

高职高专规划教材

GAOZHI GAOZHUAN GUIHUA JIAOCAI



工程材料与热加工

GONGCHENG CAILIAO YU REJIAGONG

主编 刘俊尧



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高职高专规划教材

工程材料与热加工

主 编 刘俊尧

副主编 常荣生 何耀民 崔国英

中 国 铁 道 出 版 社

2010年·北 京

内 容 简 介

本书根据教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》以及高等职业教育对教学改革的要求,并结合编者多年从事教学实践和生产实践的经验编写而成。

本书将材料工程基础、金属工艺学两本书整合为《工程材料与热加工》,既保留了材料工程基础和金属工艺学的优势,又突出了教材的连续性、实用性。加大了课程建设与改革的力度,适应了学生的专业能力培养的需要。全书内容共分12章:工程材料与热加工概述、金属材料的基本知识、金属热处理基本知识、工程用钢、铸铁、有色金属、非金属材料、铸造成形技术、塑性成形加工技术、焊接技术、机械零件材料及毛坯的选择与质量检验和实验等内容。

本书可作为高等职业院校机械类、机电类和近机类专业的教学用书,也可供从事机械设计、制造和维修等工作的有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与热加工/刘俊尧主编. —北京:中国铁道出版社,2010.5

高职高专规划教材

ISBN 978-7-113-11387-2

I. ①工… II. ①刘… III. ①工程材料-高等学校:技术学校-教材
②热加工-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TB3②TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 081501 号

书 名: 工程材料与热加工

作 者: 刘俊尧 主编

责任编辑: 王明容

电话: (010) 51873138

电子信箱: tdpres@126.com

封面设计: 崔 欣

责任校对: 孙 玫

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpres.com>

印 刷: 北京市兴顺印刷厂

版 次: 2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 16.75 字数: 420 千

印 数: 1~3 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-11387-2

定 价: 35.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话: 市电 (010) 51873170, 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187

前言

随着我国国民经济的高速发展和制造业对高技能人才需求的大幅增加,高等职业教育既面临着极好的发展机遇,同时也面临着严峻的挑战。高等职业教育要适应新发展,必须建设一批重点专业和培养一批专业学科带头人;必须编写一批有特色的专业基础课和专业课教材。

《工程材料与热加工》是机械类、机电类和近机类专业的一门专业基础课,具有较强的理论性和实践性。全新的教学理念是练技能、强素质、谋职业。教学思路是通过理论学习打基础,通过实践学习练技能,通过提高职业技能谋职业。即学生通过理论学习掌握专业基础知识,通过实验、实训、实习掌握基本技能,通过顶岗实习、强化训练和技能考证,成为拥有“毕业证+技能证”的双证专业技能人才。

本书根据教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》以及高等职业技术教育对教学改革的要求,组织企业有丰富实践经验的专家和有丰富教学经验的教师,结合多年从事生产实践和教学实践的经验编写而成。本书主要具有以下特点。

1. 进行教材整合,突出教材的实用性。以“连续而不重复”的原则进行教材整合。本书对材料工程基础、金属工艺学两本书整合为《工程材料与热加工》,既做到了两者的优势互补,又突出了教材的连续性、实用性。

2. 降低理论的难度,拓展知识的宽度。以“突出技能”为原则降低理论的难度。本书简化或省略烦琐的纯理论内容,侧重于理论的应用;突出高等职业教育的特点,降低学生的学习难度,提高学生对技能的学习效率。同时对实用性较强的内容进行充实,使教材的基本知识更加宽泛。

3. 增补实验内容,突出教材的实践性。以强化“机械制造能力”为原则增补实验内容。改革人才培养模式,大力推行工学结合,突出实践能力的培养。本书增加了六个实验项目:金属材料的硬度试验、铁碳合金平衡组织观察与分析、碳钢的热处理、合金铸造应力的测定、冷变形强化及再结晶退火、焊接接头金属组织与性能分析。

本书由鹤壁市公路管理局教授级高级工程师刘俊尧任主编,鹤壁矿务局机修厂原技术负责人高级工程师常荣生、濮阳职业技术学院副教授何耀民和鹤壁职业

技术学院副教授崔国英任副主编,姚志英、高改会、申东东参编。刘俊尧编写第2章,常荣生编写第12章,何耀民编写第6、7章,崔国英编写第1、8章,姚志英编写第3、9章,高改会编写第4、5章,申东东编写第10、11章。

本书由在企业从事几十年机械制造的专家、曾担任多年技术负责人的常荣生和司应勤担任主审,常荣生和司应勤对书稿进行了认真、细致的审阅,并提出了宝贵的意见和建议。在此表示衷心的感谢。

