



普通高等教育机电类规划教材

制造技术基础实训教程

徐正好 成琮 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育机电类规划教材

制造技术基础实训教程

主 编	徐正好	成 琼
副主编	刘 燕	朱建军
参 编	信丽华	顾 蓓
主 审	胡义刚	



机械工业出版社

本书分四篇共 19 章, 涉及材料与热处理、铸造、压力加工、焊接、量具、钳工、车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、数控加工(包括数控车床、数控铣床、加工中心、MasterCAM 应用基础、数控雕刻)、电火花成形加工、电火花线切割加工等内容。本书在介绍各工种入门基础知识的基础上, 着重讲述基本工艺及操作技术要领。

本书作为高等工科院校金工实训教材, 可供机械类专业及部分非机械类专业师生使用, 也可供中专、职校、技校教学人员及有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

制造技术基础实训教程/徐正好, 成琼主编. —北京: 机械工业出版社, 2008. 8

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 978-7-111-24633-6

I. 制… II. ①徐…②成… 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 (2008) 第 103750 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: 冯春生 责任校对: 李秋荣

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260 · 15 印张 · 368 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-24633-6

定价: 24.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部制定的《机械制造基础》教学要求，结合作者多年的工程教学实践和课程体系改革成果编写的。

全书共分为四篇，主要内容有：材料与热处理、铸造、压力加工、焊接、量具、钳工、车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、数控机床基础知识、数控车床、数控铣床、加工中心、MasterCAM 应用基础、数控雕刻、先进数控制造技术、数控机床精度检测、电火花成形加工、电火花线切割加工等。

本书的编写体现了以下几个特点：

1) 在传统制造技术基础实训内容的基础上，引入了先进磨削技术、CAD/CAM、数控雕刻、激光干涉仪、球杆仪等新工艺、新技术。

2) 在写作风格上，力求循序渐进、简明扼要、通俗易懂，用平实的语言表述抽象的加工原理和工艺方法。

3) 重“操作”、讲“实用”。书中精选了大量例题，理论叙述较少，将一些重要的知识点分解到具体的实例中，通过学习和操作，使学生动手动脑，提高综合素质和实践能力。

本书作为高等工科院校金工实训教材，可供机械类专业及部分非机械类专业师生使用，也可供中专、职校、技校教学人员及有关工程技术人员参考。

本书由徐正好、成琼担任主编，刘燕、朱建军担任副主编，胡义刚担任主审。参加编写的人员还有信丽华、顾蓓。本书在编写过程中，承蒙贾慈力同志的多次指教与帮助，在此深表谢意。

由于编者水平有限，编写时间较紧，书中难免有错误和不妥之处，深望广大读者批评指正。

编者
于上海

目 录

前言

第一篇 材料与热加工

第一章 材料与热处理	1
第一节 常用工程材料	1
第二节 钢铁材料的火花鉴别法	6
第三节 钢的热处理	7
复习思考题	9
第二章 铸造	10
第一节 砂型铸造	10
第二节 造型方法	12
第三节 浇注系统、冒口和冷铁	16
第四节 合箱	17
第五节 合金的熔炼及设备	18
第六节 浇注、落砂和清理	19
第七节 常用铸件的分类和热处理	19
第八节 铸件缺陷	20
第九节 特种铸造	22
第十节 现代铸造工艺的发展	26
复习思考题	27
第三章 压力加工	28
第一节 压力加工的基本方法	28
第二节 金属的加热与冷却	28
第三节 锻造设备	29
第四节 自由锻的主要工序	30
第五节 模型锻造	32
第六节 板料冲压	33
复习思考题	36
第四章 焊接	37
第一节 焊条电弧焊	37
第二节 其他常用电弧焊方法	47
第三节 气焊与气割	48
第四节 压焊	50
第五节 钎焊	51
复习思考题	51

第二篇 切削加工

第五章 量具	53
--------	----

第一节 游标卡尺	53
第二节 深度游标卡尺和高度游标卡尺	54
第三节 千分尺	55
第四节 百分表	56
第五节 极限量规	56
复习思考题	57
第六章 钳工	58
第一节 概述与工艺特点	58
第二节 划线	58
第三节 锯削	63
第四节 锉削	65
第五节 錾削	69
第六节 钻削	70
第七节 扩孔、铰孔、铰孔	72
第八节 攻螺纹与套螺纹	73
第九节 刮削	75
第十节 研磨	77
第十一节 装配	78
复习思考题	79
第七章 车削加工	80
第一节 切削用量选择	80
第二节 卧式车床的手柄操作	82
第三节 车刀的刃磨与安装	83
第四节 工件安装	86
第五节 车削的基本操作	90
复习思考题	100
第八章 铣削加工	101
第一节 铣削基础知识	101
第二节 分度头	104
第三节 铣削操作	106
复习思考题	115
第九章 刨削加工	116
第一节 刨削的工艺特点及应用	116
第二节 牛头刨床	116
第三节 刨刀及安装	119
第四节 牛头刨床的刨削方法	120
第五节 其他刨削类机床	122

