

机械工程系列规划教材

金属材料与热处理

主 编 周建波
副主编 邹吉权 李运生



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

金属材料与热处理

主 编 周建波

副主编 邹吉权 李运生



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理 / 周建波主编. —杭州:
浙江大学出版社, 2014. 12
ISBN 978-7-308-14097-3

I. ①金… II. ①周… III. ①金属材料—高等
职业教育—教材②热处理—高等职业教育—教材
IV. ①TG14 ②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 273396 号

内容简介

本书是根据高职高专机械类专业机械基础课的基本要求组织编写的, 全书共分两篇 10 章。第一篇为基础篇, 主要包括了金属材料的性能、金属材料的晶体结构与结晶、钢的热处理、工业用钢、铸铁、其他金属材料和非金属材料(扩展)等共 7 章内容; 第二篇为应用篇, 主要包括了零件的选材、热处理实习、典型模具材料与热处理等共 3 章内容。

全书由长期从事教学一线的骨干教师编写, 以理清概念、强调应用为教学的根本目的, 内容上则通过“基础知识、基本方法、典型工艺、教学实习、综合应用”的模式构成知识链, 便于教学实施。

本书可作为高职高专机械类专业或其他近机类专业机械基础课程的教材, 也可供继续教育和工程技术人员学习参考。

金属材料与热处理

主 编 周建波

副主编 邹吉权 李运生

责任编辑 杜希武

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州好友排版工作室

印 刷 富阳市育才印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 12.5

字 数 312 千

版 印 次 2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-14097-3

定 价 29.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcsb.tmall.com>

前 言

随着机械制造业的不断发展,机械制造领域对技能人才的需求愈显紧缺,职业院校更加重视对学生的技能培养和培训工作。而金属材料与热处理作为机械、机电、模具等专业人才不可缺少的基础性技能,在职业院校的机械类专业技能培养中占有非常重要的地位。

回顾人类使用金属材料制造生产工具及生活用品已有悠久的历史。我们的祖先在生产、使用金属材料方面积累了许多经验,为金属材料的研制、创造和发展做出了巨大贡献。

金属材料与热处理是研究金属材料的化学成分、组织结构和性能之间关系及其变化规律,并利用这些关系和变化规律来改善和提高金属材料的性能,进而设计、研制和开发新型合金的一门科学。然而,当今世界各国的科学技术都在迅速发展,在金属学与热处理技术领域,我国与发达国家相比仍有一定差距。所以,我们更应加倍努力,力争上游。

“金属材料与热处理”课程是机械类专业的技术基础课。本教材在常规内容(金属力学性能,金属基础知识,金属热处理原理与工艺等)基础上融入了热处理实习与典型模具材料热处理等应用型内容,旨在使读者掌握金属与合金的化学成分、组织结构与性能间关系变化规律的基本知识、基本理论和基本技能;初步具有正确选择和合理使用金属材料的能力;懂得合金元素在金属材料中的作用。

本书由周建波(天津职业大学)、邹吉权(天津职业大学)、李运生(天津职业大学)等编写,可作为高职高专的实训教材,同时为从事工程技术人员和机械制造研究人员提供参考资料。限于编写时间和编者的水平,书中必然会存在需要进一步改进和提高的地方。我们十分期望读者及专业人士提出宝贵意见与建议,以便今后不断加以完善。

邮箱地址:jzhouianbo@163.com

最后,感谢浙江大学出版社为本书的出版所提供的机遇和帮助。

编 者

2014 年 10 月

目 录

第一篇 基础篇

绪 论	3
第 1 章 金属材料的性能	4
1.1 材料的力学性能	4
1.1.1 强度	4
1.1.2 塑性	5
1.1.3 硬度	6
1.1.4 冲击韧性	7
1.1.5 疲劳强度	8
1.2 材料的理化性能	9
1.2.1 物理性能	9
1.2.2 化学性能	10
1.3 材料的工艺性能	10
本章小结	11
思考与习题	11
第 2 章 金属材料的晶体结构与结晶	12
2.1 金属的晶体结构	12
2.1.1 晶体结构的基本概念	12
2.1.2 常见的金属晶格类型	13
2.1.3 金属的实际晶体结构	14
2.1.4 合金的晶体结构	16
2.2 纯金属及合金的结晶	17
2.2.1 纯金属的结晶	17
2.2.2 合金的结晶	20

