



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属熔化焊基础

◎ 陈梅春 主编



化学工业出版社
教材出版中心

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属熔化焊基础

主 编 陈梅春
责任主审 崔占全
审 稿 赵 品

化 学 工 业 出 版 社
教 材 出 版 中 心
· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

金属熔化焊基础/陈梅春主编. —北京:化学工业出版社,
2002.6
中等职业教育国家规划教材
ISBN 7-5025-3891-7

I. 金… II. 陈… III. 熔焊-专业学校-教材 IV. TG442

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 038747 号

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属熔化焊基础

主 编 陈梅春

责任主审 崔占全

审 稿 赵 品

责任编辑:高 钰 程树珍

责任校对:李 丽 崔世芳

封面设计:郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 字数 357 千字

2002 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 3 次印刷

ISBN 7-5025-3891-7/G·1045

定 价:23.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

前 言

本书是根据教育部颁布的中等职业学校焊接专业《金属熔化焊基础》课程教学大纲和中等职业学校的培养目标要求编写的,是适用于三年制中等职业学校焊接专业使用的国家规划教材。教学总时数为140学时,分理论知识基础模块和实践教学模块两部分,其中基础模块120学时,实践性模块20学时。

本教材在编写过程中,突出以能力为本,全面提高学生综合素质的指导思想,体现职教特色,与其他教材相比具有如下特点。

(1) 实用性 根据中等职业教育的特点,突出知识的实用性。结合初级、中级电焊工职业技能的要求及目前焊接生产的实际情况,在内容编写上做到实用、够用为原则。

(2) 新颖性 本教材是将金属学基础、金属材料与热处理、焊接材料及熔焊原理融为一体的焊接专业新教材,使之更体现出职业教育的特色,在内容安排上做到循序渐进,前后联系合理紧凑,每章开头有本章要点,末尾有实验、思考练习题,以便于指导教学和学生自学。

(3) 先进性 本教材采用了最新的国家标准,如合金工具钢 GB/T 1299—2000、优质碳素结构钢 GB/T 699—1999、熔敷金属中扩散氢测定方法 GB/T 3965—1995等,增加了新技术、新工艺、新材料、新标准、新方法的介绍,如计算机在热处理工艺中的应用、塑料模具钢、药芯焊丝、双层药皮焊条等。

(4) 实践性 教材中编入了实验内容,指导学生实验,提高实践操作应用能力。

(5) 通俗性 降低理论深度,删除了三元合金相图,减少有关冷裂纹形成机理和冷裂纹敏感性判断及晶面、晶向表示方法等理论性强、理解难度大的内容,语言上浅显易懂,理论上深入浅出。

(6) 广泛性 教材内容上从金属学与热处理基础、金属材料与焊接材料、焊接冶金与焊接缺陷及实验等方面都进行了广泛的论述,知识面较广,注意到了学生综合素质的提高,故也可作为机械类其他专业选修教材或作为职业培训教材使用,并供焊接、机械工程等工作人員参考,适用范围较广。

本教材由湖南岳阳工业技术学院陈梅春(绪论、第三章、第五章),安徽理工大学叶琦(第二章、第六章),河南省化工学校李凤银(第一章、第四章)等编写。陈梅春任主编,叶琦任副主编,广西石化高级技校雷俊担任主审。

编写中得到了化工职业教育行业指导委员会和兄弟院校有关同志的大力支持和协助,并引用了一些专家所编著的教材和著作中的大量资料,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中缺点或错误难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2002年2月

目 录

绪论	1
一、金属熔化焊的目的与意义	1
二、金属焊接的本质及熔化焊过程	1
三、本课程的基本内容	2
四、学习本课程的目标要求	2
五、学习本课程的方法	3
第一章 金属学基础	4
第一节 金属材料的力学性能	4
一、强度	4
二、塑性	6
三、硬度	7
四、冲击韧性	11
五、疲劳强度	12
第二节 金属的晶体结构	13
一、金属的晶格类型	13
二、金属的晶体结构缺陷	14
三、纯铁的同素异构转变	16
第三节 金属的结晶	17
一、金属结晶的过冷现象	17
二、金属的结晶过程	18
三、晶粒大小对力学性能的影响	18
第四节 合金的结构与结晶	19
一、合金的组织结构	19
二、二元合金相图及分析	21
第五节 铁碳合金相图	25
一、铁碳合金的相及组织	25
二、铁碳合金相图的分析	27
三、典型铁碳合金的结晶过程	30
四、Fe-Fe ₃ C 相图的应用	35
第六节 金属受力时结构和性能变化	39
一、单晶体与多晶体的塑性变形	39
二、冷塑性变形对金属组织结构的影响	41
三、冷塑性变形对金属性能的影响	41
四、冷塑性变形金属在加热时组织和性能的变化	42
实验一 金相试样制备及显微镜使用	44

