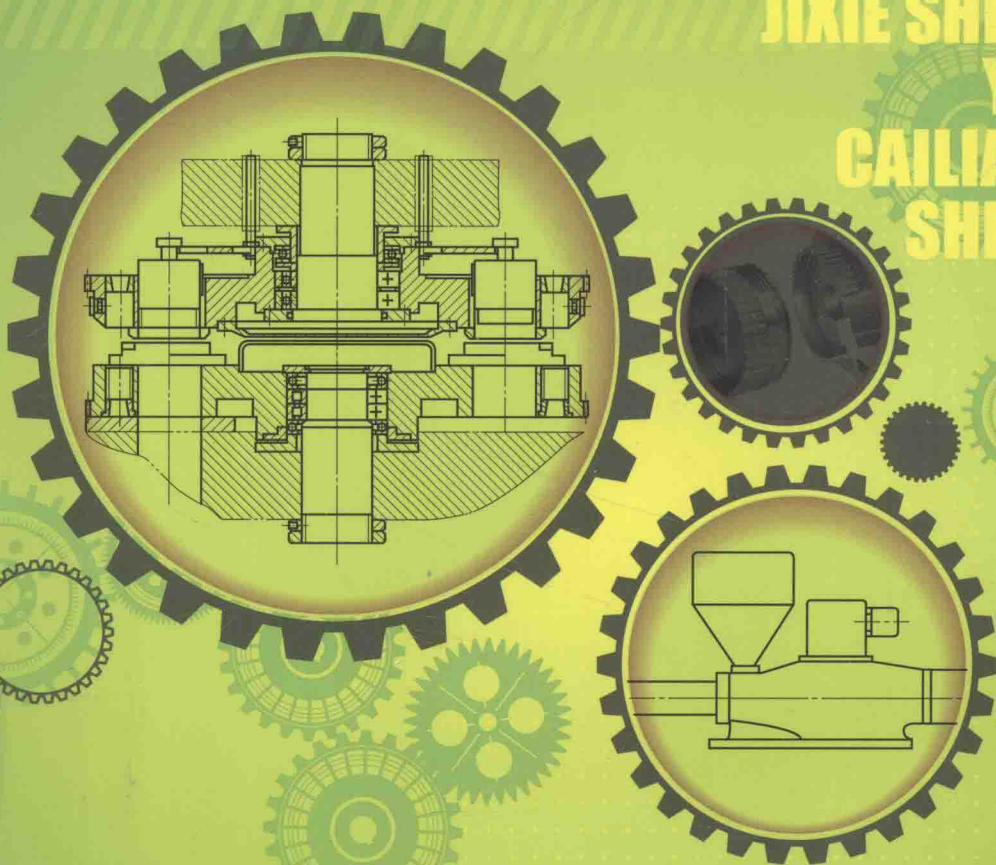


研究生系列教材

# 机械设计与材料设计

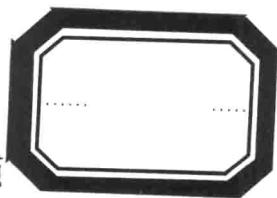
涂铭旌 张铁军 宋大余 张崇才 著

JIXIE SHEJI  
YU  
CAILIAO  
SHEJI



化学工业出版社

重庆文理学院学术专著出版资助项  
研究生系列教材



# 机械设计与材料设计

涂铭旌 张铁军 宋大余 张崇才 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要讨论机械零件设计和加工制造工艺对金属材料性能的影响，并用这些研究和讨论的结果来指导机械设计与制造，内容主要包括：机械零件失效分析及疲劳强度；从材料强度学的观点优化机构零件疲劳寿命；零件结构设计及疲劳强度；机械加工与零件疲劳强度；冶金及热加工与钢的性能；钢的热处理与疲劳强度等。

本书可供高等院校机械、材料专业教学使用，也可供从事机械设计、制造的研究人员和工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机械设计与材料设计/涂铭旌, 张铁军, 宋大余等著. —北京: 化学工业出版社, 2014. 5

研究生系列教材

ISBN 978-7-122-19916-4

I. ①机… II. ①涂…②张…③宋… III. ①机械设计-研究生-教材②机械制造材料-研究生-教材. IV. ①TH122②TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 037606 号

