

焊接工程缺欠

分析与对策

第  版

陈伯鑫 著



焊接工程缺欠分析与对策

第 2 版

陈伯鑫 著



机械工业出版社

本书系统地讨论和分析了缺欠与缺陷定义、分类,焊接工程中缺欠形成的一般条件,缺欠影响和缺欠修复。涉及焊接应力与变形、接头性能变化(强韧性、疲劳强度、蠕变断裂强度与耐蚀性等)、各类裂纹和气孔等。重点分析了各种影响因素的作用,强调缺欠形成的有关基本概念。介绍了焊接工艺流程各环节的质量要求、焊接工艺参数的优化及焊接材料的合理选择。此外,另设附篇,选编了50个焊接结构产品缺欠分析实例。

本书可供从事焊接生产的工程技术人员使用,亦可用作高等院校、中等技术学校有关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

焊接工程缺欠分析与对策/陈伯鑫著.—2版.—北京:机械工业出版社,2005.10

ISBN 7-111-05690-6

I. 焊... II. 陈... III. 焊接缺陷—研究
IV. TG411.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第131810号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:吕德齐 武江 责任印制:杨曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2006年1月第2版第1次印刷

1000mm×1400mm B5·17.375印张·2插页·638千字

0001-4000册

定价:55.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

作者简介



陈伯鑫教授曾任清华大学校长教学顾问、校教学委员会委员及校大学生研究训练计划(SRT)指导组组长。自1955年于清华大学研究生毕业至今,一直在清华大学从事焊接冶金学的教学与科学研究工作。在我国焊接专业的创办与建设上,颇有建树,所主讲的《焊接冶金原理》被授予清华大学一类课程称号,其本人则被评为北京市优秀教师。其主要的研究方向为高强钢焊接性及配套焊接材料的研究。曾参与新型桥梁钢的开发工作,为九江长江大桥研制了专用焊丝,并用于大桥的建设。20世纪60年代曾在桥梁工厂参与钢桥焊接技术工作近三年。近年来,还曾担任一些桥梁焊接技术的顾问工作,对我国焊接钢桥的发展作出了一定贡献。曾发表不少有价值的学术论文及译著,其中有《金属焊接性基础》、《焊接冶金原理》等。

序

焊接,在各种重大工程和制造技术中的应用十分广泛。科学的不断进步和激烈的市场竞争,不仅推动着焊接技术的发展,而且对焊接质量不断提出更新更高的要求。因此,不断提高焊接工程质量便成为焊接工作者孜孜以求的永恒的主题。

为适应焊接工程质量保证与提高的实际需要,我国焊接界的著名专家学者——陈伯蠡教授,综合其多年丰富的教学经验与科研成果,广泛吸收了国内外最新科技成就与生产经验,又搜集了大量的相关实例与文献的精华,编著了《焊接工程缺欠分析与对策》一书。

书中提出了“缺欠”与“缺陷”的鲜明定义,令人耳目一新;讨论了各类焊接工程缺欠的影响因素与防止对策,使读者受益匪浅;所选“缺欠分析实例”内容翔实,又使之用有所本。

本书理论知识系统,论述全面;资料丰富,针对性强;着眼工程需要,强调基本概念,重视联系实际,做到了实用性、先进性、科学性的紧密结合。

当您初入焊接之门,求知若渴时,本书就是您的良师益友;若您毕业多年,对当时所学有感不足时,本书则可使您尽快得到知识更新;如果您要操作具体工程项目,本书又可作为您解难释疑的得力助手。

基于上述理由,我乐于为之作序,并深信本书必将为广大焊接工作者所欢迎,也将对我国焊接技术进步作出新的贡献。

中国机械工程学会 秘书长

2005年1月



第2版前言

《焊接工程缺欠分析与对策》一书出版已逾八年，鉴于焊接技术的发展以及本书内容存在许多不足，需要修订和更新。

首先在体系上做了变动，在第1章总论之后，连续5章集中讨论接合性缺欠问题，即：焊接热裂纹、焊接冷裂纹、层状撕裂、再热裂纹和焊缝气孔；随后，第7章到第10章分别讨论性能上的缺欠问题，即：焊接接头脆化与韧化、焊接接头的疲劳损伤、焊接接头的环境损伤和焊接应力与变形；第11章集中讨论焊接工艺优化问题。最后为附篇，保留原编选的生产实例50例。