2.3 铁碳合金相图	22
2.3.1 铁碳合金的基本组织	23
2.3.2 Fe-Fe ₃ C 合金相图分析	24
2.3.3 Fe-Fe ₃ C 合金的分类	26
2.3.4 典型铁碳合金的结晶过程及组织	26
2.3.5 碳含量对铁碳合金组织和性能的影响	30
本章小结	31
思考与习题	31
第3章 钢的热处理	33
3.1 热处理的基本概念	33
3.2 钢在热处理时的组织转变	34
3.2.1 钢在加热时的组织转变	34
3.2.2 钢在冷却时的组织转变	36
3.3 钢的普通热处理	42
3.3.1 钢的退火	42
3.3.2 钢的正火	43
3.3.3 钢的淬火	44
3.3.4 钢的回火	47
3.4 钢的表面热处理	49
3.4.1 钢的表面淬火	49
3.4.2 钢的化学热处理	50
本章小结	51
思考与习题	52
第4章 工业用钢	53
4.1 钢的分类和牌号	53
4.1.1 钢的分类	53
4.1.2 钢的牌号、性能和用途	53
4.2 钢中杂质与合金元素	57
4.2.1 杂质元素对钢性能的影响	57
4.2.2 合金元素在钢中的作用	58
4.3 结构钢	61
4.3.1 低合金结构钢	61
4.3.2 渗碳钢	62
4.3.3 渗氮钢	65
4.3.4 调质钢	65



4.3.5 弹簧钢	69
4.3.6 滚动轴承钢	70
4.4 工具钢	71
4.4.1 刀具钢	71
4.4.2 模具钢	76
4.4.3 量具钢	77
4.5 特殊性能钢	77
4.5.1 不锈钢	77
4.5.2 耐热钢	79
4.5.3 耐磨钢	80
本章小结	82
思考与习题	82
第5章 铸 铁	83
5.1 概 述	83
5.1.1 铸铁的成分和性能特点	83
5.1.2 铸铁的石墨化及影响因素	83
5.1.3 铸铁的组织与石墨化的关系	85
5.1.4 铸铁的分类	86
5.2 灰铸铁	87
5.2.1 灰铸铁的成分、组织与性能特点	87
5.2.2 灰铸铁的孕育处理	88
5.2.3 灰铸铁的牌号和应用	88
5.2.4 灰铸铁的热处理	89
5.3 球墨铸铁	89
5.3.1 球墨铸铁的生产方法	89
5.3.2 球墨铸铁的成分、组织与性能特点	89
5.3.3 球墨铸铁的牌号与应用	90
5.3.4 球墨铸铁的热处理	91
5.4 可锻铸铁	92
5.4.1 可锻铸铁的生产方法	92
5.4.2 可锻铸铁的成分、组织与性能特点	92
5.4.3 可锻铸铁的牌号与应用	93
本章小结	94
思考与习题	94
第6章 其他金属材料	95
6.1 铝及铝合金	95



6.1.1 工业纯铝	95
6.1.2 铝合金	95
6.2 铜及铜合金	98
6.2.1 工业纯铜	98
6.2.2 铜合金	99
6.3 钛及钛合金	103
6.3.1 钛及钛合金的性能特点	103
6.3.2 钛合金的分类	103
6.3.3 常用的钛及钛合金材料	103
6.4 滑动轴承合金	104
6.4.1 滑动轴承合金的性能要求	105
6.4.2 常用的滑动轴承合金	105
6.5 粉末冶金材料	106
6.5.1 粉末冶金材料的生产	106
6.5.2 常用的粉末冶金材料	107
本章小结	109
思考与习题	109
第7章 非金属材料	110
7.1 高分子材料	110
7.1.1 高分子材料的基本概念	110
7.1.2 高分子材料的分类和命名	110
7.1.3 高分子材料的性能	111
7.1.4 常用的高分子材料	112
7.2 陶瓷材料	117
7.2.1 陶瓷材料的结构特点	117
7.2.2 陶瓷材料的性能	118
7.2.3 常用的工程陶瓷材料	119
7.3 复合材料	120
7.3.1 复合材料概述	120
7.3.2 复合材料的分类	120
7.3.3 复合材料的性能	121
7.3.4 常用的复合材料	121
本章小结	123
思考与习题	123