实验二 铁碳合金组织观察	48
思考练习题	50
第二章 焊件热处理基础	53
第一节 钢在加热时的转变	53
一、奥氏体的形成过程	53
二、影响奥氏体形成的因素	54
三、奥氏体的晶粒度	54
四、影响奥氏体晶粒长大的因素	55
第二节 钢在冷却时的转变	55
一、过冷奥氏体的等温转变	56
二、过冷奥氏体的等温转变产物的组织和性能	57
三、过冷奥氏体的连续冷却转变	59
四、过冷奥氏体的等温转变曲线的应用	61
第三节 常用热处理方法	62
一、退火	62
二、正火	64
三、淬火	64
四、回火	68
五、表面热处理	70
六、热处理新技术简介	73
第四节 焊件热处理工艺的选择	75
一、热处理的技术条件	75
二、焊件热处理工艺的选择	77
实验三 钢的热处理操作	80
思考练习题	81
第三章 常用金属材料	83
第一节 碳钢	83
一、钢中常存元素	83
二、碳钢的分类	83
三、碳钢的牌号、性能及用途	84
第二节 合金钢	87
一、合金钢的分类和牌号	88
二、合金元素对钢组织和性能的影响	88
三、合金结构钢	89
四、合金工具钢和高速工具钢	95
五、特殊性能钢	98
第三节 铸铁	100
一、铸铁的分类和石墨化	100
二、灰铸铁	101
三、可锻铸铁	102

四、球墨铸铁·····	103
五、蠕墨铸铁·····	105
第四节 有色金属·····	106
一、铝及铝合金·····	106
二、铜及铜合金·····	110
三、钛及钛合金·····	112
思考练习题·····	114
第四章 焊接材料·····	115
第一节 焊条·····	115
一、焊条的组成及作用·····	115
二、焊条的分类、型号及牌号·····	119
三、焊条的工艺性能·····	125
四、焊条的选用、使用及制造·····	127
五、焊条的发展现状·····	131
第二节 焊丝·····	133
一、焊丝的分类·····	133
二、焊丝的牌号·····	133
三、实芯焊丝·····	134
四、药芯焊丝·····	134
第三节 焊剂·····	136
一、焊剂的分类·····	136
二、焊剂的型号和牌号·····	137
三、焊剂的组成与性能·····	141
四、焊剂的选用·····	142
五、焊剂发展的现状·····	143
第四节 焊接用气体·····	144
一、焊接用气体的物理和化学性质·····	144
二、焊接用气体的类型及用途·····	146
第五节 钎料与钎剂·····	147
一、钎料的分类·····	147
二、钎料的编号·····	148
三、钎焊对钎料的要求·····	148
四、钎剂的种类、型号和牌号·····	149
五、常用钎剂的性能和用途·····	151
第六节 其他焊接材料·····	152
一、钨极的种类与性能·····	152
二、气焊熔剂·····	152
三、其他焊接材料·····	153
思考练习题·····	154
第五章 焊接冶金基础·····	155

