

TGJ-M02

模块式技能培训系列教材

中高级电焊工

(手工电弧焊)

株洲车辆厂教育中心 编著

/75

52

国铁道出版社

模块式技能培训系列教材

编 审 组

组 长: 马文斌

副 组 长: 钱士明

成 员:

言志均	何思奇	杨陆丰	王小锁
许华明	褚卫平	皮家谱	刘 信
宛士勇	白 莹	李贺迎	耿彩鸾
鲁关根	孙卫国	夏有光	付树生
吕 义	张金明	陶胜余	许晓兵
李渝黔	胡朝辉		

本书主编: 言志钧

本书参编:

卢 军	陈炳炎	陈益生	李践桥
李月嫦	陈立华	白新民	范顺和

序

当今，世界科技突飞猛进，产品更新速率加快，市场竞争日趋激烈，知识经济初露端倪。在市场直接参与竞争的是产品，支持产品市场份额的是产品的科技含量，而掌握科技的人才就成为决定竞争成败的最终因素。因此，应用高新技术和开发人力资源是企业跟上时代发展的关键。为了使企业在市场立于不败之地，必须大幅度提高职工队伍整体素质，造就一支适应市场经济变化的高素质的职工队伍，以使企业的生产经营得到强大的智力支撑，这是企业长盛不衰的重要保证之一，也是企业在深化改革中形成的共识。为提高职工队伍素质，就要结合企业的需要开展多种形式的培训，各类培训教材就成为搞好职工培训的首要条件。但是目前，适用的职工培训教材比较缺乏，从种类到数量，均不能满足职工培训的需要，严重制约着培训的正常发展。因此，培训教材的建设工作就成为企业教育工作者的一项重要和长期的任务。包括MES教材在内的各类培训教材的开发工作，将列为铁路工业系统“十五”期间职工教育的主要工作之一。

这套模块式技能培训系列教材（即MES教材）是由中国铁路机车车辆工业总公司组织开发的。为方便学习使用，教材将形成系列化，系列化序号定为“TGJ-M××（铁路工人教材-MES系列之××）”。比如这套教材中最先完成的电焊工部分，《初级电焊工》系列序号定为TGJ-M01；《中高级电焊工（手工电弧焊）》系列序号为TGJ-M02；《中高级电焊工（埋弧焊和气体保护焊）》系列序号为TGJ-M03。以后陆续出版的也按此形式依次编号。全套MES教材是依据国家劳动部编制下发的“职业技能鉴定标准”编写的，适用于职业技能鉴定动手能力的训练，也适用于相应等级电焊工实用技能的培训。

在众多培训教材形式中，MES教材注重技能训练，具有结合实际、形式活泼、图文并茂、直观简捷的特点。MES教材适于组织教学辅导，也适于工人业余自学自练。长期实践证实，应用MES教材实施培训，理论与实际结合最紧密，它直接提出解决问题的方案，一学即会，节约时间，可收到立竿见影的效果。

为满足职工培训对教材的需求，许多工厂的教育部门在培训实践中自行开发了许多适应本企业需求的教材，对培训教材的建设工作起到了重要的作用。例如这套教材中的三本电焊工分册，便是由株洲车辆厂教育部门主持开发编写的，曾得到湖南省焊接学会专家组的高度评价，认为：有创新，有特色，极富推广价值。

模块式技能培训系列教材由中国铁道出版社出版发行，该书在封面装帧、插图设计及排版格式等方面努力做到别致新颖，追求内容和形式的统一，是一套较

好的职工培训教材。由于时间和水平有限，教材不可避免地要存在这样那样的问题，希望使用者和有关专家提出宝贵意见。职工培训教材开发工作是一项系统工程，需要全行业企业各级领导和全体职工的支持，需要企业管理、科技及教育工作者的共同努力。在此，对一贯重视支持职工教材开发工作的各级领导，对辛勤耕耘、默默奉献的作者和出版社的编辑同志们表示深深的谢意。

