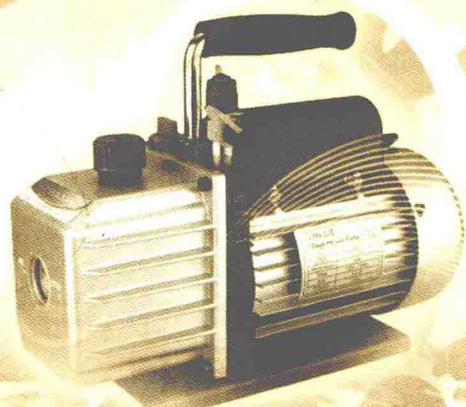


“十二五”职业教育国家规划教材
全国职业教育教材审定委员会审定

机电设备安装与维护

(第2版)

◎主编 袁晓东



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

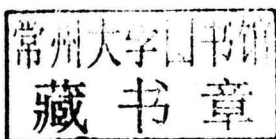


“二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

机电设备安装与维护

(第2版)

主 编 袁晓东
副主编 华建慧 易传佩
参 编 刘德彬 唐家杨 雷 进 刘家伦
主 审 谢永春



 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

· 内容简介

本教材尽量体现“宽基础、重应用、内容新”的特点,遵循循序渐进的认识规律。全书共6章:第1章机械设备维修的基本概念,第2章机械设备的润滑,第3章机械设备的维修与修复,第4章典型设备的维护与检修,第5章设备维修制度,第6章机械的装配与安装。

本教材为高等职业院校机电类专业规划教材之一,也可供从事机械设备设计、维修的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机电设备安装与维护/袁晓东主编.——2版.—北京:北京理工大学出版社,2014.8
ISBN 978-7-5640-9534-5

I. ①机… II. ①袁… III. ①机电设备-设备安装-高等职业教育-教材②机电设备-维修-高等职业教育-教材 IV. ①TH17②TH182

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第179033号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/12.5

字 数/288千字

版 次/2014年8月第2版第1次印刷

定 价/29.00元

责任编辑/陆世立

文案编辑/陆世立

责任校对/周瑞红

责任印制/马振武

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

本书是根据教育部新制定的高等职业教育培养目标和规定的有关文件精神,本着为高等职业教育的教学质量服务的原则,同时针对高职院校机电一体化、机械制造等专业教学思路和方法的不断改革和创新,结合对机电设备维修课程的教学基本要求而编写。

现代化设备是现代科学技术的荟萃。随着现代科学技术的进步与发展,设备越来越大型化,功能越来越齐全,结构越来越复杂,自动化程度也越来越高。设备的机电一体化、高速化、微电子化等特点使设备容易操作,而设备的诊断和维修则比较困难。设备一旦发生故障,尤其是连续化生产设备,往往会导致整套设备停机,从而造成一定的经济损失,而且可能还会危及到安全和环境,产生重大的社会影响。

设备的安装和维修技术是一项复杂的系统工程。“机电设备的安装与维护”课程是机制、机电专业课之一,目的是使学生系统地掌握机电设备维护修理与安装的基本理论和方法,具有分析、解决实际问题的能力。近年来,随着国家示范性高职院校和省级示范性高职院校的建设,人们对高职教育有了更进一步的理解,人才培养方案得到进一步优化,课程体系也作了适应性调整。教材中增大了实践教学比重,取消了繁琐的理论推导。

在教材编写过程中,认真总结了兄弟院校提供的宝贵意见,注意吸收了发达国家先进的职业教育理念和方法。本教材具有如下特色:

1. 针对性强 根据机电一体化技术专业的培养目标,融合最新的国家职业标准,突出实用,做到浅显易懂,注重学生应用能力的培养。

2. 教材初呈立体化形式 运用现代信息技术,构建了本教材的课程网站,开发了补充性、更新性和延伸性教辅资料,建立了共享的课程教材资源库。

3. 行业特色鲜明 钢铁冶金产业是国家的支柱产业之一。本教材在落实机电设备通用的安装与维护知识和技能的基础上,重点突出了冶金机电设备的维修知识,所选典型案例都来自于冶金工厂现场,使教材能更有效地服务经济。

4. 编写特色明显 在内容选取上以典型机电设备为对象,遵循了理论教学以应用为目的,必须、够用为度的原则,体现实用性、先进性,突出理论与实践的结合,按照“机电结合、以机为主”的思路,采用模块化结构来选取和构建知识内容。每章中针对性地安排有实验实训课题,章后有思考题,有利于教师在教学中把握重点、难点,便于学生复习和巩固所学知识。

教材内容尽量体现“宽基础、重应用、内容新”的特点,遵循循序渐进的认识规律,紧密结合《钳工国家职业标准》、《机电一体化技术应用人员职业标准》和《高等

职业学校机电一体化技术专业教学标准》来编写，取材适当，所选实例多来自工作现场，针对性强；每章均结合课程内容配备一定的实验实训课题，结构新颖；教材内容丰富，以实践技能的提高为目的，充分体现了职业教育的特色。

