

焊缝射线透照 典型缺陷分析与图谱

何秀堂 陆少鹏 辛忠仁 编著

441.7

四川科学技术出版社

责任编辑：罗孝昌

封面设计：曹辉禄

版面设计：杨瑞璐

**焊接射线透照典型
缺陷分析与图谱**

何秀堂 等 编著

出版：四川科学技术出版社

印刷：成都印刷一厂印刷

发行：四川省新华书店

开本：787×1092毫米 1/16

印张：7.25 插页13

字数：188千

印数：1—3,000

版次：1986年4月第一版

印次：1986年4月第一次印刷

书号：15298·208

定价：4.50元

内容简介

全书分三篇，并附有焊缝典型缺陷图谱和国内外有关射线探伤标准。

第一章“绪论”，在阐述无损检测概貌的基础上，着重介绍射线探伤沿革和焊接技术的历史联系，并对其发展前景作出展望；第二章“焊缝缺陷的分类、形态描述和形成机理”，则从金属冶金学的基本原理出发，应用通俗的语言表征焊接缺陷的分类、形态和形成机理；第三章“射线透照底片的评定”，除了扼要概述评片要领外，还从信息论角度进一步阐述焊缝射线透照的成象机理，且结合GB3323—82标准编制部分评片题解。

本书适用于国防、造船、石油化工、特别是锅炉压力容器制造部门从事无损检测和焊接技术工作的工程技术人员、工人，以及有关大中专院校的师生参考。

前 言

当前,随着我国科学技术的迅速发展,无损检测技术的进步及其应用的前景是十分乐观的。尤其是工业锅炉、电站锅炉、原子锅炉和受压容器的焊缝射线探伤,以作为保证焊接质量的重要无损检测方法而得到充分的重视。其渊源不单是采用射线探伤的工艺性优点所决定,同时在于运用射线探伤能提高产品构件的安全性和可靠性,从而提高产品的经济效益和市场竞争能力,这就是人们普遍信赖射线探伤方法之所在。

本书是根据国家劳动人事部门对从事锅炉压力容器无损检测人员的技术要求,在中国科技咨询中心无损检测专家组四川咨询开发中心和劳动人事部门一年来为培训锅炉、压力容器二级射线探伤人员而编写的教材《焊缝射线透照典型缺陷分析》一书的基础上进行修改和扩充的。

编著《焊缝射线透照典型缺陷分析与图谱》一书的目的,一方面旨在拓展无损检测人员的知识面,引导人们从金属冶金学的角度对焊接质量作出评价;另一方面,结合编入本书的三十六幅焊缝缺陷照片翔实介绍焊缝中各种典型缺陷的形貌、特征和形成机理,并为评片人员提供较为科学而严密的解题思路,以利提高评片基本技能。同时也丰富了焊接金属冶金学和无损检测技术的内容。

应当指出,本书在内容的取舍或深度处理上颇费周折。为了尽量拓展探伤人员的知识面,我们试图以简炼的文笔,通俗的语言对基础理论予以阐述,并在内容上作了相应的扩充,以饕读者。比如说,我们在“绪论”中增加了射线探伤的历史沿革和发展趋势;在“焊缝的缺陷分类、形态描述和形成机理”中适当增加了各类缺陷的剖面简图;在“射线透照底片的评定”中增加射线透照缺陷信息传递的物理注解和国内外射线透照底片的等级分类方法比较等内容。总之,我们力求简明扼要,重点突出,有所创新,以适应从事射线探伤人员增长专业知识、提高评片技能的需要。

本书在编著过程中得到中国科技咨询中心无损检测专家组、四川省无损检测专业委员会、四川空气压缩机厂、四川空气分离设备厂等单位的大力支持,特此致谢。

本书初稿完成后,承蒙中国机械工程学会无损检测学会理事高荣贵、沈华亚、康纪黔等同志提出许多宝贵意见,在此深表谢忱。

参加本书工作的还有俞康祯、刘号、张金奎、辛忠智、周维新、王质彬、欧阳可成、陈遐、严正纹等同志。

应该说明,本书是在总结射线探伤实践的基础上,结合我们在射线探伤评片学习班中的授课体会编著的。由于时间仓促,征求意见不够广泛,加之我们理论水平和分析能力有限,难免存在缺点错误,热忱期待读者和探伤界同仁斧正。

