

文章编号: 1000-6893(2000)04-0349-03

求任意腐蚀损伤的 T-H 曲线

张福泽

(北京航空工程技术研究中心, 北京 100076)

METHOD FOR DEDUCING T-H CURVE OF ARBITRARY CORROSION DAMAGE

ZHANG Fu-ze

(Beijing Aeronautical Technology Research Centre, Beijing 100076, China)

摘 要: 给出一种在腐蚀日历寿命计算中,任意腐蚀损伤的 T-H 曲线的求解方法。该方法求解独特,制作简便,经济适用,只要有 3 条以上的标准腐蚀损伤 T-H 曲线,就可导出任意腐蚀损伤的 T-H 曲线,供金属日历寿命预测使用。

关键词: 日历寿命; 任意腐蚀损伤; T-H 曲线

中图分类号: V215.4; TG172 文献标识码: A

Abstract: This paper studies out a method for deducing the T-H curve of arbitrary corrosion damage which must be used in calculating the calendar life of metal corrosion. The method is original on deducing, easy to draw up and adapted for use economically. As long as there are three standard T-H curves of corrosion damage as mentioned above, the T-H curve of arbitrary corrosion damage may be deduced to use in calculating the metal calendar life.

Key words: calendar life; arbitrary corrosion damage; T-H curve

国内外,在飞机、轮船等所有机械日历寿命确定中,至今仍没有一种适合工程应用的理论和办法,因此各国都是靠经验和半经验给出日历寿命指标,造成潜在的不安全因素。文献[1]给出一种线性累积腐蚀损伤法则,利用这个法则,可以像预计疲劳寿命那样预计飞机等机件的日历寿命,在预计日历寿命方面迈出了可喜的一步。文献[1]提到,在预计腐蚀损伤机件的日历寿命时,必须有相应腐蚀损伤的 T-H 曲线(腐蚀温度-时间曲线),但如何求这个相应腐蚀损伤曲线,文中并没给出。由于预计的腐蚀机件损伤 D(面积、深度、失重等)是多种多样的,在进行各种金属材料的 T-H 曲线测试中,每种金属材料只能试几个标准腐蚀损伤 D 的 T-H 曲线,不可能满足工程各种腐蚀损伤计算的需要。因此,必须解决适合任意腐蚀损伤 D 的 T-H 曲线的问题,否则,文献[1]的线性累积腐蚀损伤法则是无法计算准确的。本文从标准 T-H 曲线制作过程入手,研究出求解任意腐蚀损伤 T-H 曲线的方法,以满足腐蚀日历寿命计算使用。

1 金属腐蚀损伤的标准 T-H 曲线

文献[1]已详细地通过论证和试验数据的验

证,证明金属在腐蚀环境下,发生电化学腐蚀时,存在着腐蚀温度与腐蚀时间的相对关系,即 T-H 曲线关系是存在的,这种关系曲线规律的发现和线性累积腐蚀损伤法则的建立,给金属腐蚀日历寿命计算带来了希望。但尚需进一步做各种金属材料的腐蚀损伤的标准 T-H 曲线,这像疲劳领域中的 S-N 曲线一样重要,它是一项探索性质的基础工作。它的制作的简要过程是:

- (1) 腐蚀试样 尺寸大小根据腐蚀箱大小选定,除去表面防护层并编号。
- (2) 热处理 要求与实际使用状态一致。
- (3) 腐蚀试验前处理 除油、打磨、去离子水冲洗、干燥。
- (4) 腐蚀环境谱 最好模拟机件的使用环境,也可用加速腐蚀谱。
- (5) 根据机件使用要求 制定不同腐蚀损伤 D_i 的标准尺寸(如腐蚀最大深度)。
- (6) 腐蚀试验 用机件的使用腐蚀谱试验或用加速腐蚀谱进行加速试验(EXCO 试验)。
- (7) 对腐蚀试验结果进行统计分析和数据处理 首先研究腐蚀损伤 D_i (如最大深度)的分布规律^[2],然后根据分布规律进行数据处理,给出带有高存活率的数据。
- (8) 绘制带有高存活率的腐蚀标准 T-H 曲线。

