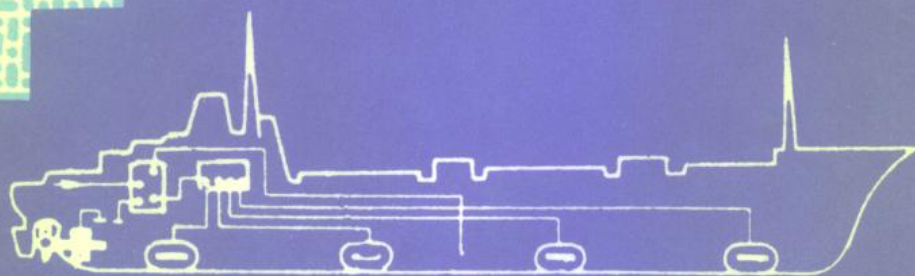


防腐蚀设计与工程

章葆澄 朱立群 周 雅 编著



北京航空航天大学出版社

79.12.11

乙.10

431730

防腐蚀设计与工程

章葆澄 朱立群 周 雅 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书包括两篇。第一篇介绍金属材料及结构在无应力作用下的腐蚀类型和有应力同时作用下的腐蚀类型,以及防腐蚀工程设计原则;电化学保护系统设计及实施;重要钢材、铝、镁、钛金属材料的防护涂层系统设计。第二篇介绍电镀、涂装车间设计与工程,包括工艺设计;电镀、涂装生产设备的选型、设计和计算;铝合金车轮喷粉及铝合金车门内板电泳生产线实例设计;车间平面布置和车间用水、电、汽的消耗计算以及废水废气处理。

本书是高等工科院校腐蚀与防护专业的教材,也可供机械设计及制造、材料、化工等相关专业的教师、学生及科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

防腐蚀设计与工程/章葆澄等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,1998. 9

ISBN 7-81012-785-3

I. 防… II. 章… III. 金属-防腐 IV. TG174.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 17745 号

防腐蚀设计与工程

章葆澄 朱立群 周 雅 编著

责任编辑 刘宝俊

责任校对 张韵秋

北京航空航天大学出版社出版发行

(北京市学院路 37 号 100083, 发行部电话 62015720)

涿州新华印刷厂印装 各地书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:13.5 字数:345 千字

1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷 印数:1 000 册

ISBN 7-81012-785-3/TB·063

定价:13.00 元



前 言

为了提高工科类高等院校本科生的水平,加强设计与工程方面的基础知识,我们腐蚀与防护专业设立了一门“防腐蚀设计与工程”专业课,并定为本科生的必修课程。本书是根据该课程教学大纲的要求,结合航空航天工业的特点,在章葆澄原编《防腐蚀设计与工程》教材的基础上,又增加了一些必要的章节重新编写而成的。

全书共分为两篇。第一篇主要阐述金属材料与构件在腐蚀环境中所发生的各种腐蚀类型及防腐蚀工程设计。其目的是使学生深刻理解“防腐蚀工作应从零件的图纸设计开始”这一概念,及设计在防腐蚀工程中的重要意义。同时简单介绍了金属材料及结构的电化学防护方法和防腐蚀涂层系统设计。第二篇选择了与本专业教学、科研、生产联系最为密切的电镀、涂装车间为典型,通过车间的工艺设计,基本设备设计及选择,车间平面布局及车间水、电、汽的消耗以及三废处理等主要项目的设计与工程内容,使学生掌握一定的工程基础知识。学生应在学完电化学基础、金属腐蚀理论、金属防护原理及工艺的基础上,再学习本课程。

本书由北京航空航天大学与南昌航空工业学院合编。第一篇中第一章~第四章、第二篇中第六章~第九章由朱立群编写;第二篇中第十章~第十二章由周雅编写;第一篇中第五章由章葆澄编写并主编全书。在编写过程中引用了许多参考书,特向有关作者致谢。

本书承蒙韩寿山研究员悉心审阅,提出了宝贵意见,特此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1998年2月

