

焊接工程 综合试验 技术

● 王宗杰 主编

机械工业出版社

焊接工程综合试验技术

王宗杰 主编



机械工业出版社

焊接工程综合试验是正确进行焊接产品工艺设计、合理选材、合理施工以及加强焊接质量管理的有力手段。

本书系统地介绍了金属焊接性试验、焊接工艺评定试验、焊接材料质量评定试验、弧焊电源性能试验、焊工操作技能评定试验、焊接产品质量检验和焊接产品失效分析试验等。分别介绍了这些试验的目的、内容、要求及其方法，并列举了一些比较典型的工程应用实例。

本书可供焊接工程技术人员、中、高级焊工和焊接专业大中专院校师生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接工程综合试验技术/王宗杰主编. —北京: 机械工业出版社, 1997. 6

ISBN 7-111-05435-0

I. 焊… II. 王… III. 焊接-综合试验-测试技术 N. T
G4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 24006 号

出版人: 马九荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 俞逢英 版式设计: 张世琴 责任校对: 张莉娟
封面设计: 郭景云 责任印制: 卢子祥
机械工业出版社京丰印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行
1997 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm¹/₃₂ · 17 印张 · 375 千字
0 001—3 000 册
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

前 言

焊接试验是深入研究焊接内在规律、发展焊接基础理论及发明新材料、新工艺、新设备的主要手段，同时也是提高焊接生产技术、保证焊接产品和结构质量的重要基石。

随着工业生产的发展，焊接工程试验技术越来越显示出它的重要性，有许多大型的焊接产品和结构及高精尖的产品都是在焊接试验的基础上完成的。与此同时，生产的发展也推动了焊接试验技术的进步，现在焊接工程试验正从定性向定量、从宏观向微观、从实验室工作向工程实际的方向发展。

焊接工程综合试验是焊接试验中按照试验的规模和内涵，相对于焊接基本试验划分出来的一类试验。这类试验规模比较大、综合性比较强，具有“系统”特征，更接近实际问题。尤其是焊接工程中的综合试验与焊接生产紧密相关，已经成为焊接生产中质量管理的重要组成部分，在解决生产关键问题，改进产品设计和工艺，确保产品质量以及提高生产率等方面起着重要的作用。

在焊接产品和结构向高强、高温、高压、低温、耐蚀和大型化发展的今天，掌握焊接工程综合试验技术无疑对于从事焊接专业的科技工作者以及大、中专毕业生是十分重要的。为了满足这方面的需要，我们编写了这本书。在本书中，比较详细地介绍了在焊接工程中大量遇到的各种焊接综合试验，例如金属焊接性试验、焊接工艺评定试验、焊接材料质量评定试验、弧焊电源性能试验、焊工操作技能评定试验、焊

接产品质量检验、焊接产品失效分析试验等。比较系统地介绍了这些试验的目的、内容、要求和方法步骤等，并列举了一些比较典型的工程应用实例。在编写中，注意采用最新的国内外标准，力求做到理论联系实际，可靠实用。如果本书能对广大焊接工作者和刚走上工作岗位的大、中专毕业生有所帮助，作者将感到十分欣慰。

本书由沈阳工业大学王宗杰主编。其中，第六章由刘政军编著、第七章由董伟编著，其它各章由王宗杰编著。全书由东北大学机械工程学院张云麒教授审稿。

在编写过程中，沈阳锅炉总厂的臧汝恒高级工程师、许海航工程师和沈阳电焊机厂的崔得镐、权俊吉高级工程师提供了许多珍贵资料，并审阅了本书部分内容；沈阳防爆电器制造厂的韩秀敏馆员在资料整理和图表加工上做了大量工作。同时，还得到了哈尔滨焊接研究所、锦州电焊条厂、沈阳电焊条厂等有关同志的大力帮助。在此一并表示感谢。同时，向本书所引用文献的作者们深表谢意。

