



“十二五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列(应用型院校用书)

焊接检验

Welding Inspection

主 编 鲍爱莲
副主编 庄明辉
尹冬松
刘万辉

专家著书 体现先进性 前瞻性 反映材料领域的研究成果

学科融合贯通 注重交叉性 学术性 立足材料科学的人才培养

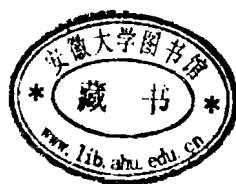
内容丰富翔实 追求研究性 实用性 促进材料工程的创新发展

哈尔滨工业大学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列(应用型院校用书)

焊接检验

主 编 鲍爱莲
副主编 庄明辉 尹冬松 刘万辉



哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书由9章组成,系统介绍了各类焊接缺欠的特征及其形成原因,阐述了目视检测、射线检测、超声检测、涡流检测、磁粉检测、渗透检测等检测方法的基本原理、特点、仪器与材料、适用范围等,并列举应用实例及最新的国家标准,供使用人员参考。本书立足于普通高等学校相关专业的应用型人才培养,重点突出实用性和实践性内容。

本书可作为高等院校材料科学与工程各专业本科教材,也可供从事焊接检验及相关工作的工程技术人员参考。

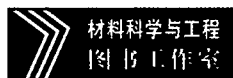
图书在版编目(CIP)数据

焊接检验/鲍爱莲主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-5603-3753-1

I. ①焊… II. ①鲍… III. ①焊接-检验-高等学校-教材 IV. ①TG441.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 180454 号



材料科学与工程
图书工作室

责任编辑 范业婷

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 11.75 字数 276 千字

版 次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-3753-1

定 价 22.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

随着焊接技术在工业制造中的广泛应用,焊接产品质量需要进行控制,尤其是焊缝质量。把焊接缺陷限制在一定的范围内,以确保设备安全和生命财产安全。因此,焊接质量检验尤为重要,及早发现焊接缺陷,对焊接接头的质量做出客观的评价,能为实现现代化焊接工业质量控制、设备安全运行提供重要保证。另外,“焊接检验”是一门实践性很强的专业课,为满足应用型本科专业人才培养的需要,我们组织编写了本教材。

本书较系统地介绍目视检测、射线检测、超声检测、磁粉检测、涡流检测、渗透检测等内容。书中内容力求深入浅出,理论联系实际,重视知识体系及内容的实用性,直接引用了最新的国家标准。本书除可作为相关专业的本科教材外,也可作并从事检验及相关工作的工程技术人员的参考书。

本书由鲍爱莲统稿、担任主编,并编写绪论、第1~3章;庄明辉编写第5~7章;尹冬松编写第8、9章;刘万辉编写第4章,并参与了文字内容和图表的校核。同时,哈尔滨市锅炉压力容器检验研究院何山林工程师、哈尔滨理工大学郭立伟副教授等对本书提出了宝贵建议,此外,编写人员所在单位的领导及老师们也给予了大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2012年4月

目 录

绪 论	1
第 1 章 焊接缺欠	7
1.1 焊接缺欠的分类与特征	7
1.2 焊接缺欠分析	24
第 2 章 目视检测	29
2.1 目视检测方法的分类	29
2.2 目视检测设备及仪器	30
2.3 焊缝外观目视检测工艺	33
第 3 章 射线检测	39
3.1 射线检测的物理基础	39
3.2 射线检测的设备和器材	44
3.3 射线照相法检测技术	52
3.4 焊缝射线照相底片的评定	69
3.5 典型焊接产品射线检测实例	75
3.6 中子射线检测简介	77
3.7 辐射防护	78
第 4 章 超声检测	80
4.1 超声检测的物理基础	80
4.2 超声检测设备和器材	94
4.3 超声检测工艺	101
4.4 超声检测的应用	115
第 5 章 涡流检测	118
5.1 涡流检测的基本原理	118
5.2 涡流检测的设备和器材	123

5.3 涡流检测技术	128
第6章 磁粉检测	131
6.1 磁粉检测的基本原理	131
6.2 磁粉检测的设备和材料	133
6.3 磁粉检测技术	136
第7章 渗透检测	146
7.1 渗透检测的物理基础	146
7.2 渗透检测的设备和材料	149
7.3 渗透检测技术	153
第8章 其他无损检测方法	158
8.1 声发射技术	158
8.2 红外检测	160
8.3 激光全息检测	162
8.4 微波检测法	166
第9章 破坏性检验	168
9.1 金属的力学性能试验	168
9.2 焊接接头金相组织分析	174
9.3 焊缝金属化学试验分析	176
参考文献	179

