



普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等院校工程实践系列规划教材

机械工程实训

主 编 廖 凯 韦绍杰
副主编 丁敬平 司家勇 张立强 陈 飞
主 审 李立君 魏德强



科学出版社

014034581

TH-43
52

普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等院校工程实践系列规划教材

机械工程实训

主 编 廖 凯 韦绍杰

副主编 丁敬平 司家勇

张立强 陈 飞

主 审 李立君 魏德强



科学出版社

北 京



北航

C1714967

TH-43
52

182380310

内 容 简 介

本书为机械工程训练(金工实习)的实习教材,由中南林业科技大学和桂林电子科技大学联合组织编写,目的是贴合工程实践的需要,加强实践教学的实际性,拓宽学生的工程视野,培养学生的工程意识,提高大学生的动手能力和解决实际工程问题的能力,进而全面提升学生的工程素养。全书分为传统加工和现代加工两个部分,共九章,主要包括传统的车、铣、刨、磨、钳、铸、锻、焊等实习训练内容和现代加工技术及其操作。

本书可作为普通高等本科院校工科类、理科类学生金工实习指导用书,也可作为高职高专院校理工科各专业学生金工实习指导用书和学生参加技能鉴定的教学辅导用书,还可供各相关工种技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程实训/廖凯,韦绍杰主编. —北京:科学出版社,2014.1

(普通高等教育“十二五”规划教材·普通高等院校工程实践系列规划教材)

ISBN 978-7-03-039280-0

I. ①机… II. ①廖… ②韦… III. ①机械工程-高等学校-教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 296138 号

责任编辑:邓静 张丽花 / 责任校对:蒋萍

责任印制:闫磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行

各地新华书店经销

*

2014 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014 年 1 月第一次印刷 印张:15

字数:390 000

定价:33.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

版权所有,盗版必究

举报电话:010-64034315; 010-64010630

前 言

新中国成立以来,工科院校都建有实习工厂,用于开展本校的金工实习教学,这门课程发展了几十年,由理论为主、实践为辅的教学模式,逐渐过渡到基于工程目标实践和创新实践的教学新模式,将工程的理念带入大学生实训当中,大力倡导提高学生的实践能力,加强创新意识。

从2000年开始,在借鉴香港高校工程训练中心建设和国外发达国家工程教育先进理念的基础上,广大教育工作者开始反思和探索,提出了“教育面向工程,教学面向实践”的教育理念,这对于“金工实习”教学改革,引起了革命性的转变。也就是从那时起,国家和高校给予了工程实践教育高度重视,理工科院校普遍建立了工程训练中心,拥有前所未有的、极为丰富的教学资源,面向大量的本科学生群体进行全方位开放。它不再是以前辅助存在的“金工实习”,而逐渐转变为面向实际工程要求的工程训练教育。工程意识、工程素养、工程应用能力等要求开始贯穿在整个本科生的四年工程训练教育中。在很多院校,工程训练教育正通过独立设课、创新学分、学科竞赛和卓越工程师培养计划这些形式日益蓬勃发展,最明显的成效就是大学生的动手能力和实践创新能力得到了极大的提高,这也符合国家在21世纪所提倡的对大学生创新能力培养的要求。基于此,本书才定名为《机械工程实训》,旨在强调实践,强调工程训练的重要性和独立性,而不是辅助性实验教学。

大学生应该如何学习好这门实践课程?编者认为应该在以下几个方面给予重视。

(1) 学生应该掌握和熟悉各种机械制造方法的基本原理和工艺特点。例如,车、铣、刨、磨、钳等机械加工方法,了解它们适合加工哪类零件或形面,它们的加工特点如何,要能分辨哪些零件是使用哪些方法加工的。因此,要学好加工理论,掌握加工方法。

(2) 灵活运用理论,而不要生搬硬套,唯书本是从。要让学生认识到,针对特定的环境,实践中得到的解决问题的方法才是最实用最科学的。例如,车端面时,应该用端面车刀,但如果只有90°外圆偏刀怎么办?工程中,师傅往往会将这把偏刀在车刀架上转一个角度,用以代替端面车刀进行切削,效果一样,但却是用不同刀具解决了实际问题。

(3) 要勤于动手,善于思考,敢于尝试。不去实践,一切教学就变得没有意义。本书旨在帮助学生正确掌握材料的加工方法,了解机械制造的工艺过程和最新工艺、新技术的应用,同时,指导实际操作,使学生获得初步操作技能,巩固感性知识。但真正的动手能力应该在实践中培养和养成,因此强调重在实践操作,只有对这种加工方法熟练运用的时候,才能很好地应用,去解决面临的实际工程问题。因此,要多动手,对书本中没有提到的问题,要在实践中寻找,要敢于尝试和创新,这也是工程教育的要求。

在编写本书时,编者认真汲取、借鉴了兄弟院校的教学改革成果,并结合编者自身的教学实践经验和工程实际需要,在教材内容整体上更偏重实践,删除了部分理论性强的内容,转而用较为通俗的注解方式进行阐述,举例注重工程实际应用,操作易于实现。例如,对于焊接,由于是特殊工种,在本科教学实践中操作并不多,所以侧重于介绍各种焊接方法的工艺特点,黑金属和有色金属焊接方法,以及焊接缺陷与检测方法等。而对于车削加工,阐述时则结合实践案例,用比较通俗、易于操作的方式介绍了零件加工的方式。对钳工操作亦是

如此,由于该工种对操作姿势和运力特点比较注重,所以本书用了较多的图片来介绍,使学生理解起来更加容易。为了向学生强调工程训练的安全性,在每章后都列出了工种安全操作规程以及思考题,以提醒学生引起重视。

