

中等专业学校教材

沈阳铁路机械学校
高来阳 主编

机械设 备修理学

jixie shebei xiu li xue

中国铁道出版社

中等专业学校教材

机 械 设 备 修 理 学

沈阳铁路机械学校 高来阳 主编

沈阳重型机器厂 周 树 主审

中 国 铁 道 出 版 社

2000年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书内容:机械零件的失效与对策;设备的润滑与泄漏的治理技术;机械的拆卸、清洗与装配;尺寸链原理及应用;失效零件的测绘与修复技术;典型设备与典型零部件的修理工艺;机械修理中常用的精度检查方法以及设备的技术改造等维修实用技术。

本书为中等专业学校机械设备维修与管理专业的教材,也可做为本专业高等职业教育用书。也可供有关专业和从事设备管理与维修的工程技术人员、技师和技术工人参考,也可做为技术培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械设备修理学/高来阳主编. —北京:中国铁道出版社,2000.3

中等专业学校教材

ISBN 7-113-03631-7

I. 机… II. 高… III. 机械维修-专业学校-教材 IV. TH17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 77040 号

书 名:中等专业学校教材
机械设备修理学

著作责任者:高来阳 主编

出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:吴桂萍

封面设计:李艳阳

印 刷:河北省遵化市胶印厂

开 本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:461 千

版 本:2000 年 3 月第 1 版 2000 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1—5000 册

书 号:ISBN 7-113-03631-7/TH·79

定 价:23.10 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

机械设备是社会主义现代化建设的重要物质技术基础。管好、用好、修好、改造好机械设备,不仅是保持简单再生产必不可少的一个条件,而且对提高企业效益,保持国民经济持续、稳定、协调发展有极为重要的意义。

机械设备在使用过程中,会逐渐产生有形老化。由于零件逐渐失效,加之不正确的使用和维护,使机械设备出现故障,乃至出现事故,从而影响生产或中断生产。为了保持和恢复机械设备的性能,就要对设备进行修理,修理是补偿设备有形老化的重要技术手段。

随着我国现代化建设的进程,科学技术的不断进步,国外先进技术的引进,机械设备越来越先进。在设备维修界,新技术、新工艺、新材料的应用和推广已取得显著成效。形势要求必须不断提高检修人员的素质。一方面要培养本专业的新型专业人才,另一方面还要抓在职人员的技术培训,抓继续教育,使设备维修人员具备精湛的修理技术,才能不断地缩短停修时间,提高修理质量,以满足生产发展的需要。

还要树立依靠技术进步的新观念,修理要和改造、更新相结合。利用检修的机会,采用新技术对设备进行改进和改造,使检修不仅是为了维持简单再生产、维持和恢复原有生产能力,而且是使设备的技术水平有所提高,促进装备的技术进步的手段。

1990年11月出版的试用教材《机械设备修理学》已使用近9年,基本能满足路内外多所中等专业学校和专业培训教学的需要。随着科学技术的飞速发展,维修技术不断进步,各项标准不断更新,原试用教材已不能适应教学的需要。加之原试用教材在编写时(80年代中期)没有同类教材可以借鉴,在多年教学中,发现该教材存在一些缺点和不足之处需要改进和提高。为此我们对《机械设备修理学》第一版进行全面修订,以满足教学改革的需要。本次修订根据铁道部1999年机械设备修理学教学大纲编写,教学时数为108学时。

本次修订中,主要作了如下的修改、补充和调整:

1. 全书较大调整之处是将设备润滑技术单列一章即第七章,充实了内容。第二章中将零部件的平衡单列成第四节机械的平衡。第三章中充实了零件测绘的有关知识。第五章增加第四节普通车床精度检验,在掌握车床几何精度和工作精度检验的有关理论和实际操作的基础上,再讲授机床几何精度检查方法,符合从特殊到一般的规律,使学生便于掌握。第五章和第六章调换,先讲授精度检验后讲修理方法,并在第六章中充实了修理质量的内容,将典型零部件修理中的壳体零件的修理换成液压元件的修理。第八章接近10年设备技术改造的发展充实了新内容(原为第七章)。

2. 近年来机电标准已大部分采用新标准,本次修订采用了最新标准。

3. 原版教材中,有些内容是罗列在一起,重点不够突出。修订中注意了突出重点,掌握最先可靠的技术,以克服传统工艺之不足。

4. 修理技术的有关资料难以查找且较缺乏,本次修订对一些内容进行了必要的补充和充实。如零件测绘技术、普通车床的精度检验、有关修理技术等。

5. 一些基本概念力求更明确清楚,名词和术语的定义力求更简明,一些叙述力求更系统,

以便更加适应教学的需要。

在本次修订中,征求了试用教材使用学校部分师生的意见,认真研究了原试用教材的缺点和不足,收集了最新资料,力求使修订后的教材质量有较大的提高。由于水平所限,错误和不足之处仍在所难免,恳请读者批评指正。

本书由沈阳铁路机械学校高来阳编写,沈阳重型机器厂周树主审。

在本书编写过程中,承蒙原中国机械工程学会设备维修专业分会副理事长、教授级高工高克勤同志的指导。中国机械工程学会设备维修专业分会秘书处、辽宁省设备工程学会等提供了宝贵资料。济南、太原、株洲、昆明、郑州等铁路机械学校,武汉铁路运输学校、株洲铁路电机学校等在编写工作中给予了极大的支持,谨此致谢。

