



金属工艺学

JINSHU GONGYIXUE
SHIXI JIAOCHENG

实习教程



杨贺来 徐九南 主 编
汪文津 欧阳卫强 吴崇俊 副主编



北京交通大学出版社

TG/49

2007

金属工艺学实习教程

杨贺来 徐九南 主编

汪文津 欧阳卫强 吴崇俊 副主编

北京交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书是根据原国家教委批准印发的“金工实习教学基本要求”，结合作者多年来的教学实践编写而成。

本书共六章，主要内容有：热加工、冷加工、数控加工、钳工、管工和钣金工、特种加工等。为了培养学生的实际动手能力、安全生产观念和探索创新意识，本书每一章都安排了典型传统加工操作工艺、安全操作须知及先进制造技术现状和发展的介绍，还增加了实习内容。

本书适合作为高等院校或高职院校机械类专业的教材，也可供暖通、安全、材料、给排水、工业设计管理等专业选用。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

金属工艺学实习教程/杨贺来，徐九南主编. —北京：北京交通大学出版社，2007.4
ISBN 978-7-81082-975-5

I. 金… II. ①杨… ②徐… III. 金属加工-工艺学-实习-高等学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 043120 号

策划编辑：井 飞

责任编辑：刘 洵

出版发行：北京交通大学出版社

电话：010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编：100044

印 刷 者：北京东光印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：185×230 印张：18.75 字数：415 千字

版 次：2007 年 4 月第 1 版 2007 年 8 月第 2 次印刷

书 号：ISBN 978-7-81082-975-5/TG·4

印 数：4 001~7 000 册 定价：28.00 元

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评，我们表示欢迎和感谢。

投诉电话：010-51686043, 51686008；传真：010-62225406；E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

我国的制造业发展很快,现在继美国、日本、德国之后,生产规模已跃居世界第四位,我国境内的制成品在国际市场占有率迅速增长,已成为世界上的制造大国。

但世界制造大国并不就是世界制造强国。我国制造业虽名列世界第四位,但总体规模较低,制造业人均劳动生产率远远落后于发达国家。技术创新能力落后,有自主知识产权的产品少,依附于国外企业的组装业比重大。低水平生产能力过剩,高水平生产能力不足,大量先进设备仍依赖进口……

为了使我国尽快地成为世界制造强国,就要改造传统工业,发展先进制造技术。

先进制造技术的核心是先进制造工艺技术。离开了物理实质的先进制造工艺技术,与之集成的计算机辅助、信息、管理等都是无源之水、无本之木。作为工科专业学生,不认真地学习和掌握先进的制造工艺技术,只潜心于计算机操作与使用,就不能具备独立解决工程实践问题的能力和实际动手的能力。金工实习则是配合工科专业学生获得有关机械制造基础知识,培养实际动手能力的重要实践教学环节。

在金工实习过程中,我们力求实习过程与实际工程状况相贴近。如首先介绍每一种加工工艺应该注意的安全操作规程,然后重点介绍传统加工工艺设备和加工方法,最后介绍先进制造工艺技术。力求学生在掌握基本技能的基础上,又对新材料、新技术、新工艺、新方法有所了解。

本书从如何提高学生最基本实际动手能力的角度出发,安排了传统的加工工艺方法的实习,减量加工方法如车削、铣削、刨削、磨削、钻削等普通机床的冷加工方法;成型加工方法如锻造、轧制、挤压、板料成型;相变加工方法如铸造;固化联结加工如焊接;手工加工方法如管工、钣金工、钳工、装配与修理。

除此之外还安排了数控机床加工的编程实训、特种加工的介绍如电火花、线切割、激光加工等,以便使学生了解先进加工工艺方法。

本书由杨贺来、徐九南任主编,汪文津、欧阳卫强、吴崇俊任副主编,郭洁、刘振亚、张福春、陈远华、王莉静、李建军参与了编写工作,本书在编写过程中得到了北京交通大学出版社井飞老师的大力支持和帮助,在此编者一并向他们表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中错误与不妥之处在所难免,敬请读者予以批评指正。

