

普通高等教育“十二五”重点规划教材

焊接工程 综合试验教程

沈阳工业大学 王宗杰 主编

WELDING

机械工业出版社
MACHINE PRESS



焊接工程综合试验是焊接工程中合理选材、正确进行产品设计、正确制订焊接工艺的有力手段,同时,也是加强质量管理、保证产品质量的重要基石。

本书系统地介绍了焊接工艺过程中的一些比较典型的综合试验,包括:金属焊接性综合试验、焊接工艺评定综合试验、焊接材料质量检验综合试验、弧焊机器人软硬件配置及预施工综合试验、焊接失效分析综合试验、焊接产品质量检验综合试验等,分别介绍了这些试验的目的、内容和试验方法等,并列举了一些比较典型的工程应用实例。

本书可作为高等学校焊接技术与工程专业、材料成形及控制工程专业焊接方向的教材或教学参考书,也可作为其他专业师生和从事焊接行业的工程技术人员参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

焊接工程综合试验教程/王宗杰主编. —北京:机械工业出版社,2012.7
普通高等教育“十二五”重点规划教材
ISBN 978-7-111-38960-6

I. ①焊… II. ①王… III. ①焊接工艺—高等学校—教材 IV. ①TG44

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第138147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:冯春生 责任编辑:冯春生 程足芬

版式设计:霍永明 责任校对:张薇

封面设计:张静 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.75印张·365千字

标准书号:ISBN 978-7-111-38960-6

定价:29.00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

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

“焊接工程综合试验”课程是为了满足高等学校焊接技术与工程专业和材料成形及控制工程专业焊接方向实施高等工程教育、培养学生的工程实践能力和创新能力的需要而设置的一门专业课，同时也是根据教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》中对材料成形及控制工程专业的实验提出的要求而设置的一门专业实验课。该课程无论是在教学内容上，还是在教学方法上都与传统的专业实验课有很大不同。它的特点是：以工程为背景，以焊接工艺过程为主线，紧密围绕和联系实际工程组织实验教学，以实现专业试验课的工程化；将原实验内容按照工程实际有机地整合和补充，形成若干个综合性实验，以实现专业实验课的综合化；增加探索性和障碍性实验内容，调动学生的主动性，以增强学生的创新意识和创新能力。

本书在编写的过程中，注意理论密切联系工程实际，紧紧围绕工程组织内容，努力使学生在掌握实验技能的同时，能够熟悉实际工程应用，学到分析问题和解决问题的方法。书中比较详细地介绍了焊接产品和结构生产中的一些比较典型的综合试验，包括金属焊接性综合试验、焊接工艺评定综合试验、焊接材料质量检验综合试验、弧焊机器人软硬件配置及预施工综合试验、焊接失效分析综合试验、焊接产品质量检验综合试验等，分别介绍了这些试验的目的、内容和试验方法等，并列举了一些比较典型的工程应用实例。

本书共7章，其中，第1章导论，主要介绍焊接工程综合试验的概念、特点，以及焊接工程综合试验在焊接产品和结构生产中所处的位置和作用；第2章金属焊接性综合试验，介绍该试验的目的、内容、方法和工程应用实例；第3章焊接工艺评定综合试验，介绍焊接工艺评定的目的、分类、规则，以及综合试验的内容、方法和工程应用实例；第4章焊接材料质量检验综合试验，分别介绍焊条、焊剂和焊丝质量检验综合试验的目的、内容、方法和工程应用实例；第5章弧焊机器人软硬件配置及预施工综合试验，介绍该试验的目的和内容、机器人的发展和分类、弧焊机器人系统的硬件配置、弧焊机器人系统的程序编制以及工程应用实例；第6章焊接失效分析综合试验，介绍该试验的目的、内容、方法和工程应用实例；第7章焊接产品质量检验综合试验，以压力容器为例，介绍该试验的目的、内容、方法和工程应用实例。

本书由沈阳工业大学王宗杰教授主编。其中，第1章、第2章、第3章、第6章和第4章部分内容由王宗杰教授编写，并负责全书统稿；第7章由沈阳航空航天大学国旭明教授编写；第5章和第4章部分内容由沈阳工业大学路林讲师编写。全书由沈阳工业大学徐国建教授主审。

在本书的编写过程中，得到了全国焊接标准化技术委员会秘书长朴东光研究员、沈阳新松机器人自动化股份公司吕鸿涛工程师的大力支持和帮助，他们审阅了部分内容，提出了许多宝贵的建议，并提供了许多重要参考资料；沈阳工业大学材料科学与工程学院和有关部门也给予了很大帮助，在此一并表示衷心的感谢。同时，向本书所引用文献的作者们深表谢意。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不当之处，恳请读者批评指正。

目 录

前言

第1章 导论 1

- 1.1 焊接工程综合试验的概念和特点 1
 - 1.1.1 焊接工程综合试验的概念 1
 - 1.1.2 焊接工程综合试验的特点 1
 - 1.2 焊接工程综合试验在焊接结构生产中的作用 3
 - 1.3 焊接结构生产过程与焊接工艺过程中的综合试验 4
 - 1.3.1 焊接结构生产过程 4
 - 1.3.2 焊接工艺过程中的综合试验 7
 - 1.4 焊接工程综合试验的依据及有关标准 9
 - 1.4.1 焊接工程综合试验的依据 9
 - 1.4.2 与焊接工程综合试验有关的技术标准 10
 - 1.5 “焊接工程综合试验”课程的任务、内容和教学基本思路 12
 - 1.5.1 “焊接工程综合试验”课程的任务 12
 - 1.5.2 “焊接工程综合试验”课程的内容 12
 - 1.5.3 “焊接工程综合试验”课程的教学基本思路 12
- 思考题 13

第2章 金属焊接性综合试验 14

- 2.1 金属焊接性的概念及其影响因素 14
 - 2.1.1 金属焊接性的概念 14
 - 2.1.2 影响金属焊接性的因素 15
- 2.2 金属焊接性综合试验的目的和内容 16
 - 2.2.1 金属焊接性综合试验的目的 16
 - 2.2.2 金属焊接性综合试验的内容 16
- 2.3 金属焊接性综合试验的基础试验方法分类及选用原则 18
 - 2.3.1 金属焊接性综合试验的基础试验方法分类 18

