

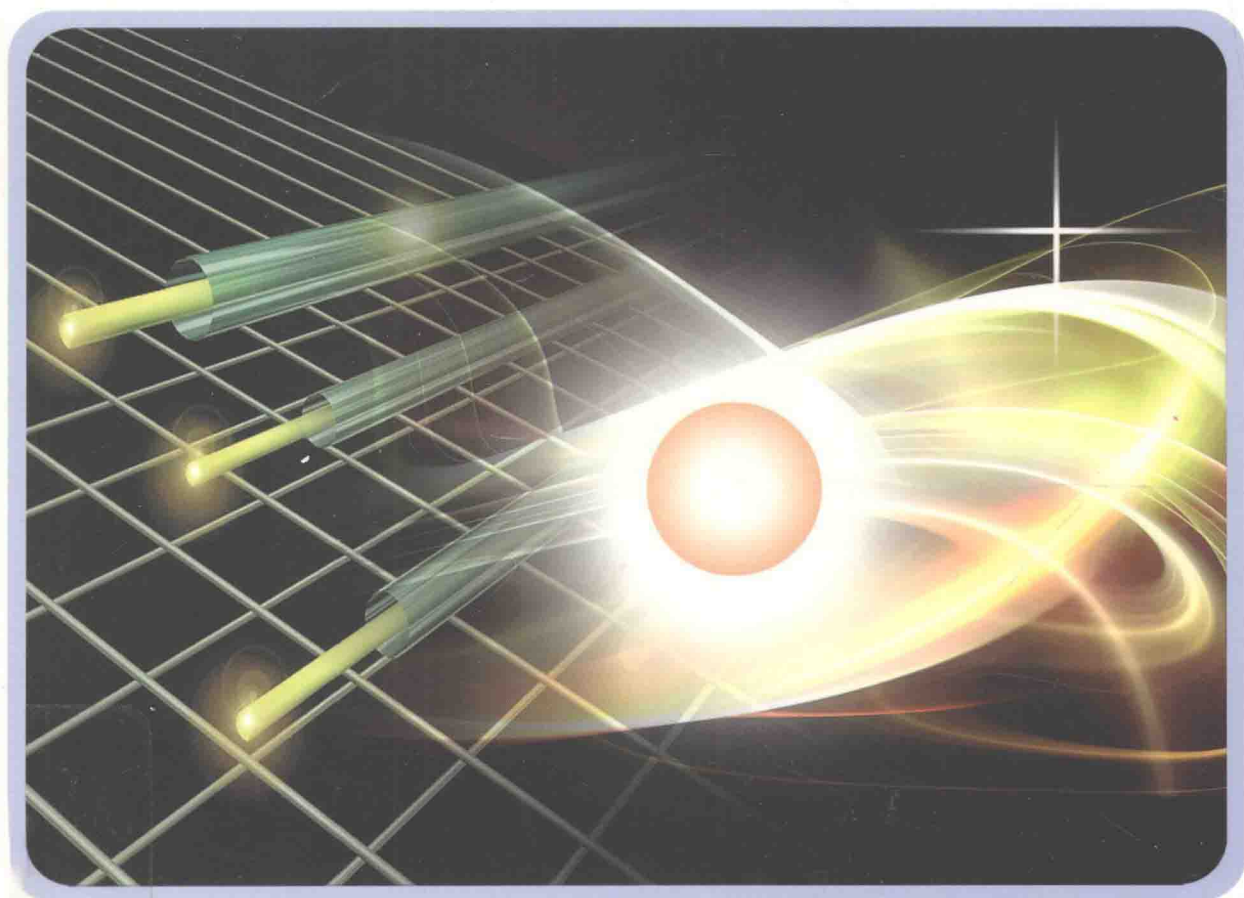


职业教育特色精品课程规划教材
职业教育课程改革项目研究成果

焊接检测技术

hanjie jiance jishu

◆ 主编 赵晓顺 郝建军



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪职业教育特色精品课程规划教材
职业教育课程改革项目研究成果

