

焊接缺陷与对策

周敏惠 於美甫 编



HANJIE QUE XIAN YU DUICE HANJIE QUE XIAN YU DUICE

上海科学技术文献出版社

焊接缺陷与对策

周敏惠 於美甫 编

上海科学技术文献出版社

焊接缺陷与对策

周敏惠 於美甫 编

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号)

新华书店经销

商务印书馆上海印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张 21.25 字数 530,000

1989年3月第1版 1989年3月第1次印刷

印数: 1—8,000

ISBN 7-80513-372-7/T·127

定价: 7.60元

《科技新书目》167-275

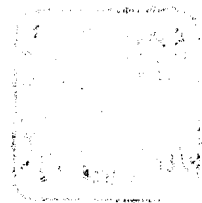
内 容 简 介

本书按国际标准化组织的金属熔化焊缺陷分类,阐明熔化焊接中各种缺陷。以浅近的基本原理,叙述了裂缝、气孔、固体夹杂、未熔合、未焊透和各种成形缺陷的分类、形成原因、对机械性能的影响、导致缺陷的因素和消除缺陷的对策;介绍了评定脆性破坏能力的各种试验方法和指标,以及焊接缺陷的危害和容限,从静强度、动强度、疲劳强度和高温强度各个方面,引证了各种标准和规范,包括美国、日本和国际焊接学会的资料。

此外,参照国内外标准,列出了焊接结构的验收依据和焊接质量认可准则。最后,列举若干有缺陷的结构修复实例和避免导致焊接缺陷的设计、施工与管理的具体方法。

本书可供从事焊接工作的广大工程技术人员、科研人员、焊接技师和高级焊工参考。

中国工业出版社



前 言

“制造无缺陷的焊接结构,使用带缺陷的焊接结构”,是本书的写作意图。为了消除焊接缺陷,本书从基础知识开始,详细阐明了各种焊接缺陷的分类、形貌、性质、产生机理、影响因素、防止对策;推荐了一系列可避免产生焊接缺陷的各种经验设计、施工和管理方法。

为了有根据地使用带有缺陷的构件,书中介绍了美国、日本等国现行标准中的焊接缺陷认可容限;讨论了根据断裂力学原理,按疲劳寿命估计建立的脆断评价准则与质量带概念,判定在不同工作状态下的构件焊接缺陷的容限。

本书在探讨“制造无缺陷的焊接结构,使用带缺陷的焊接结构”的同时,列举了若干可供借鉴的不允许存在的缺陷修复实例。在编写过程中力求内容新颖,取材实用,层次分明,图文并茂。

本书第一、二、四、五、六章由上海材料研究所周敏惠编写,第三章由上海重型机器厂於美甫编写。周德庆高级工程师审阅了全书,凌树森高级工程师审阅了本书2.7及4.2节,并提出了宝贵的意见。在编写本书的过程中,援引了不少国内外文献资料,谨向原作者致以深切的谢意。

限于编者水平,不妥之处盼读者批评指正。

编 者

一九八四年三月

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 焊接缺陷及其分类	1
1.2 焊接缺陷的形成与焊接方法的关系	12
1.3 焊接的应用与事故	12
1.4 焊接缺陷的容限与判废	15
第二章 研究焊接缺陷的基础知识	17
2.1 焊接电弧与熔滴过渡	17
2.1.1 电弧功率	17
2.1.2 电弧温度	18
2.1.3 熔滴温度	19
2.1.4 电弧力	19
2.1.5 熔滴过渡	19
2.2 焊接熔池温度与焊件温度场	22
2.2.1 熔池温度	22
2.2.2 温度场	24
2.3 焊接液相冶金	28
2.3.1 熔渣	28
2.3.2 脱氧反应	30
2.3.3 脱硫与脱磷	30
2.4 焊接过程中的氮、氢、氧	31
2.4.1 氮	31
2.4.2 氢	33
2.4.3 氧	36
2.5 焊接凝固冶金	36
2.5.1 熔池结晶成长与凝固形态	37
2.5.2 熔池凝固组织	38
2.5.3 焊缝金属偏析	41
2.6 焊接固相冶金	43
2.6.1 热影响区的热循环	43
2.6.2 热影响区的冷却速度	44
2.6.3 热影响区组织与机械性能	48
2.7 脆性破坏	48
2.7.1 钢材脆性破坏的特点	49
2.7.2 缺口脆性与转变温度	50

