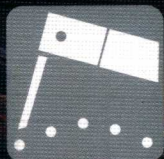


焊接

HANJIE
CHANGJIAN
QUEXIAN
JI CHULI

常见缺陷及处理

张应立 主编



张应立



化学工业出版社

焊接

HANJIE
CHANGJIAN
QUEXIAN
JI CHULI

常见缺陷及处理

张应立 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在介绍焊接缺欠与缺陷基本知识的基础上,较全面地阐述了焊接缺陷的检验方法及返修,焊接缺陷的特征、产生原因及预防措施,各类焊接方法易产生的焊接缺陷及预防措施等知识,同时对焊接应力与变形的控制及矫正做了扼要介绍。

本书内容实用,图文并茂,通俗易懂,可作为焊工、焊接质量管理人员的工具书,同时也可供职业院校相关专业的师生阅读、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接常见缺陷及处理/张应立主编. —北京:
化学工业出版社, 2018. 5
ISBN 978-7-122-31819-0

I. ①焊… II. ①张… III. ①焊接缺陷-研究
IV. ①TG441.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 058352 号

责任编辑: 曾 越

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 吴 静

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

880mm×1230mm 1/32 印张 6½ 字数 188 千字

2018 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

焊接质量是保证机械产品质量的重要因素，如果焊接产品存在焊接缺陷，焊接质量达不到标准规定的要求，将导致机械产品质量的下降，甚至造成严重的质量事故，如压力容器、起重机械、船舶等的制造一旦发生事故，不但给国家财产造成极大损失，还可能对人身安全造成严重威胁。因此焊接质量必须引起焊接生产企业的高度重视。

保证焊接质量的因素是多方面的，其关键在于加强对焊接技术人才的培养，不断提高他们对焊接缺陷预防措施、检验与排除焊接缺陷的技术水平。为此我们编写了《焊接常见缺陷及处理》一书，旨在帮助读者快速掌握处理焊接缺陷的实用技能。本书内容涉及焊接缺欠与缺陷基本知识，焊接缺陷的检验及返修，焊接缺陷的特征、产生原因及预防措施，各类焊接方法易产生的焊接缺陷及预防措施等，同时对焊接应力与变形的控制及矫正做了扼要介绍。本书强调针对性和实用性，注重实践和综合性技术知识的结合，相信可以为广大焊工、焊接管理人员、检验人员、焊接相关专业的师生提供帮助。

本书由张应立主编，参加编写的还有周玉华、张峥、吴兴惠、周玉良、文玉鏊、周玥、刘军、耿敏、周琳、张莉、王美玲、黄清亚、梁润琴、王正常、贾晓娟、陈洁、张军国、黄德轩、王登霞、张宝春、王祥明，全书由高级工程师张梅审定。在编写过程中曾得到质量监督管理部门和贵州路桥工程有限公司的领导和专家的大力支持与帮助，特向他们表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请专家和读者提出批评意见和建议。

编者

第一章 焊接缺欠与缺陷	/1
第一节 焊接缺欠与焊接缺陷	/1
一、焊接缺欠与焊接缺陷的定义	/1
二、焊接缺欠与焊接缺陷的关系	/2
第二节 焊接缺欠的分类	/3
第三节 焊接缺欠代号	/4
一、金属熔焊焊接缺欠	/4
二、金属压焊焊接缺欠	/11
三、金属钎焊焊接缺欠	/16
第四节 焊接缺欠的特征	/20
第五节 不同焊接方法产生的焊接缺欠	/21
第六节 焊接缺欠的产生原因及影响因素	/30
一、焊接缺欠的产生原因	/30
二、焊接缺欠的影响因素	/34
第七节 焊接缺欠的危害	/35

第二章 焊接缺陷的检验及返修	/40
第一节 焊缝外观检验	/40
一、焊缝的目视检验	/40
二、焊缝外形尺寸检验	/42
第二节 焊缝的无损检测	/45
一、无损检测概述	/45
二、射线检测(RT)	/51
三、超声波检测(UT)	/70
四、磁粉检测(MT)	/84