编 者
1999:9

目 录

第一章 机械零件的失效与对策	1
第一节 零件的磨损	2
第二节 零件的变形	6
第三节 零件的断裂	9
第四节 零件的蚀损	13
第五节 零件修理更换的原则	14
复习思考题	16
第二章 机械的拆卸与装配	17
第一节 机械的拆卸	17
第二节 零件的清洗与检查	21
第三节 机械的装配	25
第四节 机械的平衡	36
第五节 尺寸链原理在修理装配中的应用	40
复习思考题	49
第三章 机修中的零件测绘	50
第一节 零件测绘概述	50
第二节 圆柱齿轮的测绘	55
第三节 直齿圆锥齿轮的测绘	72
第四节 蜗轮蜗杆的测绘	80
第五节 凸轮的测绘	84
复习思考题	89
第四章 零件修复技术	91
第一节 修复技术概述	91
第二节 零件的修复工艺	96
复习思考题	118
第五章 机修中常用的精度检查方法	119
第一节 机床精度检验的一般问题	120
第二节 精密水平仪的工作原理及应用	127
第三节 自准直仪的工作原理及应用	132

第四节 普通车床精度检验·····	136
第五节 机床几何精度检查方法·····	146
第六节 机床的特殊检验简介·····	162
复习思考题·····	163
第六章 典型设备的修理·····	165
第一节 设备修理概述·····	165
第二节 普通车床的修理·····	169
第三节 牛头刨床的修理·····	194
第四节 空气锤主要零部件的修理·····	202
第五节 桥式起重机的修理·····	205
第六节 其他典型零部件的修理·····	211
复习思考题·····	222
第七章 设备润滑技术·····	223
第一节 概 述·····	223
第二节 润滑原理·····	225
第三节 润滑材料·····	228
第四节 润滑油脂的主要性能指标及其应用·····	237
第五节 润滑方法与润滑装置·····	244
第六节 密封与漏油治理技术·····	248
复习思考题·····	260
第八章 设备的技术改造·····	261
第一节 设备技术改造概述·····	261
第二节 机床的技术改造·····	264
复习思考题·····	277
附 录·····	279
参考文献·····	286

第一章 机械零件的失效与对策

设备在使用过程中,其技术状态会逐渐变坏,这一过程是设备劣化的过程,一般称为有形老化或有形磨损,即设备实体的损坏,这是其组成的有关零件失效所致。在劣化过程中,会因为设备出现故障而影响生产或中断生产,劣化严重而不能继续使用,导致设备报废。

研究设备性能劣化的规律和机理是寻求延长设备寿命和改善设备可靠性的基本途径。因此,故障理论是修理学的主要理论基础,是维修战略(维修方式、策略、改造、更新等)的决策依据。并且对维修技术的应用和发展也有重要的影响。它是综合性理论,主要应用了可靠性理论、维修性理论、摩擦、磨损和润滑学、工程诊断学、金属物理、断裂力学等学科的理论,以及先进的测试技术和手段。它是在同维修实践相结合的过程中发展起来的。通过故障理论的研究来掌握其一般规律,揭示故障的发生和发展过程;通过故障机理和故障模式的研究,使故障的外部特征和内在联系统一起来;这种理论目前已发展成一门学科,叫故障物理学。它是追寻部件或零件故障的起因,即追寻故障机理工作的总称。为了查明故障机理,要进行故障分析、调查现象、建立故障发生过程的模型等工作,然后根据故障再现实验的证明,确定防止故障和劣化的方法。

机械设备在使用过程中,失去正常工作能力谓之故障。机械发生故障后,其技术经济指标就会显著改变而达不到规定的要求,如机床达不到规定的加工精度,发动机功率下降,燃油及润滑油耗量增加,以及发生不正常的声响等。机械故障的表现形式多种多样,发生故障的原因也各不相同,一般可分为事故性故障和自然故障两大类。

事故性故障一般是由于使用了不合格的材料或质量不合格的零件、不正确的装配和调整、使用中维护保养不当或违反操作规程等,使机件加速磨损或改变其工作性能而引起的。事故性故障是人为的,也是可以避免的。

自然故障是机械在使用过程中,因各部机件的自然磨损或物理化学变化造成零件的变形、断裂、蚀损等使零件失效所引起的。自然故障一般是不可避免的。

故障机理是指引起故障的物理的、化学的、机械的、电气的、人的原因及其因果关系、原理等。以人的疾病作比喻,故障机理相当于病理,故障模式相当于基本的症状,既使机理不明,但模式总可以观测。不同的应力会分别或同时产生某些不同的故障机理。同样,由某一机理也可生出另一机理,并随时间的变化,最后可以显示出若干种故障模式。故障模式根据故障形式来分类,例如裂纹、断裂、泄漏、磨损、变形、熔化、蒸发、腐蚀等。引起的原因即各种工作应力和自然应力,如磨损、腐蚀、冲击、疲劳、受热、氧化等。

机械零件在使用过程中,丧失其规定功能的现象,称为失效。主要表现为磨损、变形、断裂、蚀损等形式。由此造成设备的故障虽然不可避免,但随着科学技术的发展,设计、制造水平的提高,新技术、新工艺、新材料的不断出现,零件的寿命会不断延长,从而使故障延迟发生,或在故障发生前及时采取修换措施而预防故障的发生。由于现代设备向高参数发展,零件失效的问题又愈来愈突出。研究零件失效的形式、机理及对策是故障物理学的重要内容之一,也是制定科学的维修策略的基础。

第一节 零件的磨损

两个相互接触的物体在外力作用下发生相对运动或具有相对运动趋势时,在接触面上发生阻碍切向运动的现象称为摩擦。因摩擦而产生的阻力称为摩擦力。相互摩擦的两物体称为摩擦副。按摩擦副的运动状态摩擦可分为静摩擦和动摩擦,按摩擦副的运动形式摩擦可分为滑动摩擦和滚动摩擦。

摩擦副的对偶表面相对运动时,工作表面物质不断损失或产生残余变形的现象称为磨损,表现为物体尺寸和(或)形状的改变。磨损是伴随摩擦而产生的必然结果,是复杂的物理、化学和力学等诸多因素相互影响、综合作用的过程。