绪 论

焊接检验是以近代物理学、化学、力学、电子学和材料科学为基础的焊接学科之一,是与全面质量管理科学与无损评定技术紧密结合的一个崭新领域。先进的检测方法及仪器设备、严密的组织管理制度和较高素质的焊接检验人员,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. 焊接检验的意义

众所周知,焊接结构(件)在现代科学技术和生产中得到了广泛应用。随着锅炉、压力容器、化工机械、海洋工程、航空航天器和原子能工程等向高参数及大型化方向发展,工作条例日益苛刻、复杂,因此这些焊接结构(件)必须是高质量的。诚然,迅速发展的现代焊接技术,已能在很大程度上保证其产品质量,但由于焊接接头为性能不均匀体,应力分布又复杂,制造过程中做不到绝对的不产生焊接缺陷,更不能排除产品在役运行中出现新缺陷。因而为获得可靠的焊接结构(件)还必须走第二条途径,即采用和发展合理而先进的焊接检验技术,其主要作用为:确保焊接结构(件)制造质量,保证其安全运行,这是实施焊接检验的根本目的;改进焊接技术,提高产品质量;降低产品成本,正确进行安全评定;由于有焊接检验的可靠保证,可促使焊接技术更广泛应用。

2. 焊接检验的分类

焊接质量的检验方法可分为破坏性检验、非破坏性检验和工艺性检验三类,每类中又有若干具体检验方法,见表0.1。

表0.1 焊接检验方法及分类

类别	特点	内 容	
破坏性检验	检验过程中需破坏被检验对象的结构	力学性能试验	拉伸试验、弯曲试验、冲击试验、压扁试验、硬度试验、疲劳试验等
		化学分析试验	化学成分分析、晶间腐蚀试验、铁素体含量测定
		金相与断口的分析	宏观组织分析、微观组织分析、断口检验与分析
非破坏性检验	检验过程中不破坏被检验对象的结构和材料	强度检验	水压试验、气压试验
		致密性试验	气密性试验、吹气试验、氨渗漏试验、煤油试验、载水试验、沉水试验、水冲试验、渗透检测、氮检漏试验
		无损检验	目视检验、射线检测、超声波检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测、声发射检测等
工艺性检验	在产品制造过程中,为了保证工艺的正确性而进行的检验	材料焊接性试验、焊接工艺评定、焊接电源检验、工艺装备检验、辅机及工具检验、结构的装配质量检验、焊接参数检验及预热、后热和焊后热处理检验	

3. 焊接检验的过程

只有把焊接检验工作扩展到整个焊接生产和产品使用过程中,才能更充分、更有效地发挥各种检验方法的积极作用,才能预防和及时防止由缺陷造成的废品和事故。

焊接检验过程,基本上由焊前检验(表 0.2)、焊接过程中的检验(表 0.3)、焊后检验(表 0.4)、安装调试质量检验(表 0.5)和产品服役质量检验(表 0.6)等五个环节组成。

表 0.2 焊前检验

序号	名称	主要内容
1	母材质量检验	检查材料质量证明书和复验单,确认其化学成分、力学性能和表面质量是否符合标准要求,检查领料单,确认领料是否正确,检查材料上的原始标记,检查标记移植是否正确清楚;同时做好检查记录
2	焊接材料质量检验	检查材料质量证明书和复验单,确认其化学成分、力学性能和表面质量是否符合标准要求,核对是否符合图样、文件规定,检查领料单,确认领料是否正确,检查焊材上的原始标记是否清晰;焊接材料代用时,是否有审批手续
3	焊接结构设计工艺审查	结构设计是否满足加工成形、焊接及其检验工艺要求
4	坡口检查	检查坡口形状、尺寸是否符合要求,检查坡口表面粗糙度、清理情况等表面质量
5	焊接装配质量检验	检查坡口间隙、错边量、坡口角度等是否符合要求,是否强力对接;定位焊及其焊缝质量是否符合要求
6	焊接试板检验	检查焊接试板的材质、规格、批号、坡口尺寸等是否符合要求
7	工艺装备检验	检查工艺装备的灵活性、定位精度和夹紧力等是否符合要求,装卡方法和位置是否正确,是否牢固
8	焊接环境检验	检查环境温度、空气湿度、风速、雨雪等环境是否超过允许范围,超过时必须采取措施
9	焊前预热检验	检查预热方法、预热温度、预热范围等是否符合要求
10	焊工资格检验	检查焊工是否有合格证并在有效期内,合格项目是否与所焊产品一致