五、渗透检测(PT)	/100
第三节 焊缝外观缺陷的返修	/108
一、返修要求	/108
二、返修前的准备	/108
三、返修补焊坡口的制备	/108
四、返修操作的技术要求	/109
五、返修的方法	/110
六、返修的注意事项	/111

第三章 焊接缺陷特征及预防措施 /113

第一节 焊缝表面尺寸不符合要求	/113
第二节 焊接裂纹	/113
第三节 层状撕裂	/115
第四节 气孔	/115
第五节 咬边	/116
第六节 未焊透	/117
第七节 未熔合	/117
第八节 夹渣	/118
第九节 焊瘤	/118
第十节 塌陷	/119
第十一节 凹坑	/119
第十二节 烧穿	/119
第十三节 根部收缩	/120
第十四节 夹钨	/120
第十五节 错边	/120

第四章 各类焊接方法常见缺陷及预防措施 /121

第一节 焊条电弧焊常见缺陷及预防措施	/121
第二节 埋弧焊常见缺陷及预防措施	/123

第三节	手工 TIG 焊常见缺陷及预防措施	/126
第四节	CO ₂ 焊常见缺陷及预防措施	/129
第五节	熔化极气体保护焊常见缺陷及预防措施	/132
第六节	等离子弧焊常见缺陷及预防措施	/134
第七节	点焊和缝焊常见缺陷及排除方法	/135
第八节	凸焊凸点位移原因及预防措施	/138
第九节	对焊常见缺陷及预防措施	/138
第十节	电子束焊常见缺陷及预防措施	/139
第十一节	电渣焊常见缺陷及预防措施	/141
第十二节	高频焊常见缺陷及预防措施	/143
第十三节	扩散焊常见缺陷及预防措施	/143
第十四节	摩擦焊常见缺陷及预防措施	/145
第十五节	爆炸焊常见缺陷及预防措施	/145
第十六节	气压焊常见缺陷及预防措施	/146
第十七节	气焊常见缺陷及预防措施	/150
第十八节	气割常见缺陷及预防措施	/151
第十九节	螺柱焊常见缺陷及预防措施	/154
第二十节	喷熔层常见缺陷及预防措施	/154
第二十一节	热喷涂涂层常见缺陷及预防措施	/155
第二十二节	熔焊缺陷及排除方法	/157
第二十三节	电阻焊缺陷及排除方法	/160
第二十四节	钎焊缺陷及排除方法	/165
第二十五节	其他焊接缺陷及排除方法	/167

第五章 焊接应力与变形的控制及矫正

/171

第一节 焊接应力与变形的基本知识 /171

一、基本概念 /171

二、焊接应力与变形的危害性 /172

三、影响焊接应力与变形的因素 /173

第二节 焊接应力的控制和消除	/174
一、焊接应力的分类	/174
二、控制焊接应力的措施	/174
三、消除焊接应力的方法	/179
第三节 焊接变形的控制及矫正	/181
一、焊接变形的分类	/181
二、控制焊接变形的措施	/184
三、矫正焊接变形的的方法	/193

第一章

焊接缺欠与缺陷

焊接结构在制作过程中受各种因素的影响,不可避免地产生焊接缺欠,它的存在不同程度上影响到产品的质量和安全使用。焊接检验是把焊件上产生的各种缺欠检查出来,并按有关标准对它进行评定,以决定对缺欠的处理。

第一节 焊接缺欠与焊接缺陷

一、焊接缺欠与焊接缺陷的定义

缺欠与缺陷本无原则区别,均表征产品不完整或有缺损。但对于焊接结构而言,基于合于使用准则,有必要对缺欠和缺陷赋予不同的含义。

(1) 焊接缺欠

广义的焊接缺陷是指焊接接头中的不连续性、不均匀性以及其它不完整性,专业术语为焊接缺欠。焊接缺欠的存在使焊接接头的质量下降,性能变差。

(2) 焊接缺陷

国际标准 ISO 6520 中将缺陷定义为“不可接受的缺欠”,即不符合焊接产品使用性能要求的焊接缺欠,称焊接缺陷。也就是说,焊接缺陷是属于焊接缺欠中不可接受的那一种缺欠,该缺欠必须经过修补处理才能使用,否则就是废品。