中国铁路机车车辆工业教材编审委员会

2000年5月

编者的话

为培养高素质的技术工人，适应市场经济高节奏变化和电焊其技术技能日新月异的发展需要，株洲车辆厂引进国际劳工组织（International Labour Organization，缩写为 ILO）的模块式技能培训（Modules of Employable Skills，缩写为 MES）模式，组织开发了电焊工模块式培训教材，并于 1999 年 6 月顺利通过湖南省机械工程学会焊接学会的专业技术审定。

多年来，中国职教技能培训一直没有摆脱以教师为中心的传统培训模式，加之培训教材开发模式不革新等诸多原因，“学用脱节”、“工学矛盾”等职教难题更显突出。因此，进行新的教材体系开发，带动技能培训模式的转变，已经成为广大职教工作者的共识。我们从 1996 年以来，结合生产实际，推广应用和自主开发了多工种的一系列 MES 教材，取得了一定的成绩和经验。

电焊工工种的教材突出了以学员为中心，以技能为中心的 MES 原则。在机械制造领域，涵盖了手工电弧焊、富氩气体保护焊、二氧化碳气体保护焊、埋弧自动焊、碳弧气刨等技能，适用于低碳钢、中碳钢、不锈钢、铸铁件、铸钢件、薄板、压力容器、管板等多种焊接技术技能的培训。同时，教材中与多种焊接技能相关的理论知识和材料、设备知识配套完善，对各技术参数均作了反复验证和筛选比较，技能动作设计规范。教材图文并茂，易学易懂，符合不同层次学员的学习习惯和练习规律。

在开发教材的过程中，我们贯彻了“立足工厂，面向社会”的指导思想，不仅开发了铁路工业系统制造敞车、平车、罐车、特种车焊接技术技能学习单元，还兼顾机械工程、建筑工程、安装工程等领域，并提供了国家标准焊接技术比赛测验和电焊工职业技能鉴定的学习单元，形成了比较完备的电焊工 MES 教材体系。为适应教和学的实际需要，在不违反 MES 原则的前提下，全部 97 个学习单元分成初级电焊工、中高级电焊工（手工电弧焊）和中高级电焊工（埋弧自动焊和气体保护焊）三个分册，供学习时选择和使用。

为完成这三本教材，全体开发人员付出了艰辛的劳动。焊接专业硕士、高级工程师卢军同志，负责大纲的制定及 MES 选择表的合成，并主笔撰写了《CO₂ 气体保护焊基本理论》等 25 个理论学习单元；焊接专业教师、工程师陈炳炎同志，除与卢军同志负责开发大纲的制定外，还主笔撰写了《常用可焊性试验方法》等 28 个学习单元；焊接专业指导教师、技师陈益生同志，以其特有的专长主笔撰写了《用手工电弧焊焊补铸钢件》等 7 个技能学习单元；焊接一线岗位的电焊技师李践桥同志，以其多年练就的焊接绝技与积累的丰富经验，主笔撰写了《用手工电弧焊进行薄板水箱焊接》等 10 个技能学习单元；电焊高级技工陈立华同志主笔撰写了《用手工电弧焊进行单面焊双面成形仰对接焊》等 4 个技能学习单元；电焊高级技工李月嫦同志主笔撰写了《CO₂ 和富氩气体保护半自动焊基本操作方法》等 8 个技能学习单元；电焊专业实习指导教师白新民同志主笔撰写了《用手工电弧焊进行管板仰焊》等 12 个技能学习单元；工厂职教理论研究会秘书长、工程师范顺和同志，具体负责教材开发活动的协调工作，并主笔撰写了《电焊工文明生产与安全技术操作规范》等 3 个学习单元。

我们在开发这套教材的过程中,得到了有关部门、专家及基层工作者的大力支持。中国MES专家、上海高职中心的李春明同志审核了本教材的开发方案和部分初稿,在给予充分肯定基础上提出了宝贵的意见。湖南省焊接学会理事长、高级工程师刘成林同志,湖南省焊接学会秘书长、高级工程师范年水同志,湖南省焊接学会副理事长、高级工程师陈任光和吴立辉同志也对教材的开发提出了宝贵的意见。中国铁路机车车辆工业总公司教育卫生部主任马文斌同志、高级工程师钱士明同志对教材的开发给予了具体的指导与帮助。原兵器工业总公司湘潭江南机器厂教育处副处长李志政等同志,对教材开发提供了人员培训、经验交流等多方面的帮助。美术专业教师董方同志担负了全部图表的绘制工作。株洲车辆厂产品开发处的同志进行了照片制版绘图的探索。对以上同志所给予的支持与帮助,在此一并表示感谢。