表 0.3 焊接过程中的检验

序号	名称	主要内容
1	焊接环境检验	检查环境温度、空气湿度、风速、雨雪等环境是否超过允许范围,超过时必须采取措施
2	焊接材料检验	检查焊接材料的牌号或型号、尺寸是否符合要求
3	焊接工艺规范检验	检查焊接电流、电弧电压、焊接速度等焊接参数是否符合要求,检查焊接顺序、焊接方向是否符合要求
4	焊缝表面质量检验	检查焊缝表面有无裂纹、未熔合、夹渣、气孔等不允许或超标缺陷
5	后热检验	检查后热温度、保温时间等
6	焊后热处理检验	检查焊后热处理是否按照热处理曲线的工艺参数进行

表 0.4 焊后检验

序号	名称	主要内容
1	无损检测	检查焊缝表面和内部有无裂纹、未熔合、夹渣、气孔等各类焊接缺陷以及焊缝外观成型情况。常用无损检测方法比较见表 0.7
2	力学性能检验	检查焊接接头强度、韧性、硬度等是否符合要求
3	金相检验	了解焊缝柱状晶形态、焊缝截面状况、焊缝及热影响区组织形态以及有无焊接缺陷等
4	化学试验分析	了解焊缝金属主要化学成分、奥氏体不锈钢焊接接头的晶间腐蚀倾向以及奥氏体不锈钢焊缝金属中铁素体含量等
5	致密性检验	检查焊缝的致密性
6	强度检验	检查焊接接头的致密性和强度,综合考核焊接产品质量

表 0.5 安装调试质量检验

项目	主要内容	
现场组装焊接质量检验	施工环境检查;焊工资格检查;组装质量检查;焊接质量检查	
综合验收	检验程序和检验项目	检验资料的齐全性;核对质量证明文件;检查实物和质量证明的一致性;安装规程和技术文件检查;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重点检验;致密性检验;试运行检验;其他检验方法和验收标准应与产品制造过程中所采用的检验方法、验收标准相同
	现场焊接质量问题处理	发现漏检,应作补充检查并补齐质量证明文件;因检测方法、检测项目或验收标准不同而引起的质量问题,应尽量采用同样的检验方法和评定标准,以确定焊接产品是否合格;可修可不修的焊接缺欠一般不返修,焊接缺欠明显超标应返修,其中大型结构应尽量在现场修复

表 0.6 产品服役质量检验

项目	主要内容
运行质量监控	采用声发射等技术进行监控
定期检查	对苛刻条件(腐蚀介质、交变载荷、热应力)下工作的焊接产品或有特殊规定的产品,应有计划地定期检查
质量问题现场处理	重要产品的修复要制定修复工艺方案并经焊接工艺评定验证,严格按工艺方案修复并做好记录
焊接结构破坏事故现场调查	现场调查:保护现场,收集所在运行记录,查明操作是否正确,查明断裂位置,检查断口部位的焊接接头表面质量和断口质量,测量破坏结构厚度,核对该厚度是否符合图样要求,并为设计校核提供依据 取样分析:金相检验、复查化学成分、复查力学性能 设计校核 复查制造工艺