- 2.3.2 金属焊接性综合试验的基础试验方法的选用原则 19

- 2.4 利用金属焊接性综合试验拟定焊接工艺的基本思路 20
 - 2.4.1 焊接工艺的概念 20
 - 2.4.2 拟定焊接工艺的基本思路 21
 - 2.5 常用的金属焊接性综合试验的基础试验方法 23
 - 2.5.1 金属焊接性间接试验方法 23
 - 2.5.2 工艺焊接性直接试验方法 27
 - 2.5.3 使用焊接性直接试验方法 38
 - 2.5.4 析因理化试验 44
 - 2.6 金属焊接性综合试验工程应用实例 51
 - 2.6.1 20MnMoNb 钢大厚度高压蓄势水罐概况 51
 - 2.6.2 20MnMoNb 钢基础试验 51
 - 2.6.3 焊接方法及焊接材料的选择 51
 - 2.6.4 焊接参数及工艺措施的确定 52
- 思考题 54

第3章 焊接工艺评定综合试验 55

- 3.1 焊接工艺评定的概念及目的 56
 - 3.1.1 焊接工艺评定的概念 56
 - 3.1.2 焊接工艺评定的目的 56
- 3.2 焊接工艺评定方法的分类及其适用条件 57
 - 3.2.1 基于焊接工艺评定试验的评定方法 57
 - 3.2.2 基于焊接经验的评定方法 58
 - 3.2.3 基于试验焊接材料的评定方法 58
 - 3.2.4 基于预生产焊接试验的工艺评定方法 59
 - 3.2.5 基于标准焊接规程的工艺评定方法 59
- 3.3 焊接工艺评定规则 60
 - 3.3.1 基于焊接工艺评定试验的评定方法的



认可范围	61	4.3.2 焊条质量检验综合试验的 方法	101
3.3.2 基于试验焊接材料工艺评定方法的 认可范围	68	4.4 焊剂质量检验综合试验	123
3.3.3 基于预生产焊接试验工艺评定方法的 认可范围	69	4.4.1 焊剂质量检验综合试验的 内容	123
3.3.4 基于焊接经验的工艺评定方法的 认可范围	69	4.4.2 焊剂质量检验综合试验的 方法	124
3.3.5 基于标准焊接规程的工艺评定方法的 认可范围	69	4.5 焊丝质量检验综合试验	130
3.4 焊接工艺评定的一般程序和操作	69	4.5.1 实芯钢焊丝	130
3.4.1 编制焊接工艺预规程 (PWPS)	70	4.5.2 药芯钢焊丝	132
3.4.2 焊接工艺评定综合试验	74	4.6 焊接材料质量检验综合试验应用 实例	141
3.4.3 评定焊接工艺预规程	75	4.6.1 E5018 型 (J506Fe) 焊条质量检验 综合试验	141
3.4.4 编制焊接工艺评定报告 (WPQR)	75	4.6.2 SJ101 烧结焊剂质量检验综合 试验	143
3.5 焊接工艺评定综合试验的内容	76	思考题	144
3.5.1 基于焊接工艺评定试验进行评定的 试验内容	76	第5章 弧焊机器人软硬件配置及预施 工综合试验	145
3.5.2 基于预生产焊接试验进行评定的 试验内容	78	5.1 机器人的发展、分类及其作用	145
3.6 焊接工艺评定综合试验的方法及 合格指标	79	5.1.1 机器人的发展概况	145
3.6.1 基于焊接工艺评定试验进行评定的 试验方法及合格指标	79	5.1.2 机器人的分类	146
3.6.2 基于预生产焊接试验进行评定的 试验方法及合格指标	89	5.1.3 焊接机器人的作用	148
3.7 焊接工艺评定综合试验工程应用 实例	89	5.2 弧焊机器人软硬件配置及预施工综合 试验的目的及内容	149
3.7.1 15m ³ 油漆储罐及所拟定的筒体纵 缝焊接工艺简介	89	5.2.1 弧焊机器人软硬件配置及预施工 综合试验的目的	149
3.7.2 编制焊接工艺预规程	91	5.2.2 弧焊机器人软硬件配置及预施工 综合试验的内容	149
3.7.3 焊接工艺评定综合试验	91	5.3 弧焊机器人系统的硬件配置	150
3.7.4 编制焊接工艺评定报告	92	5.3.1 弧焊机器人系统的硬件组成及其 作用	150
思考题	95	5.3.2 弧焊机器人系统的主要硬件配置 要点	156
第4章 焊接材料质量检验综合 试验	96	5.4 弧焊机器人系统的程序编制	161
4.1 焊接材料的种类和作用	96	5.4.1 机器人程序及其构成	161
4.2 焊接材料质量检验综合试验的 目的	97	5.4.2 弧焊机器人编程方法的种类及其 特点	162
4.3 焊条质量检验综合试验	97	5.4.3 弧焊机器人的示教编程	163
4.3.1 焊条质量检验综合试验的 内容	98	5.4.4 弧焊机器人的离线编程简介	172
		5.5 弧焊机器人软硬件配置及预施工综 合试验方法	174
		5.5.1 焊件及其焊接工艺方案简介	174