本书可作为高等本科院校理工科各专业学生的金工实习指导用书,也可作为高职高专院校工科各专业学生的金工实习指导用书和学生参加技能鉴定的教学辅导用书,还可供各相关工种技术人员参考。

本书由中南林业科技大学司家勇(第1章和第4章)、张立强(第2章和第3章)、廖凯(第5章和第6章)、陈飞(第7章)、丁敬平(第8章)以及桂林电子科技大学韦绍杰(第9章)编写。由廖凯、韦绍杰统稿并担任主编,丁敬平、司家勇、张立强、陈飞担任副主编。李立君教授和魏德强教授担任主审。

本书在编写过程中得到了中南林业科技大学机电工程学院胡劲松研究员、李新华教授、基础教研室和专业教研室教师,以及桂林电子科技大学国家级机电工程训练示范中心的各位老师和工程技术人员的大力支持和帮助,在此一并表示感谢!

限于编者水平,书中难免有不足之处,敬请广大读者批评指正!

编者

2013年11月

目 录

前言

第 1 章 机械工程材料基础 1

1.1 金属材料的性能 1

1.1.1 力学性能 1

1.1.2 工艺性能 3

1.2 机械工程材料分类及应用 4

1.2.1 常用的钢铁材料 5

1.2.2 常用非铁材料——有色金属 7

1.3 钢铁材料的鉴别 7

1.3.1 火花鉴别法 7

1.3.2 色标鉴别法 9

1.3.3 断口宏观鉴别法 10

1.3.4 音色鉴别法 10

思考和练习 10

第 2 章 金属热处理 11

2.1 热处理概述 11

2.2 普通热处理工艺 12

2.2.1 钢的预备热处理——退火 12

2.2.2 钢的预备热处理——正火 13

2.2.3 钢的最终热处理——淬火 14

2.2.4 钢的最终热处理——回火 15

2.3 表面热处理工艺 17

2.3.1 表面淬火 17

2.3.2 化学热处理 19

2.4 热处理常用设备 21

2.4.1 热处理炉及温度控制器 21

2.4.2 感应加热设备 22

2.4.3 冷却设备 22

2.5 热处理实习安全技术守则 22

思考和练习 22

第 3 章 铸造 24

3.1 铸造概述 24

3.2 砂型铸造 24

3.2.1 砂型铸造的生产过程 24

3.2.2 砂型与造型材料 25

3.2.3 造型 27

3.2.4 造芯 33

3.3 铸造实习安全技术守则 35

思考和练习 35

第 4 章 锻压 36

4.1 锻压概述 36

4.1.1 锻压概念 36

4.1.2 锻造对零件力学性能的影响 37

4.2 金属加热与锻件冷却 37

4.2.1 金属的加热 37

4.2.2 锻件的冷却 40

4.2.3 锻件的热处理 41

4.3 自由锻造 41

4.3.1 自由锻的特点 41

4.3.2 自由锻的基本工序 41

4.4 模锻与胎模锻简介 47

4.4.1 模锻 47

4.4.2 胎模锻 47

4.5 板料冲压概述 48

4.5.1 冲压生产概述 48

4.5.2 板料冲压的主要工序 49

4.5.3 冲压主要设备 50

4.6 锻造实习安全技术守则 52

思考和练习 52

第 5 章 焊接 54

5.1 焊接概述 54

5.2 手工电弧焊 55

5.2.1 电弧形成原理 55

5.2.2 焊机类型及附件 56

5.2.3 手工电弧焊工艺 58

5.2.4 操作技术 60

5.3 气焊与气割 62

5.3.1 气焊的原理 62

5.3.2 气焊工艺 63

5.3.3 操作技术 66

5.3.4	气割	66	7.2.3	刨刀及其安装	121
5.4	其他焊接方法	68	7.2.4	工件安装	122
5.4.1	CO ₂ 气体保护焊	68	7.2.5	刨削工艺	122
5.4.2	堆焊	69	7.2.6	刨工安全操作规程	125
5.4.3	等离子弧焊接	70	7.3	磨削	125
5.4.4	搅拌摩擦焊	71	7.3.1	磨削概述	125
5.5	焊接缺陷与检测	72	7.3.2	磨床	126
5.5.1	缺陷分类和成因	72	7.3.3	砂轮的选择与安装	128
5.5.2	检测	73	7.3.4	工件安装	130
5.6	有色金属焊接概述	74	7.3.5	磨削工艺	130
5.7	焊接实习安全技术守则	74	7.3.6	磨工安全操作规程	133
	思考和练习	75		思考和练习	134
第 6 章	切削和车削	76	第 8 章	钳工	135
6.1	切削加工	76	8.1	钳工概述	135
6.1.1	切削分类和切削要素	76	8.1.1	钳工的常用设备	135
6.1.2	影响切削质量的因素	77	8.1.2	钳工安全操作规程	136
6.2	车削加工	78	8.2	划线	137
6.2.1	车床、车刀、夹具和量具	79	8.2.1	划线的作用	137
6.2.2	车削步骤	83	8.2.2	划线的种类	137
6.2.3	车削外圆和端面训练	86	8.2.3	划线工具及使用要点	138
6.2.4	车削台阶训练	87	8.2.4	划线基准的确定	140
6.2.5	车槽和切断训练	88	8.2.5	划线步骤	141
6.2.6	车削轴类零件综合训练	90	8.3	锯削	142
6.2.7	车外圆锥面	91	8.3.1	锯削工具及使用方法	142
6.2.8	车三角形螺纹训练	93	8.3.2	锯削操作	143
6.2.9	工艺卡的制作	95	8.3.3	锯削常见缺陷分析	144
6.3	车削实习安全技术守则	100	8.4	銼削	145
	思考和练习	100	8.4.1	銼削工具	145
第 7 章	铣削、刨削和磨削	101	8.4.2	銼削操作	146
7.1	铣削	101	8.4.3	銼削常见缺陷分析	148
7.1.1	铣削概述	101	8.5	锉削	148
7.1.2	铣床	102	8.5.1	锉刀	149
7.1.3	铣刀及其安装	105	8.5.2	锉削操作	150
7.1.4	铣床附件与工件安装	107	8.5.3	锉削常见缺陷分析	152
7.1.5	铣削工艺	110	8.6	钻孔、扩孔和铰孔	152
7.1.6	典型零件的铣削加工	114	8.6.1	孔加工概述	152
7.1.7	铣床安全操作规程	117	8.6.2	钻孔的设备	153
7.2	刨削	118	8.6.3	刀具及其附件	154
7.2.1	刨削概述	118	8.6.4	钻孔操作	155
7.2.2	刨床	118	8.6.5	钻孔常见缺陷分析	156

