

## 机械零件失效机理

变形失效：1、过量弹性变形失效

2、过量塑性变形失效

弹性变形：材料受外力作用发生尺寸和形状的变化，称为变形。外力去除后，随之消失的变形为弹性变形，剩余的（永久的）变形为塑性变形。弹性变形的重要特征是其可逆性，即受力作用后产生变形，卸除载荷后，变形消失。它是金属晶格中原子自平衡位置产生可逆位置的反映。在弹性变形过程中，不论是在加载期还是卸载期内，应力与应变之间都保持单值线性关系，即服从胡克定律。

过量弹性变形失效：当发生过大的弹性变形时，会发生失效，尤其是作用在细长结构时，这种失效需要使用有限变形弹性力学的非线性理论进行分析。

过量塑性变形失效：当受力试样受力达到某一特定值后，开始大规模塑性变形，这种现象为屈服。但是屈服现象未必会发生失效，这种现象通常发生在金属组件上，有些金属表现出很好的塑性，有些则表现出明显的应变硬化。机械组件如凸轮、齿轮、轴承通常会进行热处理以提高它们的屈服强度，以防止产生塑性变形。

断裂失效：1.脆性断裂失效

2.韧性断裂失效

3.环境介质引起的断裂失效

3.1 应力腐蚀开裂

3.2 氢脆

3.3 腐蚀疲劳断裂

4.疲劳断裂失效

4.1 低周疲劳断裂失效

4.2 高周疲劳断裂失效

4.3 腐蚀疲劳断裂失效

4.4 热疲劳断裂失效

5 冲击断裂失效

6 蠕变持久断裂失效

韧性断裂是金属材料断裂前产生明显宏观塑性变形的断裂。这种断裂有一个缓慢的撕裂过程，在裂纹扩展过程中不断地消耗能量。金属材料的韧性断裂不及脆性断裂危险，在生产实践中较少出现（许多机件当产生较大塑性变形后就已经失效了）。

脆性断裂是突然发生的断裂。断裂前基本不发生塑性变形，没有明显征兆。

环境断裂：在外应力作用下导致裂纹形核和扩展直至试样断裂。其本质是因为环境因素(气相、液相腐蚀介质或氢)的作用引起形变和断裂的基元过程，从而导致应力脆断，因而以这种形式破坏失效的现象统称为环境断裂。

应力腐蚀断裂：金属在拉应力和特定的化学介质共同作用下，经过一段时间后所产生的低应力脆断现象。

氢脆：由于氢和应力的共同作用而导致金属材料产生脆性断裂的现象。

腐蚀疲劳：机件在疲劳和腐蚀联合作用下产生的断裂。

疲劳：机件和构件在服役过程中，由于承受变动载荷而导致裂纹萌生和扩展直至断裂的全过程。疲劳断裂时并无明显的宏观塑性变形，断裂前没有明显的预兆，



而是突然的破坏，引起疲劳断裂的应力很低，常低于静载时的屈服强度；疲劳破坏能清楚地显示出裂纹的发生、扩展和最后断裂三个组成部分。

高周疲劳：小型试样在变动载荷试验时，疲劳断裂寿命不小于  $10^5$  周次的疲劳过程。

低周疲劳：金属在循环载荷作用下，疲劳寿命为  $10^2$ — $10^5$  次的疲劳断裂。

热疲劳：金属材料由于温度梯度循环引起的热应力循环（或热应变循环），而产生的疲劳破坏现象，称为热疲劳。

冲击断裂：脆性、塑性

蠕变持久断裂：材料在长时间的恒温恒应力作用下缓慢产生塑性变形的现象称为蠕变。零件由于这种变形而引起的断裂称为蠕变断裂。

磨损失效：机件表面相接触并作相对运动时，表面逐渐有微小颗粒分离出来形式磨屑（松散的尺寸与形状均不相同的碎屑），使表面材料逐渐流失（导致机件尺寸变化和质量损失）、造成表面损伤的现象即磨损。磨损主要是力学作用引起的，但磨损并非单一力学过程。引起磨损的原因既有力学作用，也有物理和化学作用，因此，摩擦副材料、润滑条件、加载方式和大小、相对运动特性（方式和速度）以及工作温度等诸多因素均影响磨损量的大小。