编 者

2007年4月

目 录

第1章 热加工	(1)
1.1 基础知识	(1)
1.1.1 金属材料	(1)
1.1.2 非金属材料	(2)
1.1.3 复合材料	(3)
1.2 铸造	(3)
1.2.1 铸造安全操作须知	(3)
1.2.2 传统铸造实习	(3)
1.2.3 现代铸造简介	(18)
1.3 锻压	(19)
1.3.1 锻压安全操作须知	(19)
1.3.2 传统锻压实习	(19)
1.3.3 现代锻压简介	(29)
1.4 焊接	(31)
1.4.1 焊接安全操作须知	(31)
1.4.2 传统焊接实习	(31)
1.4.3 现代焊接——激光焊接简介	(43)
1.5 热处理	(44)
1.5.1 热处理安全操作须知	(44)
1.5.2 传统热处理实习	(44)
1.5.3 现代热处理方法	(47)
第2章 冷加工	(51)
2.1 基础知识	(51)
2.1.1 切削加工的内容、切削运动及切削用量	(51)
2.1.2 切削加工的质量要求	(53)
2.1.3 金属切削刀具	(55)
2.1.4 常用量具及保养	(58)
2.1.5 金属切削机床	(66)
2.2 车削加工	(67)
2.2.1 车工安全操作须知	(67)

2.2.2	车床分类	(69)
2.2.3	普通车床	(71)
2.2.4	车刀的结构、刃磨与安装	(75)
2.2.5	工件的安装及所用附件	(79)
2.2.6	车削加工	(84)
2.2.7	典型表面的车削	(85)
2.2.8	典型零件车削步骤举例	(90)
2.3	刨削加工	(92)
2.3.1	刨削安全操作须知	(92)
2.3.2	刨床的分类	(93)
2.3.3	牛头刨床	(94)
2.3.4	刨刀结构	(97)
2.3.5	工件的安装	(97)
2.3.6	刨削加工方法	(99)
2.3.7	刨削操作实例——手锤头刨削加工实例	(102)
2.4	铣削	(102)
2.4.1	铣削安全操作须知	(104)
2.4.2	铣床的分类	(104)
2.4.3	铣刀及其安装	(106)
2.4.4	铣床的附件及其应用	(109)
2.4.5	铣削加工	(112)
2.4.6	齿形加工	(114)
2.4.7	铣削操作示例——手锤头铣削加工实例	(117)
2.5	磨削	(118)
2.5.1	磨削安全操作须知	(118)
2.5.2	磨床的分类、结构及工作原理	(119)
2.5.3	磨削刀具——砂轮	(122)
2.5.4	磨削加工方法	(126)
第3章	数控加工	(130)
3.1	基础知识	(130)
3.2	数控机床安全操作须知	(137)
3.3	数控车削加工	(137)
3.3.1	数控车床编程的基本知识	(137)
3.3.2	数控车刀	(146)
3.3.3	数控车床对刀	(147)

3.3.4	数控车床加工精度控制	(149)
3.3.5	轮廓基点和节点计算方法	(150)
3.3.6	螺纹加工	(150)
3.3.7	孔类零件加工	(151)
3.3.8	数控车床实训操作	(152)
3.4	数控加工中心加工	(162)
3.4.1	基本准备功能	(163)
3.4.2	加工中心的相关知识	(165)
3.4.3	加工中心中的固定循环指令	(165)
3.4.4	几个和坐标系相关的准备功能	(168)
3.4.5	数控加工中心实训操作	(171)
第4章	钳工	(175)
4.1	基本知识	(175)
4.2	钳工安全操作须知	(176)
4.3	划线	(177)
4.4	锯切	(181)
4.5	錾削	(186)
4.5.1	錾削的基本原理	(186)
4.5.2	錾削工具	(187)
4.5.3	錾子的刃磨	(188)
4.5.4	錾削方法	(188)
4.6	锉削	(191)
4.6.1	锉刀	(191)
4.6.2	锉削基本操作	(192)
4.6.3	锉削质量分析及注意事项	(194)
4.7	钻孔	(195)
4.7.1	钻孔工具	(195)
4.7.2	麻花钻	(196)
4.7.3	钻孔的方法	(199)
4.7.4	冷却润滑液选择	(201)
4.7.5	钻孔质量分析及操作技术要求	(201)
4.8	扩孔和铰孔	(202)
4.8.1	扩孔	(202)
4.8.2	铰孔	(203)
4.9	铰孔	(203)