(3) 焊接缺陷的判别

判别焊接缺陷的标准是焊接缺欠的容限。国际焊接学会 (IIW) 第 V 委员会从质量管理角度提出了两个质量标准 Q_A 和 Q_B , 如图 1-1

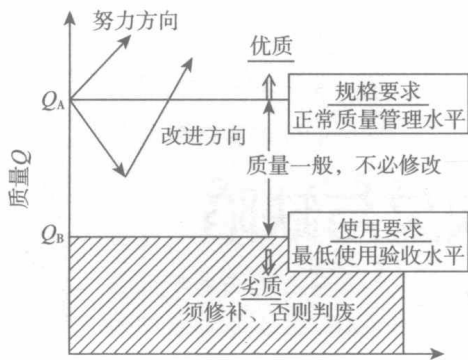


图 1-1 IIW 的质量标准

所示。 Q_A 是用于正常质量管理的质量水平，它是生产厂家努力的目标，必须按 Q_A 进行管理生产。 Q_A 也是用户的期望标准。 Q_B 是根据合于使用准则确定出的反映缺欠容限的最低质量水平。只要产品质量不低于 Q_B 水平，该产品即使有缺欠，也能满足使用要求，不必返修就可投入使用。如果产品质量达不到

Q_B 水平要求，则使其不符合使用性能要求的缺欠，称为焊接缺陷。具有焊接缺陷的产品只能经修补处理后才能使用，否则报废。

这样，达不到 Q_A 标准的焊接产品便是有焊接缺欠的产品，达不到 Q_B 标准的焊接产品为有焊接缺陷的产品；处于 Q_A 和 Q_B 标准之间的产品就属于虽有缺欠但可使用的一般质量的产品。这里 Q_B 的质量水平便成为产品验收的最低标准。

二、焊接缺欠与焊接缺陷的关系

焊接缺欠是绝对的，它表明焊接接头中客观存在的某种间断或非完整性。而焊接缺陷是相对的，同一类型、同一尺寸的焊接缺欠，出现在制造要求高的产品中，可能被认为是焊接缺陷，必须返修合格；出现在制造要求低的产品中，可能被认为是可接受的、合格的焊接缺欠，不需要返修。因此，判别焊接缺欠是不是焊接缺陷的准则是产品相应的法规、标准和制造技术条件，即按有关标准对焊接缺欠进行评定。在这些法规、标准和制造技术条件中，根据焊接产品使用性能，从焊接质量、可靠性和经济性之间的平衡综合考虑，规定什么焊接缺欠相对本制造技术条件的产品是可接受的，什么焊接缺欠是对产品运行构成威胁的、不可接受的焊接缺陷。

例如，0.4mm 深度的咬边，如果出现在“不允许有任何咬边存在”的高压力容器焊接接头中，可判断为焊接缺陷；如果出现在技术条件规定“咬边深度不得超过 0.5mm”的普通容器焊接接头中，则被

认为是可以接受的焊接缺欠，不是焊接缺陷。

必须指出，焊接缺陷对每一结构，甚至每一结构中的每一构件都不相同，通常由测试、计算和相关判据才能确定。

第二节 焊接缺欠的分类

焊接缺欠有以下几种不同的分类方法。

(1) 按缺欠的形态分类

按缺欠的几何形态划分，可将焊接缺欠分为平面型缺欠和体积型缺欠。平面型缺欠的特征是缺欠在某一空间方向上的尺寸很小（如裂纹和未熔合）；体积型缺欠的特征是缺欠在空间 3 个方向上的尺寸较大（如气孔和夹渣）。