全书共六章：第1章机械设备维修的基本概念，第2章机械设备的润滑，第3章机械设备的维护及修复，第4章典型设备的维护与检修，第5章设备维修制度，第6章机械的装配与安装。

本教材为高职高专机电工程类专业规划教材之一，也可供从事机械设备设计、维修工程技术人员参考。本教材依托省级精品课程的建设，配套了课程标准、电子教案、电子课件、习题集、试卷库、图片资料、视频资料等资源，能较好地满足教师教学和学生学习的需要。

本书由袁晓东任主编，华建慧、易传佩任副主编，攀枝花学院谢永春教授任主审。参加该书编写工作的有四川化工职业技术学院袁晓东（编写第1、2章），四川机电职业技术学院华建慧（编写第4章），湖南机电职业技术学院易传佩（编写第6章第1、2、3、4节），攀钢职教中心刘德彬（编写第3章），攀钢热轧板厂唐家杨（编写第5章第3节），四川农业科技职业学院机电分院雷进（编写第5章第1、2、4、5节），宜宾职业技术学院刘家伦（编写第6章第5、6、7节），全书由袁晓东统稿。

四川化工职业技术学院高朝祥教授为本书编写提供了许多宝贵意见和建议。本书的编写过程中参考了很多相关书籍、资料，得到了有关院校的大力支持与帮助，在此一并表示由衷的感谢。

由于我们水平所限，书中不妥之处，恳请读者和专家们给予批评指正。

编者

目 录

第 1 章 机械设备维修的基本概念	1
1.1 机器的磨损规律	1
1.2 机械零件常见磨损类型	2
1.2.1 机械磨损	3
1.2.2 疲劳磨损	4
1.2.3 腐蚀磨损	5
1.2.4 微动磨损	5
1.3 金属零件的断裂	5
1.3.1 断裂	5
1.3.2 腐蚀	7
1.4 机械零件的变形	9
思考题	11
第 2 章 机械设备的润滑	12
2.1 润滑原理及润滑材料	12
2.1.1 润滑原理	12
2.1.2 润滑材料	18
2.2 润滑的方法和装置	27
2.2.1 润滑油润滑装置	28
2.2.2 润滑脂润滑装置	32
2.2.3 向摩擦表面引油的方法和润滑油沟	35
2.2.4 油雾润滑和油气润滑	37
2.3 典型零部件的润滑	42
2.3.1 滑动轴承的润滑	42
2.3.2 滚动轴承的润滑	47
2.3.3 齿轮及蜗轮传动的润滑	52
2.3.4 冶金工厂主要设备的润滑	55
2.4 实验实训项目	57
2.4.1 基本实训	57
2.4.2 选做实训	57
思考题	57

第3章 机械设备的维护及修复	59
3.1 设备的维护	59
3.1.1 设备的维护保养	59
3.1.2 设备的三级保养制	60
3.1.3 精、大、稀设备的使用维护要求	61
3.1.4 设备的区域维护	62
3.1.5 提高设备维护水平的措施	62
3.1.6 液压设备的维护	62
3.2 故障诊断技术	67
3.2.1 机械故障诊断的基本原理、基本方法和环节	67
3.2.2 诊断技术方法	69
3.3 零件的修复技术	77
3.3.1 钳工修复与机械修复	77
3.3.2 焊接修复	82
3.3.3 热喷涂(熔)修复法	86
3.3.4 电镀修复法	87
3.3.5 胶接修复法	89
3.3.6 其他修复方法简介	90
3.4 机械设备的大修理	92
3.4.1 机械设备大修的基本概念	93
3.4.2 维修前的准备工作	93
3.4.3 20 t 抓斗式起重机大修	96
3.5 实验实训课题	99
3.5.1 实验实训项目	99
3.5.2 实训修复示例	100
思考题	103
第4章 典型设备的维护与检修	104
4.1 减速机漏油的处理	104
4.1.1 减速机漏油的原因	104
4.1.2 防止漏油的原则办法	104
4.1.3 处理效果	105
4.2 数控机床的维修	107
4.2.1 数控机床关键零部件的特点	107
4.2.2 数控机床的维护保养	110
4.2.3 数控机床的故障诊断	110
4.3 桥式起重机主梁下挠的处理	113
4.3.1 起重机桥架变形的分析及检测方法	113

