

高等学校通用教材



热加工 工艺基础

王爱珍◎编著



北京航空航天大学出版社

高等学校通用教材

热加工工艺基础

王爱珍 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本教材是在 2003 年出版的《工程材料及成形技术》和 2005 年出版的《机械工程材料成形技术》基础上,根据高校机械类专业学科调整和课程教学基本要求,又重新编排并精简了教材内容体系,以必需与够用为度,重点突出金属和非金属零件的毛坯成形方法、工艺拟定及结构设计。

本书包括金属铸造成形、金属锻压成形、金属焊接成形、非金属热压成形和机械零件毛坯选择共 5 章,各章前设有重点、难点和要点的内容导读,章后附有以培养技能为主的思考练习题,并另配有多媒体电子教案供参考。

本教材可作为高等工科院校机械类各专业通用教材,也可作为民办高校机械类或近机类专业教材、高等工业专科学校机械类各专业教材,还可供教师及机械类工程技术人员与职业技能培训参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

热加工工艺基础/王爱珍编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2009.2

ISBN 978-7-81124-565-3

I. 热… II. 王… III. 热加工—工艺学—高等学校—教材 IV. TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 000173 号

热加工工艺基础

王爱珍 编著

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn>, E-mail: bhpresse@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:16.75 字数:375 千字

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-565-3 定价:27.00 元

前 言

随着我国经济与科技的快速发展,机械行业对零件毛坯成形技术高技能人才的急需,并配合高校机械类专业学科的调整,在2003年出版的《工程材料及成形技术》和2005年出版的《机械工程材料成形技术》基础上,又重新编排并精简教材内容体系,以必需与够用为度,重点突出金属零件毛坯成形方法、工艺拟定及结构设计等。

编写过程中立足目前机械类专业少学时、宽口径、重技能的教学要求,注重内容体系与要求相符,理论紧密联系实际,循序渐进、深入浅出地表达各种毛坯的热成形原理,以及各种工艺环节间的相互联系,尽量列举以常见的典型零件毛坯为例,进行纵、横向分析比较,以便使学者对各种方法作出合理评价和选择、对各种工艺的可能性与局限性作出正确判断,从而选出最适合的成形方法及工艺。

在各个工艺环节编写中,既注意增加生产中急需解决的实际问题,又注意拓宽并加深解决问题的思路与方法,还注意先进技术的应用与发展趋势,以便培养学者对新技术的兴趣而提高其科技创新能力。

本教材包括金属铸造、锻压、焊接、非金属模压、毛坯选择五章,章前设有导读,章后设有思考练习题,并配有自制且经多年使用的多媒体电子教案。同时,为配合机械类专业开设的毛坯工艺课程设计,还另外编写有专门教材《毛坯成形工艺设计》相配套,以方便教学需要。

本教材可作为高等工科院校机械类各专业通用教材,也可作为民办高校机械类或近机类专业教材、高等工业专科院校机械类各专业教材,还可供教师及机械类工程技术人员与职业技能培训参考教材。

本书由郑州轻工业学院王爱珍教授编著,在编写过程中参考了诸多相关教材,得到了有关企业提供的多种实例,同时还采用了李烁、王世杰、刘万福、杨汉嵩、李宏伟、张保丰、李慧、何春霞、杨琳、朱煜钰、郑冰岩、李维海等帮助绘制的图表,在此一并表示感谢。

本书编写中尽管征求了有关同仁的见解和建议,但由于编者水平有限,编写时间仓促,难免有不妥之处,敬请广大读者和专家批评指教,不胜感激。

编 者

2008年10月

目 录

绪 论	1
第 1 章 金属铸造成形	3
1.1 铸造工艺方法	3
1.1.1 砂型铸造	3
1.1.2 特种铸造	9
1.1.3 快速成形	18
1.1.4 铸造方法选用	22
1.2 铸造工艺基础	24
1.2.1 液态金属的充型	24
1.2.2 凝固金属的收缩	27
1.2.3 铸造应力及危害	30
1.3 常用合金件铸造	34
1.3.1 铸铁件铸造	34
1.3.2 铸钢件铸造	42
1.3.3 非铁金属件铸造	45
1.4 铸造工艺拟定	47
1.4.1 造型方法选择	48
1.4.2 浇注位置确定原则	49
1.4.3 铸型分型面选择	52
1.4.4 铸造工艺参数确定	54
1.4.5 铸造工艺文件绘制	58
1.5 铸件结构设计	60
1.5.1 铸造工艺对结构的要求	60
1.5.2 铸造性能对结构要求	66
1.5.3 铸造方法对结构要求	71
1.5.4 组合铸件的结构设计	73
思考练习题	74