焊接检测技术

主 编	赵晓顺	郝建军	
主 审	刘淑霞	刘占良	
副主编	赵建国	李建昌	
编 委	于华丽	王希望	申玉增
	白庆华	时君伟	郝建国
	董婷婷	樊云飞	

内容提要

本书根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲,并结合教学实践、职业技能鉴定的需求和焊接技术的发展状况编写而成,是职业教育焊接专业课程改革项目研究成果《21 世纪职业教育焊接专业精品课程规划教材》之一。本书的内容编排结合岗位技术特点,贴近生产实际。在尊重教学规律的前提下,注重对部分专业知识的重新整合和对学生创新精神和实践能力的培养。全书在保证理论体系清晰、完整的前提下,力争做到实用为先、够用为度、宽基础、厚专业。全书由 10 章组成,主要包括焊接检验基本知识,焊接缺陷相关知识,射线检测、渗透检测、磁粉检测、超声波检测、涡流检测在焊接中的应用,焊接的无损检测新技术,破坏性检验,焊接质量控制与检验等。本书可供职业技术学校、职业培训学校、高职高专院校及成人高校的焊接技术、机械制造、材料加工等专业及热加工工种的师生使用,也可作为岗位培训教材和相关工程技术人员的参考资料。

版权专用 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

焊接检测技术 / 赵晓顺, 郝建军主编. —北京理工大学出版社, 2010. 10

ISBN 978 - 7 - 5640 - 3868 - 7

I. ①焊… II. ①赵… ②郝… III. ①焊接 - 质量检验 IV. ①TG441.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 190969 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http://www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 14.5

字 数 / 310 千字

版 次 / 2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷

定 价 / 26.00 元

责任校对 / 张沁萍

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

21 世纪中等职业教育焊接专业精品课程规划教材
职业教育课程改革项目研究成果

编 委 会

主 任：郝建军

委 员：（按姓氏笔画排序）

弋景刚 马跃进 王泽河 孙维连

李建昌 赵建国 彭海滨 霍利民

本书主编：赵晓顺 郝建军

本书副主编：赵建国 李建昌

本书参编：（按姓氏笔画排序）

于华丽 王希望 申玉增 白庆华

时君伟 郝建国 董婷婷 樊云飞

本书主审：刘淑霞 刘占良

出版说明

CHU BAN SHUO MING

职业教育是以培养具有较强实践能力，面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育。目前，职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于发展职业技术教育，培养职业技术人才的大纲要求，北京理工大学出版社根据职业教育课程改革项目研究成果，组织编写了《21 世纪职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材坚持以能力为本位，以就业为导向，以服务学生职业生涯发展为目的的指导思想。主要从以下三个角度切入。

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚，致力于职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成，充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性，使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性，而且突出知识的实用性、综合性，把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有职业教育教材内容上的“重理论轻实践”“重原理轻案例”、教学方法上的“重传授轻参与”“重课堂轻现场”、考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”“重终结性的考试轻形成性的考核”的倾向，力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容，加强实践性教学环节，注重案例教学和能力的培养，使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式，注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学，吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时，为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的实际，注重对新知识、新工艺、新方法、新标准的引入，在培养学生创造能力和自我学习能力的基础上，力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想，在本系列教材的内容编写上，我们坚持以下一些原则。

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上，根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性，以相关行业和区域经济状况为依托，特别强调面向岗位群体的指向性，淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势，保证学生的岗位适应能力得到训练，使其有较强的择业能力，从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时，注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容，但随着社会发展和科技进步，及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”，“人有我精”或“众有我新”，科学预测人才需求远景和人才培养的周期性，以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向，参考发达地区的发展历程，力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快，科技迅猛发展引起技术手段不断更新，用人机制的改革使人才转岗频繁，因此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽，当窄则窄。在紧扣本专业课程内容基础上延伸或派生出一

些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力，挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