由于作者水平有限，书中疏漏和错误之处在所难免，诚恳欢迎广大读者批评指正。

作 者

1996年9月

目 录

前言

第一章 绪论	1
一、焊接工程综合试验的基本概念.....	1
二、焊接工程综合试验的特点.....	3
三、焊接工程综合试验在焊接生产中的作用.....	5
第二章 焊接性试验	10
第一节 概述	10
一、焊接性的概念及影响因素	10
二、焊接性试验的目的和作用	13
第二节 焊接性试验的内容及试验方法的选用	
原则	15
一、焊接性试验的内容	15
二、试验方法的选用原则	16
第三节 焊接性试验方法	20
一、焊接性的间接试验方法	20
二、工艺焊接性的直接试验方法	32
三、使用焊接性的直接试验方法	65
第四节 焊接性试验应用实例	98
一、14MnMo 乙烯球罐用钢焊接性研究	98
二、钳夹式变压器油箱焊接工艺的研究.....	107
第三章 焊接工艺评定试验	115
第一节 概述	116
一、焊接工艺和焊接工艺评定的概念.....	116

二、焊接工艺评定的目的·····	117
三、焊接工艺评定试验的特点·····	118
第二节 焊接工艺评定的一般程序·····	119
一、编制焊接工艺指导书·····	120
二、施焊试件·····	121
三、理化试验·····	121
四、编制焊接工艺评定报告·····	122
五、编制焊接工艺规程·····	123
第三节 焊接工艺评定的规则·····	124
一、对必须评定焊缝的规定·····	125
二、焊缝试件的焊接工艺适用有效范围·····	125
三、关于焊接工艺因素的分类和替代规则·····	127
四、耐蚀层堆焊时重要因素的规定·····	143
第四节 焊接工艺评定的试验项目·····	145
一、对接焊缝·····	145
二、角焊缝·····	146
三、组合焊缝·····	146
四、耐蚀堆焊层·····	147
第五节 焊接工艺评定的试验方法和合格指标·····	148
一、对接焊缝·····	148
二、角焊缝·····	158
三、组合焊缝·····	160
四、耐蚀堆焊层·····	161
第六节 焊接工艺评定试验应用实例·····	163
一、15m ³ 油漆储罐筒体纵缝焊接工艺的评定·····	163
二、DN325×780-1.4 分水器环缝焊接工艺的评定·····	175
第四章 焊接材料质量评定试验·····	195
第一节 概述·····	195
一、焊接材料的种类和作用·····	195

二、焊接材料质量评定试验的目的·····	197
第二节 焊条质量评定试验·····	198
一、焊条质量评定试验的内容和技术要求·····	198
二、焊条质量评定试验的方法·····	222
第三节 焊剂质量评定试验·····	253
一、焊剂质量评定试验的内容和技术要求·····	253
二、焊剂质量评定试验的方法·····	257
第四节 焊丝质量评定试验·····	268
一、实芯焊丝质量评定试验的内容和方法·····	269
二、药芯焊丝质量评定试验的内容和方法·····	270
第五节 焊接材料质量评定试验应用实例·····	275
一、E5018 型焊条的质量评定试验·····	275
二、SJ101 烧结焊剂质量检验·····	280
第五章 弧焊电源性能试验·····	283
第一节 概述·····	283
一、弧焊电源的特点·····	283
二、弧焊电源的种类·····	285
三、弧焊电源性能试验的目的和种类·····	286
第二节 弧焊电源性能试验内容及其要求·····	288
一、弧焊变压器·····	288
二、弧焊整流器·····	296
三、弧焊变压器、弧焊整流器常规试验和型式 试验项目·····	307
第三节 弧焊电源性能试验的方法·····	309
一、试验条件·····	309
二、试验方法·····	309
第四节 弧焊电源性能试验应用实例·····	337
一、ZXG1—400 型弧焊整流器常规试验·····	337
二、BX3—500—5 型弧焊变压器型式试验·····	342

第六章 焊工操作技能评定试验	349
第一节 概述	349
一、焊工考试的必要性	349
二、焊工考试内容	351
第二节 焊工操作技能考试项目的确定	352
一、焊接方法的类别	352
二、母材钢号的类别	353
三、试件的类别	354
四、焊接材料的类别	357
第三节 焊工考试试件要求及评定试验项目	357
一、焊工考试试件的尺寸、数量及焊接要求	357
二、焊工考试试件的评定试验项目	360
第四节 焊工操作技能评定试验方法和合格指标	361
一、外观检查	361
二、射线检测	364
三、断口检验	365
四、冷弯试验	366
五、金相宏观检验	368
第五节 焊工操作技能评定试验应用实例	369
一、20g 钢板平位单面对接手弧焊操作技能的评定	369
二、20 钢管 ($\phi 51\text{mm} \times 3.5\text{mm}$) 水平固定手弧焊操作技能的评定	372
第七章 焊接产品质量检验	377
第一节 概述	377
一、焊接产品质量检验的必要性	377
二、焊接产品质量检验的作用	378
第二节 焊接产品质量检验的内容及规则	378
一、外观检查	378