---

责任编辑: 杨 菁 李玉晖

文字编辑: 杨 帆

责任校对: 边 涛

装帧设计: 史利平

---

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 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张 11½ 字数 213 千字 2014 年 8 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: 45.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

# FOREWORD

本书的主要目的在于介绍当今机械制造工程与金属材料成型加工两个领域交叉结合时常被人们忽略的关键细节，本书大部分内容是笔者教学和科研的积累。本书较系统地阐述了零件所受载荷、应力与疲劳强度的原理，机械零件失效分析、失效预防的基本思路，所受载荷、应力与疲劳强度之间的关系；机械零件的残余应力与疲劳强度；零件的结构设计（键槽、孔、齿形、圆角半径等）与疲劳强度；机械加工工艺对疲劳强度的影响；冶金与热加工对钢性能的影响；热处理表面强化与钢的疲劳强度。并从设计经济高效的加工工艺流程的角度，提出使用的参考建议，列举了生产中发生的典型实例。

本书在零件的结构设计与疲劳强度，机械加工工艺对疲劳强度的影响方面，填补了机械工程与材料科学与工程两领域交叉结合处的缺项，对机械制造生产、金属材料成型及其热处理具有借鉴和参考价值。本书汇集几十年的机械与材料加工领域的研究成果，向读者介绍加工工艺各环节的技术关注点，旨在帮助从事零件制造生产领域的技术人员在材料选择、设备选择和工艺方案设计时，特别是在实现大批量的可靠生产、保障产品的质量、有效延长所制造零件寿命方面提供些有益的依据和参考。

中国工程院院士 涂铭旌

重庆文理学院 张铁军

2014年5月

# 目录

# CONTENTS

<b>第 1 章 机械零件失效分析及疲劳强度</b> .....	<b>1</b>
1.1 失效分析及失效预防的基本思路 .....	1
1.2 机械零件的主要失效形式 .....	3
1.3 疲劳断裂失效 .....	4
1.3.1 定义与分类 .....	4
1.3.2 力学分析 .....	5
1.4 材料的疲劳强度 .....	7
1.4.1 疲劳强度和抗拉强度之间的经验关系 .....	7
1.4.2 应力集中和缺口的影响 .....	8
1.4.3 材料缺口疲劳强度和疲劳缺口敏感度 .....	11
1.5 疲劳强度的其他影响因素 .....	14
1.5.1 缺口敏感度 .....	14
1.5.2 变动载荷频率范围的影响 .....	16
1.5.3 表面状况的影响 .....	16
1.5.4 合金成分及显微组织的影响 .....	17
1.5.5 表面残余应力对疲劳强度的影响 .....	18
<b>第 2 章 从材料强度学的观点优化机械零件疲劳寿命</b> .....	<b>19</b>
2.1 应力状态等的基本概念 .....	19
2.1.1 应力状态软性系数 .....	19
2.1.2 压缩的特征 .....	20
2.1.3 弯曲的特征 .....	21
2.1.4 扭转的特征 .....	21
2.2 缺口效应 .....	22
2.2.1 缺口试样在弹性状态下的应力分布 .....	23
2.2.2 缺口试样在塑性状态下的应力分布 .....	24
2.3 不同应力状态的选材原则 .....	25

2.4	材料的强度、塑性、韧性与使用寿命的辩证关系	26
2.4.1	材料的强度、塑性、韧性判据	26
2.4.2	强、塑、韧合理配合与优化选材、用材	28
2.5	接触疲劳及其类型	29
2.5.1	影响接触疲劳寿命的因素	30
2.5.2	轴承钢表面硬度与平均使用寿命的关系	31
2.5.3	静态接触疲劳寿命、冲击接触疲劳寿命与硬度的关系曲线	31
2.5.4	滑动磨粒磨损与多次冲击磨粒磨损	32

### **第3章 零件结构设计与疲劳强度** 40

3.1	轴的圆角过渡的影响	40
3.2	键槽的影响	44
3.2.1	轴的疲劳断裂事故分析	44
3.2.2	键槽的影响	44
3.3	花键齿形的影响	45
3.4	横孔的影响	45
3.5	零件尺寸的影响	47
3.5.1	尺寸效应	47
3.5.2	零件尺寸系数 $\epsilon_\sigma$ 和 $\epsilon_\tau$	48
3.5.3	加大半轴直径反而使用寿命低的实例	48
3.6	压配合对轴疲劳强度的影响	50
3.6.1	压配合轴的应力集中分析	50
3.6.2	降低应力集中的结构设计	50
3.6.3	提高压配合轴弯曲疲劳强度的实验	51
3.6.4	提高拖拉机前轴主销疲劳寿命的实例	52