2.7.3	缺口脆性试验	51
2.7.4	断裂力学概述	58
第三章	焊接缺陷形成机理、影响因素及其消除对策	64
3.1	裂缝	68
3.1.1	高温裂缝(热裂缝)	71
3.1.2	再热裂缝(去应力裂缝)	95
3.1.3	冷裂缝(低温裂缝)	109
3.1.4	层状撕裂	133
3.2	气孔	142
3.2.1	气孔的形态与分类	142
3.2.2	气孔的形成机理和发生界限	145
3.2.3	形成气孔的因素	151
3.2.4	消除气孔的对策	176
3.3	固体夹杂	190
3.3.1	非金属夹杂	190
3.3.2	金属夹杂	197
3.4	未熔合或未焊透	198
3.4.1	未熔合或未焊透产生原因	200
3.4.2	未熔合或未焊透的影响因素	202
3.4.3	未熔合或未焊透的防止对策	203
3.5	成形缺陷	203
3.5.1	咬边	203
3.5.2	焊缝加强高过高	208
3.5.3	未焊满	209
3.5.4	焊瘤	210
3.5.5	烧穿	210
3.5.6	错边	210
3.5.7	蛇形焊缝	210
3.6	其他缺陷	211
3.6.1	电弧擦伤	212
3.6.2	过量飞溅	213
3.6.3	粗劣打结和金属胡须	213
3.6.4	线状组织	214
第四章	焊接缺陷的危害与容限	215
4.1	焊接缺陷的危害	215
4.1.1	焊接缺陷对静载强度的影响	216
4.1.2	焊接缺陷对冲击韧性的影响	216
4.1.3	焊接缺陷对疲劳强度的影响	217
4.1.4	焊接缺陷对高温强度的影响	220

4.2 焊接缺陷的容限	220
4.2.1 焊接缺陷脆性破坏的评价	221
4.2.2 质量带与焊接缺陷容限	230
4.2.3 各种焊接结构的验收标准	235
4.2.4 焊接缺陷的认可准则	246
第五章 焊接缺陷检测、排除与修复	256
5.1 焊接缺陷的无损检测(NDT)	256
5.1.1 射线照相检测	259
5.1.2 超声波探伤	266
5.1.3 浸透探伤	270
5.1.4 磁粉探伤	273
5.2 焊接缺陷的排除	276
5.3 有缺陷焊件的修复实例	278
第六章 正确的设计、施工与管理	288
6.1 设计要诀	288
6.1.1 焊缝坡口准备	288
6.1.2 焊接接头的静载强度	293
6.1.3 焊接接头的动载强度	294
6.1.4 经验设计准则	296
6.1.5 确保焊接质量必须考虑的因素	299
6.2 工艺选择	303
6.2.1 焊接方法的确定	303
6.2.2 焊接电源的选择	303
6.2.3 若干常用焊接方法施工数据	306
6.3 质量管理	322
6.3.1 材料管理	323
6.3.2 焊接设备与装置管理	325
6.3.3 焊接接头与坡口管理	325
6.3.4 焊接条件管理	326
6.3.5 预热、后热与焊后热处理	327
6.3.6 人的管理	328

第一章 绪 论

焊接作为材料的一种永久性连接方法出现于世界,已有近百年历史了。1881年,俄国人别那尔道斯(Н. Н. Бенардос)、1885年,英国人汤姆逊(Thomson)、1888年,俄国人斯拉维耶诺夫(Н. Г. Славянов)先后发明了碳极电弧焊、电阻焊与金属极电弧焊,成为熔焊与压焊的创始人。

现代的焊接技术,是国民经济中发展最快的热加工技术,应用遍及机械、电力、建筑、桥梁、锅炉、造船、化工、核能、宇航与海洋工程。焊件尺寸,大到50万吨级海轮、小至几毫克电子元件;操作环境,从大气、真空、气充介质到宇航站外层空间,乃至200米水下;操作方式,从人工到机械直至无人参与的机器人。

