员水平有限，书中难免有不妥之处，恳请使用本教材的广大师生和读者提出宝贵意见。

编者

2009 年 1 月

目 录

第一章 铸造	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 砂型铸造工艺	(2)
第三节 合金的熔炼	(5)
第四节 造型	(7)
第五节 铸造工艺设计	(14)
第六节 铸件的落砂、清理和缺陷分析	(17)
第七节 特种铸造	(21)
第二章 压力加工	(24)
第一节 锻造生产过程	(24)
第二节 自由锻	(26)
第三节 板料冲压	(32)
第三章 焊接	(38)
第一节 概述	(38)
第二节 焊条电弧焊	(39)
第三节 其他常用焊接方法	(51)
第四节 焊接缺陷及其产生原因	(53)
第四章 钢的热处理	(56)
第一节 概述	(56)
第二节 热处理的工艺	(57)
第五章 车削加工	(63)
第一节 卧式车床	(63)
第二节 车刀	(70)
第三节 车床刀具及工件的安装	(72)
第四节 车床加工方法及工艺	(77)
第六章 刨削和铣削加工	(91)
第一节 刨削加工	(91)
第二节 铣削加工	(96)
第三节 铣床附件及工件安装	(106)
第七章 钳工	(111)
第一节 钳工的基本操作	(111)
第二节 钻削加工	(121)
第三节 机器的装配和拆卸	(125)

第八章 数控编程基础	(136)
第一节 数控机床概述	(136)
第二节 数控编程主要步骤	(138)
第三节 数控程序的格式及主要指令	(139)
第四节 机床坐标系与工件坐标系	(142)
第五节 常用数控指令	(144)
第九章 数控车削	(150)
第一节 数控车床概述	(150)
第二节 数控车削加工工艺	(153)
第三节 数控车削实例	(157)
第四节 数控车床操作	(161)
第十章 数控铣削	(167)
第一节 数控铣床概述	(167)
第二节 数控铣削加工工艺	(168)
第三节 数控铣削实例	(170)
第四节 数控铣床操作	(171)
第十一章 数控线切割	(173)
第一节 数控线切割加工的原理、特点及应用范围	(173)
第二节 数控线切割加工工艺装备及应用	(175)
第三节 线切割加工程序的编写方法	(177)
第四节 HL 线切割控制系统	(181)
第五节 CAXA 线切割编程系统	(184)
第十二章 CAD/CAM	(196)
第一节 CAD/CAM 概述	(196)
第二节 UG 软件简介	(197)
第三节 UG 应用实例	(202)
参考文献	(222)

第一章 铸 造

第一节 概 述

铸造是熔炼金属、制造铸型并将熔融金属浇入铸型,熔融金属经凝固后获得一定形状和性能铸件的方法。

熔融金属及铸型是铸造的两大基本要素。适于铸造的金属有铸铁、铸钢和铸造有色金属等,其中铸铁(特别是灰铸铁)用得最为普遍。铸型可用型砂、金属或其他耐火材料做成,其中砂型用得最为广泛,主要用于铸造铸铁件、铸钢件,金属型主要用于铸造有色金属铸件。

本章重点介绍铸铁件的砂型铸造方法。砂型铸造生产的主要工序为制模、配砂、造型、造芯、合型、熔炼、浇注、落砂、清理和检验。图1-1为套筒铸件的砂型铸造过程,根据零件形状和尺寸,设计并制造模样和芯盒;分别配制型砂和芯砂;利用模样和芯盒等工艺装备分别造出砂型和砂芯;然后将砂型和砂芯合为一个整体铸型,将熔融的金属浇注入铸型内,完成充型过程;冷却凝固后落砂取出铸件;最后对铸件清理并检验。

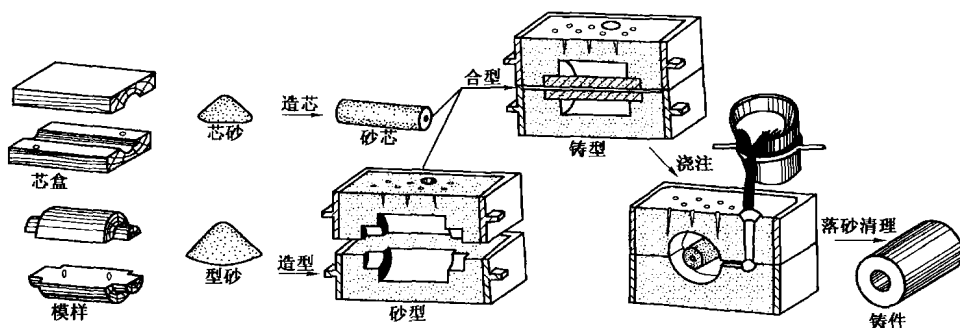


图1-1 套筒铸件的砂型铸造过程

对于某些特殊铸件,还可采用其他特种铸造方法,如熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造和离心铸造、壳型铸造和消失模铸造等。