焊接结构(件)常用无损检测方法比较见表 0.7。

表 0.7 焊接结构(件)常用无损检测方法比较

名称	适用对象	不适用对象	优缺点
目视检测 (VT)	表面缺陷以及外观特征	难以检出细小缺陷	(1)原理简单,易于理解和掌握 (2)不受或很少受被检产品的材质、结构、形状、位置、尺寸等因素的影响 (3)一般情况下,无须复杂的检测设备 (4)检测结果具有直观、真实、可靠、重复性好等优点
射线探伤 (RT)	(1)焊缝内部体积型缺陷(气孔、夹渣、未焊透) (2)对于焊缝内部面积型缺陷(裂纹、未熔合)必须与透照方向一致才有较高检出率	由于射线透照方向不易与裂纹、未熔合方向一致,故较难发现	(1)透照厚度 $\delta < 400$ mm (2)防辐射安全措施严格 (3)影像直观,底片可存档 (4)设备一次性投资大 (5)要有素质高的操作和评片人员
超声波探伤 (UT)	(1)特别适合焊缝内部面积型缺陷(裂纹、未熔合) (2)对体积型缺陷也有较高检出率	难以探出小、细裂纹	(1)厚度基本不受限制 (2)安全、方便、成本低 (3)缺陷定性困难 (4)奥氏体粗晶焊缝探伤困难 (5)要有素质高的检验人员
磁粉探伤 (MT)	(1)坡口表面(夹层缺陷) (2)焊缝及附近表面裂纹 (3)厚焊缝中间检查(裂纹) (4)焊接附件拆除后检查表面裂纹	非铁磁性材料,如奥氏体钢、铜、铝等	(1)相对经济、简便 (2)能确定缺陷位置、大小和形状,但难以确定深度 (3)探伤结果直观,易于解释
涡流探伤 (ET)	表面及近表面缺陷(裂纹、气孔、未熔合)	非导电材料	(1)经济、简便、易于实现自动化 (2)缺陷难以定性
渗透探伤 (PT)	表面开口缺陷(裂纹、针孔)	疏松多孔性材料	同磁粉探伤

4. 焊接检验的依据

焊接生产中必须按图样、技术标准和检验文件规定进行检验。

(1) 施工图样。

图样是生产中使用的最基本资料,加工制作应按图样的规定进行。图样规定了原材料、焊缝位置、坡口形式和尺寸及焊缝的检验要求等。

(2) 技术标准。

技术标准包括有关的技术条例。它规定焊接产品的质量要求和质量评定方法,是从事检验工作的指导性文件。

(3) 检验文件。

检验文件包括工艺规程、检验规程、检验工艺等,它们具体规定了检验方法和检验程序,指导现场检验人员进行工作。此外还包括检查过程中收集的检验单据:检验报告、不良品处理单、更改通知单,如图样更改、工艺更改、材料代用、追加或改变检验要求等所使

用的书面通知。

(4) 订货合同。

用户对产品焊接质量的要求在合同中有明确标定的,也可作为图样和技术文件的补充规定。

5. 焊接检验人员与无损检测资格认证

为了有效地开展焊接检验工作,焊接检验人员必须具有较宽的知识面和检验技巧,熟悉与制作过程相关的各方面的知识。焊接检验人员是一个负责按照适用的规范或规程对焊缝质量进行评判的人,可包括破坏性试验人员、无损检验人员(NDE)、法律法规检验人员、军队或政府检验人员、业主代表、车间及其他检验人员等。

为了最大效率地开展工作,要求焊接检验人员应具备一定的品质。

- ①最重要的品质是一个专业化的态度;
- ②焊接检验人员应该具备良好的身体状况;
- ③焊接检验人员还应具备理解并应用各种资料来描述焊接要求的能力;
- ④焊接检验人员应具备一定的有关焊接方法和工艺的知识。

我国于20世纪80年代初,参照工业先进国家无损检测人员培训和资格鉴定的经验,建立了无损检测人员培训和资格鉴定委员会,制定了关于无损检测技术等级划分和资格鉴定的试行规定。人员等级划分为三级:I级为初级,II级为中级,III级为高级。高级人员由全国资格鉴定机构认证;中级人员由工业部门和省、市、地区资格鉴定机构认证;初级人员由企、事业单位认证。各级人员的职能如下:

I级:在II级或III级人员监督、指导下,根据技术说明书应具有进行无损检测的能力;应能调整和使用仪器设备进行检测操作,记录检测结果;应能根据标准对检测结果进行初步等级评定。

II级:根据确定的工艺,编制技术说明书;能安排和校准仪器、设备;能具体实施无损检测工作;能根据法规、标准和规范,解释和评定检测结果;能撰写、签发检测结果报告;熟悉无损检测方法的适用范围和局限性;培训和指导I级人员和未取证学员。

III级:对确定的无损检测技术和工艺、贯彻法规、标准、规范等负全部责任;全面监督和管理无损检测工作的进行;根据法规、标准和规范,解释和评定检测结果;能设计特殊的无损检测方法、技术和工艺;在没有验收标准可供引用时,协助有关部门制定验收标准;具备材料、结构和生产工艺方面的实际知识;熟悉其他无损检测方法;培训I、II级人员。