近百年来,焊接技术获得了飞速的发展,为人类作出了巨大的贡献。据不完全统计,世界几个主要工业国家的电焊机年产量超过100万台;焊条、焊丝年产量超过200万吨。在1980年世界上生产的9亿吨钢中,有4亿吨钢用焊接方法制成各种结构,占总产量的44%。预计至2000年世界钢产量将达到15亿吨,约有6.5亿吨钢制成焊接结构。

随着焊接应用范围的扩大,技术的进步,人们逐步加深了对各类焊接缺陷的认识。清楚地意识到,焊接缺陷是一种潜在的隐患,在不少场合中,潜伏着不容忽视的威胁。因而,认清各类焊接缺陷的性质、形成机理、影响因素、消除对策,寻求正确的施工方案,是焊接界十分关心的命题。

1.1 焊接缺陷及其分类

缺陷,顾名思义是一种欠缺、不足、不完善的地方,也就是物体的缺损或损伤。焊接缺陷可定义为不完善焊接施工所导致的有碍工件使用性能的不连续性。也可定义为由于原有或积累的影响,使部件或产品不能满足最低验收标准或规程的一种或多种不连续。

焊接缺陷的分类方法,通常有下列七种:

- (1) 按缺陷的有害性分为有害缺陷、无害缺陷;
- (2) 按缺陷位置分为内部缺陷、表面缺陷或焊缝金属缺陷、热影响区缺陷;
- (3) 按缺陷形状分为二元(平面)缺陷与三元缺陷;
- (4) 按缺陷方向可分为纵向缺陷、横向缺陷;
- (5) 按缺陷特征可分为裂缝、夹渣、气孔、未焊透、未熔合、咬边、溢流等;
- (6) 按缺陷部位属性可分为表面缺陷、埋没缺陷、贯穿缺陷;
- (7) 按缺陷形成期可分为焊接时缺陷与焊后缺陷。

1982年国际标准化组织(ISO—International Organization for Standardization)正式颁发《ISO6520-1982 金属熔化焊缺陷分类与说明》,将焊接缺陷按其特征分为六类:

- (1) 裂缝;
- (2) 孔穴;

- (3) 固体夹杂;
- (4) 未熔合与未焊透;
- (5) 成形缺陷;
- (6) 其他缺陷。

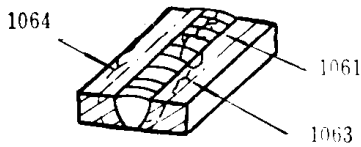
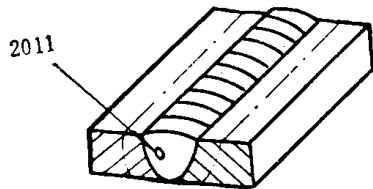
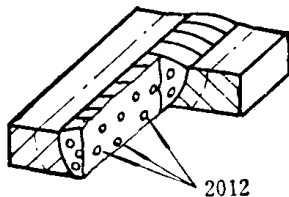
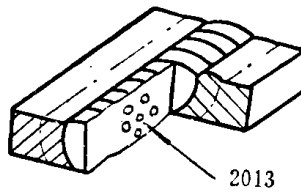
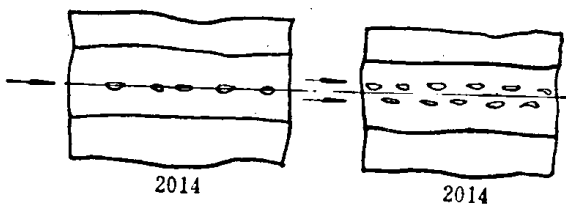
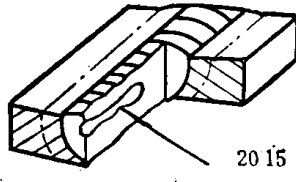
表 1-1 列出了缺陷的名称及说明、国际焊接学会(IIW)*参考用的射线透照底片缺陷代号。