铸造的优点是适应性强(可制造各种合金类别、形状和尺寸的铸件),成本低廉,其缺点是生产工序多,劳动强度大,铸件质量难以控制,铸件力学性能较差。铸造主要用于形状复杂的毛坯件生产,如机床床身、发动机汽缸体、各种支架、箱体等。它是制造具有复杂结构金属件的最灵活的成型方法。

第二节 砂型铸造工艺

一、型砂和芯砂的制备

砂型铸造用的造型材料主要是用于制造砂型的型砂和用于制造砂芯的芯砂。型砂是由原砂(山砂或河沙)、粘土和水按一定比例混合而成,其中粘土约为9%,水约为6%,其余为原砂。有时还加入少量如煤粉、植物油、木屑等附加物以提高型砂和芯砂的性能。紧实后的型砂结构如图1-2所示。

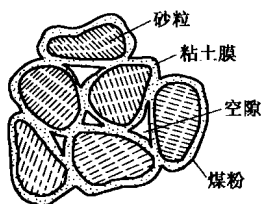


图1-2 型砂结构示意图

芯砂由于需求量少,一般用手工配制。型芯所处的环境恶劣,所以芯砂性能要求比型砂高,同时芯砂的粘结剂(粘土、油类等)比型砂中的粘结剂密度要大一些,所以其透气性不及型砂,制芯时要做出透气道(孔);为改善型芯的退让性,要加入木屑等附加物。

二、型砂的性能

型砂的质量直接影响铸件的质量,型砂质量差会使铸件产生气孔、砂眼、粘砂、夹砂等缺陷。良好的型砂应具备下列性能:

(1)透气性:型砂能让气体透过的性能称为透气性。高温金属液浇入铸型后,型腔内充满大量的气体,这些气体必须由铸型内顺利排出去,否则将使铸件产生气孔、浇不足等缺陷。

铸型的透气性受砂的粒度、粘土含量、水分含量及砂型紧实度等因素的影响。砂的粒度越细、粘土及水分含量越高、砂型紧实度越高,透气性则越差。

(2)强度:型砂抵抗外力破坏的能力称为强度。型砂必须具备足够高的强度才能在造型、搬运、合箱过程中不会引起塌陷,浇注时也不会破坏铸型表面。型砂的强度也不宜过高,否则会因透气性、退让性的下降使铸件产生缺陷。

(3)耐火性:指型砂抵抗高温热作用的能力。耐火性差,铸件易产生粘砂。型砂中 SiO_2 含量越多,型砂颗粒就越大,耐火性越好。

(4)可塑性:指型砂在外力作用下变形,去除外力后能完整地保持已有形状的能力。可塑性好,造型操作方便,制成的砂型形状准确、轮廓清晰。

(5)退让性:指铸件在冷凝时,型砂可被压缩的能力。退让性不好,铸件易产生内应力或开裂。型砂越紧实,退让性越差。在型砂中加入木屑等附加物可以提高退让性。

此外,还要求型砂有较好的流动性、溃散性和耐用性等。

在单件小批生产的铸造车间里,常用手捏法来粗略判断型砂的某些性能,如用手抓起一把型砂,紧捏时感到柔软容易变形;放开后砂团不松散、不粘手,并且手印清晰;把它折断时,断面平整均匀并没有碎裂现象,同时感到具有一定强度,就认为型砂具有了合适的性能要求,如图1-3所示。

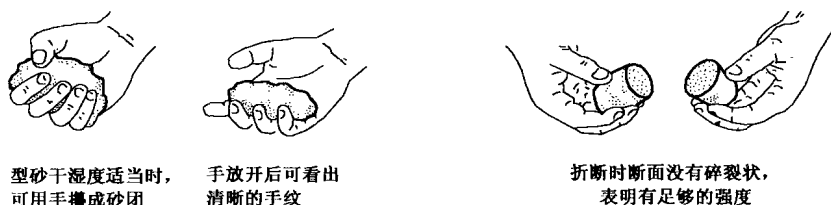


图 1-3 手捏法检验型砂

三、铸型的组成

铸型是根据零件形状用造型材料制成的,铸型可以是砂型,也可以是金属型。砂型由型砂(型芯砂)做造型材料制成,用于浇注金属液,以获得形状、尺寸和质量符合要求的铸件。

铸型一般由上砂型、下砂型、砂芯、型腔和浇注系统组成,如图 1-4 所示。铸型组元间的接合面称为分型面。铸型中造型材料所包围的空腔部分,即形成铸件本体的空腔称为型腔。液态金属通过浇注系统流入并充满型腔,产生的气体从出气口等处排出砂型。

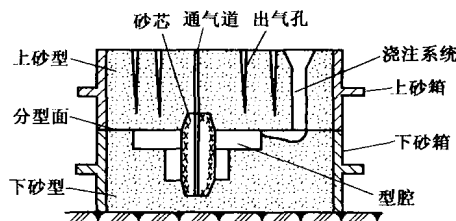


图 1-4 铸型装配图

四、浇注系统与冒口

浇注系统是为使金属液填充型腔和冒口而开设于铸型中的一系列通道,浇注系统安排不合理,就可能产生气孔、砂眼、夹渣、铁豆、浇不足、缩孔和裂纹等缺陷,因此正确开设浇注系统十分重要。