复习思考题	123	复习思考题	186
第十章 磨削加工	124	第十五章 MasterCAM 应用基础	187
第一节 磨削基础知识	124	第一节 MasterCAM 绘图简介	187
第二节 砂轮	126	第二节 MasterCAM 编程	193
第三节 磨削操作	130	第三节 MasterCAM 编程实例	196
第四节 光整加工	135	复习思考题	200
第五节 先进磨削技术	136	第十六章 数控雕刻	201
复习思考题	137	第一节 数控雕刻机简介	201
第三篇 数控加工		第二节 数控雕刻机的加工工艺	202
第十一章 数控机床的基础知识	139	第三节 数控雕刻机的操作	206
第一节 数控机床的组成及基本工作 原理	139	复习思考题	209
第二节 数控机床的分类	140	第十七章 先进数控制制造技术简介	210
第三节 数控机床的坐标系	141	第一节 柔性制造系统	210
第四节 数控机床精度检测	142	第二节 计算机集成制造系统	211
复习思考题	146	复习思考题	212
第十二章 数控车床	147	第四篇 电火花加工	
第一节 数控车床的结构特点	147	第十八章 电火花成形加工	213
第二节 机床坐标系与工件坐标系	147	第一节 电火花成形加工的基础知识	213
第三节 数控车床编程	147	第二节 电极	214
第四节 数控车床的操作	155	第三节 电极与工件的安装	215
复习思考题	159	第四节 电参数及工作液循环系统	217
第十三章 数控铣床	160	第五节 机床操作	219
第一节 数控铣床的特点	160	复习思考题	221
第二节 机床坐标系与工件坐标系	160	第十九章 电火花线切割加工	222
第三节 数控铣床编程	160	第一节 电火花线切割加工的原理和特 点	222
第四节 数控铣床的操作	169	第二节 控制原理	223
复习思考题	173	第三节 编程方法	223
第十四章 加工中心	174	第四节 电火花线切割加工工艺	231
第一节 加工中心的特点	174	复习思考题	232
第二节 加工中心编程	175	参考文献	233
第三节 加工中心的操作	184		

第一篇 材料与热加工

第一章 材料与热处理

材料是人类赖以生存与发展的必需的物质条件，是人类社会文明发展史的重要标志。用于生产制造机械零件和工具及工程构件的材料，统称为机械工程材料，在工业、农业、建筑、国防、交通运输和日常生活及科研中占有重要的地位。常用机械工程材料有金属材料、非金属材料和复合材料等三大类。金属材料通过热处理可以改善和提高材料的力学性能和工艺性能，而且通过热处理工艺还可以改变其内部组织、延长使用寿命，因而得到广泛的应用。

第一节 常用工程材料

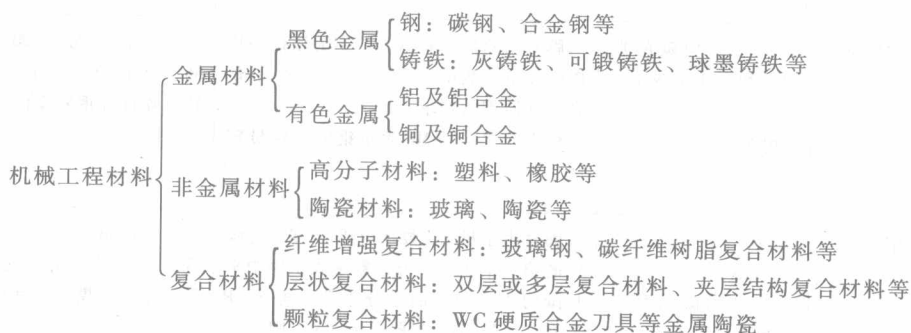
材料、能源、信息和生命已成为现代科学技术的四大支柱，材料的现状与发展，直接关系到国家的科学技术和国民经济水平以及国防力量。材料在近代历史中得到迅猛的发展。

一、金属材料的力学性能

金属材料在外力作用下所表现出来的性能称为力学性能，它包括强度、硬度、塑性、冲击韧性及疲劳强度等。材料的这些力学性能，可以通过试验来测定并以数据来反映。力学性能指标是工程设计和选用材料的重要依据。

二、常用机械工程材料

机械工程材料可按下列分类：



在机械制造和工程上应用最广泛的是金属材料，钢铁是应用最普遍的金属材料，它主要包括碳钢、合金钢和铸铁。碳钢和铸铁均为铁碳合金，在冶炼中人为地加入合金元素就成为合金钢或合金铸铁。

(一) 碳素钢

碳素钢又称碳钢，是指以铁和碳为主要成分的， $w_c < 2.11\%$ （质量分数）的铁碳合金，并含有少量 S、P、Si、Mn 等元素。碳钢具有较好的力学性能和工艺性能，且价格较为低廉，故应用很广。对碳钢性能影响最大的是钢中碳的含量。

1. 碳钢的分类

碳钢的常用分类方法有以下几种：

1) 按碳钢中碳的质量分数（ w_c ）的多少，可分为：

低碳钢（ $w_c \leq 0.25\%$ ）、中碳钢（ $0.25\% < w_c \leq 0.60\%$ ）和高碳钢（ $w_c > 0.60\%$ ）。

2) 按碳钢的质量分类，通常以钢中有害元素 S、P 含量的数量（ w_s 、 w_p ）来划分，可分为：

普通碳素钢（ $w_s \leq 0.050\%$ 、 $w_p \leq 0.045\%$ ）、优质碳素钢（ $w_s \leq 0.035\%$ 、 $w_p \leq 0.035\%$ ）和高级优质碳素钢（ $w_s \leq 0.025\%$ 、 $w_p \leq 0.030\%$ ，如 T8A、T10A 钢，在牌号后加“A”）。

