

机械制造检验员丛书

焊接质量的检验

国家机械工业委员会
质量安全监督司 编

机械工业出版社

本书概要阐述焊接质量、焊接缺陷及其产生的原因和危害；系统阐明焊接生产过程中各道工序的检验要求；具体介绍常用的焊接质量检验方法，其中包括目视检验、尺寸检验、射线检验、超声波检验、着色探伤和磁粉探伤等；详细叙述不合格焊缝及其处理。

本书可供机械、石油、化工、电力、造船、交通等行业的焊接检验人员和无损探伤人员使用；也可供焊工和焊接技术人员参考。

焊接质量的检验

国家机械工业委员会
质量安全监督司 编

责任编辑：杨溥泉 何月秋 责任校对：刘志文
封面设计：姚毅 版式设计：胡金瑛
责任印制：张俊民

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092¹/₃₂·印张8³/₈·字数184千字

1990年3月北京第一版·1990年3月北京第一次印刷

印数0,001-5,800·定价：5.35元

ISBN 7-111-01901-6/TG·480

前 言

为了给机械制造行业广大质量检验人员提供一套学习材料，不断提高技术水平，以适应“四上两提高”，即上质量、上品种、上水平、上成套，提高经济效益、提高服务质量的需要，我们组织编写了《机械制造检验员丛书》，先出版其中的《机械制造检验员须知》、《形状和位置误差的检查与测量》、《刀具的检查与测量》、《齿轮和蜗轮、蜗杆的检查与测量》、《铸铁件质量的检查》、《焊接质量的检验》和《滚动轴承的检查与测量》等7本。它们不仅可以供质量检验人员学习用，也可以供机械加工工人学习用，还可以作为培训他们的辅助教材。

除了《机械制造检验员须知》外，其它六本书都是专题性著作，一个专题一本书。这套丛书的编写原则是：理论与实践相结合，而偏重于实践。所以每本书中的理论不多，也不深，但是，实践经验却很丰富。在总结经验的基础上，介绍了质量检验的许多方法。在这些方法中，有很多是目前机械制造中行之有效的办法，有些则是目前国内外比较先进的方法。学习这些经验，掌握这些方法，对提高检验人员的技能大有裨益。

参加编审这套书的都是既有理论知识，又有丰富的实践经验的同志。书稿写出后，经集体初审，最后我们委托上海市机电工业管理局终审。尽管这样，书中一定还有缺点与错误，希望读者及时批评和指正，以便再版时修

Ⅳ

订。

本书由曹英勋、陈良善、李家鳌、王惠伶、叶中光执笔，陈融如、洪松涛审校。

国家机械工业委员会

质量安全监督司

1988年5月

目 录

前言

第一章 概述	1
一、焊接接头的质量	1
二、焊接缺陷	2
三、焊接检验及其分类	20
四、焊接检验的依据	23
第二章 焊接检验	24
一、焊前准备的检查	24
二、焊接过程的检查	40
三、焊后质量的检验	46
四、安装调试质量的检验	75
五、产品服役质量的检验	79
六、不合格焊缝的处理	84
七、焊接检验的档案	88
第三章 焊缝的射线检验	93
一、射线检验的一般概念	93
二、焊缝射线检验的技术要求	109
三、焊缝射线检验的程序	131
第四章 焊缝的超声检验	142
一、超声检验的一般概念	142
二、焊缝超声检验的技术要求	173
三、焊缝超声检验的程序	189
第五章 焊缝的着色探伤	231
一、着色探伤的基本概念	231

二、着色探伤技术	233
三、着色探伤的程序	241
四、焊缝的着色探伤	242
第六章 焊缝的磁粉探伤	244
一、磁粉探伤的基本概念	244
二、磁粉探伤的技术	247
三、磁粉探伤的程序	256