研究摩擦与磨损有着重大的意义。机器在运转中必然产生摩擦,相当一部分能量在克服摩擦阻力过程中被消耗掉,并转换成摩擦热而使零件升温,表面层产生磨损。估计消耗在摩擦磨损上的能源约占能源消耗量的 $1/3$,大约有 $60\% \sim 80\%$ 的零件失效是由磨损造成的。零件磨损后破坏了零件间的正常传动关系,导致设备技术状态变坏;进行维修,造成停工损失,又消耗材料与人工;磨损又是影响设备寿命的重要因素。尤其是现代设备对企业的生产和经营效果的影响日益扩大。因此,对磨损的研究引起了人们的极大注意。

人们在实践中早就认识到,为了减少摩擦与磨损,可以选用摩擦系数小和抗磨性能好的材料,合理使用润滑剂,用滚动摩擦代替滑动摩擦等。由于科学技术的发展,对摩擦、磨损、润滑进行综合研究形成了一门新的学科——工业摩擦学,也称摩擦、磨损、润滑学。它从固体表面的性质与接触,表面接触的物理与化学特性,摩擦、磨损的类型与机理,润滑的原理,解决摩擦学问题的一般方法等进行较深入的综合研究。在工业界推广应用已取得显著的技术经济效益。但关于摩擦、磨损的机理目前研究的还不够深透。

一、摩擦机理

摩擦现象的机理尚未形成统一的理论,目前几种主要理论简述如下。

1. 机械理论 由于物体表面都存在一定的粗糙度,摩擦副表面凹凸不平的微凸体之间互相咬合,因而产生了阻碍两接触固体滑动的阻力,也称摩擦的“凹凸说”。

2. 粘附理论 接触表面在法向载荷作用下相互压紧时,滑动表面的微凸体接触面积很小,因而压力很高,会产生弹性变形和塑性变形,导致实际接触面积增大。两物体接触区域内会发生牢固的粘附连接,结点处还可能产生瞬时高温,引起冷焊。两物体在切向力作用下相对移动时,结点将被剪切断而产生运动的阻力,摩擦过程就是粘附与剪断交替进行的跃动式过程。剪切力是构成摩擦力的主要部分,当硬金属与软金属配合时,摩擦中剪切主要发生在软金属层,剪切应力与软金属接近,因此可获得较小的摩擦系数。纯净金属(高真空中)间有较大的摩擦系数,而实际金属表面均存在自然污染膜(氧化物或其他自然污染物),摩擦力主要是剪切断开两表面的膜所需的力,因此实际摩擦系数比纯金属间摩擦系数要小。

3. “犁沟”作用 摩擦表面中较硬的微凸体嵌入较软材料表面,引起后者塑性变形,相对运动时,将软材料挤向两边而被犁出沟槽的现象称为“犁沟”作用,又称“刨削”作用。“犁沟”作用是摩擦的机械分力所产生的结果,大多数金属表面微凸体的有效斜率较小,故此分力与摩擦的粘附分力相比要小些。

4. 分子-机械理论 对偶表面在法向载荷作用下接触时,首先是表面上的微凸体相互啮

合,且硬表面微凸体嵌入较软表面,表面作切向运动时,将产生塑性变形和“犁沟”作用使表面层畸变。与此同时表面间存在分子相互作用的连接力——粘附,生成结点,严重者生成微小的固相焊合点,运动时将这些粘附连接剪断。摩擦力由机械分力与分子分力两部分组成。

5. 分量理论 滑动表面间的摩擦系数受3个分量的综合影响,即微凸体的变形分量,由磨损颗粒及硬表面微凸体的“犁沟”分量以及表面间的粘附分量。这3个分量所起作用的大小取决于界面滑动状况、材料特性、表面形貌与环境等。

6. 能量理论 大部分摩擦能量消耗于表面的弹性和塑性变形、凸峰的断裂、粘着与撕开,大部分表现为热能,其次是发光、辐射、振动、噪音及化学反应等一系列能量消耗现象。能量平衡理论是从综合的观点,从摩擦学系统的概念出发来分析摩擦过程。影响能量平衡的因素有材料、载荷、工作介质的物理和化学性质,以及摩擦路程等。

影响摩擦的因素主要有材料、载荷、速度、温度、表面粗糙度、表面膜(氧化膜、气体或液体吸附膜)等。

由于设备高参数化,逐渐引起人们对特殊工况下摩擦副的研究兴趣。摩擦副处于高温、低温、高速、真空等特殊条件下工作,其摩擦就具有某些特殊性。

二、磨损的一般规律

试验结果表明,机械零件的正常磨损过程大致可分为3个阶段,如图1-1所示。图中的曲线称为磨损特性曲线,表示磨损量随着时间的增长而变化的规律。

1. 磨合磨损阶段(又称跑合阶段) 零件加工后的表面较粗糙,使用初期,由于机械摩擦磨损及其产生的微粒造成的磨料磨损,而使磨损十分迅速,表面粗糙度减小,实际接触面积不断增加,单位面积压力减小,达到A点时,正常工作条件已经形成。这一阶段应注意磨合规范,选择合适的负荷、转速、润滑剂,经数小时,以最小的磨损量即可完成跑合而达到A点。否则要数十小时或更长的时间。跑合完成后,应当清洗换油。

