

断裂的概念

- 断裂，是物体在机械力、热、磁、声响、腐蚀等因素单独作用或联合作用下，其本身连续性遭到破坏，发生局部开裂或分裂成几部分的现象。前者称为局部断裂，后者叫做完全断裂。

断裂的分类

按断口的宏观形态特征分类

韧性断裂

➤韧性断裂也叫延性断裂，是金属材料在断裂前产生明显塑性变形，并且经常有缩颈现象的断裂。

脆性断裂

- 金属材料在断裂前无明显的塑性变形(变形量 $<5\%$)，多沿着晶界扩展而突然发生的一类断裂叫做脆性断裂，也称晶界断裂。

断裂的分类

按断口微观形态分类

➤ 穿晶断裂

➤ 晶间断裂

断裂的分类

按断裂的原因分类

- 过载断裂
- 疲劳断裂
- 其他断裂

• 过载断裂是指零件在一次静拉伸、静压缩、静扭转、静弯曲、静剪切或一次冲击能量作用下的断裂，也称一次加载断裂。

• 经历反复多次的应力作用或能量负荷循环后才发生断裂的现象叫作疲劳断裂。

一、过载断裂

- 当零件外加载荷超过其危险截面所能承受的极限应力时，零件将发生断裂，这种断裂称为过载断裂。

特征：

纤维区：凹凸起伏，呈纤维状。纤维区受三向应力作用出现微小空穴，空穴不断扩大、聚集，形成所谓韧窝，留下纤维状特征。

放射区：是由纤维区裂纹迅速扩散而形成的区域，主要特征是有放射状花纹。

剪切唇区：是由断裂最后阶段而形成的区域。

过载断裂的过程

- 裂纹核的产生阶段
- 微观裂纹的形成阶段
- 瞬时断裂阶段

特殊情况下过载断裂特征：

- 带应力集中槽的过载断裂
- 纯塑性金属断裂
- 在冲击弯曲载荷作用下的断裂
- 在扭转载荷作用下的过载断裂

二、疲劳断裂

- 疲劳破坏是指零件材料在交变载荷的长时间作用下产生裂纹和断裂的现象。
- 大小和方向随时间发生周期性变化的载荷称为交变载荷，所引起的应力称为交变应力。

(一) 疲劳破坏的机理

- (1)疲劳源;
- (2)裂纹扩展区;
- (3)最后断裂区域。

1. 疲劳裂纹的形成

- 1)零件缺陷产生裂纹
- 2)晶体滑移产生裂纹
- 3)相界面处产生裂纹
- 4)晶界面处产生裂纹

2. 疲劳裂纹的扩展

- 第一阶段 是疲劳微裂纹沿与正应力成大约 45° 角的最大切向应力的方向向金属内部扩展。
- 第二阶段 疲劳裂纹在经过第一阶段(在零件内部扩展至一定距离)后，将改变方向，改沿与正应力成直角的方向扩展。

3. 疲劳断裂

- (1)疲劳源大多分布在零件表面或近表面处，一般有1~2个。
- (2)疲劳裂纹扩展区有光滑状和贝纹状两种，光滑状是由于两个断面长期研磨的结果，而贝壳状是一道道疲劳条纹；
- (3)最后断裂区又称脆断区，零件瞬间突然断裂，断口金属颗粒比较粗大，有时断面的脆断区呈银白色。

(二) 疲劳断裂的特征

- (1) 零件是在交变载荷作用下，经过较长时间的使用。
- (2) 断裂应力小于材料的抗拉强度 σ_b ，甚至小于屈服强度 σ_s 。
- (3) 断裂是突然的，无任何先兆。
- (4) 断口形貌特殊，断口上有明显不同的区域。
- (5) 零件的几何形状、尺寸、表面质量和表面受力状态等均直接影响零件的疲劳断裂。