### **第4章 机械加工与零件疲劳强度** 54

4.1	车削加工与零件疲劳强度	54
4.1.1	车削工艺参数对钢的疲劳强度的影响	54
4.1.2	高速切削工艺参数对钢的疲劳性能的影响	55
4.1.3	工程应用实例	57
4.2	不同加工表面粗糙度的影响	57
4.3	磨削加工的影响	59
4.3.1	磨削可以提高零件疲劳强度	59
4.3.2	采用纵向磨削有利于提高疲劳强度	59

4.3.3	磨削表面缺陷的不利影响	59
4.3.4	工程研究实例	60
4.4	抛光对零件疲劳强度的影响	61
4.4.1	抛光对疲劳强度的影响分析	61
4.4.2	纵向抛光的有利作用	61
4.4.3	工程研究实例	62
4.5	带孔零件的疲劳强度	62
4.5.1	横孔对疲劳强度的影响	62
4.5.2	不同加工横孔工艺方法的影响	63
4.5.3	钻孔倒角对钢的疲劳强度的影响	64
4.5.4	静压钻孔棱角对钢的疲劳强度的影响	64
4.5.5	冲击压缩钻孔棱角对疲劳强度的影响	65
4.5.6	工程应用实例	65
4.6	机械加工的影响	66

## **第5章 冶金及热加工与钢的性能** 70

5.1	冶炼方法对钢的性能的影响	70
5.1.1	氧气顶吹转炉炼钢	70
5.1.2	电弧炉炼钢的影响	71
5.1.3	电渣炉重熔	71
5.1.4	真空脱气、真空熔炼及真空重熔的影响	72
5.1.5	夹杂物对钢的疲劳强度的影响	73
5.2	冶金质量与钢的淬透性	75
5.2.1	成分波动对工艺性能的影响	75
5.2.2	成分波动对钢的淬透性的影响	76
5.2.3	结构钢淬透性的技术要求	78
5.3	微量合金元素 B、Ti 的影响	80
5.4	金属纤维流线与疲劳强度——热加工的影响	81
5.4.1	金属纤维流线的形成	81
5.4.2	纤维流线的对钢材力学性能的影响	82
5.4.3	机械零件的纤维流线的合理设计	83
5.5	晶粒尺寸的影响	88
5.6	轧制	89
5.7	化学成分	90
5.8	钢的洁净程度与夹杂物的影响	90

6.1 热处理工艺及金相组织对钢的力学性能的影响	94
6.1.1 铁素体组织的影响	95
6.1.2 非马氏体组织的影响	97
6.1.3 残余奥氏体的影响	100
6.1.4 贝氏体和马氏体混合组织的影响	101
6.1.5 回火脆性的影响	103
6.1.6 过热后晶粒度的影响	105
6.1.7 脱碳及增碳的影响	107
6.1.8 生产实例	108
6.2 感应淬火强化及其综合强化	110
6.2.1 预先热处理是正火还是调质好	111
6.2.2 淬硬层该多深为好	111
6.2.3 表层与心部的合理硬度值问题	112
6.2.4 感应淬火的组织及评定问题	114
6.2.5 关于感应淬火层的合理分布设计问题	114
6.2.6 感应淬火的综合强化及生产应用	116
6.2.7 感应表面淬火及综合强化的发展动向	118
6.2.8 高频表面淬火的残余压应力与强度	119
6.2.9 表面淬火对零件使用性能的影响	123
6.2.10 关于淬硬层深的选择	126
6.2.11 高频表面淬火强度与零件疲劳设计	127
6.2.12 表面加热淬火零件心部硬度的选择	128
6.3 化学热处理	128
6.3.1 渗碳	128
6.3.2 碳氮共渗	129
6.3.3 碳、氮、硼三元共渗	129
6.3.4 气体氮化	129
6.3.5 软氮化	130
6.3.6 离子氮化	132
6.3.7 渗碳、气体氮化、碳氮共渗的疲劳强度比较	134
6.3.8 表面化学热处理与疲劳强度	141
6.4 表面电镀金属与疲劳强度	141
6.4.1 残余应力与疲劳强度	141