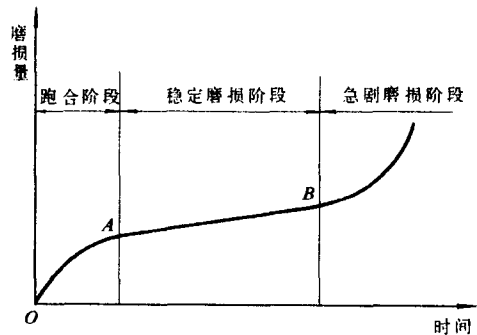


图1-1 典型磨损过程

2. 正常磨损阶段(又称稳定磨损阶段,工作磨损阶段) 图中的AB段基本呈一直线,一般情况下其斜率不大。这是因为在前一阶段的基础上,建立了弹性接触的条件,这时磨损已经稳定下来,磨损量与时间成正比增加,磨损速度较小,持续时间较长,是零件的正常使用期限。为减小磨损,延长零件使用寿命,这期间要做到合理使用和正确地维护保养,尤其是合理地润滑。建立、健全和严格遵守设备的操作规程。这一阶段的后期磨损进程相对加快。

3. 急剧磨损阶段(又称强烈磨损阶段) 当磨损阶段达到B点以后,磨损的速度开始变大,因为此时零件的几何形状改变,表面质量变坏,间隙增大,零件润滑条件随之变坏,运转时出现附加的冲击载荷、振动和噪音,温度升高,与前面变坏了的条件形成恶性循环,这一阶段容易发生故障和事故,最后导致零件完全失效。因此这一阶段要及时控制,采取合理的修理措施和监测手段,防止设备精度和效率有显著地下降,注意由于磨损条件恶化而破坏贵重复杂的重要零部件。

研究零件的磨损规律,掌握各种零部件磨损的特点,以制定合理的维修策略和修理计划。

三、磨损的主要类型、机理及其对策

磨损的主要类型有:机械摩擦磨损、磨料磨损、粘着磨损、疲劳磨损、微动磨损和腐蚀磨损等。

1. 机械摩擦磨损 磨损是机械摩擦的结果,由于表面微观不平,峰谷啮合而刮平,或峰顶塑性变形而碾平。表现为尺寸、形状、体积的变化。

减少这种磨损的主要措施是摩擦表面要有合适的表面粗糙度,合理的配合间隙,表面间要合理润滑。

2. 磨料磨损 又称磨粒磨损或硬粒磨损。由质硬微凸体或硬质颗粒的切削或刮擦作用引起材料表面破坏,分离出磨屑或形成划伤的磨损。尤其是农业机械、矿山机械、起重运输机械、建筑机械、工程机械等,它们的工作条件恶劣,许多零件直接与泥砂、矿石、灰渣等发生摩擦,粉尘也进入机构内部,发生不同形式的磨料磨损。

磨料磨损的机理为磨料颗粒和硬质微凸体的机械作用以及引起表面疲劳的综合作用。表面作相对运动时,硬质颗粒或硬质微凸体的“犁沟”作用和微量切削作用,使材料表面擦伤与表面层材料脱落而分离出切屑。磨料还使金属表面层受交变接触应力作用,造成表面疲劳而剥落。切屑和剥落物又成为新的磨粒,参与磨料磨损。

磨料磨损的危害性很大,它约占整个工业磨损损失的50%。它是造成机械早期损坏的重要原因之一。应采取积极措施来减少磨料磨损。

磨粒的来源有外界砂尘、切屑侵入、流体带入、表面磨损产物、材料组织的表面硬点及夹杂物等。减少磨料磨损一般从两方面来采取措施,一是防止和减少磨粒进入摩擦表面间;二是增强零件的抗磨性能。如配备完善的空气、油料的滤清装置,并要经常地维护和清洗;配备完善的防护和密封装置;科学严格的清洗换油制度;配备完善的润滑装置,保持润滑油道的畅通和正常循环,在润滑系统中装入磁铁、积屑房,并对润滑油进行污染监测;实行科学的预防维修等。提高零件的表面质量,选择耐磨料磨损的零件材料配伍,如钢轴对巴氏合金轴瓦可提高耐磨性。采用耐磨材料和耐磨涂层,表面强化技术和使表面具有足够的硬度。清洗换油和完善的润滑装置还可把积聚在摩擦表面间的磨料冲洗带走。

3. 粘着磨损 又称粘附磨损。两个固体表面接触时,由于分子力作用而引起局部粘附(固相焊合),相对运动中使材料由一表面转移至另一表面所造成的磨损,称粘着磨损。

粘附磨损的机理和摩擦过程的粘附机理一样,或在重载条件下使单位压力过大,润滑不良,速度过高,使零件表面产生大量的热而来不及散掉,表面产生极高的温度,有时局部可达1500℃,因而材料表面强度降低,表面金属层软化或熔化,使接触点产生粘结。然后出现粘着——剪断——再粘着——再剪断的循环过程,形成材料的转移。从微观角度解释其机理,则是高的接触应力,使其表面相互嵌入,破坏了表面膜,使纯洁金属接触部分造成了分子相互吸引的条件——粘结,运动中再撕开,从而产生了一部分分子的转移。

粘着磨损的种类按其由轻微到破坏性顺序可分为:

(1)轻微磨损 发生在摩擦初期的洁净金属表面间,由于跑合初期,注意跑合规范,磨损不致发展为擦伤。

(2)涂抹 很薄的金属层堆积另一表面上,如蜗轮表面的铜涂抹在钢制蜗杆的表面上。

(3)擦伤 即沿滑动方向摩擦表面产生细小抓痕的现象。

(4)划伤(刮伤、研伤、拉伤) 即局部产生固相焊合,沿滑动方向产生较严重的抓痕的现

象。

(5)胶合 由于局部焊合而破坏,但尚未出现局部熔焊现象。

(6)咬死 由于表面严重焊合而使相对运动停止的现象,是胶合的严重表现形式。

(3)和(4)还可因磨料磨损而引起。

研究易产生粘着磨损的条件,采取相应对策以减少粘着磨损。表面纯洁无表面膜易粘着(如塑性强、高温等容易破坏表面膜);摩擦表面的实际接触面积大,性质相近或同名材料易粘着;温度高、压力大、滑动速度大、表面粗糙度适当时容易产生粘着;结晶形式和表面形貌对粘着影响也很大。因此,在设计与维修中要注意选用合适的材料、速度、压力、表面粗糙度、配合间隙等参数。如钢对钢,改成其一进行镀铜或镀钢的表面处理,或改成钢对铸铁、铜合金、巴氏合金等;采用合理的磨合规范;注意润滑系统的设计和维修,正确选择润滑材料等。

