

瞿大中 主编

工程材料 与热加工

ONG CHEN CHAI LIAO
YU RE JIA GONG

电子科技大学出版社

中等专业学校教学用书

工程材料与热加工

瞿大中 主编

王华松 主审

电子科技大学出版社

• 1993 •

(川)新登字 016 号

内 容 提 要

本书内容包括机械工程材料和热加工工艺两部分。在机械工程材料部分,主要内容有材料的机械性能、金属和合金的晶体结构及其结晶、金属塑性变形与再结晶、铁碳合金状态图、钢的热处理、碳素钢及合金钢、铸铁、非铁金属、粉末冶金及硬质合金、非金属材料、机械零件与工具的选材及热处理等;在热加工工艺部分,主要内容有铸造、锻造、焊接和零件毛坯的选择等。本书所用名词、单位、符号等贯彻了有关最新国家标准。编写过程中根据中等专业学校教学特点删除了不必要的理论,加强了实用部分。

本书除可作为中等专业学校机械类专业的教材外,还可供工矿企业培训职工及有关技术人员和生产工人参考。

中等专业学校教学用书

工程材料与热加工

瞿大中 主编

王华松 主审

电子科技大学出版社出版

(中国成都建设北路二段四号)

电子科技大学出版社激光照排中心照排

成都军区空军印刷厂胶印

开本 787×1092 1/16 印张 21 字数 469 千字

版次 1993 年 2 月第一版 印次 1993 年 2 月第一次印刷

印数 1—7500 册

中国标准书号 ISBN 7-81016-513-5/TH·14

定价: 8.80 元 (压膜)

前 言

本教材是根据机电部中等专业学校电子机械专业教学指导委员会制定的“工程材料与热加工”课程教学大纲编写的。本教材可作为不同行业机械制造类专业的教材。教学参考时数为120学时(包括实验、课堂讨论、习题课等)。本书也可供有关技术人员参考。

全书主要内容为金属学及热处理、工程材料(包括金属材料、非金属材料、高分子材料等)及热加工基础等共十六章。

本课程应安排在钳工、热加工(铸、锻、焊)实习后进行教学,实习教学另有相应教材,因而本教材避免了不必要的重复。

本书由武汉无线电工业学校瞿大中编写绪言、第1~11章,宜昌地区工业学校林清平编写第12章,黄冈地区工业学校喻国铭和景泽源分别编写第13章和第15章,武汉无线电工业学校姜新桥编写第14章,湖北省纺织工业学校朱振祥编写第16章。全书由瞿大中主编,景泽源副主编,武汉水运工业学校王华松主审。

由于编者水平有限,书中难免有缺点、错误,恳请希望读者提出宝贵意见。

编 者

1992年8月

目 录

绪 言

第一篇 金属学及热处理

第一章 金属的机械性能	3
第一节 强度和塑性	3
第二节 硬 度	5
第三节 韧 性	8
第四节 疲劳强度	9
第二章 金属与合金的结构与结晶	12
第一节 金属的晶体结构	12
第二节 实际金属的晶体结构	15
第三节 金属的结晶	17
第四节 合金中的相	20
第五节 二元合金状态图	23
第三章 金属的塑性变形与再结晶	29
第一节 金属的塑性变形	29
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	32
第三节 变形金属在加热时组织和性能的变化	33
第四节 金属的热加工	35
第四章 铁碳合金状态图	38
第一节 铁碳合金的基本相	38
第二节 铁碳合金状态图的分析	39
第三节 铁碳合金的性能与组织、成分间的关系及其状态图的应用	43
第四节 课堂讨论铁碳合金状态图	45
第五章 钢的热处理	49
第一节 钢的奥氏体化	49
第二节 过冷奥氏体的转变	52
第三节 钢的退火与正火	58
第四节 钢的淬火	61
第五节 钢的回火	64
第六节 钢的淬透性	67
第七节 钢的表面淬火	70
第八节 钢的化学热处理	71
第九节 热处理新工艺简介	76
第十节 课堂讨论钢的热处理	78