作 者

一九八五年五月于四川成都

目 录

前 言

第一篇 焊缝射线透照典型缺陷分析

第一章 绪论	3
1.1 无损检测技术梗概	3
1.2 焊接技术与射线探伤沿革	6
第二章 焊缝缺陷的分类、形态描述和形成机理	9
2.1 气孔	9
2.2 夹渣	13
2.3 夹杂物	14
2.4 钨夹渣	14
2.5 未焊透	15
2.6 未熔合	15
2.7 裂纹	16
2.8 白点	17
2.9 形状缺陷	18
第三章 射线透照底片的评定	21
3.1 射线透照缺陷信息传递的物理注解	21
3.2 评片要领	25
3.3 评片题解	26
3.4 国内外焊缝射线探伤标准的对比分析	51

第二篇 焊缝射线透照典型缺陷图谱

第三篇 附 录

附录一：钢焊缝射线照相及底片等级分类法 (GB 3323—82)	83
附录二：蒸汽锅炉安全监察规程 (有关探伤部分的论述)	90
附录三：压力容器安全监察规程 (有关探伤部分的论述)	91

附录四：射线探伤名词术语 (JB 3111—82).....	94
附录五：金属熔焊焊缝缺陷分类及说明 (ISO 6520).....	101
附录六：钢焊接区射线透照试验方法以及透照底片的等级分类方法 (IIS Z 3104)	113
附录七：焊缝射线照相验收标准编译 (ASME 标准第五卷)	122

第一篇

焊缝射线透照典型缺陷分析

第一章 绪 论

1.1 无损检测技术梗概

无损检测技术是一门在不破坏被检测对象的前提下,探测和评价物体特性的综合性应用科学技术。从广义上讲,无损检测包括了极为广阔的天地,几乎涉及到科学研究和工程技术的一切领域。无论是应用射电天文望远镜对宇宙天体的观察,还是借助高倍电子显微镜对微观客体的揭示;也无论是用声发射仪对原子锅炉进行监控,还是用工业X射线机提取压力容器焊接质量信息,乃至测温、测厚、测粘度、测流速、测缺陷尺寸和检漏等都属无损检测之范畴。

显而易见,随着工业技术的飞跃发展,尤其是原子能工业、航天技术等尖端科学的蓬勃兴起,要求摆脱经典物理的制约,引用近代物理的方法来评价构件的质量,这就给无损检测技术的发展带来新的发展前景。其原因是:无论是机械性能试验、金相试验,还是化学分析等,固然能提供构件的材料性能、组织结构和化学成分的定位、定量数据。但是这些物理化学检验都是破坏性试验,且提取的数据是构件局部或试样的实验结果。它到底能在多大程度上反映构件客体的内在质量呢?无疑是很难断言的。不难看出,这种建立在统计学基础上的,随机的实验结果最乐观的估计也只是反映构件的系综水平,自然有较大的局限性。况且,由于科学技术的发展,高精尖产品对质量提出新的要求,即构件所采用的材料从原来的一般性材料逐渐过渡到大量选用耐高温、难切削的贵金属及复杂合金等特殊材料。这样一来,这些材料价格昂贵,若采用传统的大量破坏性试验,将在很大程度上降低产品的经济效益(由于产品进行理化试验的消耗而提高产品价格和延迟产品的生产周期,致使失去较好的市场商品竞争能力);其次,这些特殊材料选用之因由,是要求构件在高压、高温、高速、高载荷和腐蚀介质的状态下工作,必须采用不破坏产品原来形状、不改变或不影响产品使用性能的检测方法来保证产品的安全性和可靠性。据此,无损检测自然是行之有效的办法。

无损检测技术是一门以物理学、力学、电子学和材料科学为基础的新兴科学。它的检测手段和相关原理涉及力学、热、磁、声、光、电各领域。同时,近年来可靠性数学、断裂力学、技术经济学和电子计算技术都向无损检测移植和渗透,这就给该学科注入新的活力。它已经不单是针对固体材料宏观范畴的缺陷检测方法,即采用射线、超声、磁粉、渗透、涡流、声发射、红外、微波、液晶、声振动、激光全息……及时准确地发现工程材料的各种缺陷和进行构件的几何量度,而且正在利用物理学的最新成就,开拓和发展许多近乎微观和亚微观的全新的无损检测技术。诸如能量硬度法、中子衍射、无反冲共振核的散射和吸收、正电子湮没和包括霍尔信息、巴克豪森跃迁、场的扰动、位错磁性显示、磁机械的声讯号发射等磁效应,从而对材料的物理性能和变异给予更为中肯和准确的评价。