10/11/7

第一章 概 述

一、焊接接头的质量

当今世界，焊接结构得到了广泛应用，大约50%的钢材通过焊接加工后才能投入使用，其中，相当数量的焊接结构，例如锅炉、压力容器、海洋构造物、航天机械、起重机械、承载梁和柱等正在向高参数及大型化方向发展，要求它们能够在复杂、苛刻的条件下工作。如果焊接接头质量不佳，使结构发生破坏，这将造成重大的经济损失和人身伤亡事故。因此，有些产品的质量与焊接接头质量密切相关，在某种程度上讲，焊接接头质量决定着产品质量。

焊接能把同种金属、异种金属及某些非金属材料连接起来，连接部位被称为焊接接头，它是焊接结构的基本组成，既起连接作用，又是结构的一部分，承受着与焊接结构相同的工作条件。

焊接接头的质量是指焊接接头能满足某种使用要求的能力。焊接结构的使用环境、使用条件，决定焊接接头的质量要求。不同类型的焊接结构，使用要求不同，它的质量也不相同。用低碳低合金钢制造的焊接结构，要求焊缝与母材等强度，其机械性能（即抗拉强度、抗弯强度、抗冲击性能等）就代表了焊接接头的质量；用耐热钢制造的焊接结构要在高温条件下使用，故持久强度就代表了焊接接头的质量；用不锈钢制造的容器，常用于盛装腐蚀介质，所以抗腐

蚀性能就代表了焊接接头的质量；高温高压阀门密封面的堆焊焊缝，耐高温、抗腐蚀和耐磨性则是这类焊接接头的质量。

焊接接头是由焊缝金属和母材的热影响区组成的，焊缝金属是填充金属和母材金属熔化之后，在焊接熔池里重新经过冶炼而形成的焊缝，它与炼钢炉中的冶炼过程相比，温度高、搅动剧烈，有利于冶金反应的进行；但熔池具有体积小和在运动状态下进行快速结晶的特点，冶炼过程不易达到平衡，物理—化学反应不彻底，造成化学成分和金相组织偏析，并在熔池的结晶过程中容易产生气孔、夹渣、未焊透、裂纹等焊接缺陷。母材的热影响区是母材金属受焊接热循环作用，金相组织和机械性能发生变化的部位；实际上，也就是母材金属利用焊接热源重新进行热处理的部位，在这种热处理的过程中，必然引起母材热影响区的金相组织发生变化，从而导致性能改变。由于上述原因，对于焊接产品，应把焊接接头作为结构的薄弱部位进行质量检验。

焊接接头的制造工艺是比较复杂的，要经过坡口加工、组装、焊接、热处理等加工工序，有时还受到设备能力和工艺条件的限制，制造难度较大。因此，为了保证焊接质量，在焊接产品的制造过程中，应把焊接接头制造的整个过程作为薄弱环节进行质量控制。

二、焊 接 缺 陷

1. 焊接缺陷及其分类

焊接过程中在焊接接头上产生的不符合标准要求的缺陷称为焊接缺陷。一般来讲，评定焊接接头质量是以焊接接头存在缺陷的性质、大小、数量和危害程度作为依据的。因

此，焊接缺陷的存在，决定焊接接头质量的优劣。

在焊接生产过程中要想获得无缺陷的焊接接头，技术上是相当困难的，也是不经济的。为了满足产品的使用要求，促进焊接技术的发展和产品质量的提高，应该把焊接缺陷限制在一定范围之内，使之对焊接结构的运行不产生危害。为了掌握焊接缺陷的变化规律，以便有效地控制焊接缺陷的产生和定性或定量地评定焊接缺陷对焊接接头质量的影响，下面介绍焊接缺陷及其分类。

(1) 按缺陷在焊接接头上存在的位置分类 焊接缺陷可分为表面缺陷和内部缺陷。表面缺陷包括，咬边、焊瘤、未焊满、表面气孔、表面裂纹等；内部缺陷包括夹渣、气孔、未焊透、未熔合和裂纹等，见图1-1和图1-2。