8.7 攻螺纹和套螺纹	156	9.2.4 常用的数控指令	181
8.7.1 攻螺纹	156	9.2.5 数控加工工艺设计	184
8.7.2 套螺纹	159	9.3 数控车床编程与操作	187
8.8 刮削与研磨	160	9.3.1 数控车概述	187
8.8.1 刮削	160	9.3.2 数控车床编程基础	188
8.8.2 研磨	162	9.3.3 数控车典型零件编程及加工 ..	193
8.9 装配	163	9.4 数控铣床编程与操作	194
8.9.1 装配概述	163	9.4.1 数控铣床概述	194
8.9.2 装配工艺	163	9.4.2 数控铣床编程基础	197
8.9.3 典型组件的装配	164	9.4.3 数控铣典型零件编程及加工 ..	208
8.9.4 拆卸操作规程	165	9.5 加工中心	211
8.10 钳工实训	165	9.5.1 加工中心概述	211
思考和练习	167	9.5.2 加工中心编程特点	213
第9章 现代加工技术	169	9.5.3 加工中心编程实例	214
9.1 数控机床概述	169	9.6 特种加工技术	216
9.1.1 数控机床基本概念	169	9.6.1 特种加工概述	216
9.1.2 数控机床组成	170	9.6.2 电火花加工	217
9.1.3 数控机床分类	171	9.6.3 电火花线切割加工概述	220
9.1.4 数控机床优缺点	173	9.6.4 数控电火花线切割加工工艺 ..	222
9.1.5 数控机床加工范围	173	9.6.5 数控电火花线切割加工程序的 编制	225
9.2 数控编程简介	174	9.7 数控实习安全技术守则	229
9.2.1 数控编程的步骤与方法	174	思考和练习	229
9.2.2 数控机床坐标系	176	参考文献	230
9.2.3 数控程序的格式	180		

第 1 章 机械工程材料基础



教学提示 本章涉及金属材料的性能、机械工程材料的分类及应用和钢铁材料的各种鉴别方法。在选用金属和制造机械零件时，主要考虑力学性能和工艺性能。在某些特定条件下工作的零件，还要考虑物理性能和化学性能；机械工程材料包括金属材料、非金属材料 and 复合材料，常见钢铁属于金属材料类别；钢铁材料常用的鉴别方法有火花鉴别法、色标鉴别法、断口鉴别法和音色鉴别法等。



教学要求 了解金属材料常用的力学性能试验，熟悉常用钢材的分类、牌号、用途和鉴别，了解常见有色金属材料和非金属材料的用途。

1.1 金属材料的性能

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用过程中表现出来的特性，包括力学性能、物理性能和化学性能等。使用性能决定金属材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命。工艺性能是指材料对各种加工工艺适应的能力，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。

在选用金属和制造机械零件时，主要考虑力学性能和工艺性能。在某些特定条件下工作的零件，还要考虑物理性能和化学性能。

1.1.1 力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料在外力作用下所表现出来的性能。常用的力学性能指标主要有强度、塑性、硬度和冲击韧性等。

1. 强度

强度是指材料抵抗外力作用下变形和断裂的能力。强度指标一般用单位面积所承受的载荷（应力）表示，符号为 σ ，单位为 MPa。测定强度最基本的方法是拉伸试验。工程中常用的强度指标有屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b ，可用拉伸试验测定。图 1-1 所示为低碳钢的拉伸应力应变曲线。

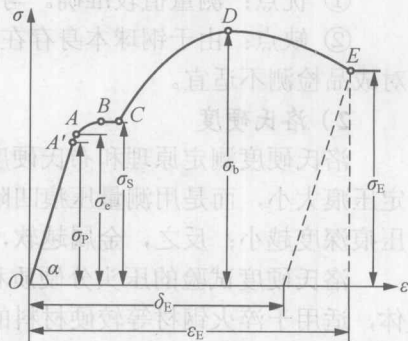


图 1-1 低碳钢拉伸应力应变曲线

屈服强度是指材料在拉伸过程中，载荷不增大而试样伸长量却在继续增加时的应力值，用 σ_s 表示。机械设计中，有时机械零件不允许发生塑性变形，或只允许少量的塑性变形，否则会失效，因此屈服强度是机械零件设计的主要依据。抗拉强度是指材料在破坏前所能承受的最大应力值，用 σ_b 表示。它是机械零件设计和选材的重要依据。

2. 塑性

塑性是指材料在外力作用下产生永久变形而不被破坏的能力。常用的塑性指标有延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 。在拉