第二篇 工 程 材 料

第六章 碳钢及合金钢	83
第一节 钢的分类和编号	83

第二节 碳、杂质及合金元素在钢中的作用	88
第三节 结构钢	93
第四节 工具钢	106
第五节 特殊性能钢	117
第六节 课堂讨论碳素钢及合金钢	124
第七章 铸 铁	128
第一节 铸铁的石墨化	128
第二节 灰 铸 铁	130
第三节 球墨铸铁	133
第四节 其他铸铁简介	135
第八章 非铁金属及其合金	141
第一节 铝及其合金	141
第二节 铜及其合金	148
第三节 滑动轴承合金	156
第四节 粉末冶金与硬质合金	158
第九章 高分子材料	164
第一节 概 述	164
第二节 工程塑料	169
第三节 橡 胶	175
第四节 胶 粘 剂	176
第十章 陶 瓷	181
第一节 概 述	181
第二节 陶瓷的性能	182
第三节 工程陶瓷简介	183
第十一章 复合材料	185
第一节 概 述	185
第二节 常用复合材料简介	186
第十二章 典型零件的选材及热处理工艺的应用	188
第一节 材料选用的一般原则	188
第二节 零件的失效分析简介	191
第三节 热处理技术条件标注和工序位置	195
第四节 制定热处理工艺的原则及热处理结构工艺性	198
第五节 典型零件(或工具)的选材及热处理	199
第六节 习题课——进行选材与热处理工艺分析练习	206
第三篇 热加工基础	
第十三章 铸 造	213
第一节 砂型铸造	213
第二节 常用合金的铸造性能	222
第三节 铸件的结构工艺性	228
第四节 课堂讨论铸件的结构工艺性分析	232
第五节 特种铸造	232
第十四章 锻 压	242
第一节 锻造工艺基础	242

第二节	合金锻造性能	252
第三节	锻造工艺设计基础	255
第四节	习题课进行简单零件锻件图的绘制	265
第五节	锻件的结构工艺性	268
第六节	课堂讨论简单零件的结构工艺性分析	270
第七节	板料冲压	271
第八节	锻压新工艺简介	276
第十五章	焊 接	279
第一节	熔 化 焊	279
第二节	其他焊接方法	288
第三节	常用金属材料的焊接	290
第四节	焊件质量分析	293
第五节	焊接件的结构工艺性	297
第六节	课堂讨论简单焊接件的结构工艺性、焊接工艺分析	299
第十六章	零件毛坯的选择	302
第一节	零件毛坯选择的基本原则	302
第二节	常用毛坯制造方法的比较	303
附 表		
附表一	压痕直径与布氏硬度对照表	306
附表二	黑色金属硬度及强度换算表	312
附表三	常用齿轮的材料牌号、热处理方法和机械性能	317
附表四	轴的常用材料及其主要机械性能	319
附表五	根据工作条件推荐选用的机床主轴材料及其热处理工艺	322
附表六	常用钢材在加热和冷却时的临界点	324
附表七	常用钢的退火（正火）及淬火规范	325
附表八	常用钢材回火温度与硬度对照表	326

绪 言

在机械制造中,选择合适的材料与进行热加工(热处理、铸造、锻造、焊接等加工方法),是现代制造产品不可缺少的生产过程。

材料是人类生活和生产的物质基础,材料、能源、信息是现代科学技术的三大支柱,现在又把新材料作为即将来临的新技术革命的重要标志之一,材料已成为国民经济及科学技术的基础。

材料科学是一门以材料为研究对象,介于基础科学与应用科学之间的基础应用学科。工程材料是材料科学的重要组成部分,重点阐述结构材料的成分、组织、性能及应用方面的一般规律,结构材料是指工程上要求强度、韧性、塑性等机械性能的材料,主要用来制作工程构件和零件,不包括那些要求具有电、光、声、热、磁等功能和效应的功能材料。

工程材料根据材料的本性或其结合键的性质,可分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料等四大类。

目前金属材料仍是最广泛应用的材料,首先是金属材料在自然界中有丰富的蕴藏量,其次还具有优良的机械、物理、化学性能及出色的加工工艺性能。为充分发挥金属材料的潜力,提高产品质量、减轻重量、降低成本、延长寿命,对金属材料进行适当热处理是非常必要的,这在机械制造中具有重要意义。需要指出的是,本世纪以来,非金属材料发展极为迅速,到七十年代中期,全世界的有机合成材料和钢产量的体积已经相等,高分子材料不但适用于工程及机器零件,而且推动了火箭、导弹、宇航技术及原子能技术等尖端技术的发展。此外,陶瓷作为功能材料和结构材料日益增强其在材料中的地位,复合材料由于它的特殊性能,被称为下个世纪的钢。作为工程材料不再是只使用金属材料了。