职业教育的专业课程都有其内核的稳定性，这种内核主要是体现在其基础理论、基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点，但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式，设置与生产实践相切合的项目，推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则，教材的编写者都是既有一线教学经验、懂得教学规律，又有较强实践技能的专家，他们分别是：相关学科领域的专家；各类职业教育科研带头人；教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写，将理论性与实践性高度统一，打造精品教材。另外，还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件，以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之，该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果，希望本系列教材能为职业教育的提高和发展做出贡献。

北京理工大学出版社

编写说明

BIAN XIE SHUO MING

本套教材根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲，以中（高）等职业教育焊接专业培养目标为基础，结合职业技能鉴定需求和焊接专业特点编写而成。全套教材包括《熔焊方法与工艺》《焊接电工电子技术》《焊接工程制图与 CAD》《焊接结构与制造》《焊接检测技术》《熔焊基础与金属材料焊接》《工程材料与热加工基础》《机械工程基础（焊接专业）》《焊接安全与卫生》《金工实习（焊接专业）》《材料连接与切割技术》《电弧焊工艺与实训》《钳工与冷作工艺与实训》和《钣金连接技术》等。

在教材的编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则。

（1）坚持中高级技能人才的培养方向，从职业（岗位）需求分析入手，强调实用性，使学生掌握一定理论知识，培养学生分析问题、解决问题的能力。并引导学生理论联系实际，提高学生操作技能水平。

（2）紧密结合职业教育的教学实际情况，化繁为简，化难为易，全书以国家职业资格标准为依据，力求使教材内容在覆盖职业技能鉴定的各项要求的基础上拓展外延，以满足不同层次的各级各类学校和工矿企业的需求。

（3）突出教材的时代感，力求较多地引进新知识、新技术、新工艺、新方法、新材料等方面的内容，较全面地反映焊接技术发展趋势。

（4）打破传统的教材编写模式，树立以学生为主体的教学理念，强调培养学生自主学习能力。

本套教材是基于编者多年的教学实践积淀而成。编写时，取材力求少而精，突出实用性，内容紧密结合工程实践。本套教程可供职业技术学校、职业培训学校、高职高专院校及成人高校的焊接技术、机械制造、材料加工等专业及热加工工种的师生使用，也可作为岗位培训教材和相关工程技术人员的参考资料。

本套教程在编写过程中得到了保定市焊接学会（培训中心）、河北农业大学机电工程学院及河北省焊接学会、河北省职工焊割技术协会的大力支持，在此表示感谢。同时，对本书编写中所参阅的书籍和资料作者（编者）表示感谢。

衷心希望本套教材能使业内读者受益，成为各级各类学校焊接专业师生和广大焊接工作者的良师益友。由于编写时间仓促，加之编者水平有限，书中难免有不足和错误，恳请广大读者不吝赐教，予以斧正。

本书共分10章，由河北农业大学赵晓顺、郝建军任主编，河北农业大学赵建国、李建昌任副主编，河北农业大学于华丽、王希望、申玉增、白庆华、时君伟、董婷婷、樊云飞，保定市焊接学会郝建国参编，全书由河北农业大学刘淑霞、刘占良审稿。

21 世纪职业教育焊接专业精品课程规划教材 编委会

目 录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 焊接检测的意义和作用	1
1.2 焊接检测的分类	2
1.3 焊接检测过程	3
1.4 焊接检测应树立的观点	7
1.5 焊接检测课程特点和要求	7
第 2 章 焊接缺陷	9
2.1 焊接缺陷的概念及分类	9
2.2 焊接缺陷的特征及分布	10
2.3 焊接缺陷的产生原因及防止措施	24
2.4 焊接缺陷的危害及对产品质量的影响	34
第 3 章 射线检测	40
3.1 射线的产生、性质及其衰减	40
3.2 射线检测方法及其原理	44
3.3 射线照相法检测	48
3.4 焊缝射线底片的评定	63
3.5 射线的安全防护	70
第 4 章 渗透检测	74
4.1 渗透检测原理及分类	74
4.2 渗透检测的操作步骤	79
4.3 缺陷判别、分级与记录	82
4.4 渗透检测方法的应用	84
第 5 章 磁粉检测	87
5.1 磁粉检测原理与影响漏磁场的因素	87