伸试验中可同时测得。一般来说,塑性材料的 δ 或 ψ 较大,而脆性材料的 δ 或 ψ 较小。由于 δ 的大小随试样尺寸而变化,所以它不能充分地代表材料的塑性。而断面收缩率与试样尺寸无关,它能较可靠地代表金属材料的塑性。

塑性指标在工程技术中具有重要的实际意义。首先,良好的塑性可顺利完成某些成型工艺,如冷冲、冷拔等。其次,良好的塑性使零件在使用时,即使超载,也能由于塑性变形使材料强度提高而避免突然断裂,故在静载荷下使用的机械零件都需要具有一定的塑性。根据不同的工艺而有不同的要求。但是一般并不需要很大的塑性, δ 达5%或 ψ 达10%能满足绝大多数零件的要求,过高的塑性是没有必要的。

3. 硬度

硬度是材料抵抗外物压入的能力,也可以说是材料抵抗局部塑性变形的能力。它是衡量材料软硬程度的力学性能指标。硬度是各种零件和工具必须具备的性能指标。机械制造业所用的刀具、量具和模具等,都应具备足够的硬度,才能保证使用性能和寿命。有些机械零件如齿轮等,也要求有一定的硬度,以保证足够的耐磨性和使用寿命。因此硬度是材料重要的力学性能之一。

测定硬度常采用压入法。就是把硬质材料制成的圆球或锥体,用压力压入金属材料的表层,然后根据压痕的深度或面积来确定被测金属的硬度值。常用的硬度指标有布氏硬度和洛氏硬度。

1) 布氏硬度

布氏硬度是用一定直径的球体(钢球或硬质合金球),以相应的试验力压入试样表面,经规定保持时间后卸除试验力,测量圆球在金属表面上所压出的圆形凹陷压痕的直径 d ,据此计算压痕球面积,求出每单位面积所受的力,用以作为金属的硬度值,称为布氏硬度值,以符号HB来表示(图1-2)。

试验所得的压痕直径应在下列范围之内: $0.25 < d < 0.6D$ 。若 $d < 0.25D$,则灵敏度和准确性随之降低;若 $d > 0.6D$,则测钢球的压下量太大亦引起不准确。对于钢来讲,一般确定采用钢球的直径 D 为10mm,载荷 P 为3000kg,压入时间为10s。假如用一般规定试验条件所得压痕直径不在上列范围内,即应考虑选用其他载荷量做试验,并在布氏硬度值符号HB的右下角注明;如HB10/1000/10,即表示用10mm直径的钢球,在1000kg力的载荷下保持10s钟后所得的结果。它的使用上限一般不超过HB450,所以适用于测定退火、正火、调板钢、铸铁及有色金属的硬度,进行布氏硬度试验时,应根据金属的种类和试件的厚度,正常选择。

布氏硬度试验方法的优缺点如下。

- ① 优点:测量值较准确。与其他机械性能,特别与 σ_b 之间存在一定的关系。
- ② 缺点:由于钢球本身存在变形问题,不能测量硬度大于HB450的材料。压痕较大,对成品检测不适宜。

2) 洛氏硬度

洛氏硬度测定原理和布氏硬度试验一样,也是压痕试验法之一。所不同的是,它不是测定压痕大小,而是用测量压痕凹陷深度表示硬度值(图1-3)。在同一级硬度下,金属越硬,压痕深度越小;反之,金属越软,压痕深度越大。

洛氏硬度试验的压头分硬质和软质两种。通常,硬质压头的顶角为 120° 的金刚石圆锥体,适用于淬火钢材等较硬材料的硬度测定;软质压头由直径为1.588mm钢球制成,洛氏硬度所加负荷根据试验金属本身硬度不同而作不同规定(表1-1)。其常用的三种符号以HRA、HRB、HRC表示。

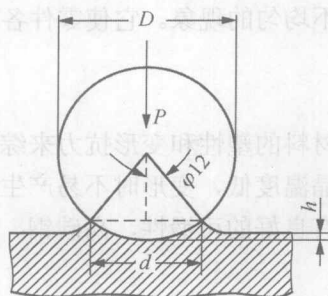


图 1-2 布氏硬度试验原理图

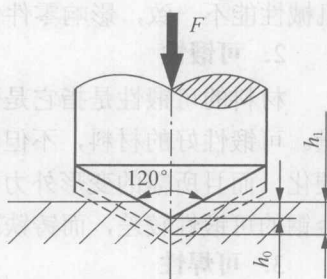
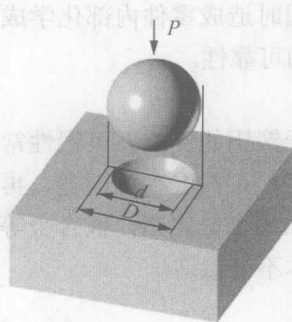


图 1-3 洛氏硬度试验原理图

洛氏硬度试验方法的优缺点如下。

① 优点：操作迅速，简便。可以直接得出硬度值。压痕小，不损伤工件表面，可以测量较软到极硬的或厚度较薄的材料硬度。

② 缺点：用不同硬度级测得硬度值无法比较；误差稍大。由于金刚石圆锥压头顶角和圆弧半径的误差（顶角为 $120^\circ \pm 30'$ ，顶角圆弧半径为 $0.2 \pm 0.01\text{mm}$ ）造成了各国洛氏硬度标准的差别，给比较和使用不同国家试验数据造成困难。