诸如种, 尽管各种新的无损检测方法相继产生, 然而却取代不了常规的无损检测方法, 更不能包罗万象。只是互相渗透, 取长补短, 发挥各自的优势来完善无损检测技术而已。

那么, 无损检测技术按其内容划分, 可包括:

1. 缺陷检测: 对产品或零部件质量作出评价。无论是锻件、铸件、焊接件、钣金件、机加工件以及非金属结构件, 都能用无损检测方法检出构件表面和内部缺陷的性质、大小、位置以及缺陷在工件中分布的方向、数量等。

2. 材质核查: 用无损检测技术能测定工程材料的物理性能(导电性、磁导率)、机械性能和组织结构, 能判别材料的品种, 鉴定材料的热处理状态并对混料进行分选。

3. 几何量度: 产品零部件的几何尺寸、镀层或涂层厚度、表面腐蚀状态、硬化层深度和应力应变状态都能用无损检测技术来判定。根据测定所获得的数据, 利用断裂力学理论, 对含有缺陷部位的应力失稳进行分析, 计算裂纹失稳扩展的临界尺寸和在疲劳载荷下的扩展速度, 从而确定含缺陷的产品零件是否应返修或报废, 并作出零件剩余寿命的计算。

4. 现场监控: 产品零件加工过程中的现场监督或构件载荷状态下的动态检查。运用无损检测技术, 可把产品中的缺陷变化信息连续地提供给监控人员, 以实行有效的控制。这种实时监控, 不但可检查运转中的机器、航线上的飞机和施焊中的焊缝, 同时可用来对码头、海关的行李、货物进行检查。

纵观无损检测的内容, 无损检测技术在保证产品质量中的作用是显而易见的。归纳起来, 有如下几点:

(1) 降低产品成本。表面上看, 由于进行无损检测, 在生产过程中要增加检查费用, 似乎是提高产品成本, 其实不然。由于采用无损检测, 从而防止不合格的产品或零部件后续工时的浪费。权衡两者, 采用无损检测, 其最终结果是降低成本。

(2) 提高安全可靠。产品经过无损检测, 就可以有效地为用户提供第一手质量资料, 保证构件在使用过程中安全可靠。

(3) 改进制造工艺。产品经过无损检测, 则可以评定制造工艺正确与否。同时, 在制订制造工艺时也可预先制备试样, 应用无损检测来选择最合适的工艺程序。不言而喻, 用无损检测方法来评定试样质量比起破坏性试验要便宜得多。

综上所述, 随着人们对无损检测技术作用认识的深化, 也同时伴着许多边缘科学的开拓, 丰富了无损检测自身的内容。该应用技术在质量保证体系中的地位也就更为突出。大致有如下优点:

(1) 对工程材料和产品及时进行百分之百检测或根据工作压力、工作温度或介质所划定的类别进行抽检。从而在制造过程中发现缺陷, 消除隐患, 避免加工浪费, 使产品质量得到保证。

例如: 工作压力 40kgf/cm^2 的中压力容器, 根据压力等级属于二类容器。如果该容器不是装剧毒介质, 可以按国家劳动总局《压力容器安全监察规程》有关条款进行射线探伤, 纵缝和环缝抽检率为20%, 其探伤工序应对容器筒体纵缝先进行探伤, 在筒体纵缝合格的条件下, 再对环缝(及组装封头的环缝)进行探伤。这种较为合理的工艺流

程,就能做到及时发现并返修超标缺陷,避免加工上的浪费,从而保证焊缝质量。

(2) 对材料或产品性能进行正确评价,更科学地采用极限设计条件而节约大量材料,以增加工业产品的经济性。

例如:美国某化工产品,在第二次世界大战前规定的设计安全系数为 $K=5$ 。后来,随着检测技术的完善,安全监控成为可能,逐步把安全系数降为 $K=4.3$ 。进入六十年代,随着断裂力学测试和应力测试这一新技术在工业产品检测中的广泛应用,以至目前把 K 值降到 2.2。

K 值的下降,除了以应力分析和断裂力学分析为基础外,主要还依赖于无损检测技术的发展,同时也对无损检测技术提出更高更严的要求。因为只有检测手段的可靠性提高,安全系数才能下降,经济性才能体现出来。

英国最近在一篇技术报告中指出,一根三十万瓩发电机转子轴,运行 35000 小时后,检修发现长 200 毫米的纵向裂纹,估计是由于超载运行和拉伸残余应力引起的延伸撕裂。经过严格的综合无损检测,绘制出缺陷分布的深度、方向模拟图,经断裂韧性计算,确定尚可带伤安全运行 7000 小时。这样一来,经济性就显示出来了。

