



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

金属熔焊基础

(焊接专业)

第2版

赵 枫 英若采 主编



机械工业出版社



赠电子教案
www.cmpedu.com

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

金属熔焊基础

(焊接专业)

第2版

主 编 赵 枫 英若采
参 编 赵 辉 刘 宇 刘东虹 胥 俊



机械工业出版社

本书是中等职业教育焊接专业国家规划教材,根据教育部面向 21 世纪中等职业学校焊接专业的主干课程“金属熔焊基础”教学大纲要求,在第 1 版的基础上修订编写而成。

全书内容共分六章,前三章为金属材料基础知识,主要介绍了金属材料的性能,金属的结构、组织,钢的热处理基础,常用金属材料等,增强了焊接常用的工程结构用钢内容。后三章主要对熔焊热过程的特点,焊缝冶金与结晶过程及组织性能变化规律作了较系统的论述,同时较详细地介绍了焊接材料的种类及选用,并分析了焊接缺陷的形成原因与防止措施,内容针对性强,重点突出。

全书修订后,内容安排注重介绍焊接成熟性理论知识,并注意与实践相结合,因此突出了学习重点。每章后均有小结和习题,以便掌握所学知识。为便于教学,本书另配备了电子教案和习题答案,选择本书作为教材的教师可来电索取(010-88379201),或登录 www.cmpedu.com 注册免费下载。

本书主要作为中等职业学校焊接专业的专业课教材,也可作为焊接技工及初、中级技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属熔焊基础/赵枫,英若采主编.—2 版.—北京:机械工业出版社,2010.4

中等职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-111-30435-7

I. ①金… II. ①赵… ②英… III. ①熔焊—专业学校—教材
IV. ①TG442

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 070396 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:齐志刚 责任编辑:齐志刚

版式设计:霍永明 责任校对:纪敬

责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2010 年 7 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13.75 印张·334 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-30435-7

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

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

第2版前言

本书是经中等职业教育教材委员会审定，依据“教育部关于制定《2004—2007年职业教育教材开发编写计划》的通知”等文件的精神，在第1版的基础上修订而成。

此次修订保留了原教材的编写特点，即本书是由“金属材料及热处理”和“熔焊原理”两大部分技术基础理论组成。包括六个章节的内容。在修订本书时主要进行的工作有：

1) 注意使“金属材料”部分与“熔焊原理”部分的知识衔接和呼应，保证前后内容及专业体系的完整性。

2) 根据中等职业教育的特点和要求，教材的理论部分论述更简明，突出应用的特点，删去了较深的理论。

3) 在金属学基础的内容中完善了“金属的性能”一节，使学生对金属材料的性能有一个全面的了解。

4) 常用金属材料部分增加了“焊接中常见的工程构件用钢”内容。

5) 精减了“焊接冶金基础”的内容，注意介绍成熟的基础理论，减少了不必要的探讨和推导，使论述更清楚、明了。

6) 注意加强焊接材料内容的更新，并增加了“焊接气体”一节内容。

7) 每章后面都增加了小结，并对习题内容重新编写，加强学生对知识的理解和增加学生对学习的兴趣。

本书由赵枫、英若采主编，赵辉修订、编写第三章、第六章，刘宇修订、编写第四章，刘东虹修订、编写第五章，胥俊修订、编写第二章，其余由赵枫修订、编写。全书最后由赵枫整理定稿。

本书是在第1版的基础上修订，对于原作者的前期大量工作，编者向他们表示深切的谢意。

限于编者的水平，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

第 1 版前言

本教材为《面向 21 世纪中等职业教育国家规划教材》之一。根据国家教育部职教司 2001 年颁布的中等职业学校焊接专业“金属熔化焊基础”课程教学大纲编写。

《金属熔化焊基础》是中等职业学校焊接专业一门重要的专业课教材。其任务是使学生在具备一定的基础知识和操作技能的基础上,掌握培养目标所必备的专业基础理论,并为学好后续课程打下基础。根据中等职业教育培养中、初级专门人才的目标,适当考虑毕业生在日后工作中进一步提高的需要,教材内容以培养学生分析和解决生产中实际问题的能力为中心,在体系与内容安排上,打破原中专课程体系,将原来涉及二三门课程的内容有机结合在一起。这样不仅可以在很大程度上克服过去由于强调学科完整性而造成的理论过多、过深的弊端,以减轻学生在负担,而且也有利于淡化中专与职业高中培养对象的差异,淡化技术人员和操作人员的界限。