5.2	工件磁化方法	89
5.3	磁粉及磁悬液	92
5.4	磁粉检测过程	95
第6章	超声波检测	99
6.1	超声波的产生、性质及衰减	99
6.2	超声波检测设备简介	106
6.3	超声波检测方法及其应用	115
6.4	直接接触法超声波检测	124
第7章	涡流检测	139
7.1	涡流检测原理及影响要素	139
7.2	涡流检测设备	143
7.3	涡流检测特点	147
第8章	焊接无损检测新技术	154
8.1	激光全息无损检测	154
8.2	声发射检测技术	166
8.3	红外线检测技术	183
第9章	破坏性检测	187
9.1	焊接接头、焊缝及熔敷金属的力学性能试验	187
9.2	焊接接头金相组织分析	194
9.3	焊缝金属化学试验分析	198
第10章	焊接质量控制与检验	201
10.1	焊接质量控制	201
10.2	焊接前质量控制	202
10.3	焊接过程质量控制	210
10.4	焊后质量控制的检验	213
参考文献		220

第1章

绪论

随着焊接技术在机械工业中的广泛应用与深入发展,对焊接构件与设备的安全性要求越来越高,对焊接质量的要求也越来越高。在许多重要的焊接结构中,比如锅炉、压力容器、高压管道、船舶、桥梁和高层建筑,焊接质量不合格和接头强度、韧性不足会导致整个焊接结构的提前失效,甚至导致灾难性的后果。所以对焊接件进行检测是保证质量、避免重大事故、减少经济损失的有效措施。焊接检测技术是以近代物理学、化学、力学、电子学和材料学为基础的焊接专业学科之一,它能够使学生具备焊接专业高素质专门型人才所必需的焊接检测技术的基本知识和基本技能,其所涉及的先进的检测方法、仪器设备、管理制度,是实现现代化焊接工业产品质量控制、安全运行的重要保证。

1.1 焊接检测的意义和作用

随着焊接技术的发展,焊接加工在工业生产、交通运输、建筑结构等许多领域得到了广泛应用。由于焊接结构(如压力容器、航空航天器、原子能工程等)的工作条件日益苛刻,因此确保焊接结构的高质量是至关重要的,否则,运行中出现事故必将造成惨重的损失,新的焊接方法、新的焊接工艺和新的焊接材料的应用,已能在很大程度上保证其产品质量,但由于焊接接头性能的不均匀性,应力分布的复杂性,制造过程中又无法做到绝对不产生焊接缺陷,因此为生产出高质量的产品,必须在生产的不同环节和不同阶段,遵循一定的管理程序和管理制度,并采用各种检测手段进行检测,以确保产品质量。焊接检验在焊接结构生产中占有重要地位,其作用主要表现在以下三个方面。

(1) 确保焊接结构的制造质量,保证其安全运行。通过焊接检验可以控制各生产阶段和控制焊接缺陷,防止废品产生,避免不合格产品出厂。并在使用过程中不断进行监测,使焊接产品能在规定的使用条件下和预期的使用寿命内,焊接接头都不会发生破坏,避免危险事故的发生,这是实施焊接检验的根本

目的。

(2) 降低产品成本，正确进行安全评定。由于焊接检验贯穿于焊接生产的全过程，这就可能避免出现产品最后报废的现象，大大减少了原材料和工时的浪费，以及因拖延工期而带来的经济损失，无疑会带来显著的社会效益和经济效益。

(3) 促使焊接技术的广泛应用。由于有焊接检验的可靠保证，可促使焊接技术的应用更加广泛。

(4) 改进焊接技术，提高产品质量。焊接检验可以评定制造工艺正确与否。同时，在制定焊接工艺时也可预先制备试样，利用焊接检验技术选择最佳工艺程序，使焊缝达到规定的质量等级要求。