目 录

第一篇 防腐蚀工程系统设计

第一章 绪 论

1.1 金属腐蚀及其破坏形式	1
1.2 防腐蚀设计应考虑的因素及其原则	6
1.3 防腐蚀设计举例	12

第二章 无应力作用下腐蚀类型的防腐蚀设计

2.1 防接触腐蚀设计	14
2.2 防缝隙腐蚀设计	17
2.3 防沉积腐蚀设计	22
2.4 其他类型的防腐蚀设计	25

第三章 有应力负荷同时作用下腐蚀类型的防腐蚀设计

3.1 防应力腐蚀断裂设计	28
3.2 防腐蚀疲劳破坏设计	33
3.3 防摩擦腐蚀破坏设计	36
3.4 防磨损腐蚀破坏设计	38

第四章 电化学保护系统设计与实施

4.1 阴极保护系统设计与实施	42
4.2 阳极保护系统设计与实施	52

第五章 航空材料及其防腐蚀涂层系统设计

5.1 飞机的使用环境及破坏特征	59
5.2 常用航空材料及其防护系统	62
5.3 飞机的热环境影响及防护系统	73
5.4 飞机的密封与排水设计	79

第二篇 电镀、涂装车间设计与工程

第六章 车间设计基础

6.1 设计内容与方法	87
6.2 电镀层和转化膜层的选择依据和分类	88
6.3 镀层使用的条件和电镀计算	93
6.4 电镀工艺过程及生产形式设计	95

第七章 电镀车间基本设备选型及计算

7.1 表面机械准备设备	98
7.2 镀槽及其主要构件设计	101
7.3 自动生产线	118

7.4	电镀供电设备	122
7.5	通风设备	128
第八章 电镀车间的平面布置和防腐蚀措施		
8.1	电镀车间的平面布置	138
8.2	电镀车间防腐蚀措施	140
第九章 电镀车间水、蒸汽、压缩空气和电力的消耗量计算		
9.1	水消耗量计算	143
9.2	蒸汽消耗量计算	146
9.3	压缩空气消耗量计算	148
9.4	电力消耗量统计	150
第十章 涂装工艺流程及主体设备设计		
10.1	涂装工艺流程简介	151
10.2	电泳槽设计	151
10.3	静电粉末喷涂设备设计与选型	160
10.4	漆房结构与布局	169
10.5	烘道设计	171
第十一章 涂装生产流水线设计实例		
11.1	铝合金车轮喷粉涂装生产流水线设计	177
11.2	铝合金车门内板电泳涂装生产流水线设计	181
第十二章 电镀及涂装废水废气处理		
12.1	电镀废水概念	187
12.2	废水处理方法	192
12.3	废气处理方法	204

第一篇 防腐蚀工程系统设计

第一章 绪 论

1.1 金属腐蚀及其破坏形式

1.1.1 金属腐蚀的过程

腐蚀是在自然界中普遍存在的一种现象,工程中常用的金属材料和非金属材料都有腐蚀问题。材料和它们所处的环境接触,发生了化学的、电化学的或物理的变化,导致材料发生不同程度的腐蚀。轻度的造成金属表面外观变化,如失去光泽、色彩,变得粗糙等,严重的会使金属性能改变,如降低强度、韧性等,甚至造成材料断裂。

从电化学角度看,金属腐蚀是氧化-还原体系中的氧化过程。金属腐蚀是从金属态转化为离子状态,生成相应的氧化物或盐类。金属转化为离子的能力与其热力学性质有关,在一般条件下大多数金属在热力学上是不稳定的,可以通过简单的热力学计算来预示某反应自发进行的方向,还可以对金属腐蚀的发生和程度进行估计。伴随有电化学反应发生的体系,由一种状态是否可以变化为另一种状态,可用体系吉布斯自由能变化来判断:

$$\Delta G = - nFE$$

式中: ΔG 为体系吉布斯自由能变化, n 为参加反应的电子数目, F 为法拉第常数, E 为腐蚀电池电动势。如果体系吉布斯自由能变化数值为负,说明体系反应的方向是自发的,即金属有自发腐蚀的倾向。

绝大多数金属的腐蚀是在电解质中进行的,例如存放在大气中的金属材料,由于长期受大气中水分、盐分、各种杂质的影响逐渐受到腐蚀,埋在地下的各种金属管道,接触海水的各种构筑物都会发生腐蚀。一般认为,金属在电解质中的腐蚀过程是电化学过程,又称之为电化学腐蚀。电化学过程必具有电化学反应的特征:在电解质存在时,金属的阳极发生溶解,同时伴随着溶液中某些物质在金属上的阴极还原。所以金属在电解质溶液中腐蚀的根本原因是由于腐蚀电池的作用引起的。

腐蚀电池原理只能说明金属腐蚀的最基本的现象。实际上金属腐蚀是一个很复杂的过程,存在着复杂的电极体系。在金属腐蚀的研究中,常把腐蚀电池分为宏观腐蚀电池和微观腐蚀电池。

(1) 宏观腐蚀电池

这类腐蚀电池可由不同金属相互接触,因存在电位差而形成;也可能是由同一金属上存在着明显的阴极区和阳极区,并保持着一定时间的稳定而形成。

如两种具有不同电极电位的金属或两种不同金属材料制成的构件,当有电解质存在时就组成了宏观腐蚀电池,又称异金属接触电池,电位负的为阳极,金属发生腐蚀溶解,电位正的为阴极,在电池反应中阴极反应为析氢,金属不被腐蚀而得到了保护。如钢铁材料的构件上装有铜铆钉或铝铆钉所接触的地方发生腐蚀,就是由于形成了宏观电池的结果。两种金属的电位差越大,腐蚀速度越大,在某些情况下,这种宏观电池的作用也是一种防护方法。如钢铁零件上镀锌,在腐蚀条件下锌层先发生腐蚀,钢铁基体得到保护。这就是工业上钢铁零件广泛采用镀锌保护的原因。

又如在同一种金属的不同部位,因所接触的电解质浓度不同而出现了阴极区、阳极区,以此形成的腐蚀电池就叫做浓差电池。浓差电池主要有氧浓差电池和盐浓差电池。在大气中经常出现的是由氧浓差电池引起的腐蚀。

(2) 微观腐蚀电池

在实际情况下,微观腐蚀电池在金属腐蚀中起着很大作用。所谓微观腐蚀电池,与宏观电池相比其电极面积较小,没有明显的区域,阴、阳极区域是由电化学性质不均匀产生的,其产生条件主要有以下几方面:

金属化学成分不均匀 工业上应用的纯金属并非绝对纯,都含有一定量的其他金属或非金属,如铸铁中含有石墨,碳钢中的 Fe_3C ,硬铝中的 Cu 等,这些元素或化合物的电位相对较正,出现了电化学性质的不均匀性,以此形成了微观电池,金属中微阴极个数越多,微电池数目也越多,腐蚀越严重。

金属组织和物理状态的不均匀性 工业上应用的金属都是多晶体,晶粒与晶界的电位是不完全相同的。已测出工业纯铝晶粒内电位为 0.585 V ,晶界电位为 0.491 V ,这是金属内存在微电池的重要原因之一。另外金属晶体内还存在着大量的缺陷,如位错、空穴、畸变等,这些因素也使表面的电位产生差异。还有金属零件在加工和装配过程中产生应力,在使用过程中还受到外力作用,甚至变形,受力最大的区域常为阳极。