3) 按钢的用途，可分为：

碳素结构钢：用于制造各类工程构件、桥梁、船舶和轴、齿轮等机械零件，一般属于中、低碳钢。

碳素工具钢：主要用于制造各种刀具、量具和模具等，一般属于高碳钢，牌号首字为“T”。

2. 碳钢的牌号及用途（表 1-1）

表 1-1 碳钢的牌号说明

类 别	举 例	编号说明	用途举例
普通碳素结构钢 (碳素结构钢)	Q235—A·F（屈服强度为 235MPa，质量为 A 级的沸腾钢）	牌号由代表屈服点字母、屈服强度的数值、质量等级符号、脱氧方法等四个部分按顺序组成 Q235—A·F 中 Q 为屈字的第一个拼音字母。数字为屈服点（MPa）。质量分为四个等级，分别为 A、B、C、D，质量自左至右依次升高。F、b、Z、TZ 依次表示沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢	常用的牌号有 Q215、Q235A、Q255 等。主要用于制造如开口销、螺母、螺栓、桥梁结构件等，用于不重要的机械零件
优质碳素结构钢	45（平均碳的质量分数为 0.45%） 65Mn	牌号用两位数表示，数字为该钢平均碳的质量分数的万分之几。含 S、P 量合乎优质钢的要求 化学元素符号 Mn 表示钢的含锰量较高	常用的牌号有 20、35、45、65、75 钢等。用于制造轴、齿轮、连杆等重要零件
碳素工具钢	T10 T10A （平均碳的质量分数为 1.0%，A 表示高级优质钢）	牌号由字母 T + 数字组成。“T”为碳字的第一个拼音字母，数字表示钢中平均碳的质量分数的千分之几。含 S、P 量合乎优质钢的要求，有“A”则应达到高级优质钢的要求	常用的牌号有 T8、T10、T12 等，主要用于制造低速切削刀具、量具、模具及其他工具
一般工程用铸造碳钢	ZG230—450（ $\sigma_s = 230\text{MPa}$ ； $\sigma_b = 450\text{MPa}$ 的碳素铸钢件）	“ZG”系铸钢二字拼音的第一个字母。后面的数字，第一组代表屈服点（MPa），第二组代表抗拉强度（MPa）	铸钢常用来铸造形状复杂而需要一定强度、塑性和韧性的零件

(二) 合金钢

在碳钢中有意识地加入一种或几种合金元素,以改善和提高其性能,这种钢称为合金钢。合金钢常加入的合金元素有锰(Mn)、硅(Si)、铬(Cr)、镍(Ni)、钼(Mo)、钨(W)、钒(V)、钛(Ti)、铌(Nb)、锆(Zr)、稀土元素(RE)等。合金钢具有优良的力学性能,多用于制造重要的机械零件、工具、模具和工程构件,以及特殊性能工件,价格较高,但仍占有重要的使用地位。按合金元素含量的多少,合金钢可分为:

低合金钢:合金元素总质量分数 $<5\%$;中合金钢:合金元素总质量分数为 $5\% \sim 10\%$;高合金钢:合金元素总质量分数 $>10\%$ 。

按用途分,合金钢可分为:

合金结构钢:用于制造机械零件和工程构件;合金工具钢:用于制造各种刀具、量具、模具等;特殊性能钢:具有特殊物理和化学性能的钢,如耐热钢、不锈钢、耐磨钢。

合金钢的牌号及用途:

1. 合金结构钢

牌号表示:“二位数字”+“元素符号及数字”。前面的“二位数字”表示钢中平均碳的质量分数的万分之几。元素符号表示所加入的主要合金元素,其后面的数字为该合金元素平均质量分数的百分之几,当合金元素的平均质量分数小于 1.5% 时,此数字省略,只标合金元素符号,如合金弹簧钢60Si2Mn的含义为: $w_c = 0.60\%$, $w_{Si} = 2\%$, $w_{Mn} < 1.5\%$ 。对于专用的合金结构钢,在牌号前面再附加字母,如滚动轴承钢GCr15、GCr15SiMn,易切钢Y20、Y40Mn。牌号的最后加“A”,如20Cr2Ni4A,为高级优质合金钢。

常用的合金结构钢牌号有Q345、20CrMnTi、40Cr、60Si2Mn等,主要用于制造承载较大、力学性能要求较高的机械零件和工程构件。

2. 合金工具钢

牌号表示:“一位数字”+“元素符号及数字”。前面的“一位数字”表示钢中平均碳的质量分数的千分之几。当平均碳的质量分数大于等于 1% 时,不标注平均含碳量。“元素符号及数字”的含义与合金结构钢相同。如刀具钢9SiCr的含义为: $w_c = 0.9\%$ 、 $w_{Si, Cr} < 1.5\%$ (Si和Cr的质量分数都小于 1.5%);Cr12表示 $w_c \geq 1.0\%$ 、 $w_{Cr} = 12\%$ 的冷作模具钢。

常用的合金工具钢牌号有9Mn2V、9SiCr、CrWMn、W18Cr4V、Cr12MoV等。主要用于制造形状复杂、尺寸较大的模具,高速切削的刀具和量具等。

3. 特殊性能钢

主要有不锈钢、耐热钢、耐磨钢等。不锈钢和耐热钢的牌号表示方法与合金工具钢相同。1Cr18Ni9Ti、1Cr17、3Cr13等是常用的不锈钢,主要用于制造耐腐蚀要求较高的器件,如吸收塔零部件、管道、容器及医疗器械等。