鉴于编者水平有限,书中存在的疏漏和不妥之处在所难免,恳请各位教师 and 广大读者提出宝贵意见。

编 者
2010年5月

目 录

第 1 章 工程材料与热加工概述	1
1.1 课程的性质和作用	1
1.2 工程材料与热加工的基本知识	2
1.3 工程材料的基本性能	5
复习思考题	14
第 2 章 金属材料的基本知识	16
2.1 金属材料的晶体结构.....	16
2.2 铁碳合金状态图.....	26
复习思考题	33
第 3 章 金属热处理基本知识	35
3.1 钢在加热和冷却时的组织转变.....	35
3.2 热处理的基本类型.....	39
复习思考题	47
第 4 章 工程用钢	49
4.1 钢中基本元素作用.....	49
4.2 结构钢.....	56
4.3 工具钢.....	72
4.4 特殊性能钢.....	77
复习思考题	84
第 5 章 铸 铁	87
5.1 概 述.....	87
5.2 常用铸铁种类.....	90
复习思考题.....	100
第 6 章 有色金属	101
6.1 铝及铝合金	101
6.2 铜及铜合金	106
6.3 滑动轴承合金	111
6.4 粉末冶金材料	114
复习思考题.....	116
第 7 章 非金属材料	117
7.1 高分子材料	117
7.2 陶瓷材料	123
7.3 复合材料	127
复习思考题.....	130

第 8 章 铸造成形技术	132
8.1 铸造工艺基础	133
8.2 普通型砂铸造	139
8.3 特种铸造	150
8.4 各种铸造方法的比较	157
8.5 铸件结构设计	157
复习思考题	162
第 9 章 塑性成形加工技术	163
9.1 金属的塑性变形基础	164
9.2 自由锻	168
9.3 模型锻造	171
9.4 板料冲压	183
9.5 特种成形工艺	191
复习思考题	198
第 10 章 焊接技术	201
10.1 电弧焊	201
10.2 其他常用焊接方法	212
10.3 常用金属材料的焊接	218
10.4 焊接结构设计	224
10.5 焊接质量检验	230
复习思考题	234
第 11 章 机械零件材料及毛坯的选择与质量检验	236
11.1 机械零件的失效	236
11.2 机械零件材料选择的一般原则	238
11.3 零件毛坯选择的一般原则	242
复习思考题	249
第 12 章 实 验	250
12.1 金属材料的硬度试验	250
12.2 铁碳合金平衡组织观察与分析	253
12.3 碳钢的热处理	254
12.4 合金铸造应力的测定	256
12.5 冷变形强化及再结晶退火	259
12.6 焊接接头组织和性能分析	261
参考文献	262

第1章 工程材料与热加工概述

1.1 课程的性质和作用

工程材料与热加工是在总结劳动人民长期实践的基础上发展起来的,我国古代在金属加工工艺方面的成就极其辉煌。在公元前16~11世纪的商朝已是青铜器的全盛时期,当时青铜冶铸技术相当精湛。在河南安阳武官村出土的司母戊大方鼎,鼎重875 kg,其上花纹精致。公元前5世纪的春秋时期,制剑术已相当高明。1965年在湖北省江陵县出土的春秋越国勾践的宝剑,说明当时已掌握了锻造和热处理技术。1980年12月从秦始皇陵陪葬坑出土的大型彩绘铜车马,结构精致,形态逼真,由三千多个零部件组成,综合了铸造、焊接、研磨、抛光及各种连接工艺。明朝宋应星编著的《天工开物》书论述了冶铁、铸钟、炼钢、锻造、焊接(锡焊和银焊)、淬火等金属成形与改性的工艺方法,它是世界上最早的有关金属工艺的科学著作之一。这充分反映了我国古代在金属成形工艺方面的科学技术都曾远远超过同时代的欧洲,在世界上占有领先的地位,对世界文明和人类进步作出过巨大贡献。但是,由于我国历史长期的封建统治,严重地束缚了科学技术的发展,造成了我国与先进国家之间很大的差距。

1.1.1 课程的性质和地位

工程材料与热加工是一门有关工程材料及其热加工工艺方法的综合性技术基础课。它系统地介绍机械工程材料的性能、应用及改进材料性能的工艺方法等方面的基础知识。

任何一台机械产品都是由若干个具有不同几何形状和尺寸的零件,按照一定的方式装配而成的。由于使用要求不同,各种机械零件需选用不同的材料制造,并具有不同的精度和表面质量。因此要加工出各种零件,应采用不同的加工方法。金属机械零件的成形工艺方法有:铸造、锻压、焊接、切削加工和特种加工等。在机械制造过程中,通常是先用铸造、锻压和焊接等方法制成毛坯,再进行切削加工,才能得到所需的零件。当然,铸造、锻压、焊接等工艺方法,也可以直接生产零部件。此外,为了改善零件的某些性能,常需进行热处理,最后将检验合格的零件加以装配成为机器。

机械工业是国民经济中十分重要的产业,其中的材料是决定机械的工作性能和寿命的关键。材料产业与能源产业、信息产业、构成当今三大支柱产业,它是人类生产和生活的物质基础,也是人类社会的历史证明,生产技术的进步和生活水平的提高与新材料的应用息息相关。

1.1.2 目的和任务

本课程的目的和任务是:了解常用工程材料的性能、材料成形技术和零件加工的基础知识,为学习其它有关课程和今后从事机械设计与制造方面的工作奠定必要的工艺基础。学生在学完本课程后,应达到以下基本要求。

(1)熟悉常用工程材料的种类、性能及其改性方法,初步掌握其应用范围和选择原则。

- (2) 熟练掌握毛坯成形方法的基本原理和工艺特点,具有选择毛坯及工艺分析的能力。
- (3) 了解工程材料与热加工有关的新工艺、新技术及其发展趋势。

1.1.3 研究内容和学习方法

主要研究内容包括:工程材料的基本知识、金属热处理基本知识、工程用钢、铸铁、有色金属、非金属材料、铸造成形技术、塑性成形加工技术、焊接技术的基础知识、零件的结构工艺性等。