5.5.2 弧焊机器人系统的硬件配置 试验方法	174	6.5.1 大型试验结构制造时产生焊接 裂纹失效的概况	200
5.5.3 弧焊机器人系统的程序编制 试验方法	180	6.5.2 焊接失效分析综合试验	200
5.5.4 弧焊机器人焊接预施工 试验方法	183	6.5.3 结论	201
思考题	185	思考题	201
第6章 焊接失效分析综合试验	186	第7章 焊接产品质量检验综合 试验	202
6.1 焊接失效和可能的原因	186	7.1 焊接产品质量检验及其目的	202
6.1.1 焊接失效及其危害	186	7.1.1 焊接产品质量检验	202
6.1.2 产生焊接失效的原因	188	7.1.2 焊接产品质量检验的目的	202
6.2 焊接失效的类型和特征	188	7.2 焊接产品质量检验综合试验的内容和 依据	203
6.2.1 焊接裂纹引起的失效	189	7.2.1 焊接产品质量检验综合试验的 内容	203
6.2.2 焊接气孔引起的失效	191	7.2.2 确定焊接产品质量检验综合 试验的依据	205
6.2.3 焊接夹杂引起的失效	191	7.3 压力容器质量检验综合试验的内容、 方法和技术要求	206
6.2.4 焊接变形引起的失效	192	7.3.1 外观质量检查	206
6.2.5 焊接接头脆化引起的失效	192	7.3.2 焊缝的无损检测	207
6.3 焊接失效分析及其目的、意义和 一般程序	194	7.3.3 焊接接头力学性能试验	218
6.3.1 焊接失效分析及其目的、 意义	194	7.3.4 耐压试验	221
6.3.2 焊接失效分析的一般程序	194	7.3.5 泄漏试验	223
6.4 焊接失效分析综合试验的方法	195	7.4 焊接产品质量检验综合试验工程应用 实例	224
6.4.1 化学成分分析试验	195	7.4.1 中间冷却器	224
6.4.2 宏观分析试验	196	7.4.2 中间冷却器质量检验综合 试验	225
6.4.3 微观分析试验	196	思考题	228
6.4.4 无损检测	199	参考文献	229
6.4.5 材料性能试验	199		
6.4.6 模拟试验	199		
6.5 焊接失效分析综合试验的工程应用 实例	200		

第1章 导 论

焊接作为材料成形工艺之一，其应用遍及机械制造、能源、交通、建筑、航空航天、海洋工程、核动力工程等各个工业部门，已经成为现代工业生产中不可缺少的材料成形工艺。为了保证焊接产品和结构的质量，作为焊接产品和结构的生产企业，除了要精心设计、精心施工和加强管理外，还必须重视和加强试验工作。焊接产品和结构生产中的各种综合试验是合理选材、正确进行产品设计、正确制订焊接工艺的有力手段，同时，也是加强质量管理、保证产品质量的重要基石。作为一名焊接工程技术人员掌握这些工程综合试验，无疑是十分重要的。

1.1 焊接工程综合试验的概念和特点

1.1.1 焊接工程综合试验的概念

焊接试验有许多种分类方法，例如，按照试验目的，可以分为探索性试验和验证性试验；按照量与质的关系，可以分为定性试验和定量试验；按照试验者与研究对象的关系，可以分为直接试验和间接试验等。除此以外，还有一种分类方法，就是按照试验的规模和内涵进行分类。按照试验的规模和内涵，焊接试验可以分为焊接基础试验和焊接综合试验。

在焊接生产和焊接研究中进行的各种试验都不是孤立的，而是互相联系的，而且这些试验都是为了某个特定的目的，按照一定的规律有机地组合在一起，形成一个个试验群体。这些试验群体，也就是我们所说的“焊接综合试验”。显然，它与组成它的简单的试验是不同的。对于组成焊接综合试验的比较简单、最基本的试验，通常称为“焊接基础试验”；而对于为了焊接生产或焊接研究的某个特定目的，由若干个基础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”。为了与焊接研究工作中的综合试验相区别，对于焊接结构生产过程中进行的综合试验，通常称为“焊接工程综合试验”。

1.1.2 焊接工程综合试验的特点

与焊接基础试验和焊接研究工作中的综合试验相比，焊接工程综合试验有以下特点：

1. 规模比较大、内容复杂

每一个焊接工程综合试验通常都包含几项、十几项，甚至更多的基础试验。因此，与焊接基础试验相比，它的规模比较大，内容比较复杂，同时，其涉及的试验设备、仪器、人员比较多，试验周期也比较长。

2. 具有“系统”特征

根据“系统论”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

形成的有机整体。这个整体可以分解为若干部分（或要素），具有不同于各组成部分的新功能。焊接工程综合试验也是这样一个整体：它是由若干个基础试验组成的，而组成它的基础试验并不是机械地堆砌在一起，而是根据其试验目的，按照一定的结构有机地组合在一起；其试验结果既依赖于每个基础试验的结果，又不完全取决于某个基础试验的结果，也就是说，它具有不同于每个基础试验的功能。由于焊接工程综合试验具有系统特征，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，已列入技术标准或规范的焊接工程综合试验都是经过长期实践形成的比较好的试验方案。

3. 许多综合试验实现了规范化

与焊接研究工作中的综合试验相比，许多焊接工程综合试验实现了规范化、标准化。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，各个基础试验的选择和组合是很灵活的，试验方案没有特别固定的模式，而已经被制定成标准或规范的焊接工程综合试验则不同，在工程中必须按照有关技术标准或规范中规定的方法和程序进行。

4. 与实际生产关系非常密切

与焊接研究工作中的综合试验相比，焊接工程综合试验与实际生产的关系更为密切。焊接研究工作中的综合试验更侧重于认识尚未被认识或未被充分认识的内在规律，以便发现新理论，发明新材料、新工艺和新设备。在焊接研究工作的综合试验中，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，它与实际生产的关系十分密切，它直接为制造焊接结构服务。

许多综合试验与产品的制造过程融为一体，成为其中不可缺少的组成部分，例如，金属焊接性综合试验、焊接工艺评定综合试验、焊接产品验收中的综合试验等本身就是焊接产品和结构制造过程中的重要环节，直接为制造焊接结构服务，如图 1-1 所示。