耐热钢常用的有4Cr14Ni14W2Mo、15CrMo等,主要用于汽轮机叶片,发动机进气、排气阀门及蒸气和气体管道等。耐磨钢的牌号不标注平均含碳量,最重要的是高锰钢,如ZGMn13,主要用于制造车辆履带、挖掘机铲齿、破碎机颚板和铁路道叉等。

(三) 铸铁

铸铁是指 $w_c > 2.11\%$ 的铁碳合金,并含有比钢中含量多的S、P、Si、Mn等元素。按碳的存在形式,铸铁分为:

(1) 白口铸铁 碳全部以渗碳体形式存在,断口呈银白色,性能脆而硬,一般用作炼钢

或铸铁生产的原料。

(2) 灰口铸铁 碳全部或大部分以游离的石墨形式存在, 断口呈暗灰色。与钢相比, 铸铁的抗拉强度、塑性和韧性较差, 但有良好的铸造性、减摩性、减振性、切削加工性和对缺口的低敏感性, 而且价格低廉, 故应用广泛。

灰口铸铁的组织相当于钢的基体和石墨组成的混合体。石墨的力学性能很低, 对铸铁的性能影响很大。按石墨的形态不同, 灰口铸铁又可分为灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁。从力学性能方面来讲, 前者是普通灰铸铁, 后两者是高强度铸铁。它们的牌号、性能及用途见表 1-2。

表 1-2 灰口铸铁的牌号说明

类 别	举 例	编号说明	用途举例
灰铸铁	HT200 (灰铸铁, $\sigma_b \geq 200 \text{ MPa}$)	“HT”为灰铁二字的第一个拼音字母, 其后的数字表示最低抗拉强度 (MPa)	石墨呈片状, 对基体的割裂破坏作用较大, 故力学性能较差, 但对抗压性能影响不大。生产工艺简单, 价格低廉, 在工业上的应用最为广泛。常用的牌号有 HT150、HT200、HT350 等。主要用于制造结构复杂的受压件, 如机床床身、机座、导轨、箱体等
可锻铸铁	KTH350—10 ($\sigma_b \geq 350 \text{ MPa}$, $\delta = 10\%$, 黑心可锻铸铁)	“KT”为可铁二字的第一个拼音字母, “H”表示黑心基体 (Z 表示珠光体基体)。二组数字分别表示最低抗拉强度 (MPa) 和伸长率 (%)	石墨呈团絮状, 对基体的割裂破坏作用比片状小些, 故力学性能比灰铸铁好, 有一定强度和塑性, 但仍不可锻造。常用的牌号有 KTH330—08、KTH370—12、KTZ650—02 等。主要用于制造形状复杂、承受冲击载荷的薄壁、中小型零件, 如汽车后桥齿轮箱壳体
球墨铸铁	QT400—15 ($\sigma_b \geq 400 \text{ MPa}$, $\delta = 15\%$ 的球墨铸铁)	“QT”为球铁二字的第一个拼音字母, 其后二组数字分别表示最低抗拉强度 (MPa) 和伸长率 (%)	石墨呈球状, 对基体的割裂破坏作用最小, 故强度和塑性都较好。常用的牌号有 QT700—2、QT600—3、QT900—2 等。主要用于制造要求综合力学性能好、形状复杂的零件, 如凸轮轴、柴油机曲轴、齿轮等零件

(四) 有色金属

通常把铁及其合金称为黑色金属, 把 Cu、Al、Zn、Mg、Ti 等非铁金属及其合金称为有色金属。有色金属具有优良的性能, 虽产量不多, 价格也贵, 但仍是机械制造和工程上不可缺少的材料。有色金属品种繁多, 在生产中常用来制造有特殊性能要求的零件和构件。常用的有铝、铜及其合金。纯铝、防锈铝 (5A05、3A21)、硬铝 (2A11、2A12)、超硬铝 (7A04) 等密度小, 在航空航天工业中得到广泛应用。黄铜 (Cu-Zn 合金、H62、H70), 有一定强度、塑性和耐蚀性, 主要用于制造垫圈、螺钉、衬套、管路零件以及对海水的耐蚀件等。青铜 (Cu-Sn 合金), 如锡青铜 QSn4-4-2.5、铝青铜 QAl5、铍青铜 QBe2、铸造锡青铜 ZCuSn10Pb1 等减摩性、耐蚀性好, 主要用于制造减摩、耐蚀的零件, 如轴瓦、涡轮等。

(五) 非金属材料

非金属材料泛指除金属材料之外的材料, 主要有塑料、橡胶、陶瓷、合成纤维、涂料和胶粘剂等。它们具有金属材料所没有的特性, 应用甚广。

塑料是以合成树脂为主体,加入为改善使用性能和工艺性能的添加剂组成的高分子材料。塑料的密度小,具有良好的耐蚀性、电绝缘性、减摩耐腐性和成型工艺性,缺点是强度低、耐热差、易老化。塑料应用很广,我国目前年需用量达1800万t。日常生活及包装中用的称之为通用塑料,如聚乙烯、聚氯乙烯等。在工程构件和机械零件中用的,称工程塑料,它们的力学性能较好并具有某些突出的性能(见表1-3),主要有聚酰胺(尼龙)、ABS、聚甲醛、聚碳酸酯、有机玻璃、聚四氟乙烯、环氧树脂等。