表 1-1 ISO6520-1982

代号(IIW)	名称及说明	图 示
No. 1 裂 缝		
100	E 裂缝——由于冷却或应力产生局部断裂所造成的不连续	
1001	微裂缝——显微镜下观察到的裂缝	
101	E _a 纵向裂缝——基本上与焊缝轴线平行的裂缝,可能位于:	
1011	——焊缝金属内	
1012	——焊缝连接处	
1013	——热影响区	
1014	——母材内	
102	E _b 横向裂缝——基本上与焊缝轴线垂直的裂缝,可能位于:	
1021	——焊缝金属内	
1023	——热影响区	
1024	——母材内	
103	E 辐射裂缝——由一点辐射状裂缝,可能位于:	
1031	——焊缝金属内	
1033	——热影响区	
1034	——母材内	
104	E _c 焊口裂缝——焊缝收弧焊口处裂缝:	
1045	——纵向的	
1046	——横向的	
1047	——星形裂缝	
105	E 断续裂缝组——一组断续的裂缝,可能位于:	
1051	——焊缝金属内	
1053	——热影响区	
1054	——母材内	

* IIW—International Institute of Welding, 即国际焊接学会。

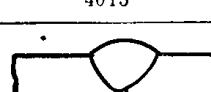
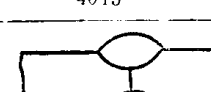
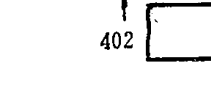
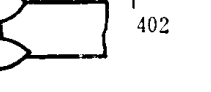
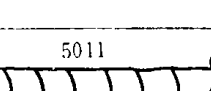
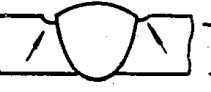
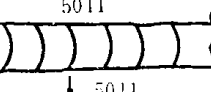
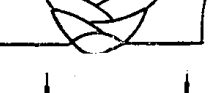
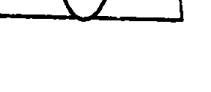
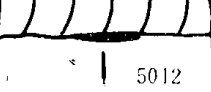
(续表)

代号(11W)	名 称 及 说 明		图 示
No. 1 裂 缝			
106	E	枝状裂缝——一组由某一公共裂缝生成的连续裂缝，区别于断续裂缝组(105)和辐射裂缝(103)，可能位于： 1061——焊缝金属内 1063——热影响区 1064——母材内	
No. 2 孔 穴			
200 201 2011	A A ₀	气 孔——由残留气体形成的孔 球形气孔——近似球形的气孔	
2012		均布气孔——大量气孔在焊缝金属中均布，不包括链状气孔(2014)	
2013		局部(密集)气孔——气孔群	
2014		线状气孔——与焊缝轴线平行的链(线)状气孔	
2015	A _b	条状气孔——长度方向与焊缝轴线近似平行的不呈球形的气孔	

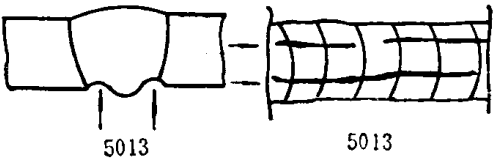
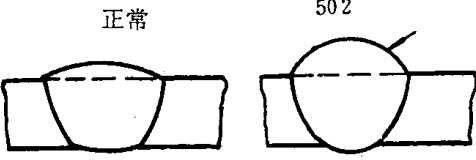
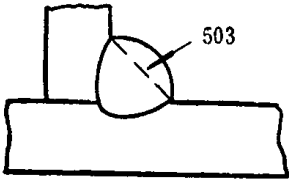
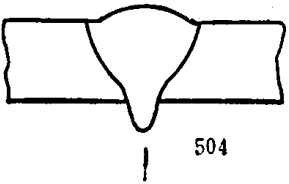
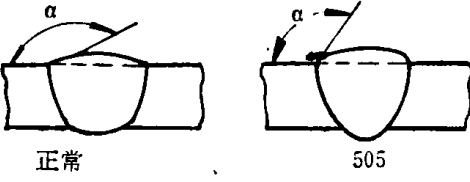
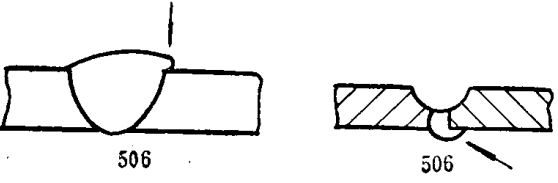
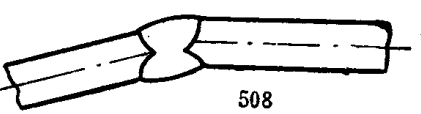
(续表)