由于客观条件及编写水平所限,书中难免会有不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

1999年10月

目 录

教材使用说明	1
工作描述	3
MES 模块选择表	4
1 焊接热影响区组织与性能 (DH-03-11)	5
2 金属材料的焊接性 (DH-03-12)	8
3 焊接应力与变形原理 (DH-03-13)	10
4 焊接应力及其控制 (DH-03-14)	13
5 焊接变形及其控制 (DH-03-15)	16
6 焊接检验 (DH-05-04)	23
7 异种金属焊接基本理论 (DH-03-16)	27
8 焊接接头静强度计算 (DH-03-17)	30
9 常用可焊性试验方法 (DH-03-18)	34
10 焊接结构焊接工艺分析 (DH-03-19)	37
11 焊接工艺规程的编制 (DH-03-20)	41
12 焊接技术定额的估算 (DH-03-21)	47
13 用手工电弧焊进行仰对接焊 (DH-02-12)	51
14 用手工电弧焊焊补铸钢件 (DH-02-13)	53
15 用手工电弧焊进行单面焊双面成形立焊 (DH-02-14)	56
16 用手工电弧焊进行单面焊双面成形横焊 (DH-02-15)	60
17 用手工电弧焊进行水平固定钢管焊 (DH-02-16)	64
18 用手工电弧焊进行垂直固定钢管焊 (DH-02-17)	68
19 用手工电弧焊焊接中碳钢 (DH-02-18)	71
20 用手工电弧焊进行铸铁件焊补 (DH-02-19)	74
21 用手工电弧焊进行单面焊双面成形仰焊 (DH-02-20)	77
22 用手工电弧焊进行管板仰焊 (DH-02-21)	81
23 用手工电弧焊进行不锈钢与低碳钢焊 (DH-02-22)	84
24 用手工电弧焊进行管对接 45°焊 (DH-02-23)	86
25 用手工电弧焊进行薄板水箱的焊接 (DH-02-24)	88
参考文献	93

教材使用说明

MES 教材的最大特点是图文并茂，以学员和技能为中心。本教材使用方法如下：

一、了解工作描述

在电焊工 MES 系列教材每个分册的开头，都有一份简明的“工作描述”，说明了电焊工属于机械工程领域（JG），编号为 DH（电焊），以及该分册有几个技能模块（Module Unit，通常缩写为 MU）。“工作任务”介绍将学习的内容。“工作条件/标准”、“对受培训者的要求”等规定，与整个工作描述表一起，属于开发人员与应用单位之间各负其责的教学合同书。

二、了解教学大纲（MES 选择表）

在“工作描述”表之后，是教材的教学大纲即“MES 模块选择表”，该表将学习模块单元全部展示在上面，供学员培训选用，俗称为“菜单”。其中气体保护焊为单独 MES 选择表，手工电弧焊初、中高级同为一个 MES 选择表。

1. 模块（MU）。它是按电焊工作的种类或范围划分的独立学习体系，如手工电弧焊、埋弧自动焊等。本教材采用的是大模块设计模式。

2. 学习单元（Learning Element，通常缩写为 LE）。它是按技能要求编写的，相互独立而又内容相关。模块中的子知识系统分为技能和知识理论两大类。按知识系统分属 6 个主门类：01 为电焊工职业道德与安全知识，为避免重复，01 安排在第一分册；02 为电焊工技能操作，是教材的核心部分；03 为电焊工技能操作相关专业理论知识，为公共理论；04 为电焊工技能操作相关图表、资料、技术参数；05 为电焊材料、元件、方法（技巧）；06 为焊接工具、机器、设备。

MES 表中第 1 栏有 6 个主门类，第 2 栏是主门类下的支门类编号。比如本分册 MES 表主门类 02 中，有 24 个编号，03 中有 21 个编号，指该门类有多少个学习单元。如“用手工电弧焊焊补铸钢件”单元（在第 3 栏），属于 02-13 支门类编号。