表 1-1 常用的三种洛氏硬度试验范围

符 号	压 头 类 型	载荷/N (kg 力)	硬度值有效范围	使 用 范 围
HRA	120°金刚石圆锥	558.4 (60)	60~85 (相当 350HB 以上)	适用于测量硬质合金、表面淬火层或渗碳层
HRB	1.588mm 钢球	980.7 (100)	25~100 (相当 60~230HB)	适用于测量有色金属、退火、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥	1471.0 (150)	20~67 (相当 230~700HB)	适用于调质钢、淬火钢等

4. 冲击韧度

前面讨论的是在静载荷作用下的机械性能指标，但是机器上的零件还经常受到各种冲击动载荷作用。例如，机床的爪形离合器，柴油机上的连杆、曲轴、连杆螺钉等零件在工作时都要受到冲击载荷的作用；冲床的冲头，锻锤的锤杆等也在冲击载荷下工作。对承受冲击载荷的工件，不仅要求有高的强度和一定的硬度，还必须具有抵抗冲击载荷而不破坏的能力。所谓冲击韧度就是衡量材料抵抗冲击破坏能力的指标。

为了测量材料的冲击韧性，在冲击试验机上利用升高的摆锤将试样打断，算出打断试样所需要的冲击功 A_k ，再用试样断口处的截面积 F 去除，所得商值，即冲击韧度 α_k (J/m^2)。 α_k 值越大，表示材料的韧性越好，在受到冲击时越不容易断裂。对于重要零件要求 α_k 大于 500kJ/m^2 。

1.1.2 工艺性能

材料的工艺性能是指材料在各种加工过程中，适应加工工艺要求的能力。它是物理性能、化学性能和机械性能的综合表现。工艺性能主要有铸造性、可锻性、可焊性、切削加工性和热处理性等。在机械零件设计和制造中，以及选择材料和工艺方法时，必须考虑材料的工艺性能。

1. 铸造性能

材料的铸造性能主要是指流动性、收缩性和产生偏析的倾向。流动性是流体金属充满铸型的能力。流动性好能铸出细薄精致的复杂铸件，能减少缺陷。收缩性是指金属材料在冷却凝固中，体积和尺寸缩小的性能。收缩是使铸件产生缩孔、缩松、内应力、变形、开裂的基

本原因。偏析是指金属材料在凝固时造成零件内部化学成分不均匀的现象。它使零件各部分机械性能不一致，影响零件使用的可靠性。

2. 可锻性

材料的可锻性是指它是否易于锻压的性能。可锻性常用材料的塑性和变形抗力来综合衡量。可锻性好的材料，不但塑性好，可锻温度范围宽，再结晶温度低，变形时不易产生加工硬化，而且所需的变形外力小。如中、低碳钢，低合金等都有良好的可锻性，高碳钢、高合金钢的可锻性较差，而铸铁则根本不能锻造。

3. 可焊性

材料的可焊性是指材料在一定条件下获得优质焊接接头的难易程度。对于易氧化、吸气性强、导热性好（或差）、膨胀系数大、塑性低的材料，一般可焊性差。可焊性好的材料，在焊缝内不易产生裂纹、气孔、夹渣等缺陷，同时焊接接头强度高。如低碳钢具有良好的可焊性，而铸铁、高碳钢、高合金钢、铝合金等材料的可焊性则较差。

4. 切削加工性

材料的切削加工性是指其切削加工的难易程度。切削加工性好的材料，切削时消耗的能量少，刀具寿命长，易于保证加工表面的质量，切屑易于折断和脱落。材料的切削加工性与它的强度、硬度、塑性、导热性等有关。如灰口铸铁、铜合金及铝合金等均有较好的切削加工性，而高碳钢的切削性能则较差。

5. 热处理性

材料在进行热处理时反映出来的性能，称为热处理性，如淬透性、淬硬性、淬火变形开裂的倾向、氧化脱碳的倾向等。如含锰、铬、镍等合金元素的合金钢淬透性比较好，碳钢的淬透性较差。

1.2 机械工程材料分类及应用

常用机械工程材料分类如图 1-4 所示。

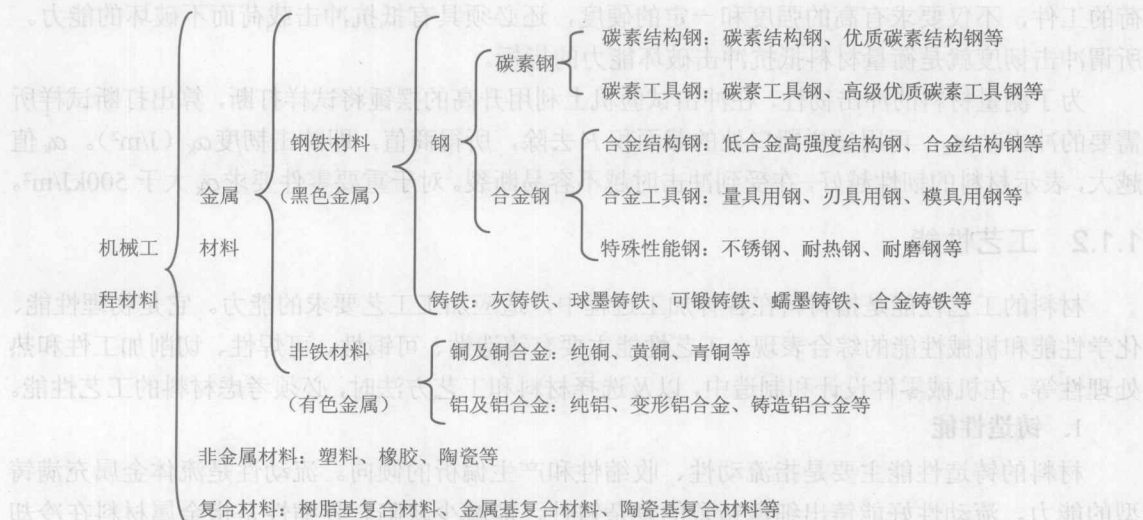


图 1-4 常用机械工程材料分类

1.2.1 常用的钢铁材料

钢铁材料是指钢和铸铁。工业上将碳的质量分数小于 2.11%的铁碳合金称为钢。工业用钢按化学成分可分为碳素钢和合金钢两大类。合金钢是为了改善和提高碳素钢的性能或使之获得某些特殊性能，在碳素钢的基础上，特意加入某些合金元素而得到的以铁为基础的多元合金。钢具有良好的使用性能和工艺性能，因此获得了广泛的应用。