(三) 疲劳断裂的种类

- 1)按零件所受应力大小和循环周数分类
- 高周疲劳
- 低周疲劳

按零件工作环境和接触情况分类

- **热疲劳** 由于零件受热温度变化引起热应力的反复作用造成的疲劳破坏，称为热疲劳。
- **腐蚀疲劳** 零件或材料在腐蚀性介质中受到腐蚀，并在交变载荷作用下产生的疲劳破坏称为腐蚀疲劳。
- **接触疲劳** 是指零件接触表面在接触应力反复作用下产生麻点和金属剥落或表层压碎而剥落使零件失效。

按应力状态分类

- 分为弯曲疲劳、扭转疲劳、轴向拉压疲劳和复合疲劳等。

高温疲劳和热疲劳

- 1. 高温疲劳

- 高温疲劳是指零件在高于材料的 $0.5T_m$ （用绝对温度表示的熔点）或高于材料的再结晶温度时受到循环交变应力作用所引起的疲劳破坏。

高温疲劳具有以下特点：

- (1)高温下材料的疲劳极限随交变应力作用的循环周次的增加而不断降低。
- (2)高温疲劳总伴随发生蠕变。
- (3)高温疲劳对加载频率有较高的敏感性。

2. 热疲劳

• 1) 热应力

- 零件各部分受热温度不同，产生的变形不同。受热后，材料内部一部分金属对另一部分金属变形的约束或牵制而产生由温差引起的应力，即热应力。
- 定常热应力是指热应力不随时间而变化。
- 不定常热应力又分为高频热应力和低频热应力两种。

热疲劳

- 热疲劳是指零件在循环热应力反复作用下产生的疲劳破坏。
- **产生热疲劳必须满足两个条件：**
 - 一是温度循环变化；
 - 二是零件的热变形受到约束。

提高材料热疲劳的途径主要有：

- (1)尽可能地减少、甚至消除零件上的应力集中和应变集中。
- (2)提高材料的高温强度。
- (3)提高材料的塑性。
- (4)降低材料的热膨胀系数。

（五）柴油机主要部件的疲劳破坏

- （一）气缸盖的疲劳裂纹
 - 1. 气缸盖底面裂纹
 - 2. 气缸盖冷却面裂纹

曲轴的疲劳断裂

• 1. 弯曲疲劳裂纹

- 曲轴的弯曲疲劳裂纹一般发生在主轴颈（或曲柄销）与曲柄臂连接的过渡圆角处，并逐渐发展成横断曲柄臂的裂纹。

2. 扭转疲劳裂纹

- 曲轴在扭转力矩作用下产生交变的扭转应力，存在扭转振动时还会产生附加交变扭转应力，严重时就会产生扭转疲劳裂纹和断裂。
- 扭转疲劳裂纹通常发生在曲轴扭振节点附近的曲柄上。

3. 弯曲——扭转疲劳裂纹

- 曲轴的疲劳破坏也可能是由于弯曲与扭转应力共同作用造成的。

(六) 防止疲劳破坏的有效途径

- (一) 影响零件疲劳强度的因素
- 1. 应力集中
- 2. 表面状态和尺寸因素
- 3. 使用条件
- 1)控制载荷防止超载
- 2)防止过高的工作温度
- 3)注意环境介质影响
- 4. 零件材料的成分、组织和夹杂物

防止疲劳破坏的有效措施

- 1. 结构设计方面

- 1)减少局部应力集中
- 2)改进不合理的设计，以减少因设计引起的附加应力

- 2. 制造方面

- 1)提高毛坯质量
- 2)提高零件的表面粗糙度等级
- 3)提高零件表面的强度

3. 管理方面

- 1)加强润滑，注意检查曲轴主轴颈与轴瓦的配合间隙，防止间隙过大产生过大的附加应力。
- 2)定期检测曲轴臂距差，及时掌握曲轴轴线状态，监控主轴承下轴瓦的磨损情况，防止曲轴的弯曲疲劳破坏。
- 3)柴油机运转时，避免在转速禁区内持续运转。
- 4)加强扭振减振器的维护管理，保证其在运转中处于良好的工作状态。

脆性断裂

- 金属零件因制造工艺不正确，或因使用过程中遭有害介质的侵蚀，或因环境温度不适，都可能使材料变脆，从而使金属零件发生突然断裂。这种性质的断裂一般称为脆性断裂，也有称为环境断裂的。