4.3.2	主梁下挠变形对起重机使用性能的影响	116
4.3.3	主梁下挠应修界限	117
4.3.4	起重机桥架变形的修复方法	118
4.4	电气设备维修	121
4.4.1	电气线路与设备故障类型	122
4.4.2	检修电气线路与设备故障常用的方法	122
4.4.3	电气线路与设备故障检修顺序	127
4.4.4	电动机常见故障与维修技术	129
4.4.5	开关电器常见故障与维修技术	134
4.5	实验实训课题	139
4.5.1	基本实训	139
4.5.2	选做实训	139
	思考题	139
第 5 章	设备维修制度	140
5.1	概述	140
5.1.1	计划预修制	140
5.1.2	计划保修制	140
5.1.3	全员生产维修制 (TPM)	141
5.2	机械设备的巡回检查计划修理	141
5.2.1	设备检查制度	141
5.2.2	计划修理制度	144
5.3	机械设备的点检定修制	146
5.3.1	点检的概念	147
5.3.2	点检的内容、种类、周期	147
5.3.3	点检定修制	150
5.4	设备故障管理	151
5.4.1	设备故障的概念及分类	151
5.4.2	设备故障管理及其重要性	152
5.5	实验实训课题	158
	思考题	158
第 6 章	机械的装配与安装	159
6.1	概述	159
6.1.1	机械装配的概念	159
6.1.2	机械装配的工艺过程	159
6.1.3	保证装配精度的工艺方法	160
6.1.4	装配的一般工艺原则	161
6.2	过盈配合的装配方法	161

6.2.1	压装法	162
6.2.2	热装法	163
6.2.3	冷装法	164
6.3	齿轮、联轴节的装配	164
6.3.1	齿轮的装配	164
6.3.2	联轴节的装配	167
6.4	轴承的装配	171
6.4.1	滚动轴承的装配	171
6.4.2	滑动轴承的装配	175
6.5	密封装置的装配	178
6.5.1	固定连接密封	178
6.5.2	活动连接密封	179
6.6	机械设备的安装	181
6.6.1	机械安装前的准备工作	181
6.6.2	机械设备的安装基础	182
6.6.3	机械设备的安装	185
6.7	实验实训课题	189
6.7.1	圆柱齿轮减速器的装配	189
6.7.2	离心泵与电机的联轴节的装配	189
6.7.3	热装法装配滚动轴承	189
思考题		189
参考文献		191

第 1 章

机械设备维修的基本概念

在设备的使用过程中，只有对设备进行合理的技术维护和及时的修理，才能保证机器正常工作，不发生故障。机器故障的产生，其最显著的特点是机器的各个组成部分或零件间配合的破坏，而其配合的破坏主要是由于在其配合表面上不断受到摩擦、冲击、高温和腐蚀性物质等作用而产生了过早的磨损的结果。这样就使零件的形状、尺寸、金属表面层（化学成分、机械性能、金相组织）发生了改变，从而降低了精度和应有的功能。

1.1

机器的磨损规律

在设备使用过程中，机械零件由于设计、材料、工艺及装配等各种原因，丧失规定的功能，无法继续工作的现象称为失效。当机械设备的关键零部件失效时，就意味着设备处于故障状态。机械设备越复杂，引起故障的原因越多样化，一般认为是机械设备自身的缺陷（基因）和各种环境因素的影响。机械设备自身的缺陷是由材料存在缺陷和应力、人为差错（设计、制造、检验、维修、使用、操作不当）等原因造成的。环境因素主要指灰尘、温度、有害介质等。而这两大造成故障的因素都可能引起设备的磨损。

机器的各个组成部分或零件间配合的破坏是机器故障产生的最显著表象，而这主要是由于机件过早磨损的结果。因此，研究机器故障应首先研究典型零件及其组合的磨损。磨损的定义就广义来说，系某种固体之一部分（包括从原子大小到固体粒子大小的东西）因摩擦被除掉的减量现象。

磨损的存在，对我们有害的一面，如辊道、剪断机的剪刀、高炉的料钟等的磨损，就是有害的。但也有为我们所用的一面，如滑动轴承的铜瓦只有经过研刮才能达到配合的精度以付使用，这里说的研刮就是为我们所利用的磨损现象。

一般磨损现象常表现为由于摩擦的机械性作用致使表面受伤而有所损耗，进而摩擦面的温度因摩擦热而上升，由于热的作用会出现小小裂痕，受这个原因的影响有时表面一部分剥落，如果温度过高，也会熔化流走；在腐蚀的环境中，因腐蚀也会减量。

机械设备在运转时，零件各部位的磨损并非相同，而是随其工作条件而异，但是磨损的发展，也有其规律。如图 1-1 所示中的曲线为组合机件磨损的典型曲线。这条曲线具有三

个明显的部分,分别表示不同的工作时期。

O_1A 段为初期磨损时期,即新组合机件的试运转磨合过程。在这时期内曲线急剧上升,表示组合机件在工作初期具有较大的磨损,机件在加工时所得到的最初不平度受到破坏、划伤或磨平形成新的不平度。间隙由 $S_{\min}$ 增大到 $S_{\text{初}}$,但曲线趋近 A 点时磨损速度逐渐降低。