黏着磨损、磨粒磨损、冲蚀磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损、微动磨损

黏着磨损：当摩擦副表面在相互接触的各点处发生“冷焊”后，在相对滑动时使一个表面的材料迁移到另一个表面上所引起的磨损。

黏着磨损机理：摩擦副表面在重载条件下工作时，由于润滑不良、相对运动速度高，会产生大量的热，使摩擦副表面的温度升高，材料表面强度降低。在这种情况下，承受高压的凸起部分便会相互黏着，发生冷焊。当两表面进一步相对滑动时，黏着点便发生剪切及材料迁移现象，通常材料的迁移是由较软表面迁移到较硬表面，在载荷和相对运动作用下，两接触表面重复进行着黏着-剪断-再黏着的循环过程，直到最后从表面上脱落下来，形成磨屑。

微动磨损：两个接触体做相对微振幅振动而产生的一种磨损。它发生在名义上相对静止，实际上存在循环的微幅相对滑动的两个紧密接触的表面上，其滑动幅度非常小，一般为微米量级。微动磨损不但使配合精度下降，紧配合件配合变松，损坏配合表面的品质，还可能导致疲劳裂纹的萌生，从而急剧降低零件疲劳强度。微动磨损机理：当两接触表面具有一定压力并产生小幅度振动，接触面上的微凸体在振动冲击力作用下，产生强烈的塑性变形和高温，发生相互黏着现象。在随后的振动中，黏着点会被剪断，黏着物在冲击力作用下脱落，脱落的粘着物与被剪断的表面因露出新鲜表面会迅速氧化。当两接触面间配合较紧时，磨屑不易从中排除，留在结合面上起磨料作用，这时候，磨料磨损代替了黏着磨损。随着表面进一步磨损和磨料的氧化，磨屑体积膨胀，磨损区间扩大，磨屑向为微凸体四周溢出，最后原来的微凸体转化为麻点坑，随着振动过程的继续，类似的过程也会在邻近区域发生，使麻点坑连城一片，形成大而深的麻坑。微动磨损是一种兼有黏着磨损，腐蚀磨损，磨料磨损的复合磨损。



**疲劳磨损：**摩擦副材料表面上局部区域在循环接触应力作用下，产生疲劳裂纹，分离出微片或颗粒的一种磨损形式。根据摩擦副间的[接触和相对运动方式](#)可将疲劳磨损分为滚动接触疲劳磨损和滑动接触疲劳磨损两种形式。实际工作中纯滚动疲劳磨损很少，大多数情况下为滚动加滑动的磨损。

**疲劳磨损机理：**1.滚动 滚动疲劳磨损会使滚动轴承、传动齿轮等有相对滚动的摩擦副表面间出现点蚀和剥落现象。当一个表面在另一个表面作纯滚动或滚动加滑动时，最大切应力发生在亚表层。在力的作用下，亚表层内的材料将产生错位运动，错位在非金属夹杂物及晶界等障碍处形成堆积。由于错位的相互切割，材料内部产生空穴，空穴集中形成空洞，进而变成原始裂纹。裂纹在载荷作用下，逐步扩展，最后折向表面。由于裂纹在扩展过程中相互交错，加上润滑油在接触点处被压入裂纹，表层将产生点蚀或剥落。当原始裂纹较浅时，表现为点蚀，若原始裂纹在表层以下大于 200 微米，表层材料呈片状剥落。

**滑动接触疲劳磨损机理**

任何固体摩擦表面都存在宏观或微观不平性，因而产生表面接触不连续性。在相对运动时，作用于摩擦表面上的法向载荷会使表面产生压平或压入，使触点区产生相应的应力和应变，在摩擦运动的反复作用下，触点处结构、应力状态会出现不均匀、应力集中现象，从而引发裂纹，最终使部分表面材料以微粒形式脱落，形成磨屑。

**磨料磨损：**摩擦副的一个表面上硬的凸起部分和另一表面接触，或两摩擦面间存在着硬的质点，如空气中的尘土、磨损造成的金属微粒等，在发生相对运动时，两个表面中的一个表面的材料发生转移或两个表面的材料同时发生转移的磨损现象。

**磨料磨损机理：**磨料磨损的过程实质上是零件表面在磨料作用下发生塑性变形，切削和断裂的过程，磨料对零件表面的作用力分为垂直于表面和平行于表面的两个分力。垂直分力使磨料压入材料表面，在其反复作用下，塑性好的材料表面产生密集的压痕，最终疲劳破坏，脆性材料，表面不变形就产生脆性破坏。平行分力使磨料向前滑动，对表面产生耕犁和切削作用。对于塑性材料，以耕犁为主，磨料会在摩擦表面上切下一条切屑，并使犁沟两侧材料隆起，对于脆性材料以微切作用为主，磨料会从表面上切下许多碎屑，塑性材料在反复耕犁后，也会因为冷作硬化效应变脆，由以耕犁为主转化为微切削为主，随着零件表面材料的脱离于表面性能的不断劣化，最终导致表面破坏和零件失效。