第2章 金属锻压成形	77
2.1 金属塑性变形	77
2.1.1 金属塑性变形的实质	78
2.1.2 金属形变组织和性能	79
2.1.3 金属的可变形性能	84
2.2 自由锻成形	86
2.2.1 自由锻方法及应用	86
2.2.2 自由锻工艺拟定	87
2.2.3 自由锻件结构设计	96
2.3 模锻成形	98
2.3.1 模锻方法及种类	98
2.3.2 模锻件工艺拟定	103
2.3.3 模锻件结构设计	110
2.4 板料冲压	112
2.4.1 冲压基本工序	113
2.4.2 冲压件工艺拟定	124
2.4.3 冲压件结构与模具	130
2.5 塑性成形新技术	140
2.5.1 模锻新工艺	140
2.5.2 高速锤锻造	141
2.5.3 超塑性成形	142
思考练习题	143
第3章 金属焊接成形	145
3.1 焊接工艺基础	145
3.1.1 焊接冶金与质量	145
3.1.2 焊接组织与性能	147
3.1.3 焊接应力与变形	149
3.1.4 焊接材料与性能	153
3.2 焊接成形方法	158
3.2.1 常用熔焊方法	158
3.2.2 高能束熔焊方法	168
3.2.3 压力焊与钎焊方法	171
3.3 焊接工艺拟定	177

3.3.1 接头形式确定	178
3.3.2 焊接方法选择	180
3.3.3 焊接材料选择	182
3.3.4 焊接工艺确定	184
3.4 焊接结构设计	187
3.4.1 焊接件材料选择	187
3.4.2 焊缝位置设计	189
3.4.3 焊接接头设计	192
3.4.4 机器焊接结构	198
思考练习题	201
第4章 非金属热压成形	203
4.1 高聚物热压成形	203
4.1.1 组成物及成形方法	203
4.1.2 塑料成形工艺拟定	208
4.1.3 塑料零件结构设计	210
4.1.4 典型塑料件结构设计	214
4.2 高分子胶接成形	217
4.2.1 胶接原理及工艺	217
4.2.2 胶接材料及选择	220
4.2.3 胶接技术应用举例	223
4.3 陶瓷及复合材料成形	226
4.3.1 陶瓷组成及成形	226
4.3.2 复合材料的组成及成形	230
4.3.3 复合材料成形方法	232
思考练习题	233
第5章 机械零件毛坯选择	234
5.1 毛坯种类及选择	234
5.1.1 毛坯分析及种类	234
5.1.2 选择原则及依据	237
5.1.3 各类零件毛坯选择	241
5.2 毛坯材料及选择	244
5.2.1 选材的基本原则	244
5.2.2 各类零件材料选择	246

5.3 典型零件毛坯选择	249
5.3.1 传送带轮毛坯选择	249
5.3.2 圆柱齿轮毛坯选择	251
5.3.3 机器零件毛坯选择	254
思考练习题	258
参考文献	259

绪 论

1. 热加工在工业生产中的地位

热加工的对象是各种工程材料,包括金属材料、非金属和复合材料等,其中金属材料是国民经济和现代制造机械的支柱材料,也是构成各种机械设备的最主要材料。当前,随着金属与非金属材料的相互渗透,新型复合材料的异军突起,各种新工艺、新成形技术及新测试技术的不断涌现,促使材料热成形组织、成分、性能变化与相互影响规律展开深入研究,为工业生产中合理选材和毛坯奠定基础。

热加工成形技术是机械制造生产过程的重要组成部分。机械制造则是将各种原材料经过各种毛坯成形、改性、连接等工艺转变为机器的过程,机器类型不同,机构、尺寸及技术要求不同,选择相应的材料和采用与之相适应的成形方法及加工过程也不同。通常将改变制造对象的形状尺寸、相对位置和性质等,使其成为成品和半成品的过程称为工艺过程。亦即从矿石到机器的主要金属材料转变为成品的过程,或高分子聚合材料和复合材料转变为成品的过程。通常机械制造的一般工艺流程如图 0-1 所示。