二、无损检测	379
三、焊接接头的力学性能试验	382
四、金相及断口检验	383
五、压力试验	384
第三节 焊接产品质量检验的方法和技术要求	385
一、焊缝外观质量检查	385
二、焊缝的无损检测	386
三、焊接接头的力学性能试验	428
四、金相检验和断口检验	444
五、压力试验	445
第四节 焊接产品质量检验应用实例	449
一、中间冷却器	449
二、中间冷却器的焊后质量检验	450
第八章 焊接产品失效分析试验	459
第一节 概述	459
一、焊接产品失效及其原因	459
二、焊接产品失效的种类和特征	462
三、焊接产品失效分析的目的和意义	484
第二节 焊接产品失效分析的一般程序	485
一、调查研究、收集资料	485
二、检查外观, 选取试样	486
三、失效分析试验	487
四、提出结论, 制定措施	489
第三节 焊接产品失效分析方法	489
一、断口分析	489
二、金相分析	497
三、无损检测	506
四、化学成分分析	506
五、材料性能试验	508

第四节 焊接产品失效分析试验应用实例	508
一、400m ³ 液化石油气球罐破裂事故分析	508
二、14MnMoCu (B) 钢大型结构试验中产生严重开裂 事故的分析	516
附录	521
附录 A 焊接基础通用标准	521
附录 B 焊接材料标准	521
附录 C 焊接质量试验及检验标准	523
附录 D 焊接方法及工艺标准	527
附录 E 焊接结构标准	528
附录 F 焊接设备标准	529
附录 G 焊接安全与卫生标准	530
附录 H 焊工培训与考试标准	531
参考文献	532

第一章 绪 论

焊接技术发展到今天，已经成为现代工业生产中不可缺少的加工工艺之一。它的应用遍及能源、交通、建筑、机械制造、航空、航天、海洋工程、核动力工程等各个工业部门。为了保证焊接产品和结构的质量，作为生产部门，除了要精心设计、精心施工、加强管理外，还应非常重视和加强焊接试验工作。焊接试验是合理选材、正确进行产品设计、正确制定焊接工艺以及加强焊接质量管理的有力手段，尤其是焊接工程综合试验更与产品质量息息相关。

一、焊接工程综合试验的基本概念

在焊接试验中，有许多分类方法，例如，按照试验的目的可以分成探索性试验和验证性试验；按照试验者与研究对象的关系可以分成直接试验和间接试验；按照量与质的关系可以分成定性试验和定量试验等。焊接综合试验则是按照试验的规模和内涵相对于焊接基本试验划分出来的一类试验。

在焊接工程中，焊接技术人员经常要面对这样一些技术工作：对金属材料的焊接性进行评定；对拟定的焊接工艺进行评定；对焊接材料的质量进行检验；对焊接设备的性能进行评定；对焊工的操作技能进行考核；对焊接产品的质量进行检验；对焊接产品的失效进行分析等等。试想，在这些工作中有哪一件工作能离开焊接试验呢？没有；又有哪一件工作只依靠一项简单的试验就能完成呢？也没有。这些工作中都包含着几项、十几项，甚至更多的简单试验，而且这些试

验都不是机械地堆砌在一起，而是按照一定的规律有机地组合在一起，共同为实现其特定的目的服务。这种试验显然是与组成它的简单试验不同的。对这种为了特定的目的由若干简单试验有机地组合在一起而形成的试验群体，称之为“焊接综合试验”，而对于组成焊接综合试验的比较简单、最基本的试验称之为“焊接基本试验”。为了与焊接研究中的综合试验相区别，对于焊接工程中的综合试验称之为“焊接工程综合试验”。