本课程是一门理论性和实践性都很强的专业基础课,采取理论教学和实践教学相结合的学习方法。系统掌握机械制造的基础知识和基本技能,没有足够的实践基础,对制造原理及金属切削理论和机械加工工艺的知识很难有准确的理解和把握。所以在学习本课程时,必须注意实践性教学环节,即通过实验、实习、设计及工厂调研来加深对课程内容的理解;通过本课程及后续课程的学习,反复地实践和认识,才能逐步掌握好机械制造的理论与实践知识,为将来的实际工作打下坚实的基础,为机械工业的振兴与发展作出贡献。

1.2 工程材料与热加工的基本知识

1.2.1 金属材料的分类

金属材料是现代机械制造部门使用最广的工程材料。对于从事机械制造的人员来说,了解金属材料的分类及机械制造生产过程具有非常重要的意义。

金属是指具有良好的导电性和导热性,有一定的强度和塑性并具有光泽的物质,如铁、铝和铜等。工程材料是由金属元素或以金属元素为主组成的并具有金属特性的工程材料,包括纯金属和合金两大类。

纯金属在工业生产中虽然具有一定的用途,但是,由于它的强度、硬度一般都较低,而且价格较高,因此,在使用上受到一定的限制。目前在工业生产中广泛使用的主要是各种合金材料。如:钢、铸铁、黄铜、硬铝等。

上述合金是由两种或两种以上的金属元素或金属与非金属元素组成的材料。例如:普通黄铜是由铜和锌两种主要金属元素组成的合金,钢主要是由铁和碳组成的合金。与纯金属相比,合金除具有更好的力学性能外,还可通过调整组成元素之间的比例,以获得一系列性能各不相同的合金,从而满足工业生产上不同的性能要求。

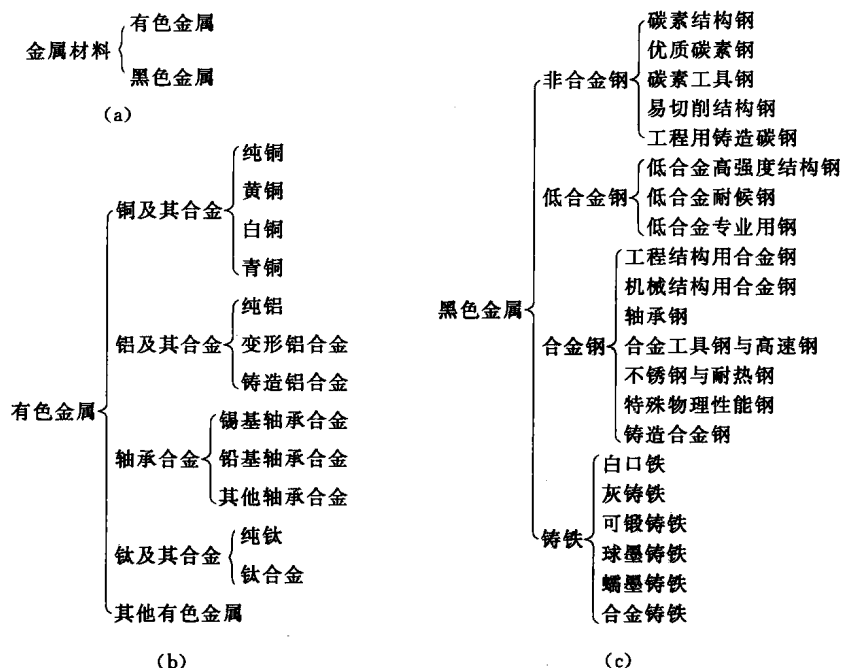
在金属材料中使用最多的是钢铁材料,这是由于它具有比其他材料更优越的性能,如物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能等,更能够适应生产和科学技术发展的需要。所以工程材料通常可分为有色金属和黑色金属两大类。有色金属又分为铜及其合金、铝及其合金、轴承合金、钛及其合金等;黑色金属又分为非合金钢、低合金钢、合金钢和铸铁等。详见表 1-1 金属材料的分类。

1. 黑色金属 表面为黑色,铁、铬和锰为黑色金属,其中以铁元素为主而组成的合金应用最广,如钢和铸铁。

2. 有色金属 表面具有色彩,除黑色金属以外的其他金属,如铜、铝和镁及其合金等。

此外,在机械制造工业中,还出现了许多新型的高性能工程材料,如非晶态工程材料、纳米工程材料、单晶合金以及新型金属功能材料等。

表 1-1 金属材料的分类



1.2.2 钢铁材料生产过程

钢铁材料是铁和碳的合金,并含有少量的 Si、Mn、S、P 等杂质元素。按碳的质量分数 $w(C)$ (含碳量)可分为:工业纯铁 $w(C) < 0.0218\%$,钢 $w(C) = 0.0218\% \sim 2.11\%$,生铁 $w(C) > 2.11\%$ 。

生铁由铁矿石经高炉冶炼而得,是炼钢和铸造的原材料。

钢材以生铁为主要原料,将生铁装入高温的炼钢炉里,通过氧化作用降低生铁中碳和杂质元素的质量分数而炼成钢水,然后铸成钢锭,经轧制形成不同规格的钢材进行供应。少数钢锭经锻造形成锻件后进行供应。图 1-1 为钢铁材料生产过程示意图。