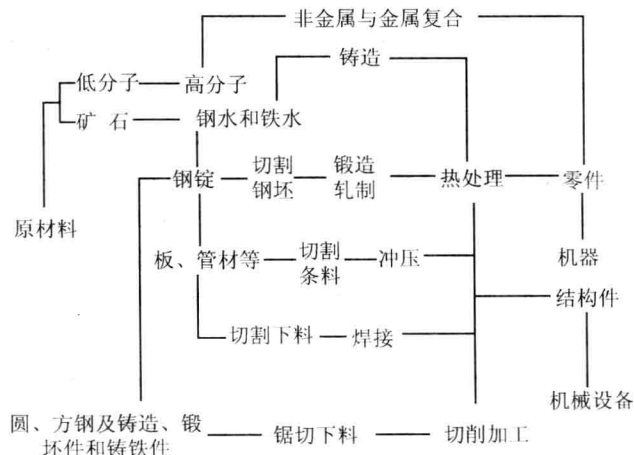


图 0-1 机械制造的一般工艺流程

2. 热加工在培养人才中的地位

热加工技术是机械类各专业一门重要的综合性技术学科。对于从事机械工程的技术人员而言,无论是设计、制造、运行、维护等都必然要面对机械零件毛坯成形方法选择、工艺拟定、使用及零件结构工艺性等问题,因此掌握热加工成形工艺理论及方法是工程岗位要求的必要知识。

目前在各种机械工程设计过程中,不仅要确定产品及各种零部件的结构,还必须同时确定所选用的材料以及相应的制造工艺方法,亦即必须在设计、选材、制造三者之间,在多种方案分析比较且优化组合基础上才能确定。因此,结构设计、材料及毛坯成形方法选择,则成为相互关联的综合性技术问题,既是保证获得优质机械零件的重要依据,又是机械设计和制造的重要基础。

在机械制造过程中,由于加工过程十分复杂,加工工序繁多,工艺过程不仅有金属铸造成形、锻压成形、焊接成形,还有非金属的模压成形、挤压成形和滚压成形等,其间还要穿插不同的整体强化和改性处理等工序。因此,合理选择成形方法并安排好工艺路线,是保证产品质量、并达到技术经济指标要求的重要依据。

3. 热加工工艺编写宗旨

本书的内容体系是建立在材料科学基础上,按照材料毛坯和零件成形的本质特征,将机械制造毛坯和零件,采用以"成形方法、工艺过程及工艺设计、结构设计"为主线,精选传统经典内容,吸收新技术、新工艺,扩充信息量,并较为系统地概述了机械毛坯制造过程的整个概貌,相互关联地描述了"液态流动成形、固态塑性成形、两固态连接成形、液态或固态模腔成形"等工艺过程,既有利于深化学者对多种成形本质及相互内在联系的认识,又起到触类旁通作用。

本书在编写过程中,注意总结国内各院校教改及课程建设的实践经验,并吸取国内外同类教材的优点,注意提高课堂教学和课后使用的实用性,特意增加部分结合实际生产所用的图表资料,以便于查阅使用。同时还注意了与机械类工程实训(原金工实习)教材相配合,贯彻在完成实习基础上将课程内容拓宽、加深和应用的原则,着重能力培养,重点突出金属成形工艺及结构设计以及非金属结构设计等。

本书内容为从事机械工程技术者提供了必要的基础知识和技能方法,以及新技术和新工艺,既可使学者掌握热加工工艺方法及应用,又可使学者初步具有选择毛坯成形方法、制定工艺及设计零件结构的能力,以适应现代机械工程发展的要求。

第1章 金属铸造成形

导读

本章主要介绍机械零件和毛坯的各种铸造工艺方法、金属铸造性能、铸造工艺缺陷及预防措施、常用合金件的铸造、铸造工艺拟定及铸件结构设计等。本章的重点是铸造工艺选择、铸造工艺拟定及铸件结构设计；难点是金属铸造性能、铸造工艺缺陷、预防措施以及新铸造技术；要点是铸造工艺方案分析、铸件结构工艺性分析以及各种零件结构的合理设计。

1.1 铸造工艺方法

铸造是将液态金属或合金浇注到与零件尺寸、形状相适应的铸型型腔中，待其冷却凝固后获得毛坯或零件的方法，是机械零件和毛坯成型的主要工艺方法，尤其适合于制造内腔和外形复杂的毛坯或零件，俗称为铸件。通常按其铸型性质不同，可分为砂型铸造、特种铸造和快速成形等方法。

1.1.1 砂型铸造

砂型铸造是以型砂作为造型材料，用人工或机械方法在砂箱内制造出型腔及浇注系统的铸造方法。此法不受铸件质量、尺寸、材料种类及生产批量限制，原料来源广泛、价格低廉，应用最为普遍，因此在机械制造业中占有非常重要的地位。