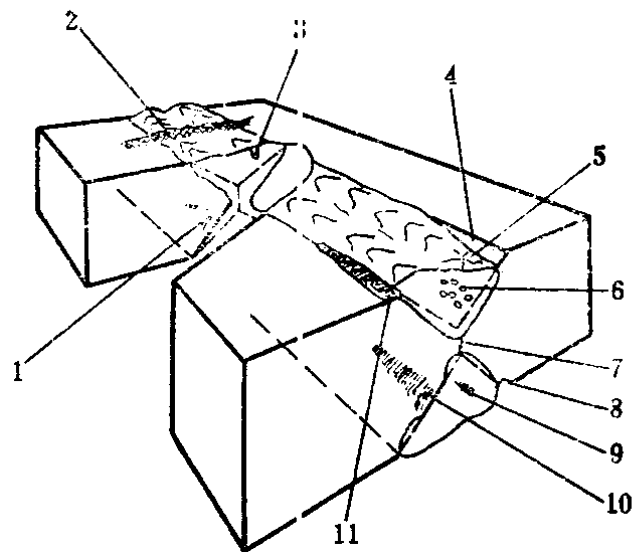


图1-1 对接焊缝上缺陷的位置

1—裂纹 2、5—表面裂纹 3—表面气孔
4—未焊满 6—气孔群 7—未焊透 8—
咬边 9—夹渣 10—未熔合 11—焊瘤

(2) 按缺陷形貌分类 焊接接头中存在的缺陷，由于其产生的条件不同，它们具有不同的几何特征（包括形状、尺寸和存在位置相差悬殊），且对焊接结构的危害程度也不相同。因此，可按形貌差别对缺陷进行定性分类，如气孔、夹渣、裂纹、未焊透等焊接缺陷。

(3) 按缺陷类别分类 焊接接头中存在的缺陷，基本上可归纳为如下四类：

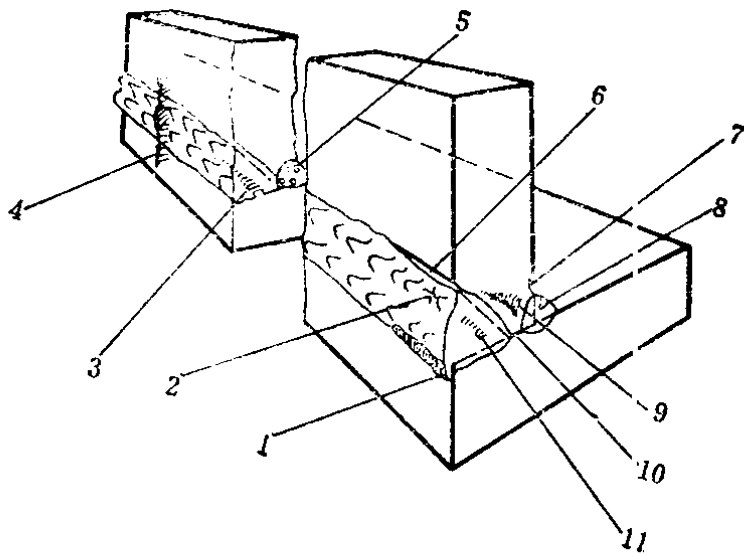


图1-2 角焊缝上缺陷的位置

1—焊瘤 2,4—表面裂纹 3—未熔合 5—气孔群 6—未焊满
7—咬边 8—表面气孔 9—裂纹 10—未焊透 11—夹渣

1) 焊缝形状、尺寸缺陷：焊缝外观的几何形状发生突变，明显的高低不平、宽窄不齐，焊缝与母材过渡部位不圆滑、焊缝尺寸不符合要求，对接焊缝高度低于母材，角焊缝尺寸不足等，这类缺陷可以通过外观检查和尺寸测量检查发现，可采用补焊修磨方法消除。

2) 金属的不连续缺陷：气孔、夹渣、裂纹等缺陷在焊接接头中占有一定的几何尺寸，这就破坏了金属的连续性，减少了焊缝的有效工作截面，并造成了应力集中，削弱了焊缝的承载能力。这类缺陷是由于焊接操作不当或焊接工艺不合理而产生的，可通过无损探伤方法发现，并可采用退修方法消除。