3. 符号“△”“▽”。MES 表中模块与学习单元交叉格内，“△”表示该模块所涉及的是上边横排 01～03 主门类中的学习单元，“▽”表示该模块所涉及的是下边横排 03～06 主门类中的学习单元。学员学习该单元合格后，可将 MES 表中“△”“▽”涂黑，作为学习过的标志。

三、了解查询系统

为了学习方便，在总结同类教材的经验基础上，本教材设计了简单实用的查询系统。MES

选择表与学习规律在目录中融合统一。如您从 MES 选择表上查找需要的学习单元编号,例如主门类 03,支门类 16,单元名称异种金属焊接基本理论,就可以很方便地从目录中查到该单元的页码。

四、培训实施

本教材具有较强的针对性,同时有较宽的知识涵盖面。既可用于技校生和新工人培训,又可用于在岗电焊工达标培训、新技能推广培训、一专多能或转岗培训;既适于班级教学,又适于个人自学。

1. 班级教学(技校生、新工人、技术达标或技能培训)时的建议:

(1) 选择有较高专业技术水平和有电焊实践经验的人员(受过心理学、教育技术学培训者为佳)作为 MES 培训指导教师。

(2) 培训 MES 教师。要求了解 MES 原理、方法,掌握 MES 表的使用。

(3) 准备教材所规定的培训场所(学习站)、材料设备。

(4) 制订进度计划、时间安排和考核管理制度。

(5) 按统一选择的模块、单元实施培训活动。

(6) 评估反馈。根据书中提供的学习单元“进度检查”,对学员进行技能(实作)、理论(闭卷)考核,考核合格后,才能批准进入下一个学习单元。允许每个学员自我掌握速度,随时申请考核,即“同时起跑,不同时冲线”,发挥每个学员的学习积极性和潜能。考核只有合格和不合格之分。

2. 提高和转岗培训时的建议:除班级教学培训程序外,也可由学员根据实际能力和实际需要,自行选择学习单元,交 MES 指导教师备案,便于针对性指导和进度考核。

3. 自学。学员自行按所选的单元进行规范练习,自行考核进度和掌握程度。

4. 无论何种培训形式,都必须突出以学员和技能为中心,教师 and 培训组织单位只能起辅助、指导作用。

工 作 描 述

工种名称 电焊工 职业领域 机械工程(JG)

编 号 JG-DH-1 工作范围 金属焊接

工作任务描述

在厂房或野外按图样与技术要求,选择工具、设备、材料、焊接工艺参数和操作方法,进行手工电弧焊和碳弧气刨。

组织关系

对受培对象单位领导负责;
对电焊技术工人负责。

工作条件/标准

在厂房或野外工作;
按工艺技术规范进行操作。

对受训者的要求

必须具备初中以上文化;
能阅读和理解学习单元内容;
具有良好的体格和视力,无色盲、色弱,能在炎热和寒冷的场地工作。

MES 模块选择表

职业领域： 机械工 工作范围： 金属焊接 名称： 电弧焊	1	2	3	模块名称	手工电弧焊	碳弧气刨	学员姓名： 培训单位： 年 月 日	符号说明： 1. 主门类 2. 子门类 3. 学习单元	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	01	02	03	04	05	06	07	08</
---	---	---	---	------	-------	------	-------------------------	--------------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	------

注：△表示应选择上表头中的学习单元；▽表示应选择下表头中的学习单元。

1 焊接热影响区组织与性能

(DH-03-11)

学习目标

了解焊接热影响区组织及性能。

所需设备、工具和材料

无。

相关学习单元

铁碳合金基本组织及性能 (DH-03-05);
热处理基本知识 (DH-03-06)。

本单元学习内容

1. 焊接热循环

(1) 焊接热循环定义及焊接热循环曲线。在焊接过程中, 由于焊接热源处于运动状态, 因此焊件上某点的温度是随时间而变化的, 这种在焊接热源作用下, 焊件上某点的温度随时间变化的现象称为焊接热循环。