1.1.1.1 砂型铸造过程

砂型铸造过程中，一般需经过制备模样及芯盒、配备型砂及芯砂、造型及造芯、熔炼金属及合箱浇注、落砂清理及检验、去应力处理及防腐蚀处理等步骤，整个铸造工艺流程及其之间的相互关系，如图1-1所示。

一般机械零件的砂型铸造工艺过程(见图1-2)可概括为以下三个基本阶段：

- (1) **准备铸型** 先将放大收缩量的模样及芯盒制作好，再按要求准备好砂铸型；
- (2) **浇注金属** 先将熔炼好的液态金属检测合格，然后再将液态金属浇注满铸型型腔；
- (3) **落砂清理** 待液态金属在铸型型腔内凝固成形并冷却后，扒箱落砂与检验，从而得到一定形状和尺寸并带有浇冒口的铸件。

准备砂铸型常被简称为造型和造芯，这个阶段既是砂型铸造中最基本的工序，也是砂型铸造最重要的方法，它对铸件质量、生产率和成本影响很大。按紧实型砂和起模方法，可分为手工造型和机器造型两大类。

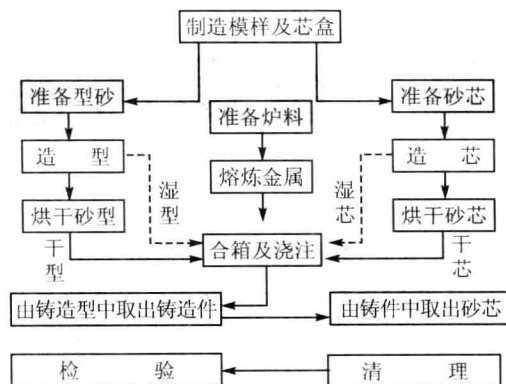


图 1-1 砂型铸造工艺过程示意图

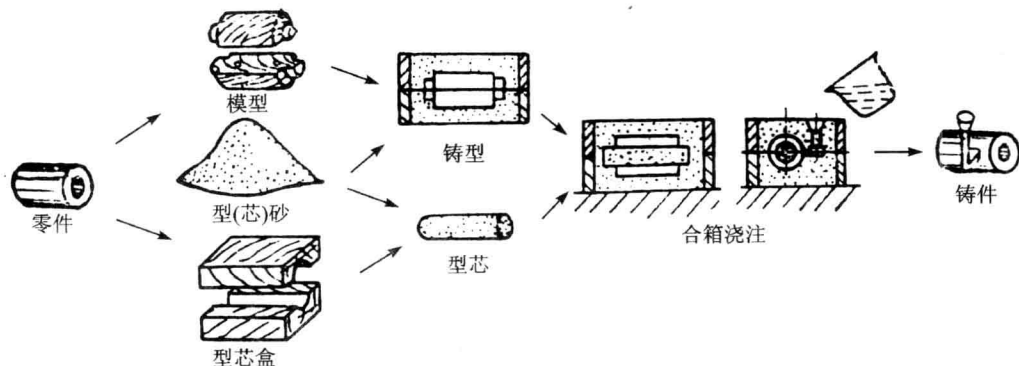


图 1-2 套筒的砂型铸造过程

1.1.1.2 手工造型方法

手工造型方法很多,操作灵活方便,主要用于单件或小批量铸件的生产。通常需按照模样(铸件)结构特点、尺寸大小、技术要求、生产条件及批量等选用适当的造型方法,尤其需按铸件最大截面位置、形状及数量,选择不同的造型方法,如整模、分模、三箱、挖砂、活块、假箱及刮板等造型方法,见表 1-1。

(1) **整模与分模造型** 整模造型是铸件的最大截面在端部并为一个平面,可作为上、下砂箱的接触面(即分型面),且模样全部放在一个砂箱内造型(见图 1-3(a))。分模造型是铸件最大截面在中部或空心轴线上,需以最大截面为分型面,将模样分成两半并分别造型、造芯,然后再合箱成铸型,如图 1-3(b)~(e)所示。