4. 疲劳磨损 摩擦表面材料微体积受循环接触应力作用,产生重复变形,导致裂纹和分离出微片或颗粒的磨损。常见的疲劳磨损有点蚀和剥落两种。点蚀是摩擦表面由于材料在疲劳磨损中脱落而形成麻点(痘斑)的现象,应称为疲劳点蚀(点蚀还可因局部粘着、界面间局部放电而形成)。剥落指疲劳磨损中材料成片脱落的现象,其破坏脱落的局部范围通常比点蚀大。

疲劳磨损一般发生在滚动摩擦或滚动加滑动的摩擦表面,多产生于润滑良好的闭式传动齿轮、滚动轴承、凸轮副,也出现于钢轨和车轮等摩擦副。其机理尚无定论,简单地说,点或线接触的表面承受载荷时,会产生很大的接触应力,载荷又是周期性变化的,反复的局部变形,使材料表面或表层出现疲劳裂纹,表面上的应力集中源,如切削痕、伤痕、腐蚀,表层有非金属夹杂或空穴等,更会加快微裂纹的产生,疲劳裂纹不断增多和不断扩展,最终导致金属表层的点状剥落或片状剥落。润滑油进入微裂纹,受到挤压后,产生楔裂作用加速了裂纹的扩展。由于产生痘斑状凹坑并不断增多,承压面积减小,传动的动载荷急剧增加,不仅使疲劳磨损进一步发展,而且有发生疲劳断裂的危险(如断齿)。

影响疲劳点蚀的因素主要有材料、负荷、润滑等。负荷在某一临界值以上时,点蚀随负荷循环次数增加而急剧增加,成为进展性点蚀;负荷在临界值以下则不易发生点蚀或点蚀发展速度缓慢,一般为非进展性点蚀。韧性材料不易发生疲劳点蚀,脆性材料出现点蚀则很快发展而形成较严重的点蚀。润滑油粘度小、温度高,容易发生点蚀。接触表面的摩擦力大、应力循环速度大都会加速表面的疲劳。摩擦副材料的性能和强度,材料表面和表层缺陷均与疲劳磨损有密切关系,随着真空冶炼技术和退氧钢的发展,钢材内部质量明显提高,提高了抗疲劳性能。适当渗碳层的淬硬钢,较小的表面粗糙度可提高疲劳寿命。

5. 微动磨损 两个表面间由于振幅很小的振动式的相对运动而产生的磨损现象称为微动磨损。这是一种复合式磨损,一般是粘着磨损、磨料磨损、腐蚀磨损同时存在,但起主要作用的是表面间粘结点处因外界振动而引起的氧化过程。

通常在过盈连接的接触表面,片式摩擦离合器的摩擦片表面,链传动的链节,成组板弹簧的弹簧板接触面,以及一些受振动影响的联接件如花键、销、螺钉、螺母的接合面等,都可能出现微动磨损。

微动磨损形成的机理是:相互接触表面之间有一定压力使表面凸峰粘着,在粘着处因为外界小振幅振动而不断地剪切脱落,露出基体金属表面而被氧化,氧化物在摩擦表面间起磨料磨损作用,如此循环使磨损区不断扩大,最后引起接触表面完全破坏。

避免产生微动磨损的主要途径是设法使接触面不产生相对滑动和不产生氧化物。如对静

连接来说,选择抗粘着材料配对,提高接触表面的表面硬度。对有可能产生相对切向滑动的连接主要采用润滑剂,如接触表面涂二硫化钼,尤其采用极压添加剂,或固体润滑剂与极压添加剂混合使用,都有利于减少微动磨损。

在磨损类型中还有腐蚀磨损,这将在蚀损中介绍。

四、减少磨损的途径

根据磨损的理论研究,结合生产实践经验,可采取以下5个方面的措施来减少磨损。

1. 正确选择材料 这是提高耐磨性的关键。例如对于抗疲劳磨损,则要求钢材质量好,控制钢中有害杂质。采用抗疲劳的合金材料,如采用铜铬钼合金铸铁做气门挺杆,采用球墨铸铁做凸轮等,可使其寿命大大延长。正确选择摩擦副的材料也十分重要。

2. 表面处理 为了改善零件表面的耐磨性可采用多种表面处理方法,如采用滚压加工表面强化处理,各种化学表面处理,塑性涂层、耐磨涂层,喷钼、镀铬、等离子喷涂等。如导轨副中,导轨表面淬火,如电接触加热自冷淬火、高频感应淬火等。其移动件表面粘接减摩、抗磨的导轨板或加耐磨涂料等。

3. 合理润滑 尽量保证液体润滑,采用合适的润滑材料和正确的润滑方法,采用润滑添加剂,注意密封等。润滑是减小摩擦和降低磨损的重要措施,近年来,由于科学技术的发展和引进,润滑剂、润滑添加剂、润滑装置和润滑系统均有了很大发展,必须在设计和维修改装中注意采用。在润滑管理上,注意适时清洗换油和治理漏油,以保障润滑。重要摩擦副可以改装成液体静压润滑或动静压润滑。