(2) 按缺欠出现的位置分类

按缺欠出现的位置划分，可将焊接缺欠分为表面缺欠和内部缺欠。表面缺欠用外观或表面无损检测方法便可发现；内部缺欠只有用解剖、金相或内部无损检测方法才能发现。表面缺欠和内部缺欠举例如表 1-1 所示。

表 1-1 表面缺欠和内部缺欠举例

缺欠类别	缺欠举例
表面缺欠	①坡口形状或装配等不合要求 ②焊缝形状、尺寸不合要求，工件变形 ③咬边、表面气孔、夹渣、裂纹等
内部缺欠	①焊缝或接头内部的各种缺欠，如气孔、夹杂物、裂纹、未熔合等 ②焊缝或接头内出现偏析、显微组织不合要求等

(3) 按缺欠的尺寸分类

按缺欠尺寸的大小划分，可将焊接缺欠分为宏观缺欠和微观缺欠。用目测或放大镜便可发现的焊接缺欠称为宏观缺欠；在金相显微镜下才能看到的缺欠称为微观缺欠。

(4) 按缺欠的性质分类

焊接接头中存在的缺欠，按其性质基本上可归纳为以下 3 类。

①焊缝形状与尺寸缺欠。这类缺欠可以通过外观和尺寸测量检查发现，并可用补焊修磨方法消除。

②焊接工艺性缺欠。此类缺欠包括裂纹、未熔合、未焊透、气孔及夹渣等。它们可通过无损检测方法发现，并可用局部返修补焊方法消除。

③接头性能缺欠。焊接接头的力学性能或物理化学性能不符合要求的称为接头性能缺欠。性能缺欠不能通过局部返修的方法消除，只有通过选择合适的焊接材料，采用合理的焊接工艺并辅以其他加工工艺（如热处理工艺）才能消除。

第三节 焊接缺欠代号

根据 GB/T 6417.1—2005 和 GB/T 6417.2—2005 的规定，熔焊和压焊的焊接缺欠可根据其性质、特征分为 6 个种类，包括裂纹、孔穴、固体夹杂、未熔合、形状和尺寸不良、其他缺欠。每种缺欠又可根据其位置和状态进行分类，为了便于使用，一般应采用缺欠代号表示各种焊接缺欠。

一、金属熔焊焊接缺欠


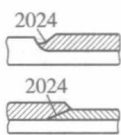


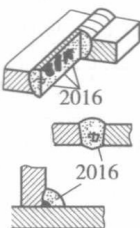

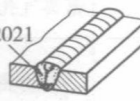
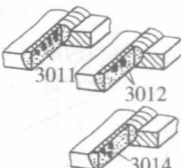
熔焊接头各种常见焊接缺欠的代号、分类、说明及示意图见表 1-2。




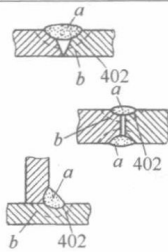
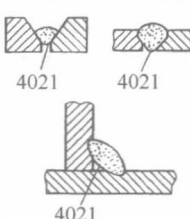
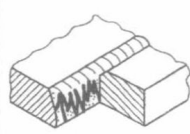
表 1-2 熔焊接头各类焊接缺欠的代号、分类、说明及示意图
(摘自 GB/T 6417.1—2005)

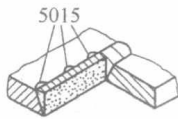


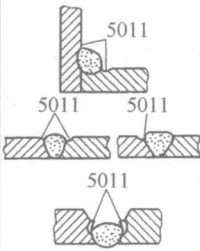
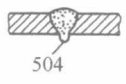
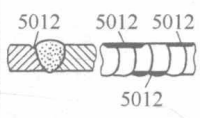
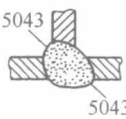
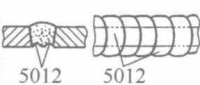

