

高等学校教材

机械制造技术实践

主 编 陈永泰
副主编 傅希圣 王立人 胡泽豪
参 编 王宏宇 苏自醒
 卢耀晖 金湘中
主 审 张桂香

机械工业出版社

本书是受原国家机械部、电子部、兵器工业总公司三系统高校金工研究会委托，为贯彻国家教育部课指委 2000 年 10 月长沙会议精神而编写的机械制造基础系列教材之一。

本书全面而又系统地阐述了现代机械制造技术，包括铸造、压力加工、焊接、钳工、机械加工、数控加工、自动化制造系统等内容，具有很强的理论性、实践性和可操作性。

依据培养 21 世纪高级工程技术人员的目标，本书突出了先进制造技术（数控加工、特种加工喷涂等）内容，精选了传统（基本）制造技术内容，这二者的比例达到三七开。

本书除作为理工类高校现代工业训练（机械制造实习）的教材外，还可供高专、高职及工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

机械制造技术实践/陈永泰主编. —北京：机械工业出版社，
2001.6

高等学校教材

ISBN 7-111-08477-2

I. 机… II. 陈… 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（2001）第 050031 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：邓海平 版式设计：冉晓华 责任校对：吴美英

封面设计：方 芬 责任印制：郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·15 印张·368 千字

0 001—13 000 册

定价：22.00 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）68993821、68326677-2527

前 言

为贯彻国家教育部、教育部工程材料及机械制造基础课程指导委员会近年来发布的一系列有关课程改革和面向 21 世纪培养创新型工程技术人材的有关文件精神，原国家机械部、电子部、兵器工业总公司三系统高校金工研究会决定组织部分资深教师及优秀年轻教师编写一套机械制造基础系列课程教材。这套教材包括《机械制造技术实践》《材料成形学》和《机械制造学》共三本书。

本书是理工类高校现代工业训练（机械制造实习）教材。本书与大量的传统教材相比，其不同之处在于：

（1）确立了先进制造技术（数控技术、特种加工、喷涂等表面改性技术、自动化制造系统）在工业训练中的实质性地位。这不仅表现在内容的比例上实现了先进制造技术与传统（基本）制造技术三七开，而且表现在它们之间的相互关联上。从而，为引导学生建立与现代制造水平相适应的新型的知识结构奠定了基础。同时，也为组织现代工业训练提供了具体的操作性很强的蓝本。

（2）精选了传统（基本）制造技术的内容，因此总的篇幅没有增加。

（3）为适应面向 21 世纪课程改革中各高校普遍采用的将某些专业课内容下放到实践性技术基础课中去完成的做法，本书增设了机械加工质量、经济精度以及获取尺寸、位置精度的基本方法等内容。另外，在铸造、焊接两章中对一些重要概念和基本工艺也进行了较为详细的介绍。可依据各不同专业的教学要求，对这部分内容在实际教学过程中予以取舍。

本书由湖南大学陈永泰副教授任主编，甘肃工业大学傅希圣教授、湖南大学王立人副教授、中南林学院胡泽豪副教授任副主编。湖南大学张桂香教授任主审。

参编人员：陈永泰（绪论、第五、十章），王立人（第一、二章），胡泽豪（第三、六章），傅希圣（第四章），江苏理工大学王宏宇（第七、八章），甘肃工业大学苏自醒（第九、十二章），国防科学技术大学卢耀晖（第十一章一、二节），湖南大学金湘中（第十一章三、四节）。

本书除作为理工类高校现代工业训练（机械制造实习）的教材外，还可供高专、高职及工程技术人员参考。

本书的编著工作得到国家教育部课程指导委员会主任傅水根教授（清华大学）、委员刘友和教授（华南理工大学）、周述积教授（湖北汽车工业学院）的支持和指导，特致以衷心的感谢。