同时也要指出，在成品生产中要合理选择、适度采取适当的检测方法，避免因过度检测而增加产品成本，推迟制造周期，影响产品质量。

1.2 焊接检测的分类

焊接检测包括对焊接结构生产过程的检测和对焊接接头的检测。焊接接头的检测可分为非破坏性检测和破坏性检测两大类。非破坏性检测又称无损检测，是不损坏被检材料或成品的性能与完整性而检测其缺陷的方法。破坏性检测是从焊件上切取试样，或以产品的整体破坏做试验，以检查其各种力学性能、化学成分或焊接性等的试验方法。焊接检测的分类及方法如图 1-1 所示。

本书主要介绍焊接无损检测技术，最常用的有射线检测 RT (X - Radiography Testing)、超声波检测 UT (Ultrasonic Testing)、磁粉检测 MT (Magnetism Testing)、渗透检测 PT (Penetrate Testing) 和涡流检测 ET (Eddy Testing)，已成为焊接生产中的常规检测技术。另外，还有各种新技术，如激光全息照相技术、声发射检测技术和红外无损检测技术等。其中，X 射线照相法直观性强、准确度高、可靠性好，而且底片可长期保存，但设备较复杂，成本较高，并且需要严格防护；超声波检测灵敏度高，设备轻巧，操作方便，检测速度快，成本低且对人体无害，但无法对缺陷进行准确定性与定量；磁粉检测成本低，操作灵活，结果可靠，且对工件中表面的缺陷检测灵敏度最高，但随着缺陷的埋藏深度的增加，其检测灵敏度迅速降低；渗透检测设备简单、操作容易、成本低、缺陷显示直观，但检测剂有毒，需要防护，只能检测表面缺陷；涡流检测不需要耦合剂，检测速度极快，易于实现自动化，可用于高温检测，用于异型材及小零件等特殊构件的检测，此外还简单介绍了破坏性检测。