全书共分六章,第一章介绍金属学的基础知识;第二章介绍热处理工艺及基本理论;第三章介绍工业中常用的金属材料;第四章介绍金属在熔化焊过程中成分、组织及性能变化的规律;第五章介绍常用的焊接材料;第六章介绍生产中常见焊接缺陷的产生与防止。

本书由四川工程职业技术学院英若采、杨智民编写。其中第一、二、三章由杨智民编写,其余部分由英若采编写。由英若采担任主编,经董芳审阅。

本书由燕山大学崔占全教授担任责任主审,由崔占全、赵品老师审稿。他们在审稿中对书中内容及体系提出很多中肯的宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

在编写中,四川工程职业技术学院有关领导及焊接实验室在人力、物力上给予了大力支持,对此亦表示感谢。

由于编者水平有限,书中缺点与错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

中等职业教育国家规划教材出版说明

第2版前言

第1版前言

绪论	1
一、焊接与熔焊	1
二、熔焊的特点	2
三、焊接技术发展简况	2
四、本教材的主要内容	3
五、本课程教学目的与学习方法	3
第一章 金属学基础	5
第一节 金属材料的性能	5
一、金属的力学性能	5
二、金属的物理性能	11
三、金属的化学性能	13
第二节 金属的晶体结构	13
一、金属的特性	13
二、晶格与晶胞	14
三、常见金属的晶体结构类型	15
四、金属的实际晶体结构与晶体缺陷	15
五、金属的同素异构转变	17
第三节 金属的结晶	17
一、结晶的概念	17
二、金属的结晶过程	18
三、晶核形成与晶粒长大	18
四、控制晶粒大小的措施	18
五、铸锭的结晶结构	19
第四节 合金的结构与结晶	20
一、基本概念	20
二、合金的晶体结构	21
三、合金的结晶特点	23
第五节 铁碳合金相图	23
一、铁碳合金的组元和基本组织	23
二、铁碳合金相图	25

三、铁碳合金分类及平衡组织	27
四、铁碳合金对组织和性能的影响	27
五、铁碳合金相图的应用	28
第六节 金属受力时结构和性能的变化	29
一、金属的塑性变形	29
二、冷变形金属在加热时组织与性能的变化	30
三、金属的热加工与冷加工	31
本章小结	31
习题与思考题	32
(实验一) 显微试样的制备实训	33
(实验二) 铁碳合金组织观察	33
第二章 钢的热处理基础	35
第一节 概述	35
一、热处理在金属制造业中的作用	35
二、热处理的实质及分类	35
第二节 钢在加热时的组织转变	36
一、奥氏体的形成与长大	36
二、奥氏体晶粒的大小及控制措施	37
第三节 钢在冷却时的组织转变	38
一、过冷奥氏体的等温转变	38
二、过冷奥氏体的连续冷却转变	43
第四节 退火与正火	46
一、钢的退火	46
二、钢的正火	48
第五节 淬火与回火	48
一、淬火	48
二、淬火钢的回火	52
第六节 钢的表面热处理	53
一、表面淬火	53
二、化学热处理	54
本章小结	55
习题与思考题	56