在内容上，加强对使用焊接性有关章节进行修订。对于第1章总论作了适当精简，改写了焊接工艺优化一章；新增焊接接头疲劳损伤一章；在原应力腐蚀开裂一章的基础上新编写了焊接环境损伤一章，内容扩充很多，不仅包括腐蚀与应力腐蚀，还包括高温环境损伤，如蠕变断裂、 σ 相脆化、氢损伤以及异种钢接头的脆化问题等。焊接接头的脆化与韧化，是在原第3章的基础上重新改写，突出了结构钢接头的强韧化问题，并着重讨论了焊缝的韧化以及焊接接头的强韧性标准问题。

在编写中吸收了许多工程经验，并引用了一些有价值的数字、图表资料以及最新版本的技术规范、标准，希望能对读者有所裨益，同时也在此向所引用资料的作者再次致以谢意。

陈伯鑫

2005年1月 于清华

第1版前言

焊接正作为一种广泛的系统工程应用于各种重大工程及技术装备的制造,如电力设备、石油化工装置、船舶、桥梁、汽车、工程机械、航空航天飞行器、重型机械、矿山机械、铁路车辆、海上采油设施、港口设施、高层建筑、医疗机械、轻工机械及家用电器等。涉及焊接工程的有一支庞大的技术队伍,包括焊接专业出身的与非焊接专业出身的,均在为保证和不断提高焊接工程质量而贡献他们的才华。

谈“质量”,实质是谈“缺欠”(Imperfection)。在质量上偏离了技术规范要求、有所欠缺的现象,就是“缺欠”;其中,损害质量而致工程或产品不能符合“合用性”准则要求的缺欠,则称为“缺陷”(Defect)。缺欠分析是一项系统工程。

为适应广大工程技术人员进行缺欠分析的需要,机械工业出版社计划出版“缺欠与对策”方面的参考书,着眼于工程缺欠分析的实际应用,以期有助于提高工程缺欠分析水平和进一步提高工程质量。本书为其中一册,定名为《焊接工程缺欠分析与对策》。

本书涉及的缺欠是广义的,包括各种“不均匀性”、“不连续性”和尺寸形状上的偏差,诸如:各类裂纹和气孔、力学性能或耐蚀性能的恶化以及焊接应力与变形等。本书的安排为全新的系统。在分章讨论各种具体缺欠之前,设一章“焊接工程质量与缺欠总论”,开宗明义地讨论缺欠与缺陷定义、缺欠分类、缺欠形成的一般条件、缺欠影响和缺欠安全评定,以及缺欠修复等。为便于参照,援引了若干国内外有关质量标准或规范。第2章至第9章,分别讨论各类具体焊接工程缺欠,重点分析各种影响因素的作用,强调缺欠形成的有关基本概念。第10章名为“钢结构焊接生产工艺优化问题”,带有总结性的意义。主要是讨论焊接工艺流程各环节的质量要求、焊接工艺参数的优化及焊接材料的合理选择。在全书最后一章选编了“焊接结构产品缺欠分析实例”,计50例,作为本书的附篇,可供读者分析借鉴,以期在学以致用方面有所启示。

本书在编写中,虽然勉力去体现出版宗旨,重视理论联系实际,强调基

本概念, 注意先进性、科学性与实用性的结合, 并充分吸收国内外最新研究成果和生产经验, 但限于作者水平, 本书必定会存在不当之处, 望读者不吝指正。

中国机械工程学会焊接分会理事长宋天虎同志, 对本书的出版极为关注, 并为之作序, 在此谨致谢忱。

本书主审陈卓华同志曾任太原重型机器厂焊接处处长, 有丰富的理论知识和焊接生产经验, 对书稿进行了认真地审校, 同时还组织该厂焊接工程师审阅书稿和座谈讨论, 提出了十分宝贵的意见; 责任编辑方婉莹和武江同志在定稿方面做了细致的工作。这些都在完善书稿和顺利出版上起了很重要的作用, 谨在此一并致以深深的谢意。