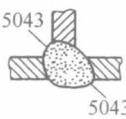
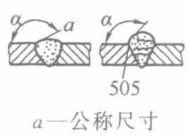
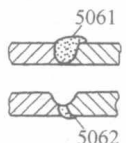
代号	名称及说明	示意图	代号	名称及说明	示意图
第 1 类 裂纹					
100	裂纹 一种在固态下由局部断裂产生的缺欠，它可能源于冷却或应力效果		101	纵向裂纹 基本与焊缝轴线相平行的裂纹。它可能位于：	
	1001		微观裂纹 在显微镜下才能观察到的裂纹	1011 1012 1013 1014	

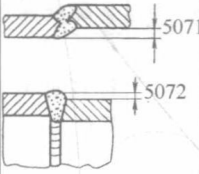
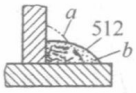



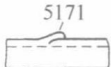

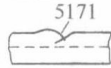



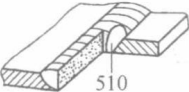
代号	名称及说明	示意图	代号	名称及说明	示意图
102	横向裂纹 基本与焊缝轴线相垂直的裂纹。它可能位于:		106	枝状裂纹 源于同一裂纹并连在一起的裂纹群, 它和间断裂纹群 (105) 及放射状裂纹 (103) 明显不同。枝状裂纹可能位于:	
1021	焊缝金属中		1061	焊缝金属中	
1023	热影响区中		1063	热影响区中	
1024	母材中		1064	母材中	
103	放射状裂纹 具有某一公共点的放射状裂纹。它可能位于:		第 2 类 孔穴		
1031	焊缝金属中		200	孔穴	
1033	热影响区中		201	气孔 残留气体形成的孔穴	
1034	母材中 注: 这种类型的小裂纹被称为“星形裂纹”				
104	弧坑裂纹 在焊缝弧坑处的裂纹。可能是:		2011	球形气孔 近似球形的孔穴	
1045	纵向的				
1046	横向的				
1047	放射状的 (星形裂纹)				
105	间断裂纹群 一群在任意方向间断分布的裂纹。可能位于:		2012	均匀气孔 均匀分布在焊缝金属中的一些气孔; 有别于链状气孔 (2014) 和局部密集气孔 (2013)	
1051	焊缝金属中				
1053	热影响区中				
1054	母材中				
			2013	局部密集气孔 呈任意几何分布的一群气孔	

续表

代号	名称及说明	示意图	代号	名称及说明	示意图
2014	链状气孔 与焊缝轴线平行的 一串气孔		2024	弧坑缩孔 焊道末端的凹 陷孔穴, 未能被 后续焊道消除	
2015	条形气孔 长度与焊缝轴 线平行的非球形 长气孔		2025*	末端弧坑缩孔 减少焊缝截面 的外露缩孔	
2016	虫形气孔 因气体逸出而 在焊缝金属中产 生的一种管状气 孔穴。其形状和 位置由凝固方式 和气体的来源所 决定。通常这种 气孔成串聚集并 呈鲑骨形状。有 些虫形气孔可能 暴露在焊缝表 面上		203*	微型缩孔 仅在显微镜下 可以观察到的 缩孔	
2017	表面气孔 暴露在焊缝表 面的气孔		2031*	微型结晶缩孔 冷却过程中沿 晶界在树枝晶之 间形成的长形 缩孔	
202	缩孔 由于凝固时收 缩造成的孔穴		2032*	微型穿晶缩孔 凝固时穿过晶 界形成的长形 缩孔	
2021	结晶缩孔 冷却过程中在 树枝晶之间形成 的长形收缩孔, 可能残留有气 体。这种缺欠通 常可在焊缝表面 的垂直处发现		第3类 固体夹杂		
			300	固体夹杂 在焊缝金属中 残留的固体杂物	
			301	夹渣 残留在焊缝金 属中的熔渣。根 据其形成的情况, 这些夹渣可能是:	
			3011	线状的	
			3012	孤立的	
			3014*	成簇的	