1. 浇注系统

典型的浇注系统如图 1-5 所示,由浇口杯、直浇道、横浇道、内浇道和出气口五部分组成。浇注系统的主要作用是:平稳迅速地注入金属液;阻止熔渣等杂质进入型腔;调节铸件不同部位的温度和凝固次序,对小铸件有时也有一定“补缩”作用。

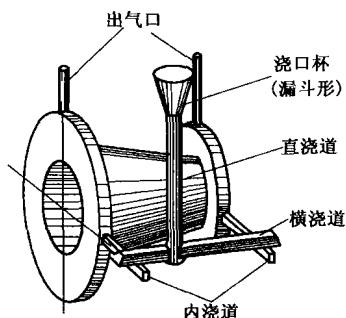


图 1-5 典型的浇注系统

1) 浇注系统各组元的作用

(1) 浇口杯的作用是承接金属液、减少其冲击力,使之平稳流入直浇道,并部分分离熔渣。漏斗形浇口杯用于中、小铸件,盆形浇口杯用于大铸件。

(2) 直浇道是指从浇口杯流向横浇道的垂直通道。为了使造型时容易拔出浇口棒,其截面常做成上大下小的圆锥形。底部应做出直浇道窝,低于横浇道底面,以减轻液流冲击,使之流动平稳。直浇道越高,底部的压力越大,流速越快,利用其高度可产生一定的静压力使金属产生充型能力。

(3)横浇道是连接直浇道和内浇道的水平通道,其主要作用是挡渣。为此,其截面形状多为高梯形,且位于内浇道顶面上,末端应超出内浇道侧面,浇注时金属液始终充满横浇道,熔渣上浮到横浇道顶面,纯净金属液由底部流入内浇道内。

(4)内浇道是引导金属液进入型腔的通道,它的作用是控制金属液的充型速度和方向,并调节铸型各部分温度而控制铸件的凝固顺序。其截面形状一般是扁梯形和月牙形,也可用三角形。

(5)出气口是排出气体的通道,它的作用是将浇注过程中产生的气泡排出,以防止形成铸造缺陷。

2) 内浇道的开设原则

内浇道的位置、截面大小及形状对铸件质量有极大的影响,开设内浇道时必须注意以下几点:

(1)因为内浇道附近的金属冷却慢、组织粗大、力学性能较差,一般不应开在铸件的重要部位(如重要的加工面)。

(2)使金属液顺着型壁流动,避免直接冲击砂芯或砂型的突出部分(图1-6)。

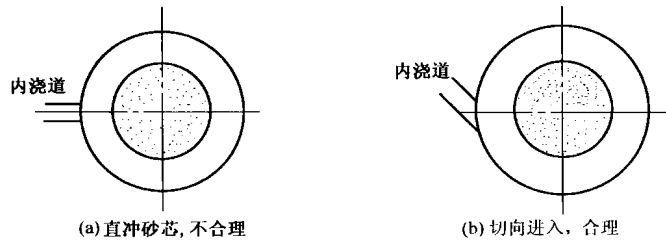


图1-6 内浇道的设置

(3)内浇道的形状应考虑清理方便。内浇道和铸型的结合处应带有缩颈,如图1-7(a)所示。在敲断内浇道时,既不会从铸件处断裂,也不会使残留的内浇道过长。

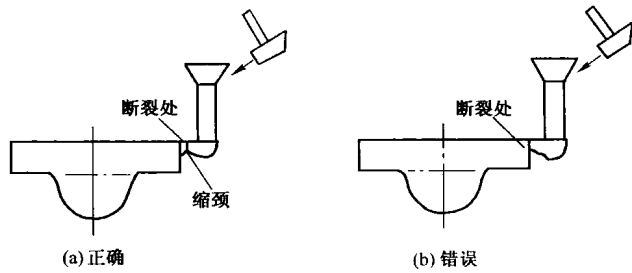


图1-7 内浇道端部应带缩颈

2. 冒口

常见的缩孔、缩松等缺陷是由于铸件冷却凝固时体积收缩而产生的。为防止缩孔和缩松,往往在铸件的顶部或厚实部位设置冒口。冒口是指在铸型内特设的空腔及注入该空腔的金属。冒口中的金属液可不断地补充铸件的收缩,从而使铸件避免出现缩孔、缩松。冒口是多余部分,清理时要切除掉。冒口除了有补缩作用外,还有排气和集渣的作用。

五、模样和芯盒的制造

模样是铸造生产中必要的工艺装备。对具有内腔的铸件,铸造时内腔由砂芯形成,因此还要制备造砂芯用的芯盒。制造模样和芯盒常用的材料有木材、金属和塑料。在单件、小批量生产时广泛采用木质模样和芯盒;在大批量生产时多采用金属或塑料模样和芯盒。金属模样和芯盒的使用寿命长达10万~30万次,塑料的使用寿命最多几万次,而木质的仅1000次左右。