要特别向所援引资料的原作者 (尤其是附篇所选生产实例的作者) 表示谢意, 是这些国内外的文献资料充实了本书的内容。

作 者

1997 年 1 月

本书使用代号

AW	焊态	K_t	应力集中系数
B, b	宽度	L	长度, 升 (容量单位)
BM	母材	l	距离
c	比热容	MIG	熔化极氩弧焊
C_V	V 形缺口夏氏冲击吸收功	P	回火参数
CR	冷却速度	P_{cm}	冷裂敏感组成
C_R	裂纹率	PWHT	焊后热处理
d	直径	R_{300}	在 300℃ 时瞬时冷却速度
DCSP	直流正极性	R_{540}	在 540℃ 时瞬时冷却速度
DCRP	直流反极性	SAW	埋弧焊
E	名义焊接线能量	SMAW	焊条电弧焊
E_0	弹性模量	SR	消除应力
ESW	电渣焊	T	温度
FCAW	药芯焊丝电弧焊	T_0	初始温度
GMAW	熔化极气体保护焊	T_G	晶粒粗化温度
GTAW	钨极气体保护焊	T_m	熔点
H	深度或熔深	T_{max}	最高温度 (峰值温度)
HAZ	热影响区	T_p	预热温度
HB	布氏硬度	T'_p	后热温度
H_D	熔敷金属扩散氢含量	T_s	使用工作温度, 固相线
HRC	洛氏硬度	TIG	钨极氩弧焊
HSLA	低合金高强度	t	时间
HV	维氏硬度	$t_{8/5}$	由 800℃ 冷却到 500℃ 时的时间
h	高度	U	电弧电压
I	焊接电流	v	焊接速度
K	焊脚 (长度)	vT_r	V 形缺口冲击试验的延脆转变温度
K_{IC}	临界应力强度因子	vT_{r15}	以 15 英尺·磅为判据的延脆转变温度

vT_{rs}	50%纤维状断口的延脆转变温度	ε	应变
WI	焊缝边界(熔合线)	η	电弧加热热效率
WM	焊缝	a_l	线(膨)胀系数
$w(X)$	某化学组成 X 的质量分数(X 可以为元素 C、Mn、Si 等或其化合物)	γ	奥氏体(γ 相)
$\varphi(G)$	某气体 G 的体积分数	δ	板厚
δ	一次铁素体(δ 相)	λ	热导率
δ_c	临界 COD	ρ	密度
δ_5	伸长率(标距与直径之比为 5)	σ	应力
ΔB	横向收缩量	σ_b	抗拉强度
$\Delta\varphi$	角变形量	σ_y	屈服点
		$\sigma_{0.2}$	屈服强度