1.2.3 机械制造过程

机械产品的制造过程一般分为设计、制造与使用三个阶段,如图 1-2 所示。

1. 设计阶段

在设计阶段首先要从市场调查、产品性能、生产数量等方面出发,制定出产品的研制开发规划。在设计时先进行总体设计,再进行部件设计,画出总装配图和零件图。然后根据机械零件的使用条件、场合、性能及环境保护要求等,选择合理的材料及加工方法。不同的机械产品有不同的性能要求,如汽车必须满足动力性能、控制性能、操纵性、安全性,以及使用起来舒适、燃料消耗率低、噪音小等要求。在满足了产品性能和成本要求的前提下,由工艺部门编制工艺规程或工艺图,并交付生产。

设计人员在设计零件时,应根据机械产品的使用场合、工作条件等选择零件的材料和决定加工方法。例如,在高温氧化性气氛环境中工作的受力零件,应选择耐热性高的特殊物理性能钢;如果零件的力学性能要求不高,则应选择铸造生产;若力学性能要求高,则选择锻压生产;若形状复杂,尺寸很大,则选择焊接生产。同时,在设计过程中要特别重视零件的使用性能与使用条件、材料及其加工方法相统一。

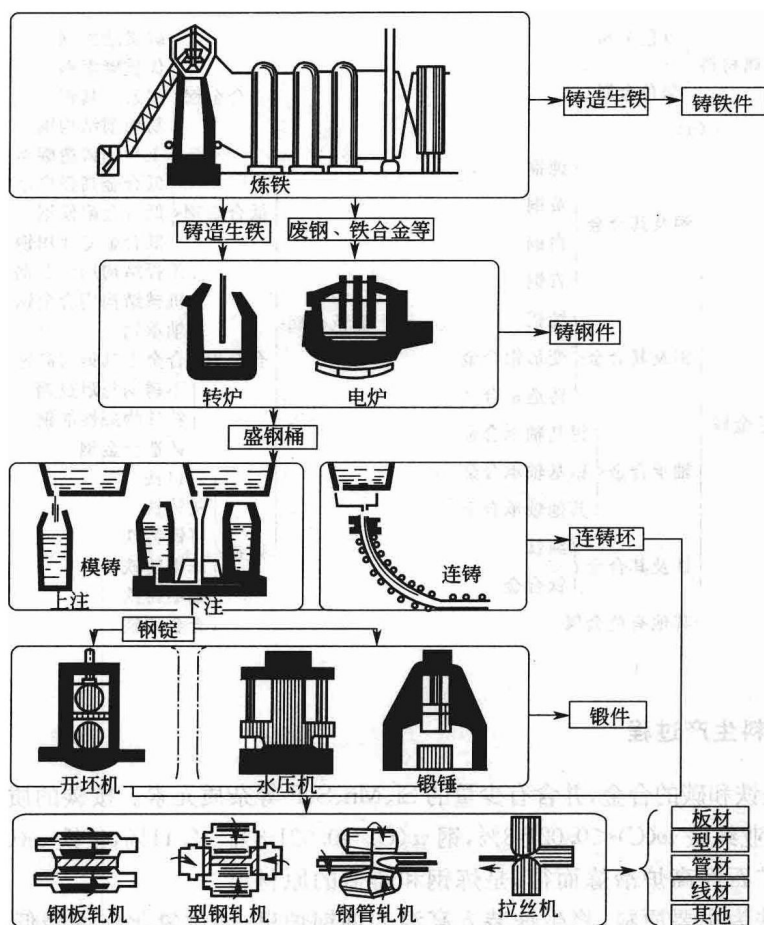


图 1-1 钢铁材料生产过程示意图

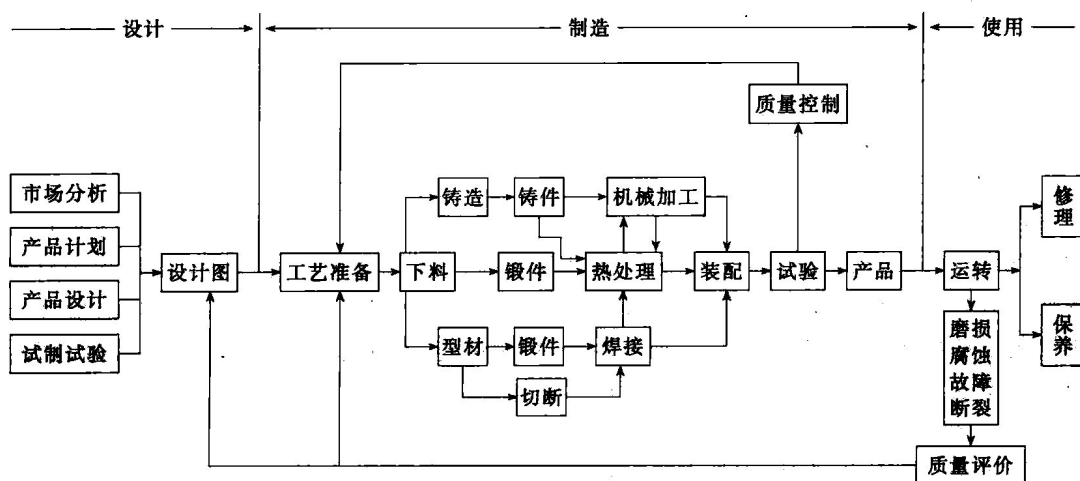


图 1-2 机械产品制造过程的三个阶段

2. 制造阶段

生产部门根据工艺规程与机械零件图进行制造，然后进行装配。通常不能根据设计图直接进行加工，而应根据设计图绘制出制造图，如铸件图、锻件图，再按制造图进行加工。这是由

于设计图绘制出的是加工完成的最终状态图,而制造图则是表示在制造过程中某一工序完成时工件的状态。两者是有差异的。因此,在加工时需根据制造图准备合适的坯料,并进行预定的加工。准备好材料后,视零件的不同,采用铸造、锻造、机械加工、热处理等不同的加工方法,分别在各类车间进行加工。零件加工完成后再装配成部件或整机。机械产品装配完后,按设计要求应进行各种试验,如空载与负荷试验、性能与寿命试验以及其他单项试验等。整机质量验收合格后进行涂装、包装和装箱,准备投入市场。

3. 使用阶段

出厂产品一经投入使用,机器的磨损、腐蚀、故障和断裂就会接踵而来,就会暴露出设计和制造过程中存在的质量问题。一个好的产品除了应注重设计功能、外观特征和制造工艺外,还应经常注意收集与积累使用过程中零件失效的资料,据此反馈给制造、设计部门,以进一步提高产品的质量。

1.3 工程材料的基本性能

在机械制造、交通运输、国防工业、石油化工和日常生活各个领域需要使用大量的工程材料。生产实践中,往往由于选材不当造成机械达不到使用要求或过早失效,因此了解和熟悉材料的性能成为合理选材、充分发挥工程材料内在性能潜力的重要依据。

工程材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能,它包括力学性能和物理、化学性能等;工艺性能是指材料对各种加工工艺适应的能力,它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。