(实验) 钢的热处理实训	56	三、焊接化学冶金反应区的主要反应	113
第三章 常用金属材料	58	四、焊接参数的变化对焊接化学冶金的影响	114
第一节 钢铁材料概述	58	第四节 焊接熔渣	115
一、非合金钢	58	一、熔渣的作用	115
二、合金钢	59	二、熔渣的分类	115
三、钢的分类及编号	64	三、熔渣的碱度	115
第二节 工程结构用钢	67	四、熔渣的物理性能	116
一、碳素结构钢	68	第五节 有害元素对焊缝金属的作用及其控制	117
二、低合金结构钢	73	一、氢对焊缝金属的作用及其控制	117
第三节 机器零件用钢及工模具用钢	78	二、氮对焊缝金属的作用及其控制	119
一、机器零件用钢	78	三、氧的作用与焊缝金属的脱氧	120
二、工模具用钢	82	四、焊缝金属中硫、磷的危害及控制	125
第四节 铸铁	85	第六节 焊缝金属的合金化	127
一、铸铁的组织与性能特点	85	一、焊缝金属合金化的目的	127
二、铸铁的分类	85	二、焊缝金属合金化的方式	127
三、铸铁的石墨化及其影响因素	86	三、合金元素的过渡系数及其影响因素	127
四、灰铸铁	88	第七节 焊缝的组织与性能	130
五、球墨铸铁	89	一、焊缝金属的结晶	130
第五节 非铁金属	90	二、焊缝金属的偏析	131
一、铝及铝合金	91	三、焊缝金属的固态相变组织和性能	133
二、铜及铜合金	94	四、改善焊缝组织与性能的途径	134
三、钛及钛合金	96	第八节 焊接热影响区	135
本章小结	98	一、焊接热影响区的组织	136
习题与思考题	98	二、焊接热影响区力学性能变化及改善	138
第四章 焊接冶金基础	101	本章小结	141
第一节 焊接热过程	101	习题与思考题	141
一、焊接热源	101	(实验一) 焊条熔化系数与熔敷系数的测定	142
二、焊接温度场	102	(实验二) 熔敷金属扩散氢的测定	143
三、影响焊接温度场的因素	102	(实验三) 焊接接头金相组织观察	144
四、焊接热循环	105	第五章 焊接材料	146
五、焊接热过程在生产中的应用	106	第一节 焊条	146
第二节 焊缝金属的构成	107		
一、焊条的加热与熔化	107		
二、母材的熔化与熔池	109		
三、焊缝金属的熔合比	110		
第三节 焊接化学冶金的特点	112		
一、焊接化学冶金过程的特点	112		
二、焊接时对焊接区的保护	112		

一、焊条的分类	146
二、焊条的型号与牌号	148
三、焊芯	150
四、焊条药皮	151
五、焊条的工艺性能	155
六、焊条的冶金性能	157
七、焊条的选用原则	159
八、焊条的使用及保管	161
第二节 焊丝	162
一、焊丝分类	162
二、实芯焊丝	162
三、药芯焊丝	165
第三节 焊剂	168
一、焊剂的作用及其要求	168
二、焊剂的分类	169
三、焊剂的型号与牌号	170
四、常用焊剂的性能及用途和焊丝的 选用	173
第四节 焊接用气体	175
一、常用焊接气体的性质及技术要求	176
二、焊接用气体的选择与使用	178
第五节 焊接材料的历史与发展	180
一、我国焊接材料发展及现状	180
二、我国焊接材料发展的特点	180
三、今后我国焊接材料的发展趋向	181
本章小结	182
习题与思考题	182

第六章 焊接冶金缺陷的产生与防止

.....	184
第一节 焊接缺陷的种类	184
一、焊接工艺缺陷	184
二、气孔的分类及特征	186
三、固体夹杂的分类及特征	186
四、焊接裂纹	187
第二节 气孔与夹杂	188
一、气孔产生的原因	188
二、影响气孔形成的因素	190
三、防止气孔产生的措施	192
四、焊缝中的夹杂物	192
第三节 结晶裂纹	193
一、结晶裂纹的特征	193
二、结晶裂纹形成的原因	194
三、影响结晶裂纹形成的因素	194
四、防止结晶裂纹产生的措施	195
第四节 焊接冷裂纹	197
一、冷裂纹的特征	197
二、形成冷裂纹的基本因素及其影响 因素	199
三、防止冷裂纹产生的措施	199
第五节 其他焊接裂纹	200
一、高温液化裂纹	200
二、再热裂纹	202
三、层状撕裂	203
本章小结	205
习题与思考题	205
参考文献	207

绪 论

材料是人类社会发展的物质基础，材料科学的发展代表着科学技术的发展，而焊接技术的进步是与材料的发展密切相关的。大部分金属材料，尤其工程结构材料的焊接性要求是一项重要的工艺性能指标。

焊接是现代化工业生产中金属加工的主要方法之一。其广泛应用于机械制造、建筑、电力、造船、航空（天）、核能等各个工业部门，尤其在机车车辆、石油化工机械、工业设备、船舶、压力容器、管道等制造业中占有重要地位。