第二篇 应用篇

第 8 章 零件的选材	127
8.1 零件的失效	127
8.1.1 失效的概念与形式	127
8.1.2 零件失效的原因及分析	127
8.2 零件设计中的材料选择	128
8.2.1 选材的基本原则	129
8.2.2 零件选材中的注意事项	130
8.3 典型零件、工具的选材及热处理	131
8.3.1 轴类零件的选材及热处理	132
8.3.2 齿轮类零件的选材及热处理	133
8.3.3 常用刀具的选材及热处理	136
本章小结	138
思考与习题	139
第 9 章 热处理实习	140
9.1 钢的热处理	140
9.1.1 热处理操作	140
9.1.2 钢材的火花鉴别	142
9.2 汽车半轴淬火开裂与疲劳断裂的分析防止措施	147
9.2.1 概况	147
9.2.2 淬火开裂	147
9.2.3 疲劳断裂	149
9.2.4 结论	150
9.3 车床主轴的热处理工艺	151
本章小结	152
思考与习题	152
第 10 章 典型模具材料与热处理	153
10.1 模具材料概述	153
10.1.1 模具材料的分类	153
10.1.2 模具材料的性能要求	154

10.1.3 模具选材的一般原则·····	155
10.2 冷作模具钢·····	155
10.2.1 各类冷作模具的特点·····	156
10.2.2 冷作模具钢的分类、性能和选用·····	157
10.2.3 冷作模具钢的选材·····	167
10.3 热作模具钢·····	168
10.3.1 各类热作模具的工作条件及要求·····	169
10.3.2 热作模具钢按合金元素含量及热处理后性能分类·····	172
10.3.3 热作模具的选材·····	178
10.4 塑料模具钢·····	180
10.4.1 塑料模具的性能要求·····	180
10.4.2 塑料模具钢的分类及特点·····	181
10.4.3 塑料模具钢的选用·····	184
10.5 其他模具材料·····	184
10.5.1 铸铁模具材料概况·····	184
10.5.2 硬质合金·····	186
10.5.3 有色金属及合金模具材料·····	187
本章小结·····	189
参考文献·····	190

第一篇 基础篇



绪 论

机械工程材料是指具有一定性能,在特定条件下能够承担某些功能,被用来制造机各类机械零件的材料。据统计,目前世界上的机械工程材料已达 40 多万种,并且约以每年 5% 的速度递增。机械工程材料种类繁多,应用的场合也各不相同。按材料的化学组成分类,可将机械工程材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料四类。

金属材料

金属材料可分为黑色金属材料和有色金属材料两类。黑色金属材料是指铁及铁基合金,主要包括碳钢、合金钢、铸铁等;有色金属材料是指铁及铁基合金以外的金属及其合金。有色金属材料的种类很多,根据它们的特性不同,又可分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属等多种类型。金属材料具有正的电阻温度系数,一般具有良好的电导性、热导性、塑性、金属光泽等,是目前工程领域中应用最广泛的工程材料。

高分子材料

以高分子化合物为主要组分的材料称为高分子材料,可分为有机高分子材料 and 无机高分子材料两类。有机高分子材料主要有塑料、橡胶、合成纤维等;无机高分子材料包括松香、淀粉、纤维素等。高分子材料具有较高的强度、弹性、耐磨性、抗腐蚀性、绝缘性等优良性能,在机械、仪表、电机、电气等行业得到了广泛应用。