6. 本课程的目的和任务

焊接检验与其他焊接专业课相比,具有更大的多学科性和实践性。

多学科性是因为它既是以近代物理学、化学、力学、电子学和材料科学为基础的焊接学科之一,又是全面质量管理科学与无损评定技术紧密结合的一个崭新领域。它的检验手段和相关原理涉及力、热、磁、声、光、电各领域,经常需要多方调查、检验、监测,综合多种方法获得各种信息后才能对材料的物理性能和变异,对焊接结构(件)的安全可靠给出中肯和准确的评价。

实践性是因为对焊接缺陷的理解和评定与检验人员的实践经验密切相关。同时,其依据的检验规程、标准、法规等又都是在实践过程中形成和升华的技术结果。特别应予以指出的是,检验人员(尤其无损检验人员)的资格鉴定和认可,与其从事的工作经历和培

训情况密切相关,只有经过较长时期的严格实践锻炼才能胜任检验工作。

通过本课程学习能使焊接专业的学生掌握焊接检验的基本知识和基本技能:

- (1)掌握焊接检验方法基本原理、适用范围。
- (2)正确选用检验设备、仪器,熟悉基本操作技能。
- (3)掌握有关检验标准、缺陷识别知识,正确拟定检验工艺。
- (4)掌握评定焊缝质量等级的方法,进行质量分析,改进焊接技术,进而提高产品质量。

第1章 焊接缺欠

焊接工程质量始终与“缺欠”有联系。所谓缺欠,泛指对技术要求的偏离,如不均匀性、不连续性,即有所欠缺的概括。谈工程质量,就是谈如何最大限度地减少缺欠,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”。而有的缺欠则可能对产品结构构成危害,损及其质量,这种缺欠则称为“缺陷”,即超过规定限值的缺欠。有了缺陷,或者判废,或者返修。

对焊接缺陷进行分析,一方面是为了找出缺陷产生的原因,从而在材料、工艺、结构、设备等方面采取有效措施,以防止缺陷的产生;另一方面是为了在焊接结构(件)的制造或使用过程中,能够正确地选择焊接检验的技术手段,及时发现缺陷,从而定性或定量地评定焊接结构(件)的质量,使焊接检验达到预期的目的。

1.1 焊接缺欠的分类与特征

焊接缺欠的种类很多,有熔焊产生的缺欠,也有压焊、钎焊产生的缺欠。本节主要介绍熔焊缺欠的分类,其他方法的焊接缺欠这里不作介绍。

根据 GB 6417—2005《金属熔化焊接头缺欠分类及说明》,可将熔焊缺欠分为以下六类:第一类,裂纹;第二类,孔穴;第三类,固体夹杂;第四类,未熔合和未焊透;第五类,形状和尺寸不良;第六类,其他缺欠。

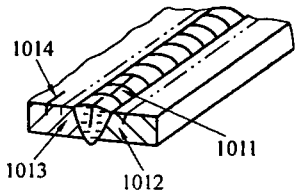
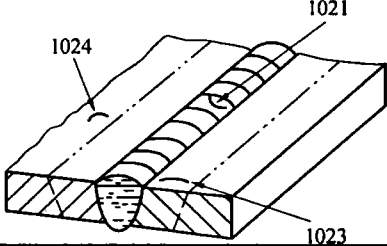
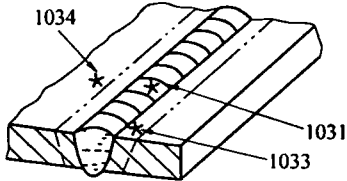
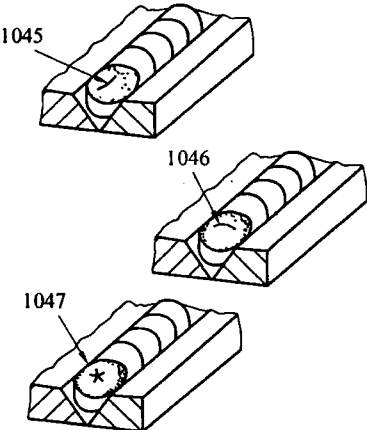
1.1.1 焊接裂纹

焊接裂纹是指金属在焊接应力及其他致脆因素共同作用下,焊接接头中局部地区金属原子结合力遭到破坏而形成的新界面所产生的缝隙。具有尖锐缺口和长宽比大特征的缺欠,是焊接结构(件)中最危险的缺欠。

