

职业技能培训教程

ZHIYEJINENGPEIXUNJIAOCHENG

无损探伤工

WU SUN TAN SHANG GONG

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编



中国石油大学出版社

CHINA PETROLEUM UNIVERSITY PRESS

职业技能培训教程

无损探伤工

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编

中国石化大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

无损探伤工/中国石油天然气集团公司人事服务中心
编. —东营:中国石油大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-5636-2223-8

I. 无... II. 中... III. 无损检验-技术培训-教材 IV. TG115.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 030640 号

丛 书 名: 职业技能培训教程

书 名: 无损探伤工

作 者: 中国石油天然气集团公司人事服务中心

责任编辑: 邵 云 (电话 0546—8391282)

出 版 者: 中国石油大学出版社 (山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: sanbianshao@126.com

排 版 者: 中国石油大学出版社排版中心

印 刷 者: 东营市新华印刷厂

发 行 者: 中国石油大学出版社 (电话 0546—8392565, 8399580)

开 本: 185×260 印张: 25.25 字数: 646 千字

版 次: 2007 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

职业技能培训教程

编审委员会

主任：孙祖岭

副主任：刘志华 孙金瑜 徐新福

委员：向守源 任一村 职丽枫 朱长根 郭向东
李钟磬 史殿华 马 富 关昱华 郭学柱
李爱民 刘文玉 熊术学 齐爱国 刘振勇
王家夫 刘瑞善 丁传峰 乔庆恩 申 泽
刘晓华 蔡激扬 阿不都·热西提 郭 建
王阳福 郑兴华 赵忠文 刘孝祖 时万兴
王 成 商桂秋 赵 华 杨诗华 刘怀忠
杨静芬 纪安德 杨明亮 刘绍胜 姚 斌
何 明 范积田 胡友彬 多明轩 李 明
蔡新江

前 言

为提高石油工人队伍素质,满足职工培训、鉴定的需要,中国石油天然气集团公司人事服务中心继续组织编写了第一批 44 个石油天然气特有工种的培训教程与鉴定试题集之后,又组织编写了第二、三批 106 个工种的职业技能鉴定试题集,并分别由石油工业出版社和中国石油大学出版社出版。根据企业组织工人进行培训和职工学习技术的需要,我们在第二、三批题库的基础上,又组织编写了第二批 32 个工种的工人培训教材。

本批教材只编写基础理论知识与相关专业知识部分,内容、范围与题库基本一致,不分级别,与已出版发行的第二、三批试题集配套使用,便于组织工人进行鉴定前培训。由于在公开出版发行的试题集中,只选取了题库中的部分试题,因此本批教材对工人学习技术,提高知识技能将起到应有的作用。

《无损探伤工》由江汉石油管理局组织编写,由薛伟、白清春、胡友彬、陈从祥、王海波主编,参加编写的人员有黄继伟、吴松、高辉廷、李克胜、王小伍、王欣,参加审定的人员有江汉油田油建公司刘毅、夏正国。在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和错误之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

作 者

2007 年 3 月

目 录

第一部分 初级工

第一章 无损检测概论	(1)
第一节 无损检测的定义与分类	(1)
第二节 无损检测的目的	(2)
第三节 无损检测的应用特点	(3)
第四节 缺陷的种类及产生原因	(4)
第二章 超声波探伤	(6)
第一节 机械振动和机械波	(6)
第二节 超声波的传播	(8)
第三节 声波的波动特性	(10)
第四节 声场及其特征量	(12)
第五节 波速	(13)
第六节 超声波垂直入射到界面的反射和透射	(14)
第七节 超声波倾斜入射到界面的反射和透射	(17)
第八节 声波在曲面上的聚焦和发散	(21)
第九节 超声波的衰减	(26)
第十节 超声场	(27)
第十一节 远声场中规则反射体的反射规律	(33)
第三章 射线探伤	(40)
第一节 概述	(40)
第二节 射线检测的物理基础	(41)
第三节 射线的种类及其在探伤中的应用	(45)
第四节 射线的能量与强度	(46)
第五节 射线与物质的相互作用	(46)
第六节 窄束、单色射线的强度衰减规律	(48)
第七节 宽束、多色射线的强度衰减规律	(50)
第八节 吸收(衰减)曲线	(51)
第九节 射线检测设备	(52)
第四章 磁粉探伤	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 磁化理论	(61)

