

机械零件耐腐蚀的可靠性理论研究

史翠竹

(纽卡特行星减速机(沈阳)有限公司 辽宁 沈阳 110143)

摘要: 机械零件在长期使用过程中, 极易受到外界的影响而出现腐蚀情况, 极大降低了机械零件的使用寿命, 影响了机械正常使用, 也影响了机械的经济效益。因此, 需在零件生产制造时做好耐腐蚀处理, 通过提升其可靠性, 来提升耐腐蚀水平。根据腐蚀的不同类型和影响因素, 可利用可靠性理论来推导耐腐蚀可靠度的计算公式, 并预测零件剩余使用寿命。

关键词: 机械零件; 耐腐蚀; 可靠性; 使用寿命; 理论研究

1 腐蚀的类型、机理和影响因素

1.1 类型

1.1.1 全部腐蚀或均匀腐蚀

其指的是腐蚀呈均匀状分布在零件的表面之上。从零件重量方面看, 这表示材料内部遭到了巨大的破坏; 但从工程上看, 这类腐蚀并不会对计算腐蚀公差产生重要影响。因为腐蚀速度是已知的, 所以在设计的过程中已经将其计算进去。

1.1.2 局部腐蚀

局部腐蚀包括很多类型, 如点蚀、晶间腐蚀、缝隙腐蚀、选择腐蚀或者电偶腐蚀、剥蚀等。在各种局部腐蚀中, 点蚀较难预测, 在检查过程中也极易忽略, 更难在设计上降低其发生几率; 晶间腐蚀一般出现在晶粒边缘, 可顺着晶粒边缘继续发展, 在外观上很难看出来, 但会极大地降低零件性能; 缝隙腐蚀一般由零件所处环境的滞留溶液所引起; 电偶腐蚀在电解质的存在下经常发生, 其原理是由于不同材质的金属材料互相接触而产生的。选择腐蚀是在零件腐蚀过程中有选择性的从合金中去除某种元素而产生的腐蚀情况; 剥蚀一般是由于零件受到挤压或者由于别的零件上出现的材料隆起和分层的剥离现象。

1.1.3 应力腐蚀

应力腐蚀包括腐蚀断裂、氢致开裂、微振腐蚀、空泡腐蚀、磨损腐蚀、腐蚀疲劳等。其中, 应力腐蚀断裂指的是由于腐蚀介质和拉应力共同存在而导致的腐蚀现象; 氢致开裂是由于氢气与合金之间发生化学反应, 导致合金变为粉末状, 从而失去原有性能而导致的断裂; 微振腐蚀是由于零件长期受到震动而产生的腐蚀现象; 磨损腐蚀是由于电化学腐蚀和电解质以及腐蚀表面之间相对运动而产生力学作用, 长时间累积而出现的破坏情况; 腐蚀疲劳指的是零件在腐蚀介质和交变应力共同作用之下产生的破坏形式。

1.2 机理

1.2.1 化学腐蚀

指的是零件的金属面和非电解质之间发生的纯化学反应而导致的破坏现象。其反应特点为零件金属表面的金属原子和非电解质中包含的氧化剂之间产生的氧化还原而形成的腐蚀。在腐蚀过程中, 电子传递可通过氧化剂和金属之间

来直接进行, 不会直接产生电流, 但在实际操作中, 零件出现纯化学腐蚀的现象一般较少。

1.2.2 电化学腐蚀

指的是零件金属面和电解质之间产生的电化学反应导致的破坏。其原理是电偶电池出现短路所造成的腐蚀现象。在操作过程中, 电化学腐蚀十分常见, 零件由于受到土壤、空气和海水的腐蚀而产生的破坏都属于电化学腐蚀, 受到电解质溶液的腐蚀也算作电化学腐蚀。

1.2.3 物理腐蚀

指的是金属表面由于单纯的物理溶解作用而出现的破坏。物理腐蚀和化学腐蚀不同, 其是由于受到溶解作用而产生合金, 或者是金属液体由于渗透到晶界之中而产生的, 许多金属在高温熔盐、熔碱及液态金属中可发生这类腐蚀。

1.3 影响因素

1.3.1 零件材料

零件材料特性可对零件的腐蚀产生极大的影响, 如零件的标准电极和电位、合金元素、超电压大小和钝性、复相组织、变形和热处理加工工艺和材料表面状态等各类因素。

1.3.2 环境因素

环境因素指的是零件所处环境的酸碱值、温度、流速、压力、浓度、微量氧离子和氯离子以及金属高价离子等各类影响因素。并且, 零件所处环境的状况并不是一成不变的, 其会随着外界环境的变化而变化。

2 机械零件耐腐蚀的可靠性理论研究

2.1 机械零件耐腐蚀可靠性理论设计

腐蚀一般来说可分为局部腐蚀和均匀腐蚀, 从均匀腐蚀方面来看, 腐蚀会引起厚度减少, 直到降低到无法确保零件的允许厚度, 这就是零件寿命。在实际操作中, 并不存在完全均匀腐蚀现象, 常见的腐蚀为局部腐蚀, 如缝隙腐蚀、应力腐蚀、孔蚀和晶间腐蚀等。对于零件腐蚀来讲, 腐蚀深度的最大值和耐腐蚀寿命最小值才是腐蚀的重点。在计算可靠性的过程中, 一般是以计算耐腐蚀的可靠度 R 和可靠寿命 t 为主。