第一节 焊接热过程	155
一、常用焊接热源及传热基本方式	155
二、焊接温度场	156
三、焊接热循环	159
第二节 焊接冶金的特点	162
一、焊接时金属的保护	163
二、焊接冶金的特点	163
三、焊接冶金各反应区的特点	164
第三节 焊缝金属的组成	165
一、焊条的熔化及过渡	165
二、母材的熔化及熔池	167
三、母材金属的稀释	168
四、焊接熔渣	168
第四节 有害元素对焊缝金属的作用	169
一、氢对焊缝金属的作用	170
二、氮对焊缝金属的作用	172
三、氧与焊缝金属的作用	172
四、焊缝中硫、磷的控制	176
五、焊缝金属的合金化	177
第五节 焊缝金属的组织与性能	179
一、焊缝金属的一次结晶	179
二、焊缝金属的固态相变	179
三、焊缝金属的化学不均匀性	180
第六节 焊接热影响区	181
一、熔合区的组织与性能	181
二、焊接热影响区加热时的组织转变	181
三、焊接热影响区冷却过程的组织转变	182
四、焊接热影响区的组织与性能	183
第七节 焊接接头组织和性能的调整与改善	184
一、焊接接头的特点	184
二、影响焊接接头组织和性能的因素	185
三、焊接接头组织和性能的调整与改善	185
实验四 焊条熔化系数、熔敷系数的测定	186
实验五 熔敷金属扩散氢测量	188
实验六 焊接接头金相组织观察	193
思考练习题	194
第六章 焊接缺陷的产生及防止	195
第一节 焊接缺陷的种类及特征	195
一、焊接缺陷的类型	195
二、常见焊接缺陷的特征及危害	196

第二节 焊缝中的气孔与夹杂物·····	198
一、焊缝中的气孔·····	198
二、焊缝中的夹杂物·····	205
第三节 焊接结晶裂纹·····	206
一、结晶裂纹的特征·····	206
二、结晶裂纹产生的原因·····	207
三、影响结晶裂纹产生的因素·····	207
四、防止结晶裂纹的措施·····	210
第四节 焊接冷裂纹·····	212
一、焊接冷裂纹的类型·····	213
二、焊接冷裂纹产生的原因·····	213
三、防止焊接冷裂纹的措施·····	216
第五节 其他焊接缺陷·····	218
一、咬边·····	218
二、焊瘤·····	218
三、凹坑与弧坑·····	218
四、未焊透与未熔合·····	219
五、塌陷与烧穿·····	219
六、夹渣·····	220
七、焊缝尺寸与形状不符合要求·····	221
思考练习题·····	221
参考文献·····	223

绪 论

焊接是现代工业中用来制造和修理各种金属结构和机械零部件的主要方法之一。随着科学技术的不断发展和焊接质量的不断提高,焊接技术广泛用于机械制造、石油化工、电力、航空航天、原子能、海洋开发、电子技术等工业部门,成为现代工业的共性技术和加工方法。

焊接的主要对象是金属材料,据工业化国家统计数字表明,钢产量的45%以上要经过焊接加工。而熔化焊(熔焊)是目前焊接领域中最主要和最广泛的方法。金属熔化焊基础是融金属材料与热处理、熔焊原理等为一体的焊接专业的必修课程。对于从事焊接加工生产一线工作的高素质应用型人才,了解金属材料与热处理、焊接材料、焊接冶金及焊接缺陷的产生与防止等基本知识,无论是对后续专业课的学习,还是对今后从事的焊接技术工作都有着非常重要的作用。

一、金属熔化焊的目的与意义

焊接的加工对象不仅有各种各样的金属材料,也有塑料、陶瓷等非金属材料,但应用最多的是各种金属材料的焊接,故本书论述金属熔化焊的基本知识。

金属熔化焊的目的是将分离的两个金属零件通过加热熔化形成永久的接头,并且具有符合使用要求的各种性能。熔化焊过程中,因被焊金属(也称“母材”)和填充金属发生加热熔化,必然会产生一系列的冶金和热应力作用,从而可能产生裂纹、气孔、夹杂等焊接缺陷,使焊接接头的力学性能和理化性能等达不到使用要求。焊接接头的性能质量不仅与母材和填充金属有关,而且与熔焊中的物理化学反应或冶金反应有关。如手弧焊时,对于不同的母材,例如钢和铜,因材料不同,所用焊条不同,焊接接头性能不同。如果母材相同,但所选用的焊条药皮类型不同,得到的接头性能也不同。即使母材和焊条完全相同,如果焊接工艺条件不同,所获焊接接头的性能质量也不相同。因此,要掌握和应用金属的焊接技术,必须了解金属材料和热处理的基本知识,掌握焊接材料的特点与选用,懂得熔焊过程中的冶金基本规律,理解焊接缺陷产生的原因及防止措施。