表 1-3 常用工程塑料性能及应用举例说明

名 称	性 能 特 点	应 用
聚甲醛 (POM)	耐疲劳性能高,自润滑性和耐磨性好。但耐热性差,收缩性较大	耐磨传动件,如齿轮、轴承、凸轮、运输带等
聚酰胺 (PA)	减摩耐磨性、耐蚀性、韧性好,但耐热性不高($<100^{\circ}\text{C}$),吸水性高,成型收缩率大。俗称“尼龙”	耐磨及耐蚀的承载和传动件,如齿轮、蜗轮、密封圈、轴承、螺钉螺母、尼龙纤维布
聚碳酸酯 (PC)	冲击韧性高,耐热耐寒稳定性好($-60\sim 120^{\circ}\text{C}$),但自润滑和耐磨性较差。透明,俗称“透明塑料”	受冲击载荷不大但要求尺寸稳定性较高的零件,如轻载齿轮、心轴凸轮、螺栓、铆钉、挡风玻璃、头盔、高压绝缘器件
ABS	综合性能良好,吸水性低,表面易镀饰金属。原料易得,价格便宜	小型泵叶轮,仪表罩壳,轴承,汽车零件如挡泥板、扶手、热空气调节导管、小轿车车身,纺织器材,电信器材等

橡胶突出的特性是高弹性,还具有良好的吸振、耐磨和电绝缘性能。橡胶是用天然橡胶或合成橡胶加入配合剂经硫化处理制成,也属于高分子材料。常用的合成橡胶有丁苯橡胶、顺丁橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶等。常用于制造轮胎、密封圈、减振器、管路及电绝缘包皮等。

陶瓷是无机非金属材料,具有高的耐热、耐蚀、耐磨、抗压强度等性能,但硬而脆,抗拉强度低。陶瓷分为普通和特种两种陶瓷。普通陶瓷是以粘土和石英等为原料制成,主要用于日常用品、电气绝缘器件、耐蚀管道或容器等。特种陶瓷是以高纯度人工化合物(如氧化铝等)为原料制成,如高强度陶瓷、压电陶瓷、化工陶瓷、耐酸陶瓷等。

(六) 复合材料

复合材料是指两种或两种以上物理和化学性质不同的物质,通过人工的方法结合而成的工程材料。它由基体和增强相组成。基体起粘结剂作用,具有粘结、传力、缓裂的功能。增强相起提高强度(或韧性)的作用。复合材料能充分发挥组成材料的优点,改善或克服其缺点,所以优良的综合性能是其最大优点,已使之成为新兴的工程材料。复合材料按增强相形状可分为:纤维增强复合材料、层压增强复合材料及颗粒增强复合材料。目前应用最多的是纤维增强复合材料。纤维增强复合材料起增强相作用的纤维,是承受载荷的主要部分,常用的有玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、芳纶纤维等。基体可用各种合成树脂,如环氧树脂等。玻璃钢是玻璃纤维/树脂的复合材料,应用较早。碳纤维树脂增强复合材料密度小、比强度和比模量高、耐蚀和耐热性好,应用最为广泛。碳纤维增强复合材料常用于制作飞机、导

弹、卫星的构件，以及轴承、齿轮等耐磨零件和化工器件等。

第二节 钢铁材料的火花鉴别法

钢铁材料的火花鉴别法，是指通过观察、分析钢铁接触高速旋转的砂轮，即磨削时发出火花的状况、色泽以判断钢铁材料化学成分范围。

一、鉴别的主要内容

(1) 火花束 指磨削时产生的全部火花，又称火束，可分为根部、中部和尾部三部分。火束主要由流线、节点、爆花等组成。

(2) 流线 磨削产生的线条状火花，实质是钢铁在磨削时产生的灼热粉末高速飞行的光亮轨迹。分为直线流线（如碳钢火花束流线）、断续流线（如灰铸铁的火花束流线）等几种。

(3) 节点和爆花 流线上发生爆裂处，呈明亮而稍粗的点，称节点。发生爆裂的火花形状称爆花。爆花包括节点、分叉短流线（又称芒线）及花粉（分散在爆花和流线附近的小亮点）。