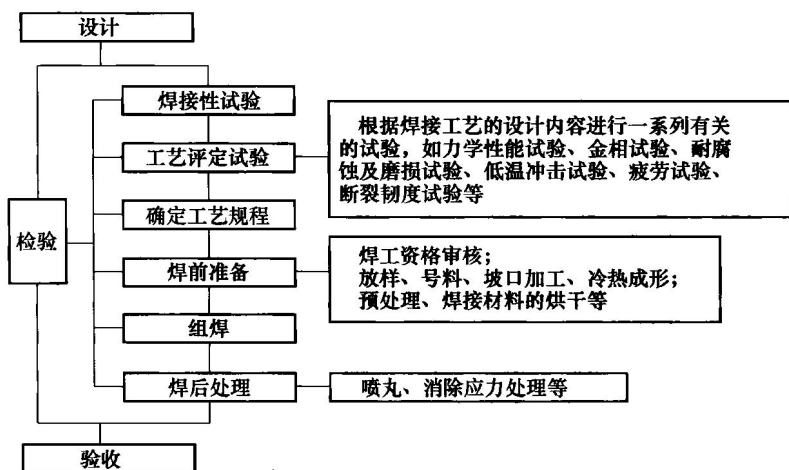


图 1-1 焊接产品的一般制造流程图

1.2 焊接工程综合试验在焊接结构生产中的作用

焊接工程综合试验在焊接结构生产中的作用主要表现在以下三个方面：

(1) 焊接工程综合试验可以增加焊接结构生产的科学性，避免发生事故。大量案例说明，在生产中增加科学性，避免盲目性是非常重要的。在工业生产的初期，由于人们认识上的局限性，从产品设计、选择材料、制订工艺到施工，大多靠经验，而不是依靠科学试验提供的数据，因而生产出来的产品或零部件质量低劣，导致事故频出。

例如，在第二次世界大战期间，美国将制造轮船的方法由采用铆接改为焊接，但没有考虑到焊接结构整体性强、对应力集中特别敏感的特点，仍然因袭了旧结构的形式，结果造成了大量破坏性事故。经统计，第二次世界大战期间美国一共制造了 4694 艘“自由轮”，有 970 艘产生了裂纹，其中有 24 艘的甲板全部横向断裂，一艘的船底完全断裂，7 艘从中腰断为两截（图 1-2），有 4 艘轮船沉没。后来，对船体结构进行了改进，例如将甲板舱口部位的拐角由尖角改为圆滑过渡（图 1-3）等，使应力集中得到了缓和，才制止了裂纹的产生。

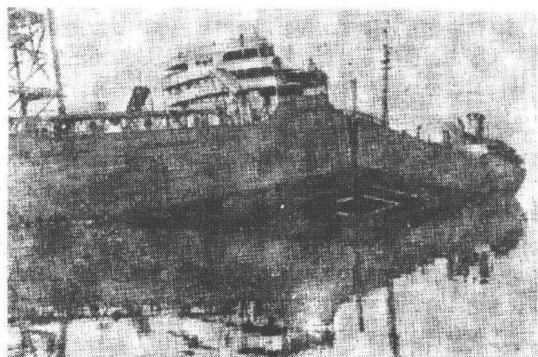


图 1-2 断裂的“自由轮”

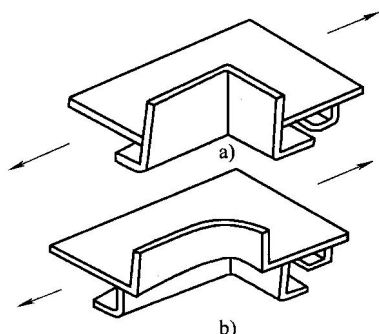


图 1-3 美国“自由轮”甲板舱口设计对比
a) 原始设计 b) 改进后设计

又如，1943 年美国纽约州斯克塔迪有一台储存氢气的球罐，直径为 10.7m，壁厚为 16.8mm，材质为半镇静钢，工作压力为 0.342MPa。由于焊接工艺制订不当，制造时没有选用抗裂性好的低氢焊条，而是选用高氢的纤维素焊条，致使焊接接头含氢量很高，加之在人孔附近加强板处产生了很大的焊接内应力，引发了焊接延迟裂纹，因而，在使用后不到三个月就发生了爆炸，有 20 块碎片飞出，造成了很大损失。国内这样的例子也不胜枚举。

在焊接结构生产的各个环节设置了焊接工程综合试验以后情况就不同了，它能避免盲目性，能使焊接结构生产建立在科学的基础上，使设计更合理，选材更正确，工艺制订更科学，施工更规范，因此就能有效地保证生产过程正常运转，避免事故的发生。

(2) 焊接工程综合试验能有效地保证产品质量。焊接工程综合试验能有效地保证产品质量，一方面在于能有效地控制投入生产的技术、材料、人员、设备等因素，使生产过程正常运转；另一方面在于一些综合试验能起到监控的作用，随时发现问题，随时纠正，

防止对后续工序及产品质量有恶劣影响的缺陷流入后续工序。特别是当产品生产出来以后,通过焊接产品质量检验综合试验,能够有效地把住产品质量的最后关口,防止不合格的产品出厂。

(3) 焊接工程综合试验能促进焊接技术不断提高 焊接技术的提高与在生产中不断发现问题和解决问题是分不开的。生产中每一个问题的发现和解决都使我们的认识提高一步,同时也使焊接技术提高一步。借助于焊接工程综合试验,可以使我们不断地发现产品生产过程中存在的问题和隐患,促使我们进行研究,寻找解决问题的办法,因而就能提高我们对客观事物规律的认识,并促进焊接技术的不断提高。

1.3 焊接结构生产过程与焊接工艺过程中的综合试验

焊接工艺过程是焊接结构生产过程中的一个重要过程,要了解焊接工艺过程,首先需要了解焊接结构生产过程。

1.3.1 焊接结构生产过程

焊接结构生产过程是将各种金属轧制的型材或其他金属坯料,以焊接成形为主要加工工艺,经过一系列加工工艺过程和辅助生产过程,最终制成焊接结构或产品的过程。焊接结构生产过程包括两部分,一部分是焊接生产工艺过程,即改变生产对象的形状、尺寸、相对位置或性能的那一部分生产过程,是其主要组成部分;另一部分是辅助生产过程,例如材料准备、零部件的保存和运输、检验等。图1-4所示为加氢反应器焊接生产工艺过程的流程图。可以看出,在焊接生产工艺过程中既有焊接工艺内容,也有裁料、变形加工、机械加工、热处理等工艺等内容;既有热加工内容,也有冷加工内容。