一、焊接与熔焊

焊接是通过加热或加压，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。根据焊接时加热的程度以及是否加压，可将焊接分为熔焊、压焊、钎焊三大类（图 0-1）。焊接时，将待焊处的母材金属熔化以形成焊缝的焊接方法叫做熔焊；焊接过程中，必须对焊件施加压力（加热或不加热）以完成焊接的方法叫做压焊；采用熔点比母材熔点低的金属材料作钎料，将焊件与钎料加热到高于钎料熔点，低于母材熔化温度，利用液体钎料润湿母材，填充接头间隙，并与母材相互扩散实现连接的方法叫做钎焊。本教材的内容就是介绍与熔焊相关的基础知识。

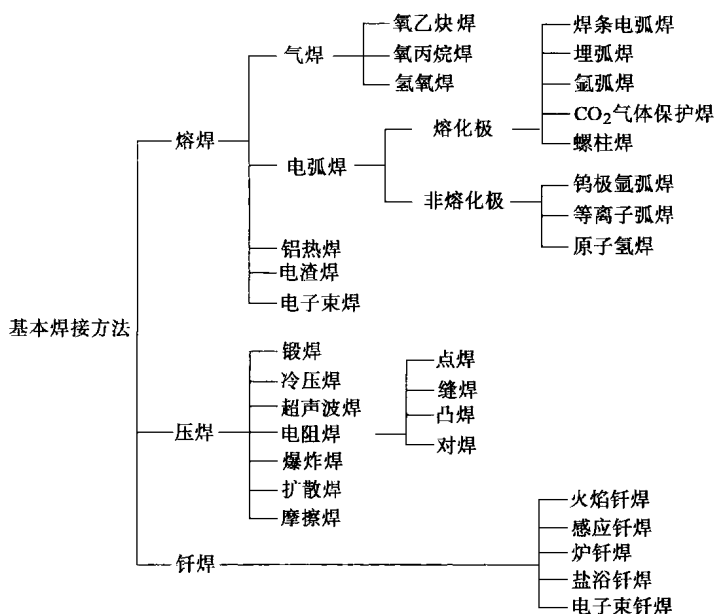


图 0-1 焊接的分类

相对于另外两种焊接方法，熔焊时焊缝将工件连成一个整体，焊接的力学性能（或化学性能）可与母材达到一致，焊接接头强度高，成分与焊件相同。因此，在制造业中，熔焊大多用于受力大、要求高的重要构件制作，熔焊方法在焊接生产中占据着主导地位，尤其

在锅炉、船舶、压力容器制造生产中，具有不可替代的位置。

二、熔焊的特点

在机械制造中，连接的方法很多，除焊接外，还有螺栓连接、铆钉连接、粘接等（图 0-2）。其中螺栓连接是可以拆卸的；而其他几种连接则只有将接头破坏才能拆开，属于不可拆卸（或永久性）的连接。

与其他连接方法相比，熔焊具有以下优点：

（1）节约材料 焊接接头在连接部位没有重叠部分，也不需要附加的连接件（如铆钉），从而减少了材料的消耗，降低结构自重及生产成本。

（2）工艺过程比较简单 焊件不需开孔加工，也不需制造连接附件，同时焊接本身生产率高，大大缩短了制造周期。

（3）质量高 熔焊的结合部位（焊接接头）不仅可以获得与母材相同的力学性能，而且其他使用性能（耐热性、耐蚀性等）也都能够与母材相匹配。特别是不需采用特殊措施即可获得优良的密封性，使其成为在压力容器与船舶制造中唯一的连接方法。

（4）可充分发挥设备和材料的潜力 焊接可以将较大的产品分段制造，不仅能制造由不同材料连接而成的双金属结构，还可将不同方法制造的毛坯连成铸—焊、铸—锻—焊复合结构。这样，既可充分利用不同材料的特性，又可用较小的设备制造出尺寸较大的产品。

（5）劳动条件好 劳动强度低，噪声小。

由于具备了上述优点，熔焊获得了广泛应用。在工业发达国家，制造焊接结构所用的钢材约占钢材总量的一半。

但也要指出，熔焊过程的高温加热，会使某些金属材料的性能降低，甚至影响产品的安全运行。因此，目前还不能说熔焊技术可适用于任何一种金属材料。但可确信，随着焊接技术的发展，熔焊的应用范围会进一步扩大。

三、焊接技术发展简况

熔焊技术在 19 世纪 80 年代末开始用于工业生产，虽然时间不长，但发展非常迅速。焊接技术的发展与进步主要表现在新材料、新焊接方法的应用，设备的机械化、自动化程度不断提高以及应用范围日益扩大等几个方面。从材料的角度看，焊接技术的发展主要有以下几个方面：