二、金属焊接的本质及熔化焊过程

焊接就是通过加热或加压,或两者并用,并且用或不用填充材料,使工件达到结合的一种方法。

在机械制造工业中,使两个或两个以上金属零件连接在一起的方法有螺栓连接、铆钉连接和焊接等,见图0-1。前两种是可拆连接,而焊接是不可拆卸的永久性连接。由此可知,金属焊接与其他连接方法不同,金属焊接的本质就是通过焊接使两个分离的金属工件达到原子结合而形成一个整体。为了达到原子结合,焊接时必须对焊接区采用加热、加压或两者并用的方法。

根据焊接过程中金属所处的状态不同,可以把焊接方法分为熔焊、压焊和钎焊三大类。熔焊是在焊接过程中,将焊件加热到熔化状态,不加压力完成的焊接方法。压焊是在焊接过程中,必须对焊件施加压力(加热或不加热),以完成焊接的方法。钎焊是采用比母材熔点低的金属材料(钎料)作为连接媒介,利用钎料与母材间的扩散将两个被焊工件连接在一起

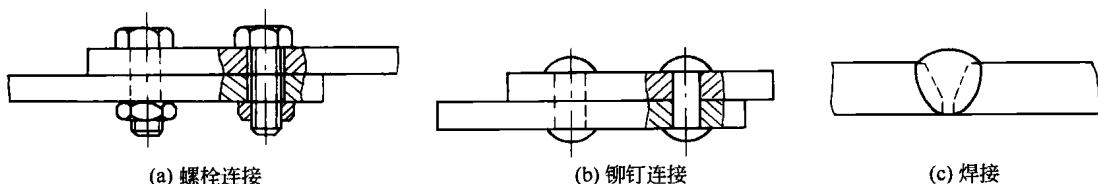


图 0-1 几种常用连接形式

的焊接方法。目前焊接生产中主要以熔焊为主。

熔焊时，焊接热源将焊接处的母材及填充金属加热熔化形成熔池 [图 0-2 (a) 的细实线部分]。熔池金属与周围的高温固体母材金属紧密接触，且充分浸润，待焊接热源离开，温度降低，液态的熔池金属冷却凝固，形成同母材金属长合一起的联生结晶，成为原子结合的接头 [图 0-2 (b)]。



图 0-2 熔焊接头示意图

金属熔化焊的方法很多，主要有气焊、手弧焊、埋弧焊、气体保护焊、等离子弧焊及电渣焊等。

三、本课程的基本内容

本课程是根据教育部中等职业学校三年制焊接专业《金属熔化焊基础》教学大纲编写的，其主要内容为：

- (1) 金属学和焊件热处理基础知识；
- (2) 常用金属材料 and 焊接材料的分类、牌号、型号、性能和用途；
- (3) 焊接冶金基本知识；
- (4) 焊接缺陷的产生原因与防止措施。

四、学习本课程的目标要求

本课程是中等职业学校焊接专业的一门主干课程，通过学习，要求达到如下目标。

1. 知识目标

- (1) 了解金属与合金结晶的基本理论，金属晶体结构和塑性变形与再结晶的基本知识。
- (2) 了解常用金属材料的成分，组织结构与性能之间的关系。
- (3) 理解金属热处理原理与方法。
- (4) 理解焊缝形成过程中成分、组织变化的规律。
- (5) 理解热影响区金属组织和性能变化的基本规律。
- (6) 了解熔化焊过程的基本规律、焊接冶金特点。
- (7) 理解金属熔化焊过程中常见缺陷产生原因及控制方法。
- (8) 掌握焊接材料的特点，选用原则及焊条制造过程。

2. 能力目标

- (1) 初步具备金相显微分析，鉴别钢和铸铁金相组织能力。
- (2) 能借助手册等工具正确选用、合理使用金属材料及热处理方法。

- (3) 初步具备根据生产实际条件分析常见焊接缺陷产生的原因及提出防止措施的能力。
- (4) 能正确选用和使用焊条。能借助焊接手册正确选用和使用焊丝、焊剂等焊接材料。
- (5) 具有一定的实验操作技能和正确分析实验结果的能力。