焊接热循环曲线如图 1-1 所示。

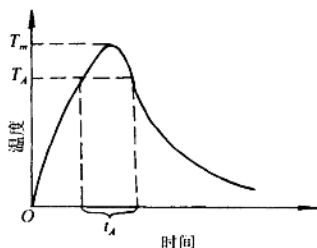


图 1-1 焊接热循环曲线

T_m ——最高温度 ($^{\circ}\text{C}$);

T_A ——相变温度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_A —— T_A 以上停留时间 (s)。

(2) 焊接近缝区的焊接热循环。由于焊接热源的热量集中且不断运动, 使焊缝两侧

距焊缝远近不同的各点所经历的热循环是不同的, 图 1-2 是材料为 20Mn, 板厚 20 mm, 焊接速度为 15 mm/min, 焊接电流 170 A, 电弧电压 25 V 的焊接试样上测得的几条焊接热循环曲线。

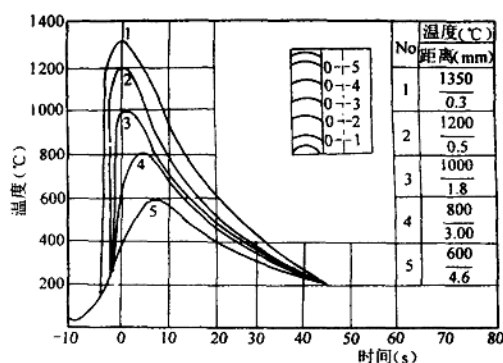


图 1-2 焊接热循环曲线示例

由图 1-2 可知, 焊接是一个不均匀的加热和冷却过程, 也可以说是一种特殊的热处理, 这种过程必然会造成不均匀的组织 and 性能。

2. 焊接热影响区的组织和性能

(1) 焊接热影响区。焊接热影响区就是指在焊接过程中, 母材因受热的影响 (但未熔化) 而发生金相组织和机械性能变化的区域。焊接热影响区的组织和性能, 基本上反映了焊接接头的性能和质量。

(2) 焊接热影响区组织及性能。由于母材上各点距离焊缝的远近不同, 所经历的热循环也不同, 因此各点的组织也不同。如图 1-3 所示。

① 不易淬碳钢。不易淬碳钢指一般低碳钢和淬火倾向较小的低合金钢, 如 Q235、

16Mn、15MnV、15MnTi、09MnCu 等。根据组织特征可分为四个小区。

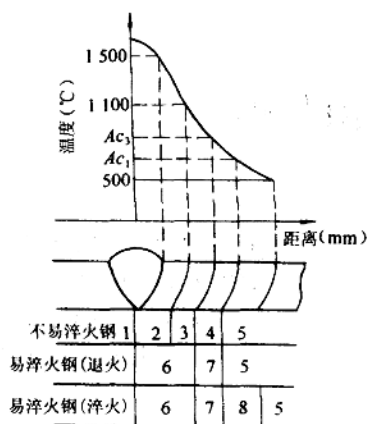


图 1-3 焊接热影响区划分

1—熔合区；2—过热区；3—正火区；4—不完全重结晶区；5—母材；6—淬火区；7—部分淬火区；8—回火区。

a. 熔合区 熔合区就是指在焊接接头中，焊缝向热影响区过渡的区域，这个区的范围很窄，甚至在显微镜下也很难分辨出来，但由于其温度处于铁碳合金状态图中固相线和液相线之间，所以其金属组织处于过热状态，塑性很差，对焊接接头的强度、塑性都有很大的影响，因此，熔合区往往是使焊接接头产生裂纹或局部脆化的发源地。

b. 过热区 过热区所处的温度范围是在固相线以下到1 100℃左右的区间内，由于温度高，奥氏体晶粒严重长大，冷却之后就呈现为晶粒粗大的过热组织。其性能表现为塑性很低，尤其冲击韧性要降低20%~30%。

c. 正火区 正火区的温度范围约在 $Ac_3 \sim 1\,000^\circ\text{C}$ 之间，这个区的金属组织相当于进行了一次正火处理，组织为均匀细小的铁素体和珠光体，其机械性能可略高于母材，该区是热影响区中性能最好的区域。

d. 不完全重结晶区 该区温度范围处于 $Ac_1 \sim Ac_3$ 之间，该区金属组织只部分发生了相变重结晶过程，发生相变重结晶的组织其晶粒较为细小，而未发生相变过程的组织