随着焊接技术的发展，已经出现很多焊接基本试验。其中大部分是为焊接专业设计的，有些虽不是专门为焊接专业设计的，但为焊接专业大量使用，因此也应列入焊接基本试验的范畴。这些试验大部分已被制定成国家标准、专业标准或部颁标准，因此都有统一的试验方法和要求。目前已列入我国国家标准的基本试验有：GB4675.1—84《焊接性试验 斜 y 形坡口焊接裂纹试验方法》、GB4675.2—84《焊接性试验 搭接接头 (CTS) 焊接裂纹试验方法》、GB4675.3—84《焊接性试验 T 形接头焊接裂纹试验方法》、GB4675.4—84《焊接性试验 压板对接 (FISCO) 焊接裂纹试验方法》、GB4675.5—84《焊接性试验 焊接热影响区最高硬度试验方法》、GB/T13817—92《对接接头刚性拘束焊接裂纹试验方法》、GB9446—88《焊接用插销冷裂纹试验方法》、GB/T13450—92《对接接头宽板拉伸试验方法》、GB7032—86《T 形角焊接头弯曲试验方法》、GB3965—83《电焊条熔敷金属中扩散氢测定方法》、GB2651—89《焊接接头拉伸试验方法》、GB2650—89《焊接接头冲击试验方法》、GB2652—89《焊缝及熔敷金属拉伸试验方法》、GB2653—89《焊接接头弯曲及压扁试验方法》、GB2654—89《焊接接头及堆焊金属硬度

试验方法》、GB2655—89《焊接接头应变时效敏感性试验方法》、GB3323—87《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》、GB11345—89《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》、GB1954—80《铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法》、GB/T13816—92《焊接接头脉动拉伸疲劳试验方法》、GB5992.1~12—85《熔炼焊剂化学分析方法》、GB223.1~7—81、GB223.8~24—82《钢铁及合金化学分析方法》等。还有一部分焊接基本试验虽然没有制定成标准，但也在大量地使用着，如拉伸拘束裂纹试验方法、Granfield 层状撕裂试验方法等。

焊接工程中比较典型的综合试验有：金属焊接性试验、焊接工艺评定试验、焊接材料质量评定试验、弧焊电源性能试验、焊工操作技能评定试验、焊接产品质量检验、焊接产品失效分析试验等。这些试验大部分也已被制定成标准或规范。例如，关于焊接工艺评定试验，有JB4708—92《钢制压力容器焊接工艺评定》、JB4420—89《锅炉焊接工艺评定》等；关于弧焊电源性能试验，有GB8118—87《电弧焊机通用技术标准》、ZBJ64006—88《弧焊变压器》、ZBJ64003—87《弧焊整流器》等；关于焊工操作技能评定试验，有劳动人事部颁发的《锅炉压力容器焊工考试规则》等；关于焊接产品质量检验，有劳动人事部颁发的《压力容器安全技术监察规程》、《蒸汽锅炉安全技术监察规程》等。

二、焊接工程综合试验的特点

焊接工程综合试验既不同于焊接基本试验，也与焊接研究中的综合试验有所区别。概括起来，焊接工程综合试验有以下特点：

1. 规模大、内容复杂

焊接工程综合试验与焊接基本试验相比,其规模比较大,内容复杂,通常一项试验包含几项、十几项、甚至更多的基本试验,因此其涉及的设备、仪器、人员比较多,试验周期也比较长。

2. 具有“系统”特征

焊接综合试验与焊接基本试验相比,具有“系统”特征。根据“系统”的观点,系统是由若干部分(或要素)以一定的结构相互联系而成的有机整体。这个整体可以分解为若干部分(或要素),它具有不同于各组成部分的新的功能。考察焊接综合试验,也是这样一个整体:它是由若干焊接基本试验组成的。而组成它的基本试验并不是机械地堆砌在一起,而是根据其试验目的,按照一定的规律有机地组合在一起。其试验结果既依赖于每个基本试验的结果,又不完全取决于某个基本试验的结果,就是说它具有不同于每个基本试验的功能。由于它具有“系统”特征,因此可以用系统方法来设计试验方案和分析试验结果,以期达到最佳化。一般来说,已列入标准或规范的焊接综合试验都是经过长期实践证明比较好的试验方案。

3. 实现规范化

与焊接研究中的综合试验相比,焊接工程综合试验大部分已实现了规范化。焊接研究中的综合试验虽然也具有“系统”特征,但是为了深入研究某一问题的需要,各个基本试验的选择和组合是非常灵活的,试验方案没有特别固定的模式。而已经被制定成标准或规程的焊接工程综合试验则不同了,在生产中必须按照标准或规程中规定的方法和程序进行。