目录

序

第2版前言

第1版前言

本书使用代号

第1章 焊接工程缺欠总论 1

1.1 焊接结构可靠性与

焊接性的意义 1

1.1.1 焊接结构可靠性问题 1

1.1.2 焊接性的意义 3

1.2 熔焊接头构造特点 3

1.2.1 接头与焊缝 3

1.2.2 角焊缝的焊脚尺寸 5

1.2.3 应力集中问题 7

1.3 焊接热作用特点 9

1.3.1 焊接热源特性 9

1.3.2 焊接线能量 10

1.3.3 焊接温度场 11

1.3.4 焊接热循环 15

1.4 焊接冶金特点 21

1.4.1 接头的冶金分区 21

1.4.2 焊缝的组成特点 21

1.4.3 焊接热影响区特点 23

1.4.4 熔合区特点 24

1.5 缺欠与缺陷 25

1.5.1 缺欠与缺陷定义 26

1.5.2 焊接缺欠的类型 28

1.5.3 焊接缺欠的影响 36

1.5.4 焊接缺欠容限规范 39

1.5.5 焊接缺欠的防止 52

参考文献 56

第2章 焊接热裂纹 58

2.1 焊接热裂条件与特征 58

2.1.1 热裂的一般条件 58

2.1.2 热裂纹的形成 61

2.2 影响热裂的因素 66

2.2.1 冶金因素 66

2.2.2 工艺因素 77

2.3 热裂的控制措施 81

2.3.1 控制成分 81

2.3.2 调整工艺 82

2.4 热裂试验 84

2.4.1 热裂试验方法的类型 84

2.4.2 常用热裂试验方法 87

参考文献 91

第3章 焊接冷裂纹 93

3.1 焊接冷裂条件与特征 93

3.1.1 冷裂条件 93

3.1.2 冷裂特征 93

3.2 影响冷裂的因素 100

3.2.1 临界关系式 100

3.2.2 组织硬化的影响	101	5.2.3 焊接工艺的影响	155
3.2.3 氢的影响	103	5.2.4 焊后热处理条件的影响	157
3.2.4 拘束度的影响	106	5.3 再热开裂的防止措施	158
3.2.5 弯曲拘束度	108	5.4 再热开裂的试验	159
3.3 冷裂的控制	110	5.4.1 自拘束实焊接头试验	159
3.3.1 控制组织硬化	110	5.4.2 外载拘束焊缝试样试验	161
3.3.2 限制扩散氢	115	5.4.3 模拟试验	161
3.3.3 控制拘束应力	116	参考文献	161
3.4 冷裂试验	119	第 6 章 焊缝气孔	162
3.4.1 冷裂试验方法的类型	119	6.1 焊缝气孔的类型及 形成条件	162
3.4.2 常用冷裂试验方法	121	6.1.1 气孔形成的一般条件	162
参考文献	125	6.1.2 气孔类型及特征	164
第 4 章 层状撕裂	127	6.2 焊缝气孔的对策	168
4.1 层状撕裂条件与特征	127	6.2.1 消除气体来源	168
4.1.1 层状撕裂条件,	127	6.2.2 正确选用焊接材料	173
4.1.2 层状撕裂特征	128	6.2.3 控制焊接工艺条件	179
4.2 影响层状撕裂的因素	131	6.3 镀锌及涂漆钢板的气孔问题 ..	181
4.2.1 钢材性能的影响	131	6.3.1 镀锌钢板的气孔	181
4.2.2 接头形成方式的影响	134	6.3.2 涂漆钢板的气孔	186
4.3 防止层状撕裂的措施	136	参考文献	189
4.3.1 改善接头设计	136	第 7 章 焊接接头的脆化与韧化	191
4.3.2 改进焊接工艺	138	7.1 结构的材料特点	191
4.4 层状撕裂试验	140	7.1.1 结构用钢的类型	191
4.4.1 Z 向窗口试验	140	7.1.2 工程结构用钢的特点	193
4.4.2 Cranfield 试验	141	7.2 结构钢焊接热影响区的 强韧性特征	196
4.4.3 Z 向拉伸试验	142	7.2.1 焊接热影响区的一般 特征	197
参考文献	143	7.2.2 焊接热影响区的硬化	198
第 5 章 再热裂纹	144	7.2.3 焊接热影响区的软化	204
5.1 再热开裂特征及条件	144	7.2.4 焊接热影响区的脆化	206
5.1.1 再热裂纹特征	144	7.3 结构钢焊缝金属的韧化	213
5.1.2 再热开裂条件	145	7.3.1 影响焊缝韧性的因素 ^[4]	213
5.2 再热开裂的影响因素	148		
5.2.1 化学成分的影响	148		
5.2.2 拘束应力的影响	155		