在工业生产中,焊接结构和产品的种类繁多,其结构形式、用途和要求各异,因而不同的结构和产品的生产过程所包含的生产工艺过程和辅助生产过程也不尽相同。但是,如果从宏观角度来看,会发现各种焊接结构和产品的生产过程也有共同点,即所有的焊接结构和产品的生产过程都可以概括地用图1-5表示,即焊接结构和产品的生产过程是由零件加工、装配、焊接、热处理、修整和涂饰等工艺过程和材料入库、入中间仓库、成品总检、入成品库等辅助生产过程组成的。其中,焊接工艺过程是焊接结构生产过程中的一个至关重要的过程。

1. 材料入库

材料入库主要指的是根据生产任务和技术要求,购进原材料(如板材、型材、管材等)、焊接材料(如焊条、焊剂、焊丝等)及其他辅助材料(如燃料、油漆等),并对材料进行验收和妥善地保存。其中以原材料和焊接材料最为重要,它们直接关系到焊接产品的质量和安全,因此需要进行严格的验收,包括检查材质证明书、材料的几何尺寸和表面质量等,如有必要,还要对原材料和焊接材料的化学成分、力学性能、内部缺欠等进行检验,当确认材料符合要求后才能入库。

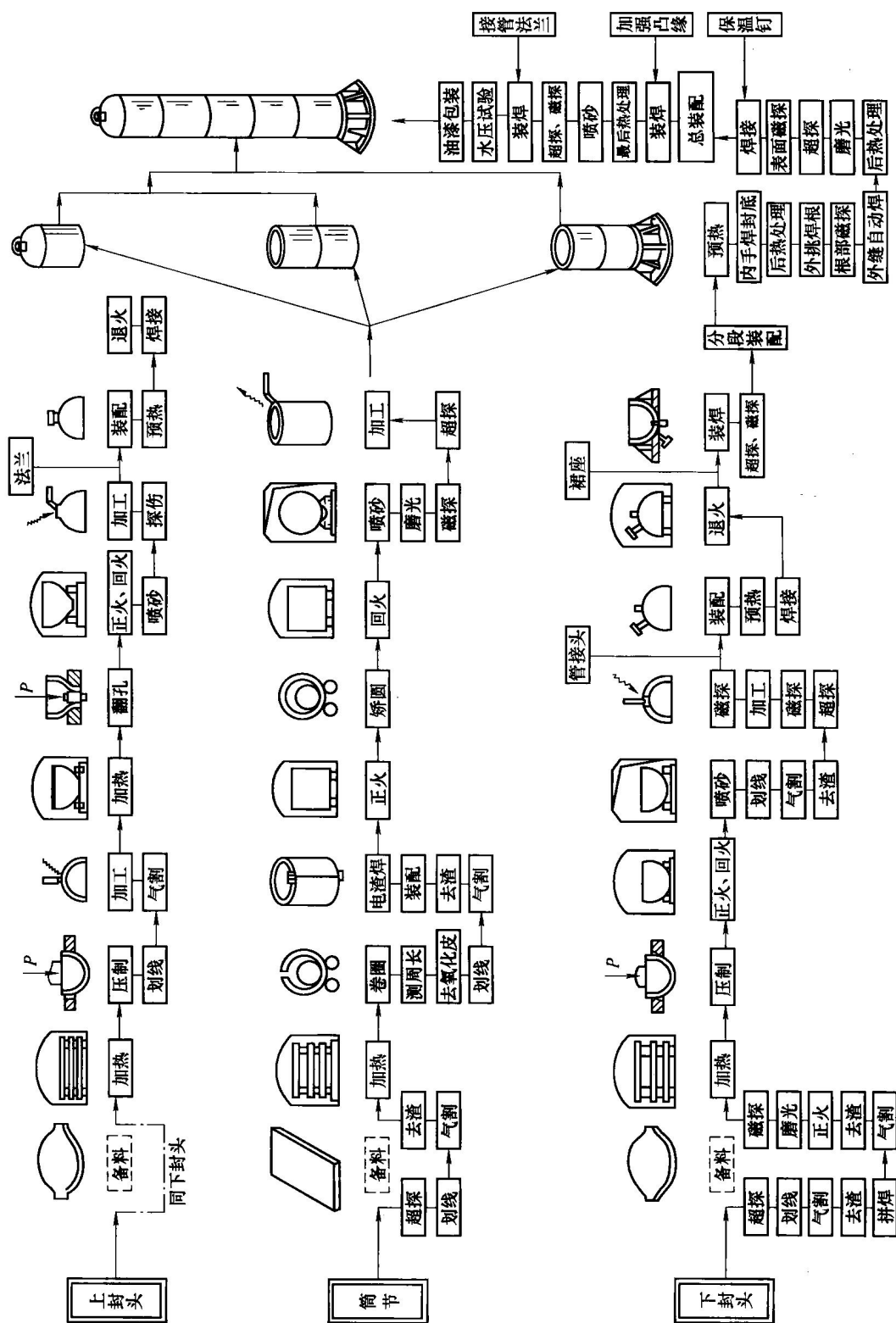


图 1-4 加氢反应器焊接生产工艺过程的流程图

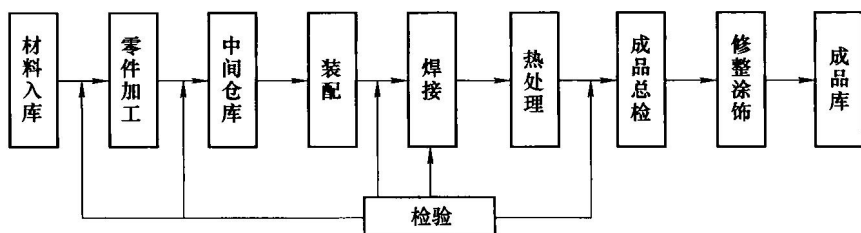


图 1-5 焊接结构生产过程

2. 零件加工工艺过程

零件加工工艺过程就是对焊接结构或产品所用的原材料按照工艺要求所进行的一系列加工过程。它包括按图样划线、冲剪或切割、矫正、坡口加工、卷制或冲压，以及钻孔等加工过程。这个过程在焊接结构生产中通常是不可缺少的一个环节。其目的是将原材料做成焊接结构或产品所需要的零件，为随后进行的装配和焊接做好准备。