3) 工艺性缺陷：由于焊接工艺方法固有的缺点而引起焊接接头金相组织和性能低劣的缺陷称为工艺性缺陷。例

如，采用气焊或电渣焊方法，焊接接头由于过热易产生粗大的金相组织，导致冲击韧性降低。但是，经过正火热处理后，焊接接头的金相组织得到细化，冲击韧性得到改善。所以，工艺性缺陷可以通过相应的热处理方法补救。

4) 性能缺陷：焊接接头的金属本身理化性能不符合要求称为性能缺陷。例如，抗拉强度、屈服强度、冲击韧性等考核指标达不到母材要求或达不到设计要求；不锈钢焊缝的晶间腐蚀试验不能通过等。这类缺陷多数是制造过程中错用焊接材料或违反焊接工艺引起的，可通过理化试验检测出来。

性能缺陷不能采用局部退修的方法消除。但可去掉全部焊缝，重新选择焊接材料，通过返修焊方法保证理化性能；或者通过相应的热处理工艺改善焊缝的理化性能，如奥氏体不锈钢焊缝的固溶化处理，就是为了提高它的抗腐蚀性能。

2. 焊接缺陷的产生原因和危害

焊接缺陷按上述方法分类，每类又有多种缺陷。现将常见的几种缺陷产生的原因和危害介绍如下：

(1) 焊缝形状缺陷 焊缝形状缺陷就是焊缝外观质量粗糙，鱼鳞波高低、宽窄发生突变；焊缝与母材非圆滑过渡，见图1-3。

1) 形状缺陷产生的原因：

① 焊工操作不当或焊接位置有障碍物，影响焊接操作；

② 焊缝的返修部位因挖除缺陷，局部加宽了坡口，使补焊宽度与原焊缝明显不齐。

2) 形状缺陷的危害：容易造成应力集中，对承受动载荷的焊接结构，削弱了焊接接头的承载能力，影响焊缝表面

的美观。

(2) 焊缝的尺寸缺陷 焊缝的几何尺寸不符合施工图样或技术标准规定, 见图1-4。

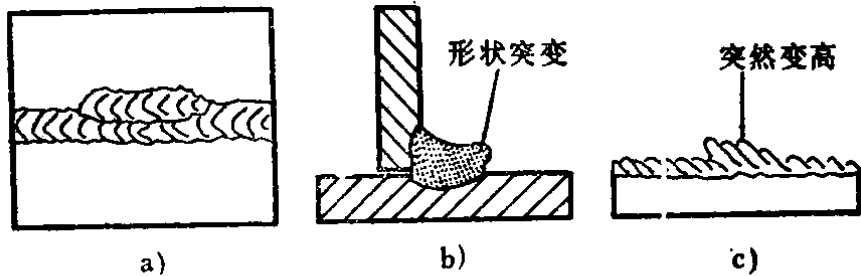


图1-3 焊缝形状缺陷

- a) 返修部位焊缝明显变宽 b) 焊缝与母材过渡部位形状突变
c) 焊缝高低突然变化

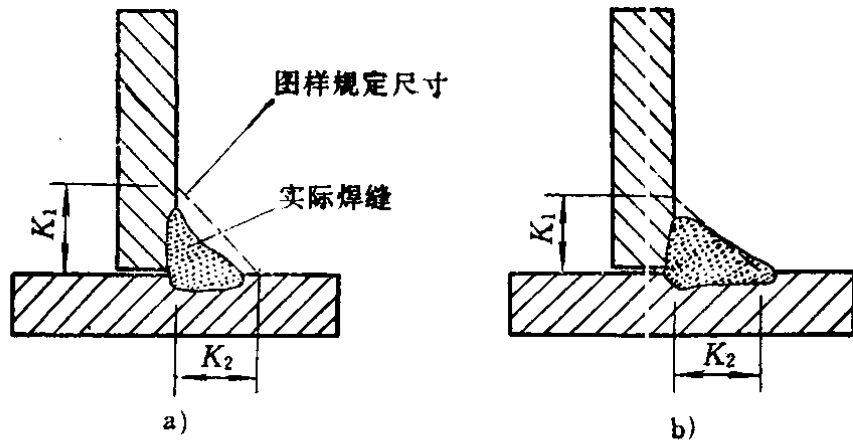


图1-4 角焊缝尺寸偏小

- a) 焊脚尺寸 K_1 、 K_2 偏小 b) 焊脚尺寸 K_1 偏小

1) 尺寸缺陷产生的原因:

① 焊接作业前, 焊工没详细阅读图样或有关标准规定, 不明确尺寸要求。

② 手工焊运条横向摆动不均匀或焊接速度不均匀。

2) 尺寸缺陷的危害: 焊缝尺寸小, 工作截面减小; 焊缝尺寸大, 削弱了某些承受动载荷结构的疲劳强度, 同时也

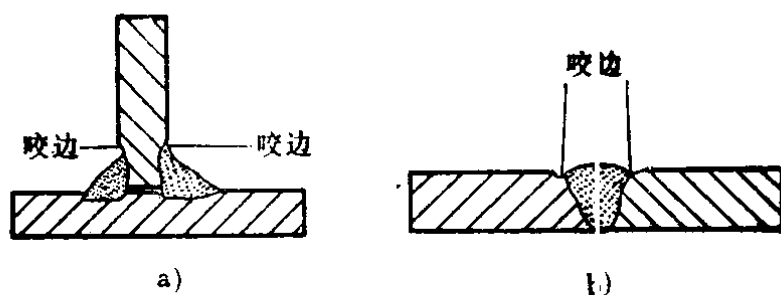


图1-5 咬边

a) 角焊缝咬边 b) 对接焊缝咬边

浪费了焊接材料和焊接工作时间，这是不经济的。

(3) 咬边 咬边是在沿着焊趾的母材部位由于焊接参数选择不正确或操作工艺不正确而烧熔形成的凹陷或沟槽，见图1-5。

1) 咬边产生的原因：

① 焊接工艺参数的选择不合适，电流、电压太大或焊接速度太慢等都能引起咬边。

② 焊工操作时，电弧拉的过长，熔化金属不能及时填补熔化缺口而造成咬边。

③ 焊接位置选择不佳，当采用熔化焊方法焊接时，由于液态金属的重力作用和表面张力作用，在立焊及仰焊位置容易发生咬边；在角焊缝上部边缘也容易产生咬边；而对接焊缝中一般不产生咬边；船形焊则是最理想的焊接位置，不易产生咬边。

④ 使用直流电源进行焊接时，由于工件接线回路的位置选择不当产生磁偏吹，使焊接电弧偏离焊道而产生咬边。

2) 咬边的危害：减小母材金属的工作截面，在咬边处造成应力集中。

(4) 弧坑 弧坑是电弧焊时，由于断弧或收弧不当，

在焊道末端形成的低洼部分，见图1-6。

(4) 弧坑的产生原因：焊丝或焊条在收弧处停留时间短、提前熄弧，由于电弧吹力而引起的凹坑没有得到足够的填充金属而形成弧坑。

2) 弧坑的危害：减少焊缝的工作截面。在弧坑处熔化金属少，填充金属不足，熔池进行的物理—化学反应不充分，容易产生偏析和杂质积聚。因此，在弧坑处往往有气孔、灰渣、裂纹等焊接缺陷。