1.3.1 工程材料的力学性能

在机械制造领域选用材料时,大多以力学性能为主要依据。力学性能范围较广,以试验温度区分,可分为高温力学性能、常温力学性能和低温力学性能,这里主要介绍常温力学性能。

材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质不同,可分为静载荷、冲击载荷、疲劳载荷等三种。

(1) 静载荷:大小不变或变动很慢的载荷,例如:床头箱对机床床身的压力。

(2) 冲击载荷:突然增加或消失的载荷,例如:空气锤锤头下落时锤杆所承受的载荷。

(3) 疲劳载荷:周期性的动载荷,例如:机床主轴就是在变载荷作用下工作的。

力学性能是指材料在各种载荷作用下表现出来的抵抗力。常用的力学性能指标有:强度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳强度等。

1. 强度

工程材料在载荷作用下抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度,强度愈高的材料,所承受的载荷愈大。按照载荷作用方式不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。工程上常以屈服极限和抗拉强度作为强度指标。

强度指标一般可以通过金属拉伸试验来测定。按照标准规定,把标准试样装夹在拉伸试验机(见图 1-3 拉伸试验机示意图)

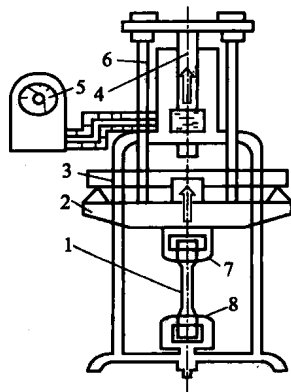


图 1-3 拉伸试验机示意图

1—试样;2—工作台;3—立柱;
4—工作活塞;5—表盘;6—拉杆;
7—上夹头;8—下夹头

上,然后对试样逐渐施加拉伸载荷的同时连续测量力和相应的伸长,直至把试样拉断为止,依据测出的拉伸曲线,求出相关的力学性能。

(1)拉伸曲线 材料的性质不同,拉伸曲线形状也不尽相同。图 1-4 为退火低碳钢的拉伸曲线,图中纵坐标表示力 F ,单位为 N ;横坐标表示绝对伸长 Δl ,单位为 mm 。以退火低碳钢拉伸曲线为例说明拉伸过程中几个变形阶段。

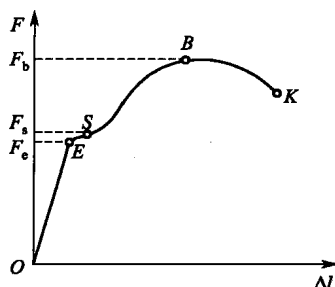


图 1-4 低碳钢的拉伸曲线

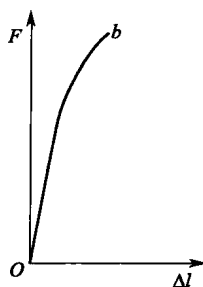


图 1-5 铸铁的拉伸曲线

①OE——弹性阶段 试样的伸长量与载荷成正比增加,此时若卸载,试样能完全恢复原状。 F_e 为能恢复原状的最大拉力。

②ES——屈服阶段 当载荷超过 F_e 时,试样除产生弹性变形外,开始出现塑性变形,此时若卸载,试样的伸长只能部分恢复。当载荷增加到 F_s 时,图形上出现平台,即载荷不增加,试样继续伸长,材料丧失了抵抗变形的能力,这种现象叫屈服。 F_s 称为屈服载荷。