3. 装配工艺过程

装配工艺过程是将已经加工好的各个分散的零件，采取适当的工艺方法，按照施工图样，组装并点固焊在一起的工艺过程。在生产中，焊接结构可以采用下述方法进行装配：

(1) 划线定位装配 将待装配的零件按划好的装配位置线定位、点固，这种方法只适于单件或小批量生产。

(2) 定位器定位装配 将零件用定位器定位、装卡装配，这种方法不需划线，适于批量生产。

(3) 装配夹具定位装配 在装配夹具上将零件按顺序装配固定，它适于批量及大批量生产。

(4) 用安装孔装配 它适用于有安装孔的构件在现场或工地装配。

4. 焊接工艺过程

焊接工艺过程是将装配好的零部件，用规定的焊接方法，采用正确的焊接工艺进行焊接，使之牢固地连接成一个整体的过程。由于焊接结构和焊接产品生产的主要工艺是焊接工艺，因此这个过程在很大程度上决定了焊接质量。

焊接工艺过程与装配工艺过程联系非常紧密，根据装配—焊接顺序，大体可以分为三种类型：

(1) 整装一整焊 将全部零件装配好后，整体进行焊接，适于结构简单、零件数量少、大批量生产的构件。

(2) 部件装配焊接—总装配焊接 将结构分解成若干个部件，先将部件装配焊接好，再将部件装配焊接成整个结构，适于批量生产和流水作业，几个部件可同步进行。

(3) 随装随焊 先将若干个零件组装焊接起来，再在其上装配若干零件进行焊接，直至全部零件装配焊接完毕，这种方法适于复杂结构和单件或小批量生产。

5. 热处理工艺过程

常用的焊后热处理工艺有消除应力处理、回火处理、调质处理、时效处理等。焊后热处理不仅可以消除或降低焊接结构的焊接残余应力、稳定结构的尺寸，而且能改善焊接接头的金相组织，提高接头的各项性能。热处理工艺的选择与焊接结构母材的种类、板厚、

所选用的焊接工艺以及对焊接接头性能的要求有关。

6. 成品总检

在整个生产过程的各个阶段都贯穿有检验工作（包括质量检查和资料检查）。在生产过程的每个工序之后进行的检验称为工序检验；在产品焊成以后进行的检验称为成品总检。成品总检包括产品检验和资料检验两部分，其中，产品检验大部分在焊接以后和热处理之前进行，例如外观检查、焊接接头无损检测等；一部分则在热处理之后进行，例如耐压试验和气密性试验等。资料检验主要是核实所有的技术资料 and 试验报告是否齐全。

7. 成品修整和涂饰工艺过程

这个阶段主要是对成品总检中发现的质量问题进行补充加工，以及在产品质量全面达到要求以后，进行涂饰和包装，以便出厂。

在制成的焊接结构中，许多是最终的产品，如大型球罐、热风炉、浇包、煤气柜等，更多的是最终产品的主要部件或零件，如焊接船壳、压力容器承压壳、工业锅炉的炉体、龙门起重机的钢桥架、核电站压力壳以及水轮机的主轴、转轮和座环等。

1.3.2 焊接工艺过程中的综合试验

为了保证焊接结构和产品的质量，在焊接结构生产的每一个工艺过程中都有综合试验。例如，在零件加工工艺过程中，每个加工工序（如切割、卷制、机械加工、冲压等）都有加工质量检验综合试验；在装配工艺过程中，有装配质量检验综合试验；在焊后热处理工艺过程中有热处理质量检验综合试验等。但是，在所有的工艺过程中，最重要的是焊接工艺过程，它是整个焊接结构生产过程的核心，是决定焊接结构和产品质量的关键环节，因此，了解和掌握焊接工艺过程中的综合试验具有特别重要的意义。

焊接工艺过程按照时间顺序可以分为焊前准备、焊接施工和焊后检验三个阶段，每个阶段都有其相应内容的焊接工程综合试验，如图 1-6 所示。

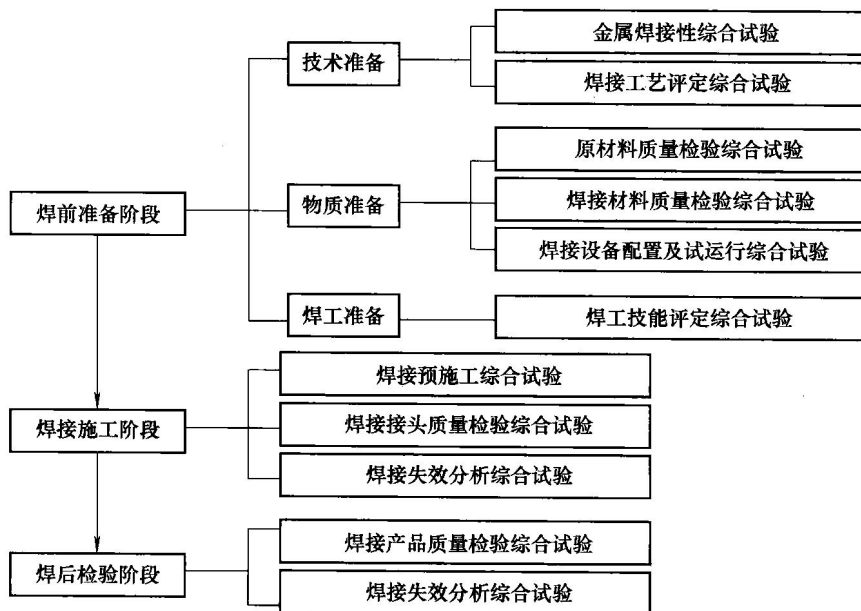


图 1-6 焊接工艺过程中主要的综合试验

1. 焊前准备阶段

焊前准备主要包括以下三个方面的内容:

(1) 技术准备 技术准备主要包括对焊接结构和产品进行工艺性分析,了解和掌握技术要求,找出生产中的关键,并以此确定生产方案和技术措施,制订焊接工艺。其中最重要的准备是在全面审查焊接结构工艺性和试验的基础上制订焊接工艺,即确定拟采用的焊接方法、焊接材料、焊接参数和必要的工艺措施(如预热、缓冷、后热、焊后热处理)等。对于焊接工艺成熟的常用钢材(如 Q235A),一般可以通过查阅有关的技术资料或借鉴成熟的经验来拟定焊接工艺,但当被焊材料是新钢种或虽非新钢种但设计上特别提出要求时,则应进行金属焊接性综合试验来拟定焊接工艺。焊接工艺拟定好以后,为了保证工艺可靠,还需要进行验证,验证的办法是进行焊接工艺评定。在诸多焊接工艺评定的方法里,最基本的方法是进行焊接工艺评定综合试验。金属焊接性综合试验和焊接工艺评定综合试验中都含有许多焊接基础试验,因此都是很典型的焊接工程综合试验。

(2) 物质准备 物质准备包括原材料准备、焊接材料准备、辅助材料准备以及焊接设备(包括焊机、工艺装备等)准备。为了确保材料和设备满足生产要求,生产中需要对材料的质量和设备的合理配置进行认定工作。对原材料质量进行认定,需要进行原材料质量检验综合试验;对焊接材料质量进行认定,需要进行焊接材料质量检验综合试验;对焊接设备的配置认定,需要进行焊接设备配置及试运行综合试验。这些检验工作都是通过大量的试验完成的,因此也都是焊接工程综合试验。

一般情况下,焊接材料质量的检验工作在焊接材料生产厂进行,用户主要是根据产品合格证,检查外观和通过实际施焊予以认定。但是,当焊接重要的结构(如三类及三类以上的压力容器)或对焊接材料质量有疑问(如焊接材料放置的时间过长,药皮变色等)时,用户也需要按照有关技术标准对焊接材料的质量进行复验。

(3) 焊工准备 焊工是焊接设备、焊接材料的操作者,也是焊接工艺的实施者。焊接质量,尤其是采用手工焊接方法时的焊接质量在很大程度上取决于焊工的操作水平,因此,在这个阶段里,须对焊工的资格进行审查,审查的内容是检查焊工的焊接基本知识和操作技能是否通过了考核。焊工操作技能考核一般是在当地的焊工培训中心进行,它也是通过一系列试验完成的,因此也是一项典型的工程综合试验。焊工只有通过考核并取得相应项目的考试合格证以后才能上产品施焊。

2. 焊接施工阶段

完成前期的各种准备工作以后,在焊接施工阶段首先需要进行焊接预施工综合试验,主要是检验将各种焊接条件组合以后,在施工中焊接过程能否正常运行,焊接质量能否得到保证。只有通过了焊接预施工综合试验以后才能正式投产。焊接产品正式投产以后,则需要进行施工过程中的焊接接头质量检验综合试验,以保证整个过程中的焊接质量处于监控之下。例如,多层多道焊时,每焊完一道焊缝后都要检查焊缝的成形以及焊接接头是否有裂纹、气孔、夹杂、未熔合、未焊透等缺欠;清根以后,检查清根是否彻底以及焊缝是否遗留未熔合、夹杂等缺欠;焊完盖面焊缝后,检查焊缝的尺寸是否符合要求,以及焊缝表面是否有焊接缺欠等。对于重要的焊接产品和结构(如高温高压反应器),在焊完焊缝的各层或各道时,还要进行无损检测以检查焊缝内部的质量。此外,当焊接

过程中发现焊接接头出现严重质量问题时,还需要进行焊接失效分析综合试验,以便及时找出原因,采取措施。焊接失效分析综合试验包括化学成分分析试验、宏观分析试验、微观分析试验、材料性能试验以及模拟试验等,因此也是比较典型的焊接工程综合试验。

3. 焊后检验阶段

焊后检验是焊接以后对焊接结构或产品的焊接质量进行的全面检验,因此对保证产品质量具有决定意义。焊后检验包括的内容比较多,有外观检查、无损检测、焊接接头力学性能试验、焊接接头金相试验、焊接接头断口试验以及耐压试验、泄漏试验等,因此是一个比较大型的焊接工程综合试验。不同的焊接结构和产品有不同的试验内容,应根据该结构和产品的技术标准或规程进行试验。

需要说明的是,虽然焊接结构和产品质量检验大量地集中在焊后检验阶段进行,实际上,有的项目在焊接施工阶段就已经开始了,有的项目则需要在焊后热处理以后进行。例如,用于测定焊接接头力学性能的产品焊接试件是在产品的焊接过程中焊接的,焊接时,用和产品相同的材料、工艺、焊接环境以及相同的焊工,与产品焊接同步进行。而耐压试验和泄漏试验则是在焊后热处理后进行。

在焊后检验阶段除了要要进行上述试验外,如果在检验过程中发现了严重的质量问题,也需要进行焊接失效分析综合试验。通过焊接失效分析综合试验,查清质量事故的原因,采取措施,以避免事故重演。

焊接工艺过程中的各种工程综合试验在保证焊接产品质量方面都发挥着巨大的作用。在焊前准备阶段,只有进行金属焊接性综合试验和焊接工艺评定综合试验,才能使所制订的焊接工艺建立在科学的基础上;只有进行原材料质量检验综合试验、焊接材料质量检验综合试验、焊接设备配置及试运行综合试验以及焊工技能评定综合试验才能使焊接结构和产品的制造在物和人这两方面都具有可靠的生产条件;在施工过程中,只有加强过程中的焊接质量检验综合试验,才能避免大的质量事故发生;结构或产品制造出来以后,只有进行全面的质量检验综合试验,才能保证出厂的产品合格。当焊接结构或产品在制造过程中发生质量事故时,只有对焊件或产品及时进行焊接失效分析试验,查明原因,采取相应的措施,才能防止类似的故事再次发生。

在上述所有的综合试验中,金属焊接性综合试验、焊接工艺评定综合试验、焊接材料质量检验综合试验、焊接设备配置及试运行综合试验、焊接失效分析综合试验和焊接产品质量检验综合试验都是比较典型、比较重要的焊接工程综合试验,因此,以下各章将重点介绍这些综合试验。