4. 改进结构设计 摩擦副正确的结构设计是提高耐磨性、减少磨损的重要条件。合理的结构设计应该是有利于表面保护膜的形成、压力均匀分布,易散热、易排出磨屑、防止外界磨粒进入等。如滑动轴承的油沟不应开在油膜承载区内。设计中可应用置换原理和转移原理。置换原理是允许系统中一个零件磨损以保护重要的配对件,如活塞环与气缸套,允许铸铁的活塞环较快磨损,以保护气缸套,使其磨损较小,活塞环更换也容易。转移原理也是为了保护贵重零件,如软金属合金衬套对曲轴,衬套磨损快保护了曲轴,衬套易于变形,可以使轴挠曲和不对中所引起的局部高载荷重新分布,衬套又能嵌附磨料微粒,甚至在极端工况下,如一时无润滑油时,衬套材料熔点很低,从而使轴颈在短期内避免损伤。在改装设计时,采用滚动摩擦代替滑动摩擦等。

5. 正确的使用和维护 设备的使用与维护正确与否对设备的寿命影响极大。正确的使用和维护与不正确的使用和维护其寿命往往可相差几倍。如设备使用初期正确地跑合、实行状态监测和技术诊断,科学地维护和修理,严格遵守操作规程等。维修中,对已磨损失效的零件要进行分析,准确判断失效的原因,分析零件设计和运行状况的合理性,并采取相应的对策。

第二节 零件的变形

零件在工作应力或自然应力作用下产生变形的现象是普遍存在的,但过量的变形将引起零件失效。如不能承受规定的载荷、不能起到规定的作用、与其他零件的运转发生干扰等。变形失效分弹性变形失效和塑性变形失效。弹性变形失效基本属于刚性问题,在设计和维修中均应给以重视,无论是传动件、支承件、紧固件、基础件,均应有足够的刚度,尤其是精密、高速、重载的设备其构成的零件的刚度及其部件(主轴部件、刀架部件等)的系统刚度更为关键。还

有热变形对设备的影响也很大,尤其对机床设备,特别是精密机床热变形的影响更大,这是因为组成零件材料不同,热膨胀系数不同,各部温度工作时差别较大(如车床床头箱与床身),因此热变形将破坏机床的精度。机床部件受自重和切削刀作用产生弹性变形的例子如:床身(尤其长床身)、立柱、横梁等的变形,大型车床主轴前端和镗杆的下挠变形,镗床主轴箱引起的立柱倾斜变形等,均影响机床的精度。塑性变形是零部件的永久变形,塑性变形失效是指零件产生了超过规定的永久变形。如:轴类零件的弯曲、扭转;连杆类零件的拉伸、弯曲、扭转;弹簧类零件松弛;齿轮类零件轮齿变形和齿面变形;各类零件表面塌陷、孔扩张变形等;起重机桥架下挠变形、吊钩开口度增大等。在修理中,均应检查分析并采取适当的修理措施来校正或者更换新件。

多年的修理实践发现,虽然将机械设备的磨损零件加以修复(或更换),恢复了原来的尺寸、形状和配合质量,但装配后却达不到预期的效果,投产后,寿命也往往缩短了很多。进一步研究发现,这种现象大部分是由于零件变形,特别是基础零件变形,使零部件之间相互位置精度遭到破坏,影响了各组成零件的相互关系的结果。国内外汽车行业对发动机缸体,包括使用和长期存放的备用缸体测试的结果表明,几乎全部缸体均有不同程度的变形,80%以上的缸体变形超出其规定的标准。所以,装配后使传动件如齿轮、轴承等过早失效。有人估算变形对寿命的影响在30%左右。至于金属切削机床类的设备,由于精度要求较高,变形的影响就更加突出。但是,由于设备的基础零件一般形状比较复杂,变形的测量和修复目前还没有简单易行的好方法,加之变形对设备的技术状态和寿命的影响不容易直接看出,所以变形的问题还没有引起修理工作者的足够重视。在设备向高参数化迅速发展的今天,变形问题将愈来愈突出。变形问题已经成为修理质量低、大修周期短的一个重要的原因。

一、零件变形的原因

变形是指零件在应力作用下,发生几何形状或体积变化的现象。

材料的变形可分为弹性变形和塑性变形。弹性变形是可以恢复的变形,应力消除后,变形消失,应力超过材料的屈服极限,则产生塑性变形,应力消除后,变形不能完全恢复,被保留下来的部分就是塑性变形。机械零件塑性变形的原因可以从毛坯制造、机械加工、修理质量和使用情况等几方面进行分析。

1. 毛坯制造方面 铸造、锻造、焊接的毛坯都具有很大的内应力,经热处理的零件也存在内应力。尤其是铸造毛坯,形状复杂,厚薄不均,在浇铸后冷却的过程中,形成拉伸、压缩等不同的应力状态。如发动机缸体铸造后内应力竟达 $1.28 \times 10^5 \text{ kPa}$,内应力可引起变形和断裂。热加工零件由于温度差异、冷却和组织转变的先后不一都会形成残余的内应力。

毛坯的内应力是不稳定的,通常在12~20个月的时间内逐步消失。但随着应力的重新分布,零件产生变形。

2. 机械加工方面 如果毛坯是在有内应力的状态下就进行加工,切除一部分表面层后,破坏了内应力的平衡,由于内应力重新分布,零件将发生变形。在切削加工过程中,由于装夹、切削力、切削热的作用,零件表层会发生塑性变形和冷作硬化,因而产生内应力,也会引起变形。

对毛坯虽然安排了消除内应力的工序,在加工中也达到了精度要求,然而制成后经过一段时间,在残余应力长期作用下,使弹性极限降低,并且产生减少内应力的塑性变形,称为内应力松弛。尤其是箱体类零件和长大基础件,厚薄过渡很多,为残余应力的产生创造了条件,所以