金属表面膜的不均匀性 易钝化金属在空气中就能形成一层极薄的钝化膜,还有不少金属都施加保护膜,钝化膜或保护膜与基体金属之间存在一定电位差,如果基体金属的电位相对较负,则在腐蚀电池中为阳极,从而产生腐蚀。

其他因素的影响 金属表面的电化学性质受多种因素的影响,而许多因素是在变化着的,如液体或固体金属表面上原子的能量起伏、金属原子和溶剂离子的热胀落、受力作用下位错的移动或位错的堆积,都会影响微区能量的变化和电位的变化。

1.1.2 金属腐蚀的破坏形式

金属腐蚀是一个比较复杂的过程,即使是某一个零件的腐蚀,也包含着复杂的作用机理和腐蚀现象,至今还没有一种方法能将金属腐蚀完整的分类,所以目前有多种分类方法。将金属腐蚀分类的目的是为了更好地了解腐蚀规律,从而研究出防止腐蚀的方法,达到延长机械产品的使用寿命、节约金属材料的目的。根据腐蚀过程的作用机理,可将金属腐蚀分为化学腐蚀、电化学腐蚀和有机机械因素同时作用下的腐蚀。

化学腐蚀是金属表面与环境中的介质发生纯化学作用而引起的破坏,介质中的氧化剂与金属表面的原子直接发生氧化还原反应,过程中没有电流产生,因此氧化反应与还原反应在同时、同一位置发生。金属在干燥的气体中(表面没有湿气冷凝)发生的腐蚀即为化学腐蚀,例如金属钠在干燥的氯化氢气体中的反应即为化学过程。金属在高温下的氧化一般也认为是化学腐蚀,如轧钢时的钢铁表面、喷气发动机工作段、燃烧室等都会发生高温氧化。但如果金属表面的介质已由气相改变为既能电子导电,又能离子导电的半导体氧化膜时,金属在高温下的腐蚀过程就加入了电化学机理的因素,而不单纯是化学腐蚀过程了。金属在非电解质溶液中的腐蚀是化学腐蚀,如铝在四氯化碳、乙醇中,镁在甲醇中的腐蚀等,但如果介质中含有了微量水分,就会使金属的化学腐蚀转化为电化学腐蚀。所以,实际上单纯的化学腐蚀过程是很少的。

电化学腐蚀是金属在电解质溶液中发生了电化学反应而引起的破坏,阳极区金属原子失去电子转化为离子进入溶液,阴极区积累的电子被去极化剂吸收,依靠电解质溶液构成了一个回路,形成腐蚀电池。与化学腐蚀相比,其氧化反应与还原反应在时间与空间上是分开独立进行的。由于在大气中含有一定量水分,又有许多无机杂质存在,当水分凝结在金属表面时就提供了电化学腐蚀条件,所以电化学腐蚀是普遍存在的腐蚀形式。如大气腐蚀、海水腐蚀、土壤腐蚀、熔融盐腐蚀等都属于电化学腐蚀。

金属结构在腐蚀环境中又受有机机械力的作用而使金属腐蚀更加严重。如某些金属构件在拉应力状态下,处于特定腐蚀介质中,会发生应力腐蚀断裂,奥氏体不锈钢在含氯化物水溶液中高温下使用,极易出现这种类型的破坏。在交变应力和腐蚀介质的共同作用下会发生腐蚀疲劳,由于降低了疲劳极限,使金属构件提前破坏,如螺旋桨的轴。金属构件如果在含有固体粒子腐蚀介质的冲刷作用下经常产生磨损腐蚀。如船上的螺旋桨叶片、泵的叶轮在高速流体作用下会出现磨损腐蚀破坏。

金属在腐蚀环境中,由于化学作用、电化学作用以及机械力的作用会产生各种类型的腐蚀与破坏。但材料在腐蚀环境中以何种形式破坏,决定于材料的种类、性质、构件的形状以及环境因素,各种破坏形式也存在着固有的机理和特征(见图 1-1)。

(1) 均匀腐蚀

在腐蚀环境中,金属表面均匀地进行着化学或电化学反应,整个表面的腐蚀速度几乎相同,腐蚀是均匀分布的(见图 1-1(a))。随着时间的延续,腐蚀产物逐渐增多,金属材料的厚度减小,以致破坏。这是常见的一种腐蚀形式,又称全面腐蚀,如金属构件在一般性大气中的腐蚀。这种腐蚀的破坏性较小,容易防止发生事故,但对于具有光学作用的功能性镀层,如探照灯上镀银、光亮铬等,一旦发生全面腐蚀,镀层将整个失去作用。从电化学性质上看,均匀腐蚀的阳极区与阴极区在同一位置;阳极面积与阴极面积相等;阳极电位、阴极电位与腐蚀电位相等。

与均匀腐蚀不同的是腐蚀作用集中发生在某一定的区域,而其他部分无明显的腐蚀发生,如接触腐蚀、缝隙腐蚀、孔蚀、晶间腐蚀、选择性腐蚀、应力腐蚀、腐蚀疲劳、磨损腐蚀等,称为局部腐蚀。

(2) 孔 蚀

在金属表面的局部部位出现向深处发展的腐蚀小孔,其他部分不腐蚀或是腐蚀很轻,这种腐蚀形态称为孔蚀或点蚀。蚀孔较小,一般直径只有几十 μm ,孔深往往大于孔径,孔的分布是不均匀的,有些分散,有些集中,孔口多数有腐蚀产物堆积(见图 1-1(b)),蚀孔一旦形成,就有向深处自动加速扩展的能力,以致蚀孔深入到材料内部,所以这种腐蚀形式给材料的安全使用