1）被焊金属的强度越来越高。例如钢的焊接，被焊材料的抗拉强度已经从 400MPa 发展到 1200MPa 以上。

2）新型焊接材料的大量使用。例如以前大量使用的药皮焊条已逐步被更高效的药芯焊条、粉芯焊条所替代。

3）高效焊接工艺方法不断涌现。例如自动焊、半自动焊接方法的广泛应用，大大提高了焊接生产率。

可以认为：新材料的开发和应用，为焊接新工艺的研制提供了基础，从而使焊接技术的

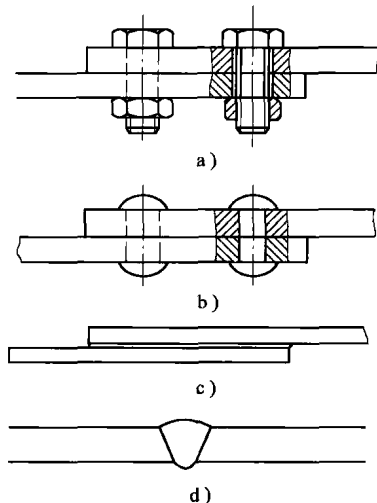


图 0-2 几种常见的连接形式

a) 螺栓连接 b) 铆钉连接
c) 粘接 d) 熔焊

应用范围不断扩大。高、新、精金属产品的不断问世,对焊接技术提出更高要求,将会使焊接技术发展到一个新的水平。目前焊接技术已发展成为一门独立的学科,成为工业生产不可缺少的加工工艺。

我国的焊接事业基本上是新中国成立后才开始起步的,在较短的时间就取得了惊人的进步和可喜的成就。早在建国初期,我们就掌握了桥式起重机和客货轮的焊接技术。在 20 世纪 60 年代,成功地设计与制造了全焊结构的 $12000 \times 10^4 \text{N}$ 水压机,解决了当时缺乏大型加工及冶金设备的困难。

改革开放以来,随着国家重点开发材料、能源、交通、石油化工等基础工业的战略实施,焊接技术的应用与进步取得了举世瞩目的成就。焊接技术不仅成功地应用于大型水力火力发电成套设备、国内容积最大的高炉、跨度最大的大吨位桥式起重机的制造中,还成功地用于核电站,以及过去完全依赖进口的热壁加氢反应器等建造中。与此同时,在引进国外先进技术的基础上,还对大中型骨干企业进行了设备更新和改造。先进的焊接技术与控制系统,已在较大范围内得到应用。

在我国的许多重点项目,如秦山核电站、西气东输、三峡水利枢纽,以及北京奥运会鸟巢体育馆等工程中,焊接技术占有举足轻重的地位。随着新材料、新工艺的应用,我国的焊接技术水平将会不断提高,不断缩短与发达国家的差距。今后,在推广焊接新技术、研制焊接专机与辅机、以电子技术改造传统技术等方面,还有大量的工作要做。不仅需要较多的高层次人才,更需要大量的在生产第一线工作的高素质的劳动者以及中、初级技术人才。

四、本教材的主要内容

“金属熔焊基础”是焊接专业的主要技术基础理论课。本教材内容包括两大部分:

(1) 金属材料基础知识 这部分是前三章内容,主要介绍金属材料的性能;金属的结构及结晶过程;合金相图;钢的热处理以及常用金属材料。

(2) 金属熔焊基础知识 这部分是后三章内容,主要介绍金属熔焊冶金基础知识,焊接材料的分类及使用,以及焊接缺陷的产生原因及防止方法。

五、本课程教学目的与学习方法

本课程的教学任务是使学生具备金属材料与金属熔焊的基本知识和基本技能,为后续专业知识的学习和从事焊接工作打下基础。

1. 本课程的教学目的

1) 通过本门课程的学习,掌握和理解有关专业术语,培养学生严谨的学习态度和工作作风,初步学会利用科学技术理论和技术手段进行观察分析问题。

2) 熟悉金属材料的常用性能指标,理解钢铁材料成分、组织结构与性能的关系,了解常用热处理方法和金属材料的分类及应用。

3) 熟悉在熔焊条件下,钢铁焊缝的冶金结晶和热过程对焊接接头性能的影响,能够正确地使用焊接材料,了解焊接缺陷的种类,初步学会判断缺陷的产生原因及解决方法。

2. 对学习方法的建议

1) 在理论课学习过程中,除了做好习题加深理解学习内容,还应坚持理论联系实际,学会利用所学知识解释在实践中所见现象。

2) 通过实验课学习,了解金属的微观组织变化与性能的关系,加深对理论知识的认知。

3) 通过实训、到工厂实习, 注意观察产品制作过程, 熟悉本专业有关设备及工艺等情况, 联系并巩固所学知识。

4) 多看本专业相关的技术资料, 如焊接国家标准、焊接技术手册、焊接技术书籍、杂志等。参加焊接技术交流活动, 如技术讲座、技术博览会等, 拓宽知识面, 了解焊接技术的发展动态和趋势。

第一章 金属学基础

工业上使用的材料虽然品种繁多，但归结起来，不外乎分为金属与非金属两大类。由于金属材料具有优良的使用性能，并可通过不同的加工方法生产出性能与形状都能满足使用要求的机械零部件、工具及其他制品，因而在工农业和国防各个领域中获得广泛的应用。如在各种机器设备、车辆、舰船、航空航天器以及工程结构等所用材料中，金属材料约占 90% 以上，人们日常生活用品也大量使用了金属材料。

金属学是学习金属材料课程的基础，它是研究金属和合金的成分、组织（结构）与性能之间关系的一门科学。对于焊接工艺人员，只有掌握必要的金属学基础知识，熟悉金属的性能、构成和结晶特点，才能对金属材料在熔焊过程中所发生的变化（包括焊接接头成分、组织性能的变化）规律有所理解，做到正确合理地选用材料，制定结合实际的生产工艺。

第一节 金属材料的性能

金属材料的性能一般分为两类：一类是使用性能，它反映金属材料在使用过程中所表现出来的特性，主要包括力学性能、物理性能和化学性能，它决定了金属材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命；另一类是工艺性能，它反映了金属材料在加工制造过程中的各种特性，如铸造性、锻造性、焊接性和切削加工性等，它决定了金属材料在制造、加工机械零件时的难易程度。本节主要介绍金属材料的使用性能。

一、金属的力学性能

通常机器零件或工程结构在工作中都要受到外力的作用，金属在外力的作用下所表现的性能叫做力学性能。

按外力（载荷）作用性质的不同，可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷。在不同性质的载荷作用下，金属所表现的特性与抵抗破坏的能力不同，因而需要用不同的力学性能指标。常用的力学性能指标有硬度、强度、塑性和韧性等。在产品设计和选材时，材料的力学性能是确定产品主要尺寸的依据。

1. 硬度

硬度是表示固体材料表面抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力，是衡量金属软硬的力学性能指标。此外，硬度又是反映材料的成分、组织与力学性能的综合指标。一般来说，金属的硬度越高，则强度越高，而塑性和韧性越低。因此，硬度虽然不是零件设计计算的依据，但是对工作条件不同的零件，为保证其使用寿命，也会提出不同的硬度要求。由于硬度试验设备简单，操作方便、快捷，并可直接在零件或工具上进行测试而不破坏试样，故应用最广泛。

测定硬度的方法很多，在生产中应用最多的是压入硬度测试法中的布氏硬度法、洛氏硬度法和维氏硬度法。

（1）布氏硬度 布氏硬度试验是将一定直径的硬质合金球以相应的试验力压入试样的

表面，保持规定时间使其达到稳定状态后，卸除试验力（图 1-1），测量试样表面压痕直径，将试验力与球面压痕单位表面积的比值称为布氏硬度值，用符号 HBW 表示。

计算公式如下

$$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-1)$$

式中 HBW——布氏硬度值 (MPa)；

F ——试验力 (N)；

D ——球直径 (mm)；

d ——压痕平均直径 (mm)。

由上式可知，当 F 、 D 一定时，布氏硬度值仅与压痕直径 d 有关。 d 越小，布氏硬度值越高，即材料的硬度越高。在实际测定时，并不需要每次都按式 (1-1) 进行计算，而是用专用的读数放大镜测出压痕直径（图 1-2）后，直接从硬度换算表中查出硬度值。