1. 碳素钢

碳素钢是以铁和碳为主要元素而组成的，常含有硅、锰、硫、磷等杂质成分。由于这类钢容易冶炼、价格低廉、工艺性好，在机械制造业中得到了广泛的应用。

常见碳素结构钢的牌号用“Q+数字”表示，其中“Q”为屈服点的“屈”字的汉语拼音字首，数字表示屈服强度的数值。若牌号后标注字母，则表示钢材质量等级不同。优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示钢的平均含碳量的质量分数的万分数，例如，20 钢的平均碳质量分数为 0.2%。表 1-2 列出了常见碳素结构钢的牌号、机械性能及其用途。

表 1-2 常见碳素结构钢的牌号、机械性能及其用途

类 别	常用 牌 号	机 械 性 能			用 途
		屈服点 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ %	
碳素结构钢	Q195	195	315~390	33	塑性较好，有一定的强度，通常轧制成钢筋、钢板、钢管等。可作为桥梁、建筑物等的构件，也可用做螺钉、螺帽、铆钉等
	Q215	215	335~410	31	
	Q235A	235	375~460	26	
	Q235B				
	Q235C				
	Q235D				
	Q255	255	410~510	24	强度较高，可轧制成型钢、钢板，作构件用
Q275	275	490~610	20		
优质碳素结构钢	08F	175	295	35	塑性好，可制造冷冲压零件
	10	205	335	31	冷冲压性与焊接性能良好，可用做冲压件及焊接件，经过热处理也可以制造轴、销等零件
	20	245	410	25	
优质碳素结构钢	35	315	530	20	经调质处理后，可获得良好的综合机械性能，用来制造齿轮、轴类、套筒等零件
	40	335	570	19	
	45	355	600	16	
	50	375	630	14	
	60	400	675	12	主要用来制造弹簧
	65	410	695	10	

2. 合金钢

为了提高钢的性能，在碳素钢基础上特意加入合金元素所获得的钢种称为合金钢。常用的合金元素有锰、硅、铬、镍、钼、钨、钒、钛硼等。工业上常按用途把合金钢分为合金结构钢（主要用于制造各种机械零件和工程构件）、工具钢（主要用于制造各种刀具、量具和模具等）、特殊性能钢（具有特殊的物理、化学性能的钢，可分为不锈钢、耐热钢、耐磨钢等）。

合金结构钢的牌号用“两位数（平均碳质量分数的万分之几）+元素符号+数字（该合金元素质量分数，小于 1.5%不标出；1.5%~2.5%标 2；2.5%~3.5%标 3，以此类推）”表示。对合金工具钢的牌号而言，当碳的质量分数小于 1%时，用“一位数（表示碳质量分数的千分之几）+元素符号+数字”表示；当碳的质量分数大于 1%时，用“元素符号+数字”表示。

(注：高速钢碳的质量分数小于 1%，其含碳量也不标出)。表 1-3 列出了常见合金钢的牌号、机械性能及其用途。

表 1-3 常见合金钢的牌号、机械性能及其用途

类 别	常用 牌 号	机 械 性 能			用 途
		屈服点 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ %	
低合金高强度结构钢	Q295	≥ 295	390~570	23	具有高强度、高韧性、良好的焊接性能和冷成型性能。主要用于制造桥梁、船舶、车辆、锅炉、高压容器、输油输气管道、大型钢结构等
	Q345	≥ 345	470~630	21~22	
	Q390	≥ 390	490~650	19~20	
	Q420	≥ 420	520~680	18~19	
	Q460	≥ 460	550~720	17	
合金渗碳钢	20Cr	540	835	10	主要用于制造汽车、拖拉机中的变速齿轮、内燃机上的凸轮轴、活塞销等机器零件
	20CrMnTi	835	1080	10	
	20Cr2Ni4	1080	1175	10	
合金调质钢	40Cr	785	980	9	主要用于汽车和机床上的轴、齿轮等
	30CrMnTi	—	1470	9	
	38CrMoAl	835	980	14	

3. 铸钢

铸钢主要用于制造形状复杂，具有一定强度、塑性和韧性的零件。碳是影响铸钢性能的主要元素，随着碳质量分数的增加，屈服强度和抗拉强度均增加，而且抗拉强度比屈服强度增加得更快，但当碳的质量分数大于 0.45%时，屈服强度很少增加，而塑性、韧性却显著下降。所以，在生产中使用最多的是 ZG230-450、ZG270-500 和 ZG310-570 三种。表 1-4 列出了常见碳素铸钢的成分、机械性能及其用途。