根据爆裂时芒线分叉情况，爆花分为一次爆花、二次爆花、三次爆花、多次爆花等。

(4) 尾花 流线尾部的火花。常见的有狐尾尾花，说明钢中含有钨元素；枪尖尾花，说明钢中含有钼元素。

(5) 色泽 火花束的整个或某些部分的颜色。

二、碳钢火花的主要特征

碳是易燃物质，碳钢中随碳含量的增加，火花束状况有许多变化，主要特征如下：

碳钢中含碳增加，火花束变短，火束的流线、爆花分叉、花粉、亮度等均增加，磨削时手感变硬，色泽从亮黄向黄橙转化。

20 钢：火束长，呈草黄微红色，流线条中等，多分叉，爆花量不多，为一次爆花，如图 1-1 所示。

45 钢：火束长度中等，呈黄色稍明，流线条较多且分叉多，为二次爆花，小花和花粉较多，如图 1-2 所示。

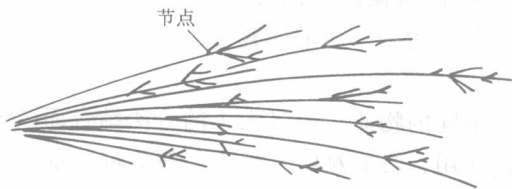


图 1-1 20 钢的火花特征

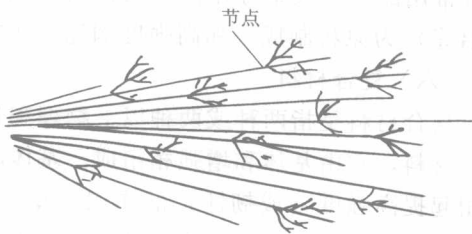


图 1-2 45 钢的火花特征

T8 钢：火束短而粗，呈橙红微暗，流线条多、短、细密，为密集的多次爆花，花粉也多，如图 1-3 所示。

三、灰铸铁的火花主要特征

灰铸铁：含碳和硅量较高，碳主要以游离石墨形式存在，硅有抑制火花爆裂作用，故火花的爆花数目较少，流线短而粗，流线尾端呈羽毛状尾花，流线条不多，呈暗红色，如图

1-4 所示。

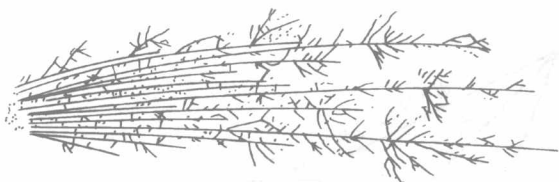


图 1-3 T8 钢火花特征



图 1-4 灰铸铁火花特征

火花鉴别是钢铁材料现场鉴别的主要方法之一，比较方便。此外，还有一些比较方便的现场鉴别方法，如涂色标记鉴别，在钢材一端的端面或端部，不同牌号涂以规定颜色，以示区别；音响鉴别，铸铁的减振性较好，敲击声音较低沉，敲击钢材发声比较清脆，可以用来区别钢材和铸铁混淆情况。

第三节 钢的热处理

钢的热处理是将固态钢经过加热—保温—冷却的工艺过程。它通过改变材料的组织结构，达到改善和提高钢件的力学性能，而钢件的形状和尺寸基本不变。这是挖掘材料潜力、节省钢材、提高材料使用性能和产品质量、延长工件使用寿命的重要工艺方法，因此在机械制造和工程上得到广泛的应用。几乎重要的机械零件、构件、工具，如轴、齿轮、模具、量具、锉刀、弹簧、锯条等都要经过热处理。

根据加热和冷却方法的不同，热处理可按以下分类：



一、退火

退火是将钢件加热到一定温度，经保温后缓慢冷却（随炉冷却）到室温的热处理工艺，如图 1-5 所示。退火的主要作用是软化、细化和消除内应力。退火能使工件降低硬度，使之适合切削加工；提高塑性，适应冷锻压加工，细化晶粒，均匀材料组织；消除残余应力，改善钢件的力学性能。

根据退火目的不同，常用的退火有完全退火、球化退火、去应力退火等。铸件、锻件和焊件往往存在较多的残余应力以及材料上的不良组织结构，复杂工件淬火容易开裂，高硬度的工具钢难以切削加工等，这些问题可以通过退火处理加以解决。有的热处理是作为机械加工工艺过程的中间工序，有的则为最终工序。

二、正火

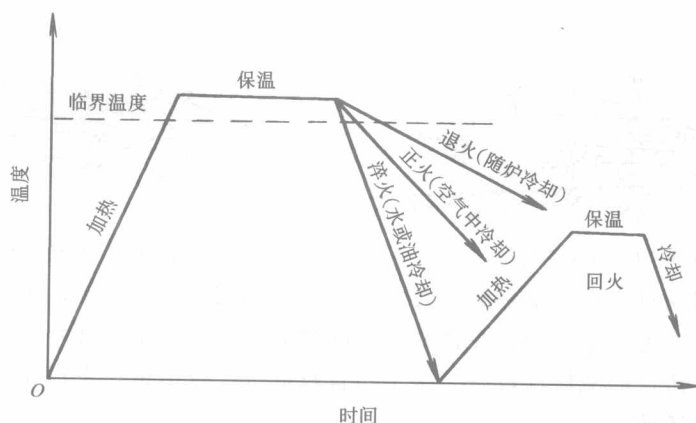


图 1-5 钢的热处理

正火是将钢件加热到一定温度，经保温后出炉在空气中冷却，如图 1-5 所示。正火与退火同属于软化、细化的热处理目的。但正火是在空气中冷却，组织的细化和强化明显，且生产周期短、工效高，所以正火应用较广，往往取代低碳钢的退火。正火还用于消除某些组织结构缺陷，减少淬火开裂，为淬火作好组织准备。

三、淬火

淬火是将钢件加热到一定温度，经保温后快速冷却。一般是采用水冷或油冷，如图 1-5 所示。淬火的主要目的是较大地提高钢件的硬度，改善其耐磨性，是强硬化的重要处理工艺，应用广泛。经过淬火处理后材料的潜力得以充分发挥，材料的力学性能得到很大的提高，因此对提高产品质量和使用寿命有着十分重要的意义。

淬火工艺中保证冷却速度是关键。过慢则淬不硬，过快又容易开裂。正确选择冷却液和操作方法也很重要。一般碳钢用水、合金钢用油作冷却剂。

淬火后硬度提高较大，但组织较脆，故淬火后应立即进行回火处理。

四、回火

将淬火的钢件加热到一定温度，经保温后冷却称为回火，可以在空气、油或水中冷却。回火与淬火属于强硬化处理。回火的主要作用是降低淬火组织脆性和内应力，调整和稳定淬火后的硬度，使钢件保持有较高的综合力学性能及突出某些特性。钢回火后的性能主要取决于回火的加热温度，而不是冷却速度。据此回火分为：