代号(IIW)	名称及说明	图 示
No. 2 孔 穴		
2016	A _b 虫状孔——由于气体上浮引起的管状气孔,常成群出现,并呈人字形分布	
2017	表面气孔——焊缝表面穿孔的小气孔	
202	K 缩 孔——在凝固过程中,由于收缩导致的孔穴	
2021	枝晶间缩孔——冷却过程中,在枝晶间形成的长收缩孔,可能残留气体,且常与焊缝表面垂直	
2022	微缩孔——显微镜下观察到的缩孔	
2023	枝晶间微缩孔——显微镜下才能观察到的枝晶间缩孔	
2024	K 焊口缩孔——焊缝收尾处凹陷	
No. 3 固 体 夹 杂		
300	固体夹杂——焊缝中残留的固体异物	
301 3011 3012 3013	E _a 夹渣 ——线状 ——孤立 ——其它	

(续表)

代号(IIW)	名称及说明	图 示
No. 3 固 体 夹 杂		
302 3021 3022 3023	G 焊剂夹杂 ——线状 ——孤立 ——其它	(见 3011~3013)
303	J 氧化物夹杂——残留于焊缝的金属氧化物	
3031	皱折——由于保护不良,与熔池紊流造成严重氧化膜折皱	
304	H 金属夹杂——残留于焊缝中的金属颗粒,如: ——夹钨 ——夹铜 ——夹其它金属	
No. 4 未 熔 合、未 焊 透		
400 401 4011 4012 4013	未熔合、未焊透 未熔合——焊缝金属与母材之间或焊缝金属之间结合不良: ——侧边未熔合 ——层间未熔合 ——焊缝根部未熔合	     
402	I 未焊透——焊缝金属未深入到根部,母材间未能熔合	   
No. 5 成 形 缺 陷		
500 5011 5012	F 成形缺陷——焊缝外表形状或接头的几何缺陷 咬边——焊接造成焊缝边界(或根部)凹槽。有连续的(5011),有断续的(5012)	     

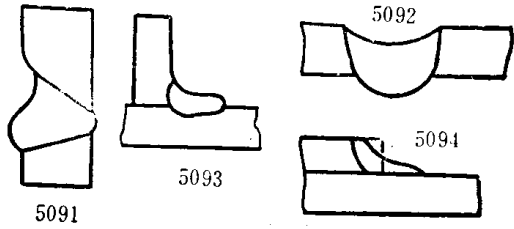
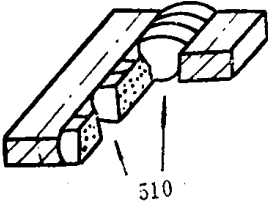
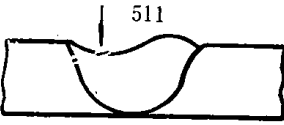
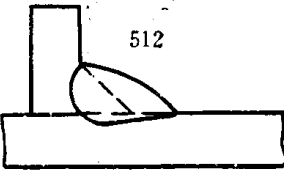
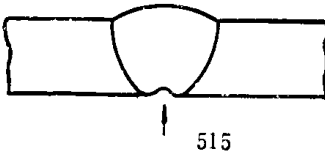
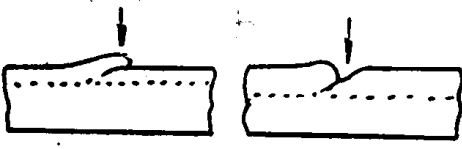
(续表)