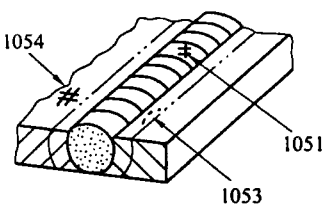
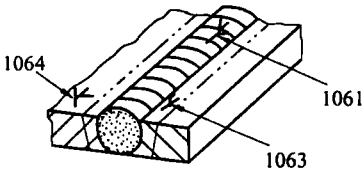
1. 根据焊接裂纹所处位置和状态进行分类

GB 6417—2005《金属熔化焊接头缺欠分类及说明》对焊接裂纹根据其位置和状态进行分类。为了便于使用,一般采用缺欠代号表示各种焊接缺欠。表 1.1 给出了各种焊接裂纹缺欠的代号、分类和说明。

表 1.1 裂纹缺欠的代号、分类及说明

代号	名称及说明	示意图
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	
1001	微观裂纹 在显微镜下才能观察到的裂纹	
101	纵向裂纹 基本与焊缝轴线相平行的裂纹,可能位于: 焊缝金属 熔合线 热影响区 母材	
102	横向裂纹 基本与焊缝轴线相垂直的裂纹,可能位于: 焊缝金属 热影响区 母材	
103	放射状裂纹 具有某一公共点的放射状裂纹,可能位于: 焊缝金属 热影响区 母材 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: 纵向的 横向的 放射状的(星形裂纹)	

续表 1.1

代号	名称及说明	示意图
105	间断裂纹群 一群在任意方向间断分布的裂纹,可能位于: 焊缝金属 热影响区 母材	
106	枝状裂纹 源于同一裂纹并连在一起的裂纹群,它和间断裂纹群及放射状裂纹明显不同,可能位于: 焊缝金属 热影响区 母材	

2. 按裂纹产生的机理进行分类

按裂纹产生的机理进行分类能反映裂纹的成因和本质,可分为热裂纹、冷裂纹、再热裂纹、层状撕裂和应力腐蚀裂纹五大类。

(1) 热裂纹。

在固相线附近的高温区形成的裂纹称为热裂纹,主要发生在晶界处。由于裂纹形成的温度较高,在与空气接触的开口部位表面有强烈的氧化特征,呈蓝色或天蓝色,这是区别于冷裂纹的重要特征。

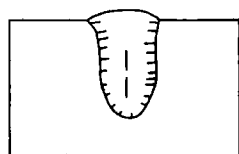
根据裂纹形成的机理不同,热裂纹又可分为结晶裂纹、液化裂纹和多边化裂纹。表 1.2 为各类热裂纹的特征和分布。

表 1.2 热裂纹的特征和分布

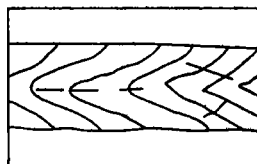
名称	特征	分布	形态
结晶裂纹 焊缝金属在结晶后期形成的裂纹,也称凝固裂纹	(1)沿晶间开裂 (2)断口由树枝状断口区、石块状断口区和平坦状断口区构成,在高倍显微镜下能观察到晶界液膜的迹象	(1)沿焊缝的中心线呈纵向分布 (2)沿焊缝金属的结晶方向呈斜向或人字形 (3)在弧坑处呈横向、纵向、星形分布 (4)发生在熔深大的对接接头以及各种角接头 (5)产生在含 S、P 杂质较多的碳钢、单相奥氏体钢、镍基合金和某些铝合金的焊缝中	见图 1.1、1.2

续表 1.2

名称	特征	分布	形态
液化裂纹 热影响区的母材金属中的低熔点杂质被熔融形成的薄膜状晶界,在凝固时出现的裂纹	(1)起源于熔合线靠母材侧的粗大奥氏体晶界,沿晶界扩展,具有曲折的轮廓 (2)在断口上能观察到各种共晶在晶界面上凝固的典型形态,有时能观察到类似结晶裂纹的石块状断口的形貌	(1)出现在多层焊的前层焊缝中 (2)产生在含铬、镍的高强钢或奥氏体钢的近缝区或多道焊缝中 (3)在热影响区呈不规则的方向分布,有时与熔合线相连通	见图 1.3
多边化裂纹 低于固相线下的高温区,在一定条件下,结晶金属形成多边化边界,从而在冷却过程中形成的一种热裂纹	(1)沿奥氏体晶界形成并扩展;裂纹走向以任意方向贯穿树枝状结晶 (2)断口多呈现为高温低塑性断裂特征	(1)产生在纯金属或单相奥氏体合金焊缝金属中,少数在热影响区 (2)常常伴随再结晶晶粒出现在裂纹附近 (3)多发生在重复受热金属中(如多层焊)	