③SB——均匀塑性变形阶段 载荷超过 F_s 后,试样开始产生明显塑性变形,伸长量随载荷增加而增大。 F_b 为试样拉伸试验的最大载荷。

④BK——缩颈阶段 载荷达到最大值 F_b 后,试样局部开始急剧缩小,出现“缩颈”现象,由于截面积减小,试样变形所需载荷也随之降低,K 点时试样发生断裂。

工程上使用的工程材料,并不是都有明显的四个阶段,对于脆性材料,弹性变形后马上发生断裂,如图 1-5 铸铁的拉伸曲线所示。

(2)强度指标 工程材料的强度是用应力来度量的,即材料受载荷作用后内部产生一个与载荷相平衡的内力,单位面积上的内力称为应力,用 σ 表示。常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。

①屈服强度 σ_s 材料产生屈服时的最小应力,单位为 MPa 。

$$\sigma_s = F_s / A_0$$

式中 F_s ——屈服时的最小载荷(N);

A_0 ——试样原始截面积(mm^2)。

对于无明显屈服现象的工程材料(如铸铁、高碳钢等),测定 σ_s 很困难,通常规定产生 0.2% 塑性变形时的应力作为条件屈服极限,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服极限表征金属发生明显塑性变形的抗力,因此它是机械设计的主要依据,也是评定工程材料优劣的重要指标,例如,机械零件在工作时如受力过大,会因过量变形而失效。

②抗拉强度 σ_b 材料在拉断前所承受的最大应力,单位为 MPa 。

$$\sigma_b = F_b / A_0$$

式中 F_b ——试样断裂前所承受的最大载荷(N);

A_0 ——试样原始截面积(mm^2)。

抗拉强度表示材料抵抗塑性变形的最大能力,也是设计机械零件和选材的主要依据。

2. 塑性

工程材料在载荷作用下产生塑性变形而不断裂的能力称为塑性,塑性指标也是通过拉伸试验测定的。常用塑性指标是断后伸长率和断面收缩率。

(1)断后伸长率 δ 拉伸试验试样拉断后,标距长度的相对伸长值,即

$$\delta = (l_K - l_0) / l_0 \times 100\%$$

式中 l_0 ——试样原始标距长度(mm);

l_K ——试样被拉断时标距长度(mm)。

必须注意,被测试样长度不同,测得的断后伸长率是不同的,长、短试样断后伸长率分别用符号 δ_{10} 和 δ_5 表示,通常 δ_{10} 也写为 δ 。

(2)断面收缩率 ψ 拉伸试样拉断后试样截面积的收缩率,即:

$$\psi = (A_0 - A_K) / A_0 \times 100\%$$

式中 A_0 ——试样原始的截面积(mm²);

A_K ——试样被拉断时缩颈处的最小面积(mm²)。

断面收缩率不受试样尺寸的影响,因此能更可靠的反映材料的塑性大小。

断后伸长率和断面收缩率数值愈大,表明材料的塑性愈好,良好的塑性对机械零件的加工和使用都具有重要意义。例如,塑性良好的材料易于进行压力加工(轧制、冲压、锻造等);如果过载,由于产生塑性变形而不致突然断裂,可以避免事故发生。

3. 硬度

硬度试验方法很多,大体上可分为压入法、刻画法和弹性回跳法等三大类,工程材料质量检验主要用压入法进行硬度试验。

压入法硬度值是表征材料表面局部体积内抵抗另一物体压入时变形的能力,它可间接反映出材料强度、疲劳强度等性能特点,试验操作简单,可直接在零件或工具上进行而不破坏工件。因此目前应用最为广泛的是布氏硬度试验、洛氏硬度试验和维氏硬度试验。

(1)布氏硬度试验法

①试验原理图 1-6 为布氏硬度试验原理图。它是用一定直径的淬火钢球或硬质合金钢做压头以相应试验力压入被测材料表面,经规定保持时间后卸载,以压痕单位面积上所受试验力的大小来确定被测材料的硬度值,用符号 HB 表示。

$$HB = F / S_K = 0.102 \times 2F / \pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

式中 F ——试验力(N);

S_K ——压痕表面积(mm²);

D ——球体直径(mm);

d ——压痕平均值(mm)。

从上式可看出,当外载荷(F),压头球体直径(D)一定时,布氏硬度值仅与压痕直径(d)有关。 d 越小,布氏硬度值越大,硬度愈高; d 越大,布氏硬度值越小,硬度越小。

②表示方法 表示布氏硬度值时应同时标出压头类型,当试验压头为淬硬钢球时,硬度符号为 HBS;当试验压头为硬质合金钢球时,硬度符号为 HBW。HBS 或 HBW 之前数字为硬度值,例如,120HBS,450HBW。

③应用范围 布氏硬度压痕面积较大,能较真实反映出材料的平均性能,而不受个别组成相和微小不均匀度的影响,具有较高的测量精度。布氏硬度计主要用来测量灰铸铁、有色金属

以及经退火、正火和调质处理的钢材等材料。HBS 适于测量布氏硬度值小于 450 的材料，HBW 适于测量硬度值小于 650 的材料。因压痕较大，布氏硬度不适宜检验薄件或成品。