表 1-4 常见碳素铸钢的成分、机械性能及其用途

钢 号	化 学 成 分			机 械 性 能					用 途
	C	Mn	Si	σ_s	σ_b	δ	ψ	α_k	
ZG200-400	0.20	0.80	0.50	200	400	25	40	600	机座、变速箱壳
ZG230-450	0.30	0.90	0.50	230	450	22	32	450	机座、锤轮、箱体
ZG270-500	0.40	0.90	0.50	270	500	18	25	350	飞轮、机架、蒸汽锤、水压机、工作缸、横梁
ZG310-570	0.50	0.90	0.60	310	570	15	21	300	联轴器、汽缸、齿轮、齿轮圈
ZG340-640	0.60	0.90	0.60	340	640	10	18	200	起重运输机中齿轮、连轴器等

4. 铸铁

铸铁是碳质量分数大于 2.11%，并含有较多 Si、Mn、S、P 等元素的铁碳合金。铸铁的生产工艺和生产设备简单，价格便宜，具有许多优良的使用性能和工艺性能，所以应用非常广泛，是工程上最常用的金属材料之一。

铸铁按照碳存在的形式可以分为：白口铸铁、灰口铸铁、麻口铸铁；按铸铁中石墨的形态可以分为：灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁。表 1-5 是常见灰铸铁的牌号及其用途。

表 1-5 常见灰铸铁的牌号及其用途

牌 号	铸 件 壁 厚	力 学 性 能		用 途
		σ_b /MPa	HBS	
HT100	2.5~10	130	110~166	适用于载荷小、对摩擦和磨损无特殊要求的不重要的零件，如防护罩、盖、油盘、手轮、支架、底板、重锤等
	10~20	100	93~140	
	20~30	90	87~131	

续表

牌 号	铸 件 壁 厚	力 学 性 能		用 途
		σ_b /MPa	HBS	
HT150	2.5~10	175	137~205	适用于承受中等载荷的零件, 如机座、支架、箱体、刀架、床身、轴承座、工作台、带轮、阀体、飞轮、电动机座等
	10~20	145	119~179	
	20~30	130	110~166	
HT200	2.5~10	220	157~236	适用于承受较大载荷和要求一定气密性或耐腐蚀性等较重要的零件, 如汽缸、齿轮、机座、飞轮、床身、汽缸体、活塞、齿轮箱、刹车轮、联轴器盘、中等压力阀体、泵体、液压缸、阀门等
	10~20	195	148~222	
	20~30	170	134~200	
HT250	4.0~10	270	175~262	
	10~20	240	164~247	
	20~30	220	157~236	
HT300	10~20	290	182~272	适用于承受高载荷、耐磨和高气密性的重要零件, 如重型机床、剪床、压力机、自动机床的床身、机座、机架、高压液压件、活塞环、齿轮、凸轮、车床卡盘、衬套、大型发动机的汽缸体、缸套、汽缸改等
	20~30	250	168~251	
	30~50	230	161~241	
HT350	10~20	340	199~298	
	20~30	290+	182~272	
	30~50	260	171~257	

1.2.2 常用非铁材料——有色金属

工业上把钢铁以外的金属称为非铁材料（有色金属），非铁材料（有色金属）及其合金具有钢铁材料所没有的许多特殊的力学、物理和化学性能，为现代工业中不可缺少的金属材料。非铁材料（有色金属）常用的有铝及铝合金、铜及铜合金等。常用有色金属及其合金的牌号、种类和用途见表 1-6。

表 1-6 常用有色金属及其合金的牌号、种类和用途

名 称	牌 号	用 途	说 明
纯铜	T1	电线、导电螺钉、储藏器及各种管道等	纯铜分 T1-T4 四种。如 T1（一号铜）表示铜的质量分数为 99.95%；T4 含铜量为 99.50%
黄铜	H62	散热器、垫圈、弹簧、各种网、螺钉及其他零件等	“H”表示黄铜，后面数字表示铜的质量分数，如 62 表示铜的质量分数为 60.5%~63.5%
纯铝	1070A 1060 1050A	电缆、电器零件、装饰件及日常生活用品等	铝的质量分数为 98%~99.7%
铸铝合金	ZL102	耐磨性中上等，用于制造载荷不大的薄壁零件等	“Z”表示铸，“L”表示铝，后面数字表示顺序号。如 ZL102 表示 Al-Si 系 02 号合金

1.3 钢铁材料的鉴别

钢铁材料品种繁多，性能各异，因此对钢铁材料的鉴别是非常必要的。常用的鉴别方法有火花鉴别法、色标鉴别法、断口宏观鉴别法和音色鉴别法等。

1.3.1 火花鉴别法

根据钢铁材料在磨削过程中所出现的火花爆裂形状、流线、色泽、发火点等特点区别钢铁材料化学成分差异的方法，称为火花鉴别法。

火花鉴别专用电动砂轮机的功率为 0.20~0.75kW, 转速高于 3000r/min。所用砂轮粒度为 40~60 目, 中等硬度, 直径为 $\phi 150\sim 200\text{mm}$ 。磨削时施加压力以 20~60N 为宜, 轻压看合金元素, 重压看含碳量。

火花鉴别的要点是: 详细观察火花的火束粗细、长短、花次层叠程度及其色泽变化情况。注意观察组成火束的流线形态, 火花束根部、中部及尾部的特殊情况及其运动规律, 同时还要观察火花爆裂形态、花粉大小和数量。