4.9.1 铰刀	(203)
4.9.2 手工铰孔	(205)
4.9.3 铰孔质量分析	(208)
4.10 攻丝和套丝	(208)
4.10.1 攻丝	(209)
4.10.2 套丝	(214)
4.10.3 攻丝和套丝质量分析及刀刃损坏原因	(218)
4.11 刮削	(219)
4.11.1 刮刀的种类和刃磨	(219)
4.11.2 显示剂	(220)
4.11.3 刮削质量检验	(221)
4.11.4 刮削操作的要点	(221)
4.11.5 刮削质量分析	(222)
4.12 装配	(222)
4.12.1 装配的概述	(222)
4.12.2 装配的工艺过程	(224)
4.12.3 装配工作的要点	(225)
第5章 管工和钣金工	(227)
5.1 管工和钣金工安全操作须知	(227)
5.1.1 管工安全操作须知	(227)
5.1.2 钣金工安全操作须知	(228)
5.2 管路加工与连接	(229)
5.2.1 基本知识	(229)
5.2.2 管路加工	(235)
5.2.3 管路连接	(243)
5.3 钣金加工	(246)
5.3.1 钣金展开放样工艺	(246)
5.3.2 钣金成形制造工艺	(253)
第6章 特种加工	(261)
6.1 特种加工安全操作须知	(262)
6.2 线切割加工	(262)
6.2.1 线切割加工的基本原理	(262)
6.2.2 线切割加工的特点	(264)
6.2.3 线切割加工设备	(264)
6.3 电火花加工	(278)

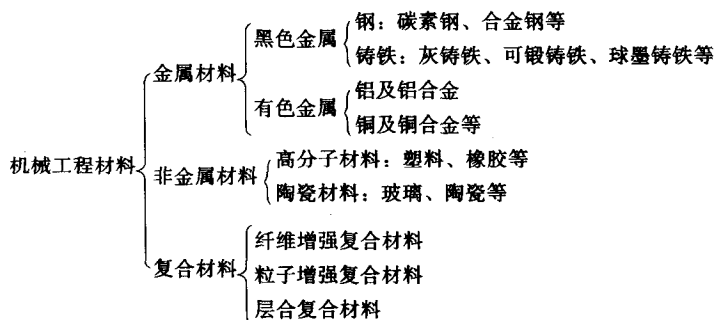
6.3.1 电火花加工的基本原理及特点	(278)
6.3.2 电火花加工设备	(280)
6.4 激光加工	(280)
6.4.1 激光加工的基本原理及特点	(280)
6.4.2 激光加工的应用	(281)
6.4.3 激光切割	(282)
6.5 水切割加工	(285)
6.5.1 水切割加工的原理及特点	(285)
6.5.2 水切割加工设备	(286)
6.5.3 水切割加工的应用	(287)
参考文献	(288)

第1章 热加工

1.1 基础知识

机械工程材料是指用于机械制造的各种材料的总称。生产中用来制作机械工程结构、零件和工具的机械工程材料大致分为金属材料、非金属材料和复合材料三大类，具体分类见表1-1。

表1-1 机械工程材料分类表



常用的金属材料主要有钢、铸铁、铜及铜合金、铝及铝合金等。

1.1.1 金属材料

1. 钢

根据化学成分的不同，钢分为碳素钢和合金钢两大类。

(1) 碳素钢

碳素钢是以铁和碳为主要组成元素，常含硅(Si)、锰(Mn)及硫(S)、磷(P)等杂质的铁碳合金。通常将含碳量小于0.25%的钢称为低碳钢；含碳量为0.25%~0.60%的钢称为中碳钢；含碳量大于0.60%的钢称为高碳钢。工业上常按用途将碳素钢分为碳素结构钢、碳素工具钢。

① 碳素结构钢

碳素结构钢按钢中磷、硫含量的多少，分为普通碳素结构钢和优质碳素结构钢、一般工程用铸造碳素钢，如表1-2所示。

② 碳素工具钢

碳素工具钢主要用来制造某些工具,如:锯条、手锤、冲头、车刀、钻头、丝锥、铰刀、刮刀、量具、模具等,所以要求碳素工具钢的硬度高而且耐磨,因此其含碳量较高(0.65%~1.36%)。但是含碳量高将会导致其脆性高、塑性较低,所以为改善其性能,要求其有害杂质如磷、硫的含量要很低。