第三节	磁畴	(63)
第四节	磁导率	(63)
第五节	磁场强度	(64)
第六节	磁感应强度	(64)
第七节	常用物理量换算	(65)
第八节	磁性材料特性	(65)
第九节	磁滞回线	(66)
第十节	硬磁材料与软磁材料	(68)
第十一节	右手定则与左手定则	(69)
第十二节	直流电与交流电的磁场分布	(69)
第十三节	漏磁场	(72)
第五章	渗透探伤	(76)
第一节	概述	(76)
第二节	渗透检测的优点与局限性	(77)
第三节	渗透检测与其他常规检测方法的比较	(78)
第四节	表面张力和表面张力系数	(78)
第五节	润湿作用	(80)
第六节	毛细现象	(82)
第七节	表面活性和表面活性剂	(83)
第八节	乳化作用	(86)
第九节	紫外线和荧光	(87)
第十节	可见度和对比度	(88)

第二部分 中级工

第一章	焊接基本知识	(90)
第一节	常用的焊接方法	(90)
第二节	焊接接头	(103)
第二章	超声波探伤	(107)
第一节	超声检测仪器	(107)
第二节	探头(换能器)	(112)
第三节	试块	(119)
第四节	超声波检测系统性能	(126)
第五节	数字式超声波检测仪	(132)
第三章	射线探伤	(134)
第一节	射线照相感光胶片与增感屏	(134)
第二节	暗室处理	(141)
第三节	射线照相技术	(144)

第四节 射线照相不清晰度·····	(148)
第四章 磁粉探伤 ·····	(150)
第一节 磁化方法·····	(150)
第二节 磁粉检测使用的磁化电流·····	(155)
第三节 退磁·····	(156)
第五章 渗透探伤 ·····	(159)
第一节 渗透液·····	(159)
第二节 渗透液的主要成分·····	(162)
第三节 渗透液的种类·····	(164)
第四节 其他类型的渗透剂·····	(166)

第三部分 高级工

第一章 金属材料及热处理基本知识 ·····	(168)
第一节 材料力学基本知识·····	(168)
第二节 金属学与热处理基本知识·····	(172)
第二章 超声波检测通用技术 ·····	(182)
第一节 超声波检测方法分类·····	(182)
第二节 对检测对象的了解与要求·····	(187)
第三节 试块的选择·····	(189)
第四节 耦合与补偿·····	(190)
第五节 扫查·····	(194)
第六节 扫描线的调整和缺陷的定位·····	(195)
第七节 灵敏度的调整·····	(201)
第八节 缺陷的定量·····	(204)
第九节 缺陷性质的分析·····	(209)
第十节 影响探伤的因素·····	(211)
第十一节 影响缺陷评定的主要因素·····	(215)
第十二节 影响缺陷定量的因素·····	(216)
第十三节 影响缺陷评定的人为因素·····	(218)
第十四节 液浸法·····	(218)
第三章 射线探伤 ·····	(222)
第一节 射线防护·····	(222)
第二节 射线照相检测工艺·····	(226)
第三节 焊缝透照·····	(231)
第四节 检测结果的评定·····	(234)
第四章 磁粉探伤 ·····	(237)
第一节 磁粉检测设备·····	(237)

第二节	磁粉和磁悬液	(240)
第三节	检测用的试块	(244)
第四节	磁粉检测工艺	(247)
第五节	零件检验	(254)
第六节	磁粉检测工艺控制	(255)
第七节	磁粉检测实验	(258)
第五章	渗透探伤	(261)
第一节	渗透检测方法	(261)
第二节	常用渗透检测工艺	(266)
第三节	渗透检测方法的选择	(268)
第四节	渗透检测装置	(269)
第五节	黑光灯与黑光强度检测仪	(272)