(1) 低温回火 回火加热温度 $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$ ，硬度可达到大于或等于 55HRC 。经过低温回火能降低淬火钢的内应力和脆性，突出的特性是具有高硬度、高耐磨性能。低温回火常用于刀具、量具、模具、滚动轴承及表面淬火等工件。

(2) 中温回火 回火加热温度 $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ，硬度可达到 $35 \sim 50\text{HRC}$ 。经过中温回火能进一步降低淬火钢的内应力，突出的特性是具有高弹性性能，广泛应用于各种弹簧类型的工件和构件。

(3) 高温回火（调质） 回火加热温度 $500 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ，硬度可达到 $20 \sim 35\text{HRC}$ 。经过高温回火能消除淬火钢的大部分内应力，突出的特性是具有较高的强度和韧性，即具有高的综合力学性能。对于重要的机械零件和构件，如轴、齿轮、连杆等均需经过调质处理。

五、表面热处理

表面热处理是强化表层的热处理方法,以适应许多机械零件的表硬心韧的要求,如齿轮、凸轮、机床导轨等。常用的表面热处理方法分为表面淬火和化学热处理两种。

1. 表面淬火

表面淬火是快速加热使钢件表层达到淬火温度,而不等热量传至中心,立即快速冷却,使表层淬硬。根据加热方法的不同,常用的表面淬火方法分为高频感应加热表面淬火或火焰加热表面淬火。

(1) 高频感应加热表面淬火 常用的电流频率为 200 ~ 300kHz。生产效率很高,热处理的质量好,适用于形状简单工件的大批量生产。

(2) 火焰加热表面淬火 此方法简便,但热处理质量差,只适用于单件或小批量生产及需要局部表面淬火的零件。

2. 化学热处理

化学热处理是将工件放置于需渗入的活性介质中,经加热和保温,使介质中活性元素渗入工件表面,从而改变表面的成分和组织,以提高需要的力学性能的热处理方法。化学热处理有渗碳、渗氮(氮化)、碳氮共渗、渗其他元素(如渗铬、渗硼、渗硅)等。

渗碳适用于低碳钢和低碳合金钢。渗碳后表面强硬性高,但心部仍保留较好的韧性。适用于有冲击载荷作用下的受摩擦的工件,如 20、20Cr、20CrMnTi 钢。渗氮不适用于碳钢,适用于如 38CrMoAl 等能形成氮化物的合金钢。碳氮共渗,它可综合渗碳、渗氮两者的优点。

六、表面喷丸强化

喷丸表面强化的主要原理是利用大量高速的微细弹丸强烈冲击金属零件表面,使之产生塑性形变的表面强化层,形变硬化层可达 0.5 ~ 1.5mm 并留有残余压应力,从而使表面性能得到改善和提高,尤其是提高疲劳强度和抗应力腐蚀性能。

复习思考题

1. 碳钢按质量分类,可划分为哪些类别?
2. 常用的榔头、锯条、锉刀,主要要求哪些力学性能?请选用适合的钢号,并指出该钢号的名称、主要成分及采用的热处理方法。
3. 指出以下牌号属于哪类钢并对其用途进行举例: Q235-A · F, 45, T12A, 20CrMnTi, 40Cr, 65Mn, GCr15, W18Cr4V, 9SiCr, 1Cr18Ni9Ti。
4. 按石墨形态灰口铸铁如何分类?各举 1 个牌号加以说明其编号意义和特点及应用举例。
5. 列出常用的工程塑料的名称、主要特性及应用举例。
6. 碳钢及铸铁的火花有什么特征?
7. 说明退火、正火、淬火的主要作用及冷却方式。
8. 什么是回火?回火分类及其主要作用是什么?各类回火应用的特点如何?
9. 常用钢的表面热处理方法有哪些?各举例说明其应用。
10. 钢零件的表面喷丸强化能提高哪些主要性能?

第二章 铸 造

我国古代的铸造技艺超群，从西安的兵马俑到北京的永乐大钟等可以看出铸造技术堪称一流；悬挂在北京大钟寺明代永乐年间用铸造手段造出来的巨型铜钟，高达 6.75m，钟口直径 3.3m，造型精美，形体宏伟，经过五百多年的风风雨雨，至今仍音响圆润洪亮，穿透性强，声音可传百里，被国际友人称之为“永乐大钟，巧匠神工，乐声永播，智慧无穷”。

铸造是将熔化的金属浇注到铸型中，待其冷却凝固后获得一定形状与性能铸件的一种加工方法。铸件一般作为零件的毛坯要经过切削加工后方能成为零件。常用的铸造金属有铸铁、铸钢和铸造有色金属铜铝等，其中铸铝在金工实习中应用最广。