7.3.2 结构钢埋弧焊焊丝与 焊剂的组合	216	第9章 焊接接头的环境损伤	265
7.3.3 结构钢气体保护焊焊丝与 保护气体的组合	217	9.1 环境损伤概述	265
7.3.4 药芯焊丝的作用	220	9.1.1 干性工业环境的损伤	266
7.3.5 低温钢焊缝的初化	222	9.1.2 湿性工业环境的损伤	267
7.4 强韧性标准问题	226	9.1.3 自然环境的损伤	268
7.4.1 断裂准则	227	9.2 材料应用及焊接接头的 特性	269
7.4.2 “韧强比”的意义	228	9.2.1 材料应用概况	269
7.4.3 焊接钢结构选材的 韧性依据	230	9.2.2 一般焊接接头的特点	271
7.4.4 钢材的韧性分级 及其选定	232	9.2.3 异质接头的特性	274
7.4.5 焊接接头强韧性验收 标准问题	235	9.3 焊接接头的高温环境损伤	286
参考文献	238	9.3.1 高温时效脆化	286
第8章 焊接接头的疲劳损伤	240	9.3.2 HAZ 粗晶区高温脆裂	291
8.1 疲劳的基本概念	240	9.3.3 氢损伤	292
8.1.1 疲劳强度的意义	240	9.3.4 IV 型蠕变开裂问题	296
8.1.2 疲劳断裂的特点	241	9.4 焊接接头的局部腐蚀损伤	308
8.2 疲劳强度的影响因素	242	9.4.1 晶间腐蚀	308
8.2.1 焊接缺欠的影响	243	9.4.2 点腐蚀	311
8.2.2 接头构造的影响	251	9.4.3 缝隙腐蚀	313
8.2.3 腐蚀疲劳	255	9.4.4 局部腐蚀的控制	313
8.3 结构的接头细节及其 疲劳等级	256	9.5 焊接接头应力腐蚀开裂	316
8.3.1 结构细节的类型	256	9.5.1 应力腐蚀裂纹的特征	316
8.3.2 疲劳等级曲线	257	9.5.2 应力腐蚀开裂条件	318
8.3.3 关于细节类型的 简要说明	258	9.5.3 合金与介质的组配性	321
8.4 焊接接头疲劳强度的改善	260	9.5.4 应力腐蚀开裂的控制	325
8.4.1 调整剩余应力	260	参考文献	330
8.4.2 焊趾加工修整	263	第10章 焊接应力与变形	333
参考文献	264	10.1 焊接应力	333
		10.1.1 焊接剩余应力特征	333
		10.1.2 焊接应力的对策	340
		10.2 焊接变形	347
		10.2.1 焊接变形的类型及形成	347
		10.2.2 影响焊接变形的因素	349
		10.2.3 焊接变形估算式	349

10.2.4 主要影响素的作用小结	355	A.3 大型高温风机叶轮焊接 变形 ^[3]	444
10.2.5 焊接变形的对策	358	A.4 30000m ³ 大型煤气柜底板 焊接变形 ^[4]	446
参考文献	383	A.5 大型拼接封头焊接 变形 ^[22]	448
第 11 章 钢结构焊接工艺优化问题	385	A.6 不锈钢管箱焊接变形 ^[5]	449
11.1 焊接工艺编制与工艺评定	385	A.7 氨冷器焊接变形 ^[17]	450
11.1.1 焊接产品制造流程	385	A.8 公路桥箱形钢梁焊接 变形 ^[25]	453
11.1.2 组装与焊接工艺要点	387	A.9 环形导汽管焊接变形 控制 ^[23]	456
11.1.3 焊接工艺评定试验	394	A.10 锅炉集箱焊接变形的 火焰矫正 ^[6]	460
11.1.4 焊接检验	397	B 焊接生产中的裂纹问题	461
11.2 焊接线能量	402	B.1 中碳钢大型槽钢焊接 ^[32]	461
11.2.1 线能量的影响	402	B.2 热交换器管板与管子 焊接 ^[32]	463
11.2.2 线能量最佳值范围	404	B.3 越野车大梁焊接 ^[32]	463
11.2.3 最佳焊接参数	407	B.4 大型厚壁筒焊接 ^[32]	464
11.3 预热温度	409	B.5 波纹管焊接 ^[32]	464
11.3.1 预热温度的影响因素	409	B.6 16Mn 钢桥 H 形杆件 焊接	465
11.3.2 关于最低预热温度的 规范	415	B.7 15MnVN 钢桥工字梁 焊接	467
11.3.3 预热的实施	418	B.8 大型油罐横缝埋弧焊 ^[37]	468
11.4 焊后热处理	421	B.9 低碳调质钢厚壁容器 焊接	470
11.4.1 焊后热处理作用	421	B.10 大型飞轮片焊接 ^[30]	471
11.4.2 焊后热处理制度	421	B.11 高压蓄热器焊接 ^[31]	472
11.5 焊接材料	427	B.12 锅炉锅筒焊接 ^[13]	474
11.5.1 焊接材料选用原则	427	B.13 水轮发电机转子支架 焊接 ^[15]	475
11.5.2 焊缝成分的控制	429	B.14 16MnR 球罐焊接 ^[26]	478
11.5.3 焊缝的强韧性匹配 问题	437		
参考文献	439		
附篇 焊接结构产品缺欠分析实例 (选编 50 例)	442		
A 焊接变形问题	442		
A.1 平板防水闸门门扇焊接 变形 ^[1]	443		
A.2 大型收尘器立柱焊接 变形 ^[2]	444		