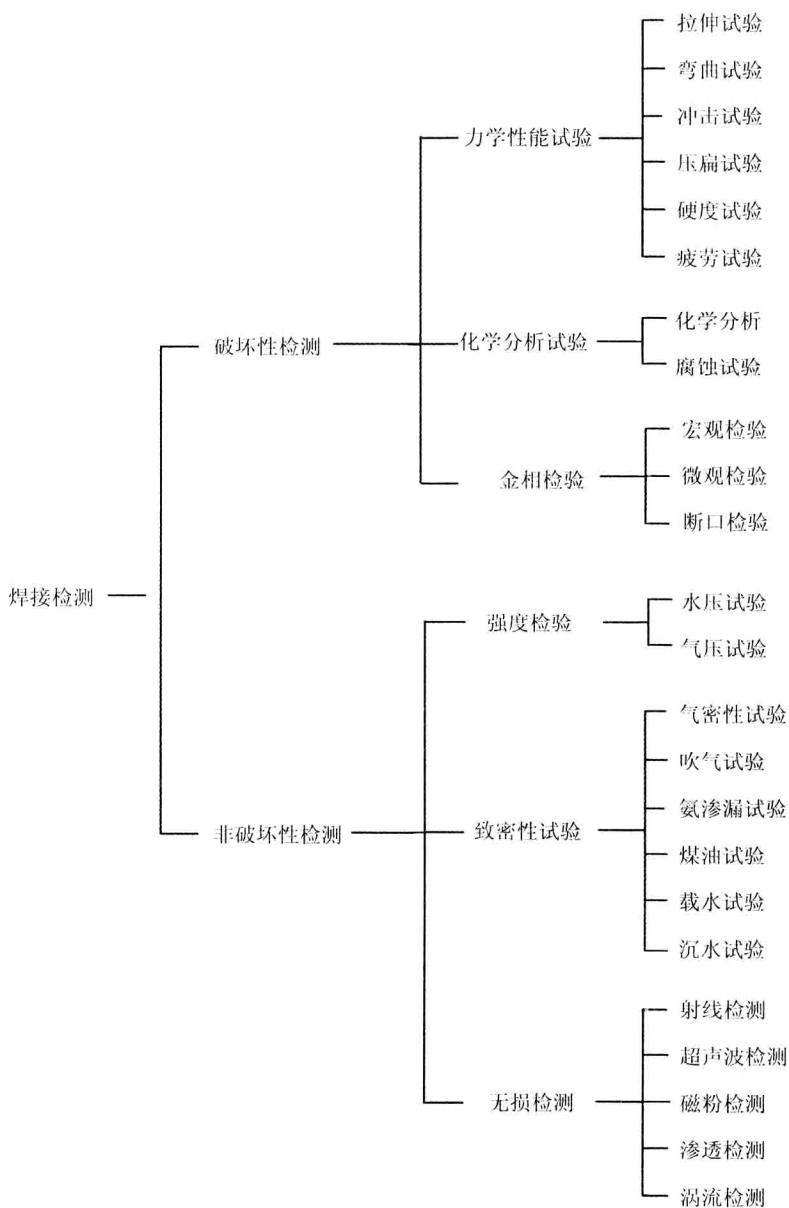


图 1-1 焊接检测的分类及方法

1.3 焊接检测过程

把焊接检测工作扩展到整个焊接生产和产品使用过程中去,才能更充分、更有效地发挥各种检测方法的积极作用,才能达到预防和及时防止由缺陷所造成的废品和

事故。

焊接检测过程，基本上由焊前检验、焊接过程检验、焊后检验、安装调试质量检验和产品服役质量检验等五个环节组成。关于焊接检验将在第 10 章进行详细的讲解，下面仅作简单的介绍。

1. 焊前检验

焊前检验主要是对焊前准备的检查，是贯彻预防为主方针，最大限度避免或减少焊接缺陷的产生，保证焊接质量的积极有效措施。焊前检验的主要内容如下。

(1) 基本金属质量检验。主要内容包括检查投料单据，检查实物标记，检查实物表面质量，检查投料划线、标记移植等。

(2) 焊接材料质量检验。主要内容包括焊丝质量检验，焊条质量检验、焊剂质量检验及气体（Ar、He、N₂、CO₂、压缩空气等）质量检验等。

(3) 焊接结构设计鉴定。焊接结构应有良好的可检测性。

(4) 焊件备料的检查。坡口的检查。

(5) 焊件装配质量检查。主要内容包括装配结构的检查、装配工艺的检查及定位焊缝质量的检查。

(6) 焊接试板的检查。主要内容包括焊前试板的检查、工序试板的检查和产品试板的检查。

(7) 能源的检查。主要内容包括电源的检查 and 气体燃料（C₂H₂、O₂、H₂、液化石油气等）的检查。

(8) 辅机具的检查。主要内容包括变位机的检查、转胎的检查、装配夹具检查和焊接夹具检查。

(9) 工具的检查。面罩、手把、电缆等检查。

(10) 焊接环境检查。环境温度、湿度、风速、雨雪等。

(11) 焊接预热检查。检查预热方式和检查预热温度。

(12) 焊工资格检查。检查焊工合格证。

2. 焊接过程检验

焊接过程不仅指形成焊缝的过程，还应包括后热和焊后热处理过程。应当指出，焊工直接操纵焊接设备并能充分接近焊接区和随时调整焊接参数，以适应焊缝成形质量的要求。因此，焊工的自检能积极主动地控制焊接质量。焊接过程检验的主要内容可归纳如下。

(1) 焊接规范的检验。主要内容包括：手工电弧焊规范的检验，埋弧自动焊和半自动焊规范的检验，CO₂ 气体保护焊规范的检验，电阻焊规范的检验，TIG、MIG、MAG 焊规范的检验，气焊规范的检验。

(2) 复核焊接材料。主要内容包括焊接材料的特征（颜色、尺寸）和焊缝外观特征。

(3) 焊接顺序的检查。主要内容包括施焊顺序的检查和施焊方向的检查。

- (4) 检查焊道表面质量。表面不应有裂纹、夹渣等焊接缺陷。
- (5) 检查后热。主要包括检查后热温度和检查后热保温时间。
- (6) 检查焊后热处理。主要包括焊后正火热处理的检查和焊后消除应力热处理的检查。