代号	名称及说明	示意图	代号	名称及说明	示意图	
302	焊剂夹渣 残留在焊缝金属中的焊剂渣。根据其形成的情况,这些夹渣可能是:	参见 3011~3014	第 4 类 未熔合及未焊透			
3021	线状的		401 未熔合 焊缝金属和母材或焊缝金属各焊层之间未结合的部分。可能是如下某种形式:			
3022	孤立的					
3024*	成簇的					
303	氧化物夹杂 凝固时残留在焊缝金属中的金属氧化物。这种夹杂可能是:	参见 3011~3014			4011	侧壁未熔合
3031*	线状的		4012	焊道间未熔合		
3032*	孤立的		4013	根部未熔合		
3033*	成簇的		4013	根部未熔合		
3034	皱褶 在某些情况下,特别是铝合金焊接时,因焊接熔池保护不善和紊流的双重影响而产生大量的氧化膜		402	未焊透 实际熔深与公称熔深之间的差异	 <p><i>a</i>—实际熔深; <i>b</i>—公称熔深</p>	
304	金属夹杂 残留在焊缝金属中的外来金属颗粒。其可能是:		4021*	根部未焊透 根部的一个或两个熔合面未熔化		
3041	钨		403*	钉尖 电子束或激光焊接是产生的极不均匀的熔透,呈锯齿状。这种缺欠可能包括孔穴、裂纹、缩孔等		
3042	铜					
3043	其他金属					

代号	名称及说明	示意图	代号	名称及说明	示意图
第 5 类 形状和尺寸不良					
500	形状不良 焊缝的外表面 形状或接头的几 何形状不良		5015*	局部交错咬边 在焊道侧边或 表面上, 呈不规 则间断的、长度 较短的咬边	
501*	咬边 母材 (或前一 道熔敷金属) 在 焊趾处因焊接则 产生的不规则 缺口		502	焊缝超高 对接焊缝表面 上焊缝金属过高	
501*			503	凸度过大 角焊缝表面上 焊缝金属过高	
5011	连续咬边 具有一定长度 且无间断的咬边		504	下塌 过多的焊缝金 属伸出了焊缝 的根部。下塌可 能是:	
5012	间断咬边 沿着焊缝间 断、长度较短的 咬边		5041	局部下塌	
5013	缩沟 在根部焊道的 每侧都可观察到 的沟槽		5042*	连续下塌	
5014*	焊道间咬边 焊道之间纵向 的咬边		5043*	熔穿	
5012			505	焊缝形面不良 母材金属表面 与靠近焊趾处焊 缝表面的切面之 间的夹角 α 过小	
5013			506	焊瘤 覆盖在母材金 属表面, 但未与 其熔合的过多焊 缝金属。焊瘤可 能是:	
5014*			5061*	焊趾焊瘤	
			5062*	根部焊瘤	

代号	名称及说明	示意图	代号	名称及说明	示意图
507	错边 两个焊件表面应平行对齐时,未达到规定的平行对齐要求而产生的偏差。错边可能是:		512	焊脚不对称	 a—正常形状; b—实际形状
5071*	板材的错边		513	焊缝宽度不齐 焊缝宽度变化过大	
5072*	管材的错边		514	表面不规则 表面粗糙度过大	
508	角度偏差 两个焊件未平行(或未按规定角度对齐)而产生的偏差		515	根部收缩 由于对接焊缝根部收缩产生的浅沟槽(也可参见5013)	
509	下垂 由于重力而导致焊缝金属塌落。下垂可能是:		516	根部气孔 在凝固瞬间焊缝金属析出气体而在焊缝根部形成的多孔状孔穴	
5091	水平下垂		517	焊缝接头不良 焊缝衔接处局部表面不规则。它可能发生在:	
5092	在平面位置下垂		5171*	盖面焊道	
5093	角焊缝下垂		5172*	打底焊道	
5094	焊缝边缘熔化下垂		520*	变形过大 由于焊接收缩和变形导致尺寸偏差超标	
510	烧穿 焊接熔池塌落导致焊缝内的孔洞				
511	未焊满 因焊接填充金属堆敷不充分,在焊缝表面产生纵向连续或间断的沟槽	