由于文献[1]用电化学反应式论证出金属腐蚀温度 T 与时间存在着图 1 的规律, 用 32 种金属腐蚀试验数据, 验证了图 1 中 T 与 H 的变化规律是存在的。因此, 本文对它的具体绘制就不再赘述, 而直接引用它的规律曲线, 如图 1。

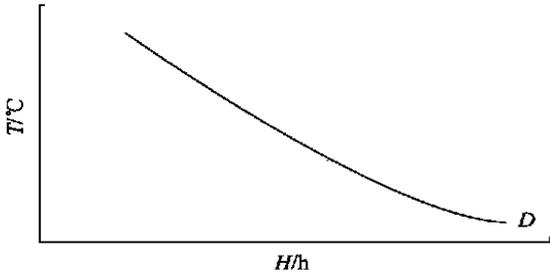


图 1 腐蚀损伤 D 的标准 T-H 曲线示意图

2 任意腐蚀损伤的 T-H 曲线

由于机件在使用中的腐蚀损伤是多种多样的, 在试验室里试验出再多的标准 T-H 曲线, 也不可能满足工程上带有任意损伤机件的日历寿命计算的需要, 为此, 本文研究出用少数几条试验的标准损伤 T-H 曲线, 推导出任意损伤的 T-H 曲线的方法。其方法是:

(1) 假设对某金属试样有 4 个级别的腐蚀损伤 (D_1, D_2, D_3, D_4), 令 $D_1 > D_2 > D_3 > D_4$, 为了使 4 条标准 T-H 曲线在图上是等间距的平行线, 并令 $D_1 - D_2 = D_2 - D_3 = D_3 - D_4$ 。

(2) 根据这 4 个级别的腐蚀损伤要求, 并按本文第 1 部分标准 T-H 曲线制作方法, 绘制标准 T-H 曲线。由于文献[1]验证了同一金属试样在某一腐蚀环境下, 在一定腐蚀温度范围内, 腐蚀温度 T () 与腐蚀时间 H (h) 有一段线性关系, 又由于有 $D_1 - D_2 = D_2 - D_3 = D_3 - D_4$ 的假设, 因此可以绘制出理想化的 4 条等间距平行的标准 T-H 曲线, 如图 2。

(3) 在图 2 上取 4 个温度点 (T_1, T_2, T_3, T_4) 并令 $T_1 > T_2 > T_3 > T_4$, 通过这 4 个温度点分别作平行于 H 轴的平行线, 并与 D_1, D_2, D_3, D_4 各损伤的 T-H 曲线相交, 取出各交点的 16 个 H_{ij} 值; 即 $H_{11}, H_{12}, H_{13}, H_{14}, H_{21}, H_{22}, H_{23}, H_{24}, H_{31}, H_{32}, H_{33}, H_{34}, H_{41}, H_{42}, H_{43}, H_{44}$ 。其中: 角注第 1 项代表温度 T 的级别; 第 2 项代表损伤 D 的等级, 如 H_{21} 是指在第 2 级温度 T_2 下, 达到第 1 级损伤 D_1 时的腐蚀小时数 H。