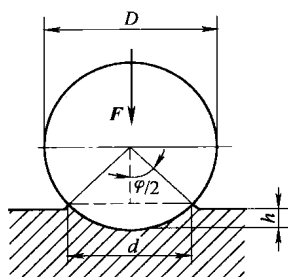


图 1-1 布氏硬度试验原理图

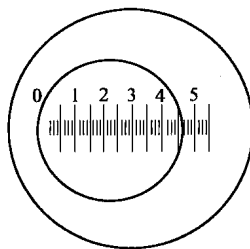
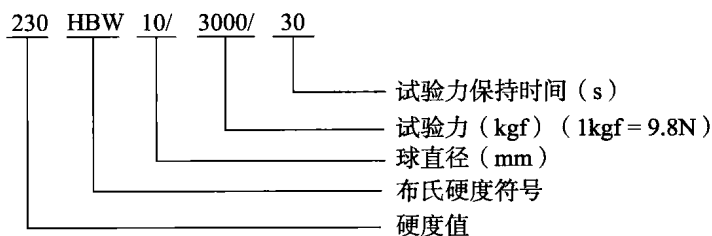


图 1-2 布氏硬度试验压痕测量图

布氏硬度试验范围上限为 650HBW。按国标 GB/T 231.1—2002 的规定，布氏硬度值的标记应包括硬度符号、球直径、试验力数字和试验力保持时间，如：



当试验力保持时间为 10 ~ 15s 时，通常在工艺文件上只标注前两项，如 230HBW。

布氏硬度试验的优点是误差较小、数据稳定、重复性强，常用于测量灰铸铁、结构钢、非铁金属及非金属材料等的硬度，但它测量费时，压痕较大，不适于成品零件或薄件的硬度测量。

(2) 洛氏硬度 洛氏硬度是用压头（金刚石圆锥、钢球或硬质合金球）压入试样表面，根据压痕深度来确定金属硬度的。金刚石圆锥压头用于测定较硬的材料，如淬火后的钢件；钢球或硬质合金球压头则用于测定较软的钢件。试验时，为了使压头与试样表面接触良好，以保证测量结果准确，先加初试验力 F_0 ，然后再加主试验力 F_1 ，总试验力 F 为 F_0 与 F_1 之和 ($F = F_0 + F_1$)。压头在总试验力作用下压入试样表面，经规定的保持时间后卸除 F_1 ，在

保持初试验力 F_0 的情况下测量残余压痕深度，用此值来计算被测材料的洛氏硬度值。洛氏硬度试验原理示意图如图 1-3 所示。

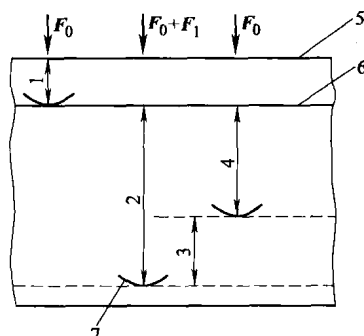


图 1-3 洛氏硬度试验原理示意图

1—在初试验力 F_0 下的压入深度 2—由主试验力 F_1 引起的压入深度

3—卸除主试验力 F_1 后的弹性回复深度 4—残余压入深度 h

5—试样表面 6—测量基准面 7—压头位置

洛氏硬度用符号 HR 表示。为了扩大硬度计的测量范围，采用不同压头和试验力，可组成多种不同的硬度标度，并在符号 HR 后缀字母加以标明。最常用的是 HRC、HRB 和 HRA 三种，见表 1-1。

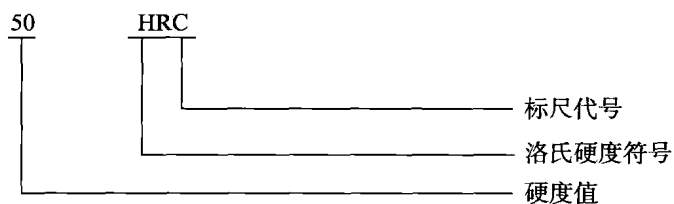
表 1-1 常用洛氏硬度标尺的试验条件与适用范围

硬度标尺	压头类型	总试验力/N	硬度值有效范围	应用举例
HRC	金刚石圆锥	1471.0	20 ~ 70HRC	一般淬火钢件
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 钢球	980.7	20 ~ 100HRB	软钢、退火钢、铜合金等
HRA	金刚石圆锥	588.4	20 ~ 88HRA	硬质合金、表面淬火钢等