1. 火花组成

① 火花束: 火花束是指被测材料在砂轮上磨削时产生的全部火花, 常由根部、中部、尾部组成, 见图 1-5。

② 流线: 从砂轮上直接射出的好像直线的火流称为流线。每条流线都由节点、爆花和尾花组成, 见图 1-6。

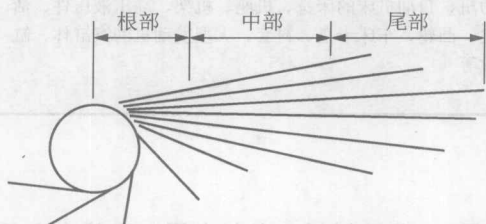


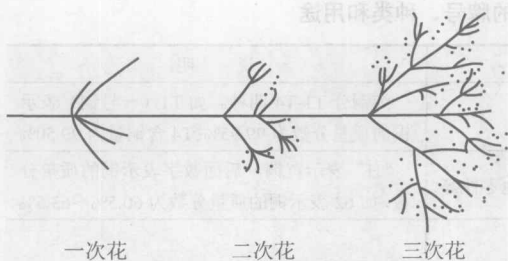
图 1-5 火花束



图 1-6 火花束的构成

③ 节点: 节点就是流线上火花爆裂的原点, 呈明亮点, 见图 1-7。

④ 爆花: 爆花就是节点处爆裂的火花。钢的化学成分不同, 尾花的形状也不同。通常, 尾花可分为狐尾尾花、枪尖尾花、菊花状尾花和羽状尾花等。



一次花

二次花

三次花

图 1-7 节花的形成

2. 常用钢铁材料的火花特征

碳是钢铁材料火花的基本元素, 也是火花鉴别法测定的主要成分。由于含碳量不同, 其火花形状不同。

1) 碳素钢火花特征

① 通常低碳钢火花束较长, 流线少, 芒线稍粗, 多为一次花, 发光一般, 带暗红色, 无花粉。

图 1-8 为 20 钢的火花特征。

② 中碳钢火花束稍短, 流线较细长而多, 爆花分叉较多, 开始出现二次、三次花, 花粉较多, 发光较强, 颜色橙。图 1-9 为 45 钢的火花特征。

③ 高碳钢火花束较短而粗, 流线多而细, 碎花、花粉多, 又分叉多且多为三次花, 发光较亮。图 1-10 为 T12 钢的火花特征。

2) 铸铁的火花特征

铸铁的火花束很粗, 流线较多, 一般为二次花, 花粉多, 爆花多, 尾部渐粗下垂成弧形, 颜色多为橙红。火花试验时, 手感较软。图 1-11 为 HT200 的火花特征。

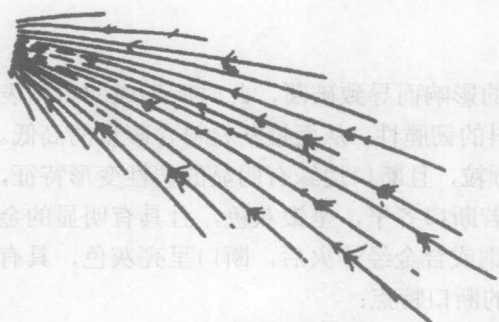


图 1-8 20 钢的火花特征

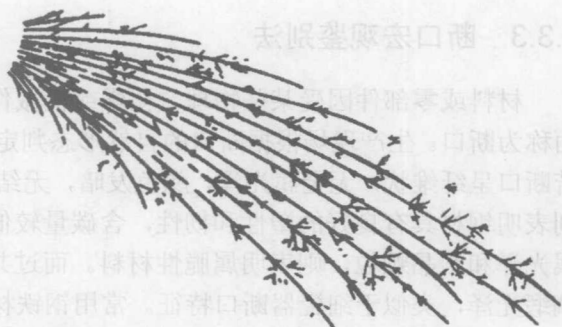


图 1-9 45 钢的火花特征

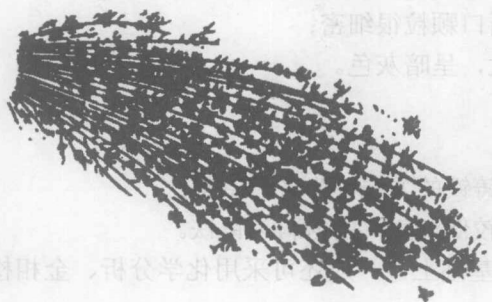


图 1-10 T12 钢的火花特征



图 1-11 HT200 的火花特征

3) 合金钢的火花特征

合金钢的火花特征与其含有的合金元素有关。一般情况下,镍、硅、钼、钨等元素抑制火花爆裂,而锰、钒铬等元素却可助长火花爆裂。所以对合金钢的鉴别难掌握。

一般铬钢的火花束白亮,流线稍粗而长,爆裂多为一次花、花型较大,呈大星形,分叉多而细,附有碎花粉,爆裂的火花心较明亮。

镍铬不锈钢的火花束细,发光较暗,爆裂为一次花,五、六根分叉,呈星形,尖端微有爆裂。

高速钢火花束细长,流线数量少,无火花爆裂,色泽呈暗红色,根部和中部为断续流线,尾花呈弧状。

1.3.2 色标鉴别法

生产中为了表明金属材料的牌号、规格等,常做一定的标记,如涂色、打印、挂牌等。金属材料的涂色标志是表示钢号、钢种的,涂在材料一端的端面或端部。具体的涂色方法在有关标准中做了详细规定,现举例如下:

- ① 碳素结构钢 Q235 钢为红色;
- ② 优质碳素结构钢 20 钢为棕色加绿色, 45 钢为白色加棕色;
- ③ 合金结构钢 20CrMnTi 钢为黄色加黑色, 40CrMo 钢为绿色加紫色;
- ④ 铬轴承钢 GCr15 钢为蓝色;
- ⑤ 高速钢 W18Cr4V 钢为棕色加蓝色;
- ⑥ 不锈钢 1Cr18Ni9Ti 钢为绿色加蓝色;
- ⑦ 热作模具钢 5CrMnMo 钢为紫色加白色。