AB 段为正常磨损时期(或叫稳定磨损时期),组合机件的磨损成直线均匀上升,与水平线成 α 角。当机件工人经 t 小时达到 B 点时,间隙增大为 $S_{\max}$ 。

经过 B 点后,磨损重新开始急剧增长, BC 段为事故磨损时期,间隙超过最大的允许极限间隙 $S_{\max}$ 。由于间隙过大增加了冲击作用,润滑油膜被破坏,磨损强烈,机件处于危险状态。这时如果继续工作,则可能发生意外故障。

从这条曲线得知,机件在试运转以后,即为正常工作的开始。而正常工作终了时,即转入事故磨损时期,达到了允许的极限磨损量。这时,对机件必须进行修复或更换。机器的磨损可以分为两类,即自然(正常的)磨损和事故(过早的、迅速增长的或突然发生意外的)磨损。

自然磨损是机件在正常的工作条件下,由于接触表面不断受到摩擦力作用的结果。有时也是由于受到周围环境温度或腐蚀性物质作用的结果,产生了逐渐增长的磨损。这种磨损是正常的,不可避免的现象。

事故磨损是由于对机器检修不及时,或维修质量不高,或因机件结构的缺陷和材料质量的低劣以及严重地违反操作规程,所发生的剧烈磨损而形成事故的现象。

由上可知,自然磨损是不可避免的。因此,我们的任务就是要对机件采取措施,提高机件的强度和耐磨性能,改善机件的工作条件,特别是对机件进行良好的润滑和维护,从而减小磨损强度,达到延长机器使用寿命的目的。

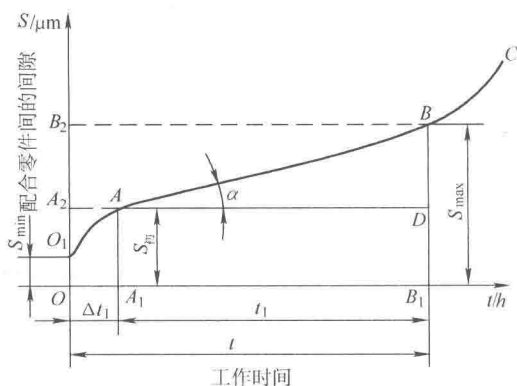


图 1-1 磨损的典型曲线

1.2

机械零件常见磨损类型

据统计,世界上的能源消耗中约有 $1/3 \sim 1/2$ 是由于摩擦和磨损造成的,一般机械设备中约有 80% 的零件因磨损而失效报废。摩擦是不可避免的自然现象,磨损是摩擦的必然结果,二者均发生于材料表面。磨损是一种微观和动态的过程,在这一过程中,零件不仅发生外形和尺寸的变化,而且会发生其他各种物理、化学和机械的变化。

通常将磨损分为黏着磨损、磨料磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损和微动磨损五种形式。

1.2.1 机械磨损

机械设备在工作过程中,因机件间不断地摩擦或因介质的冲刷,其摩擦表面逐渐产生磨损,因此引起机件几何形状改变,强度降低,破坏了机械的正常工作条件,使机器丧失了原有的精度和功能,这称为机械磨损。

1. 黏着磨损

两摩擦表面接触时,由于表面不平,发生的是点接触,在相对滑动和一定载荷作用下,在接触点发生塑性变形或剪切,使其表面膜破裂,摩擦表面温度升高,严重时表面金属会软化或熔化,此时,接触点产生黏着,然后出现黏着—剪断—再黏着—再剪断的循环过程,这就形成黏着磨损。

根据黏着程度的不同,黏着磨损的类型也不同。若剪切发生在黏着结合面上,表面转移的材料极轻微,则称轻微磨损,如缸套—活塞环的正常磨损;若剪切发生在软金属浅层里面,转移到硬金属表面上,称为涂抹,如重载蜗轮副的蜗杆的磨损;若剪切发生在软金属接近表面的地方,硬表面可能被划伤,称为擦伤,如滑动轴承的轴瓦与轴摩擦的拉伤;若剪切发生在摩擦副一方或两方金属较深的地方,称为撕脱,如滑动轴承的轴瓦与轴的焊合层在较深部位剪断时就是撕脱;若摩擦副之间咬死,不能相对运动,则称为咬死,如滑动轴承在油膜严重破坏的条件下,过热、表面流动、刮伤和撕脱不断发生时,又存在尺寸较大的异物硬粒部分嵌入在合金层中,则此异物与轴摩擦生热。上述两种作用叠加在一起,使接触面黏附力急剧增加,造成轴与滑动轴承抱合在一起,不能转动,相互咬死。

2. 磨料磨损

由于一个表面硬的凸起部分和另一表面接触,或者在两个摩擦面之间存在着硬的颗粒,或者这个颗粒嵌入两个摩擦面的一个面里,在发生相对运动后,使两个表面中某一个面的材料发生位移而造成的磨损称为磨料磨损。在农业、冶金、矿山、建筑、工程和运输等机械中许多零件与泥沙、矿物、铁屑、灰渣等直接摩擦,都会发生不同形式的磨料磨损。据统计,因磨料磨损而造成的损失,占整个工业范围内磨损损失的50%左右。

由于产生的条件有很大不同,磨料磨损一般可以分为如下三种类型:

(1) 冶金机械的许多构件直接与灰渣、铁屑、矿石颗粒相接触,这些颗粒的硬度一般都很高,并且具有锐利的棱角,当以一定的压力或冲击力作用到金属表面上时,便会从零件层凿下金属屑。这种磨损形式称为凿削磨料磨损。

(2) 当磨料以很大压力作用于金属表面时(如破碎机工作时,矿石作用于颚板),在接触点引起很大压应力,这时,对韧性材料则引起变形和疲劳,对脆性材料则引起碎裂和剥落,从而引起表面的损伤,粗大颗粒的磨料进入摩擦副中的情况也与此相类似。零件产生这种磨损情况的条件是作用在磨料破碎点上的压应力必须大于此磨料的抗压强度。而许多磨料(如砂、石、铁屑)的抗压强度是较高的。因此把这种磨损称为高应力碾碎式磨料磨损。

(3) 磨料以某种速度较自由地运动,并与摩擦表面相接触。磨料的摩擦表面的法向作用力甚小,如气(液)流携带磨料在工作表面作相对运动时,零件表面被擦伤,这种磨损称为低应力磨损。如烧结机用的抽风机叶轮、矿山用泥浆泵叶轮等的磨损都属于低应力磨料磨损。

3. 影响机械磨损的因素及降低磨损的措施

(1) 润滑。在两摩擦表面间充以润滑油,可大大减小摩擦系数,从而促使摩擦阻力减小,使机械磨损降低。故机器的运转有无润滑油以及正确选择润滑材料,合理制定润滑制度以及加强润滑管理都是很重要的,它对机器的使用寿命影响很大。

(2) 表面加工质量。机件经过加工后,其摩擦表面不可能得到理想的几何形状,总要留下切削工具的刀痕或砂轮磨削的痕迹而构成凹凸状的不平度。一般情况下,表面加工粗糙的,开始磨损较快。当磨到一定时间,不平度大致消除后,磨损便减慢下来。故表面加工精度的要求应根据零件工作的特点来选择,不要盲目追求过高的加工质量。实验指出,过于光滑的表面不一定具有好的耐磨性能,因为这时润滑油不能形成均匀的油膜,两接触面容易发生黏结,反而使耐磨性变坏。

(3) 材料。材料的耐磨性主要取决于它的硬度和韧性。材料的硬度决定于金属对其表面变形的抵抗能力。但过高的硬度易使脆性增加,使材料表面产生磨粒的剥落。而材料的韧性可防止磨粒的产生,提高其耐磨性能。另外,增加材料的化学稳定性还可以减少腐蚀磨损。增加材料本身的孔隙度可以蓄积润滑剂,从而减少机械磨损,提高零件的耐磨性。

不同材料有不同的机械性能,相同的材料采取不同的热处理方式可使其机械性能得到改善。因此合理的选用材料和热处理方式对减少机械磨损是很有意义的。

(4) 安装检修的质量。安装零件的正确性对机器寿命有很大的影响,如不正确地拧紧轴承盖与轴承座的连接螺钉、两结合面不对中、配合表面不平以及轴承间隙调整得不合适等,都能引起单位载荷在表面上不正确的分布或者产生附加载荷,因而使其磨损加快。

1.2.2 疲劳磨损

摩擦表面材料微观体积受循环接触应力作用产生重复变形,导致产生裂纹和分离出微片或颗粒的磨损称为疲劳磨损。如滚动轴承的滚动体表面、齿轮轮齿节圆附近、钢轨与轮箍接触表面等,常常出现小麻点或痘斑状凹坑,就是疲劳磨损所形成。

机件出现疲劳斑点之后,虽然设备可以运行,但是机械的振动和噪声会急剧增加,精度大幅度下降,设备失去原有的工作性能。因此,所生产的产品质量下降,机件的寿命也会迅速缩短。