通常用铸造、锻造、焊接来提供机械零件毛坯,经过切削加工及其他加工方法制成零件,有些机械零件可用铸造、锻造、焊接直接制成。铸件、锻件、焊件在机械制造中占有很大比重,例如铸件按重量计算,在机床或内燃机中占70~90%,拖拉机中占70%,由此可见,在机械制造业中铸造、锻造、焊接等热加工是极其重要的生产环节。

历史上,我国人民在材料、热加工技术方面取得过辉煌的成就。我们的祖先在六、七千年前就用火烧制陶器,三千多年前殷周时期发明了釉陶,东汉出现瓷器。四千多年前就应用天然红铜。三千多年前青铜冶炼迅速发展,在商朝(公元前16~11世纪)冶铸出司母戊大方鼎,重达875kg,其上花纹精致。明朝宋应星所著“天工开物”一书,论述了冶铁、铸造、锻造、焊接、淬火等金属加工方法,是世界上最早的论著之一。春秋战国时期,掌握的锻造和热处理方法,制剑技术已达相当水平。同一时期,用铜器制的本体、耳、足都是用锡、银钎焊连接的。这些技术当时处于世界领先地位。

解放以后,我国钢铁及机械制造得到迅猛发展,我国已按本国资源建立了自己的合金钢体系,研制出达到世界先进水平的稀土镁球墨铸铁,能冶炼各种特殊性能钢。已建立了汽车、飞机、船舶、精密机床、电力机车、重型机械等生产基地。同时也已把最新的热加工工艺及技术应用到生产实践中。

“工程材料与热加工”是机械制造类专业的一门必修技术基础课,本课程主要介绍机械

工程材料的性能特点、强化方法、选用原则及金属材料铸造、锻造、焊接的工艺基础知识,为学习其他课程和生产实践打好必要的基础。学生学完本课程后,应达到如下基本要求:

1. 掌握金属材料的牌号、性能及用途。
2. 了解非金属材料的分类、性能及用途。
3. 了解钢铁热处理的基本原理,掌握热处理工艺及其应用。
4. 了解金属材料铸造、锻造、焊接的基本原理、工艺特点和应用范围。
5. 具有分析一般零件毛坯结构工艺性的能力。
6. 具有合理选择材料、毛坯和制定简单零件热加工工艺规程的初步能力。

“工程材料与热加工”是一门实践性、应用性较强的综合性课程,在教学上应与金工实习相配合,开课前必须完成相应的金工实习。有关铸造、锻造、焊接的常用设备、工具及基本操作方法应在实习中掌握。

本课程的特点:

1. 概念多、术语多。由于初次接触这些概念、术语,不一定能理解本质,掌握内在联系,可能在学习时会感到乏味。

2. 公式、定律少。定量计算少,定性描述多,特别有些带经验性的工艺,可能会感到不习惯。

3. 内容“散”而“杂”,面宽而不深,需要记的东西多,可能会感到抓不住重点。

4. 本课程编入了“课堂讨论题”和“习题课”等实践性教学内容,采取边讲、边议、边练的教学方法,加强实践性教学环节,以提高学生分析问题、解决问题的能力。

学生应根据课程特点,总结出一套行之有效的学习方法。首先,应该阅读教材、养成读书的习惯,掌握读书方法,有条件还可适当看些参考书;其次,应及时复习和阶段性小结,抓住主要线索和重点把书读薄,要理解后记忆;第三,一定要理论联系实际,要充分利用在实验、实习中接触实践的机会。

第一篇 金属学及热处理

第一章 金属的机械性能

要在品种繁多的工程材料中正确选用材料,首先要了解材料的使用性能和工艺性能。使用性能是机械零件或工具在正常工作条件下,材料应具备的性能,它包括机械性能(即力学性能)、物理性能(如导电性、导热性、热膨胀性、磁性、光学性能等)和化学性能(如抗腐蚀性、抗氧化性等)。工艺性能是指机械零件或工具在制造过程中,材料应具备的性能,它包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能以及切削加工性能等。

机械性能是指材料抵抗载荷(即外力)作用的能力。它主要包括:强度、刚度、硬度、塑性、韧性和疲劳强度等。在机械制造中,除在一些特殊的条件下服役(如高温、高压、腐蚀气氛及要求导电、导磁)外,一般机械零件及工具在设计 and 选材时大多以机械性能指标为主要依据。

第一节 强度和塑性

一、强度

材料在受载时,一般会出现相互联系三个过程:弹性变形、弹塑性变形和断裂。所谓弹性变形是在载荷消除后即恢复的变形,而塑性变形是载荷卸去后仍保留下来的变形。强度是指材料在载荷作用下抵抗产生塑性变形和断裂的能力,对不同的载荷类型,这三个过程的发生和发展是不相同的。静拉伸试验是测定强度最常用的方法。