为了保证铸件质量,在设计及制造模样和芯盒时,必须先设计出铸造工艺图,然后根据工艺图的形状和大小,制造模样和芯盒。

第三节 合金的熔炼

合金熔炼的目的是要获得符合要求的金属熔液。不同类型的金属,需要采用不同的熔炼方法及设备,如钢的熔炼是用转炉、平炉、电弧炉、感应电炉等;铸铁的熔炼多采用冲天炉;而非铁金属(如铝、铜合金等)的熔炼,则用坩埚炉。

一、铝合金的熔炼

铸铝是工业生产中应用最广泛的铸造非铁合金之一。由于铝合金的熔点低,熔炼时极易氧化、吸气,合金中的低沸点元素(如镁、锌等)极易蒸发烧损,故铝合金的熔炼应在与燃料和燃气隔离的状态下进行。

1. 铝合金的熔炼设备

铝合金的熔炼一般是在坩埚炉内进行,根据所用热源不同,有焦炭加热坩埚炉、电阻坩埚炉(图1-8)等不同形式。

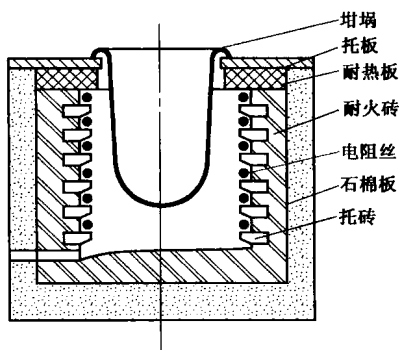


图 1-8 电阻坩埚炉结构示意图

通常用的坩埚有石墨坩埚和铁质坩埚两种。石墨坩埚是用耐火材料和石墨混合成型并烧制而成。铁质坩埚是由铸铁或铸钢铸造而成,可用于铝合金等低熔点合金的熔炼。

2. 铝合金的熔炼过程

铝合金的熔炼过程见图1-9。

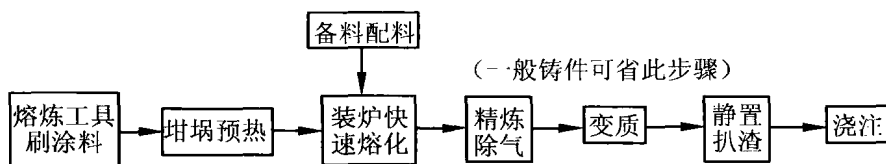


图 1-9 铝合金的熔炼过程

二、铸铁的熔炼

在铸造生产中,铸铁件占铸件总质量的 70% ~ 75%, 其中绝大多数采用灰铸铁。为获得高品质的铸铁件,首先要熔化出优质的铁水。

1. 铸铁的熔炼要求

- (1) 铁水温度要高;
- (2) 铁水化学成分要稳定在所要求的范围内;
- (3) 提高生产率,降低成本。

2. 铸铁的熔炼设备

冲天炉是铸铁的主要熔炼设备。它具有结构简单、操作方便、可连续熔炼、生产率高、成本低等优点。其熔炼成本仅为电炉的 1/10, 但熔炼的铁水质量不如电炉好。

1) 冲天炉的构造

冲天炉由炉体、火花捕集器、前炉、加料系统和送风系统五部分组成,如图 1-10 所示。炉体是一个直立的圆筒,包括烟囱、加料口、炉身、风口、炉底和支柱等部分。炉体主要作用是完成炉料预热、熔化和铁水的过热。位于烟囱上部的火花捕集器起除尘的作用,炉顶喷出的烟尘火花沉积于底部,可由管道排出。前炉起储存铁水的作用,其前部设置有出铁口和出渣口。