却长大成粗大的晶粒，因此该区组织的晶粒不均匀，所以使机械性能也呈不均匀性。

②易淬火钢 对于焊接淬火倾向较大的钢种，包括中碳钢（40、45、50号钢），焊后热影响区的组织分布可以分为两个小区，参见图1-3中6、7两个区域：

a. 淬火区。当母材热影响区某区域的温度在 Ac_3 以上温度时，由于钢种的淬硬倾向较大，故焊后冷却后得到淬火组织马氏体，但由于该区的温度梯度较大（ $Ac_3 \sim$ 固相线）在靠近焊缝的部分（相当于焊接低碳钢时的过热区部分）由于晶粒发生严重长大，故得到粗大马氏体，而相当于低碳钢热影响区的正火部分，将得到细小的马氏体。因此这个区的组织是晶粒粗细不同的马氏体。

b. 部分淬火区。被加热到 $Ac_1 \sim Ac_3$ 温度区间的热影响区域，由于只发生部分相变过程，所以该区最后形成由马氏体加较粗大的铁素体组成，这就是部分淬火区的组织特征。易淬火钢焊前状态也将影响其组织状态，如焊前处于调质或淬火状态时，除上述两个小区之外，在低于 Ac_1 线的热影响区中还存在回火区。

综上所述，钢在焊接热循环的作用下，热影响区的组织分布是不均匀的。熔合区和过热区有严重的晶粒长大现象是整个焊接接头的薄弱地带，对于含碳量高、合金元素较多、淬火倾向较大的钢种，将出现淬火组织，使焊接接头塑性降低，而且容易产生裂纹。

图1-4是16Mn钢焊接热影响区的硬度分布。

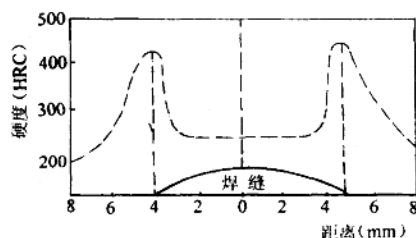


图 1-4 焊接热影响区的硬度分布

进 度 检 查

一、填空题

1. 对于不易淬火钢其焊缝热影响区可分为_____、_____、_____和_____四个区域。
2. 在焊缝热影响区中性能最差的区是_____，而性能最好的区域是_____。
3. 热影响区中出现淬火区主要出现在_____钢中。

二、简答题

简述过热区、正火区的组织状态和性能。

三、名词解释

1. 焊接热循环。
2. 焊接热影区。

2 金属材料的焊接性

(DH-03-12)

学习目标

掌握金属材料的焊接性概念,影响焊接性的因素及间接评定焊接性能方法。

所需设备、工具 and 材料

无。

相关学习单元

无。

本单元学习内容

1. 焊接性的概念

焊接性是指金属材料对焊接加工的适应性,主要指在一定的工艺焊接条件下,获得优质焊接接头的难易程度,它包括两方面的内容:

(1) 接合性能,即在一定的焊接工艺条件下,一定金属产生焊接缺陷的敏感性。它不但与焊接材料性能本身有关,而且与焊接工艺操作方法有关。

(2) 使用性能,即在一定的焊接工艺条件下,一定金属所形成的焊接接头对使用要求的适应性。它主要与焊接结构因素(如板厚、结构复杂程度等)和使用条件有关。

2. 影响焊接性的因素

(1) 材料因素:母材及焊接材料的成分。

(2) 工艺因素:如焊接方法、坡口形成、预热后热措施、装配质量等。

(3) 结构因素:焊接接头处于刚性的状态、引起应力集中的程度等。

(4) 使用条件:如工作温度、工作介质、

载荷情况等。

3. 钢的焊接性评定法

(1) 间接评定法(碳当量法)

钢中各种化学元素与焊接热影响区淬硬性和冷裂倾向均有密切的关系,对焊接性都有一定影响,因此钢材的化学成分可用来评价它的热影响区淬硬性和冷裂倾向。钢中所有元素中影响最大的是碳,所谓碳当量法就是根据钢材的化学成分与焊接热影响区淬硬性的关系,把钢中合金元素(包括碳)的含量按其作用折算成碳的相当含量(以碳的作用系数为1),作为粗略地评定钢材焊接性的一种方法,国际焊接学会(IIW)推荐的碳当量计算公式为:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{15} + \frac{Ni + Cu}{5}$$