拉伸试验是把被测定的材料制成一定尺寸的试样(如图 1-1 所示)。常用试样的截面是圆形的,根据国家标准 GB228-76 的规定,分长试样($l_0 = 10d_0$)和短试样($l_0 = 5d_0$)。

把标准试样装在材料试验机上,缓慢增加拉伸载荷,可获得试样变形直到断裂的曲线,即拉伸曲线,如图 1-2 所示。图中在 e 点以前,若卸去载荷,试样即恢复原状,而 e 点是试样不产生永久变形时所能承受的最大载荷。 OP 段是直线,表示载荷与伸长量成正比关系。当载荷超过 P_e 点时,载荷卸除后仍有极少量的永久变形被保留下来,当载荷增加到 P_s 点时,材料发生屈服现象,即载荷不增加,试样继续伸长。当屈服现象停止后,要继续增加载荷,试样才继续伸长。当载荷超过拉伸曲线上的最大值 P_b 后,材



图 1-1 标准拉伸试样

料发生“颈缩”现象,即试样不再是均匀变形而出现局部直径变细的现象,最后试样在 k 点断裂。

单位面积上承受的载荷称为应力,用符号 σ 表示,即

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ MN/mm}^2(\text{MPa})$$

式中, P ——载荷(MN); F ——试样的原始横截面面积(mm^2); MPa——兆帕。

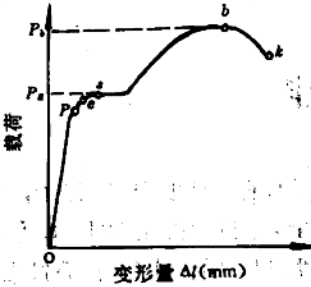


图 1-2 退火低碳钢的拉伸曲线

屈服强度(即屈服极限)是材料开始发生屈服现象时的应力,用符号 σ_s 表示,工程上用来表示材料抵抗微量塑性变形的抗力。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F} \text{ (MPa)}$$

式中, P_s ——试样屈服时的载荷(N); F ——试样的原始横截面面积(mm^2)。

有些材料的拉伸曲线中无明显的屈服现象,工程上规定试样产生 0.2% 残余伸长量的应力值为该材料的条件屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服强度是评定材料质量的重要机械性能指标,许多机器零件在使用中是不允许发生永久变形的,例如气缸螺栓发生塑性变形后,就会使气缸漏气。

抗拉强度(即强度极限)是试样被拉断前所能承受最大载荷时的应力,用符号 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F} \text{ (MPa)}$$

式中, P_b ——试样在断裂前的最大载荷(N); F ——试样的原始横截面面积(mm^2)。抗拉强度的物理意义是反映了材料最大均匀变形时的应力。

抗拉强度是设计和选材的主要依据之一,表 1-1 列出了几种常用工程材料的抗拉强度。

表 1-1 几种工程材料的抗拉强度

材 料	抗拉强度(MPa)	材 料	抗拉强度(MPa)
铝 合 金	1000~500	马氏体不锈钢	450~1300
铜 合 金	200~1300	聚乙烯	8~16
灰 铸 铁	150~400	尼 龙 6	70~90
中 碳 钢	350~500	聚氯乙烯	52~58
铁素体不锈钢	500~600	聚苯乙烯	35~60

工程上把屈服强度与抗拉强度的比值称为屈强比(σ_s/σ_b)。一般情况下要求屈强比稍高些为好,对不同材料的屈强比要求也不同,例如碳素结构钢为 0.6 左右,普通低合金钢为 0.65~0.75,合金结构钢为 0.85 左右。屈强比愈小,工程构件的可靠性愈高,一旦超载不至于马上断裂,但屈强比过小材料的利用率太低。

刚度是抵抗弹性变形的能力,衡量刚度大小的指标是弹性模量,用 E 来表示。弹性模量是材料在弹性变形范围内,应力与应变(即试样的相对伸长量 $\Delta l/l_0$)的比值,即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_{\text{弹}}} \quad (\text{MPa})$$

式中, σ ——在弹性范围内的应力(MPa); $\varepsilon_{\text{弹}}$ ——在弹性范围内的应变。由于 $\sigma = P/F$, 可得

$$\varepsilon_{\text{弹}} = \frac{P}{EF}$$

从上式可知, 在相同载荷作用下, 材料的弹性模量愈大, 材料的刚度就愈大。必须指出, 材料的弹性模量与材料原子间的结合力有关, 常用的强化手段, 如热处理、冷压力加工等不能改变其弹性模量, 要提高刚度, 可以增大横截面 F 或更换弹性模量 E 更高的材料。