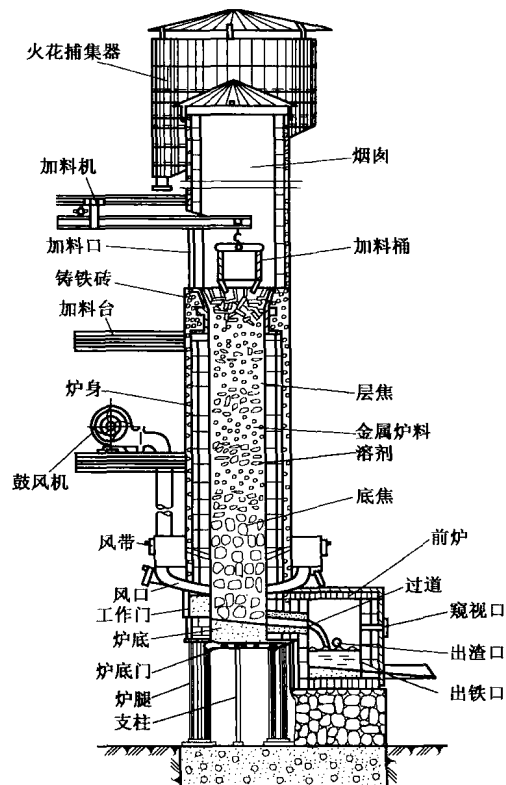


图 1-10 冲天炉的构造

冲天炉的大小是以每小时能熔炼出铁液的质量来表示,常用的为 1.5 ~ 10t/h。

冲天炉的大小是以每小时能熔炼出铁液的质量来表示,常用的为 1.5 ~ 10t/h。

2) 冲天炉炉料及其作用

(1) 金属炉料。金属炉料包括生铁、回炉铁、废钢和铁合金等。生铁为对铁矿石经高炉冶炼后的铁碳合金块,它是生产铸铁件的主要材料;回炉铁如浇口、冒口和废铸件等,利用回炉铁可节约生铁用量,降低铸件成本;废钢是机械加工车间的钢料头及钢切屑等,加入废钢可降低铁液碳的含量,提高铸件的力学性能;铁合金如硅铁、锰铁、铬铁以及稀土合金等,用于调整铁液化学成分。

(2) 燃料。冲天炉熔炼多用焦炭作燃料。通常焦炭的加入量一般为金属料的 1/12 ~ 1/8, 这一数值称为焦铁比。

(3) 熔剂。熔剂主要起稀释熔渣的作

用。在炉料中加入石灰石(CaCO_3)和萤石(CaF_2)等矿石,会使熔渣与铁液容易分离,便于把熔渣清除。熔剂的加入量为焦炭的 25% ~ 30%。

3)冲天炉的熔炼原理

在冲天炉熔炼过程中,炉料从加料口加入,自上而下运动,被上升的高温炉气预热,温度升高;鼓风机鼓入炉内的空气使底焦燃烧,产生大量的热。当炉料下落到底焦顶面时,开始熔化。铁水在下落过程中被高温炉气和灼热焦炭进一步加热(过热),过热的铁水温度可达 1600℃ 左右,然后经过过道流入前炉。此后铁水温度稍有下降,最后出铁温度为 1380 ~ 1430℃。

冲天炉内铸铁熔炼的过程并不是金属炉料简单重熔的过程,而是包含一系列物理、化学变化的复杂过程。熔炼后的铁水成分与金属炉料相比较,含碳量有所增加;硅、锰等合金元素含量因烧损会降低;硫含量升高,这是焦炭中的硫进入铁水中所引起的。

第四节 造 型

用型砂及模样等工艺装备制造铸型的过程称为造型。造型方法可分为手工造型和机器造型两大类。

一、手工造型

手工造型操作灵活,使用造型工具可进行整模造型、分模造型、挖砂造型、假箱造型、活块造型、三箱造型、地坑造型及刮板造型等。根据铸件的形状、大小和生产批量选择造型方法。

1. 整模造型

整模造型是用整体模样进行造型的方法。其造型过程如图 1 - 11 所示。

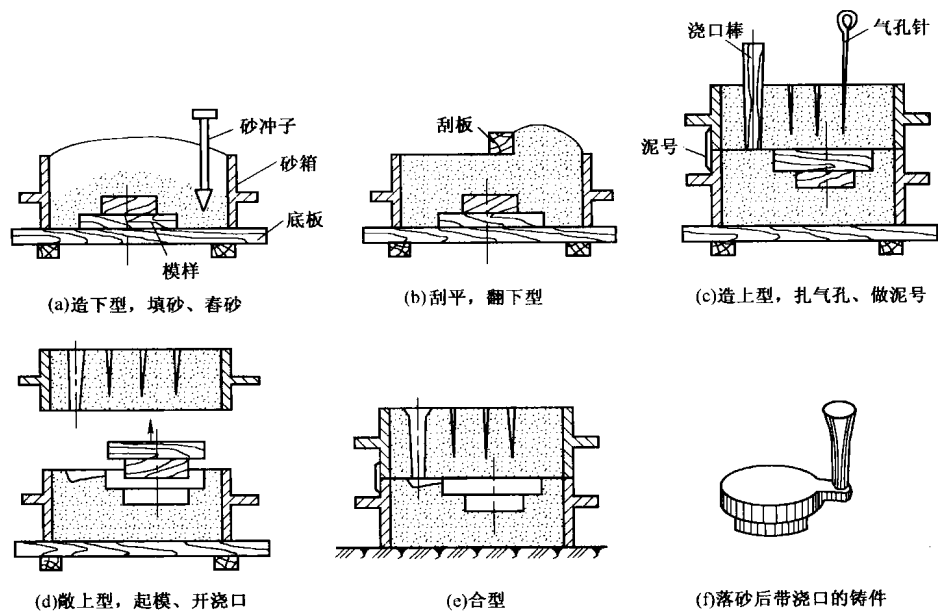


图 1 - 11 整模造型过程

整模造型的特点是以模样为整体结构,最大截面在模样一端且是平面;分型面多为平面;模样大部分在一个砂型内,操作简单。整模造型适用于形状简单的铸件,如盘、盖类铸件。

2. 分模造型

分模造型是用分块模样造型的方法,其造型过程与整模方法相比,增加了放、取上半模两个操作,套筒的分模造型过程如图 1-12 所示。分模造型的特点是模样为分体结构,模样的分开面(称分模面)必须是模样的最大截面;模样位于两个砂型内,铸件尺寸精度较差,操作较简便。分模造型应用很广泛,适用于形状复杂的铸件,如套筒、管子和阀体等。