4. 与实际生产密切结合

与焊接研究中的综合试验相比,焊接工程综合试验与实

际生产更接近。焊接研究中的综合试验更多地侧重于认识尚未被认识或未充分认识的焊接内在规律,以便发现新理论、发明新材料、新工艺、新设备,因此具有很强的探索性质。在试验中,为了揭示新的规律,常常需要强化试验对象,使其处于某种极限状态,有时还需要创造条件使试验具有简化或纯化作用,以便排除某些因素的干扰,使我们需要认识的某种属性或联系以比较纯粹的形式呈现出来。这些条件显然与实际生产有较大距离。而焊接工程综合试验则不同,它直接为焊接产品制造服务,大部分试验本身就是焊接产品制造过程中的一个环节,因此,它与实际生产密切联系,对生产能产生直接影响。

三、焊接工程综合试验在焊接生产中的作用

图 1-1 是在国家推荐标准 GB/T12467—90《焊接质量保证一般原则》中,提出的焊接产品的一般制造流程。由图可知,在现代工业生产中,焊接工程综合试验已与焊接产品的制造过程融为一体,成为其中重要的组成部分。例如,焊接性试验、焊接工艺评定试验、焊工资格审核以及产品验收时的焊接质量检验均为焊接产品生产过程中的重要环节。实际上,在焊接产品制造的每个阶段以及产品服役过程中都贯穿有焊接综合试验,它们在产品的设计、选材、制定工艺、施工、质量检验以及事故分析等各个方面都起着重要作用。

产品制造可以分为三个阶段:焊前准备阶段、焊接施工阶段和焊后验收阶段。

在焊前准备阶段,为了选择既适于焊接又能满足使用性能要求的母材,需要进行金属焊接性试验。通过试验了解这种金属材料在焊接时容易产生的问题,以便决定是否选用,以及在选用后针对存在的问题应采取相应的措施。而且,金属

焊接性试验也是合理制定焊接工艺的方法。当我们没有成熟工艺可以借鉴时,通过金属焊接性试验就可为制定焊接工艺提供依据,提供基础数据。通过金属焊接性试验或根据技术资料和经验拟定的焊接工艺还不能直接应用到产品上,为了保证焊接工艺的可靠性,还需要进行焊接工艺评定试验进行检验。试验中,要求试验条件与产品的生产条件相对应,或者焊接工艺条件符合替代规则,此外,还需由本厂技术熟练的焊工施焊。只有经过焊接工艺评定合格的焊接工艺才能应用于实际产品焊接,而未合格的,则需要重新拟定焊接工艺。

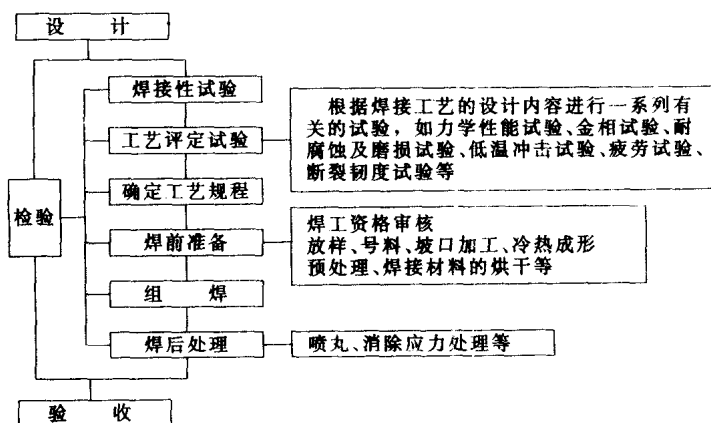


图 1-1 焊接产品的一般制造流程图

与此同时,还要对产品使用的母材、焊接材料的质量进行检验,对焊接设备的运行情况进行检查,对焊工的操作技能进行考核。这是因为在焊接质量保证体系中它们也都是很重要的因素(图 1-2)。对母材和焊接材料质量进行检验,可以防止错用材料或使用的材料不符合技术条件要求而影响焊接产品的质量;对焊接设备特别是弧焊电源的性能进行检查,