二、塑性

塑性是材料在断裂前发生永久变形的能力。常用的塑性指标有伸长率和断面收缩率两种, 分别以符号 δ 和 ψ 表示。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中, l_1 ——试样拉断后的长度(mm); F_1 ——试样拉断处的截面积(mm^2)。

伸长率表示试样拉断时的相对伸长量, 断面收缩率表示试样拉断时截面的相对收缩量, 两者都是无量数。材料的塑性愈好, δ 和 ψ 就愈大。材料塑性指标反映了它的压力加工性能。

断面收缩率与试样长度无关, 更接近于真实应变, 比伸长率更可靠地代表了金属的塑性。

第二节 硬 度

硬度是材料表面抵抗塑性变形或断裂的能力, 硬度值的物理意义与试验方法有关。应用最普遍的是压入法硬度试验, 其硬度为材料表面抵抗其他更硬物体压入的能力。硬度试验是机械产品在机械性能中使用最广泛和最简便的一种方法, 它无需制作专门试样, 不损坏工件, 测试方便、迅速, 且所得硬度值与机械性能其他指标有一定相应关系。工程上常用的有布氏、洛氏和维氏硬度试验法。

一、布氏硬度

布氏硬度的试验原理是用一定直径(D)的淬硬钢球或硬质合金球, 在规定载荷(P)的作用下, 压入试样表面(图 1-3), 保持一定时间后卸除载荷, 以单位压痕面积上所承受的载荷作为布氏硬度值, 用 HBS(淬火钢球压头)或 HBW(硬质合金球压头)表示。

$$\begin{aligned} \text{HBS 或 HBW} &= \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D h} \\ &= \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kgf/mm}^2) \end{aligned}$$

式中, P ——淬火钢球上所施加的载荷(kgf); F ——试样表面的压痕面积(mm^2); D ——淬火钢球直径(mm); d ——压痕直径(mm)。

试验时可用读数显微镜测出压痕直径 d 的大小, 一般通过查表(见附表一)可得出 HBS

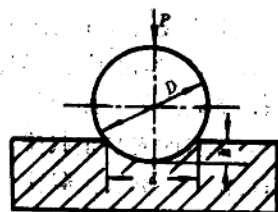


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

(HBW)值。布氏硬度习惯上不标单位,除了采用压头直径 D 为 10mm,载荷 P 为 3000kgf,保持时间为 10s 的试验条件外,在其他试验条件下测得的硬度值,应在符号 HBS(HBW)的右下角用相应数字注明压头直径、载荷大小和载荷保持时间。如 120HBS_{10/1000/30} 表示用 10mm 的钢球,在 1000kgf 的载荷作用下,保持 30s 后所测得的硬度值为 120。

压头直径和载荷的大小根据被测金属材料的性质和厚薄可按表 1-2 选择。

布氏硬度试验法常用来试验非铁金属、铸铁和各种钢铁原材料,也用于硬度低于 450HBS 的调质钢,如使用硬质合金压头,可适用 HBW<650 的金属材,但我国目前很少采用硬质合金压头。

表 1-2 布氏硬度试验规范

材 料	硬度范围 (HBS)	试样厚度 (mm)	$\frac{F}{D^2}$ (kgf·mm ⁻²)	钢球直径 (mm)	载荷 F (kgf)	载荷保持时间 (s)
黑色金属	140~450	6~3	30	10	3000	10
		4~2		5	750	
		<2		2.5	187.5	
	<140	>6	10	10	1000	10
		6~3		5	250	
		<3		2.5	62.5	
铜合金及 镁合金	36~130	>6	10	10	1000	30
		6~3		5	250	
		<3		2.5	62.5	
铝合金及 轴承合金	8~35	>6	2.5	10	250	60
		6~3		5	62.5	
		<3		2.5	15.6	

布氏硬度的压痕较大,代表性全面,所得硬度值较准确。而且布氏硬度与强度之间有一定关系,例如结构钢 $\sigma_s \approx 0.35\text{HBS}$,灰铸铁 $\sigma_s \approx (\text{HBS} - 40)/6$,硬铝 $\sigma_s \approx 0.36\text{HBS}$,退火铜 $\sigma_s \approx 0.55\text{HBS}$ 。但布氏硬度试验法不太简便;试样太薄或不允许有较大压痕的试样不能采用。