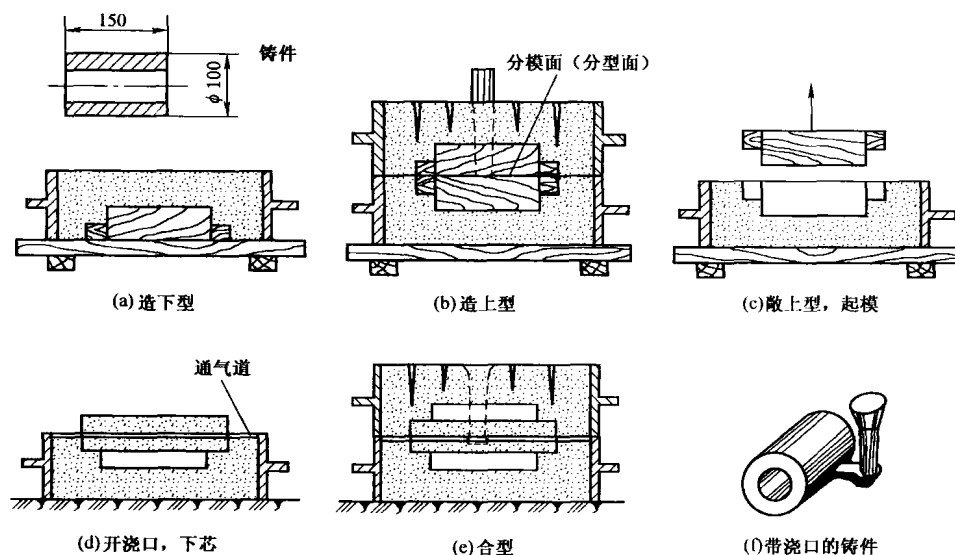


图 1-12 套筒的分模造型过程

3. 挖砂造型

需对分型面进行挖修才能取出模样的造型方法称为挖砂造型。手轮的挖砂造型过程如图 1-13 所示。为便于起模,下型分型面需要挖到模样最大截面处[图 1-13(b)中 A-A 处],分型面坡度尽量小并应修抹得平整光滑。

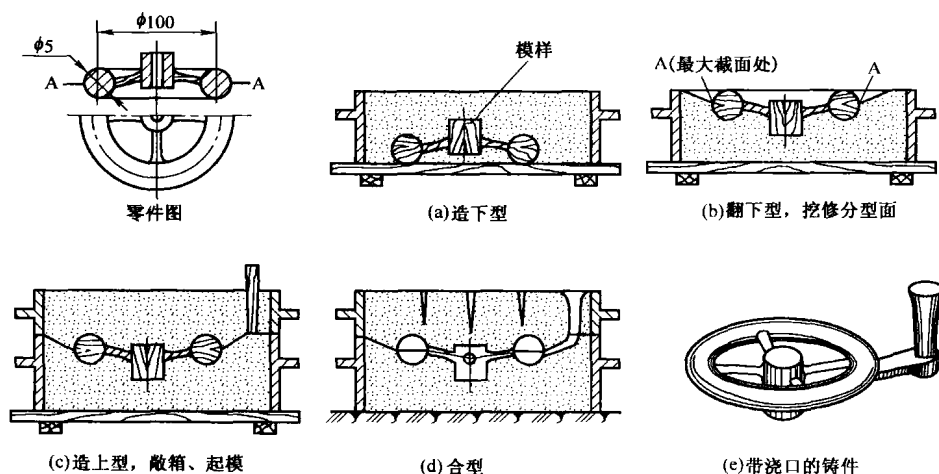


图 1-13 手轮的挖砂造型过程

挖砂造型的特点是模样多为整体的;铸型的分型面是不平分型面;挖砂操作技术要求较高,生产率较低。挖砂造型适用于形状较复杂铸件的单件生产。

4. 假箱造型

假箱造型是利用预先制好的半个铸型(此为假箱)代替底板,省去挖砂的造型方法。假箱只参与造型,不用来组成铸型。手轮的假箱造型如图 1-14 所示。以不带浇口的上型当假箱,其上承托模样,造下型,随后造上型、合型等操作同挖砂造型,如图 1-13(c)、(d)所示。