表 1-2 碳素结构钢分类

名 称	普通碳素结构钢	优质碳素结构钢	一般工程用铸造碳素钢
常用钢种	Q235、Q235A、Q255B 等	20、35、45、45Mn、60、60Mn 等	ZG200 ~ 400、ZG270 ~ 500、 ZG340~640 等
应用举例	螺栓、键、销轴等	焊接件、齿轮类、冲压件、弹簧等	机座、箱体、齿轮等

(2) 合金钢

合金钢是在碳素钢的基础上,有意识地加入一种或数种合金元素的钢。常用的合金元素有锰(Mn)、铬(Cr)、镍(Ni)、钨(W)、钼(Mo)、钒(V)、钛(Ti)、硅(Si)、硼(B)、稀土元素(RE)等。合金钢按用途分为合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢三类。

① 合金结构钢:主要用于制造各种机械结构零件。

② 合金工具钢:主要用于制造各种切削刀具和锻造、冲压模具等。

③ 特殊性能钢:指具有特殊性能的钢,如不锈钢、耐热钢、耐磨钢。

2. 铸铁

铸铁是含碳量大于 2.11% 的铁碳合金。铸铁除含铁、碳元素外,还含有硅、锰、硫和磷等元素。根据铸铁中碳的存在形态及组织、性能不同,可分为灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁及合金铸铁等。

3. 铜及铜合金和铝及铝合金

(1) 铜及铜合金

铜及铜合金导电和导热性好,耐大气和海水腐蚀性能好,容易加工。常见的有紫铜、黄铜和青铜。

(2) 铝及铝合金

铝及铝合金比重轻,导电性和导热性好,有较好的耐大气腐蚀性,可通过形变和热处理进一步提高强度。常见的有硬铝、防锈铝及铸造铝合金。

1.1.2 非金属材料

1. 高分子材料

高分子材料指以高分子化合物为主要组成成分的材料,典型的高分子材料有塑料、合成橡胶等。

① 塑料:以合成树脂为基础,并加入各种添加剂。塑料具有质轻、绝缘、隔热、耐蚀、

耐磨、消音、抗振等优点；缺点是易老化、易变形、线膨胀系数大、导热系数低、不耐热等。

② 橡胶：也是以高分子化合物为基础的高分子材料，其主要成分是生胶和少量配合剂。橡胶具有高弹性、优良的伸缩性、耐磨、绝缘、密封等性能。

2. 陶瓷材料

陶瓷材料是无机非金属材料总称，包括陶器、瓷器、玻璃、搪瓷、耐火材料等。常用的陶瓷材料分为普通陶瓷和特种陶瓷两大类。陶瓷材料硬度高，刚性大，耐热性好，具有优良的绝缘性和抗腐蚀性，被广泛用作高温材料。

1.1.3 复合材料

复合材料指用两种或两种以上物理、化学性质不同或组织结构不同的物质，以微观或宏观的形式组合，而得到的多相固体材料。复合材料一般以强度低、韧性好的材料做基体，以强度高、脆性大的材料作增强剂组成。它克服了单一材料的某些性能的不足，综合了多种材料的优点。一般常用的复合材料有纤维增强型、层状复合型、颗粒复合型。

1.2 铸造

1.2.1 铸造安全操作须知

铸造生产工序繁多，又处于高温、粉尘、有毒气体的生产环境中，较容易发生安全事故，因此，实习中应特别注意以下几点。

- ① 实习时要穿好工作服、工作鞋。
- ② 造型时严禁用嘴吹分型砂，以免砂粒飞入眼内。
- ③ 冲天炉（或坩埚炉）周围不得堆放易燃物品，炉坑及浇注通道不得有积水，以防遇到火星或高温液态金属而发生火灾或爆炸。
- ④ 浇包在使用前必须烘干，浇包内金属液不能装得太满，以防抬运时飞溅伤人。
- ⑤ 不可直接用手、脚触及未冷却的铸件。
- ⑥ 清理铸件时，要注意周围环境，以免伤人。
- ⑦ 搬动或翻动砂箱时，要用力均匀，小心轻放，以防砸伤手脚或损坏砂箱。

1.2.2 传统铸造实习

铸造是将液态金属浇入预先制备好的铸型中，待其凝固、冷却后，获得铸件的方法。铸件一般是毛坯，经切削加工后才能成为零件。用于铸造成型的金属材料有铸铁、钢和有色金属，其中以铸铁最多。