B.15	采煤机滚筒焊接 ^[29]	480	C.9	储氧球罐焊缝缺欠 安全性分析 ^[36]	512
B.16	锅炉工字形板梁焊接 ^[7]	482	C.10	卧式压缩空气储罐 裂纹安全评定 ^[35]	513
B.17	挖掘机铲斗斗齿与唇缘 焊接 ^[32]	484	D	焊接修复问题	515
B.18	中碳调质钢承载拉环的 焊接 ^[32]	485	D.1	大庆乙烯工程 Ni9% 钢球罐返修焊接	515
B.19	超高强度钢鱼雷壳体 焊接 ^[32]	486	D.2	南炼厂球罐焊缝缺陷 评定与修复 ^[19]	518
B.20	燃气轮机镍基合金薄壁 喷管焊接 ^[32]	488	D.3	低碳调质钢大刚性 T 形 构件返修焊	522
C	焊接产品失效分析问题	489	D.4	磨煤机端盖补焊变形 控制 ^[8]	523
C.1	球罐类大型容器失效 分析 ^[33]	490	D.5	氨合成塔换热器腐蚀后的 焊接修复 ^[9]	525
C.2	液化石油气球罐事故 分析 ^{[38][40]}	495	D.6	液化气汽车槽车罐体的 焊接修复 ^[18]	526
C.3	Ni9%钢球罐水压试验 开裂泄漏分析 ^{[27][28]}	498	D.7	异种钢吸收塔角焊缝 泄漏点的修复 ^[14]	528
C.4	裂化塔焊缝缺欠鉴别 ^[41]	500	D.8	万吨轮螺旋桨桨叶的 焊接修复 ^[10]	530
C.5	造纸蒸球内表面应力 腐蚀开裂 ^[16]	504	D.9	制氢转化炉尾管的 焊接修复 ^[11]	532
C.6	换热器接管应力腐蚀 开裂 ^[34]	507	D.10	Ni3.5%钢脱甲烷塔 现场焊接修复 ^[20]	534
C.7	SPV36N 球罐焊接裂纹 原因分析 ^[24]	508	参考文献		538
C.8	公路钢桥破坏事故 分析 ^[39]	510			

第 1 章 焊接工程缺欠总论

焊接工程质量始终与“缺欠”有联系。所谓缺欠，乃是一种瑕疵，泛指对技术要求的偏离，如不连续性、不均匀性，即有所欠缺的概括。谈工程质量，就是谈如何最大程度地减少或杜绝缺欠，使焊接产品符合技术要求。缺欠是一个广义词。有的缺欠未必危及产品的“使用适应性”(fitness-for-purpose)。而有的缺欠则可能对产品结构构成危害，损及其使用适应性，这种缺欠则称为“缺陷”。有了缺陷，或者判废，或者返修。