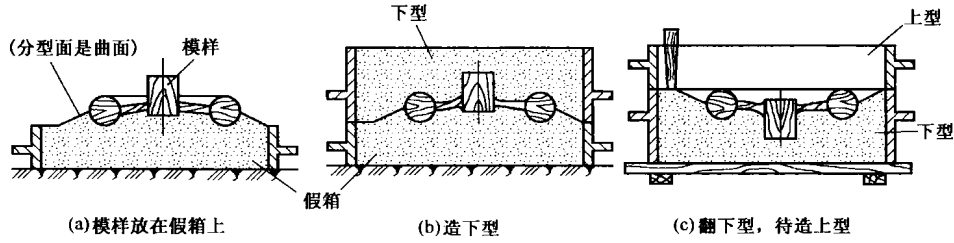


图 1-14 手轮的假箱造型

假箱一般是用强度较高的型砂制成,舂得很紧。假箱分型面的位置应准确,型面应光滑平整。

假箱造型可免去挖砂操作,提高造型效率,适用于形状较复杂铸件的小批量生产。当大批量生产时,可用木料制作成型底板。

5. 活块模造型

活块模造型是采用带有活块的模样造型的方法。模样上可拆卸的或能活动的部分叫活块。当模样上有妨碍起模的伸出部分(如小凸台)时,常将该部分做成活块。造下型时,用钉子把活块模连接在模样上,先将活块四周的型砂塞紧,然后拔出钉子,如图 1-15(a)所示。起模时,先将模样主体取出,如图 1-15(b)所示,再将留在铸型内的活块取出,如图 1-15(c)所示。

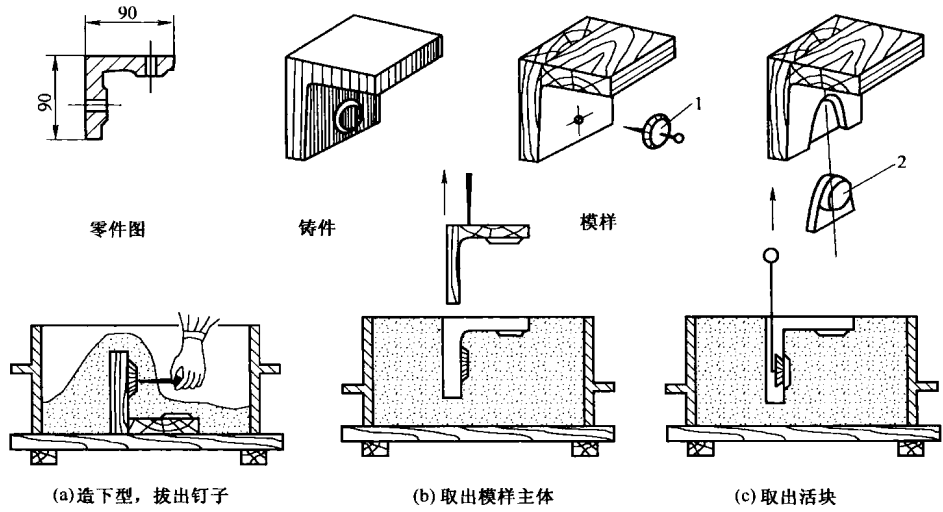


图 1-15 活块模造型

1—用钉子连接的活块;2—用燕尾榫连接的活块

凸台厚度应小于该处模样厚度的 $1/2$, 否则活块难以取出。

活块模造型的特点是模样主体可以是整体的(图 1-15), 也可以是分开的; 对工人的操作技术水平要求较高, 操作较麻烦, 生产率较低。活块模造型适用于有无法直接起模的凸台、肋条等结构的铸件。

6. 三箱造型

用三个砂箱制造铸型的过程称为三箱造型。前述各种造型方法都是使用两个砂箱, 操作简便。但一些形状复杂的铸件, 如两端截面尺寸大于中间截面时, 只用一个分型面的两箱造型难以正常取出砂型中的模样, 需要用三个砂箱, 从两个方向分别起模, 图 1-16 为带轮的三箱造型过程。