(3) 对在役产品进行定期维修和监控运行,保证产品的安全使用。

例如:核反应堆的压力系统、大型化工设备、火箭发动机的外壳、宇宙飞船都需要绝对安全可靠,就必须采用无损检测技术进行运行中的监控。诸如利用声发射装置来接收构件缺陷扩展而发出的应力波,从而能预告该缺陷脆性断裂的临界点,保证设备的安全运行。

综上所述,无论是从无损检测的内容和方法,纵和横的联系而论,都可以采用如下的分类法:

(1) 按探测内容分 包括缺陷探测(如射线探查焊缝裂纹、未焊透、气孔、夹渣等体积型缺陷),物理探测(如利用声发射仪测开裂点的延伸速率),状态探测(如利用涡流测氮化层的厚度)。

(2) 按探测方法分 据报导,目前已有五十多种无损检测方法在应用和研究中,包括 X 射线、中子射线、 γ 射线、超声波、磁粉、着色、荧光、液晶、涡流、声发射、激光、全息照相、微波、热电、热流、声阻、频谱、声振动……等。在我国目前使用最广的还是射线、超声波、磁粉、渗透、涡流等五种常规方法。

(3) 按探测程序分 包括原材料、制造过程、成品、运行和维修过程的无损检测。其中原材料探伤包括毛坯锻件、铸件、钢板、钢管等;制造过程探伤包括对焊接构件的焊缝检查,对原材料或外协件的抽样复查,以及对锻件、铸件冷、热加工过程的检查;成品检查包括各种探伤方法的综合检查;运行中的检查包括停机维修和运行中的监控等。

从历史上看,无损检测从一开始就并不是一门独立的科学技术,它按每一种检测方法所适用的范围和所采用的检测手段的不同,分别依附于各个不同的科学技术学科。随着科学技术的发展,在各种学科不断分化又不断综合的过程中,由于无损检测的重要性日益为人们所认识,才使无损检测最终从其它学科中分化出来。成为一门独立的科学技术学科,这只是本世纪初期中期的事。然而在无损检测的研究领域中所取得的成果却是十分惊人的,使当今的无损检测技术已涉及到越来越多的领域,并正在经历新的分化

和新的综合的过程。

1.2 焊接技术与射线探伤沿革

1.2.1 焊接技术与无损检测史话

射线探伤法，虽然相对而言属于最经典的无损检测方法，随着新技术革命浪潮的涌现，作为能源母机的工业锅炉、电站锅炉、原子锅炉和各类压力容器门类之多，枚不胜数。不过，由于原材料或焊缝缺陷存在，也将增加恶性爆炸事故的几率。由于射线探伤记录的是二维的缺陷信息图像，所以，这种方法在作为焊接质量的主要验收手段而被人们广泛接受。

众所周知，焊接技术属于物理冶金学范畴。是两个或两个以上构件（同种或异种材料）通过原子或分子之间的结合和扩散造成永久性联接的工艺过程。这种联接方式，不仅在宏观上建立永久性联系，而且在微观上建立了组织之间的内在联系，是金属键的结合。因而，我们必须从形态学的角度来认识焊接缺陷产生之基因。为了扩大射线探伤人员的知识视野，下面扼要介绍焊接技术和射线探伤的历史联系与发展沿革。

人类和自然斗争的历史大致可分为两大时代：石器时代和铁器时代。它标志着人类生产发展的巨大飞跃，也是人类文明和发展的两个里程碑。

我国金属材料的发展，据考证早在商朝初期已出现高度发展的青铜文化。到战国时期，铸铁的冶炼技术已日臻完善。“首山之采，肇自轩辕，源流远矣哉！”这生动地记载了四千多年前我国冶金术的辉煌成就。而焊接技术作为古老的科学，早在明朝宋应星所著的《天工开物》就有生动的阐述：“凡铁性逐节粘合，涂上黄泥于接口之上，入火挥槌，泥滓成朽而去。取其神为聚合，胶接之后，非灼红斧斩，永不断也。……”。对于铸件，更有一段精采的文字，“凡釜既成后，试法以敲之。响声如木者佳，声有差响则铁质未熟之故，他日易为损坏。”可见，在远古时代，人们在制作和使用材料的过程中，已经意识到必须了解材料及其制品的质量和性能，于是作为一种生产技能从而使古代无损检测应运而生。而古代铸铁工匠这套利用是否伴有杂音来检测铸铁锅的质量，看来是最早的“探伤标准”了。归结起来，古代的无损检测技术有这样两个主要的特点：

