



中国腐蚀与防护学会
著作出版基金

材料延寿与可持续发展

材料失效系统控制

《材料延寿与可持续发展》丛书总编委会 组织编写
李金桂 陈建敏 何玉怀 等编著



化学工业出版社

材料及其制品在服役环境（自然环境和运行环境）作用下，出现腐蚀、摩擦和断裂，是一种自然现象，不可避免，但科学研究与大量事实一再证明，设计、制造、使用、材料、工艺、检测工程师共同携手，进行系统预防与控制，可以提高材料及其制品的环境抗力，减少腐蚀、磨损和断裂，减少提前损伤、提前破坏、提前失效及其所造成的损失。本书全面系统地阐述了材料与制品在加工、装配、储存、运输、使用、维护、维修的全过程中所遭遇的环境作用引发的变质、退化或破坏；提出了控制其提前失效要从设计开始，贯穿于设计、制造、使用、维护、维修全过程，进行全员、全方位地系统化控制的理念及其理论、原则、技术和措施。

本书可供各种行业研制、设计、制造、检验、储运、维护维修、供应、管理等部门的设计师、工程师和管理人员使用；也可作为工学院师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料失效系统控制/李金桂等编著. —北京：化学工业出版社，2018.1

（材料延寿与可持续发展）

ISBN 978-7-122-30945-7

I. ①材… II. ①李… III. ①材料科学-失效分析-研究 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 272740 号

责任编辑：刘丽宏 段志兵 王清颖

文字编辑：孙凤英

责任校对：王素芹

装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：三河市延风印装有限公司

装 订：三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 20 字数 380 千字 2018 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：98.00 元

版权所有 违者必究

《材料延寿与可持续发展》丛书指导单位

中国工程院
中国科学技术协会

《材料延寿与可持续发展》丛书合作单位

中国腐蚀与防护学会
中国钢研科技集团有限公司
中国航发北京航空材料研究院
化学工业出版社

《材料失效系统控制》编辑委员会

主 任：李金桂

副主任：陈建敏 何玉怀

编 委(按姓氏拼音排序)：

陈建敏 崔海霞 何玉怀 吉 利 姜 涛 李红轩
李金桂 刘德林 刘新灵 陶春虎 王一建 袁训华

主 审：吴再思

目录

绪 论

0.1 材料失效及其危害	1
0.1.1 材料及其制品遭遇的三大环境	1
0.1.2 材料及其制品失效的三大表现	3
0.1.3 材料制品提前失效的危害	5
0.2 材料失效系统控制	7
0.2.1 系统工程学	7
0.2.2 系统工程学的工业实践与成效	9
0.2.3 材料失效控制系统工程	9
0.2.4 材料失效系统控制各阶段任务	11
0.3 对三大失效表现各有表述	14
0.4 表面工程技术在控制失效中的广泛应用	15
0.4.1 表面技术的功能和应用	15
0.4.2 表面工程技术的发展	16
0.4.3 表面工程三大技术	20
0.4.4 表面工程技术使用的三个要点	23
参考文献	24

第一篇 腐蚀控制系统工程

第1章 系统研究 精心设计

1.1 腐蚀与腐蚀控制	27
1.1.1 腐蚀的类别	27
1.1.2 腐蚀预防与控制	28
1.2 腐蚀控制系统工程学	29
1.2.1 概念	29
1.2.2 “腐蚀控制系统工程学”对腐蚀问题的深化认识	31
1.2.3 腐蚀控制的设计因素	33
1.2.4 防腐蚀结构设计的职责	33
1.2.5 防腐蚀结构设计原则	35

1.3 隔离侵蚀环境设计·····	38
1.3.1 侵蚀环境的隔离设计·····	38
1.3.2 排水设计·····	39
1.3.3 通风设计·····	41
1.4 合理的构型设计·····	42
1.4.1 介质流动管道及容器内腔的设计·····	42
1.4.2 避免冷热不均诱发腐蚀的设计·····	43
1.4.3 合理的连接结构的设计·····	43
1.4.4 结构组合件的装配设计·····	45
1.5 预防应力与腐蚀协同作用的设计·····	46
1.5.1 应力与腐蚀协同作用效应·····	47
1.5.2 应力的作用和影响·····	48
1.5.3 预防应力腐蚀的设计·····	50
1.5.4 防止零、部件腐蚀疲劳的设计·····	54
1.6 预防电偶腐蚀的设计·····	56
1.6.1 电偶腐蚀内涵·····	56
1.6.2 电偶腐蚀的控制原理·····	58
1.6.3 电偶腐蚀控制原则·····	60
1.7 阴极保护设计·····	60
1.7.1 阴极保护设计原理·····	61
1.7.2 阴极保护系统的设计要点·····	63
1.8 合理地选用材料·····	65
1.8.1 设计选材的重要性与复杂性·····	65
1.8.2 选材依据·····	72
1.8.3 设计选材原则·····	73
1.9 电子电器产品的环境适应性·····	74
1.9.1 实施环境工程确保环境适应性·····	74
1.9.2 环境适应性试验方法·····	75
1.9.3 环境-腐蚀效应·····	77
1.9.4 电子产品的腐蚀控制·····	82
参考文献·····	85

第2章 科学制造 科学使用

2.1 制造与材料·····	86
2.1.1 制造与材料的关系·····	86

2.1.2	制造就是材料加工	86
2.1.3	制造工程中需要控制的因素	88
2.2	严格制造工艺, 防止埋下祸根	88
2.2.1	制造过程中的宝贵的经验	88
2.2.2	制造过程中预防腐蚀原则	89
2.2.3	原材料及预成型的控制	90
2.2.4	锻造过程中的工艺控制	91
2.2.5	铸造过程中的工艺控制	92
2.2.6	焊接过程中的工艺控制	93
2.2.7	特种加工过程中的工艺控制	96
2.2.8	热处理过程中的工艺控制	98
2.3	表面工程技术的应用	99
2.3.1	表面转化改性层	100
2.3.2	涂镀层	101
2.4	精加工过程的腐蚀控制	107
2.4.1	精加工过程中产品零件的临时性保护	107
2.4.2	表面加工过程中的腐蚀控制	109
2.4.3	在装配过程中的腐蚀控制	113
2.5	使用维修过程中的腐蚀控制	116
2.5.1	使用因素	117
2.5.2	维护因素	117
2.5.3	金属腐蚀特征及鉴别	118
2.6	维护是确保电子电器使用可靠性的关键	121
	参考文献	122

第二篇 摩擦、磨损控制系统工程

第3章 摩擦、磨损与润滑

3.1	摩擦	123
3.1.1	摩擦概述	123
3.1.2	摩擦的类型	123
3.1.3	主要摩擦理论	125
3.1.4	影响摩擦的因素	128
3.1.5	摩擦的利用和控制	130
3.2	磨损和耐磨材料	131

3.2.1 磨损的三个阶段	131
3.2.2 材料磨损理论	132
3.2.3 减少磨损的方法	133
3.3 润滑和润滑材料	136
3.3.1 润滑概述	136
3.3.2 润滑的类型	137
3.3.3 润滑剂	139
3.3.4 润滑剂的性能	141
3.3.5 润滑技术	142
参考文献	146

第4章 摩擦学失效与延寿

4.1 摩擦学失效	147
4.1.1 磨损失效	147
4.1.2 润滑失效	152
4.1.3 摩擦学失效分析及预防控制	156
4.2 摩擦学测试与状态检测	158
4.2.1 摩擦学测试技术	159
4.2.2 摩擦学状态检测和辨识技术	164
4.2.3 检测技术的发展	169
4.3 摩擦学失效控制与延寿	172
4.3.1 摩擦学设计	172
4.3.2 摩擦学数据库	179
4.3.3 润滑油优化应用与延寿	182
4.3.4 固体润滑材料应用技术	194
4.3.5 固-油复合润滑延寿技术	205
4.3.6 表面工程延寿和磨损修复技术	211
4.3.7 重大装备的润滑管理	215
参考文献	218

第三篇 疲劳断裂控制系统工程

第5章 疲劳失效及其影响因素

5.1 疲劳断裂(失效)的基本概念	219
5.1.1 疲劳断裂的危害性	219
5.1.2 交变应力与交变应变	219

5.1.3	疲劳断裂过程	220
5.1.4	疲劳断裂失效的分类	221
5.2	疲劳失效的主要影响因素	222
5.2.1	形状	222
5.2.2	尺寸	223
5.2.3	表面状况的影响	223
5.2.4	平均应力对疲劳强度的影响	225
5.2.5	载荷持续情况的影响	225
5.2.6	腐蚀的影响	226
5.2.7	温度的影响	229
5.2.8	微动磨损与接触的影响	230

第6章 疲劳失效的设计控制基础

6.1	选材	233
6.2	抗机械疲劳设计技术和方法	235
6.2.1	抗机械疲劳结构设计	235
6.2.2	抗机械疲劳设计方法	236
6.3	抗疲劳失效材料设计	239
6.3.1	提高疲劳极限的材料选择和设计	239
6.3.2	延缓疲劳裂纹萌生的材料选择和设计	240
6.3.3	降低裂纹扩展速率的材料选择和设计	240
6.4	抗腐蚀疲劳设计	241
6.4.1	材料的选择和设计方法	241
6.4.2	抗腐蚀疲劳结构设计方法	241
6.5	抗疲劳磨损设计	242
6.6	环境	242
6.7	结构与工艺设计	243
6.8	改善疲劳强度的表面处理方法	243
6.8.1	表面冷作强化	244
6.8.2	表面热处理强化	245
6.9	提高机器零件疲劳强度的其他方法	246
6.9.1	建立预应力及预紧力	246
6.9.2	调节和恢复材料性能	246
6.9.3	表面防护	246
6.10	可检性	247

6.10.1	结构合理布局	247
6.10.2	制定合理的检验程序	248
6.10.3	控制安全工作应力	248
第7章 疲劳失效的表面完整性控制		
7.1	表征表面完整性的物理量	249
7.2	表面粗糙度控制	251
7.3	残余应力场控制	252
7.4	表面再结晶缺陷控制	253
7.4.1	预回复热处理对再结晶的抑制作用	254
7.4.2	渗碳对再结晶的抑制作用	255
7.4.3	去除表面变形层对再结晶的抑制作用	256
7.4.4	涂层对再结晶的抑制作用	257
7.4.5	晶界强化元素对再结晶危害的修复作用	258
第8章 材料与结构的热工艺控制		
8.1	铸造	259
8.1.1	多肉类缺陷	259
8.1.2	孔洞类缺陷	260
8.1.3	裂纹冷隔类缺陷	261
8.1.4	表面缺陷	264
8.1.5	残缺类缺陷	265
8.1.6	夹杂类缺陷	266
8.2	锻造	267
8.2.1	锻造缺陷及其分类	267
8.2.2	裂纹	268
8.2.3	折叠	268
8.2.4	组织缺陷	268
8.3	焊接	269
8.3.1	焊接缺欠的定义及分类	269
8.3.2	焊接裂纹	270
8.3.3	空穴	274
8.3.4	焊缝中的固体夹杂物	275
8.3.5	未焊透、未熔合和咬边	277
8.3.6	焊接残余应力	279
8.3.7	其他缺欠	280

第9章 结构失效的评价与修复

9.1 结构失效的检测与安全评价	281
9.1.1 检测	281
9.1.2 结构剩余寿命	283
9.1.3 结构的安全性评价	285
9.2 人员培训与持证上岗	287
9.3 现场维修	289
9.3.1 维修、更换以及有关维修技术	289
9.3.2 疲劳损伤与裂纹的维修方法	292
9.4 复合材料修理	296
9.4.1 损伤评估技术	296
9.4.2 损伤修补技术	297
9.4.3 修补材料	299
9.4.4 修补工艺、设备	299
9.4.5 修补后评定	300
参考文献	300