6.4.2 残余应力对在不同条件下服役零件使用性能的影响 .....	143
------------------------------------	-----

## **第7章 提高机械零件疲劳强度的工程设计** ..... 151

7.1 合理的机械结构设计 .....	151
7.2 焊接接头的疲劳强度设计 .....	156
7.2.1 钢的可焊性设计 .....	156
7.2.2 焊接接头形式对疲劳强度的影响 .....	157
7.2.3 焊缝中的残余应力 .....	158
7.2.4 降低焊缝区应力集中, 增加焊缝构件承载能力的技术措施 .....	159
7.3 260/320型压缩机曲轴主轴颈断裂分析 .....	161
7.3.1 确定疲劳源 .....	161
7.3.2 咬蚀的作用 .....	164
7.3.3 紧配合轴的强度 .....	165
7.3.4 提高强度的途径 .....	166
7.3.5 结论及改进措施 .....	167
7.4 预防疲劳失效的选材 .....	167
7.4.1 材料失效与成分、组织、状态的关系 .....	167
7.4.2 选材原则 .....	167
7.4.3 提高带缺口零件的疲劳强度理论分析 .....	169
7.5 采用能提高材料疲劳强度的热处理及强化工艺 .....	172

## **参考文献** ..... 174

# 第 1 章

## 机械零件失效分析及疲劳强度

### 1.1 失效分析及失效预防的基本思路

零件失效是零件（或材料）的失效抗力与服役条件这一对矛盾作用的结果，当零件（或材料）的失效抗力不能胜任服役条件的要求时，就会造成零件（或材料）的失效。

零件的服役条件包括载荷、环境因素的影响。载荷又可分为静载荷、动载荷（交变、脉动与冲击载荷）两大类；而环境因素则比较复杂，常分为高温、低温、各种介质、辐照作用和电磁场等。

不同的服役条件要求具有不同的失效抗力指标，而材料的失效抗力指标则主要取决于材料的成分、组织和状态。以失效抗力指标为主线，对零件进行失效分析的基本思路如图 1-1 所示。图中粗箭头表示分析思路中的主干，细箭头表示必

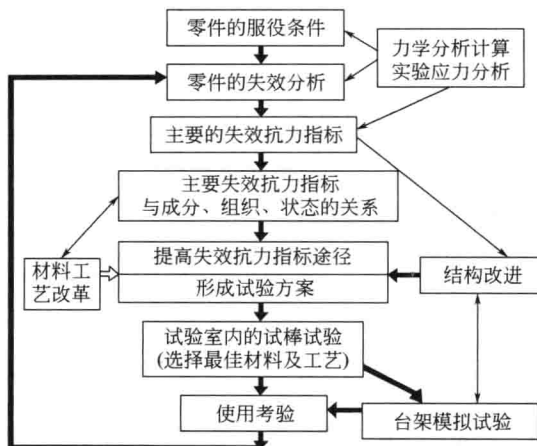


图 1-1 失效分析的基本思路

表 1-1 典型机器零件的服役条件、常见失效方式及材料选择的一般标准

零件类型	服役条件				常见失效方式								材料选择的一般标准 (主要失效抗力指标)						
	负荷种类及速度		应力状态		磨损	温度	介质	振动	过量变形	脆断	塑断	表面变化		尺寸变化	疲劳	腐蚀	蠕变	腐蚀	应力腐蚀
	静	疲劳	冲击	拉															
紧固螺栓	△	△		△					△		△		△	△					疲劳、屈服、剪切强度
轴类零件	△	△			△						△	△		△					静强度、弯、扭复合疲劳强度
齿轮	△	△		△	△				△		△	△		△					弯曲和接触疲劳、耐磨性、心部屈服强度
螺旋弹簧	△	△							△		△	△		△					扭转疲劳,弹性极限、受扭弹簧是弯曲疲劳
板弹簧	△	△							△		△	△		△					弯曲疲劳、弹性极限
滑动轴承	△	△		△			△				△	△		△					疲劳、耐磨性、耐蚀性
滚动轴承	△	△		△	△		△				△	△		△					接触疲劳、耐磨性、耐蚀性
曲轴	△	△									△	△		△					扭转、弯曲疲劳、耐磨性、循环韧性
连杆	△	△		△										△					拉压疲劳
活塞销	△	△										△		△					疲劳强度、耐磨性
连杆螺栓	△	△		△										△					拉压疲劳、缺口偏斜拉伸强度、剪切和屈服强度
汽轮机叶片	△	△					△							△					高温弯曲疲劳、蠕变及持久强度、耐磨性、循环韧性

注: △表示最常见的状况。

要时应附加的内容。

失效分析及失效预防好比医生治病，要对症下药才能将病医好，这是紧密联系的两个方面，基本思路是：

1) 对具体服役条件下的零件具体分析，特别是对受力情况做出正确分析，并从中找出主要的失效方式及主要失效抗力指标。表 1-1 是典型机器零件的服役条件、常见的失效方式及主要的失效抗力指标。

2) 运用金属学、材料强度学和断裂物理、化学、力学的研究成果，深入分析各种失效现象的本质。根据主要失效抗力指标与材料成分、组织、状态的内在关系，提出改进措施。

3) 根据“不同服役条件要求材料强度与塑性、韧性的合理配合”这一原则，分析研究失效零件现行的选材、用材技术条件是否合理，是否受旧的传统学术观念束缚。在失效分析中常遇到一些“合理而不合法”的技术条件规定，如果把它当成金科玉律，则会犯分析上的错误，对预防零件失效不利。

4) 采用局部复合强化，克服零件上的薄弱环节，争取达到材料的等强度设计。

5) 在进行失效分析和提出克服失效的措施时，还应做到几个结合：

① 设计、材料、工艺相结合，即对形状、尺寸、材料、成型加工和强化工艺统一考虑。

② 结构强度（力学计算、试验应力分析）与材料强度相结合，试棒试验与实际零件台架模拟试验相结合。

③ 宏观规律与微观机理相结合，宏观断口分析与微观断口分析相结合；宏观、微观、亚微观组织分析相结合。

④ 试验室规律性试验研究与生产考验相结合。

## 1.2 机械零件的主要失效形式

机械零件由于某些原因不能正常工作时，称为失效。其主要失效形式有：过量变形、断裂和表面损伤，参见下面的失效类型。

- |      |      |  |   |
|------|------|--|---|
| 失效类型 | 1.   | 过量变形——如花键扭曲，紧固螺栓拉长，石油射孔器胀大超限；动力机械的高温蠕变，低温蠕变等 |   |
|      |      | 2. 断裂  | 一次静加载断裂或一次冲击加载断裂（常温或低温），<br>高温下载荷长时作用断裂（持久强度）<br>应力腐蚀及腐蚀疲劳断裂  |
|      |      |  | 疲劳断裂 { 高应变低周次（压力容器） 低压力高周次（轴类、螺栓类、齿轮类）<br>蠕变与疲劳交互作用（某些动力机械零件） |
| 3.   | 表面损伤 | 磨损——尺寸变化（齿轮、轴颈、轴承）                           |   |
|      |      | 腐蚀冲刷——咬蚀、汽蚀                                  |   |
|      |      | 接触疲劳——麻点剥落（轴承、齿轮表面）                          |   |

### (1) 过量变形

机械零件受载工作时，必然会发生弹性变形。在允许范围内的微小弹性变形，对机器工作影响不大。但过量的弹性变形甚至塑性变形会使零件或机器不能正常工作，有时还会造成较大的振动，致使零件破坏。

当零件过载时塑性材料还会发生塑性变形，这会造成零件的尺寸和形状改变，破坏零件与零件间的位置和配合关系，使零件或机器不能正常工作。

### (2) 断裂

断裂可分为韧性断裂、脆性断裂和疲劳断裂等几种形式。零件在外载荷作用下，由于某一危险剖面上的应力超过零件的强度极限，将发生前两种断裂；在循环变应力作用下，工作时间较长的零件，最易发生疲劳断裂，这是大多数机械零件的失效形式。

断裂是一种严重的失效形式，它不但使零件失效，有时还会导致严重的人身及设备事故。

### (3) 表面损伤

绝大多数零件与别的零件发生静的或动的接触和配合关系，载荷作用于表面，摩擦和磨损发生在表面，环境介质也包围着表面，因此，失效大都会出现在表面。

表面损伤包括：表面疲劳、磨损、胶合、塑性变形、压溃及腐蚀等。

表面损伤后通常都会增大摩擦，增加能量消耗，破坏零件的工作表面，致使零件尺寸发生变化，最终造成零件的报废。零件的使用寿命在很大程度上受到表面损伤的限制。

## 1.3 疲劳断裂失效

### 1.3.1 定义与分类

在交变循环应力多次作用下发生的断裂称为疲劳断裂。疲劳断裂失效是机器零件中最常见的失效方式。各种机器中，因疲劳失效的零件达到失效总数的60%~70%。

根据构件的特点及破坏时应力循环次数，疲劳失效可按图 1-2 所示分成几种类型，各种类型的疲劳失效的分析方法是非常不同的。

高周疲劳发生时，应力在屈服强度以下，构件的寿命主要由裂纹的形核寿命控制。低周疲劳发生时的应力可高于屈服极限，其寿命受裂纹扩展寿命的影响较大。

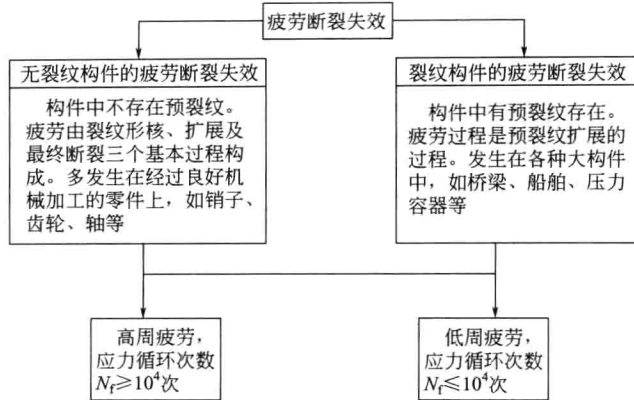


图 1-2 疲劳断裂失效的分类

### 1.3.2 力学分析

#### (1) 无裂纹构件的疲劳断裂失效分析

一个在交变载荷作用下的构件，例如一根受拉-压载荷的轴或受弯曲载荷的旋转轴，将承受拉伸-压缩交变作用的循环应力，并且大多数情况下循环应力随时间呈正弦波形变化，其应力范围为

$$k_N = \sqrt{N_0 / N} \Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (1-1)$$

若最大应力没超过材料的屈服强度，则

$$\Delta\sigma = E\Delta\epsilon_e \quad (1-2)$$

其中  $\Delta\epsilon_e$  是材料的弹性应变。

如果最大应力超过材料的屈服强度，则还会使材料发生显著的塑性应变  $\Delta\epsilon_p$ 。

构件在一定的循环应力作用下工作时，经过一定的应力循环系数后将发生断裂。以循环应力与发生断裂时的应力循环次数为坐标轴作成图，即可得到所谓的  $\sigma-N$  曲线，如图 1-3 与图 1-4 所示。

实验证明，在高周疲劳范围内 ( $\sigma < \sigma_a$ )，疲劳寿命  $N_f$  与应力范围  $\Delta\sigma$  之间有如下关系 (见图 1-3)

$$\sigma_a = \sigma_f (2N_f)^b \quad (1-3)$$

式中， $\sigma_a = \frac{\Delta\sigma}{2}$  (在零平均应力恒幅试验时的应力半幅) = 真应力半幅；

$2N_f$ ——到断裂时的应力反复次数 (一个应力循环等于两次反复)；

$\sigma_f$ ——疲劳强度系数，对于许多材料，约等于静拉时的真实断裂强度；

$b$ ——疲劳强度指数 (Basquin 指数)， $b$  值在  $-0.05 \sim -0.12$  之间变化。

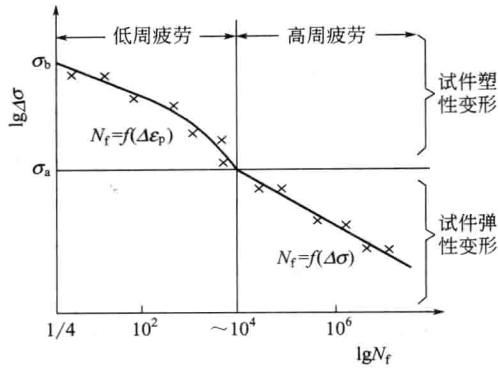
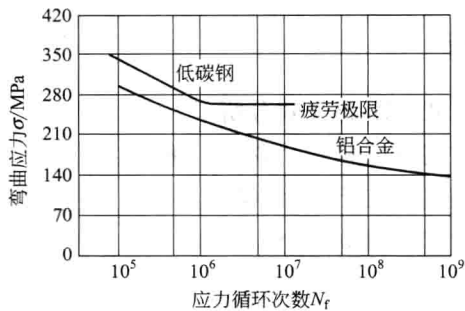


图 1-3 疲劳的两种基本形式（无裂纹构件）

图 1-4 典型的  $\sigma$ - $N$  曲线

应力低于一定数值后，某些材料（如低碳钢）无论经过多少次循环，都不发生疲劳断裂，即构件进入无限寿命的疲劳区域，此时相应的最大应力值即称为材料的疲劳极限。对称循环条件下的疲劳极限用  $\sigma_{-1}$  表示。有些材料没有明显的疲劳极限， $\sigma$ - $N$  曲线上没有明显转折，如图 1-4 中的铝合金。对于这类材料，人们规定某一应力循环次数（如  $10^8$ ）为条件疲劳极限。

实验证明，在低周疲劳范围，对疲劳破坏起主要作用的不是应力幅值的大小，而是此应力产生的塑性应变范围  $\Delta\epsilon_e$  的大小（注意对不同材料，在相同  $\Delta\sigma$  下产生的  $\Delta\epsilon$  可以很不一样，材料强度越高，则  $\Delta\epsilon_p$  越小），并有

$$\Delta\epsilon_p N_f^\beta = C \quad (1-4)$$

式中， $\beta$  是一个常数，近似为  $0.5 \sim 0.6$ ； $C$  近似等于简单拉伸时的塑性断裂应变  $\epsilon_f$ ，

$$\epsilon_f = \ln \frac{1}{1-Z} \quad (1-5)$$

式中  $Z$  为静拉伸时的断面收缩率。

## (2) 含裂纹构件的疲劳断裂失效分析

含裂纹构件的疲劳问题,实质上是一个预先存在的裂纹  $\alpha_0$ , 在应力范围  $\Delta\sigma$  的作用下发生扩展, 长大到材料的断裂韧性所能容许的最大裂纹长度即为临界裂纹尺寸 ( $\alpha_c$ ),

$$\alpha_c = \frac{K_{IC}^2}{Y^2 \sigma_{\max}^2} \quad (1-6)$$

最终由裂纹快速扩展, 导致构件断裂的问题。因此构件的疲劳寿命与裂纹扩展的速度有密切的关系。断裂力学实验表明, 裂纹扩展速率  $d\alpha/dN$  (每一循环时裂纹的推进量) 与应力范围  $\Delta\sigma$  在裂纹尖端造成的应力强度因子范围  $\Delta K$  有以下关系

$$\frac{d\alpha}{dN} = A \Delta K^m \quad (1-7)$$

这个公式叫做 Paris 公式, 其中  $A$  和  $m$  是材料参数,  $\Delta K = Y \cdot \Delta\sigma \cdot \sqrt{a}$ 。

图 1-5 表示出了材料的  $d\alpha/dN-\Delta K$  曲线。在整个范围内,  $A$ 、 $m$  并不是常数。当  $\Delta K$  低于疲劳裂纹扩展门槛值  $\Delta K_{th}$  时, 裂纹的扩展速率极低 ( $\leq 10^{-8}$  mm/周), 可以认为裂纹不扩展。在这种条件下工作时, 可以认为构件有无限疲劳寿命。一定的构件要达到无限寿命, 其工作应力应满足

$$\Delta\sigma \leq \frac{\Delta K_{th}}{Y \sqrt{a}} \quad (1-8)$$

在后面将会看到, 达到这种条件是比较困难的。在大多数情况下, 含裂纹构件是在有限寿命条件下工作的, 因此这时应按裂纹扩展寿命来设计。设计时, 将  $d\alpha/dN-\Delta K$  关系作适当的变换, 即可求出含裂纹构件在一定外载条件下的疲劳寿命 ( $N_f$ )

$$N_f = \int_0^{N_f} dN = \int_{\alpha_0}^{\alpha_c} \frac{d\alpha}{A \Delta K^m} \quad (1-9)$$

$$\text{即} \quad N_f = \frac{2}{mAY^m \Delta\sigma^m} \left[ \frac{1}{\alpha_0^{(m-2)/2}} - \frac{1}{\alpha_c^{(m-2)/2}} \right] \quad (1-10)$$