出现疲劳磨损的主要原因是滚动摩擦面上,两摩擦面接触的地方产生了接触应力,表层发生弹性变形。在表层内部产生了较大的切应力(这个薄弱区域最易产生裂纹)。由于接触应力的反复作用,在达到一定次数后,其表层内部的薄弱区开始产生裂纹,届时,在表层外部也因接触应力的反复作用而产生塑性变形,材料表面硬化,最后产生裂纹。总而言之,是在材料的表面一层产生了裂纹。因为最大切应力与压应力的方向呈 45° 角,所以,裂纹也都是与表面呈 45° 角。在裂纹形成的两个新表面之间,由于润滑油的楔入,使裂纹内壁产生巨大的内压力,迫使裂纹加深并扩展,这种裂纹的扩展延伸,就造成了麻点剥落。由此可见,接触应力才是导致疲劳磨损的主要原因。降低接触应力,就能增加抵抗疲劳磨损的强度。当然改变材质也可以提高疲劳强度。此外,润滑剂对降低接触应力有重要作用,高黏度的油不易从摩擦面挤掉,有助于接触区域压力的均匀分布,从而降低了最高接触应力值。当摩擦面有充分的油量时,油膜可以吸收一部分冲击能量,从而降低了冲击载荷产生的接触应力值。

1.2.3 腐蚀磨损

在摩擦过程中,金属同时与周围介质发生化学反应或电化学反应,使腐蚀和磨损共同作用而导致零件表面物质的损失,这种现象称为腐蚀磨损。

腐蚀磨损可分为氧化磨损和腐蚀介质磨损。大多数金属表面都有一层极薄的氧化膜,若氧化膜是脆性的或氧化速度小于磨损速度,则在摩擦过程中极易被磨掉,然后又产生新的氧化膜,然后又被磨掉,在氧化膜不断产生和磨掉的过程中,零件表面产生物质损失,此即为氧化磨损,但氧化磨损速度一般较慢。当周围介质中存在着腐蚀物质时,例如润滑油中的酸度过高等,零件的腐蚀速度就会很快。和氧化磨损一样,腐蚀产物在零件表面生成,又在磨损表面磨去,如此反复交替进行而带来比氧化磨损高得多的物质损失,由此称为腐蚀介质磨损。这种化学—机械的复合形式的磨损过程,对一般耐磨材料同样有着很大的破坏作用。

1.2.4 微动磨损

两个接触表面由于受相对低振幅振荡运动而产生的磨损叫做微动磨损。它产生于相对静止的接合零件上,因而往往易被忽视。微动磨损的最大特点是在外界变动载荷作用下,产生振幅很小(小于 $100\text{ }\mu\text{m}$,一般为 $2\sim 20\text{ }\mu\text{m}$)的相对运动,由此发生摩擦磨损。例如在键连接处、过盈配合处、螺栓连接处、铆钉连接接头处等结合上产生的磨损。微动磨损使配合精度下降,使配合部件紧度下降甚至松动,连接件松动乃至分离,严重者引起事故。此外,也易引起应力集中,导致连接件疲劳断裂。

1.3

金属零件的断裂

1.3.1 断裂

断裂是零件在机械、热、磁、腐蚀等单独作用或者联合作用下,其本身连续性遭到破坏,发生局部开裂或分裂成几部分的现象。零件断裂后不仅完全丧失工作能力,而且还可能造成重大的经济损失或伤亡事故。因此,尽管与磨损、变形相比,断裂所占的比例很小,但它却是一种最危险的失效形式。尤其是现代机械设备日益向着大功率、高转速的趋势发展,断裂失效的几率有所提高。因此,研究断裂成为日益紧迫的课题。

断裂的分类方法很多,这里介绍其中的延性断裂、脆性断裂、疲劳断裂和环境断裂四种。

1. 延性断裂

零件在外力作用下首先产生弹性变形,当外力引起的应力超过弹性极限时即发生塑性变形。外力继续增加,应力超过抗拉强度时发生塑性变形而后造成断裂就称为延性断裂。延性断裂的宏观特点是断裂前有明显的塑性变形,常出现缩颈,而从断口形貌微观特征上看,断面有大量微坑(也称韧窝)覆盖。延性断裂实际上是显微空洞形成、长大、连接以致最终导致断裂的一种破坏方式。

2. 脆性断裂

金属零件或构件在断裂之前无明显的塑性变形,发展速度极快的一类断裂叫脆性断裂。它通常在没有预示信号的情况下突然发生,是一种极危险的断裂。

3. 疲劳断裂

机械设备中的轴、齿轮、凸轮等许多零件,都是在交变应力作用下工作的。它们工作时所承受的应力一般都低于材料的屈服强度或抗拉强度,按静强度设计标准应该是安全的,但实际上,在重复及交变载荷的长期作用下,机件或零件仍然会发生断裂,这种现象称为疲劳断裂,它是一种普通但严重的失效形式。在实际失效件中,疲劳断裂占了较大的比重,约80%~90%。

4. 环境断裂

实际上机械零部件的断裂,除了与材料的特性、应力状态和应变速率有关外,还与周围的环境密切相关。尤其是在腐蚀环境中,材料表面或裂纹边沿由于氧化、腐蚀或其他过程使材料强度下降,促使材料发生断裂。可以看出,环境断裂是指材料与某种特殊环境相互作用而引起的具有一定环境特征的断裂方式。环境断裂主要有应力腐蚀断裂、氢脆断裂、高温蠕变断裂、腐蚀疲劳断裂及冷脆断裂等。

(1) 应力腐蚀断裂。金属材料在拉应力和特定的腐蚀介质联合作用下引起的低应力脆性断裂称为应力腐蚀断裂。它的发生极为隐蔽,往往是事先无明显征兆,结果却造成灾难性的事故。

研究表明,应力腐蚀断裂通常是在一定条件下才产生的:

① 要在一定的拉应力作用下。一般情况下,产生应力腐蚀的拉应力都很低。普遍认为对于每一种材料与环境的组合,均存在一个拉应力临界值,低于这个应力临界值将不出现断裂。如果没有腐蚀介质的联合作用,机件可以在该应力下长期工作而不产生断裂。

② 腐蚀环境是特定的(包括介质种类、浓度、温度等)。对一种金属或合金材料,只有特定的腐蚀环境才会使其产生应力腐蚀断裂。

③ 金属材料本身对应力腐蚀断裂的敏感性,它取决于金属材料的化学成分和组织结构。有许多理论试图解释应力腐蚀裂纹扩展机理,如机械化学效应理论、闭塞电池腐蚀理论、表面膜破裂理论、氢蚀理论等,但尚无统一的看法。这主要是应力腐蚀断裂体系太大,影响因素复杂多样的缘故,以至于机理可以转变,用某一种理论模型是难以全面解释清楚的。

防止金属材料应力腐蚀的主要措施是合理选用材料,尽量使用对工作环境条件不敏感的材料;在金属结构设计上要合理,尽可能减少应力集中,消减残余应力;采取改善腐蚀环境的措施。

(2) 氢脆断裂。由于氢渗入钢件内部而在应力作用下导致的脆性断裂称为氢脆断裂。氢气的主要作用是其所产生的压力,它往往有助于某种断裂机制如解理断裂、晶界断裂等的进

行。由于氢脆断裂也是裂纹萌生和扩展的过程,而裂纹的扩展速率受钢中的含氢量以及氢在钢中的扩散速度影响很大。氢在钢中的溶解度越小,其扩散系数越大,氢脆裂纹的扩展速率也就越大,即越容易发生氢脆断裂。

氢脆断裂在工程上是一种比较普遍的现象,因而人们对氢脆机理进行了大量的研究,提出了多种理论。如其中的晶格脆化模型理论认为,高浓度的固溶氢可以降低晶界上或相界上金属晶体的原子间结合力,当局部应力等于已被氢降低了的原子间结合力时,原子间的键合就发生破坏,材料便产生脆性断裂。

(3) 高温蠕变断裂。金属材料在长时间恒温、恒应力作用下,即使应力小于屈服强度,也会缓慢地产生塑性变形的现象称为蠕变。由于蠕变变形而导致断裂的现象称为蠕变断裂。蠕变在低温下也会产生,但只有当温度高于 $0.3 T_m$ (T_m 为热力学温度表示的熔点) 时才较显著,故这种断裂又称为高温蠕变断裂。如高温高压工况下的螺栓紧固件,常因蠕变导致断裂破坏。

蠕变断裂宏观断口有明显氧化色或黑色,有时还能见到蠕变孔洞。蠕变微观断口多为沿晶断裂,无疲劳条痕。

由于致使金属零件蠕变断裂失效的主要原因是应力、温度、时间和材料的耐热性等,因此,必须从设计、制造及使用维修中采取措施以提高蠕变断裂的抗力。例如,设计上避免应力集中和早期微裂纹产生;采用隔热涂层,避免局部工作温度过高,降低零件实际温度;制造中严格控制热加工工艺;制造和修理中采用表面强化或预防措施消除表面的缺陷。

(4) 腐蚀疲劳断裂。金属材料在腐蚀介质环境中,在低于抗拉强度的交变应力的反复作用下所产生的断裂称为腐蚀疲劳断裂。这种断裂破坏在化工、石油和冶金工业中尤为常见。

腐蚀疲劳断裂和纯机械疲劳断裂都是在交变应力作用下引起的疲劳断裂,但纯机械疲劳裂纹的萌生(生核)时间在整个的疲劳寿命中占很大的比例,而且交变应力小于或等于某一数值时,疲劳裂纹不能萌生,此时疲劳寿命无限长。而腐蚀疲劳断裂可以在很低的循环(或脉冲)应力下发生断裂破坏,并且往往没有明显的疲劳极限值,因而具有更大的危害性。

腐蚀疲劳断裂和应力腐蚀断裂都是应力与腐蚀介质共同作用下引起的断裂。但由于腐蚀疲劳的应力是交变的,其产生的滑移具有累积作用,金属表面的保护膜也更容易遭到破坏。因此,绝大多数金属都会发生腐蚀疲劳,对介质也没有选择性,即只要在具有腐蚀性的介质中就能引起腐蚀疲劳甚至断裂,而且在容易产生孔蚀的介质下更容易发生,介质的腐蚀性越强,腐蚀疲劳也越容易发生。