碳当量 C_{eq} 越大,钢材淬硬倾向越大,冷裂纹敏感性越大,焊接性越差。经验指出:

$C_{eq} < 0.4\%$ 时,钢材的焊接性优良,淬硬倾向不明显,焊接时不必预热。

$C_{eq} = 0.4\% \sim 0.6\%$ 时,需要采取适当预热和控制线能量等措施。当 $C_{eq} > 0.6\%$ 时,焊接性差,属于较难焊接材料,需要采取较高的预热温度和严格的工艺措施。

(2) 直接试验法

碳当量法判断金属材料的可焊性简单,仅考虑材料的成分,没有考虑接头的残余应力、焊缝受到的约束以及扩散氢的含量等,故只能粗略地估计材料的焊接性。直接试验法是在正确控制焊接工艺参数,按规定要求焊接试件,测试出焊接接头对裂纹等焊接缺陷的敏感性以及焊接后的性能变化对结构使用

性能的影响，作为评定焊接性、选择焊接方法和工艺参数的依据。试验方法分为两大类：即抗裂性能试验法和使用性试验法，常用的

方法有 Y 形坡口对接焊缝裂纹试验、刚性固定对接试验、冲击韧性试验、弯曲试验、加热敏感试验等。

进 度 检 查

一、填空题

焊接性是指_____它包括_____与_____。

二、问答题

简述焊接性的间接评定法。

3 焊接应力与变形原理

(DH-03-13)

学习目标

掌握焊接应力和变形的原理。

所需设备、工具 and 材料

无。

相关学习单元

无。

本单元学习内容

1. 焊接应力与变形的术语

(1) 应力

当物体受到力的作用时,将产生内力,单位面积上的内力称为应力。应力分为拉伸应力、压缩应力和剪切应力三种。图 3-1 所示为物体受到拉伸应力。

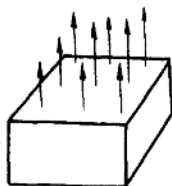


图 3-1 拉伸应力

(2) 内应力

没有外力作用时,物体内部所存在的应力称为内应力。

(3) 焊接应力

焊接过程中,焊件内部产生的内应力称为焊接应力。

(4) 变形

当物体受到力的作用时,物体的形状和尺寸将会发生变化称为变形,变形分为弹性

变形和塑性变形。当外力消除后,物体能够恢复到原来的形状和尺寸的变形,称为弹性变形;当外力消除后,物体不能够恢复到原来的形状和尺寸的变形,称为塑性变形。如图 3-2 为物体受压后的变短变粗就是物体受力后的变形。

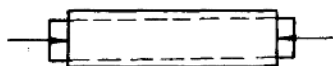


图 3-2 物体受压后的变形

(5) 焊接变形

焊接过程中,焊件产生的变形称为焊接变形。

2. 焊接应力和变形产生的原因

(1) 各种金属材料都具有热胀冷缩的性能,即加热时膨胀,冷却时收缩。如图 3-3 所示,一根钢杆搁在两端无约束的支点上,实线为钢杆加热前的尺寸和形状,将钢杆均匀加热后,钢杆变长如图虚线所示,然后钢杆均匀冷却,钢杆自由恢复原来的形状和尺寸。由于它的热胀和冷缩时未受到阻碍,最后冷却到室温时钢杆不产生应力和变形。

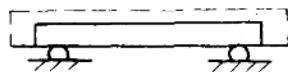


图 3-3 钢杆的自由收缩

(2) 如图 3-4 (a) 所示,将钢杆嵌在两端刚性墙间,其形状和尺寸如实线所示,对钢杆进行均匀加热,热胀伸长的钢杆伸长到一定长度后受墙的阻碍不能伸长,这样,在钢杆内产生压应力,在压力作用下,伸长部分被压短。当低碳钢加热温度超过 100°C 时,钢杆伸长被阻而产生的压力将产生压缩塑性变