陶瓷材料

陶瓷材料是金属和非金属元素间的化合物,主要包括水泥、玻璃、耐火材料、绝缘材料、陶瓷等。它们的主要原料是硅酸盐矿物,又称为硅酸盐材料,由于陶瓷材料不具有金属特性,因此也称为无机非金属材料。陶瓷材料熔点高、硬度高、化学稳定性高,具有耐高温、耐腐蚀、耐磨损、绝缘性好等优点,在现代工业中的应用越来越广泛。

复合材料

复合材料由基体材料和增强材料两个部分构成。基体材料主要有金属、塑料、陶瓷等,增强材料则包括各种纤维、无机化合物颗粒等。根据基体材料不同,可将复合材料分为金属基复合材料、陶瓷基复合材料、聚合物基复合材料;根据组织强化方式的不同,可将复合材料分为颗粒增强复合材料、纤维增强复合材料、层状复合材料等。复合材料由两种或两种以上的材料组合而成,具有非同寻常的强度、刚度、高温性能和耐腐蚀性等,其性能是它的组成材料所不具备的。

本课程是高等院校机械类和近机类各专业的一门重要技术基础课,是从基础课学习过渡到专业课学习的桥梁,是机械工程技术人员和管理人员必备的基本知识技能。

通过本课程的学习,学生应掌握工程材料的基本理论知识及其性能特点,能够根据实际生产要求选择合理的工程材料和相应的热处理工艺。

本课程的任务是在生产准备过程中合理选用和使用材料,以培养学生严谨的工作态度、分析和解决实际问题的能力。



第 1 章 金属材料的性能

各种工程材料,依据其性能的不同,可以用于制造不同的工程构件、机械零件、工具等。材料的性能直接关系到机械产品的质量、使用寿命和加工成本,是产品选材和拟订加工工艺方案的重要依据。为了能正确、合理地使用和加工材料,应充分了解和掌握材料的性能。

材料的性能包括工艺性能和使用性能两方面。工艺性能是指材料在各种加工过程中表现出来的性能,包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。在设计零件和选择加工工艺方法时,都要考虑材料的工艺性能。工艺性能将在以后有关章节中分别进行讨论。使用性能是材料在使用过程中表现出来的性能,主要有物理性能、化学性能和力学性能等。在一般机械设备及工具的设计制造中大都选用金属材料,并以力学性能作为主要的依据,因此,熟悉和掌握金属材料的力学性能更显重要。

力学性能是指金属材料在载荷作用下所表现出来的性能,是评定金属材料质量的主要依据,也是零件设计选材和强度计算的主要依据。

根据作用性质的不同,载荷分静载荷和动载荷两类。下面分别讨论金属材料在静载荷和动载荷作用下的力学性能及其指标。

1.1 材料的力学性能

材料的力学性能是指材料在各种载荷(外力)作用下表现出来的抵抗能力,它是机械零件设计和选材的主要依据。常用的力学性能有:强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度等。

1.1.1 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗变形或断裂的能力。由于所受载荷的形式不同,金属材料的强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。各种强度间有一定的联系,而抗拉强度是最基本的强度指标。

材料受外力时,其内部产生了大小相等方向相反的内力,单位横截面积上的内力称为应力,用 σ 表示。通过拉伸试验(图 1-1)可以测出材料的强度指标。金属材料的强度是用应力值来表示的。从拉伸曲线(图 1-2)可以得出三个主要的强度指标:弹性极限、屈服强度和抗拉强度。

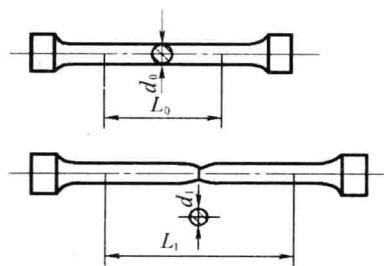


图 1-1 圆形标准拉伸试样

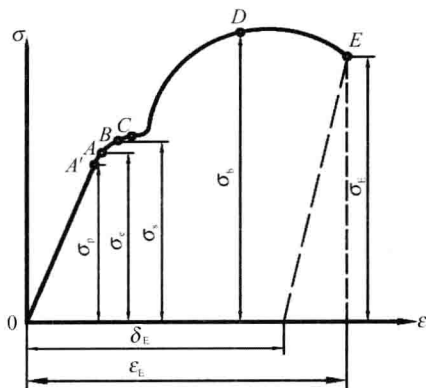


图 1-2 低碳钢的应力-应变曲线

1. 弹性极限

在应力-应变曲线中,OA 为弹性变形段,此时卸掉载荷,试样可恢复到原来的尺寸。A 点所对应的应力为材料承受最大弹性变形时应力值,称为弹性极限,用符号 σ_e 表示。