由于内应力松弛而变形的问题也就更为突出。

3. 使用方面 各种机械设备在使用过程中,尤其是工程机械、矿山机械、冶金设备、锻压设备及其他热加工设备等,在较恶劣的工况下工作,机械或个别零部件在极限载荷或超载情况下工作,温度有时很高使屈服极限降低,均会使零件产生变形。由于操作不当使设备过载和产生高温,从而使零部件变形。直至因变形过大而使零件失效。

4. 修理质量方面 修理中,如果不考虑被修零件已经变形,常常会造成零件更大的变形或增加变形的危害。例如用机械加工方法修复零件(如搪缸、磨削导轨等),制定修复工艺、定位基准或装夹零件时,不考虑零件原来变形的情况,或修理操作不当,均会引起零件形位误差加大。尤其采用焊接、热处理、塑性变形法等修复工艺方法来修复零件时,没有考虑热应力、相变应力的作用,压力加工没有考虑弹性后效(应变逐渐恢复而落后于应力的现象),以及内应力松弛等,都将会产生应力和变形。

二、减轻变形危害的措施

变形是不可避免的,我们只能根据它的规律,从上述几个方面采取相应的对策,减轻它的危害。

1. 设计方面 设计中不仅要考虑零件的强度,还要考虑零件的刚度和制造、装配、使用、拆卸修理等有关问题。合理布置零件和选择零件的结构尺寸,改善零件的受力状况,零件的壁厚应尽量均匀,以减少毛坯制造时的变形和残余应力。在设计中注意应用新技术、新工艺和新材料。

2. 加工方面 在加工中采取一系列工艺措施来防止和减小变形。对毛坯要进行时效以消除其残余内应力。利用内应力在12~20个月逐渐消失的特点,进行自然时效,即把毛坯在露天存放1~2年。在自然条件作用下内应力消失效果最佳,缺点是周期太长。一般铸件均进行人工时效,毛坯受到高温退火、保温缓冷(俗称焖火)而消除内应力。还可以利用振动的作用来消除内应力。复杂零件和精密零件在粗加工后还要进行人工时效。高精度零件在精加工过程中还要安排人工时效,如精密丝杠在精加工过程中,要安排数次时效处理。

在制定零件机械加工工艺规程或机械加工过程中,均要在工序、工步安排上、工艺装备和操作上采取减少变形的工艺措施,如采用粗精加工分开的原则等。在加工中和修理中减少基准的转换,保留加工基准留给修理时使用(如轴类零件的顶尖孔)。

3. 修理方面 在修理中,不能满足于恢复零件的尺寸、配合精度、表面质量等,还要检查和修复主要零件的形状和位置误差,制定出与变形有关的标准和修理规范。尤其是注意铸件在12~20个月内的修理。第一次大修理对变形的检查和修复尤为重要,如对箱体主要轴承孔的搪削和电镀,修复到精度要求,可以大大减轻变形的危害。机械加工修复零件时,注意定位基准表面本身的精度,并要注意切削加工时和装夹的变形。采用热加工和压力加工工艺修复零件时,要采取相应措施来减小应力和变形,如施焊时,尽量减小热影响区,非施焊表面采取降温措施等。

针对零件变形编制合理易行的检查方法和修理工艺,设计简单可靠、好用的专用量具和工夹具。在修理中,大力推广三新技术,尤其是新的修复工艺方法,如刷镀、粘接等代替传统的焊接。

4. 使用方面 加强生产技术管理,制定并严格执行操作规程,不超负荷运行,避免局部超载和过热,加强设备的检查和维护。

第三节 零件的断裂

断裂是零件失效的主要形式之一,虽然与其他失效形式相比所占的比重小一些,但由于断裂往往造成严重的后果,而且随着设备的高参数化,如大功率、大容量、超高速、超低温、超高温、超高压、低自重、超小型等,断裂这种失效形式的几率有所增加,研究断裂成了日益紧迫的课题。断裂的研究早已超出了传统工程力学的范围。一般来说,材料力学中传统强度计算,主要适用于低强度材料、小型结构。而高强度材料、大型结构,如机器的重载构件、高压容器、飞机构件的设计,传统强度计算中考虑屈服极限、强度极限和一定的安全系数则暴露出它的局限性,必需用断裂力学去解决。因为高强度材料一方面强度高(许用应力大),但另一方面抵抗裂纹扩展能力却随着强度增高而下降。

当试图把一根较粗钢丝弯断时,费了很大的劲儿也难以实现,但当用锋利的扁铲将钢丝打一印痕,即制造一个缺陷后,不用很大的力量就可将其弯断,这就是小小裂纹的危害。经典的强度理论把金属材料看作是连续的、无缺陷的,但几乎所有零件都存在一些裂纹。金属冶炼过程会产生多种缺陷,各种热加工,如铸造、锻造、焊接、热处理等均可造成各种缺陷,金属切削加工中也会造成刀痕、微裂纹,加工和使用中也会有各种损伤。工况条件也对裂纹的产生有很大影响,包括应力状态、工作环境、温度、腐蚀介质,如局部瞬时过载、高温蠕变裂纹、交变应力作用下的疲劳裂纹、腐蚀介质和拉应力共同作用下产生的应力腐蚀裂纹等。裂纹是某些薄弱部位发生局部破裂而形成的一种极不稳定的缺陷,它不仅直接破坏了材料的连续性,而且裂纹尾端很尖锐,产生很大的应力集中,使裂纹扩展,可使零件在低应力(甚至大大低于屈服极限)下发生破坏。铲除裂纹生长的“土壤”很难办到,但可研究裂纹发生、发展的规律,使断裂得到控制,断裂力学产生,就结束了人类屈服于裂纹威胁的历史,宣告科学控制裂纹扩展时代开始。