铸造生产的特点有如下几方面：

1) 铸造可以得到复杂形状（复杂的内腔）的铸件，如普通机床的床身、汽车发动机等。

2) 铸件的尺寸和重量可大可小，大到几十米，小到几毫米，重量大到数百吨，小可以几克。

3) 铸造成本低廉，如铸造在熔炼时其炉料的金属料就包括浇冒口、废铸铁等。

总之，铸造生产具有应用广泛、成本低廉的优点，但铸件内部组织较为粗糙，一般用于不是很重要的零部件，而且按照常规的铸造方法铸造细长件、薄件比较困难。

铸造的生产方法有多种，主要分为砂型铸造和特种铸造，其中砂型铸造应用最普遍。

第一节 砂 型 铸 造

一、砂型铸造生产工艺过程

砂型铸造的生产工艺过程主要包括：模样、芯盒、型砂、芯砂的制备；造型、制芯；合箱、熔炼金属及浇注；落砂、清理及检验等。砂型铸造生产工艺过程如图 2-1 所示。

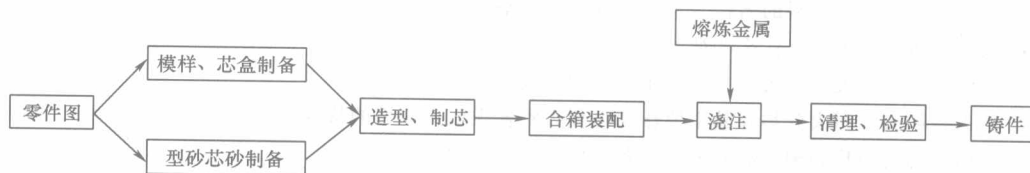


图 2-1 砂型铸造生产工艺过程

二、铸型的结构

以应用最多的两箱造型方法为例，铸型结构如图 2-2 所示。铸型结构主要包括上、下砂箱，形成型腔的砂型、型芯，以及浇注系统等。上、下砂箱多为金属框架。

金属液体在砂型里的通道称为浇注系统，主要包括浇口、冒口两大部分。

三、型砂和型芯砂

型砂是砂型的主体，对铸件的质量有很大影响，故对型砂性能有一定的要求。

- 1) 良好的透气性。
- 2) 适当的强度。
- 3) 高的耐高温性能。
- 4) 一定的退让性。
- 5) 足够的耐用性。

型芯主要用来形成铸件内腔，有时也用于做成铸件外形，由于型芯浇注时受到金属液体的冲刷，浇注后又被高温金属液体包围，故芯砂应有更高的性能要求。

型芯砂（芯砂）除具备型砂的性能外，还要求具有吸湿性低、发气性少、易于出砂等性能。

型砂、芯砂由砂子、粘结剂及附加物等加一定的水分组成。型砂、芯砂的各组成物经选择后按一定配比进行混制，一般在混砂机上进行。

四、模样及型芯盒

模样常用木料、金属、塑料等制造，即通常称的木模、金属模、塑料模等。其中木模目前仍较为多用。型芯盒用来制造型芯，如图 2-3 所示。

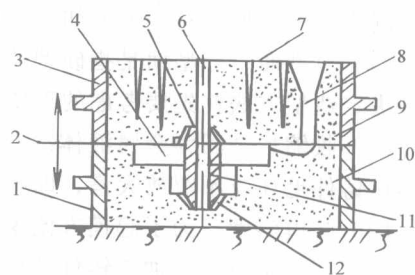


图 2-2 铸型装配图

1—下砂箱 2—分型面符号 3—上砂箱
4—型腔 5—型芯 6—型芯通气孔 7—出气孔 8—浇注系统 9—上型砂 10—下型砂 11—型芯 12—型芯座

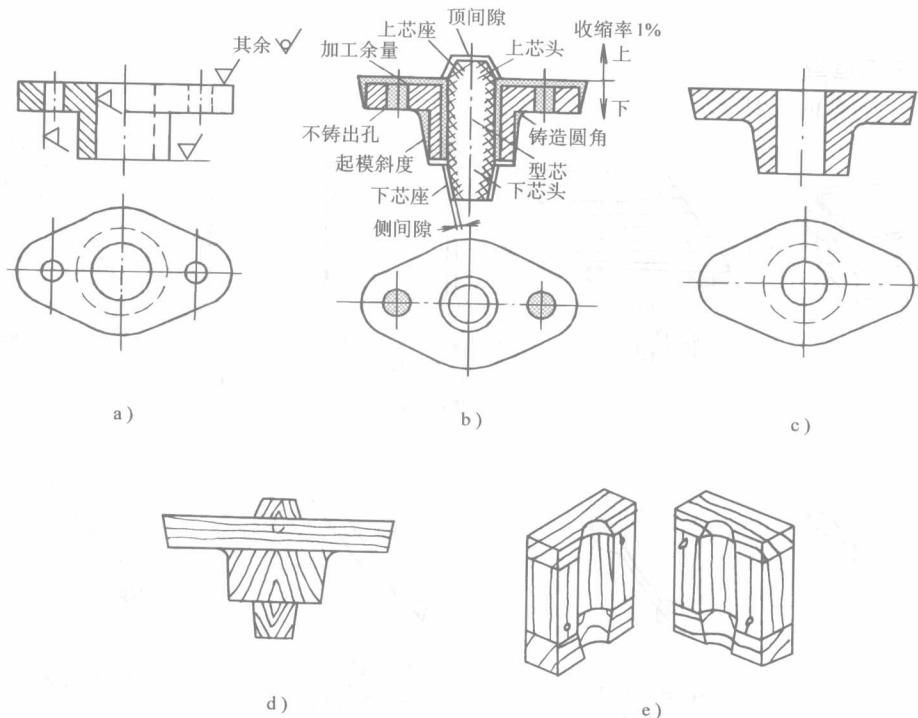


图 2-3 压盖的零件图、铸造工艺图、铸件图、模样及芯盒

a) 压盖零件 b) 铸造工艺图 c) 铸件 d) 模样 e) 芯盒