(5) 烧穿 烧穿是在焊接过程中，由于焊接参数选择不当，操作工艺不良，或者工件装配不好等原因熔化金属自焊缝背面流出，造成穿孔的现象，见图1-7。

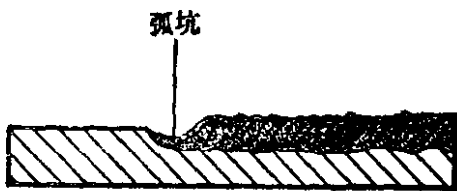


图1-6 弧坑



图1-7 烧穿

1) 烧穿产生的原因：焊接电流过大；对焊件加热过甚；坡口对接间隙太大；焊接速度慢；电弧在焊缝处停留时间太长。

烧穿容易发生在第一道焊道、薄板对接焊缝或管子对接焊缝中，烧穿是常见的缺陷。

2) 烧穿的危害：烧穿影响焊缝表面质量，在烧穿的下面常有气孔、夹渣、凹坑、疏松、未焊透、焊瘤等缺陷。

(6) 焊瘤 焊瘤是在焊接过程中，熔化金属流淌到焊缝以外未熔化的母材上所形成的局部未熔合，见图1-8。

1) 焊瘤产生的原因：

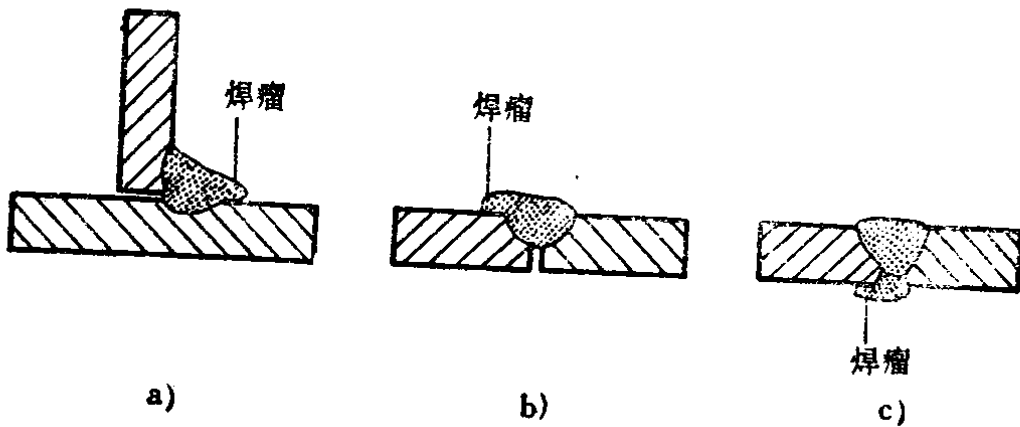


图1-8 焊瘤

a) 角焊缝焊瘤 b) 对接焊缝焊瘤 c) 根部焊瘤

① 焊接工艺参数选择不佳，焊接电流、焊接电压太小，电弧热量不足以充分熔化母材金属，而且填充金属未能被电弧吹开而形成堆积；焊接电流、焊接电压太大，焊缝被烧穿后，在背面形成焊瘤。

② 焊接坡口清理不净，坡口表面存在氧化皮或其它杂质，电弧热量损失在氧化皮或杂质上，致使母材金属未能得到充分熔化而形成焊瘤。

③ 焊接操作时，焊条摆动角度不对，母材未能熔化，液态填充金属流淌到母材表面结晶后形成的堆积金属。

2) 焊瘤的危害：焊瘤存在于焊缝表面，它的下面往往伴随着未熔合、未焊透等缺陷；由于焊缝填充金属的堆积，焊缝的几何形状突然变化，造成应力集中；管子内部焊瘤将减小管路介质的流通截面。