防止腐蚀疲劳断裂的主要方法是首先要防止腐蚀介质的作用。若必须在腐蚀介质下工作,则采用耐腐蚀材料,或根据不同的介质条件分别采用阴极保护或阳极保护。也可采取表面防腐涂层等表面处理方法。

(5) 冷脆断裂。当金属材料所处的温度低于某一温度 T_k 时,材料将转变为脆性状态,其冲击韧度明显下降,这种现象称为冷脆。由于材料的冷脆而造成的断裂现象称为冷脆断裂。温度 T_k 为材料屈服点 σ_s 和断裂强度 σ_t 相等时的温度,即由延性断裂向脆性断裂转变的温度,称为冷脆温度。

1.3.2 腐蚀

1. 腐蚀的概念

腐蚀是金属受周围介质的作用而引起损坏的现象。金属的腐蚀损坏总是从金属表面开

始,然后或快或慢地往里深入,同时常常伴随发生金属表面的外形变化。首先在金属表面上出现不规则形状的凹洞、斑点、溃疡等破坏区域,其次破坏的金属变为化合物(通常是氧化物和氢氧化物),形成腐蚀产物并部分地附着在金属表面上,例如铁生锈。

2. 腐蚀的分类

金属的腐蚀按其机理可分为化学腐蚀和电化学腐蚀两种。

(1) 化学腐蚀。金属与介质直接发生化学作用而引起的损坏叫化学腐蚀。腐蚀的产物在金属表面形成表面膜,如金属在高温干燥气体中的腐蚀,金属在非电解质溶液(如润滑油)中的腐蚀。

(2) 电化学腐蚀。金属表面与周围介质发生电化学作用的腐蚀称为电化学腐蚀,属于这类腐蚀的有金属在酸、碱、盐溶液及海水、潮湿空气中的腐蚀,地下金属管线的腐蚀、埋在地下的机器底座被腐蚀等。引起电化学腐蚀的原因是宏观电池作用(如金属与电解质接触或不同金属相接触),微观电池作用(如同种金属中存在杂质),氧浓差电池作用(如铁经过水插入砂中)和电解作用。电化学腐蚀的特点是腐蚀过程中有电流产生。

以上两种腐蚀,电化学腐蚀比化学腐蚀强烈得多,金属的蚀损大多数是电化学腐蚀所造成的。

3. 防止腐蚀的方法

防止腐蚀的方法包括两个方面,首先是合理选材和设计,其次是选择合理的操作工艺流程。这两方面都不可忽视,目前生产中具体采用如下防腐措施:

(1) 合理选材。根据环境介质和使用条件,选择合适的耐腐蚀材料,如选用含有镍、铬、铝、硅、钛等元素的合金钢;或在条件许可的情况下,尽量选用尼龙、塑料、陶瓷等材料。

(2) 合理设计。通用的设计规范是避免不均匀和多相性,即力求避免形成腐蚀电池的作用。不同的金属、不同的气相空间、热和应力分布不均以及体系中各部位间的其他差别都会引起腐蚀破坏。因此,设计时应努力使整个体系的所有条件尽可能地均匀一致,做到结构合理、外形简化、表面粗糙度合适。

(3) 覆盖保护层。这种方法是在金属表面覆盖一层不同材料,改变零件表面结构,使金属与介质隔离开来,以防止腐蚀。具体方法有金属保护层和非金属保护层。

① 金属保护层采用电镀、喷镀、熔镀、气相镀和化学镀等方法,在金属表面覆盖一层如镍、铬、锡、锌等金属或合金作为保护层。

② 非金属保护层是设备防腐的发展方向,常用的办法有如下几种。

i) 涂料。将油基漆(成膜物质,如干性油类)或树脂基漆(成膜物质,如合成脂)通过一定的方法将其涂覆在物体表面,经过固化而形成薄涂层,从而保护设备免受高温气体及酸碱等介质的腐蚀作用。采用涂料防腐的特点是涂料品种多,适应性强,不受机械设备或金属结构的形状及大小的限制,使用方便,在现场亦可施工。常用的涂料品种有防腐漆、底漆、生漆、沥青漆、环氧树脂涂料、聚乙烯涂料、聚氯乙烯涂料以及工业凡士林等。

ii) 砖、板衬里。常用的是水玻璃胶泥衬辉绿岩板。辉绿岩板是由辉绿岩石熔铸而成,它的主要成分是二氧化硅,胶泥即是黏合剂。它的耐酸碱性及耐腐蚀性较好,但性脆不能受冲击,在有色冶炼厂用来做储酸槽壁,槽底则衬瓷砖。

iii) 硬(软)聚氯乙烯。它具有良好的耐腐蚀性和一定的机械强度,加工成形方便,焊