带来很大隐患。

具有自钝化性质的金属材料,如不锈钢、钛合金、铝合金等在含有氯离子的介质中经常发生孔蚀,因为氯离子吸附在钝化膜上,使钝化膜溶解,露出的金属表面就形成了蚀孔的核心,逐渐发展成深孔。

(3) 晶间腐蚀

晶间腐蚀是金属在一定的腐蚀介质中发生的一种局部腐蚀。腐蚀从金属表面晶界处开始发生,沿着晶界向内部发展。晶粒内部腐蚀很轻,但已严重的降低了晶粒间的结合强度。由于晶间腐蚀不易检查,很容易造成设备的突然性破坏,故其危害较大,在常用金属中以不锈钢、铝合金出现晶间腐蚀的情况较多。

例如,奥氏体不锈钢在 $400\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下,有碳化物 $(\text{FeCr})_{23}\cdot\text{C}_6$ 析出而分布在晶界,因此消耗了晶界附近大量的铬,使晶界附近的含铬量降低,即形成了贫铬区。在腐蚀介质中晶粒本体含铬量较高,具有钝态性质,在腐蚀电池中为阴极,而贫铬区钝态受到破坏变为活化区,成为阳极,所以腐蚀沿晶界发生。又由于腐蚀电池有大阴极面积、小阳极面积的特点,腐蚀速度较高,会很快导致材料破坏(见图 1-1(c))。

(4) 穿晶腐蚀

在含氯化物的腐蚀介质中,在拉应力作用下,奥氏体不锈钢易产生应力腐蚀,在腐蚀过程中材料先出现微裂纹,然后再扩展为宏观裂纹。裂纹一旦形成,会很快导致破坏,据计算碳钢在海水中的应力腐蚀速度是孔蚀速度的 10^6 倍。在显微镜下观察,会发现微裂纹的形式有穿晶、沿晶和混合型几种类型。穿晶型的是指裂纹穿过晶粒而延伸(见图 1-1(d))。混合型是指裂纹扩展即有穿晶的又有沿晶扩展的。

(5) 剥蚀

剥蚀是变形铝合金材料的一种局部腐蚀破坏形式。主要发生在 $\text{Al}-\text{Cu}-\text{Mg}$ 系和 $\text{Al}-\text{Zn}-\text{Mg}$ 系的辗压或挤压材料上(飞机上大量使用的铝型材)。因加工以后的组织呈层状,晶粒扁平而粗大,在潮湿的海洋性环境中就会产生剥蚀。腐蚀易向与金属表面平行的晶界扩展,由于腐蚀产物逐渐增多使体积膨胀,致使晶粒间出现鼓泡,以致层层脱离,腐蚀严重的铝型材可将腐蚀的金属一层层剥下来(见图 1-1(e))。

(6) 选择性腐蚀

选择性腐蚀是发生在合金材料上的一种局部腐蚀。合金元素可以是金属也可以是非金属。在腐蚀过程中,材料并不按合金比例溶解,而是其中的某一种成分溶解,留下蚀孔。如黄铜脱锌就是典型的选择性腐蚀。黄铜脱锌一般有两种情况:一种是层状脱锌,即均匀脱锌,锌被溶解之后,金属表面留下了机械强度很低的松散的铜层。另一种是栓状脱锌,又称局部脱锌,在黄铜表面由于锌的溶解形成了蚀孔,留下的是多孔而性脆的铜渣,黄铜构件出现脱锌,有很大的破坏性。

(7) 丝状腐蚀

丝状腐蚀是缝隙腐蚀的一种特殊形式,多数情况是发生在漆膜、搪瓷、磷化等保护膜层之下,因此又称为膜下腐蚀。这类局部腐蚀在钢、镁、铝等金属材料的表面上都有发现。在透明或半透明的漆膜下可观察到微细呈网状分布的腐蚀产物痕迹。外部湿度大,为发生膜下丝状腐蚀提供了条件。当相对湿度低于 65% 时,基本上不产生丝状腐蚀,而当相对湿度大于 95% 时,则丝状腐蚀严重。这是因为在湿度大的环境中,水汽透过漆膜将金属基体腐蚀,严重时使漆膜鼓

泡。如长期停放于潮湿环境中的飞机蒙皮漆膜下就可见到明显的丝状腐蚀。

(8) 腐蚀疲劳

重复的交变应力引起材料的破坏,叫做疲劳。腐蚀疲劳是重复的交变应力与化学介质协同作用下引起的材料破坏现象(见图 1-1(f))。在机械应力作用下,材料中所出现的滑移带与电解质的相互作用是产生腐蚀疲劳的重要因素。若材料表面处于活化态,就会出现许多裂纹。断口通常也是多裂纹的。若材料表面处于钝态,一般会出现单个腐蚀点,最后导致断裂。

一般腐蚀疲劳和应力循环次数有关,在给出腐蚀疲劳寿命的同时必须给出交变负荷的次数。而且材料应达到的应力循环次数越高,腐蚀介质条件越苛刻,应力的振幅就越低。

(9) 应力腐蚀断裂

应力腐蚀断裂是应力与化学介质协同作用下引起的金属断裂现象。它有三个主要特征:

①必须有应力,特别是有拉伸应力的存在。拉伸应力愈大,则断裂所需的时间愈短。②腐蚀介质是特定的,只有金属和介质组合得当才会发生应力腐蚀断裂。若无应力存在时,金属在能发生应力腐蚀断裂的介质中,也不会发生应力腐蚀断裂。③应力腐蚀断裂速度远大于没有应力时的腐蚀速度。在腐蚀进程中往往测不出材料的腐蚀量,也看不出腐蚀产物,裂纹可能是沿晶扩展,也可能是穿晶断裂(见图 1-1(g))。