1.4 焊接工程综合试验的依据及有关标准

1.4.1 焊接工程综合试验的依据

焊接产品和结构的种类繁多,各种产品和结构的综合试验内容和评定标准均有差异。那么,在生产中是依据什么来进行综合试验的呢?概括地讲,主要是依据以下几方面:

(1) 有关的技术标准或规范 有关的技术标准或规范是进行各种工程综合试验的法规性文件。在这些标准或规范中规定了试验的内容、试验方法和应达到的要求。

(2) 施工图样 在施工图样中,一般都对焊缝质量的要求、产品几何特性(如尺寸、形状等)的要求以及对加工精度的要求等作出具体规定。

(3) 产品制造的工艺文件 这些文件是对焊接产品进行制造的指导性文件,例如产品检验的工艺文件中具体地规定了对产品质量检验的方法及实施过程等。

(4) 订货合同 在订货合同中有时对产品质量提出附加要求,它作为图样和技术文件的补充规定,同样也是进行质量检验的依据。

在上述四个方面中,技术标准或规范是进行焊接工程综合试验的基础依据。

1.4.2 与焊接工程综合试验有关的技术标准

关于焊接工程综合试验,目前已制定了许多国家标准或行业标准。现举例如下:

1. 焊接工艺评定综合试验

例如,GB/T 19869.1—2005《钢、镍及镍合金的焊接工艺评定试验》、GB/T 19868.1—2005《基于试验焊接材料的工艺评定》、GB/T 19868.2—2005《基于焊接经验的工艺评定》、GB/T 19868.3—2005《基于标准焊接规程的工艺评定》、GB/T 19868.4—2005《基于预生产焊接试验的工艺评定》等。

2. 焊接材料质量检验综合试验

例如,GB/T 25776—2010《焊接材料焊接工艺性能评定方法》、GB/T 5117—1995《碳钢焊条》、GB/T 5118—1995《低合金钢焊条》、GB/T 983—1995《不锈钢焊条》、GB/T 5293—1999《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》、GB/T 12470—2003《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》、GB/T 8110—2008《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》、GB/T 10045—2001《碳钢药芯焊丝》、GB/T 17493—2008《低合金钢药芯焊丝》等。

3. 原材料质量检验综合试验

例如,GB 713—2008《锅炉和压力容器用钢板》、GB/T 3280—2007《不锈钢冷轧钢板和钢带》、GB 912—2008《碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板及钢带》、GB 3531—2008《低温压力容器用低合金钢板》等。

4. 焊工技能评定综合试验

例如,GB/T 15169—2003《钢熔化焊焊工技能评定》、GB/T 19805—2005《焊接操作工技能评定》、劳动部《锅炉压力容器焊工考试规则》、DL/T 679—2011《焊工技术考核规程》、船检局《焊工考试规则》等。

5. 焊接产品质量检验综合试验

例如,劳动部《压力容器安全技术监察规程》、劳动部《蒸汽锅炉安全技术监察规程》、劳动部《热水锅炉安全技术监察规程》、GB 50205—2001《钢结构工程施工验收规范》、GB 50128—2005《立式圆筒形钢制焊接储罐施工及验收规范》等。

焊接工程综合试验所包含的焊接基础试验也应执行相应的技术标准。部分焊接基础试验的国家标准和行业标准名称见表1-1。

表 1-1 部分焊接基础试验技术标准名称

标 准 编 号	标 准 名 称
GB/T 10233—2005	低压成套开关设备和电控设备基本试验方法
GB 2649—1989	焊接接头机械性能试验取样方法
GB/T 2650—2008	焊接接头冲击试验方法
GB/T 2651—2008	焊接接头拉伸试验方法
GB/T 2652—2008	焊缝及熔敷金属拉伸试验方法
GB/T 2653—2008	焊接接头弯曲试验方法
GB/T 2654—2008	焊接接头硬度试验方法
GB/T 3323—2005	金属熔化焊焊接接头射线照相
GB/T 12605—2008	无损检测 金属管道熔化焊环向对接接头射线照相检测方法
GB/T 11345—1989	钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级
GB/T 15830—2008	无损检测 钢制管道环向焊缝对接接头超声检测方法
JB/T 8931—1999	堆焊层超声波探伤方法
JB/T 6061—2007	无损检测 焊缝磁粉检测
JB/T 6062—2007	无损检测 焊缝渗透检测
GB/T 1954—2008	铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法
GB/T 3965—1995	熔敷金属中扩散氢测定方法
GB/T 25777—2010	焊接材料熔敷金属化学成分分析试样制备方法
JB/T 7948. 1—1999	熔焊焊剂化学分析方法 重量法测量二氧化硅量
JB/T 7948. 2—1999	熔焊焊剂化学分析方法 电位滴定法测量氧化锰量
JB/T 7948. 3—1999	熔焊焊剂化学分析方法 高锰酸盐光度法测量氧化锰量
JB/T 7948. 4—1999	熔焊焊剂化学分析方法 EDTA 容量法测定氧铝钙、氧化镁量
JB/T 7948. 5—1999	熔焊焊剂化学分析方法 黄基水杨酸光度法测定氧化铁量
JB/T 7948. 6—1999	熔焊焊剂化学分析方法 热解法测定氟化钙量
JB/T 7948. 7—1999	熔焊焊剂化学分析方法 氟氯化铅 - EDTA 容量法测定氧化钙量
JB/T 7948. 8—1999	熔焊焊剂化学分析方法 钼蓝光度法测定磷量
JB/T 7948. 9—1999	熔焊焊剂化学分析方法 火焰光度法测定氧化钠、氧化钾量
JB/T 7948. 10—1999	熔焊焊剂化学分析方法 燃烧 - 库仑法测定碳量
JB/T 7948. 11—1999	熔焊焊剂化学分析方法 燃烧 - 碘量法测定硫量
JB/T 7948. 12—1999	熔焊焊剂化学分析方法 EDTA 容量法测定氧化钠、氧化镁量