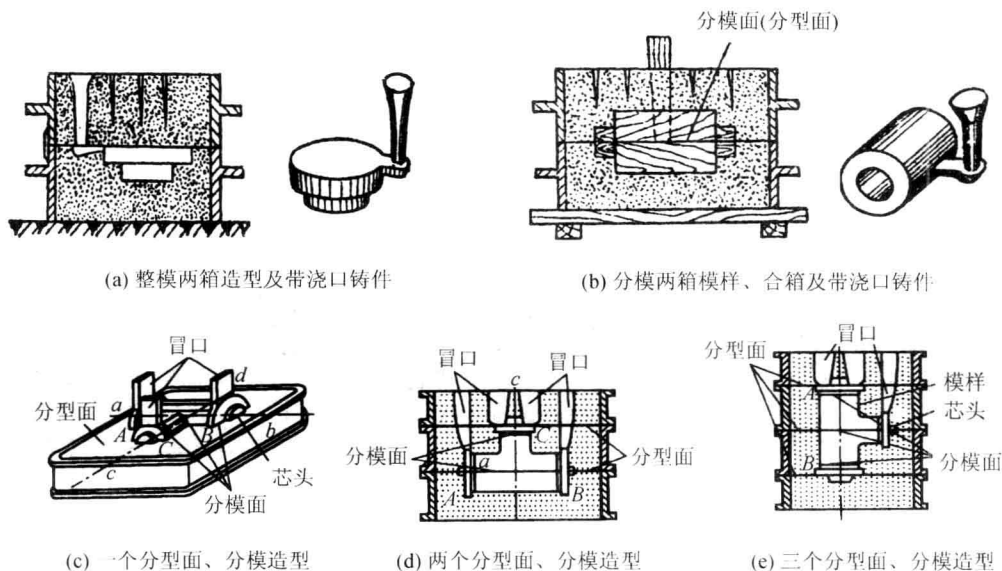


图 1-3 整模与分模两箱造型

表 1-1 按模样结构特点分类的手工造型方法

造型方法	模 样 特 点	适 用 范 围
整模造型	模样为整体,全部型腔位于一半砂箱内;分型面是平面,造型方法简单,不会产生错箱	适用于最大截面靠一端且为平面的简单铸件、适用各种生产批量
分模造型	沿最大截面分为两半,分型面是平面,型腔位于两半砂箱内,操作简便,应用最广泛	适用于最大截面在中部或轴线铸件,如各种批量的套筒、阀体等较复杂形体的铸件
三箱造型	模样分为上、中、下三部分,两分型面均为平面,中段高度与两分型面间距离适应,操作费时,容易错箱	适用于两头截面大而中间截面小的较复杂形状件,各种生产批量及尺寸。可用外型芯头将三箱改为两箱造型
挖砂造型	最大截面不在一端,又不允许分成两半,分型面为曲面,需挖去阻碍起模的型砂,操作费时,容易吊砂	适用于整体模样且分型面为曲面的铸件,只适用于单件生产,且要求造型技术较高
活块造型	将妨碍起模的小凸台、肋条等作成活动镶嵌结构,待起模时先取出主模样,再取出活动的镶嵌凸台等	适用于带凸台结构、凸台厚度小于凸台处铸件壁厚之二分之一且妨碍起模的铸件,单件;适用于小批量生产
假箱造型	先制作替代底板的假箱,在假箱上造下箱,分型面仍为曲面,但假箱成形整齐、省去繁杂挖砂操作。假箱不参与浇注	用于需挖砂的成批量铸件,假箱用高强度型砂制成、能多次使用,分型面光滑平整、准确
刮板造型	用刮板代替模样造型,可在砂箱内或地面上刮制;刮板绕固定中心旋转,靠刮板端面和下面刮出所需的型腔	用于等截面和回转形大、中型铸件,如单件小批量,即内径大于 200 mm 的带轮、飞轮等铸件

(2) 挖砂及假箱造型 挖砂铸件的最大截面一般在端部并为一个曲面,且模样又不便分成两半,造型时常需将下半型中阻碍起模的型砂挖掉,以便能顺利取出模样,只适于单件小批量生产,如图 1-4(a)~(d)所示。

当曲折性铸件成批大量生产时,可采用高强度石英砂制成一个不带浇口的上箱作假箱(见图 1-4(b)、(e),不参与浇注),以代替底板而在假箱上造下型,可省去挖砂。尤其将假箱上端面的模样作成平面,更利于造型,如图 1-4(f)所示。