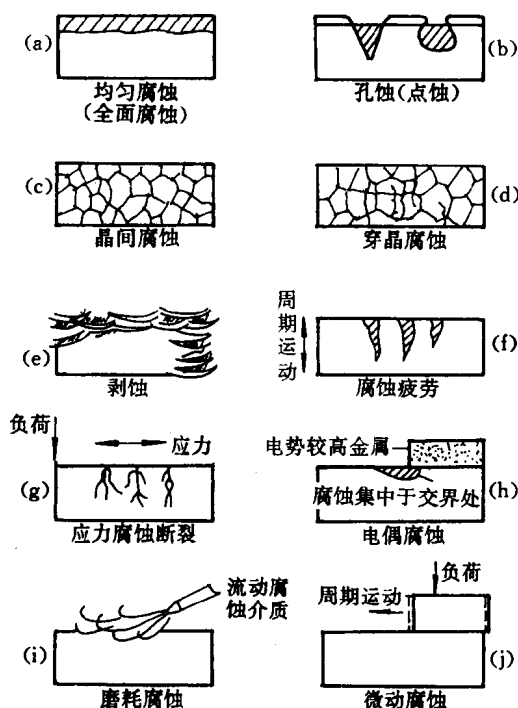


图 1-1 腐蚀形态示意图

(10) 电偶腐蚀

当两种具有不同电位的金属相互接触并浸入电解质溶液时,就会出现电位较负的贱金属腐蚀加速,而电位较正的贵金属腐蚀速度减缓。这说明阳极性金属被腐蚀而阴极性金属则受到保护。人们常把这种腐蚀现象叫做电偶腐蚀(见图 1-1(h))。影响这种腐蚀的主要因素有环境、

两种金属接触的面积以及电解质的导电性等。

(11) 磨耗腐蚀

磨耗腐蚀是在金属表面由于介质对其的腐蚀作用和磨耗协同作用而引起的破坏现象。流动的液体对材料表面导致损伤的同时介质还对其进行腐蚀(见图 1-1(i))。破坏开始于材料表面的机械损伤(它是由单相或多相流体流动引起的),如果还有腐蚀叠加,则产生了磨耗腐蚀。影响这类腐蚀的主要因素是流体的临界流速、材料与介质的性质等。

(12) 微动腐蚀

在有氧气存在的条件下,若沿着受载荷而紧密接触的面有轻微的振动或往返的相对运动,使在接触面上出现小坑或细槽现象,称为微动腐蚀(见图 1-1(j))。产生微动腐蚀的必要条件是:接触面必须有微小的相对运动;接触面必须受到压力;氧气的存在。这才使得在摩擦热的作用下金属发生氧化。

(13) 微生物腐蚀

微生物腐蚀是指在微生物生命活动参与下所发生的腐蚀。凡是同水、土壤、湿润空气相接触的的金属设施,都可能遭到微生物腐蚀。已经发现,如地下管线、海上采油平台、飞机燃料箱等一系列装置,都曾遭受到微生物(细菌类)腐蚀的危害。对飞机的机翼整体油箱来说,因为燃油中含有水分和杂质,为微生物的生存提供了条件,由于油箱中长期贮存油料,霉菌不仅在此得以生存,经大量繁殖后,霉菌及其分泌物能穿透油箱的有机涂层腐蚀金属,造成渗漏或穿孔。微生物腐蚀已引起人们的广泛注意,正成为研究的热点,并已提出了一系列防止微生物腐蚀的措施。

1.2 防腐蚀设计应考虑的因素及其原则

金属材料及设备在环境中腐蚀介质的作用下会发生腐蚀以致破坏,为了延长机械设备的寿命,防腐蚀措施应贯穿在设计、生产、运输、使用和维护全过程,在各个环节中都有相应的防护方法及措施。它们各起着不同的作用。在实际中发现,许多腐蚀问题是从设计中带来的隐患,包括结构设计、工艺设计、选材及表面处理设计等。其中重要的是结构设计,往往能起到事半功倍的作用,所以防腐蚀工作首先从图纸设计开始。应当从以下几个方面考虑防腐蚀设计的影响因素和原则。

1.2.1 腐蚀环境分析

腐蚀的发生离不开腐蚀介质,因此,环境介质对材料腐蚀的发生、发展以及破坏都起着决定性的作用,所以在产品设计之前将产品的使用环境了解清楚是很重要的。

(1) 液体及其流速

自然界中水是一种最基本最常见的腐蚀环境,多种金属材料在含有水分的环境中都能发生腐蚀,所以防潮防湿也是防止腐蚀的最基本方法。飞机结构材料常用的铝合金、钛合金及高强度钢,在水介质环境中使得疲劳裂纹扩展速度增加。有些情况下,水质不同则对裂纹扩展速率也有不同的影响。如海水由于含有 Cl^- 离子,对腐蚀起着加速的作用,许多金属在含 Cl^- 离子环境中会发生孔蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀断裂等,飞机结构的疲劳寿命在盐水中会随着 Cl^- 离子浓度升高而降低。材料在其他酸性或碱性溶液中会出现各种形式的腐蚀,其腐蚀速度随溶液

成分及 pH 值的不同,有很大的变化。

另外,腐蚀速度与介质的流动速度有关,主要取决于金属和介质的特征。对于受电化学极化控制的腐蚀过程,流速对腐蚀速率的影响较小,如铁在稀盐酸中的腐蚀就是这种情况。如果腐蚀过程受氧扩散控制而金属又容易钝化时,腐蚀速度的变化就复杂一些。例如低碳钢在天然淡水中的腐蚀,随着水流速度的增加,腐蚀速度加大;当水流速度增加至足够大时,碳钢表面被部分钝化,腐蚀速度下降;当流速进一步加大,形成湍流层,发生强烈的冲击时,可能产生磨损腐蚀,腐蚀速率会再次增大。