代号(IIW)	名称及说明	图 示
No. 5 成 形 缺 陷		
5013	收缩沟槽——由于焊缝金属收缩在焊缝根部一侧造成的凹槽	
502	焊缝加强过高	
503	过凸	
504	下塌(过度熔透)	
5041	局部凸出(下塌)	
505	补强角度不良	
506	溢流——焊缝金属在焊缝边界上附着于母材, 未与其熔合的过量部分	
507	错边——两被焊工件间线性不准	
508	角度不准 角变形——焊件未对准造成的表面不平	

焊接

青

(续表)

代号(IIW)	名称及说明	图 示
No.5 成 形 缺 陷		
509 5091 5092 5093 5094	下垂——重力所致的焊缝金属塌陷: ——横焊、立焊下垂 ——平焊或仰焊下垂 ——填角焊下垂 ——边缘熔塌	
510	烧穿——熔池下塌, 在焊缝中部或边缘形成孔洞	
511	未焊满——坡口填充不完全	
512	填充焊缝太不对称	
513	宽度不均匀	
514	表面不规则(粗糙)	
515	根部凹陷——焊缝根部收缩造成的沟槽	
516	根部气孔——焊缝金属发泡而形成的海绵组织	英国不用本术语
517	接头不良——接头处局部不规则	

(续表)

代号(IIW)	名称及说明	图 示
No. 6 其 它 缺 陷		
600	其它缺陷	
601	电弧损伤——由于电弧或焊缝剖口处的电弧放电(引弧)造成的焊缝附近母材表面局部损坏	
602	飞溅——焊缝金属熔滴或填充物在焊接时粘附焊缝焊件或固态焊缝表面的颗粒	
6021	钨飞溅——从电极过渡到母材或固态焊缝金属表面的钨微粒	
603	表面撕裂——由于除去临时性焊接附件造成的表面局部撕裂	
604	磨 痕——由磨削造成的局部损伤	
605	凿痕(锤印)——由锤或其它工具造成的局部损伤	
606	削 薄——由于过度磨削造成的金属厚度减薄	

表1-2 缺陷分类

类 别	不连续型式	部 位	提 要
1	气孔 a. 均布 b. 密集 c. 线状 d. 管状	焊 缝	仅出现在焊缝中(也可在铸件中找到)
2	夹杂物 a. 夹渣 b. 夹钨	焊 缝	
3	未熔合	焊 缝	在接头邻接处或层间
4	未焊透	焊 缝	焊缝坡口的根部
5	咬 边	母 材	焊缝与母材接合处表面
6	漏 焊	母 材	接头坡口外表面
7	溢 流	母 材	焊缝与母材接合处表面
8	分 层	母 材	母材, 通常靠近厚度截面中部
9	剥 离	母 材	母材, 通常靠近厚度截面中部
10	皱纹与重迭	母 材	母材表面, 始终是纵向的
11	层 状 撕 裂	母 材	母材, 近焊缝热影响区
12	裂缝(包括热裂缝、冷裂缝) a. 纵向 b. 横向 c. 焊口 d. 焊喉 e. 焊趾 f. 根部 g. 焊波下与热影响区 h. 裂隙	焊缝、热影响区 焊缝、热影响区母材 焊 缝 焊 缝 热影响区 焊 缝 热影响区 焊 缝	焊缝或母材与熔合线邻接的 焊缝(会传布到热影响区与母材) 焊缝终端电弧熄灭点 焊缝轴 焊缝与母材邻接表面 焊缝金属根部 母材, 热影响区 焊缝金属