第四部分 技师与高级技师

第一章	检测材料的基本知识	(275)
第一节	应力	(275)
第二节	材料力学性能	(277)
第三节	材料	(280)
第四节	钢的分类和命名方法	(281)
第五节	低碳钢	(283)
第六节	低合金钢	(284)
第七节	奥氏体不锈钢	(288)
第八节	焊接接头的组织和性能	(289)
第九节	焊接应力与变形	(291)
第十节	压力容器常用钢材的焊接	(294)
第十一节	焊接缺陷	(301)
第二章	超声波探伤	(306)
第一节	典型工件的超声波检测	(306)
第二节	焊缝的超声波检测	(309)
第三节	焊缝缺陷的定量及评定	(316)
第四节	T形角焊缝的超声波检测	(317)
第五节	大型管座角焊缝的超声检测	(319)
第六节	几种伪缺陷的识别	(321)
第七节	板材的超声波检测	(322)
第八节	管材的超声波检测	(329)
第九节	大口径管的检测	(332)
第十节	铸钢件的检测	(335)

第三章 射线探伤	(339)
第一节 焊接缺陷.....	(339)
第二节 射线检测质量管理.....	(342)
第四章 磁粉探伤	(352)
第一节 显示、不连续类型与结果评定	(352)
第二节 磁粉检测的应用.....	(365)
第五章 渗透探伤	(374)
第一节 渗透检测的应用及显示迹痕与缺陷评定.....	(374)
第二节 渗透检测的质量管理与安全技术.....	(380)
第三节 质量管理.....	(386)
参考文献	(391)

第一部分 初级工

第一章 无损检测概论

第一节 无损检测的定义与分类

什么叫无损检测？从字面上理解，无损检测就是指在不损坏试件的前提下，对试件进行检查和测试的方法。照此说法，人们用视觉或听觉所进行的一些检查也算作无损检测，例如用眼睛检查工件外观质量，用耳朵听小锤敲击钢轨发出的声音判断钢轨是否有缺陷等，但目前国内并未把这些方法算作无损检测，因此，对现代无损检测应有更严格的定义。

现代无损检测的定义是：在不损坏试件的前提下，以物理或化学方法为手段，借助先进的技术和设备器材，对试件内部及表面的结构、性质、状态进行检查和测试的方法。无损检测是在现代科学技术发展的基础上产生的。

在无损检测技术发展过程中出现过三个名称，即无损探伤(Non-destructive Inspection)、无损检测(Non-destructive Testing)、无损评价(Non-destructive Evaluation)。

一般认为，这三个名称体现了无损检测技术发展的三个阶段，其中无损探伤是早期阶段的名称，其涵义是探测和发现缺陷；无损检测是当前阶段的名称，其内涵不仅仅是探测缺陷，还包括探测试件的一些其他信息，例如结构、性质、状态等，并试图通过测试掌握更多的信息；而无损评价则是即将进入或正在进入的新的发展阶段。无损评价包涵更广泛、更深刻的内容，它不仅要求发现缺陷，探测试件的结构、性质、状态，还要求获取更全面、更准确、综合的信息，例如缺陷的形状、尺寸、位置、取向、内含物，缺陷部位的组织、残余应力等。它结合成像技术、自动化技术、计算机数据分析和处理等技术，与材料力学、断裂力学等知识综合应用，对试件或产品的质量 and 性能给出全面、准确的评价。

射线检测(Radiography Testing, 简称 RT)、超声波检测(Ultrasonic Testing, 简称 UT)、磁粉检测(Magnetic Testing, 简称 MT)、渗透检测(Penetrant Testing, 简称 PT)是开发较早、应用较广泛的探测缺陷的方法，称为四大常规探伤方法。

随着现代工业的发展，对产品的质量和结构安全性、使用可靠性提出了越来越高的要求，由于无损检测技术具有不破坏试件、检测灵敏度高等优点，所以其应用日益广泛。目前，无损检测技术不仅应用于锅炉压力容器的制造检验和在用检验，而且在国内许多行业 and 部门如机械、冶金、石油天然气、石化、航空航天、船舶、铁道、电力、核工业、兵器、煤炭、有色金属、建筑等中都得到广泛应用。

为满足生产的需求，并伴随着现代科学技术的进展，无损检测的方法和种类日益繁多，除了上面提到的几种方法外，激光、红外、微波、液晶等技术都被应用于无损检测。

仅利用射线的无损检测方法就可细分为 X 射线照相、 γ 射线照相、中子射线照相、高能 X 射线照相、射线实时成像、层析照相、几何放大照相、移动照相、康普顿散射照相、硒板照相等十

几种。

各国关于无损检测的分类方法不尽相同。

第二节 无损检测的目的

一、保证产品质量

应用无损检测技术,可以探测到肉眼无法看到的试件内部的缺陷;在对试件表面质量进行检验时,通过无损检测方法可以探测出许多肉眼很难看见的细小缺陷。

由于无损检测技术对缺陷检测的应用范围广、灵敏度高、检测结果可靠性好,因此在锅炉压力容器和其他产品制造的过程检验和最终质量检验中被普遍采用。

应用无损检测技术的另一优点是可以进行百分之百检验。众所周知,采用破坏性检测,在检测完成的同时试件也被破坏了,因此破坏性检测只能进行抽样检验。与破坏性检测不同,无损检测不需损坏试件就能完成检测过程,因此无损检测能够对产品进行百分之百检验或逐件检验。许多重要的材料、结构或产品都必须保证万无一失,只有采用无损检测手段,才能为质量提供有效保证。

二、保障使用安全

即便是设计和制造质量完全符合规范要求的锅炉压力容器,在经过一段时间使用后,也有可能发生破坏事故,这是由于苛刻的运行条件使设备状态发生变化,例如由于高温和应力的作用导致材料蠕变;由于温度、压力的波动产生交变应力,使设备的应力集中部位产生疲劳;由于腐蚀作用使壁厚变薄或材质劣化等等。上述因素有可能使设备中原来存在的、制造规范允许的小缺陷扩展开裂,或使设备中原来没有缺陷的地方产生这样或那样的新生缺陷,最终导致设备失效。

为了保障使用安全,对在用锅炉压力容器必须定期进行检验,及时发现缺陷,避免事故发生,而无损检测就是在用锅炉压力容器定期检验的主要内容和发现缺陷最有效的手段。除了锅炉压力容器外,其他使用中的重要设备、构件、零部件,在对其进行检验时,也经常选择无损检测方法。

三、改进制造工艺

在产品生产中,为了了解制造工艺是否适宜,必须事先进行工艺试验。在工艺试验中,经常对工艺试样进行无损检测,并根据检测结果改进制造工艺,最终确定理想的制造工艺。例如,为了制定焊接工艺规范,在焊接试验中对焊接试样进行射线照相,随后根据检测结果修正焊接参数,最终得到能够达到质量要求的焊接工艺。

又如,在进行铸造工艺设计时,通过射线照相探测试件的缺陷发生情况,并据此改进浇口和冒口的位置,最终确定合适的铸造工艺。

四、降低生产成本

在产品制造过程中进行无损检测,往往被认为要增加检测费用,从而使制造成本增加。可是如果在制造过程中的适当环节正确地进行无损检测,就可防止以后的工序浪费,减少返工,降低废品率,从而降低制造成本。例如,在厚板焊接时,如果在焊接全部完成后再进行无损检测,发现超标缺陷则需要返修,要花费许多工时或者很难修补。(因此可以在焊至一半时先进行一次无损检测,确认没有超标缺陷后再继续焊接,这样虽然无损检测费用有所增加,但总

的制造成本降低了。)又如,对铸件进行机械加工时,有时不允许机加工后的表面上出现夹渣、气孔、裂纹等缺陷,可选择在机加工前对要进行加工的部位实施无损检测,对发现缺陷的部位就不再加工,从而降低了废品率,节省了机加工工时。

第三节 无损检测的应用特点

无损检测应用时,应掌握以下几方面的特点:

1. 无损检测要与破坏性检测相配合

无损检测的最大特点是能在不损伤材料、工件和结构的前提下进行检测,所以实施无损检测后,产品的检验率可以达到100%。但是,并不是所有需要测试的项目和指标都能进行无损检测,无损检测技术自身还有局限性。某些检验只能采用破坏性检测,因此,在目前无损检测还不能完全代替破坏性检测。也就是说,对一个工件、材料、机器设备的评价,必须把无损检测的结果与破坏性检测的结果互相对比和配合,才能作出准确的评定。例如液化石油气钢瓶除了无损检测外还要进行爆破试验,锅炉管子焊缝有时要切取试样做金相和断口检验。

2. 正确选择实施无损检测的时机

在进行无损检测时,必须根据无损检测的目的,正确选择无损检测实施的时机。例如,锻件的超声波探伤一般安排在锻造完成且进行过粗加工后,钻孔、铣槽、精磨等最终机加工前,因为此时检查面较平整,耦合较好,有可能干扰探伤的孔、槽、台还未加工,发现质量问题处理也较容易,损失也较小。又例如,要检查高强钢焊缝有无延迟裂纹,无损检测实施的时机就应安排在焊接完成24 h以后进行;要检查热处理工艺是否正确,就应将无损检测实施时机放在热处理之后进行。

只有正确选择实施无损检测的时机,才能顺利地完检测,正确评价产品质量。

3. 正确选用最适当的无损检测方法

无损检测在应用中,由于检测方法本身有局限性,不能适用于所有工件和所有缺陷。为了提高检测结果的可靠性,必须在检测前根据被检物的材质、结构、形状、尺寸,预计可能产生什么种类、什么形状的缺陷,在什么部位、什么方向产生,综合以上种种情况进行分析,然后根据无损检测方法各自的特点选择最合适的检测方法。例如,钢板的分层缺陷因其延伸方向与板平行,就不适合采用射线检测而应选择超声波检测;检查工件表面细小的裂纹不应选择射线和超声波检测,而应选择磁粉和渗透检测。此外,选用无损检测方法和应用时还应充分认识到,检测的目的不是片面地追求那种过高要求的产品“高质量”,而是在保证充分安全性的同时要保证产品的经济性。只有这样,无损检测方法的选择和应用才会是正确的、合理的。

4. 综合应用各种无损检测方法

在无损检测应用中,必须认识到任何一种无损检测方法都不是万能的,每种无损检测方法都有它自己的优点,也有它的缺点。因此,在无损检测的应用中,如果可能,不要只采用一种无损检测方法,而应尽可能多地同时采用几种方法,以便保证各种检测方法互相取长补短,从而取得更多的信息。另外,还应利用无损检测以外的其他检测所得的信息,利用有关材料、焊接、加工工艺的知识及产品结构的知识,综合起来进行判断。例如,超声波检测对裂纹缺陷探测灵敏度较高,但定性不准是其不足,而射线检测的优点之一是对缺陷定性比较准确,两者配合使用,就能保证检测结果既可靠又准确。

第四节 缺陷的种类及产生原因

了解材料和焊缝中的缺陷种类和产生原因,有助于正确地选择无损检测方法,正确地分析和判断检测结果。作为无损检测人员,应该掌握这方面的知识。

一、铸件中常见的缺陷及其产生的原因

(1) 气孔:熔化的金属在凝固时,其中的气体来不及逸出而在金属表面或内部产生的圆孔。

(2) 夹渣:浇铸时由于铁水包中的熔渣没有与铁水分离,混进铸件而形成的缺陷。

(3) 夹砂:浇铸时由于砂型的砂子剥落,混进铸件而形成的缺陷。

(4) 密集气孔:铸件在凝固时由于金属的收缩而产生的气孔群。

(5) 冷隔:主要是由于浇铸温度太低,金属熔液在铸模中不能充分流动,在铸件表面生成不融合。

(6) 缩孔和疏松:铸件在凝固过程中由于收缩以及补缩不足所产生的缺陷叫缩孔。而沿铸件中心呈多孔性组织分布的缺陷叫中心疏松。

(7) 裂纹:由于材质和铸件形状不适当,在凝固时因收缩应力而产生的裂纹。在高温下产生的叫做热裂纹;在低温下产生的叫冷裂纹。

二、锻件中常见的缺陷及其产生的原因

(1) 缩孔和缩管:铸锭时,因冒口切除不当、铸模设计不良以及铸造条件(温度、浇铸速度、浇铸方法、熔炼等)不良所产生的缩孔没有被锻合而遗留下来的缺陷。

(2) 非金属夹杂物:炼钢时,由于熔炼不良以及铸锭不良,混进硫化物和氧化物等非金属夹杂物或者耐火材料等所造成的缺陷。

(3) 夹砂:铸锭时,熔渣和耐火材料或夹渣物太多,留在锻件中形成的缺陷。

(4) 龟裂:锻钢件表面上出现的较浅的龟状表面缺陷叫龟裂。它是由于原材料成分不当,原材料表面情况不好,加热温度和加热时间不合适而产生的。

(5) 锻造裂纹:锻造裂纹种类较多,在工件中的位置也不同,在实际生产中遇到的锻造裂纹有以下几类:① 由缩孔残余或二次缩孔在锻造时扩大而形成的裂纹;② 由皮下气泡引起的裂纹;③ 柱状晶粗大引起的裂纹;④ 轴芯晶间裂纹引起的锻造裂纹;⑤ 非金属夹杂物引起的裂纹;⑥ 锻造加热不当引起的裂纹;⑦ 锻造变形不当引起的裂纹;⑧ 终锻温度过低引起的裂纹。

(6) 白点:白点是一种细微的裂纹,它是由于钢中含氢量较高,锻造过程中的残余应力,热加工后的相变应力、稠热应力等而产生的。由于白点在纵向断口上呈银白色的圆点或椭圆形斑点,故称该种缺陷为白点。

三、轧材中常见的缺陷及其产生的原因

轧材的种类包括管、棒、板、丝、钢轨和各种型材。由于形状和材质的不同,出现的缺陷分布规律和缺陷特征也不同。以下就钢材中几大类轧材简要说明。

1. 钢管中的缺陷及其产生原因

(1) 纵裂纹:由于加热不良,热处理和加工不当而引起的缺陷。

(2) 横裂纹:由于轧制过于剧烈、加热过度或者冷态加工过多而引起的缺陷。

(3) 表面划伤:由于加工时导管和拉模的形状不良以及烧伤等所引起的缺陷。

(4) 翘皮的折叠:由于圆钢表面夹入杂质或有偏析,或有非金属夹杂物、裂纹等缺陷,钢管穿孔时产生这种缺陷。

(5) 夹杂和分层:由于圆钢内部有非金属夹杂物和片状缺陷,在穿孔轧制时就产生夹杂和分层缺陷。

2. 钢棒和型材中的缺陷及其产生原因

(1) 内部缺陷:钢棒内部缺陷有由于钢锭中缩孔未压合而产生的芯部裂纹,还有严重偏析、白点、非金属夹杂物等。这些缺陷都有一定的延伸性,当轧制比较大时,缺陷也会变为长形,这些缺陷由于延展作用大多变为星状或扁平状。

(2) 表面缺陷:表面缺陷有材料性缺陷和轧制不当造成的缺陷两类。材料性缺陷是指由钢坯表面和近表面层的气孔和非金属夹杂物造成的线状缺陷(发纹)和小裂纹以及夹杂物引起的翘皮。轧制不当引起的缺陷是指由轧辊加工时造成的折叠或皱纹,以及过烧和鳞状折叠。过烧是由于加热太激烈使表面脆化,因而在压延时产生小鳞状裂纹;鳞状折叠是由于轧制的模子过紧加上材料表面粗糙而造成的。

3. 钢板中的缺陷及其产生原因

钢板按其厚度可分为薄板和中厚板,其厚度划分上没有严格的界限。参照我国有关探伤标准,薄板一般指厚度在5 mm以下的钢板,6~120 mm厚度的钢板为中厚板。钢板中的缺陷与锻件和型材中的缺陷大致相同,主要是由材料引起的和轧制引起的。这些缺陷主要有分层、裂纹、线状缺陷、非金属夹杂物、夹渣、折叠、偏析等。由于钢板的轧制是平面压下沿长方向轧制,轧制时有非常大的压下比,所以形成平行于表面的平面状缺陷较多。这类缺陷按其严重程度可分为三类:① 完全剥离的层状裂缝或分层属大缺陷;② 在某个小范围内分层的属中缺陷;③ 有点状夹杂物集合但未形成裂纹的属小缺陷。

四、维修检查中常见的缺陷及其产生原因

(1) 疲劳裂纹:结构材料承受交变反复载荷,局部高应变区内的峰值应力超过材料的屈服强度,晶粒之间发生滑移和位错,产生微裂纹并逐步扩展形成疲劳裂纹。包括工作载荷引起的疲劳裂纹,热应力引起的疲劳裂纹,以及在循环应力和腐蚀介质共同作用下产生的疲劳裂纹。

(2) 应力腐蚀裂纹:处于特定腐蚀介质中的金属材料在拉应力作用下产生的裂纹称为应力腐蚀裂纹。

(3) 氢损伤:在临氢工况条件下运行的设备,氢进入金属后使材料性能变坏,造成损伤。例如氢鼓泡、氢致裂纹等。

(4) 摩擦腐蚀:两接触面处在微小振动和互相摩擦状态时,其微小部分反复进行结合与分离,同时与周围环境发生化学反应,引起摩擦腐蚀。

(5) 空化浸蚀:液体中产生的气泡破灭时,对材料表面进行冲击,产生空化浸蚀。

第二章 超声波探伤

第一节 机械振动和机械波

一、机械振动

一个物理量的值在观测时间内不停地经过极大值和极小值的周期变化,这种变化状态称为振动。如果振动量是个力学量,如位移、角位移等,所作的振动称为机械振动。如图 1-2-1 所示。

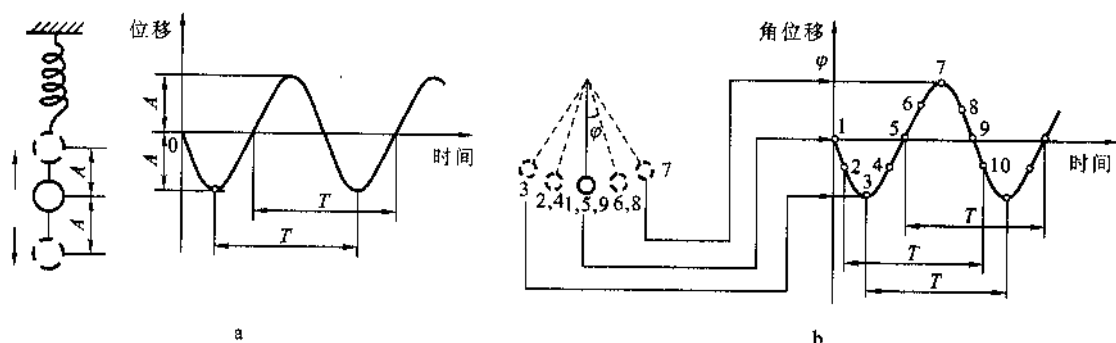


图 1-2-1 机械振动

a - 弹簧的振动; b - 单摆的振动

1. 表征振动的参数

周期 T : 完成一次全振动所需的时间, 常用单位为秒(s)。

频率 f : 单位时间内完成全振动的次数, 单位为赫兹(Hz)。

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ 次/秒}; 1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$$

2. 振动方程

最简单最基本的直线振动称为谐振动, 任何复杂的振动都可视为多个谐振动的合成。描述谐振动质点 m 的位移 y 与时间 t 关系的谐振动方程如下:

$$y = A \cos(\omega t - \varphi) \quad (1-2-1)$$

式中 y 振动幅度在任一瞬间 t 时的数值;

A ——振幅, 是 y 的最大值;

ω ——角频率(角速度), $\omega = 2\pi f$;

φ ——初始相位角, 即 $t=0$ 时质点 m 的相位;

$(\omega t + \varphi)$ ——质点 m 在 t 时刻的相位。

可用图 1-2-2 来进一步说明物体谐振动时位移是时间的正弦或余弦函数。

二、机械波和声波

1. 机械波的形成

机械振动在介质中的传播称为机械波, 机械振动在弹性体中的传播称为弹性波(声波)。

图 1-2-3 是弹性体的模型,可用来说明机械波的形成。

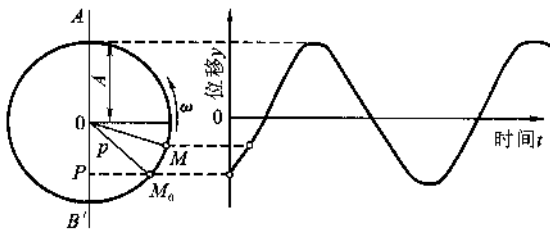


图 1-2-2 谐振动的位移与时间的关系

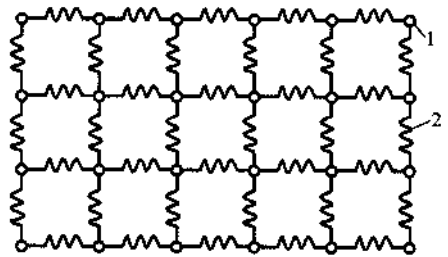


图 1-2-3 弹性体的模型

1—质点; 2—弹性弹簧

产生机械波的两个条件:作机械振动的波源;传播振动的介质。

2. 超声波

如果以频率 f 来表征声波,并以人的可闻频率为分界线,则可把声波划分为次声波($f < 20 \text{ Hz}$)、可闻声波($20 \text{ Hz} \leq f \leq 20 \text{ kHz}$)和超声波($f > 20 \text{ kHz}$)。在超声波检测中最常用的频率范围为 $0.5 \sim 10 \text{ MHz}$ 。

3. 三个表征波动的参数

频率 f :波在单位时间内通过给定点的完整波的个数称为波的波动频率。

波长 λ :波在一个周期内传播的距离称为波长。

波速 c :声波在单位时间内所传播的距离称为波速。其表达式为:

$$c = \lambda f \quad (1-2-2)$$

4. 波动方程

如图 1-2-4 所示,当振动从 O 点传播到 B 点时, B 点开始振动。由于振动从 O 点传播到 B 点需要时间 x/c ,因此 B 点的振动滞后于 O 点 x/c ,即 B 点在 t 时刻的位移等于 O 点在 $(t - x/c)$ 时刻的位移:

$$y = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) = A \cos (\omega t - kx) \quad (1-2-3)$$

式中 k —波数, $k = \omega/c = 2\pi/\lambda$;

x — B 点至 O 点的距离。

波动方程式(1-2-3)描述了波线上任意一点在任意时刻的位移情况。

5. 连续波、简谐波和脉冲波

连续波:介质各质点振动持续时间为无穷的波动,如图 1-2-5a 所示。

简谐波:介质各质点都作同频率谐振动的连续波。

脉冲波:介质各质点振动持续时间有限的波动,如图 1-2-5b 所示。

脉冲波的频谱:根据傅里叶分析,对于非周期的振动都可认为是无限多个频率连续变化的谐振动的合成,即可将脉冲波视为具有一定频率范围的连续频率的简谐波的合成。这个频率范围称为频带宽度。脉冲越窄频谱越宽,脉冲越宽频谱越窄,如图 1-2-6 所示。

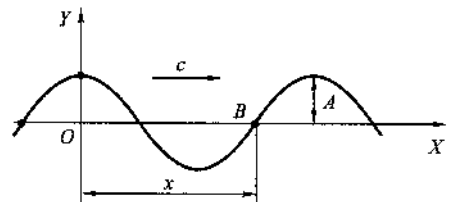


图 1-2-4 波动方程推导用图