2. 屈服强度(屈服点)

在图 1-2 中,应力超过 B 点后,材料将发生塑性变形。B 点所对应的应力为材料产生屈服现象时的最小应力值,称为屈服强度,用符号 σ_s 表示。有些金属材料,如高碳钢、铸铁等,在拉伸试验中没有明显的屈服现象。所以国标中规定,以试样的塑性变形量为试样标距长度的 0.2% 时的应力作为屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

3. 抗拉强度

图 1-2 中,CD 段为均匀塑性变形阶段。在这一阶段,应力随应变增加而增加,产生应变强化。变形超过 D 点后,试样开始发生局部塑性变形,即出现颈缩,随应变增加,应力明显下降,并迅速在 E 点断裂。D 点所对应的应力为材料断裂前所承受的最大应力,称为抗拉强度,用 σ_b 表示。

弹性极限是弹性元件(如弹簧)设计和选材的主要依据。绝大多数机械零件(如紧固螺栓),在工作中不允许产生明显的塑性变形,所以屈服强度是设计和选材的主要依据。抗拉强度表示材料抵抗断裂的能力,脆性材料没有屈服现象,则常用作设计依据。

1.1.2 塑性

塑性是指金属材料在载荷作用下,产生塑性变形而不破坏的能力。金属材料的塑性也是通过拉伸试验测得的。常用的塑性指标有伸长率和断面收缩率。

1. 伸长率

试样拉断后标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比,用符号 δ 表示,即:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中, l_0 为试样原始标距长度; l_k 为试样拉断后的标距长度。

长试样和短试样的伸长率分别用 δ_{10} 和 δ_5 表示,习惯上 δ_{10} 也常写成 δ 。伸长率的大小与试样的尺寸有关,对于同一材料,短试样测得的伸长率大于长试样的伸长率,即 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。因此,在比较不同材料的伸长率时,应采用相同尺寸规格的标准试样。

2. 断面收缩率

试样拉断后, 缩颈处横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比, 用符号 ψ 表示, 即:

$$\psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \times 100\%$$

式中, S_0 为试样原始横截面积, S_k 为试样拉断处的最小横截面积。

断面收缩率与试样尺寸无关, 因此能更可靠地反映材料的塑性。材料的伸长率和断面收缩率愈大, 则表示材料的塑性愈好。塑性好的材料, 如铜、低碳钢, 容易进行轧制、锻造、冲压等; 塑性差的材料, 如铸铁, 不能进行压力加工, 只能用铸造方法成形。

1.1.3 硬度

硬度是衡量材料软硬程度的指标, 它表示材料抵抗局部变形或破裂的能力, 是重要的力学性能指标。硬度是通过硬度试验测得的。测定硬度的方法很多, 常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度试验方法。各种硬度间没有理论的换算关系, 但可通过查 GB 1072—74 几种常用硬度换算表进行近似换算。

1. 布氏硬度

布氏硬度的测定是在布氏硬度机上进行的, 其试验原理如图 1-3 所示。用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球做压头, 在试验力 F 的作用下压入被测金属表面, 保持规定的时间后卸除试验力, 则在金属表面留下一压坑(压痕), 用读数显微镜测量其压痕直径 d , 求出压痕表面积, 用试验力 F 除以压痕表面积 S 所得的商作为被测金属的布氏硬度值, 用符号 HB 表示:

$$HB = F/S(\text{MPa})$$

式中: F ——试验力, N;

S ——压痕表面积, mm^2 ;