二、洛氏硬度

洛氏硬度试验原理是用金刚石锥体或淬硬钢球在一定载荷(P)作用下压入被测试样表面,根据压痕深度(h),来确定其硬度值。如图 1-4 所示。

试验时先加预载荷 10kgf,压痕深 h_1 ,然后再加主载荷,压痕深 h_2 。卸去主载荷,保留预载荷,由于材料弹性变形的恢复,实际压痕深为 h 。压痕愈深(h 值愈大),硬度值愈小,与通常硬度愈硬,数值愈大相矛盾,因而洛氏硬度值采用一常数减去压痕深度。规定表盘压头每压入 0.002 毫米深度时,表盘指针移动一小格,这样洛氏硬度计算公式为

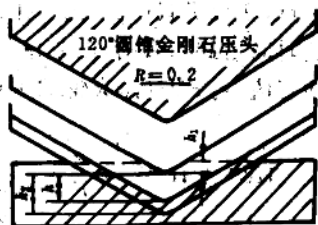


图 1-4 洛氏硬度试验原理图

$$HR = c - \frac{h}{0.002mm}$$

式中 c 为常数。当压头用金刚石圆锥时 $c=100$ ；用 $\phi 1.588mm$ ($1/16''$) 淬硬钢球作压头时， $c=130$ 。

洛氏硬度试验采用不同压头和载荷可以试验从软到硬的各种材料。最常用的三种洛氏硬度列于表 1-3，其中 HRC 应用最多。洛氏硬度值无单位，也无物理意义。

表 1-3 常用洛氏硬度符号及试验条件和应用举例

硬 度 符 号	压 头 类 型	总 载 荷 (kgf)	有效硬度值范围	应 用 举 例
HRA	120°金刚石圆锥体	60	70~85	硬质合金、表面淬 火层或渗碳层
HRB	(1/16") ($\phi 1.588mm$) 钢球	100	25~100	非铁金属、退火钢
HRC	120°金刚石圆锥体	150	20~67	调质钢、淬火钢

洛氏硬度试验法操作方便，在读数表盘上可直接读数，压痕小不伤试样表面，可测试较大的范围，也能测试表面硬度与薄件，但压痕小，代表性不足，不如布氏硬度准确，所以一般试件要测试三点以上，取其平均值。

三、维氏硬度

维氏硬度的试验原理是用一个相对面间夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体压入试样表面，以单位压痕面积所承受的载荷作为维氏硬度值（如图 1-5 所示），计算公式为

$$H = \frac{P}{F} = 1.8544 \frac{P}{d^2} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

式中， P ——载荷 (kgf)； F ——压痕面积 (mm^2)； d ——压痕两对角线长度平均值 (mm)。

布氏硬度试验一般不能测大于 450HBS 的材料，洛氏硬度试验虽可以测软、硬材料，但各洛氏硬度值（如 HRA、HRB、HRC）间不统一。而维氏硬度试验有连续一致的标度，而且试验负荷可以任意选择，所得硬度值相同，但由于维氏硬度的负荷小、压痕小，一般用来测定工件表面硬化层（如渗碳层、氮化层、脱碳层等）及薄件材料。负荷使用范围为 5~100kgf，常用 5kgf 及 10kgf 负荷。维氏硬度试验值由于轮廓清楚，测定的硬度值较布氏、洛氏更精确。缺点是操作较麻烦。

另外还有肖氏硬度、显微硬度等，这里不作介绍。

各种硬度在理论上无严格的对应关系，为实用方便起见，在对比试验的基础上建立了附表二的换算关系。

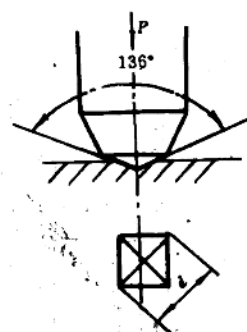


图 1-5 维氏硬度试验原理图

第三节 韧性

工程上机械零件的受载应变速率大约在 $10^{-3} \sim 10^3$ /秒的范围内,应变速率在 10^{-2} /秒以上就属于动载荷(即冲击载荷)。金属抵抗冲击载荷作用而不被破坏的能力称为韧性。一般说来,在冲击载荷作用下,材料的强度提高,塑性下降,脆性增大。