(2) 气 体

空气也是一种很强的腐蚀介质,是许多产品使用时不可避免要接触的环境。空气中含有各种气体如 O_2 、 H_2 、 SO_2 、水汽等均会对产品的腐蚀加速。如空气相对湿度 $R_H > 70\%$ 时,金属材料发生的腐蚀为电化学腐蚀,而且铝合金(2024-73)在潮湿空气中的疲劳寿命只有干燥空气中的 $1/10$,说明水汽的存在增加了疲劳裂纹扩展的速度。又如空气中的 SO_2 在干燥大气中会引起铜、银变色,而在潮湿大气中会加速铜、镍、铁的腐蚀。

气体的流速对腐蚀也有很大影响,随着流速增加,空气中带有的灰尘、砂粒等杂质,对产品的表面还有着强烈的冲刷和磨蚀。

(3) 固 体

在空气中存在着尘土和砂粒,在海水或河水中存着泥砂。这些固体微粒同样会对腐蚀过程带来影响。处于尘土多的空气或泥砂多的海水、河水中的产品,由于长期的磨损会擦伤零件表面或破坏表面的防护涂层。如果固体粒子沉积在结构表面或管道中,则会引起沉积腐蚀。

(4) 温 度

一般情况下,随着温度的升高,腐蚀速度加快,因为温度升高,会加快溶液的对流、扩散,溶液电阻降低,使反应速度加快。除了注意腐蚀问题之外,某些材料和构件在较低或较高温度下还会发生物理性能、机械性能的变化,同样会对材料的破坏起促进作用。

(5) 压 力

环境中的压力增大会增加气体、液体介质对材料表面的冲刷,增加了介质和表面的接触与反应速度,从而提高了腐蚀速度。对于一个封闭系统,压力增加还会导致泄漏,对某些石油、化工设备,压力过大还会引起爆炸。

1.2.2 合理的材料选择

为了使材料有优良的使用性能和较长的寿命,必须对材料各方面的性能综合考虑。首先考虑的是材料的强度、刚度等材料的力学性能,并制定出相应的热处理制度,还要考虑材料的耐腐蚀性和经济性。尤其是对具有应力腐蚀断裂和腐蚀疲劳破坏倾向的材料必须权衡利弊。就其材料对腐蚀的影响,主要考虑的因素有以下几方面。

(1) 金属材料的种类及其化学稳定性

金属的腐蚀与金属本性有关,各种金属的热力学稳定性,可以近似地用标准平衡电位来评定,标准平衡电位越正标志着金属的热力学稳定性越高,金属离子化倾向性越小,越不易受到腐蚀。如贵金属金、铂等能在自然条件下和某些工业腐蚀介质中稳定存在。又如铝、钛等金属,虽然它们的化学性质比较活泼,标准电极电位很负,即它们的腐蚀热力学倾向性很大,但它们的钝化性很强,在自然条件下表面生成了比较致密的氧化膜,具有良好的保护性,并阻碍了腐

蚀过程的进行。像铁和普通碳钢,标准电极电位较负,但在自然条件下并不易生成保护性氧化膜,所以很容易遭受腐蚀。

(2) 合金成分的影响

为了提高金属材料的力学性能或满足其他性能的要求,工业上很少使用纯金属,一般都使用合金。由于加入的合金成分及组织状态的不同,耐蚀性也不相同。单相固溶体合金,由于组织均一和耐蚀元素的加入,有较高的化学稳定性和耐蚀性,如铁铬合金,但其含铬量必须达到12.5%以上。此外,加入镍、钛也能提高耐蚀性。两相或多相合金,由于各相的化学、物理不均匀性,在与电解质接触时,具有不同的电位,在金属表面形成了腐蚀微电池,所以多相合金比单相合金耐蚀性差,如普通碳钢就是如此。但也存在少数耐蚀性很好的合金,如硅铸铁等。多相合金的腐蚀速度与各相的电位、阴阳极的分布及阴阳极面积比例有关,各相间电位差越大,腐蚀速度就越大。

(3) 晶体的缺陷

位错等晶体缺陷和晶粒边界对腐蚀有很大影响,常常成为腐蚀的起源。因为这些因素将影响金属表面膜的生成及其厚度、强度、孔隙度、附着力等,因此也就影响金属的腐蚀行为。经过冷加工的金属表面,使位错密度增加,点缺陷增多,晶体缺陷处的原子往往有较高的能量,化学活泼性增加,而成为先溶解的潜在位置,使腐蚀速度加大。晶界上原子的排列一般较紊乱,缺陷多,又富有杂质,晶界处原子的能量高于晶内原子,处于不稳定状态,故腐蚀也经常从晶界开始。

(4) 金相组织与热处理

材料组织与热处理制度有很密切的关系。经过不同制度的热处理,可以得到不同的金相组织,其耐蚀性也不同。如果经过热处理使材料成分均匀化,又消除了内应力,则将提高耐蚀性;若是经过热处理,使合金元素在晶界析出,导致晶界附近合金元素浓度分布不均匀,致使晶界与晶内出现较大电位差,就加速腐蚀,尤其是局部腐蚀。最常见的是奥氏体不锈钢,在不正常的热处理制度下或进行焊接时,长时间的停留在敏化温度区,就会增加晶间腐蚀和孔蚀的敏感性。

对不同金属材料的接触要注意材料的相容性,因为金属设备和构件都是由不同材料的多个零件组合起来的,就其单个零件来说,其腐蚀行为受周围气相、液相和固相因素的影响,不同金属材料的接触,即产生电偶腐蚀。电位较负的金属为阳极,会产生很严重的腐蚀。

1.2.3 受力状态分析

对于一些使用中的重要机械,必须全面考虑材料的应力水平、环境和使用寿命之间的关系,仔细分析结构的受力状态,分析结构所受的各种外载荷,包括材料所受的静载、动载以及交变载荷。分析产生的静拉伸应力时,同时要考虑各种冷热加工及装配过程中产生的残余应力,还要分析结构受力的不均匀性,以免出现应力集中,产生应力腐蚀断裂和腐蚀疲劳。

1.2.4 合理的表面状态及结构外形

金属材料的表面状态对其腐蚀行为有很大影响,在多数情况下粗糙的表面比光亮的表面易受腐蚀,而且金属表面有划伤、缝隙、小坑等缺陷都会加速腐蚀。粗糙的表面更易聚集灰尘杂质和吸收水分,在表面为电化学腐蚀创造条件。对于易钝化的金属,光洁度较高的表面形成的钝化膜比较致密均匀,保护性强。因此直接暴露在外面的金属表面都要求一定的光洁度。

腐蚀总是从表面开始,在结构设计时如何使表面处于最佳状态,既有利于构件完成其功能

又有利于控制腐蚀是个很重要的问题。在可能的条件下,尽量使构件轮廓简单,外表面光滑;采用弧形、圆角、避免折线尖角,可以不积累和滞留灰尘杂质、腐蚀介质(见图 1-2)。对于复杂的结构应尽量简化,在条件许可的情况下辅加外壳屏蔽(见图 1-3)。

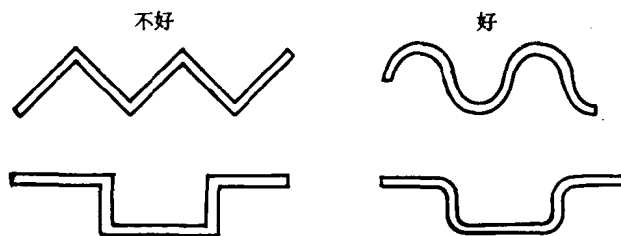


图 1-2 圆角和弧形设计

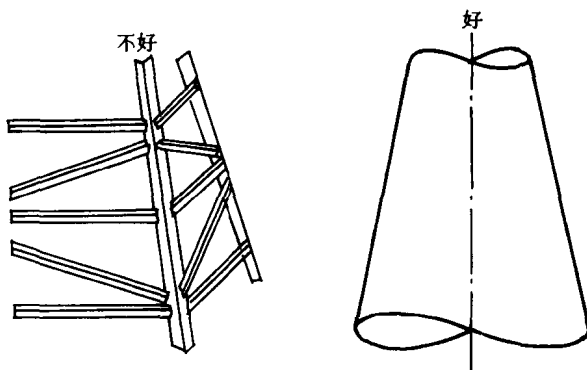


图 1-3 简单的外露面

1.2.5 工艺制造中的防腐蚀控制

在冷作加工中产生较大的残余应力,当加工程度大、冷作硬化性高时残余应力更大,对腐蚀带来不利影响,所以材料最好是在退火状态下进行机械加工或弯曲、冲压等成型工艺,因为在退火状态下加工零件的残余应力较小,如果能在加工以后进行消除应力的热处理,则可以降低发生腐蚀的倾向。机加工应尽量要求较高的光洁度,具有光滑的表面,减少表面缺陷。

热加工所产生的残余应力比冷加工小,但升温不正常、加热不均匀或冷却过程不适当也会产生较大的残余应力。另外对不同金属材料都应有正规的工艺规程,如不锈钢不应在敏化温度范围内加热,以免产生晶间腐蚀。

在材质和环境介质相同的条件下,一般认为铸造件比轧制件的耐蚀性要差一些,因为铸件表面存在大量的缩孔、气孔、砂眼和夹杂等缺陷,在缺陷处能吸收水分和其他腐蚀介质,加速表面腐蚀,也是产生应力腐蚀断裂和腐蚀疲劳破坏的根源。从铸造工艺看,精密铸造比普通铸造的表面质量要好,有利于耐蚀性的提高。

焊接在机械制造过程中是一种重要的加工方法,从防腐蚀设计角度出发,焊接对金属制件会带来不利的因素,但也能改善某些情况下的耐蚀性,所以在采用焊接加工时,必须严格遵守焊接工艺规程。不合理的焊接结构以及焊缝不完整,焊接过程中出现的焊瘤、咬边、飞溅等缺陷

都会对耐蚀性带来不利影响(见图1-4)。

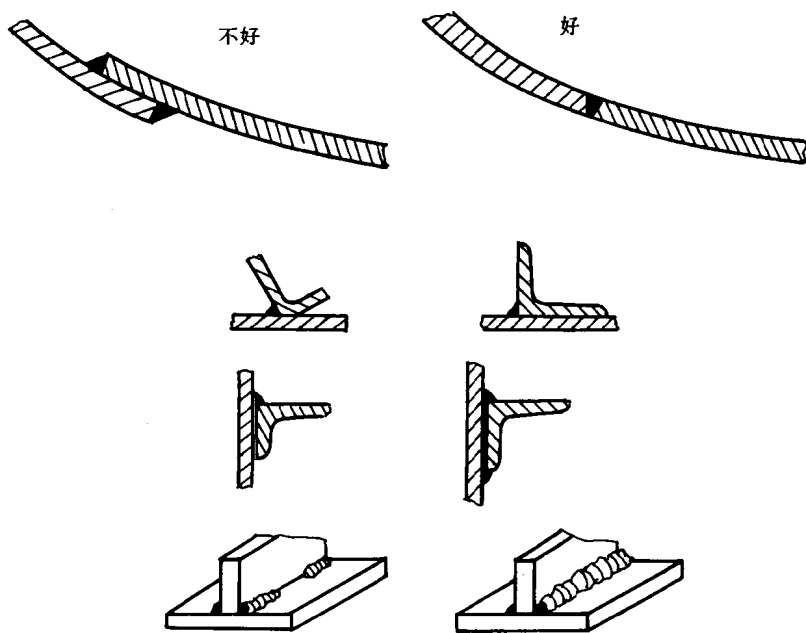


图 1-4 焊接不完整不封闭现象

焊接在较高的温度下进行,金属制件很快的升温又很快的冷却,制件各部分与焊区的距离不等,受热温度和冷却速度有很大差别,以致影响到各区域的组织发生了不均匀的变化。这些都会对耐蚀性产生不同的影响。

1.2.6 腐蚀余量的考虑

在产品设计时,一般应先进行强度计算,初步算出结构尺寸,再根据构件的使用环境、腐蚀介质的性质来考虑留取适当的余量。对于均匀腐蚀来说,由于其腐蚀速度近于相等,材料厚度逐渐减薄,可以采用加大结构尺寸即留出腐蚀余量的方法来保证原设计寿命的要求。

我国对材料全面腐蚀的耐蚀性通常分为 10 级,每级都计算出了腐蚀速度,可根据需要查有关手册,在设计时再根据结构的使用年限留出尺寸余量,而且又考虑到结构部位的重要性和其他安全系数,实际上留出的余量比计算的要大一些。例如在管道和槽体设计时,由于所接触的往往是腐蚀性较强的介质,壁厚常为计算量的两倍,所以腐蚀余量的选择要根据具体情况决定。

对于局部腐蚀由于腐蚀类型较多,破坏形式不同,很难找到一种计算的方法对腐蚀破坏进行估计,而是根据腐蚀破坏的机理,采用相应的方法来防止构件破坏,延长使用寿命。

1.2.7 表面涂层设计

表面处理是零件加工的最后工序,涂镀层不仅具有对基体材料的保护作用,而且还有装饰以及相应的功能性(如表面强化、光学性、电磁性等)。对材料进行表面处理的方法很多,涂镀层的种类也很多。表面涂镀层的设计原则应当包括:

(1) 施加表面涂镀层的目的

在材料表面涂覆镀层是以零件获得所需的性能、提高零件的可靠性和延寿为目的。如表面

涂镀层可以赋予材料表面以耐腐蚀、耐磨、光学、电磁性、可焊性、隔热性等几十种功能。根据所选的涂镀层不同,可能使零件表面获得其中的一种或多种功能。另外,某些特殊的涂镀层可为某些高新技术发展提供特殊性能的膜层材料,如超导、非晶态等。

(2) 表面涂镀层设计的一般原则

要想在材料表面获得高质量又经济可行的表面涂镀层,首先要了解产品零件所处的工作条件及可能会发生的腐蚀失效类型(如应力腐蚀断裂、孔蚀、接触腐蚀等),从而确定设计涂镀层的性能和涂镀层材料类型。工作条件包括受力状态(如冲击、振动、摩擦等),以及涂层所处的工作介质、工作温度、湿度等情况。

其次还要了解多种涂镀层的施工方法、特点和适用范围,以便选择合适的涂镀层和工艺。现代表面改性、表面涂层技术发展很快,工艺和涂镀层种类也很多,要保证所设计的涂镀层应具有优良性能。性能确定后,还应设计涂镀层厚度、尺寸精度和基体材料的结合强度以及后处理。

再应考虑的是设计涂层应与零件材质、性能有较好的适应性以及工艺技术上的可能性,包括可以采用多层或复合层工艺、现有条件、技术成熟性等。

最后在产品表面涂镀层设计中要考虑的是经济的合理性,包括表面涂镀层的成本和工件投入使用后所产生的经济效益等。

(3) 表面涂镀层的选择

当搞清工件表面所要求的性能并进行涂镀层设计之后,就要进行涂镀层材料、涂镀层施工条件等选择。首先要列出可供选择的涂镀层材料,即列出涂镀层材料本身的性能特点,然后分析待选材料与基体材料的相容性和能够采用的表面涂层方法(如干法镀覆、湿法镀覆等)。必要时还要进行实验完成现场的试验,以确定涂镀层的使用效果。

1.2.8 排水与密封

在整体结构设计时应考虑到防止水分和其他腐蚀介质的进入或积存,以合理的设计零件的形状及其组合联接方式,使其易通风、排水,且能快速干燥,如尽量设计自干燥结构、加排水孔、通气孔等(见图 1-5)。

设计在室外存放的大型槽子或容器,要避免平顶,应设计成带有排水管道的、具有一定的倾斜度(约 20°)或弧形的顶盖(见图 1-6)。

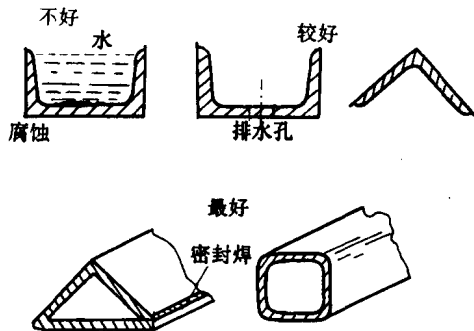


图 1-5 具有自排泄作用的结构设计示意图

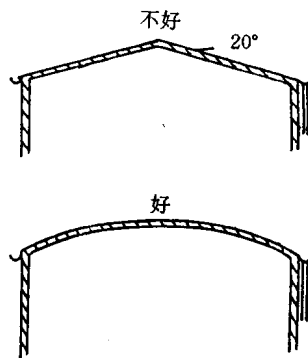


图 1-6 槽盖的设计