式中  $\alpha_0$  为构件中预先存在的裂纹长度。

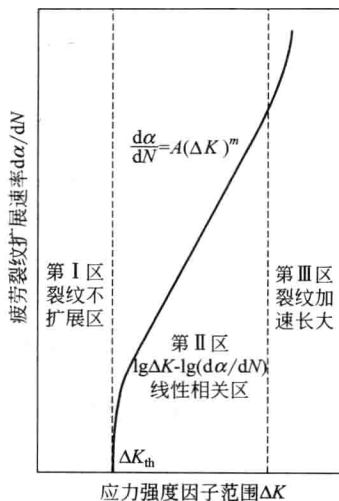


图 1-5 疲劳裂纹速率  $d\alpha/dN$  与应力强度因子幅  $\Delta K$  关系图

## 1.4 材料的疲劳强度

### 1.4.1 疲劳强度和抗拉强度之间的经验关系

对于钢铁材料来讲, 疲劳强度和抗拉强度之间存在比较好的对应关系。试验



表明, 抗拉强度提高, 疲劳强度提高。对于中、低强度钢, 疲劳极限与抗拉强度之间大体呈线性关系, 参见图 1-6。钢铁材料的疲劳强度和抗拉强度之比约等于 0.5。当抗拉强度超过 1400MPa 之后, 疲劳强度不再随抗拉强度提高而提高, 甚至可能下降, 其原因是强度较高时, 因材料塑性和断裂韧性下降, 裂纹易于形成和扩展所致。缺口试样 ( $K_t = 1.6 \sim 2.1$  之间) 的试验数据说明, 这个比值为 0.24~0.30。

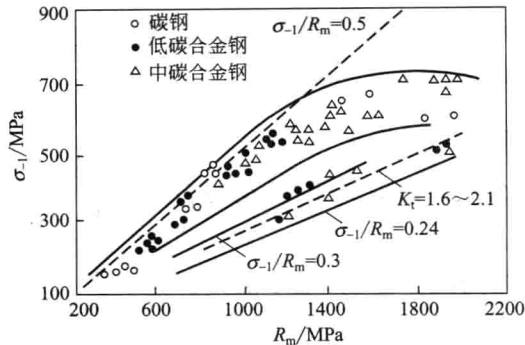


图 1-6 疲劳极限与抗拉强度之间的关系

对于一般钢铁材料

$$\sigma_{-1} = 9.8 \times (0.35R_m + 12.2) \quad (1-11)$$

对于高强度钢

$$\sigma_{-1} = 9.8 \times [0.25 \times (1 + 1.35\psi)R_m] \quad (1-12)$$

对于有色金属

$$\sigma_{-1} = 9.8 \times (0.19\sigma_t + 2) \quad (1-13)$$

式中  $R_m$ ,  $\sigma_t$ ,  $\psi$  分别表示抗拉强度、断面强度和断面收缩率。

#### 1.4.2 应力集中和缺口的影响

在零件截面的几何形状突然发生变化之处 (如孔、圆角、键槽、螺纹等), 局部应力要远远大于名义应力, 这种现象称为应力集中。最大局部应力与名义应力的比值, 称为理论应力集中系数。理论应力集中系数不能判断因局部应力使零件的疲劳强度降低多少, 因为它在不同材料制造的零件上, 表现有所不同。实际上常用有效应力集中系数来表示疲劳强度的真正降低程度。有效应力集中系数定义为: 材料、尺寸和受载情况都相同的一个无应力集中试样与一个有应力集中试样的疲劳极限的比值, 即为疲劳有效应力集中系数  $K_\sigma$  和  $K_\tau$ 。

$$K_\sigma = \sigma_{-1} / (\sigma_{-1})_k, K_\tau = \tau_{-1} / (\tau_{-1})_k \quad (1-14)$$