(4) 取一个 D 与 H 的坐标系, 如图 3。在 D 轴上取 D_1, D_2, D_3 和 D_4 点, 并分别作平行于 H 轴

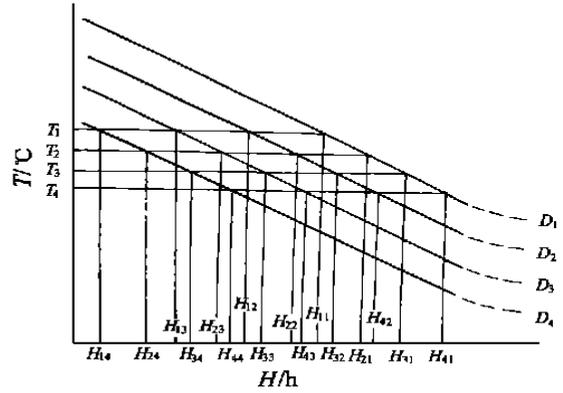


图 2 4 个腐蚀损伤 ($D_1 > D_2 > D_3 > D_4$) 的标准 T-H 曲线

的平行线, 与 16 个 H_{ij} 值的垂线相交, 其交点为 1, 2, 3, 4, ..., 16。现在分析 1, 2, 3, 4 点与温度的关系, 这 4 点对应的小时数分别是 $H_{11}, H_{12}, H_{13}, H_{14}$, 它们角注的第 1 项都是 1, 说明它们同处于第 1 级温度线上, 该 4 点连线, 即是第 1 级温度线 T_1 , 同样 5, 6, 7, 8 点连线为 T_2 温度线, 9, 10, 11, 12 点连线为 T_3 温度线, 13, 14, 15, 16 点连线为 T_4 温度线。这样就得到了腐蚀损伤 D、腐蚀时间 H 和腐蚀温度 T 三者间的关系图, 本文称它为等温腐蚀图。有了它就可以转化出任意损伤的 T-H 曲线, 因此它有重要使用意义。

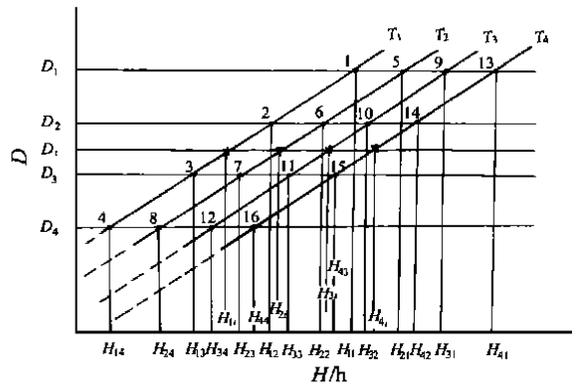


图 3 4 条等温 ($T_1 > T_2 > T_3 > T_4$) 腐蚀图

(5) 在图 3 的 D 轴上任选一点 D_i , 通过 D_i 点作平行于 H 轴的直线, 分别与 T_1, T_2, T_3, T_4 4 条等温度线相交, 4 交点分别对应腐蚀时间 H_{1i}, H_{2i}, H_{3i} 和 H_{4i} 。它们的物理含义是, 想得到 D_i 的腐蚀损伤量, 用 T_1 温度腐蚀需要 H_{1i} 小时, 用 T_2, T_3, T_4 温度腐蚀分别需 H_{2i}, H_{3i}, H_{4i} 小时。

(6) 再取 1 个 T-H 坐标系, 如图 4。在图 4 上, 分别把 T_1, T_2, T_3, T_4 和 $H_{1i}, H_{2i}, H_{3i}, H_{4i}$ 画在坐标系中, 并把它们的 4 交点连线, 即得任意腐蚀损伤 D_i 的 T-H 曲线。有了这条曲线, 就可用文献[1]给出的线性累积腐蚀损伤公式(1), 进行具

有任意腐蚀损伤量 D_i 的金属结构的日历寿命计算了。

$$K \prod_{i=1}^m \left(\prod_{j=1}^k \frac{h_j}{H_j} \right) = 1 \quad (1)$$

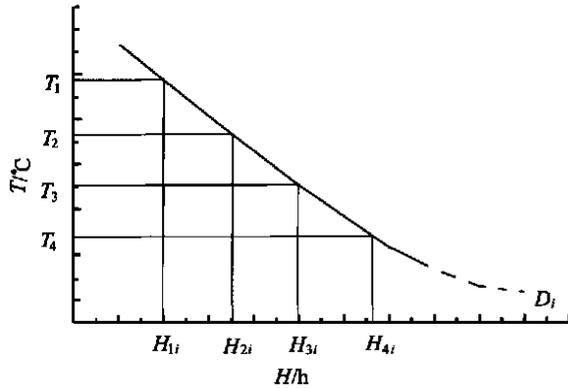


图4 任意腐蚀损伤 D_i 的 T-H 曲线

式中: H_i 为在 T-H 曲线中, 第 i 级温度下, 腐蚀到临界损伤 D_c 时的小时数; h_i 为在使用温度-时间谱中, 第 i 级温度对应的小时数; K 为使用温度-时间谱的总循环块数; m 为腐蚀介质的种类数; K 为使用温度-时间谱的级数。