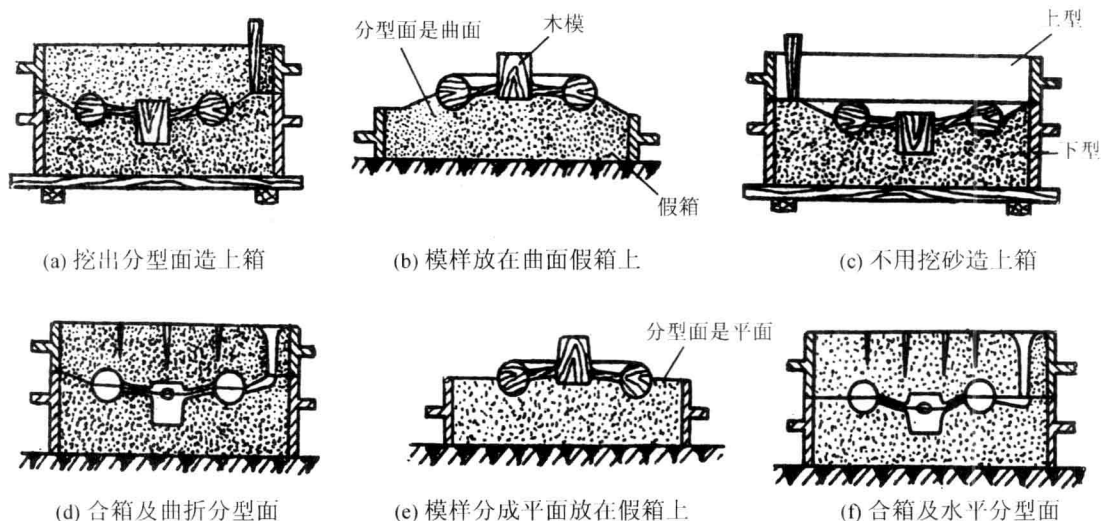


图 1-4 挖砂和假箱造型

(3) 活块与三箱造型 活块造型铸件侧面有小凸台而影响起模,可将凸起部分作成可拆卸的活动块,造型时先取出主模样、后取出活动块(见图 1-5(a))。此法只适用于凸台高度小于凸台处模样壁厚的 $1/2$ 且单件小批量生产者。如果大批量生产或小凸台高度过大时,则必需采用外砂芯作活块法造型,如图 1-5(b)、(c)所示。

三箱造型铸件两头截面大而中间截面小,用一个分型面取不出模样,需要从小截面处分开模样,用二个分型面、三个砂箱造型(见图 1-5(d)、(e)),造型时先造下箱、造中箱、再造上箱,只能用于单件小批量生产。在成批大量生产或机器造型时,可采用外砂芯法,将二个分型面改为一个、三箱造型改为两箱,如图 1-5(f)所示。

1.1.1.3 机器造型方法

为了克服手工造型所引起的铸件精度低、生产效率低等缺点,在中小型铸件成批量或大批量生产时,常采用机器造型。机器造型的动力是压缩空气,以机械代替人工紧砂和起模,减轻了体力劳动,提高了生产率。