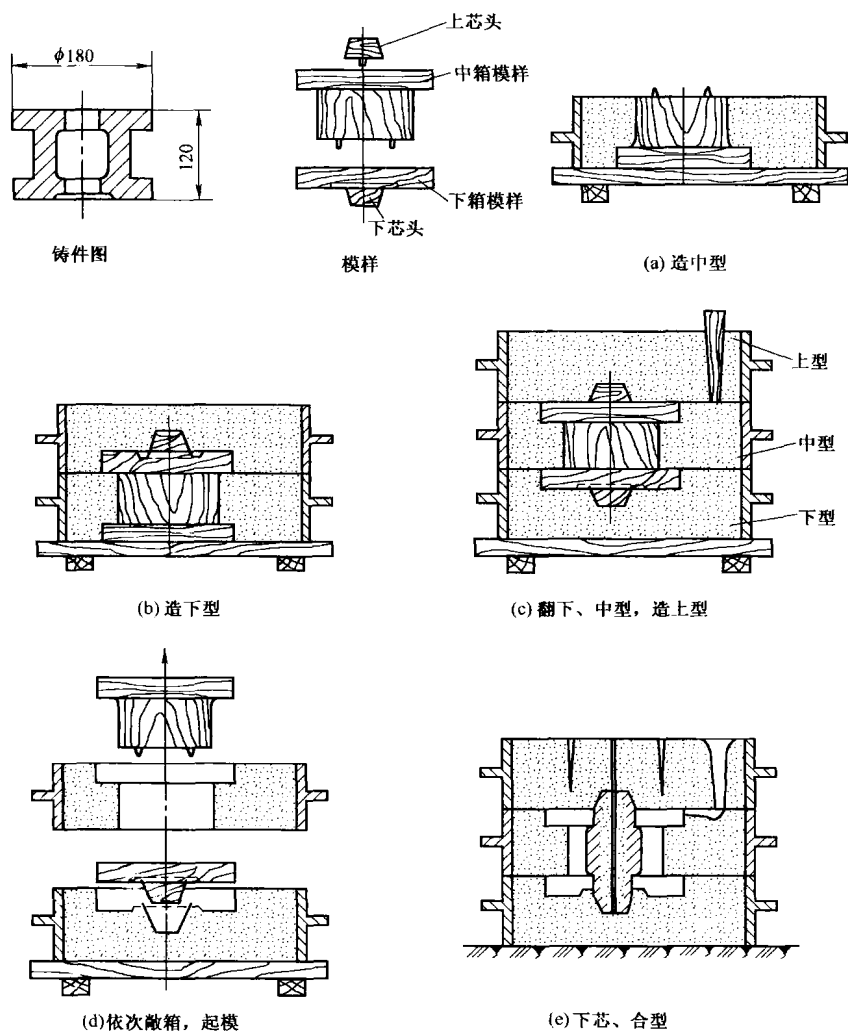


图 1-16 带轮的三箱造型过程

三箱造型的特点是模样必须是分开的, 以便于从中型内取出模样; 中型上下两面都是分型面, 且中箱高度应与中型的模样高度相近; 由于两个分型面处易产生飞边缺陷, 使铸件高度方向的尺寸精度降低; 操作较复杂, 生产率较低。三箱造型适用于单件、小批生产、形状复杂的需

两个分型面的铸件。

7. 地坑造型

直接在铸造车间的砂地上或砂坑内造型的方法称为地坑造型。大型铸件单件生产时,为节省砂箱,降低铸型高度,便于浇注操作,多采用地坑造型。图 1-17 为地坑造型合型图,造型时需考虑浇注时能顺利将地坑中的气体引出地面,常以焦炭、炉渣等透气物料垫底,并用铁管引出气体。

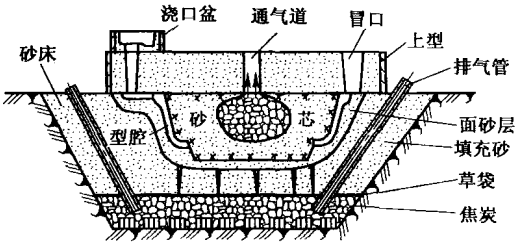


图 1-17 地坑造型合型图

8. 刮板造型

尺寸大于 500mm 的旋转体铸件,如带轮、飞轮、大齿轮等单件生产时,为节省木材、模样加工时间及费用,可以采用刮板造型。刮板是一块和铸件截面形状相适应的木板。造型时将刮板绕着固定的中心轴旋转,在砂型中刮制出所需的型腔,如图 1-18 所示。

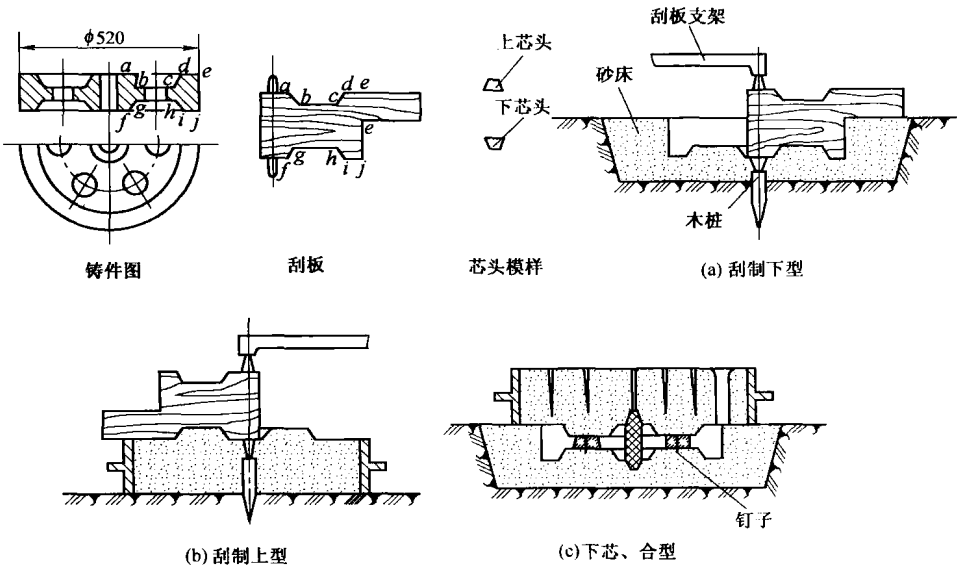


图 1-18 皮带轮铸件的刮板造型过程

二、制芯

为获得铸件的内腔或局部外形,用芯砂或其他材料制成的、安放在型腔内部的铸型组元称型芯。绝大部分型芯是用芯砂制成的。砂芯的质量主要依靠配制合格的芯砂及采用正确的造