五、学习本课程的方法

本课程内容与生产实际紧密相连，学习中应掌握以下方法：

- (1) 注意理论联系实际，培养分析问题和解决问题的能力；
- (2) 注意前后知识的融会贯通和相关知识的运用；
- (3) 学习中要学会分析、归纳、总结的方法，提高自学能力；
- (4) 积极参加各种实习和生产实践活动，仔细观察，积极思考；
- (5) 重在知识的应用，防止过多过深的理论探讨和追求理论完整性。

第一章 金属学基础

【本章要点】金属材料力学性能的定义、计算及测定，金属晶体结构与缺陷的类型及同素异构转变，合金组织结构与结晶。铁碳合金的组织与相图分析、应用，金属受力时组织与性能的变化。

第一节 金属材料的力学性能

在焊接结构的设计、制造中选用金属材料时，常以力学性能为主要依据，因此熟悉和掌握金属材料的力学性能是十分重要的。

力学性能是指金属材料在外力作用时表现出来的性能。力学性能通常包括强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同，它可以分为静载荷、冲击载荷及疲劳载荷等三种。

静载荷是指外力大小和方向不变或变动很慢的载荷。

冲击载荷是在短时间内以较高速度作用于零件上的载荷。

疲劳载荷是指所经受的周期性或非周期性的动载荷（也称循环载荷）。

金属材料受不同载荷作用而发生的几何形状和尺寸的变化称为变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形。弹性变形是指在外力作用下产生变形，当外力去除后，变形也随之消失；其变形大小与外力成正比。塑性变形是指在外力去除后仍能保留下来的永久变形。

金属受外力作用后，为保持其不变形，在材料内部作用着与外力相对抗的力称为内力。单位截面积上的内力称为应力。金属受拉伸载荷或压缩载荷作用时其横截面积上的应力 σ 按下式计算

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1-1)$$

式中 σ ——应力，Pa^①；

F ——外力，N；

S ——横截面积，m²。

一、强度

强度是材料抵抗外力产生塑性变形或断裂的能力。材料的强度可用它承受载荷时的应力值来表示。

根据载荷作用方式不同，强度可分为抗拉强度 σ_b 、抗压强度 σ_{bc} 、抗弯强度 σ_{bb} 、抗剪强度 τ_b 和抗扭强度 τ_t 等五种。一般情况下多以抗拉强度作为判别材料强度高低的指标。

金属材料的强度和塑性指标可以通过拉伸实验来测定。拉伸实验的方法是将拉伸试样装夹在拉伸试验机上，缓慢加载，试样受力后，开始变形伸长，并随拉力的增加变形量增大，

① 应力单位为 Pa，1Pa=1N/m²。当面积用 mm² 时，则应力可用 MPa 为单位。1MPa=1N/mm²=10⁶Pa。

直至拉断为止。然后根据测得的数据，即可求出有关的力学性能。

1. 拉伸试样

国家标准 (GB 228—87) 对拉伸试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。图 1-1 所示为圆形拉伸试样。图中 d_0 为试样直径， l_0 为试样标距长度。根据标距长度与直径之间的关系，试样可分为长试样 ($l_0 = 10 d_0$) 和短试样 ($l_0 = 5 d_0$) 两种。

2. 力-伸长曲线

在拉伸实验过程中，实验机自动记录载荷与伸长量之间的关系，并得出以载荷为纵坐标，伸长量为横坐标的图形曲线叫做力-伸长曲线，也称拉伸图。图 1-2 是低碳钢的力-伸长曲线。由该图可见，低碳钢试样在拉伸过程中，其载荷与伸长量的关系明显地表现出以下几个变形阶段。