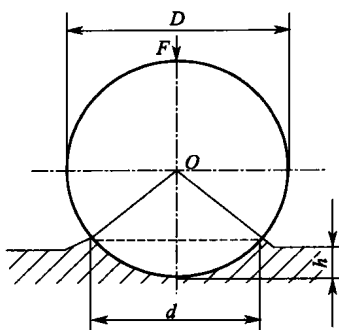


图 1-6 布氏硬度试验原理图

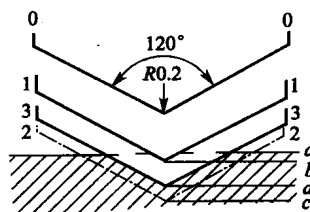


图 1-7 洛氏硬度试验原理图

(2) 洛氏硬度试验法

①试验原理 洛氏硬度试验是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球作为压头，试验时先施加初载荷，目的是使压头与试样表面接触良好，保证测量结果准确，然后施加主载荷，保持规定时间后卸除主载荷，依据压痕深度确定硬度值。

图 1-7 为洛氏硬度试验原理图。0-0 为 120° 金刚石压头没有与试样表面接触时的位置；1-1 为加初载后压头压入深度 ab ；2-2 为压头加主载后的位置，此时压头压入深度 ac ；卸除主载后，由于恢复弹性变形，压头位置提高到 3-3 位置。最后，压头受主载后实际压入表面的深度为 bd ，洛氏硬度用 bd 大小来衡量。

实际应用时洛氏硬度可直接从硬度计表盘上读出。压头端点每移动 0.002 mm，表盘上转过一小格，压头移动 bd 距离，指针应转 $bd/0.002$ 格，计算公式如下：

$$HR = K - bd/0.002$$

式中 K ——常数（金刚石作压头， $K=100$ ；钢球作压头， $K=130$ ）。

洛氏硬度计采用 A、B、C 三种标度对不同硬度材料进行试验，硬度分别用 HRA、HRB、HRC 表示。

②应用范围 洛氏硬度试验法操作简单迅速，能直接从刻度盘上读出硬度值；测试的硬度值范围较大，既可测定软的金属材料，也可测定最硬的金属材料；试样表面压痕较小，可直接测量成品或薄工件。但由于压痕小，对内部组织和硬度不均匀的材料，硬度波动较大，为提高测量精度，通常测定三个不同点取平均值。HRA 主要用于测量硬质合金、表面淬火钢等；HRB 主要用于测量软钢、退火钢、铜合金等；HRC 主要用于测量一般淬火钢件。

(3) 维氏硬度试验法

布氏硬度试验不适合测定硬度较高的金属。洛氏硬度试验虽可用来测定各种金属的硬度，但由于采用了不同的压头、总试验力和标尺，硬度值彼此没有联系，因此不能直接换算。为了从软到硬对各种金属进行连续一致的硬度，因而制定了维氏硬度试验法。

维氏硬度的测定原理与布氏硬度基本相似，如图 1-8 所示：将夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石作为压头，以选定的试验力（49.03～

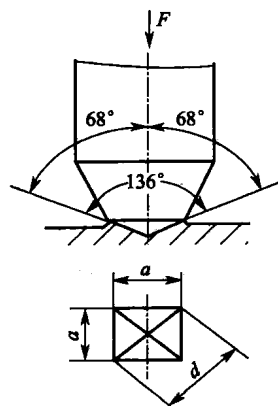


图 1-8 维氏硬度实验原理图

98.07 N)压入试样表面,经规定保持时间后,去除试验力,则试样表面上压出一个正四棱锥形的压痕,测量压痕两对角线的平均长度,计算硬度值。维氏硬度是用正四棱锥形压痕单位表面积上承受的平均压力表示硬度值的,用符号 HV 表示。维氏硬度的计算式为:

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中 F ——试验力(N);

d ——压痕两条对角线长度算术平均值(mm)。

试验时,用测微计测出压痕的对角线长度,算出两对角线长度的平均值后,经查表就可得出维氏硬度值。维氏硬度的测量范围在 5~1 000 HV。标注方法与布氏硬度相同,硬度数值写在符号的前面,试验条件写在符号的后面。对于钢及铸铁,当试验力保持时间为 10~15 s 时,可以不标出。

640HV30 表示:用 30 kgf(294.2 N)试验力保持 10~15 s 测定的维氏硬度值为 640。

640HV30/20 表示:用 30 kgf(294.2 N)试验力保持 20 s 测定的维氏硬度值为 640。

维氏硬度适用范围宽,从极软的材料到极硬的材料都可以测量。尤其适用于零件表面层硬度的测量,如化学热处理的渗层硬度测量,其结果精确可靠。但测取维氏硬度值时需要测量对角线长度,然后查表或计算,而且试样表面的质量要求高,所以,测量效率较低,没有洛氏硬度方便,不适用于大批测试;也不适合测量组织不均匀的材料(如灰铸铁)。

4. 韧性

强度、塑性、硬度等力学性能指标是在静态力作用下测定的。可是有些零件在工作过程中受到的是动态力,如锻锤的锤杆、冲床的冲头等,这些工件除要求强度、塑性、硬度外,还应有足够的韧性。韧性是指金属在断裂前吸收功变形能量的能力。动态力,特别是冲击载荷比静态力的破坏性要大得多。因此,需要制定冲击载荷下的性能指标,即冲击吸收功。为了测定金属的冲击吸收功,通常都采用夏比冲击试验。