2.2 机械零件耐腐蚀可靠度数学模型

最大零件腐蚀深度 X 服从极大值分布, 其累计分布函数 CDF 和密度函数 pdf 为 PDF: $f(x) = \frac{1}{n} e^{-\frac{1}{n}(x-k)} \times F(x)$

$$CDF: F(x) = e^{-\frac{1}{n}(x-k)}$$

在该公式中,

$$E(X) \approx k + 0.57722 \pi,$$

$$D(X) \approx 1.64493 \pi$$

腐蚀深度是随机变量, 和时间关系较为紧密, 以下将耐蚀的可靠度 R 氛围两个阶段来进行计算, 动态阶段和静态阶段:

2.2.1 时间为 t1 时腐蚀深度 (X,SX), 变异系数 VX 和腐蚀度 r 的各项计算方法

假设在测试中得出某零件通过一定时间之后, 其表面腐蚀深度数据为 X1、X2、X3...Xn, 则在实践为 t1 时均值和标准差为 $X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ $S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}$

假设腐蚀深度和腐蚀时间为线性关系, 那么腐蚀速度则是确定值 $r = \frac{x}{t_1}$, 变异系数也是确定值 $V_x = \frac{S_x}{x}$ 2.2.2 时间为 t2 时可靠度相关计算

时间为 t2 时零件耐蚀的可靠度 $R = e^{-\frac{1}{n}(S_{max-k})}$, 其中, X_{max} 是零件所允许的腐蚀深度最大值, 在耐蚀可靠性设计中可作为 X_{max} = S0 - Smin 其中 0 为容器外壁原始厚度, min 为在保证性能的前提下容器外壁的最小厚度。

根据矩法公式, E(X)=X,D(X)=Sx2 将其代入最大极值公式可得出 $\begin{cases} k = X - 0.450057S_x \\ n = 0.779698S_x \end{cases}$, t2 时间的 (X,S) 为 X=r × t2 S_x=X × V_x

由此可以得出解决腐蚀这一类动态问题的一种全新思路和科学方法: 首先, 可得出腐蚀深度 X 的统计数和变异系数 Vx 的变化速度, 然后可将动态统计量转变为静态统计量, 按照静态模型来进行零件耐蚀可靠性设计。

2.3 机械零件耐蚀寿命数学模型

定义: 已知零件耐蚀可靠度 R(t_r)=P(t>t_r)=R0, 其所对应的可靠度 R0 的时间被称作零件可靠寿命, 可记为 t_r。

$$t_r = R^{-1}(t)$$

对于零件腐蚀寿命来讲, 在实际操作中, 其重点为其最小值, 因此, 腐蚀寿命应与 I 型极小值相吻合。其 pdf 和 CDF 分别为:

$$PDF: f(t) = \frac{1}{nt} e^{-\frac{1}{nt}(t-kt)} e^{-\frac{1}{n}(t-kt)}$$

$$CDF: F(t) = 1 - e^{-\frac{1}{nt}(t-kt)}$$

在该公式中, t 为零件腐蚀寿命; π 为尺度参数; kt 为其位置参数。

I 型极小值分布的方差和数学期望分别为

$$E(t) \approx kt - 0.57722nt \quad D(t) \approx 1.64493nt^2$$

腐蚀寿命统计量为: $t = \frac{x}{r}$

变异系数取 $V_t = 0.1 - 0.3$

$$St = tV_t$$

由以上矩形算法可得出 $\begin{cases} kt = t + 0.450057St \\ nt = 0.779698St \end{cases}$

可以计算得出零件辐射寿命可靠度 R 为 $R(t) = 1 - F(t) = e^{-\frac{1}{nt}(t-kt)}$

则可以计算出可靠度 R 为 $t_r = kt + nt \ln[1 - R]$

3 结语

由于机械零件的腐蚀过程和影响因素有着极大的不稳定性及模糊性, 若利用传统随机变量来进行计算会存在着较大误差, 因此, 在计算其可靠性和腐蚀寿命时可依据模糊可靠法来进行相关计算。其可极大地提升机械零件耐蚀的可靠性, 科学处理各项变量所带来的随机性问题, 得出零件耐蚀概率即模糊可靠度, 可对预测零件剩余寿命提供依据, 有着极为重要的现实意义和应用意义。

参考文献:

[1] 李峰珠. 机械零件的可靠性分析[J]. 南方农机, 2020, 51(21): 137-138+141.
 [2] 王建雄, 李雪松. 电磁继电器防腐蚀技术[J]. 机电元件, 2020, 40(05): 59-63.
 [3] 谢飞舟, 刘一凡, 许春华, 张勇兵. 轻量化耐蚀复合材料铺叠模制造技术研究[J]. 模具工业, 2020, 46(08): 72-75.