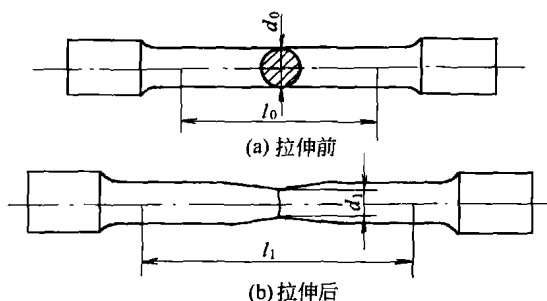


图 1-1 圆形拉伸试样

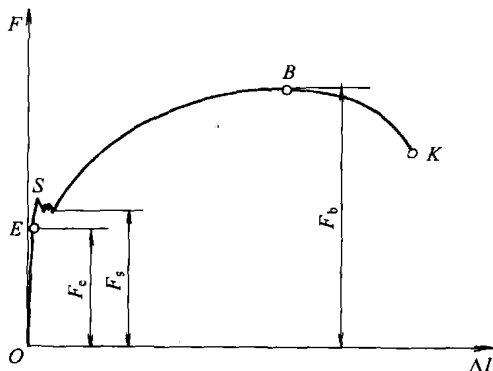


图 1-2 低碳钢的力-伸长曲线

OE——弹性变形阶段，这时由于载荷 F 不超过 F_e ，外力与变形成正比，试样只产生弹性变形。当外力去除后，试样恢复到原来的长度。 F_e 为能恢复原始形状和尺寸的最大拉伸力。

ES——屈服阶段，当载荷超过 F_e 时，试样除发生弹性变形外，还产生部分塑性变形。此时若卸载的话，试样不能恢复到原有的长度，而保留一部分残余变形。当外力达到 F_s 值时，图上出现一个平台（或锯齿状），这种在载荷不增加或略有减少的情况下，试样继续发生变形的现象叫做屈服。 F_s 称为屈服载荷。

SB——强化阶段，当载荷超过 F_s 后，试样的伸长量与载荷又将成曲线关系上升，但曲线的斜率比 OE 段小。即载荷的增加量不大，而试样的伸长量却很大，表明当载荷超过 F_s 后，试样开始产生大量的塑性变形。在此阶段，由于变形抗力增加，欲继续变形，必须不断增加载荷，这种现象称为“形变强化”。 F_b 为试样拉伸实验时的最大载荷。

BK——缩颈阶段（局部塑性变形阶段），当载荷达到最大值 F_b 时，试样的局部截面缩小，这种现象称为“缩颈”。由于试样局部截面的逐渐减小，故载荷也逐渐降低，当达到曲线上的 K 点时，试样被拉断。

3. 强度指标

工程上最常用的强度指标是屈服强度和抗拉强度。

(1) 屈服强度（屈服点） 材料产生屈服时的最小应力值叫屈服点（屈服强度），用符号 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 σ_s ——屈服强度, MPa;
 F_s ——试样产生屈服现象时的最小载荷, N;
 S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

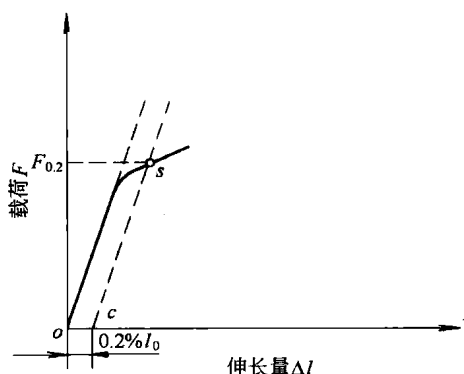


图 1-3 $\sigma_{0.2}$ 的测定示意图

在金属材料中, 除低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服现象外; 大多数金属材料, 如高碳钢、合金钢、铸铁等, 在拉伸过程中, 是没有明显屈服现象的。国家标准 (GB 228—87) 规定, 以试样塑性伸长量为试样标距长度 0.2% 时, 材料承受的应力称为“屈服强度”, 并以符号 $\sigma_{0.2}$ 表示, 其测定如图 1-3 所示。

(2) 抗拉强度 材料在断裂前所能承受的最大应力称为抗拉强度, 用符号 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-3)$$

式中 σ_b ——抗拉强度, MPa;
 F_b ——试样断裂前所承受的最大载荷, N;
 S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

屈服强度和抗拉强度都是设计和选材的依据, 也是材料的主要力学性能指标。如果零件在工作时只要发生少量的塑性变形, 就会引起传动精度降低或影响其他零件的相对运动, 则必须以 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 来计算; 如果只要求零件在工作时不发生断裂, 就以 σ_b 来计算。

二、塑性

材料在载荷作用下, 产生永久变形而不断裂的能力叫塑性。工程上常用伸长率和断面收缩率作为材料的塑性指标。

1. 伸长率

试样拉断后, 标距的伸长量与原始标距的百分比称为伸长率, 用符号 δ 表示。其计算方法如下

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 δ ——伸长率, %;
 l_1 ——试样拉断后的标距, mm;
 l_0 ——试样的原始标距, mm。