目前测量材料韧性最普遍的方法是一次摆锤弯曲冲击试验。按 GB229-84 规定,将材料制成带缺口的标准试样,如图 1-6 所示,放在材料试验机的机座上,使一重量 G 的摆锤自高度 H 自由落下,冲断试样后摆锤又升至高度 h (如图 1-7 所示)。摆锤冲断试样所失去的能量,即为冲击载荷使试样折断所做的功,称冲击功,用 A_K 表示,单位为 J。用断口处单位面积上所消耗的冲击功大小

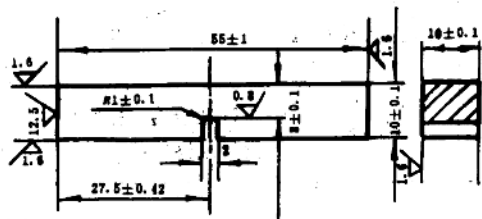


图 1-6 冲击试样(U型缺口)

来衡量材料的冲击韧性,即

$$a_K = \frac{A_K}{F} = \frac{G(H-h)}{F} \quad (\text{J/cm}^2)$$

式中, a_K ——冲击韧性; F ——试样缺口处的截面面积(cm^2)。

冲击韧性值对材料的缺陷很敏感,能较灵敏地反映金属在冶金和热处理等方面的质量问题,是鉴定材料质量和设计选材时不可缺少的性能依据之一。

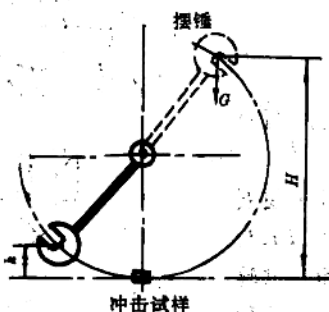


图 1-7 摆锤式冲击试验原理图

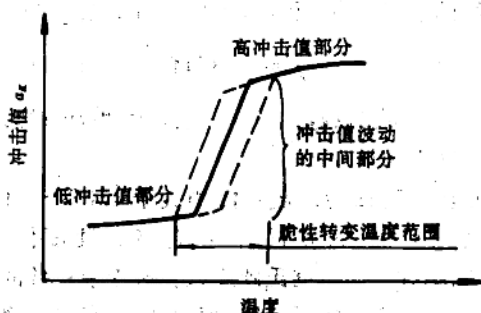


图 1-8 温度对冲击韧性 a_K 的影响($<20^\circ\text{C}$)

冲击韧性值除与材料的本性有关外,还受试验温度、试样尺寸、缺口形状和加载速度等因素的影响。一般随试验温度的下降,材料的冲击韧性降低,当降低到某温度范围时,材料冲击韧性显著降低,呈现脆性,如图 1-8 所示,该温度范围称为脆性临界转变温度。临界转变温度愈低,材料的冲击韧性就愈好,普通碳钢的临界转变温度为 $-30 \sim -20^\circ\text{C}$ 。

在实际工作时,机械零件很少受一次冲击而破坏,大部分是承受小能量的多次重复冲击载荷,根据材料的冲击韧性 a_K 来选材就不合适了。研究表明:在能量不太大的情况下,材料

承受多次重复冲击的能力,主要取决于强度,而不是冲击韧性值。例如高碳工具钢的 σ_K 为 $20\text{J}/\text{cm}^2$,代替高级合金钢制凿岩机活塞取得很好的使用效果。

第四节 疲劳强度

许多机械零件是在交变载荷下工作的,如弹簧、齿轮、轴等。金属材料在小于 σ_s ,甚至低于 σ_t 的交变应力作用下发生断裂的现象称为“疲劳”。疲劳破坏是机械零件失效的重要方式。

在疲劳试验机上作出的应力 σ -循环次数 N (通常用对数表示) 曲线称疲劳曲线,如图 1-9 所示。随应力的减小,试样断裂的应力循环次数就增加,当应力低于某一值时,循环周次达无限时(即出现水平线)也不会使试样断裂,此值就称为疲劳强度(疲劳极限)。当循环应力对称时,用符号 σ_{-1} 表示。对一般钢铁试验达 10^7 次时,大都会出现水平线。有些材料的疲劳曲线并不出现上述的水平线,因而对各种材料规定一应力循环基数,超过基数,材料就被认为不再发生疲劳破坏,非铁金属和某些超高强度钢的循环基数被定为 10^8 次。