3. 焊后检验

焊接结构（件）虽然在焊前和焊接过程中都进行了有关检验，但由于制造过程中外界因素的变化或规范，能源的波动等仍有可能产生焊接缺陷。因此，必须进行焊后检验，其主要内容归纳如下。

(1) 外观检查。包括焊缝表面缺陷检查、焊接接头表面清理质量检查和焊缝尺寸偏差检查。

(2) 无损检测。

(3) 力学性能的检测。

(4) 金相检测。

(5) 焊缝晶间腐蚀检测。

(6) 焊缝铁素体含量检测。

(7) 致密性检验。

(8) 焊缝强度检测。包括水压试验和气压试验。

4. 安装调试质量的检验

安装调试质量检验包括两个方面：其一，对现场组装的焊接质量进行检验；其二，对产品制造时的焊接质量进行现场复查。现场复查主要应注意以下三个方面。

(1) 检验程序和检验项目。

①检查资料的齐全性。

②核对质量证明文件。

③检查实物与质量证明的一致性。

④按有关安装规程和技术文件规定进行检验。

⑤对产品重要部位、易产生质量问题的部位、运输中易破损和变形的部位应给予特别注意，重点检查。

(2) 检测方法和验收标准。在安装调试过程中，对焊接产品的制造质量应进行复查，以便发现漏检或错检，及时处理、消除隐患，保证焊接结构（件）安全可靠地运行。但是，复查检测所采用的检测方法、检测项目、验收标准应该符合有关标准的规定，应与产品制造过程中所采用的检测方法、检测项目、验收标准相同，否则会产生质量差别，给质量评定或判废工作带来困难，甚至引起制造单位与验收使用单位的意见分歧。

(3) 焊接质量问题的现场处理。

①发现漏检，应作补充检查并补齐质量证明文件。

②因检测方法、检测项目或验收标准等不同而引起的质量问题，应尽量采用同样

的检测方法和评定标准，确定焊接产品合格与否。

③可修可不修的焊接缺陷一般不退修。

④焊接缺陷明显超标，应进行退修。其中大型结构应尽量在现场修复，较小结构而修复工艺复杂者则应及时返厂修复。

5. 产品服役质量的检验

(1) 产品运行期间的质量监控。焊接结构（件）在役运行时，可用声发射技术进行质量监控。

(2) 产品检修质量的复查。焊接产品在腐蚀介质、交变载荷、热应力等苛刻条件下工作，使用一定时间后往往产生各种形式的裂纹。为保证设备安全运行，应有计划地定期复查焊接质量。重要产品如锅炉、压力容器等安全监察规程中均有具体规定检修计划，以便发现缺陷，消除隐患，保证安全运行。主要内容如下。

①质量复查工作的程序。

a. 查阅质量证明文件或原始质量记录。

b. 拟定检验方案。

②质量复查检验的部位。

a. 按有关安全监察规程或技术文件规定进行检验。

b. 以下部位应特别注意：修复过的部位，缺陷集中、严重的部位，应力集中部位；同类产品运行时常出现问题的部位。

(3) 服役产品质量问题现场处理。因设备在工作位置上固定，很难搬动而需现场修复。因此，对重要焊接产品的修复要进行工艺评定、验证焊接工艺、制定修复工艺措施、编制质量控制指导书和记录卡，以保证在修复过程中掌握质量标准、记录及时、控制准确。

(4) 焊接结构破坏事故的现场调查与分析。

①现场调查。

a. 维持破坏现场，收集所有运行记录。

b. 查明操作工作是否正确。

c. 查明断裂位置。

d. 检查断口部位的焊接接头表面质量和断口质量。

e. 测量破坏结构的实际厚度，核对它的厚度是否符合图样要求，并为设计校核提供依据。

②取样分析。

a. 金相检测。

b. 复查化学成分。

c. 复查力学性能。

③设计校核。

④复查制造工艺。