须联系焊接连接特点来分析焊接生产过程中缺欠出现的条件及防治对策。焊接引起的缺欠中，裂纹是应该着重讨论的内容；焊接变形也是重要问题，均应专题分析。由操作不当引起的工艺缺欠虽是发生率最大的焊接缺欠，但易于了解，在总论中将简单归纳，以后不再设专章。关于使用性能，诸如韧性、疲劳强度、高温蠕变强度和耐腐蚀性能等，往往也会成为缺欠问题。所谓性能缺欠，指的是焊接接头的性能未能符合标准要求。这应是关注的重要内容，将分别在有关章节中进行分析。

不同焊接产品对缺欠有不同的容限要求。总论中将论及一些重要规范，包括质量管理规范和合用验收规范。防治焊接缺欠，首要的条件是掌握各类缺欠的形成条件及其影响因素，以制定合理的焊接工艺，并在生产制造中，严格工艺纪律，认真贯彻执行。

1.1 焊接结构可靠性与焊接性的意义

1.1.1 焊接结构可靠性问题

在我国，几乎各个工业部门都在应用焊接技术制造各种重要结构，而焊接结构涉及各种工程材料和各种先进焊接技术。焊接技术水平在不断发展提高，焊接结构的应用越来越广泛，取得了令人瞩目的成就。

焊接技术应用于焊接结构，概括起来至少有以下两方面特点：

1. 焊接结构生产容易实现“高效益、低成本”的要求

1) 结构设计可具有很大的灵活性，可以充分运用现代的经济设计原理，能导致新型结构的广泛使用。

2) 可以有效地节省材料，费用低，在经济性方面有明显的优越性。

3) 制造安装速度快，能适应迅速变化的市场需要。

2. 焊接结构安全可靠得到信赖

1) 焊接连接技术与焊接科学的形成,是多学科交融和相互渗透的结果。新材料的发展带来连接技术的新概念,促进新型焊接设备的发展,推动高新技术的应用,又促进新材料的发展。焊接技术水平不断发展提高,为高效优质生产焊接结构提供了重要基础。

2) 焊接冶金理论的研究不断取得进展,有助于改进工程材料和完善配套的焊接材料,可保证焊接质量能满足产品的设计要求。

3) 焊接结构理论的发展,使得设计更具有合理性,而焊接结构的紧密性和较大的刚度,可使焊接结构能更准确地符合设计规定,更适于承受疲劳荷载以及冲击和剧烈振动等工作条件。

4) 对结构的设计、制造、安装和检验均已制定了质量控制标准,对偶尔发生的焊接缺欠也有了“合于使用”准则的验收标准。

但是,当前焊接结构的破坏事故也时有发生。因而,焊接结构的可靠性问题仍应受到重视。

在文献[4]中,从五个方面论述了焊接结构可靠性问题,如表 1-1 所示。关于已经经过无损检测的焊接结构的“可靠性”,引用的定义为:“由于漏检而未能发现的裂纹的亚临界扩展和失效扩展不致造成构件破坏的可能性。”显然,构件的可靠性是和潜在的裂纹或缺欠相联系的。总体来讲,实际上是焊接性问题。

表 1-1 焊接结构的可靠性

可靠性构成	重要因素
结构设计	训练有素的结构设计人员
	严密的设计准则和法规,有可信赖的依据
	有定量的设计指南
材料选用	正确选定结构用材
	材料供货状态正确
	订货时明确钢材生产工艺
结构制造	不断提高焊接技术水平及机械化程度
	准确掌握材料的焊接性
	工艺参数的控制稳定可靠
	可靠地控制接头性能
	焊接变形与应力得到控制
	焊接材料的选择适当
无损检测	缺欠容限标准的执行得当
	正确掌握超声波检测技术
	适时检测并防止漏检
使用性能	抗脆断性能符合标准要求
	疲劳强度满足标准要求
	应力腐蚀开裂与腐蚀性能得到控制
	蠕变断裂性能满足标准要求