（1）检测的手段基本上是凭藉人的感觉器官，靠直觉来分析材料的特性，判断产品质量的好坏或猜测其中是否存在缺陷。这样的检测方法其最大优点是简单方便，不需要任何复杂的仪器，因此容易掌握，便于操作，从而使其中许多方法得以流传到今天。不过，翔实的史料表明，中国古代也有较复杂的仪器。例如，公元132年，东汉杰出的科学家张衡发明的世界上第一架观测地震的仪器——地动仪。据后汉书中记载，“地动仪以精铜制成，圆径八尺，合盖隆起，形似酒樽。”虽然它还算不上什么复杂的仪器，但可以说是声发射技术在古代的应用了。不过，对于地声——岩石破裂声发射的物理机制至今还在研究中。

（2）通过直觉所获得的关于被检对象的信息尽管是支离破碎的，但是来自各方面的信息却在人的大脑中得到综合。因此可以这样认为，古代的无损检测技术是一种既朴素

简便而又同时应用多种检测手段的综合性方法。这里，对黄金的测定就是一个很好的例子。试金者，既要掂其轻重，又要测其韧性是否“屈折如枝柳”，而且看成色，“其高下色、分七青、八黄、九紫、十赤。”有时还要听听声音。当然，古代检测方法是相当粗糙的，在许多场合下是完全靠不住的，因为感觉器官要受到生理条件的限制。在以后的发展中，借助于科学仪器，产生了更可靠的检测方法。于是，无损检测技术就开始了自身的提高和完善。

1.2.2 现代射线探伤概貌

现代无损检测始于第一次工业革命之后，是与科学技术的发展，特别是与近代物理研究的重大突破密切相关的。物理学的成果为无损检测新技术的涌现提供了可能性，而科学仪器的创造发明则使这些新技术的应用成为现实。

1769年，英国工匠瓦特改进蒸汽机并使蒸汽机广泛使用于纺织工业和其它工业部门，标志着第一次工业革命的开始。1814年，英国发明家史蒂文森制成了第一辆真正可供使用的蒸汽机车。蒸汽机的广泛应用，一方面极大地促进了工业生产的发展；另一方面也使工业事故日益增加。仅以1865年在美国密西西比河上发生的“苏尔塔纳”号蒸汽轮船的锅炉爆炸为例，这一次事故就至少死了1547人。19世纪下半叶，欧洲许多国家颁布法规限制锅炉的使用。美国在1905年麻省一制鞋厂发生锅炉爆炸事故（死58人，伤17人）之后，着手制定了最早的锅炉规范。1911年，美国ASME成立锅炉压力容器委员会，并于1914年制定了正式的《锅炉和压力容器规范》。这一规范包含了无损检测和在役监测等有关规定，从而对无损检测的准确性和可靠性提出了较高的要求，促使无损检测去寻求更有效的方法和手段。于是将无损检测作为独立学科，并分别对不同探测方法进行深入研究就完全必要了。现代无损检测技术为适应工业生产和安全的需要而迅速地发展起来。

不过，现代无损检测技术的发展是以射线探伤为先导的。这是因为十九世纪末原子物理的三项伟大发现（即X射线、放射性元素和电子学说）拉开了二十世纪物理学革命的序幕，而且也是现代无损检测的催生婆。1911年德国科学家米勒成功地制造了世界第一只X射线管，1915年开始出现最早的射线照相技术。而把射线照相技术用于无损检测的工作是1925年才完成的。不过，大量采用X射线探伤技术，使射线检测从探伤机的研制到标准的完善并达到成熟趋于实用，是第二次世界大战期间军事工业发展的需要才开始的。

我国的无损检测在解放前几乎是空白。五十年代先在国防工业建立起常规的测试手段。无损检测的标准化工作先是沿袭国外的有关标准。就钢焊缝射线探伤而言，也只是到1967年才颁布了我国的第一个部级标准（即JB928—67）。在此基础上，事隔十五年之久，几经修改，才上升为国家标准（即GB3323—82）。