铸造的适应性广，工业生产中常用的金属材料都可用于铸造。铸造能制造出形状复杂

(尤其是内腔)的铸件,如各种箱体、机架、床身等。铸造用的原材料来源广泛,价格低廉,废旧机件可重熔使用,故铸件的成本较低。因此,铸造是制造毛坯的主要方法,它在机械制造中占有重要地位。

铸造方法可分为砂型铸造和特种铸造两大类,目前砂型铸造的应用最为广泛,下面介绍砂型铸造。

1. 砂型铸造

1) 砂型铸造的基本过程

砂型铸造的基本过程如图 1-1 所示。

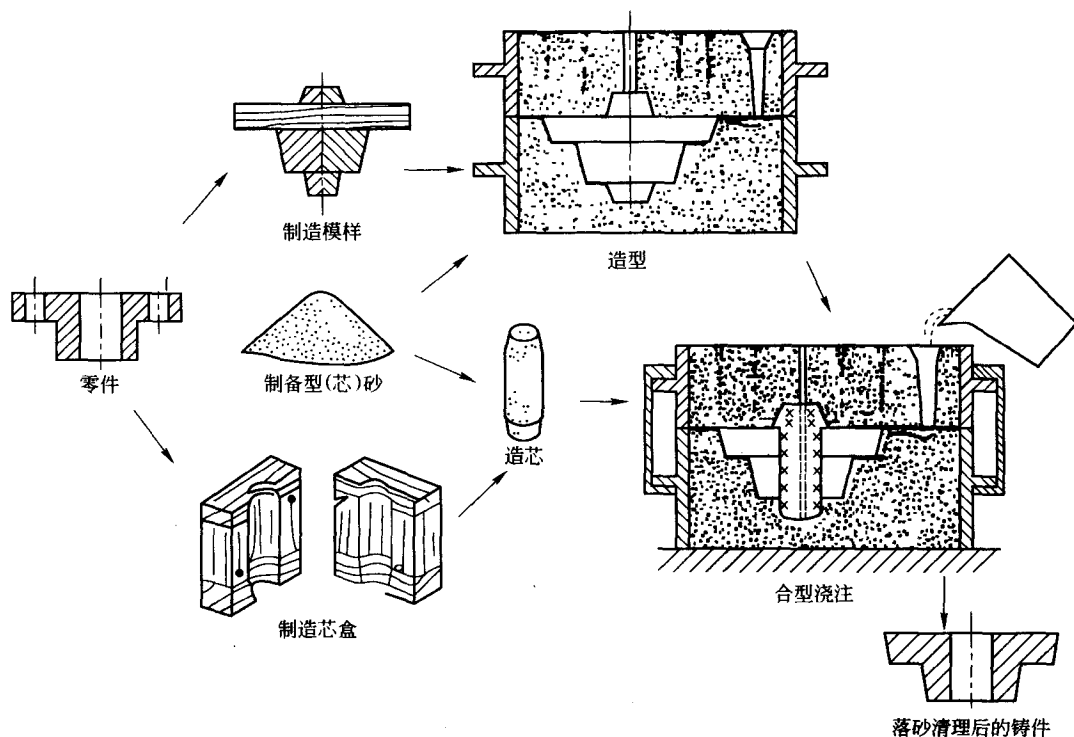


图 1-1 砂型铸造过程

2) 铸型的组成和作用

铸型用于浇铸金属液,以获得形状、尺寸和质量符合要求的铸件。图 1-2 为两箱造型时制造的铸型,其各组成部分的作用如下。

- ① 上砂型: 浇铸时铸型的上部组元。
- ② 下砂型: 浇铸时铸型的下部组元。
- ③ 分型面: 铸型组元间的接合面,每一对铸型间都有一个分型面。

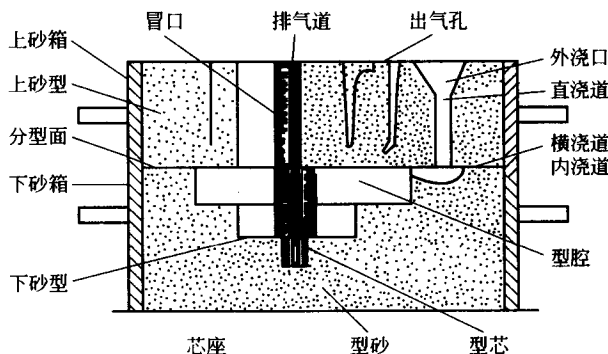


图 1-2 铸型的组成

④ 型砂：按一定比例配合的造型材料经过混制后得到的符合造型要求的混合料。

⑤ 浇注系统：为填充型腔和冒口而开设于铸型中的一系列通道，通常由外浇口、直浇道、横浇道和内浇道组成。

⑥ 冒口：在铸型内储存供补缩铸件所用熔融金属的空腔，冒口有时还起排气集渣的作用。

⑦ 型腔：铸型中造型材料所包围的空腔部分，型腔不包括模样上芯头部分形成的相应空腔。

⑧ 排气道：在铸型或芯中，为排除浇铸时形成的气体而设置的沟槽或孔道。

⑨ 型芯：为获得铸件的内部孔或局部外形，用芯砂或其他材料制成的，安放在型腔内部的铸型组元。

⑩ 出气孔：在砂型或砂芯上，用针或成型扎气孔板扎出的通气孔，出气孔的底部要与模样相距一定的距离。

3) 型砂和芯砂的组成

型砂和芯砂都是由原砂、粘结剂、辅助材料及水等原材料配制而成。按粘结剂种类不同分为：黏土砂、水玻璃砂、油砂及树脂砂，其中黏土砂应用最广泛。

4) 模样和芯盒

模样和芯盒是造型和造芯用的模具，常用木材或铝合金制造。模样用来造型，以形成铸件的外形；芯盒用来造型芯，以形成铸件的内部腔。在制造模样和芯盒之前，要考虑如下问题。

① 分型面的选择必须保证模样能从砂型中较方便地取出，并保证铸件质量。

② 在保证铸件的被加工面尺寸和零件精度时，铸件工艺设计时预先应增加需在机械加工时切去的金属层厚度也就是加工余量。铸件上凡需要切削加工的表面，制造模样和芯盒时，都要相应地留出加工余量。

③ 最小铸出孔是铸件上直径最小的孔，一般不予铸出，待切削加工时用钻孔方法

钻出。

④ 起模斜度（拔模斜度）指为了使模样容易从铸型中取出或从型芯中脱出，平行于起模方向在模样或芯盒壁上的斜度，一般木模的起模斜度为 $1^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

⑤ 铸造圆角：铸件上各相交处的交角，在制造模样和芯盒时应做成圆角过渡，以改善铸件质量，防止应力集中和起模时损坏砂型。

⑥ 芯座和芯头：为便于安放和固定芯子，在模样和芯盒上应分别做出芯座和芯头。

⑦ 为了补偿铸件收缩，模样比铸件图纸尺寸增大的数值称为收缩余量。

5) 手工造型工具

手工造型时常用工具见图 1-3。

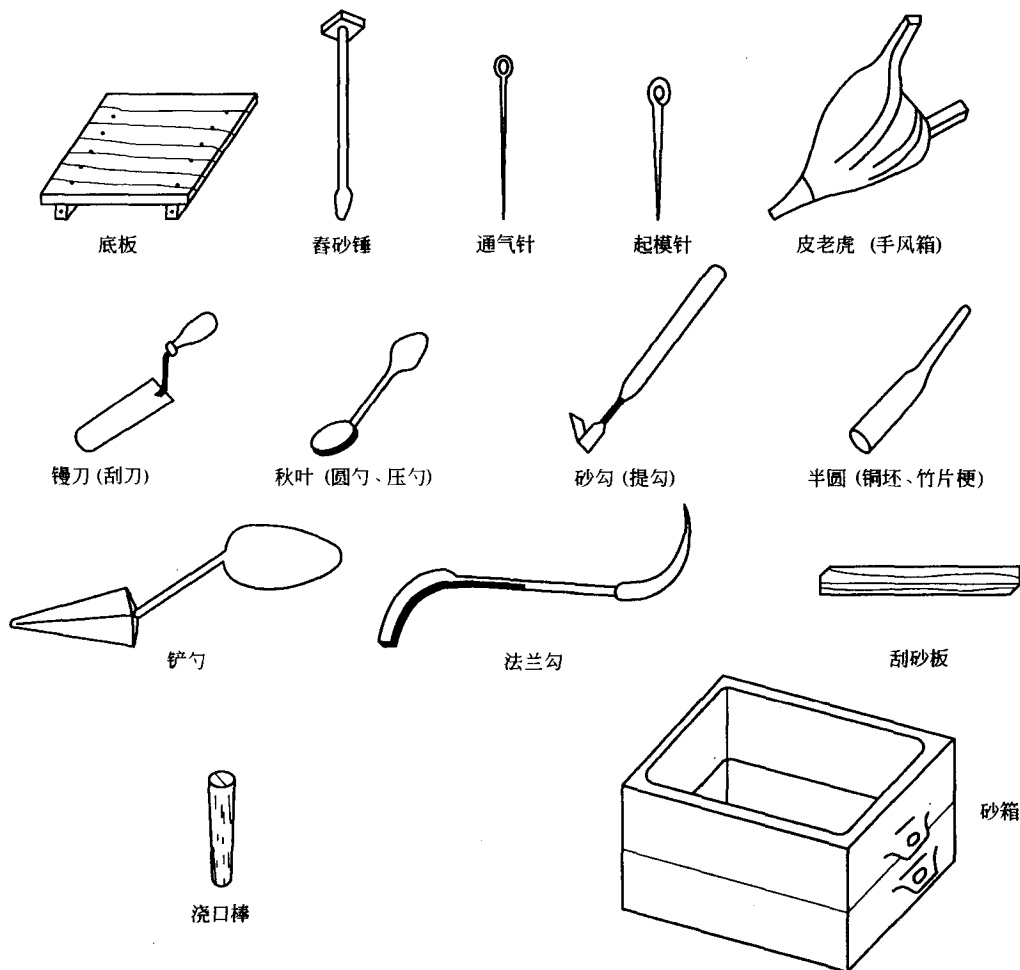


图 1-3 手工造型工具

6) 手工造型方法

手工造型方法有：整模造型、分模造型、挖砂造型、活块造型、三箱造型及刮板造型等。

(1) 整模造型

整模造型是将模样做成与零件形状相应的整体结构来进行造型，其特点是把整体模样放在一个砂箱内，并以模样一端的最大表面作为分型面。其特点是：操作方便，不会出现上、下砂型错位（错箱）的缺陷，铸件的形状与尺寸容易得到保证，适用于形状简单的铸件。

图 1-4 为轴承零件的整模造型过程，具体操作步骤如下。

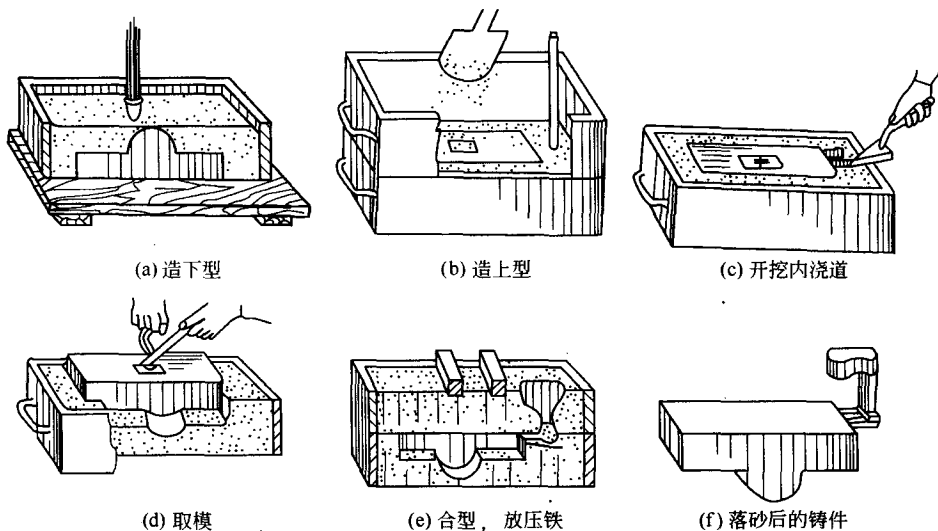


图 1-4 整模造型过程

① 造下型。将模样放在底板上并放好下砂箱，加入厚度约 20 mm 的型砂，用春砂锤均匀压紧型砂，再加填充砂，用平头锤打紧，然后用刮砂板刮去砂箱表面多余的型砂。

② 造上型。翻转下砂箱，用镋刀修光分型面，撒分型砂，放好上砂箱，放置浇口棒，加填充砂并春紧，刮去多余型砂，扎通气孔，拔出浇口棒，做出合型线的标记。

③ 挖出内浇道，起出模样。把上砂箱拿下，在下砂箱上对应浇口棒的部位挖出内浇道。然后用毛笔沾水将模样边缘湿润，用起模针起出轴承零件模样，修型后用皮老虎吹去型腔内多余的砂粒并撒上石墨粉。

④ 合型、待注。按标记将上砂型合在下砂型上，紧固上、下砂箱，用专用工具做出外浇道（如漏斗型）并放置在直浇道上，等待浇注。

⑤ 铸件。将铝液浇入型腔，经一段时间冷凝后，通过落砂、清理等工序即可得到

铸件。

(2) 分模造型

当铸件的最大截面不在端面时，为了从砂型中取出模样，需将模样沿最大截面处分成两半，并用销钉定位，型腔则位于上、下砂箱内，这种造型方法叫分模造型，如图 1-5 所示。分模造型适用于最大截面在模样中部且带有内腔或孔的铸件，如套筒、阀体等。

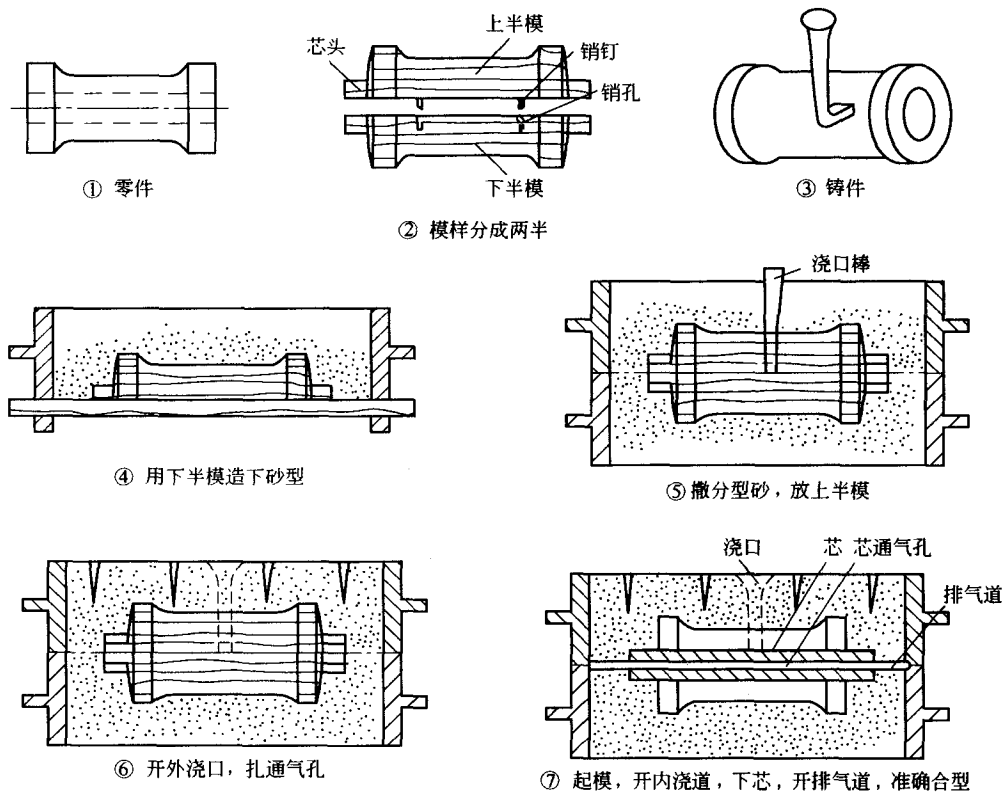


图 1-5 分模造型

(3) 挖砂造型

有些铸件如手轮，最大截面不在一端，模样又不允许分成两半（模样太薄或制造分开模很费事），可以将模样做成整体，采用挖砂造型法。挖砂造型操作技术要求高，生产率低。图 1-6 是手轮挖砂造型过程。

(4) 活块造型

图 1-7 中模样上的小凸台在取模时，不能和模样主体同时取出，所以凸台要做成活动的，称为活块。起模时，先取出模样主体，再单独取出活块。若活块是用钉子与模样主体相连，造型时应在活块四周的型砂塞紧后再将钉子拔出，否则模样无法从砂型中取出。活块造型要求工人技术水平较高，生产率低。