D ——压头直径, mm;

d ——压痕直径, mm。

布氏硬度值可通过上式计算求得, 但在实际应用中, 常根据压痕直径 d 的大小直接查布氏硬度表得到硬度值。

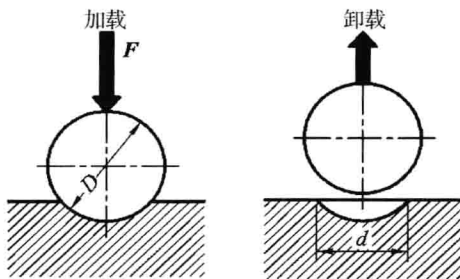


图 1-3 布氏硬度试验原理

用淬火钢球作压头测得的硬度用符号 HBS 表示, 适合于测量布氏硬度值小于 450 的材料; 用硬质合金球作压头测得的硬度用符号 HBW 表示, 适合于测量布氏硬度值 450~650 的材料。在硬度标注时, 硬度值写在硬度符号的前面, 例如 120HBS, 表示用淬火钢球作压



头测得材料的布氏硬度值为 120。我国目前布氏硬度机的压头主要是淬火钢球,故主要用来测定灰铸铁、有色金属以及经退火、正火和调质处理的钢材等的硬度。

布氏硬度压痕大,试验结果比较准确。但较大压痕有损试样表面,不宜用于成品件与薄件的硬度测试,而且布氏硬度整个试验过程较麻烦。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度的测定在洛氏硬度机上进行。与布氏硬度试验一样,洛氏硬度也是一种压入硬度试验,但它不是测量压痕面积,而是测量压痕的深度,以深度大小表示材料的硬度值。

用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬火钢球作压头,先加初载荷,再加主载荷,将压头压入金属表面,保持一定时间后卸除主载荷,根据压痕的残余深度确定硬度值,用符号 HR 表示,即:

$$HR = K - \frac{h}{0.002}$$

式中: h 为压痕的残余深度,mm; K 为常数(用金刚石压头, $K=100$;淬火钢球作压头, $K=130$)。

为了能在同一洛氏硬度机上测定从软到硬的材料硬度,采用了由不同的压头和载荷组成的几种不同的洛氏硬度标尺,并用字母在 HR 后加以注明,常用的洛氏硬度是 HRA 、 HRB 和 HRC 三种。表示洛氏硬度时,硬度值写在硬度符号的前面。例如,50HRC 表示用标尺 C 测得的洛氏硬度值为 50。

洛氏硬度试验操作简便迅速,可直接从硬度机表盘上读出硬度值。压痕小,可直接测量成品或较薄工件的硬度。但由于压痕较小,测得的数据不够准确,通常应在试样不同部位测定三点取其算术平均值。

3. 维氏硬度

维氏硬度试验原理基本上与布氏硬度相同,也是根据压痕单位表面积上的载荷大小来计算硬度值。所不同的是采用相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石作压头。

试验时,用选定的载荷 F 将压头压入试样表面,保持规定时间后卸除载荷,在试样表面压出一个四方锥形压痕,测量压痕两对角线长度,求其算术平均值,用以计算出压痕表面积,以压痕单位表面积上所承受的载荷大小表示维氏硬度值,用符号 HV 表示。

维氏硬度适用范围宽(5~1000HV),可以测从极软到极硬材料的硬度,尤其适用于极薄工件及表面薄硬层的硬度测量(如化学热处理的渗碳层、渗氮层等),其结果精确可靠。缺点是测量较麻烦,工作效率不如洛氏硬度高。

1.1.4 冲击韧性

强度、塑性、硬度都是在缓慢加载即静载荷下的力学性能指标。实际上,许多机械零件常在冲击载荷作用下工作,例如锻锤的锤杆、冲床的冲头等。所谓冲击载荷是指以很快的速度作用于零件上的载荷。对承受冲击载荷的零件,不但要求有较高的强度,而且要求有足够的抵抗冲击载荷的能力。

金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力称为冲击韧度。材料的冲击韧度值通常采用摆锤式一次冲击试验进行测定。冲击试验是在摆锤式冲击试验机上进行的,其试验原理如图 1-4 所示。

将带有缺口的标准冲击试样安放在冲击试验机的支座上,试样缺口背向摆锤冲击方向。