(7) 内凹 内凹即在管子对接焊缝中，内表面低于母材金属的圆滑凹陷，见图1-9。

1) 内凹产生的原因：管子处于水平位置，焊工进行全位置焊接，即沿着管子周向 360° 进行焊接时，由于熔化金属

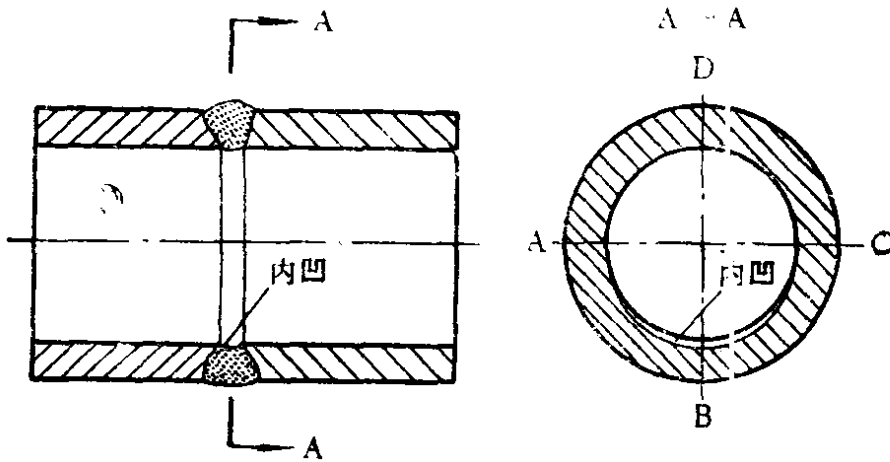


图1-9 内凹

的重力作用，当焊接到圆弧CDA时，管子焊缝的内表面有一定高度；但是，当焊接到圆弧ABC时，焊缝内表面产生内凹，各点的内凹程度不同，其中B点处内凹最严重。

2) 内凹的危害：减小了焊缝工作截面，所以管子焊缝的外表面应该有相应的余高来弥补焊缝的内凹。

(8) 气孔 气孔是在焊接过程中，熔池金属中的气体在金属冷却以前未能来得及逸出，而在焊缝金属中（内部或表面）所形成的孔穴。焊缝内部存在的近似于球形或筒形的孔穴称为内部气孔；焊缝表面存在的近似于球形或筒形的开口孔穴称为表面气孔，见图1-10。

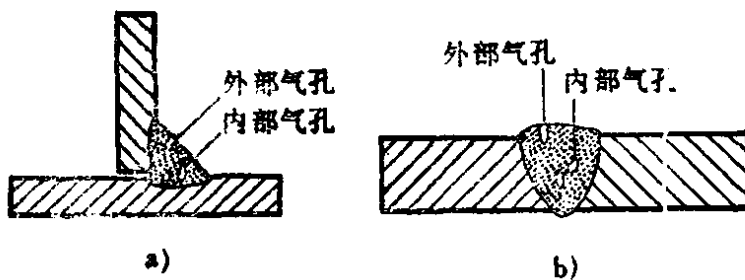


图1-10 气孔

根据气孔的分布和数量,可把气孔分为疏散气孔、密集气孔和连续气孔。不同的焊接方法产生气孔的形状、大小和密集程度也不相同,自动焊产生的气孔较大,手工焊产生的气孔较小,二氧化碳气体保护焊产生的气孔较多。气孔较容易产生在焊接飞溅较多的部位和焊缝的收弧部位。

1) 气孔产生的原因:

① 焊接电弧保护不好,选择的电压太高,电弧长度过长,使熔池内混入空气,形成气孔。

② 焊条或焊剂受潮,气体保护介质不纯等。

③ 坡口清理不净,有油、锈等杂质存在。

2) 气孔的危害:在一定程度上减少了焊缝的工作截面;穿透性气孔或气孔与其它缺陷的叠加造成贯穿性缺陷,破坏焊缝的致密性;连续气孔则是导致结构破断的原因之一。

(9) 夹渣 焊接熔渣残留在焊缝金属中的现象,见图1-11。

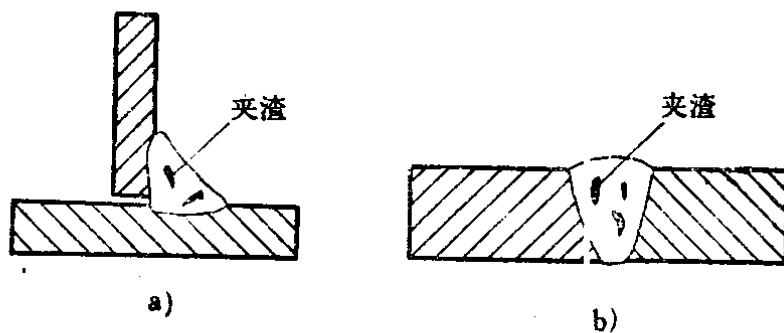


图1-11 夹渣

夹渣容易产生在坡口边缘和每层焊道之间非圆滑过渡的部位,在焊道形状发生突变或存在深沟的部位也容易产生夹渣。

1) 夹渣产生的原因: