

# 承压类特种设备检验的裂纹问题分析

丁学峰 顾永兵

宁夏特种设备检验检测院吴忠分院 宁夏 吴忠 751100

**摘要:** 承压类特种设备在工业和能源等领域广泛应用,其安全性和稳定性对生产和使用具有重要意义。基于此,本文简要介绍了几种常见的裂纹形式,并提出了一些预防承压类特种设备裂纹的措施,旨在提高承压类特种设备的可靠性和安全性,降低设备在运行过程中出现故障的概率。

**关键词:** 承压类特种设备; 检验检测; 裂纹问题; 损伤模式

## 引言

承压类特种设备是指承受压力的特种设备,如锅炉、压力容器、压力管道等,广泛应用于石油、化工、能源等领域。这些设备的正常运行对于保障国民经济的发展和人民生活的稳定具有重要意义。然而,由于各种因素的影响,承压类特种设备常常会出现裂纹等缺陷,严重影响了设备的安全性和可靠性。因此,开展承压类特种设备检验的裂纹问题分析,对于提高设备的运行安全性和可靠性具有重要意义。

### 1 几种常见的裂纹形式

#### 1.1 机械疲劳裂纹现象

根据GB/T30579-2022《承压设备损伤模式识别》,机械疲劳是在循环机械载荷作用下,材料、零件或构件在一处或几处产生局部永久性累积损伤而产生裂纹的过程。经一定循环次数后,裂纹不断扩展,可能导致突然完全断裂。这些载荷可能包括压力、拉伸、弯曲等,导致设备材料内部的晶粒产生滑动和微观开裂。并且随着时间的推移,这些微观开裂逐渐扩展和连通,最终形成可见的疲劳裂纹(见图1)。详细来讲,首先,机械疲劳裂纹的初始阶段的长度约在0.1mm左右,通常很难被发现。这个阶段的裂纹通常需要在专业的无损检测下才能被发现,因此,对设备的检测和监控显得尤为重要。其次,机械疲劳裂纹的扩展速度通常很慢,需要经历多次反复载荷作用才能逐渐扩展。但是,一旦裂纹开始扩展,它的速度会迅速加快。同时,机械疲劳裂纹的形态通常是曲折的,有时也会有分叉<sup>[1]</sup>。这意味着裂纹不仅会在材料的表面扩展,还可能向材料内部延伸。裂纹的分叉和曲折现象通常是由于材料内部应力的不均匀分布和复杂载荷条件导致的。最后,机械疲劳裂纹在高温下更容易产生和扩展。因此,对于在高温环境下运行的承压特种设备,更需要进行严格的检测和监控,以避免机械疲劳裂纹的产生和扩展。

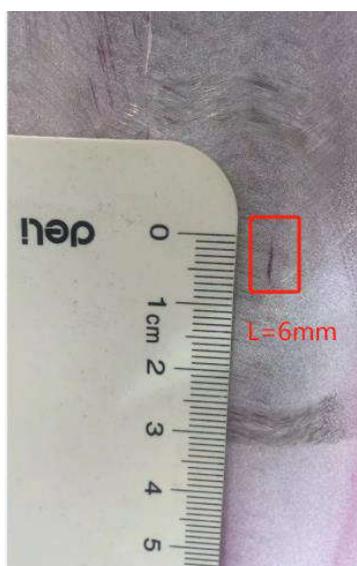


图1 疲劳裂纹

#### 1.2 过热裂纹

根据GB/T30579-2022《承压设备损伤模式识别》,过热是设备在运行过程中,由于冷却条件恶化等因素,壁温在短时间内快速上升,使钢材的屈服强度急剧下降,在相对较低的应力作用下发生永久变形。过热裂纹(见图2)是制造和使用过程中常见的裂纹问题之一,这种裂纹通常是由于设备在高温环境下长期运行或制造过程中出现过热处理而产生的。过热裂纹对设备的结构和功能产生严重影响,甚至可能导致设备失效和爆炸等危险事故,因此必须得到充分的重视和关注。一般来说,过热裂纹可以分为以下几种类型:第一,热疲劳裂纹通常发生在设备的表面或结构不连续处,是由于设备在周期性热应力作用下反复加热和冷却而产生的。这种裂纹的扩展方式一般是“沿晶”或“穿晶”,可以通过表面处理、强化、更换材料等方法来预防和修复。第二,蠕变裂纹(见图3)通常是由于设备在高温环境下长期运行而产生的(蠕变曲线见图4),这种裂纹的特点是扩展速

度较慢,但一旦发生则很难修复。承压类设备尤其在温度高、应力集中的部位易发生蠕变,比如三通、接管、缺陷和焊接接头等结构不连续处。蠕变裂纹可以通过优化设备结构设计、选用高蠕变强度材料、严格控制操作温度等方法来预防。



图2 过热裂纹

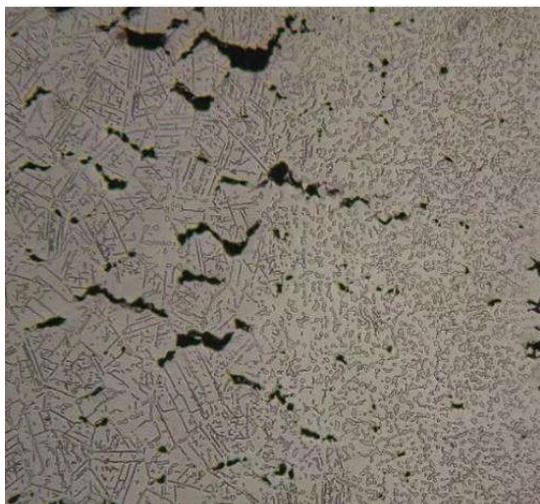


图3 蠕变裂纹

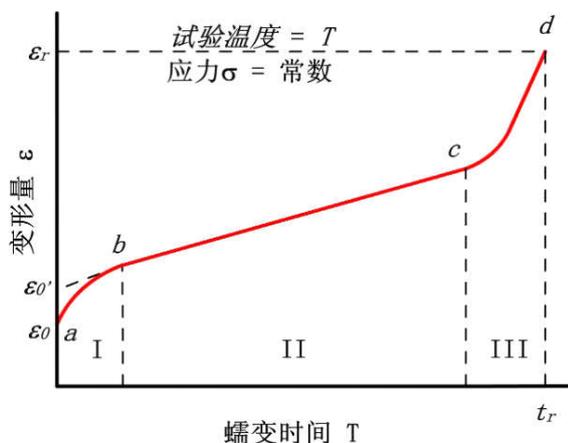


图4 蠕变曲线

1.3 冲刷裂纹(见图5)通常是由于设备突然受到高温或低温冲击而产生的,这种裂纹的扩展速度很快,可

以在短时间内导致设备失效或爆炸。而热冲击裂纹可以通过提高设备的热冲击强度、选用高韧性材料、优化设备结构设计等方法来预防。第四,热腐蚀裂纹是由于设备在腐蚀介质中运行而产生的。这种裂纹通常伴随着材料的腐蚀和剥落,可以通过选用耐腐蚀材料、进行表面处理、优化设备结构设计等方法来预防和修复。



图5 冲刷裂纹

#### 1.4 应力腐蚀裂纹

应力腐蚀裂纹(见图6)是承压特种设备在腐蚀介质和应力共同作用下出现的一种裂纹形式。这种裂纹通常起始于设备的表面,形成微观或宏观的裂纹。这些裂纹一般呈直线或曲线状延伸,长度由几微米到数厘米不等,并且裂纹的扩展方向通常与应力和腐蚀介质流动方向一致。同时,应力腐蚀裂纹的形成和扩展与材料的耐腐蚀性能、应力和变形等多种因素密切相关。在使用过程中,设备不可避免地会受到各种应力的作用,当这些应力超过材料的承受能力时,就会产生微小的裂纹。这些裂纹在应力的作用下会逐渐扩展,最终形成宏观的裂纹。