(1) 机器造型工艺过程 造型时将模板和砂箱放在震压式造型机上(见图 1-6),填满型

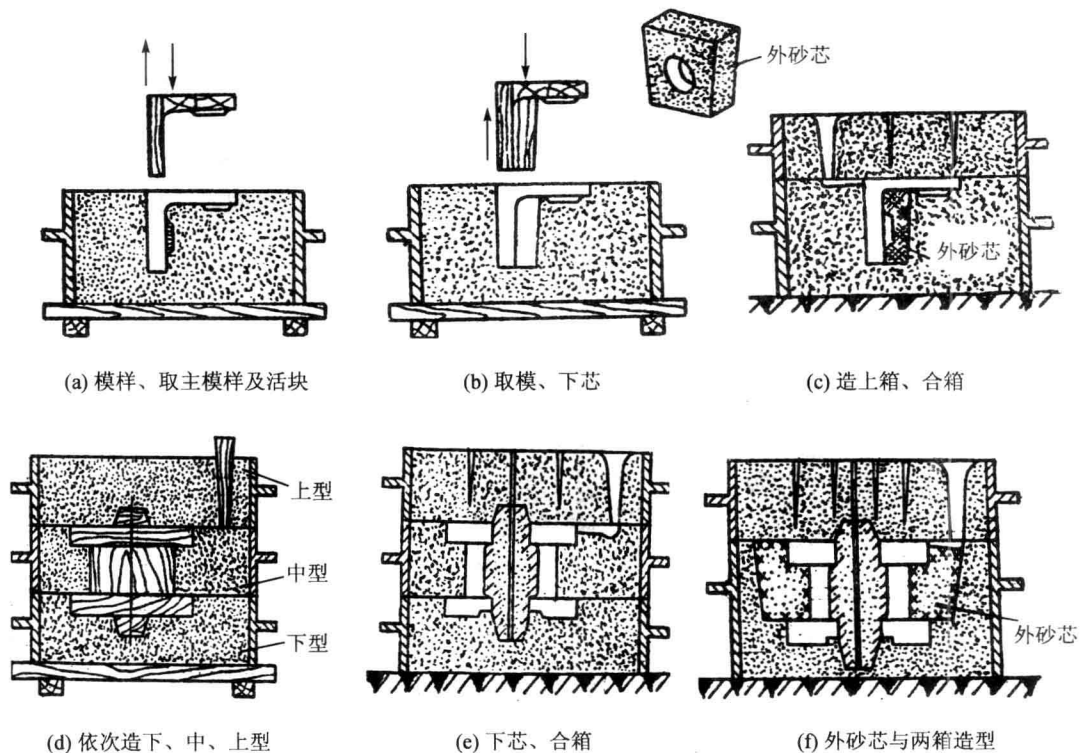


图 1-5 活块造型和三箱造型与采用外砂芯法

砂后,先使压缩空气从进气口 1 进入震击活塞底部,顶起震击活塞、模板及砂箱等,并将进气口过道关闭。当活塞上升到排气口以上时,压缩空气被排出。

由于底部压力下降,震击活塞等自由下落,与震击汽缸顶面发生一次撞击,如此反复多次即可紧实砂型。同时,压缩空气由进气口 2 通入压实汽缸底部,顶起压实活塞、震击活塞、模板和砂型,使砂型压在已经移到造型机正上方的压板上面,将上部型砂压实。然后,再转动控制阀进行排气,使砂型下落。

随后,当压缩空气推动压力油进入下面两个起模油缸时,使由同步连杆连接在一起的四根起模顶杆平稳同步上升并顶起砂箱,同时振动器产生振动,并驱使模样快速与砂型分离,从而完成起模过程。

(2) 机器造型紧砂方法 机器造型紧砂通常采用压实式、震压式、抛砂式或射压式等各种方法。对于中小件多采用震压式紧砂方法(见图 1-7(a)),而大件则多采用抛砂式紧砂方法造型,如图 1-7(b)所示。

(3) 机器造型起模方式 机器造型起模方式有顶箱式起模、漏模式起模和翻转式起模。

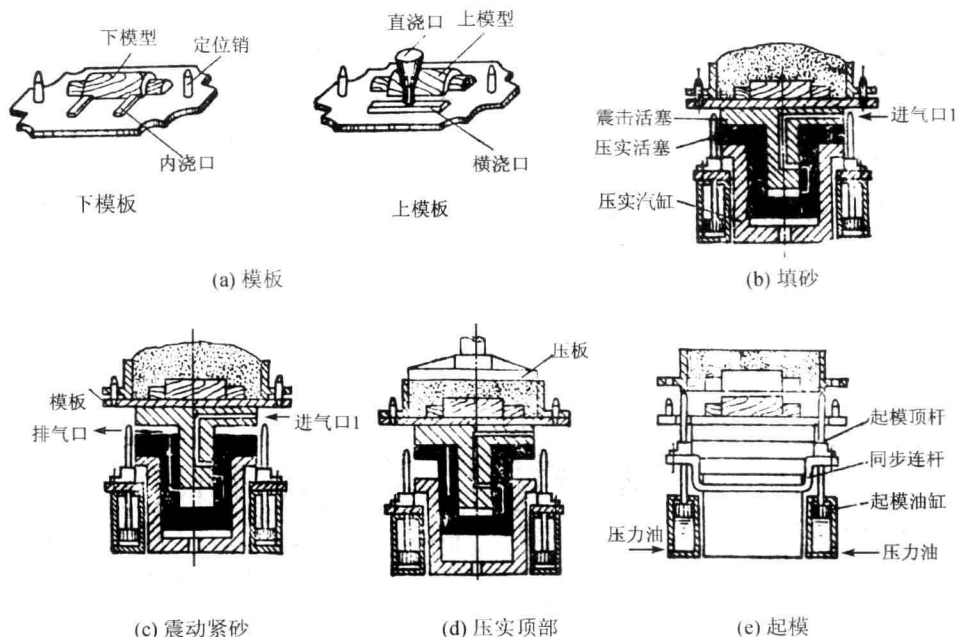
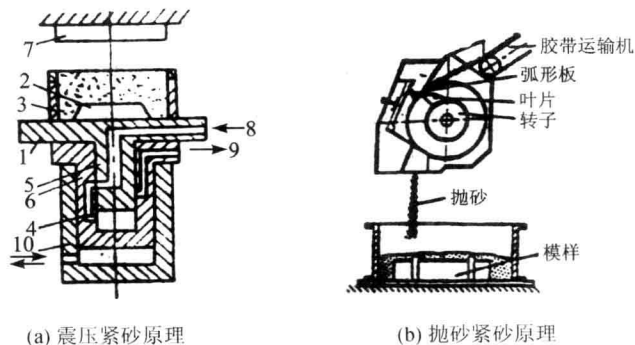


图 1-6 震压式造型工艺过程



1—工作台;2—模板;3—砂箱;4—震实气路;5—震实活塞;6—压实活塞;
7—压头;8—震实进气口;9—震实排气口;10—压实汽缸

图 1-7 机器造型的紧砂原理

如图 1-8(a)所示为顶箱式起模方法,起模机构驱动四根顶杆,顶住砂箱四角缓慢升起完成起模。这种方法适用于形状简单、高度不大的铸件。

图 1-8(b)为漏模式起模方法,将形成铸件较深部分的模样制成活动模样安装在模板上,待砂型紧实后,再将活动模样从漏板中向下拔出,此时砂型被漏板托住而不会塌砂。这种方法

适用于有助条或较深的凹凸形状,并起模困难的铸件。

图1-8(c)所示为翻转式起模方法,待砂型紧实后可连同模样一起翻转180°,使下箱下落完成起模。此方法适用于型腔中有较深吊砂的砂型。

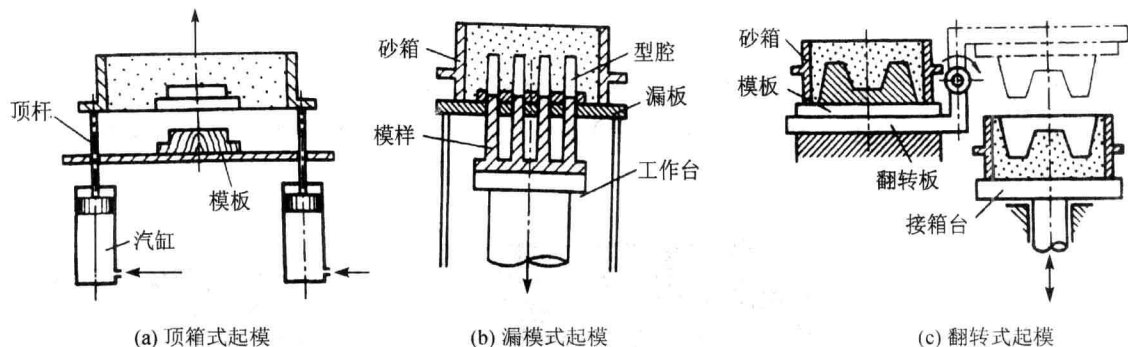


图1-8 机器造型的起模方式

(4) 机器造型工艺特点 机器造型采用模板造型,模板是由模样、浇注系统与底板连接成一体的专用模具。如图1-9所示,底板形成分型面,而模板形成砂型型腔。对于小型铸件通常采用底板两侧均有模样的双面模板,以及与其配套的砂箱进行机器造型,如图1-9(a)所示。

然而在多数情况下,常采用上、下模板分开装配的单面模板造型,上模板与专用上砂箱组合专门造上箱,下模板与下砂箱配合专门造下箱,如图1-9(b)所示。但无论单面或双面模板,其上面均装有定位销与专用砂箱上的销孔精确定位,所以机器造型的铸件尺寸精度远高于手工造型铸件。

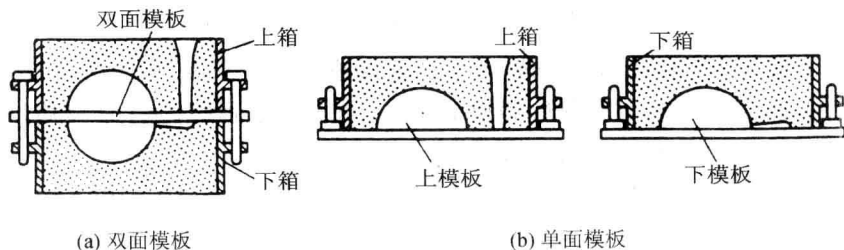


图1-9 机器造型用模板

1.1.2 特种铸造

砂型铸造方法尽管应用广泛,但铸件质量差,生产率较低。为提高铸件质量和生产率,可