1.2.3 第四次工业革命与射线探伤发展新趋势

目前，无损检测的发展趋势，离不开当今技术革命的现状。这场技术革命，有的称“第三次浪潮”，有的称“第四次工业革命”，这里且称为“第四次工业革命”。

众所周知，第一次工业革命始于十八世纪七十年代，是以用煤炼铁和纺织机械化为

基础的；第二次工业革命始于十九世纪四十年代，是以蒸汽机、铁路和酸性转炉炼钢为基础的；第三次工业革命则以电力、化学工业和内燃机为基础，这都是本世纪初的事了。而第四次工业革命将是一场以信息工业（电脑）为主角，包括生物工程、新材料、新能源以及光导纤维、激光、海洋开发、空间技术等为标志的技术革命。其中新材料、微电脑和生物工程被称为“三大前沿科学”。毋庸置疑，在这新技术革命浪潮的冲击下，无损检测技术将面临巨大的挑战。从材料方面而论，天然材料（包括钢铁）在工业材料中的比重将下降，代之以越来越多的高强度人造复合材料。那么用于新材料检测技术的软射线和全息照相将充满乐观的前景；而微电脑的进展给无损检测结果的精确描述注入活力。可以预期，采用断裂力学理论建立焊接缺陷的力学模型，采用模糊数集理论建立射线探伤判废标准的数学模型，采用微彩色编码处理焊缝缺陷信息而最终由电脑完成结论性检测报告将导致X射线探伤的工艺革命。至于生物工程的成就更是惊人的。在这里，仿生技术对无损检测的发展将具有特别重要的意义；机器人代替人在高空、容器、核反应堆里进行探伤工艺操作将不是遥远的神话。

第二章 焊缝缺陷的分类、形态 描述和形成机理

焊接过程是在高温热源的作用下，母材发生局部熔化，且与熔融的填充金属混合而形成熔池，其间，是在热力学不平衡的条件下完成的冶金反应。从微观的角度出发，可以给焊接作如下定义：两个或两个以上构件（同种或异种材料），通过原子或分子之间的结合和扩散，造成永久性联接的工艺过程，则称为焊接。因此，通过焊接被联接的材料，不仅在宏观上建立了永久性的联系，而且在微观上也建立了组织之间的内在联系。

如果按所采用的能源和工艺特点，焊接可分为熔化焊和压力焊两类，每类又可按各种不同的焊接方法派生为若干分支，具体划分见第10页方框图。

显而易见，由于金属材料本身的冶金因素和产品制造所特定的工艺因素，以及焊件设计所形成的结构因素等的综合作用，特别是当焊接接头的几何形状复杂、应力分布恶劣时，更容易产生种种缺陷。从宏观上看，如气孔、夹渣、未熔合、未焊透、裂纹以及咬边、焊瘤、烧穿、凹坑、塌漏等；从微观上看，将随之产生大量晶体缺陷，如空位和间隙原子和溶质原子等的点缺陷、位错等线缺陷以及晶界等面缺陷（微观缺陷对于发展成为宏观缺陷起了隐患作用）。

现对常见的焊缝缺陷分类，见第11页方框图。

诚然，焊接缺陷对产品构件，尤其是锅炉、压力容器在使用中带来的隐患和危害是不能低估的。轻者，将在很大程度上降低产品的力学性能和缩短产品使用寿命；重者，还可能产生脆断，导致危及生命财产安全的灾难性事故，给国民经济造成巨大损失。

为此，在阐述焊缝缺陷形成机理的基础上，描述各种缺陷的形态及其产生条件，并进行缺陷的系统分类，这不但能为射线探伤的评片工作者提供理论上的指导，同时为更准确地鉴别缺陷提供依据。这项工作，无论从理论上或生产实践上都具有实际意义。

2.1 气 孔

焊接时，熔池中的气泡在凝固时未能逸出而残留下来所形成的空穴称之为气孔。

气孔是焊接时严重的工艺缺陷之一。根据气孔产生的部位不同可分为表面气孔和内部气孔；根据气孔的分布状态又可分为单个气孔、疏散气孔、密集气孔和连续气孔；根据气孔的形态也可分为条虫状气孔、针状气孔和球形、椭圆形气孔以及气体在缩孔和显微空穴中积聚而产生的不规则气孔，其表现形态如图1、图2、图3、图4、图5、图6所示。

不难看出，这些气孔在X射线底片上呈圆形或近圆形的黑点。其黑化度一般说来中心部较深而边缘较浅，轮廓线也不明显，甚至有隐约不清之感。

气孔在焊缝中的存在，不但削弱了焊缝的有效工作面积，降低了该处焊缝之机械性

金属焊接