编者
于长沙

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一章 钢铁材料及钢的热处理

第一节 钢铁的基本概念	3
-------------------	---

第二节 钢的热处理	3
-----------------	---

第三节 钢铁材料的现场鉴别	7
---------------------	---

复习思考题	9
-------------	---

第二章 铸造

第一节 砂型铸造	10
----------------	----

第二节 金属的熔炼与浇注	32
--------------------	----

第三节 铸件的缺陷分析和质量检验	35
------------------------	----

第四节 特种铸造简介	39
------------------	----

复习思考题	43
-------------	----

第三章 压力加工

第一节 自由锻	47
---------------	----

第二节 胎模锻	53
---------------	----

第三节 模锻	54
--------------	----

第四节 锻件缺陷分析	55
------------------	----

第五节 板料冲压	57
----------------	----

第六节 锻压生产发展趋势	63
--------------------	----

复习思考题	63
-------------	----

第四章 焊接

第一节 焊条电弧焊	64
-----------------	----

第二节 埋弧焊	72
---------------	----

第三节 气体保护焊	74
-----------------	----

第四节 电阻焊	75
---------------	----

第五节 气焊与气割	76
-----------------	----

第六节 堆焊与喷涂	82
-----------------	----

第七节 焊接变形与矫正	86
-------------------	----

复习思考题	87
-------------	----

第五章 金属切削加工的基础知识

第一节 切削用量的基本概念	89
---------------------	----

第二节 常用的刀具材料	90
-------------------	----

第三节 零件的切削加工质量	92
---------------------	----

第四节 获取精度的基本方法	95
---------------------	----

复习思考题	97
-------------	----

第六章 车削

第一节 车床	98
--------------	----

第二节 车刀及其安装	101
------------------	-----

第三节 车削加工基本内容	105
--------------------	-----

第四节 螺纹的车削	110
-----------------	-----

第五节 常用车床附件及工件的安装	112
------------------------	-----

第六节 其他类型车床简介	115
--------------------	-----

第七节 典型零件的车削工艺	117
---------------------	-----

复习思考题	120
-------------	-----

第七章 刨削、铣削和磨削

第一节 刨削加工	121
----------------	-----

第二节 铣削加工	123
----------------	-----

第三节 磨削加工	130
----------------	-----

复习思考题	138
-------------	-----

第八章 插削、拉削、镗削及齿轮

齿形加工	139
------------	-----

第一节 插削加工	139
----------------	-----

第二节 拉削加工	140
----------------	-----

第三节 镗削加工	141
----------------	-----

第四节 齿轮齿形加工	143
------------------	-----

第五节 复习思考题	146
-----------------	-----

第九章 钳工

第一节 划线	147
--------------	-----

第二节 錾削	151
--------------	-----

第三节 锯切	154
--------------	-----

第四节 锉削	155
--------------	-----

第五节 钻孔、扩孔及铰孔	158
--------------------	-----

第六节 攻螺纹与套螺纹	163
-------------------	-----

第七节 刮削	164
--------------	-----

第八节 装配与拆卸	165
-----------------	-----

复习思考题	168
-------------	-----

第十章 数控加工

第一节 数控系统与伺服系统的结构 与工作原理	172
---------------------------------	-----

第二节 数控机床机械系统的结构	
-----------------	--

特点与性能特点	175	第三节 激光加工	214
第三节 数控编程基础	177	第四节 快速原型/零件制造技术	224
第四节 数控车削	185	复习思考题	227
第五节 数控铣削	194	第十二章 机械制造过程自动化	228
复习思考题	199	第一节 柔性制造系统	228
第十一章 特种加工	201	第二节 计算机集成制造系统	230
第一节 电火花成形技术	202	复习思考题	232
第二节 数控电火花线切割及自动编程 技术	206	参考文献	233

绪 论

现代社会的一切活动都离不开机械，机械制造是文明社会最基本的生产活动之一，机械制造业发展的水平既标志了一个国家的工业发达程度，又象征着一个国家的实力。因此多数理工类专业都设置了有关机械的系列课程。

现代工业训练（又称机械制造实习或金工实习）是我国理工类专业普遍开设的重要的实践性技术基础课。它既是机械系列课程的先导课，又具有某些其它课程所不能替代的独立功能。

本课程的教学目的：

一、通过实际的接触，了解从材料开始，制成毛坯、零件，直至组装成机器的整个现代机械制造工艺过程的基本知识、基本方法，建立起一个现代的而不是过时的、系统的而不是零散的、具体的而不是抽象的机械制造技术概念。从而，为后续课程和以后的工作奠定基础。

二、培养学生的实践能力。所谓实践能力是指在现场了解情况、分析、判断、决策、并自己动手解决实际问题的能力。这是 21 世纪的科学技术人员所必须具备的最基本的优秀素质。否则其素质结构是不完整的、具有严重的缺陷，在今后的实际工作中势必寸步难行。

三、启迪思维、培养创新精神。

本课程的基本内容

本课程由基本（传统）制造技术与现代（先进）制造技术两部分组成。

基本制造技术包括热加工（铸造、压力加工、焊接、金属材料热处理）和冷加工（钳、车、铣、刨、磨、镗等金属切削加工方法）两部分。铸、压、焊主要用于生产毛坯，毛坯再经切削加工才能成为零件。

基本制造技术并不是过时的了的技术，其中的许多技术（例如砂型铸造、电弧焊等）仍然有着广泛的应用。本书对这部分的内容作了精选。

基本（传统）制造技术与先进制造技术只是一个相对的概念，并没有学术上的严格界定。随着时间的推移、应用的普及，今天看来是先进的技术到一定的时候也自然而然地被归入基本制造技术。

现代制造技术包括数控加工、特种加工（含快速原型制造技术）以及机械制造自动化系统等内容。按教育部课指委的要求：目前这部分内容在整个实习内容中所占的比例应为 30% 左右。

许多现代制造技术是将基本制造技术与电子技术、计算机技术、数控技术、网络技术等多种技术融为一体的结果，例如计算机群控制制造（网络制造）系统。但是有的现代制造技术则采用了全新的原理，与原有的基本制造技术并无前因后果的关系，例快速原型制造技术。

学习现代制造技术不仅是构架新的知识结构的需要，而且有利于开拓视野、激发创新。许多高校均在这方面获得了很多有益的经验。

目前多数高校机械制造实习（金工实习）的时间安排是：机械类专业，4周；非机械类专业，2周。要在这样短的时间内，完成如此多的教学内容，则必须将操作训练、实验、演示、多媒体教学等多种形式有机地结合，才能获得良好的教学效果。

学习注意事项

- 一、严格遵守安全操作规程。
- 二、看清示范动作、听懂讲解再动手操作机器，操作时应胆大心细、集中精力。
- 三、做好预习和复习。

第一章 钢铁材料及钢的热处理

第一节 钢铁的基本概念

钢铁是钢和铸铁的统称，它们是含碳的铁基合金，也称铁碳合金。钢的 w_c （碳的质量分数）一般小于 2%，铸铁的 w_c 为 2%~4%。实际使用的钢铁材料中，还有少量的硅、锰、磷、硫等金属元素。磷硫引起脆性，一般作为有害杂质而应限制其含量。为改善和提高性能，还可以特意加入铬、钼、镍、钨等进行合金化，形成各种合金钢。超过一般含量的硅、锰也起合金化作用。

工业用钢品种多，用途广，根据成分可以将钢分为非合金钢（碳素钢）^①、低合金钢和合金钢三大类；按照质量等级，钢可以分为普通质量钢、优质钢、特殊质量钢；还可以按其用途和主要性能分为用于制造各种工程结构（船舶、桥梁、压力容器等）、机器零件（轴、齿轮等）的结构钢，制造各种刀具、模具、量具的工具钢，制造轴承的轴承钢以及不锈、耐蚀和耐热钢等。

铸铁中的碳主要以碳化物存在时，断口呈亮白色，这种铸铁称为白口铸铁。白口铸铁硬而脆，难以切削加工，主要制造一些少受冲击的抗磨料磨损工件。铸铁中的碳主要以片状石墨存在时，断口呈灰暗色，这种铸铁则称为灰铸铁。碳主要以球状、团絮状、蠕虫状石墨存在时的铸铁，相应称为球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁。石墨的存在使铸铁有良好的减震性、耐磨性、导热性和切削加工性，因此灰铸铁、球墨铸铁等广泛应用于机床床身、发动机缸体、缸盖、曲轴、齿轮等零件的制造。

碳是影响钢铁组织和性能最主要的元素。与铸铁相比，钢具有较好的综合力学性能，可以通过压力加工制成各种型材，铸铁则不能进行压力加工。

第二节 钢的热处理

一、热处理的概念

热处理是将固态金属以适当方式进行加热、保温和冷却，获得所需的微观组织与宏观力学性能的工艺方法。钢的许多优良性能，往往要经过热处理才能获得。机械制造中的重要零件，如齿轮、传动轴、轴承、弹簧、工模具等均需热处理。

热处理方法很多，依据基本目的和手段的不同，可分为整体热处理、表面热处理和化学热处理三大类。整体热处理时，工件整体加热，以改善整体组织性能，生产中广泛使用的退

^① 根据 1992 年 10 月实施的新的钢分类方法（GB/T13304—91），以“非合金钢”一词替代传统的“碳素钢”，但 1992 年以前制定的有关技术标准均采用了“碳素钢”名称，这些标准，有的仍属现行标准，所以“碳素钢”名称仍会使用一段时间。

火、正火、淬火加回火即属此类。是用快速加热的方法处理工件表面。化学热处理则通过改变表面的化学层成分，来调整表面和心部的性能，如渗碳、渗氮、碳氮共渗等。

二、普通热处理炉

热处理炉是应用最广、结构类型最多的加热设备，下面仅对常用的电阻炉和盐浴炉作简单介绍。

电阻炉以电流通过电热元件（例如 Ni-Cr 合金电阻丝、碳化硅棒、二硅化钼棒）发热，从而加热工件。按工作温度，分为低温（ $<650^{\circ}\text{C}$ ）、中温（ $650\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ）、高温（ $>1000^{\circ}\text{C}$ ）三种类型。图 1-1 是生产中广泛应用的 RX 系列（R 表示电阻炉，X 表示炉型为箱式）中温箱式电阻炉结构示意图。电热元件常用铁铬铝或镍铬合金丝绕成螺旋体，安装于炉膛两侧搁砖和炉底。炉底电阻丝上用耐热钢炉底板覆盖，工件置于炉底板上加热。

图 1-2 为 RJ 型（J 表示井式炉）中温井式电阻炉结构示意图。细长工件可以垂直悬挂于井式炉中加热，有利于减少工件变形。工件也可以放在料筐中，用吊车装出炉。井式炉占地面积小，密封性较好，热损失较小，所以应用也很广泛。井式炉一般置于地坑中，炉口高出地面约 500~600mm。

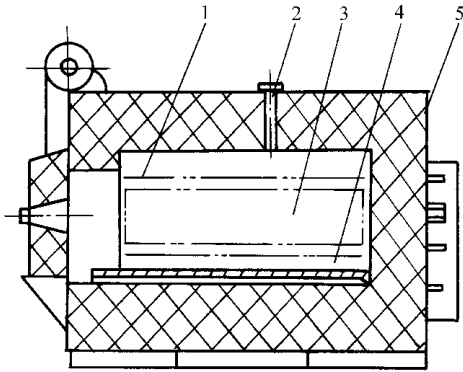


图 1-1 中温箱式电阻炉

1—电热元件 2—热电偶孔 3—工作室（炉膛）
4—炉底板 5—外壳

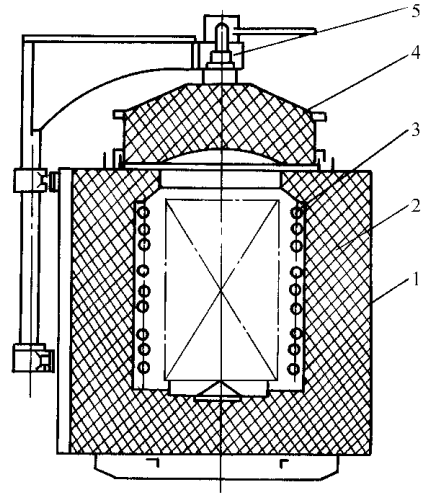


图 1-2 中温井式电阻炉

1—炉壳 2—炉衬 3—电热元件
4—炉盖 5—炉盖升降机构

切削刀具的热处理常用盐浴炉进行。工件浸没于工作温度下的液体熔盐（如氯化钡、氯化钠、氯化钾等盐类）中进行加热。盐浴炉加热速度快、温度均匀，不易氧化脱碳，且炉口朝上，工件可以悬挂加热，变形小，操作方便。图 1-3 是埋入式电极盐浴炉（属于一种内热式电极盐浴炉）结构示意图。电极埋在炉体内，只有一个侧面与盐浴接触，以导电加热。

三、钢的热处理工艺

图 1-4 是常用的钢（整体）热处理的工艺规范示意图。

1. 正火与退火

将工件加热到一定温度后保温，然后缓慢冷却（通常随炉冷却）的热处理工艺，称为退火。根据不同目的，可以将工件加热到临界温度以上退火，例如完全退火、不完全退火、球

化退火；也可以在临界温度以下退火，例如再结晶退火、去应力退火等。

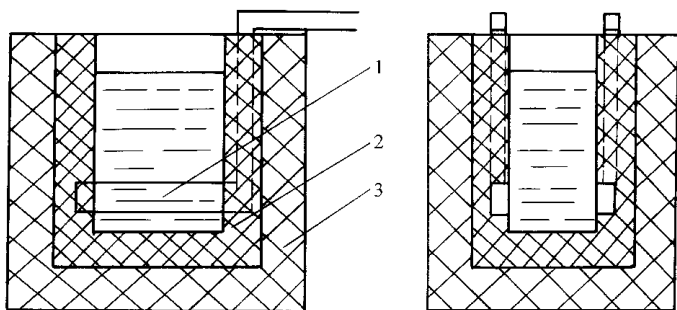


图 1-3 (埋入式)电极盐浴炉结构示意图

1—电极 2—耐火材料衬砌 3—炉衬

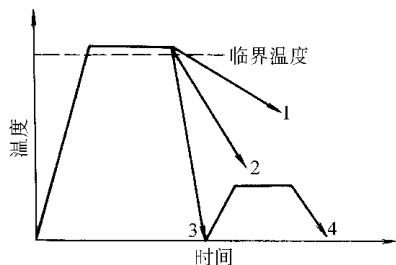


图 1-4 钢的热处理工艺曲线

- 1—(完全)退火(随炉冷却)
2—正火(空气中冷却)
3—淬火(水冷或油冷)
4—回火

正火与退火相似，区别在于正火的加热温度较高（临界温度以上），冷却速度较快（通常在空气中冷却），因此正火后工件组织细密，强度、硬度都比退火高。

生产中常使用正火或退火来消除铸件、锻件、焊接件和轧材的组织缺陷，细化均匀组织，消除残余应力，调整硬度，以利于切削加工或进一步热处理。

2. 淬火和回火

淬火是将工件加热到临界温度以上保温后快速冷却（通常水冷或油冷）的热处理工艺。其目的在于获得高硬度的马氏体等组织，并配以不同温度的回火，从而赋予工件所需要的组织和性能。所谓回火，则是淬火工件低于临界温度的重新加热、保温、冷却（一般空冷）的热处理工艺。

尺寸不大、形状简单的非合金钢零件，可用一定配方的盐水作为淬火冷却的冷却介质；合金钢零件淬火介质可用矿物油，以避免过快冷却使工件产生过大的内应力导致裂纹。为使淬火冷却时工件变形尽可能小和避免淬裂，除了适当控制冷却速度外，还必须合理设计零件结构和重视工件浸入淬火介质的方式。图 1-5 和图 1-6 分别表示了合理与不合理的零件结构和浸入淬火介质方式。

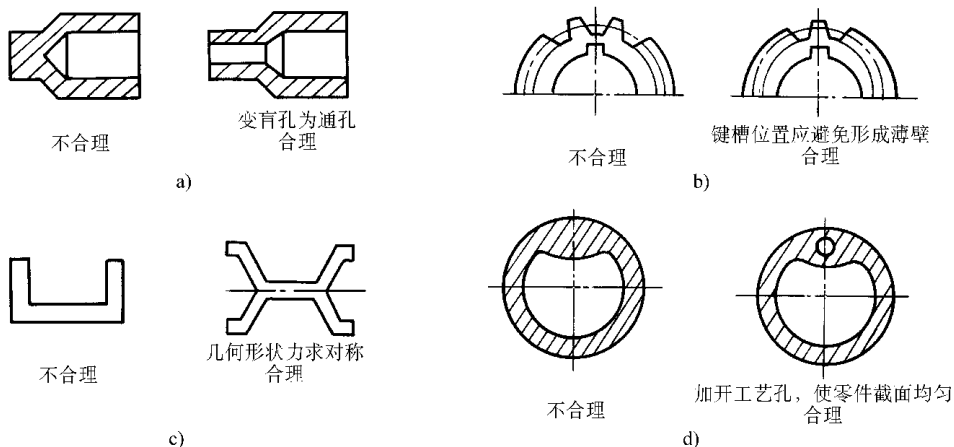


图 1-5 淬火工件结构设计示例

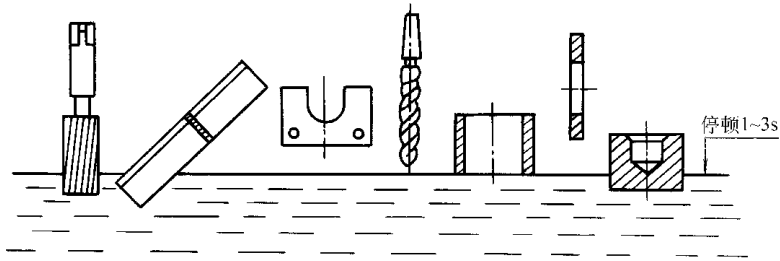


图 1-6 工件浸入方式示意图

淬火后，工件具有很大应力，马氏体组织也不稳定，所以淬火工件必须尽快回火，促使组织转变，稳定组织和工件尺寸，减少或消除内应力，降低脆性。根据回火温度不同，可分为低温、中温和高温回火，其目的与应用见表 1-1。

表 1-1 回火种类、目的与应用

回火种类	回火温度 (°C)	目的	应用
低温回火	150~250	获得高硬度、高耐磨性的同时，减少淬火应力，降低脆性	高碳钢制造的各种工具、模具、机械零件，如锉刀、手用锯条、冷冲模、冷锻模
中温回火	350~500	获得较高的弹性极限和韧性	弹簧、热锻模
高温回火	500~650	获得强度与韧性适中的、良好的综合力学性能	中碳结构钢制作的重要零件，如轴类零件、齿轮、高强度螺栓等。中碳结构钢的淬火加高温回火，又称调质处理

3. 表面淬火加回火

齿轮、凸轮等零件在扭转、弯曲等交变载荷下工作，要求表面坚硬耐磨，心部有一定强度和足够的塑韧性，此时可采用表面淬火加低温回火对零件进行热处理。表面淬火时，工件快速加热，未等心部温度升高，立即迅速冷却，仅使表层获得高硬度的马氏体组织。

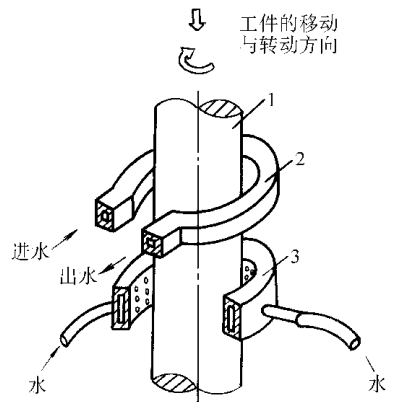
钢件表面表层加热方法很多，图 1-7 为感应加热表面淬火示意图。感应线圈中通以交流电，由于电磁感应，工件表面形成封闭回路的感应电流，即涡流，涡流将工件表层迅速加热。交流电频率越高，工件表面层电流透入深度越小，加热层也越薄，相应获得的表面硬化层深度越小。生产中感应加热表面淬火的类型及应用见表 1-2。

感应加热速度快，一般只需几秒或几十秒，即可达到淬火温度，立即喷水或喷乳化液冷却，使表面层淬硬。

工件表面淬火后进行低温回火，降低残余应力和脆性，并保持表面的高硬度和高耐磨性。

4. 化学热处理

将工件置于一定温度的活性化学介质中保温，使一种或几种元素渗入其表层，从而改变表层的化学成分、组织和性能的热处理工艺统称为化学热处理。钢件经渗碳、渗氮或者碳氮

图 1-7 感应表面加热淬火示意图
1—工件 2—感应器 3—淬冷喷水套

共渗后，表层可以获得比表面淬火加回火更高的硬度、耐磨性和疲劳极限。通过渗入适当的元素，如渗铝、渗铬、渗硼后，还可以使钢件表层获得抗氧化、抗腐蚀等特殊性能。

表 1-2 感应加热表面淬火的种类

种 类	常用电流频率/kHz	获得表面硬化层深度/mm	应 用
高频感应加热表面淬火	200~300	0.5~2	中小模数齿轮，小轴
中频感应加热表面淬火	2.5~8	3~8	发动机曲轴、凸轮轴、大模数齿轮、较大尺寸的轴、钢轨
工频感应加热表面淬火	50	10~15	要求硬化层深的大工件

第三节 钢铁材料的现场鉴别

钢铁材料的光谱分析与火花鉴别是生产现场常用的化学成分检验方法。化学元素在高温、高能量的激发下会产生不同波长的光，经摄谱仪分光后就可以获得某一元素特定的光谱谱线。光谱分析时，用电弧或火花激发钢样中的原子，得到所含不同元素的特征谱线，通过识别特征谱线和判断特征谱线的亮度，确定元素的存在及相应的含量。光谱分析灵敏度高，分析速度快，但是测定氢、氮、氧、碳等轻元素比较困难。火花鉴别则是通过观察由砂轮磨削钢铁材料时出现的不同火花特征来鉴别其含碳量与钢中常见的合金元素（硫、磷、铜、铝、钛等元素尚无法用火花鉴别）。火花鉴别虽然古老，但简便易行，广泛应用于对钢铁材料的初步成分核查或成品钢材的分类鉴别。

火花鉴别时，钢料磨削产生的火花束由流线、节点、爆花等组成。钢料细微颗粒在高温下形成光亮的线条状运行轨迹，称为流线。流线在中途爆裂出现明亮而又较粗的点称节点，爆裂后形成爆花（见图 1-8），火花爆裂时射出的短流线称芒线，分布于芒线之间或流线附近的点末状火花称为花粉。爆花是钢中碳元素强烈氧化，燃烧造成的，是碳元素特有的火花特征。随着钢中含碳量增加，可以出现二次、三次等多次爆花，芒线也可以有二根分叉、三根分叉、四根分叉和多根分叉。表 1-3 和图 1-9 分别表示了非合金钢的爆花花型与含碳量的关系。

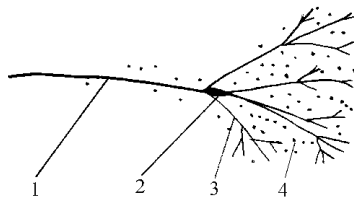

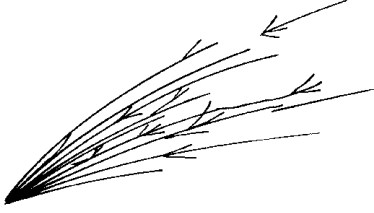

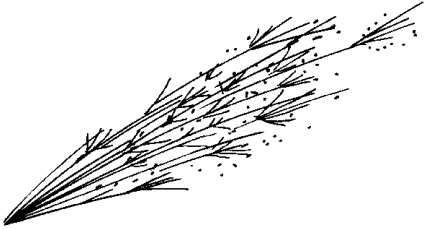


图 1-8 爆花示意图

1—流线 2—节点 3—芒线 4—花粉

表 1-3 非合金钢碳的质量分数对火花的影响

火 花 形 状	火花特征说明
 <p>工业纯铁 ($w_C \leq 0.04\%$)</p>	<p>流线粗而量少</p> <p>无爆花（由于纯度不同，有时也杂有爆裂强度微弱的二、三根分叉的爆花，且芒线较细）</p> <p>草黄色</p>

火花形状	火花特征说明
 <p style="text-align: center;">$w_C = 0.10\% \sim 0.20\%$</p>	<p>流线仍较粗，量较少</p> <p>爆花量增加，大多呈一次多分叉单花形式，不时出现一、二枝二次爆裂的芒线，芒线粗长，有明亮节点</p> <p>草黄带微红色</p>
 <p style="text-align: center;">$w_C = 0.4\% \sim 0.5\%$</p>	<p>流线较细长，量多且直</p> <p>爆花量较多而密集，为多分叉二次爆花。芒线较细密而长，附有少量花粉</p> <p>黄色较明亮</p>
 <p style="text-align: center;">$w_C = 0.6\% \text{ 左右}$</p>	<p>流线细长，量多挺直</p> <p>大型爆花多，位于流线尾端，爆裂强劲。芒线细长，有较多花粉</p> <p>明黄色</p>

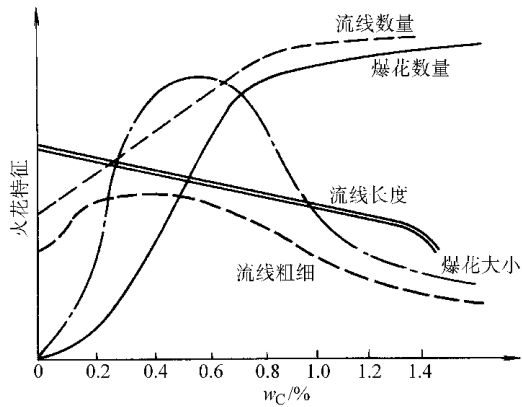


图 1-9 碳素钢的火花特征示意图

钢中加入合金元素之后,火花特征发生变化。大致具有助长爆裂作用的合金元素有铬、锰、钒等,而镍、硅、钼、钨等合金元素则大致具有抑制爆裂作用。合金元素对爆花爆裂的影响,不但与合金元素含量有关,还与钢中碳的质量分数有关。当合金元素二元、三元或多元共存时,它们对火花的影响就更为复杂了。

复习思考题

1. 什么是热处理? 如何分类?
2. 比较退火和正火的异同点。
3. 淬火的目的是什么? 淬火后工件为什么要回火? 指出各种回火操作的应用范围。
4. 表面淬火和(整体)淬火有什么不同? 何种零件可选用表面淬火?
5. 化学热处理和表面热处理有何异同? 何种零件可选用化学热处理?

第二章 铸 造

第一节 砂型铸造

一、铸造的基本概念

熔炼金属，制造铸型，并将熔融金属浇入铸型空腔，待其冷却凝固，以获得一定形状和性能的金属件的生产方法，叫做铸造。通过铸造的方法得到的金属件称为铸件或铸锭。铸件一般作为零件的毛坯，经过切削加工成为满足精度和表面质量要求的零件；铸锭则可以通过压力加工的方法制成板材、线材等供使用。

与金属其他成形工艺相比，金属液态成形阻力小，可以生产形状复杂，特别是具有复杂内腔的各种尺寸规格零件或毛坯，在汽车、拖拉机、机床等产品中，按质量计，有 25%~80% 的零件毛坯采用铸件。

铸造生产工序多，影响铸件质量的因素多，因此铸件质量不够稳定，尤其是一些质量要求严的铸件废品率相对较高。此外，铸件的力学性能也不如采用压力加工方法生产的零件。

二、铸造生产一般工艺流程

图 2-1 所示为铸件生产的一般工艺流程。

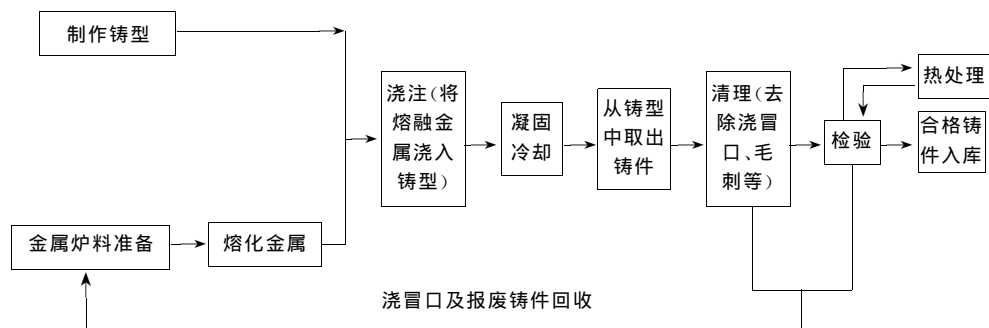


图2-1 铸造生产一般工艺流程

制作铸型的材料可以由各种原砂、粘结剂和附加物按一定比例均匀混制而成的型砂、芯砂，也可以是金属材料、陶瓷材料等。熔融金属的浇注、凝固冷却可以在重力下进行，也可以在外加压力或其他条件下进行，从而形成了各种铸造方法。用型砂制作的铸型称为砂型，采用砂型、熔融金属在重力下浇注及凝固冷却的铸造方法称为（普通）砂型铸造，其他有别于砂型铸造的各种铸造方法统归于特种铸造。特种铸造又可分为熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、离心铸造、低压铸造、陶瓷型铸造、连续铸造、挤压铸造、真空吸铸、磁型铸造等近二十种。

各种特种铸造方法，克服了砂型铸造的许多弱点，扩大了铸造适用范围。但是砂型铸造成本低，灵活性大，适应面广，技术也较成熟，所以砂型铸造目前仍是应用最广泛的铸造方

法。世界各国用砂型铸造方法生产的铸件占铸件总产量的80%以上。汽车制造厂、机床厂、大型的机器制造厂都广泛采用砂型铸造,因此这里将重点介绍砂型铸造方法。图2-2是一个套筒的砂型铸造过程。

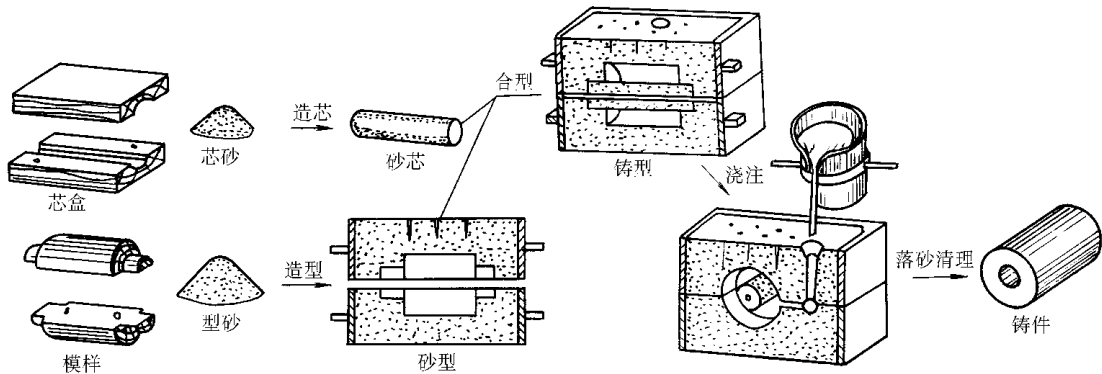


图 2-2 套筒的砂型铸造过程

铸型一般由上型、下型、砂芯、浇注系统等几部分组成。上下砂箱可用定位销定位,单件小批生产还可用做泥号方法定位。上下砂型合型后的铸型示意图见图2-3。出气孔3、4和排气通道6分别用于浇注时使型腔、砂型和砂芯中的气体逸出。冒口7安放在铸件厚壁处,用于浇注后铸件凝固收缩时的补缩。浇注系统9是使金属液进入型腔的通道。上、下砂型的接触面称分型面。而螺栓11则是在浇注和凝固时起夹紧作用,防止抬型,中小型铸件大批量生产时也可用箱卡或压铁来防止抬型。

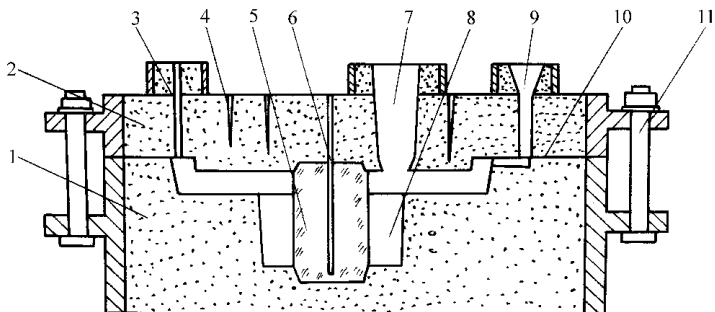


图 2-3 铸型示意图

- 1—下型 2—上型 3—出气孔(出气冒口) 4—(砂型)出气孔 5—砂芯
6—(砂芯)排气通道 7—冒口 8—型腔 9—浇注系统
10—分型面 11—夹紧螺栓

三、型砂

现代砂型铸造所用型(芯)砂由原砂和粘结剂组成,必要时还加入各种附加物。原砂以石英质的硅砂为主,而使用最多的粘结剂则是粘土(包括普通粘土和膨润土)。以粘土为粘结剂的型砂称粘土型砂。粘土型砂分为湿型砂,(也称潮模砂,主要用于中小型铸件生产)、干型砂(也称干模砂,主要用于中大型铸件生产)和表面干型砂(主要用于中型铸件生产)。制作的铸型相应称为湿型、干型和表(面)干型。湿型不必烘干,合型后直接可以浇注熔融金属;干型则送入专门的烘干炉中全部烘干后再合型浇注;表干型只需将砂型表面烘干一定深度即可。湿型不需烘干,节省了烘干设备和燃料,工序简化,生产周期缩短,生产率提高,便于实现生产过程机械化与自动化,使用最为广泛。现以湿型砂为例,介绍型(芯)砂的组成和有关性能要求。

(一) 型砂的组成

型砂的性能由原材料的性质、型砂的配比、混制工艺和紧实程度等因素决定。

最常用的湿型(芯)砂由砂子、膨润土(作为粘结剂)、水和煤粉(主要的附加物)按一定配比混制而成,也称煤粉砂。图 2-4 是紧实后的粘土型砂结构示意图。砂粒构成型砂的基本骨干,主要成分为 SiO_2 , SiO_2 的熔点 1713°C , 所以砂粒 SiO_2 含量越高,砂粒越粗,型砂在高温金属液作用下就越不易熔融和烧结(即耐火度越高)。膨润土(主要由蒙脱石矿物所组成,蒙脱石理论上的成分是 66.7% 的 SiO_2 , 28.3% 的 Al_2O_3 , 5% 的 H_2O) 和水混合,形成均匀粘土膜,粘附在砂粒表面将砂粒彼此粘结起来,紧实后成为有一定湿态强度的砂型。砂粒之间的毛细管道空隙,使砂型具有一定的透气性。煤粉的加入,有助于防止粘砂,使铸件表面光洁。

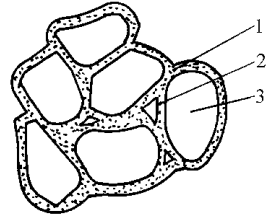


图 2-4 粘土型砂示意图

1—粘土膜 2—孔隙(毛细管道)
3—砂粒

生产中为节约原材料,合理使用型砂,按照型砂在砂型中位置,分为面砂和背砂。铺覆在模样表面构成型腔表面层的型砂称为面砂,背砂是指在面砂背后用于充填加固的型砂。显然,浇注时面砂直接与高温金属液接触,对铸件质量有很大影响,因此对面砂要求较高,需专门配制。背砂通常可用 100% 旧砂加适量的水混制而成。为提高造型效率,简化型砂管理,生产中小铸件时,有时不分面砂、背砂,使用单一砂(只用一种型砂)造型。

铸铁件用的湿型砂,旧砂回用量一般为 50%~80%,膨润土加 2%~5%,另外可再加 2%~5% 的煤粉。铸钢件用的湿型砂,新砂比例较大,膨润土加入量也相应增多。

(二) 型砂的性能要求与质量控制

砂型在造型、搬运、下芯、合型、浇注过程中要承受各种外力作用,浇注、凝固过程中要承受高温熔融金属冲刷、烘烤,而且型砂内水分及一些附加物或杂质会因受热而产生大量气体,因此要求型砂具备强度、透气性、耐火度等工作性能,同时为便于造型(型砂紧实、起模、修型等),还要求型砂具有流动性、可塑性等工艺性能。型砂的质量直接影响铸件质量和造型工艺。对湿型砂而言,一般都要控制和规定其含水量、湿透气性、湿压强度和紧实率等。

1. 水分与最适宜干湿程度

水分的加入量对型砂各方面性能有直接影响。含水量太少,型砂太干,砂型易破碎,浇注时产生冲砂,起模也有困难;含水过多,使起粘结作用的粘土膜变成粘土浆,湿强度较低,砂不易紧实,浇注时产生大量气体,易引起铸件气孔。型砂的干湿程度必须在一个适宜的范围内,此时型砂有较好的综合性能指标。判断型砂干湿程度有以下几种方法:

(1) 水分测定 这是工厂确定型砂干湿程度最常用的传统方法。但是型砂组成不同,达到适宜干湿程度的水分也不同,因此型砂中的含水量并不能很确切地反映型砂适宜的干湿程度。通常手工造型用湿型砂,含水约 5%~6%,普通机器造型用湿型砂,含水约 4.5%~5.5%。

(2) 手捏感觉(手感法) 为了迅速判断型砂的干湿程度,长久以来,工人凭手捏型砂时型砂是否易成团和是否沾手来判断。型砂湿度适当时,用手捏成砂团,放开手后可见清晰手纹,且折断砂团时断面没有碎裂状。显然,手捏的感觉因人而异,易受主观因素影响,此外也难以用数值表示,无法比较与记录,因此手捏感觉也不能作为科学判断型砂干湿程度和控制型砂质量的主要依据。

(3) 紧实率 实践证明,在相同锤击紧实力作用下,较湿型砂的体积减少较多。因此根据型砂紧实前后的体积变化,可以检查型砂的干湿状况。图 2-5 是紧实率试验方法的示意图。将