图6 应力腐蚀裂纹

## 2 承压特种设备裂纹预防应采取的措施

### 2.1 优化结构设计

在预防承压类特种设备裂纹的措施中，优化结构设计是一项核心策略。结构设计的目的在于避免潜在的裂纹源，通过以下具体方法来提高设备的抗疲劳性能：

(1) 通过合理布置设备结构和载荷分布，使载荷均匀地作用于材料上，避免结构不连续，最大限度减少应力集中，这有助于降低材料疲劳损伤的风险，并防止高应力导致的微裂纹形成<sup>[2]</sup>。(2) 针对容易产生裂纹的部位，可进行局部加强。例如，在结构的应力集中区域可以增加筋板、加强环等部件，以提高设备的抗疲劳性能。这些局部加强措施可以有效地提高设备的刚度和稳定性，防止裂纹的扩展。(3) 对于高温环境下运行的设备，应考虑不同材料的热膨胀系数的匹配。如果材料之间的热膨胀系数差异较大，应采取相应的结构设计措施来减少因热膨胀不均而产生的应力。(4) 针对具有腐蚀性介质的承压特种设备，结构设计时应考虑防腐措施。例如，可以采用耐腐蚀材料、增加防腐层、合理设计设备结构以减少介质滞留等方式，以降低因腐蚀导致的裂纹风险。同时，对于与腐蚀性介质接触的表面，可选用耐腐蚀涂层、衬里或特殊合金材料等，以提高设备的耐腐蚀性能。

### 2.2 做好原材料和加工工艺质量控制

原材料是承压特种设备的物质基础，其质量直接影响到设备的安全性和稳定性。比如：将焊接接头硬度值控制在HB200（布氏硬度）以下、有效的焊后热处理、降低加氢装置中介质的硫化氢浓度低于2%（质量分数），都将会有效降低焊缝发生硫化物应力腐蚀开裂的可能性。因此，在预防裂纹产生的过程中，必须高度重视原材料的质量控制。首先，在选择材料时，应根据设备的具体工况、使用环境、成本等因素进行综合考虑，选用符合实际需求的材料。其次，对于选用的原材料，必须进行严格的检验和复验，确保其符合相关标准和使用要求。此外，在制定加工工艺流程时，应根据设备的具体结构和工况要求，结合材料的性能特点进行综合考

虑，制定符合实际需求的加工工艺流程。并且，应该尽可能减少加工过程中的应力集中和变形情况，降低裂纹产生的风险。最后，在热处理过程中，应该严格控制加热速度、保温时间、冷却速度等参数，避免出现过热、过冷等现象导致材料损伤或变形。而在焊接过程中，应该选用合适的焊接工艺和焊接材料，避免因焊接应力过大或热影响区过大导致裂纹的产生。

### 2.3 严格落实使用单位安全主体责任

目前，国家市场监督管理总局颁布73、74号令，旨在要求特种设备生产单位及使用单位落实质量安全主体责任，配备特种设备（质量）安全总监、（质量）安全员，并严格落实各自职责，建立健全“日管控、周排查、月调度”工作机制并责任落实到人，这就要求使用单位应严格规范使用所用特种设备，在设备使用前，应对操作人员进行专业培训，确保其了解设备的结构、性能、操作和维护方法，通过培训和考核合格后才能获得操作设备的资格，从而确保其具备正确操作设备的能力。此外，加强设备的检修和维护保养工作是预防和修复裂纹的关键，应根据设备的实际运行情况和历史数据，制定合理的检修和维护保养计划，并定期进行设备的检查、维护和保养<sup>[3]</sup>。

### 结语

为了保障承压种设备的安全性和稳定性，通过对裂纹问题进行深入研究和分析，采取有效的预防和修复措施，从优化结构设计、做好原材料和加工工艺质量控制、严格按照使用规范使用设备以及做好设备检修维护保养等，可以降低裂纹的产生或抑制裂纹的扩展。

### 参考文献

- [1]张磊,向明,王海斗.探析承压特种设备检验中裂纹问题的解决方法[J].设备管理与维修,2021,(19):152-153.
- [2]董丽虹,郭伟,高治峰.基于振动红外热像技术的承压材料裂纹检测[J].锻压技术,2019,44(06):127-133.
- [3]马良帮,王海宝.关于锅炉压力容器压力管道检验中裂纹问题的探讨[J].科技风,2020,(05):173.