应当指出, 同一材料的试样长短不同, 测得的伸长率是不同的。长短试样的伸长率分别用符号 δ_{10} 和 δ_5 表示。对于同一种材料, 用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, 应采用同样尺寸规格的试样。习惯上 δ_{10} 也常写成 δ 。

2. 断面收缩率

试样拉断后, 缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比为断面收缩率, 用符号 ψ 表示。其计算方法如下

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 ψ ——断面收缩率, %;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 ;

S_1 ——试样拉断处的最小横截面积, mm^2 。

伸长率和断面收缩率数值越大, 表示材料的塑性越好。塑性好的材料可以产生大量的塑性变形而不被破坏, 便于通过塑性变形加工成形状复杂的零件。例如, 工业纯铁的 δ 可达 50%, ψ 可达 80%, 可以拉成细丝, 轧制薄板等。而铸铁的 δ 和 ψ 几乎为零, 所以不适合进行塑性变形加工, 而采用铸造。塑性好的材料制成构件或零件, 一旦超载产生塑性变形, 有预告作用, 以避免突然断裂的危险。

下面举例说明强度、塑性的计算方法。

【例】有一个直径 $d_0=10\text{mm}$ 的低碳钢圆形短试样, 拉伸实验时测得 $F_s=21\text{kN}$, $F_b=34\text{kN}$, $d_1=6\text{mm}$, $l_1=65\text{mm}$ 。求此试样的 σ_s 、 σ_b 、 δ_s 、 ψ 。

解: (1) 计算 S_0 、 S_1

$$S_0 = (\pi d_0^2)/4 = (3.14 \times 10^2)/4 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$S_1 = (\pi d_1^2)/4 = (3.14 \times 6^2)/4 = 28.3 \text{ mm}^2$$

(2) 计算 σ_s 、 σ_b

$$\sigma_s = F_s / S_0 = 21000 / 78.5 = 267.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = F_b / S_0 = 34000 / 78.5 = 433.1 \text{ N/mm}^2$$

(3) 计算 δ_s 、 ψ

短试样 $l_0 = 5d_0 = 5 \times 10 = 50 \text{ mm}$

$$\delta_s = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{65 - 50}{50} \times 100\% = 30\%$$

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% = \frac{78.5 - 28.3}{78.5} \times 100\% = 64\%$$

三、硬度

硬度是指材料抵抗局部变形 (特别是塑性变形)、压痕或划痕的能力。通常, 材料的硬度越高, 耐磨性能越好, 故常将硬度值作为衡量材料耐磨性能的重要指标之一。

硬度的测定常用压入法。把规定的压头压入金属材料的表面层, 然后根据压痕的面积或深度确定其硬度值。常用的硬度测定方法有布氏硬度 (主要用于原材料检验)、洛氏硬度 (主要用于热处理后的产品检验) 和维氏硬度 (主要用于薄板材料及材料表层的硬度测定)。

(一) 布氏硬度

1. 测试原理

图 1-4 为布氏硬度测试原理。它是用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球, 以相应的实验力压入试样表面, 保持规定的时间后, 卸除载荷, 用读数放大镜测量其球面压痕直径 d 。根据压痕直径 d 计算出压痕凹印表面积。单位凹印表面积上所承受的平均压力即为布氏硬度值。用淬火钢球作压头时, 布氏硬度用符号 HBS 表示; 用硬质合金球作压头时, 布氏硬度用符号 HBW 表示。

$$\text{HBS(或 HBW)} = \frac{F}{S_{\text{凹}}} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-6)$$

式中 HBS(或 HBW)——用淬火钢球 (或硬质合金

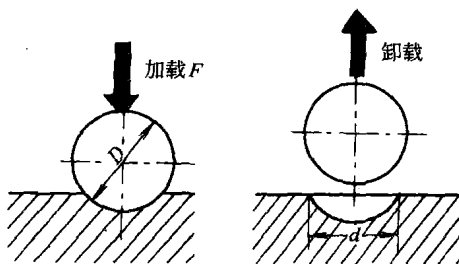


图 1-4 布氏硬度测试原理