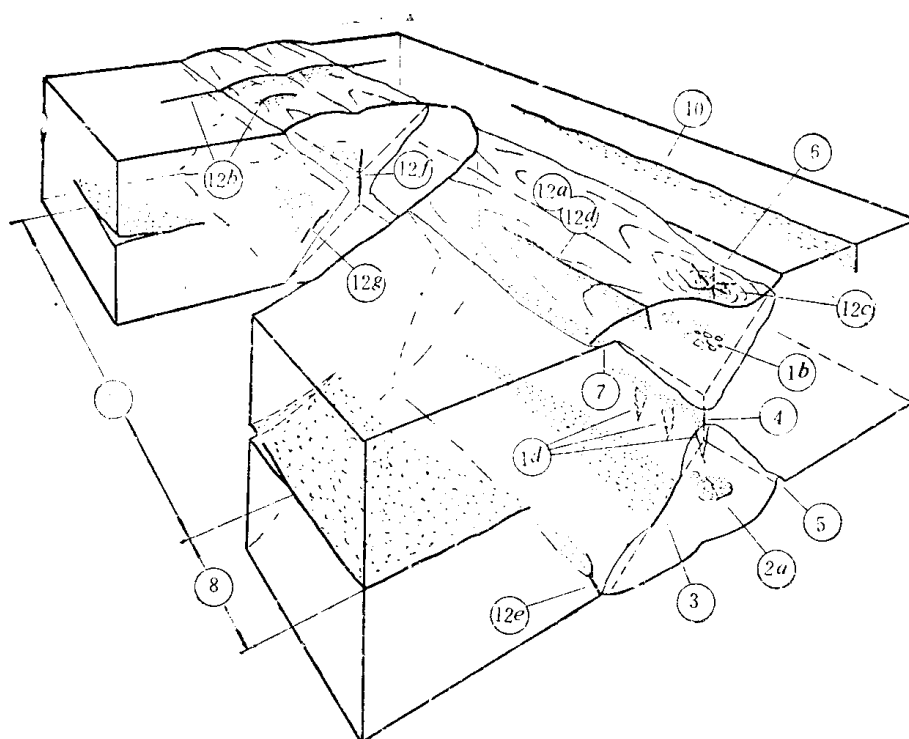


图 1-1 对接焊缝

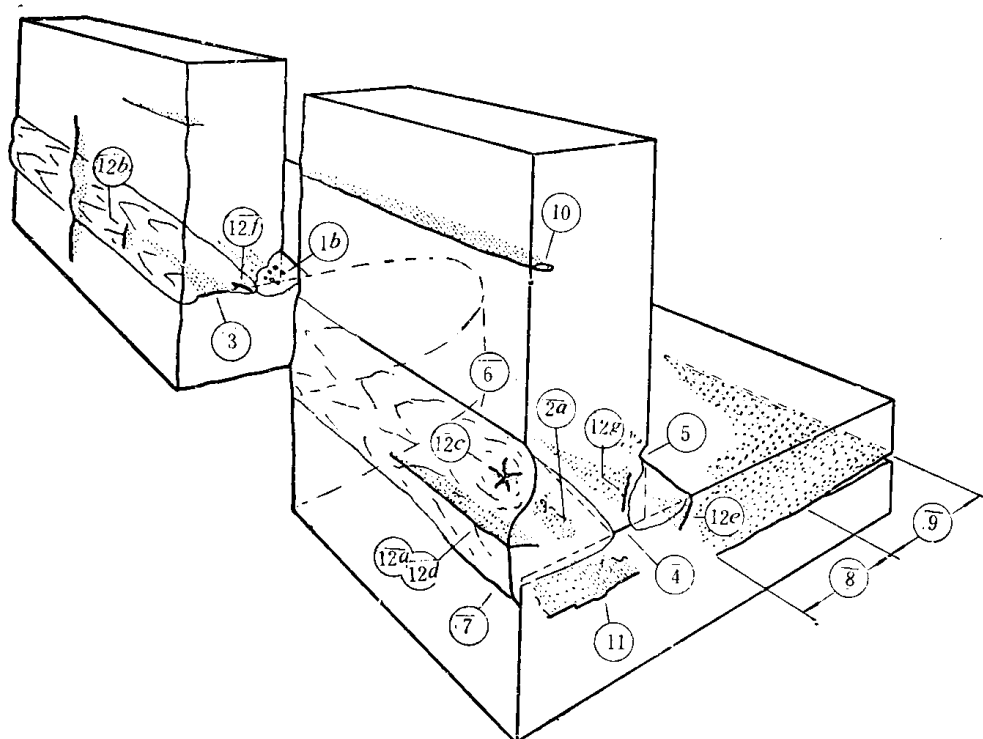


图 1-2 填角焊缝