3 结论

(1) 本文给出一种用金属腐蚀损伤的标准 T-H 曲线推导任意损伤的 T-H 曲线的简单有效方法。这一研究成果继文献[1]之后, 把金属腐蚀日历寿命计算又向前推进一步, 使金属腐蚀日历寿命计算变成实现, 这是一项有实用价值的成果。

(2) 本文通过研究, 得到金属腐蚀损伤 D 、腐蚀时间 H 和腐蚀温度 T 三者存在着如图3的分布关系。这个关系, 揭示了它们三者间的内在规律, 如金属在某一恒温 T_1 下进行腐蚀试验, 从图3可以看出, 要想得到较大的腐蚀量 D_1 , 就需要较长的腐蚀时间 H_{11} , 相反, 要想得到较小的腐蚀量 D_4 则需要较短腐蚀时间 H_{14} 。从图3还可以看出, 金属在不同温度 ($T_1 > T_2 > T_3 > T_4$) 下进行腐蚀试验, 要想得到相同腐蚀量 D , 就需不同腐蚀时间 H , 温度高需要腐蚀时间少, 温度低需要腐蚀时间长, 在一张图上, 把这3个参量之间关系表示

清楚。这3个参量关系图的最大功用就是通过它可以求得任意腐蚀量 D 的 T-H 曲线, 为金属结构腐蚀日历寿命计算铺平了道路。本文称此图为等温腐蚀图。

4 讨论与说明

(1) 本文研究的金属腐蚀损伤 T-H 曲线范围仅限于文献[1]验证过的直线部分, 而 T-H 曲线的曲线部分本文没有涉及, 因此图中用虚线代之。由于这部分是处于低温接近不腐蚀情况, 因此需要很长时间和较多的试件的腐蚀试验才可能找出临界点和分布规律, 有待进一步研究。不过, 用线性累积腐蚀损伤理论计算金属腐蚀日历寿命, 有了 T-H 曲线的直线部分已可以计算了。

(2) 由于本文属于纯方法研究, 因此在求解任意腐蚀损伤 D_i 的 T-H 曲线过程中, 为了使各转化图更清晰, 没有用真实腐蚀试验的曲线数据(从物理概念上讲, 图3上各条线应是通过坐标原点的射线), 而用完全理想化的平行直线段, 这不影响求解方法的真实性和正确性。如果有多条等温腐蚀试验曲线, 而且很有规律, 也可直接引用。

参 考 文 献

- [1] 张福泽. 金属机件腐蚀损伤日历寿命的计算模型和确定方法[J]. 航空学报, 1999, 20(3): 75~79.
- [2] 谢俊杰, 李荻, 胡艳玲, 等. LY12CZ 和 7075T 7351 铝合金在 EXCO 溶液中腐蚀动力学的统计研究[J]. 航空学报, 1999, 20(3): 34~38.

作者简介:



张福泽 1936年3月生, 教授, 中国工程院院士。主要研究飞机结构疲劳寿命、日历寿命以及它们的可靠性, 创立了裂纹形成寿命和裂纹扩展寿命类比计算理论模型, 建立了“日历寿命预计数学模型”, 系统地研究了飞机结构的疲劳分散系数和取值, 研究出“以中值寿命代表起落编制飞机中值寿命谱”的

新方法, 深入研究了“随机载荷谱和程序块载荷谱对疲劳分散性的影响”, 研究出“系列飞机定寿法”为我国数千架多系列大机群飞机定寿奠定了基础, 发表论文 55 篇, 获国家和部级二等奖以上科技奖共 12 项。