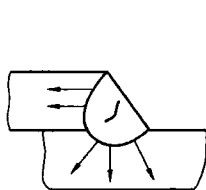


(a) 沿焊缝中心线分布

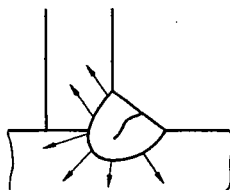


(b) 斜向分布

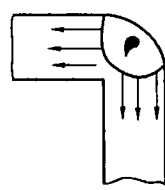
图 1.1 结晶裂纹的形态分布



(a) 搭接接头



(b) 丁字接头



(c) 外角接头

图 1.2 不同接头形式中的结晶裂纹

(2) 冷裂纹。

冷裂纹一般指在较低温度下产生的裂纹,主要发生在中碳钢、高碳钢以及合金结构钢的焊接接头中,特别易出现在焊接热影响区。对某些合金成分多的高强度钢来说,也可能发生在焊缝金属中。冷裂纹的特点是表面光亮,无氧化特征。根据被焊钢种和结构的不

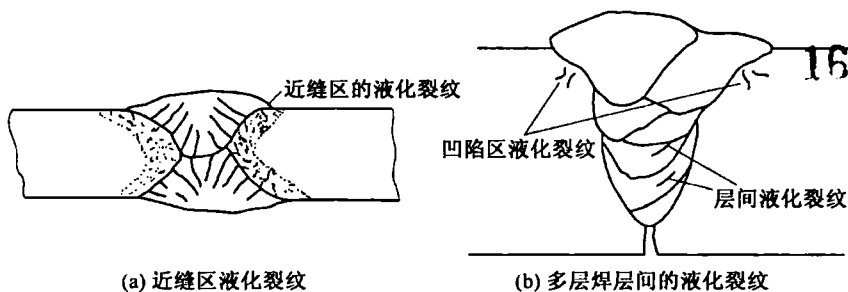


图 1.3 液化裂纹的形态分布

同,冷裂纹可以进一步分为延迟裂纹、淬硬脆化裂纹和低塑性脆化裂纹,其特征和分布见表1.3。

表 1.3 冷裂纹的特征和分布

名称	特征	分布	形态
延迟裂纹 具有延迟特征,即焊后经过数小时、数日或更长时间才出现的冷裂纹,又称氢致裂纹	(1) 延迟特征:普通低合金钢在焊后 24 h 内产生,高合金钢则在焊后 10 d 内产生 (2) 裂纹产生和扩展时,有时可觉察到断裂的响声 (3) 沿晶或穿晶断裂。一般情况下,断口中均同时存在着沿晶界断裂和晶内断裂,而且晶内断裂的断口占相当大的比例	焊趾裂纹 多发生在堆焊焊道或多层焊焊道的焊趾部位。启裂后可能沿粗晶区扩展,也可能垂直于拘束应力方向向细晶区及母材扩展	见图 1.4
		焊道下裂纹 (1) 一般情况下,裂纹的取向与熔合线平行,距熔合线大约 1~2 个晶粒(在焊缝表面不易发现) (2) 多发生于淬硬倾向较大的材料中,位于焊接热影响区的粗晶区 (3) 当钢中沿轧制方向有较多和较长的 MnS 系夹杂物时,裂纹可沿轧制方向分布的硫化物呈阶梯状扩展	见图 1.5
		焊根裂纹 (1) 起源于焊缝的根部最大应力处,随后在拘束应力作用下向焊缝内或热影响区扩展 (2) 裂纹出现的部位取决于焊缝金属及热影响区的强度、伸长率和根部形状	见图 1.6
		对厚板的压力容器,如果焊前不预热,焊后不立即保温进行消氢处理,在 V 形坡口的手工打底焊时,易在内环焊缝中产生纵向裂纹;在 U 形坡口的埋弧自动焊时,易在环焊缝产生横向裂纹	