(1) 夏比冲击试验

① 试验原理

夏比冲击试验是在摆锤式冲击试验机上进行的。试验时,将带有缺口的试样安放在试验机的机架上,使试样的缺口位于两固定支座中间,并背向摆锤的冲击方向。如图 1-9 所示。将一定质量的摆锤升高到 h_1 ,则摆锤具有势能 A_{KV1} (V 形缺口试样)。当摆锤落下将试样冲断后,摆锤继续向前升高到 h_2 ,此时摆锤的剩余势能为 A_{KV2} 。摆锤冲断试样所失去的势能 A_{KV} 是:

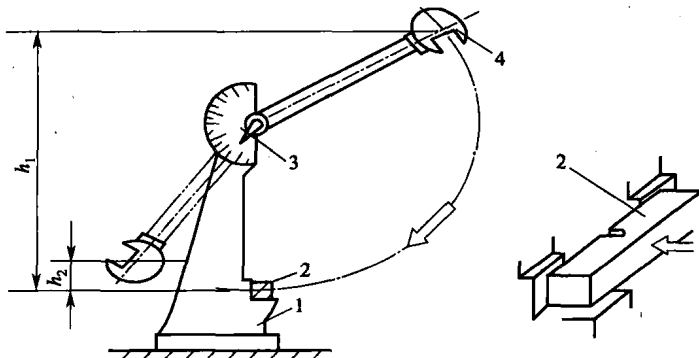


图 1-9 夏比冲击试验原理图

1—固定支座;2—带缺口的试样;3—指针;4—摆锤

$$A_{KV} = A_{KV1} - A_{KV2} (J)$$

规定形状和尺寸的试样在冲击试验力一次作用下折断时所吸收的功,称为冲击吸收功。 A_{KV} 可以从试验机的刻度盘上直接读出,是表征金属冲击韧性的主要判据。

显然,冲击吸收功 A_{KV} 愈大,表示金属抵抗冲击试验力而不破坏的能力就愈强。冲击吸收功是评定金属力学性能的重要判据。冲击吸收功对组织缺陷非常敏感,它可灵敏地反映金属质量、宏观缺口和显微组织的差异,能有效地检验工程材料在冶炼、加工、热处理工艺等方面的质量。

② 冲击试样

为了使试验结果不受其他因素影响,冲击试样要根据国家标准制作(图 1-10)。带 V 形缺口的试样,称为夏比 V 形缺口试样;带 U 形缺口的试样,称为夏比 U 形缺口试样。使用 U 形缺口试样进行冲击试验时,相应的冲击吸收功用符号 A_{KU} 表示。

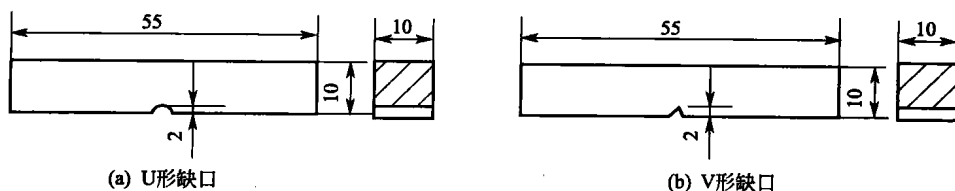


图 1-10 冲击试样

在试样上开缺口的作用是:在缺口附近造成应力集中,使塑性变形局限在缺口附近,并保证在缺口处发生破断,以便正确测定金属承受冲击载荷的能力。同一种金属的试样缺口愈深、愈尖锐,冲击吸收功愈小,金属表现脆性就愈显著。V 形缺口试样比 U 形缺口试样更容易冲断,因而其冲击韧度也较小。因此,不同类型的冲击试样,测定出的冲击吸收功不能直接比较。

③ 冲击吸收功—温度关系曲线

冲击吸收功与试验温度有关。有些金属在温室时并不显示脆性,而在较低温度下则可能发生脆断。冲击吸收功与温度之间的关系曲线如图 1-11 所示。对于具有低温脆性的金属,曲线上具有上平台区、过渡区和下平台区三部分。

在进行不同温度的一系列冲击试验时,随试验温度的降低,冲击吸收功总的变化趋势是随温度降低而降低的。当温度降至某一数值时,冲击吸收功急剧下降,金属由韧性断裂变为脆性断裂,这种现象称为冷脆转变。金属由韧性状态向脆性状态转变的温度称为韧脆转变温度。韧脆转变温度是衡量金属冷脆倾向的指标。金属的韧脆转变温度愈低,说明金属的低温抗冲击性能就愈好。非合金钢的韧脆转变温度约为 -20°C ,因此在较寒冷(低于 -20°C)地区使用的非合金钢构件,如:车辆、桥梁、运输管道等在冬天易发生脆断现象。在选择金属材料时,应考虑其工作条件的最低温度必须高于金属的韧脆转变温度。

(2) 多次冲击试验的概念

在实际工作中,金属经过一次冲击断裂的情况极少。许多零件在工作时都要经受小能量多次冲击。由于在一次冲击条件下测得的冲击吸收功值不能完全反映这些零件或金属的性能指标,因此提出了小能量多次冲击试验。

金属在多次冲击下的破坏过程是由裂纹产生、裂纹扩张和瞬时断裂三个阶段组成的,其破坏是每次冲击损伤积累发展的结果,不同于一次冲击的破坏过程。

多次冲击弯曲试验如图 1-12 所示。试验时将试样放在试验机支座上,使试样受到试验机