洛氏硬度与布氏硬度之间没有理论上的对应关系，不能通过计算进行对比。但对同类材料，在相同状态下和一定硬度值范围内，在试验的基础上可得到一些经验换算关系。如当材料硬度 $> 220\text{HBW}$ 时，有 $1\text{HRC} \approx 10\text{HBW}$ 的近似关系，可在实践中进行对比。

洛氏硬度试验操作迅速简单，压痕小，不损伤试样表面，测量范围大，故应用范围较广。但也因压痕小，对于组织粗大且不均匀的材料，测试结果误差较大，数值重复性差。通常要求从试样不同位置测试三点，然后取平均值。

按 GB/T 230.1—2004 规定，洛氏硬度的标记包括硬度实验符号、所用标尺代号及硬度值，如：



(3) 维氏硬度 维氏硬度试验原理与布氏硬度基本相同,也是根据压痕单位面积上所承受的压力大小来计量硬度值。区别是维氏硬度实验是用两面夹角为 136° 的金刚石四棱锥体作压头。维氏硬度实验原理如图 1-4 所示。

试验时,在一定试验力 F 的作用下将压头压入试样表面,在试样表面压出一个四方锥形的压痕,测量压痕对角线长度 d_1 和 d_2 ,以其平均值计算出压痕表面积 S ,用 F/S 表示维氏硬度值,符号为 HV。

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{0.1891 F}{d^2} \quad (1-2)$$

式中 F ——试验力 (N);

S ——压痕表面积 (mm^2);

d ——压痕两对角线的算术平均值 (mm)。

根据试样大小、厚度和其他条件,试验力可在一定范围内选择。

压痕对角线长度是用试验硬度计上的测微器测量的,求出 d 后可通过计算或查表得出维氏硬度值 (查 GB/T 4340.1—1999)。

维氏硬度的测量范围为 $1 \sim 1000\text{HV}$,标注方法与布氏硬度相同。与布氏、洛氏硬度试验相比,维氏硬度试验的优点是:压头压痕小,可检测试件微小区域的硬度值;不存在受布氏硬度中试验力与压头直径比例关系的约束;也不存在压头变形问题;而且压痕清晰,保证了测量的精确度,硬度值误差较小。所以此法更适合测定极薄试样、焊接接头焊缝及焊接影响区的硬度。但是由于维氏硬度值需要测量对角线长度,并进行计算或查表,其效率比洛氏硬度试验低,不宜用于成品生产的常规测量。

维氏硬度实验广泛用来测定金属镀层、薄片、化学热处理后的表面硬度,尤其在焊接中用来测定焊接接头热影响区的显微硬度,可以判定金属材料焊接性的好坏。

2. 强度和塑性

(1) 强度 强度是金属材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力。由于作用力的性质不同,其判据可分为屈服强度、抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。在生产中,最常用、最基本的是屈服强度、抗拉强度。试验方法为拉伸试验法。

为便于对不同材料的强度进行对比,拉伸试验所用试样的形状和尺寸应符合 GB/T 228—2002《金属材料 室温拉伸试验》的规定。图 1-5 为圆形拉伸试样的示意图。图中 d_0 为试样直径, L_0 为标距长度,根据规定试样分长试样 ($L_0 = 10d_0$) 和短试样 ($L_0 = 5d_0$) 两种。

在拉伸过程中,随外力增加,试样将伸长,外力与试样长度变化关系如图 1-6 所示。

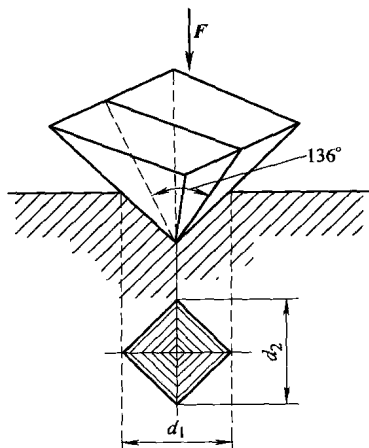


图 1-4 维氏硬度实验原理图

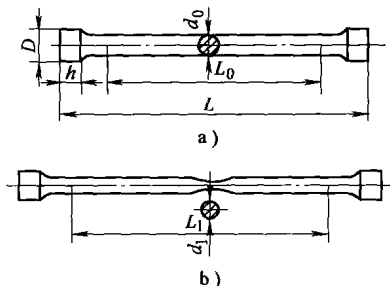


图 1-5 圆形拉伸试样