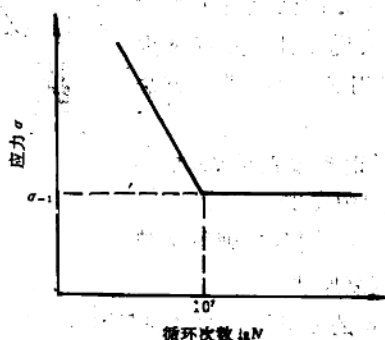


图 1-9 钢铁材料的疲劳曲线

大部分机械零件的破坏是疲劳破坏,不管是塑性材料还是脆性材料,疲劳断裂都是突然发生的,而且疲劳强度比 σ_s 要低得多。因此有较大危险性。

疲劳断裂首先是产生微裂纹源。机械零件表面存在各种缺陷,如裂纹、刀痕、非金属夹杂物等及截面突变处的应力集中均使裂纹较易产生。机械零件内部的疏松、气泡等缺陷及某些晶粒的位向关系,使裂纹源也可以在内部产生。随交变应力循环次数的增加,裂纹不断扩大,最后导致材料断裂。

应该指出,材料的机械性能(除硬度)都要制成标准试样,在规定的载荷作用下测得。因此,在手册中查阅材料的机械性能时,必须注意所谓的“尺寸效应”,即材料实际尺寸愈大,按统计规律,材料中存在的缺陷就愈多,材料的机械性能就要下降,降低幅度最大的是疲劳强度与韧性,其次是屈服强度。

各种材料有不同的机械性能,其根本原因在于材料具有不同的内部组织。但在不同的外界条件影响下,其性能变化是很大的,如零件的尺寸大小、加工质量、变形程度、变形速度、受力状态、环境因素等外加条件直接影响材料的机械性能,只有对内在因素(化学成分、组织状

态(宏观、微观、超微观)、内应力等)和外界条件有全面的了解,才能合理的选用材料。

复 习 题

1. 解释下列常用的机械性能指标:

σ_s , σ_b , $\sigma_0.2$, δ , ψ , a_k , HB, HV, HRC

2. 某钢材试样,直径为 10mm,长度为 100mm,当载荷达 18400N 时材料开始屈服,加载到 35400N 后载荷开始变小,拉断时载荷是 28000N,把拉断试样接起来长度为 135mm,断裂处收缩直径为 7mm,求试样的 σ_s , σ_b , δ 及 ψ 。

3. 图 1-10 所示为三种不同材料的拉伸曲线(试样尺寸相同)。试比较这三种材料的抗拉强度、屈服强度和塑性的大小,并指出屈服强度的确定方法。

4. 用细长镗刀在车床上进行镗孔,发现镗孔的精度达不到技术要求,其主要原因是吃刀后镗刀杆发生过弹性变形,有人说刀杆要用高强度合金钢更换,有人主张加粗刀杆直径,哪个方法好?为什么?

5. 载重汽车弹簧由数层钢板叠置而成,材料为 65Mn 或 65SiMn 钢,在使用中发现:

(1)载重小于规定载重 2.5 吨重时,弹簧即被压成水平状态,但卸载后仍恢复原状。

(2)载重到 2.5 吨时,弹簧的变形没超过允许范围,但使用不久,弹簧形状失去原状。试从材料性能上分析上述现象产生原因,并提出改进措施。

6. 试选用合适的方法来测定下列材料的硬度值(用硬度符号填入表格内)。

被测件	铰刀、钻头	材料库钢材	氮化、渗碳、脱碳层
硬度种类			
符 号			

7. 下列硬度要求的数值或硬度值的表示法是否正确?为什么?

(1)HBS500~550 (2)HRC10~15 (3)HRC70~75 (4)HRC30~35kgf/mm²

8. 有人解释说,“韧性就是抵抗冲击载荷的能力,故又称冲击韧性”。这样解释是否正确?为什么?

9. 风动凿岩机的活塞在压缩空气作用下,每分钟以 1800~2100 次往复运动冲击钎杆而使钎头凿碎岩石,冲击功为 50~60N·m。凿岩机的活塞过去采用高合金钢 12Cr2Ni4A 钢,经热处理后表面硬度 HRC58~62,而心部具有韧性,改进后采用高强度、低塑性的 T10 钢,使用寿命提高了 1.6 倍,试分析原因。

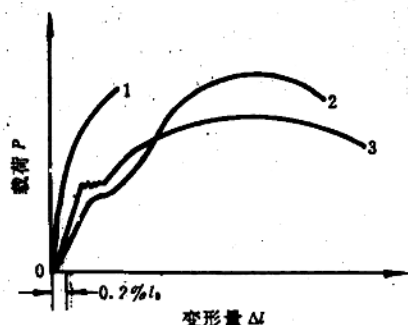


图 1-10 三种不同材料的拉伸曲线