近年来,零件断裂有增多的趋势,还与新材料的应用、设计安全系数变小、处理技术、表面工程和计算技术的发展等因素有关,如齿轮类零件的失效,因磨损和疲劳点蚀失效的形式有所减少,而断齿增加。因此,在设备维修中要加强对断裂的研究。

一、断裂的分类

断裂是指零件在应力作用下发生的大于几个原子间距的正向分离或切向分离。断裂一般分类如下:

1. 按断口的宏观形态特征分为韧性断裂和脆性断裂。韧性断裂又称“延性断裂”,指有明显的宏观塑性变形而发生的断裂。一般为应力超过强度极限前达到屈服极限发生塑性变形而后发生断裂,通常是在剪应力作用下发生,又称切变断裂。脆性断裂为无明显的宏观塑性变形而发生的断裂。脆性断裂一般发生在应力达到屈服极限前,没有或只有少量的塑性变形,多为沿晶界扩展而突然发生,断口呈结晶状,平滑而光亮,又称为解理断裂,它是在正应力作用下,由于原子间结合键的破坏而沿某一特定的、严格的晶面断裂。低温、高应变速率、应力集中、晶粒粗大和脆性材料均有利于解理,由于裂纹扩展速率快,断裂发生突然,往往造成严重的后果。

2. 按裂纹的走向和微观形态断裂分为穿晶断裂和沿晶断裂。穿晶断裂是裂缝割断晶粒而穿过,韧性断裂多为穿晶断裂,铸造、锻造、焊接中的冷裂纹,热处理中的淬火裂纹以及疲劳裂纹主要是穿晶扩展。沿晶断裂又称晶界断裂,是裂缝沿晶界断开,断口是结晶状呈“冰糖状”断口,脆性断裂多为沿晶断裂,各种热加工中的热裂纹,热处理中的淬火龟裂、回火裂纹,冷加工中的磨削裂纹,高温工作中的蠕变裂纹等主要为沿晶扩展。

3. 按载荷的性质,断裂分为一次加载断裂和疲劳断裂。零件在一次静拉伸、静压缩、静扭转、静弯曲或一次冲击下产生的断裂,主要是超载所造成的,材料的强度可因环境的影响而下降,如高温、低温、腐蚀,长期使用组织老化如铸铁晶粒长大、晶间变脆等,加之表面或表层的缺陷,可使材料在较低应力下断裂。疲劳断裂为反复加载断裂,是在交变载荷作用下,经过相当数量的应力循环后发生的断裂。对金属材料来说,一般为应力幅度低于屈服极限,称为应力疲劳,无论脆性材料还是韧性材料,疲劳断裂不产生明显的塑性变形,形成宏观裂纹后慢慢扩展,达临界尺寸时突然发生脆断,但它是经历反复多次的应力作用或能量负荷循环后才发生的断裂现象。疲劳断裂占断裂现象的80%~90%,下面重点讨论疲劳断裂的有关问题。

二、零件疲劳断裂的基本原理

疲劳断裂过程大体分3个阶段:

1. 疲劳裂纹萌生阶段——裂纹成核阶段 零件承受循环载荷时,在局部将产生很大的塑性变形,表面将出现一些滑移线或滑移带,随交变载荷循环次数增加,滑移带逐步加宽加深,滑移带中产生一些缺口峰(如图1-2所示),峰底处存在高度应力集中,逐渐发展或微观裂纹。微观裂纹连接形成宏观裂纹,称为疲劳源或疲劳核心,初始裂纹长约0.05~0.1 mm。疲劳源一般由晶界与表面相交处开始,在局部应力最大或局部强度最低的一点或几点上产生的,冶金缺陷、加工缺陷、使用中的损伤均会产生应力集中——局部应力最大,尤其是夹杂、空洞、划伤,均可成为疲劳核心。材料本身的不连续性、不均匀性和各向异性,均可造成局部强度最低而形成疲劳核心。

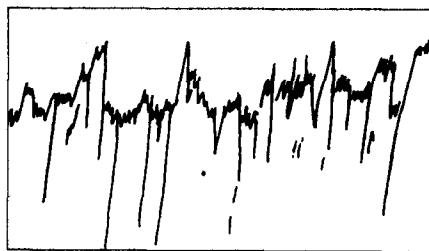


图1-2 在滑移带中产生的缺口峰

2. 裂纹扩展阶段 疲劳核心形成后,进一步加强了宏观应力集中,裂纹将继续向内部扩展,众多裂纹深度增加,至连接成一主导裂纹,达临界长度前,称为疲劳裂纹的亚临界扩展阶段。零件的疲劳寿命就是从初始裂纹尺寸扩展到临界裂纹尺寸所经历的循环次数或时间。

3. 最终破坏阶段 又称疲劳裂纹的临界扩展阶段,随应力循环次数的增加,裂纹达到临界长度后发生突然断裂,因此也称快速断裂阶段。

疲劳裂纹在亚临界扩展阶段的各个时期的裂纹扩展速率是不同的,即不是一个常数,但应用断裂力学原理可以计算零件的疲劳寿命,即已经有裂纹的零件还能安全工作多少时间。

几乎所有的零件,由于冶金、加工和使用等种种原因,均有宏观或微观裂纹,只是裂纹的大小不同而已,同时受到检测条件的限制。有裂必断的概念是错误的。由于断由裂发展而来,断裂事故后果严重,所以,目前修理中发现裂纹都要加以修复或更换,重要零件一旦发现裂纹则立即报废。因裂纹而报废的零件数量是很可观的。有裂纹的零件不一定立即就断,都有一段亚临界扩展时间,一定条件下,裂还可以不发展,就是说有裂纹的零件也可以不断。国外某些航空发动机,对于一些重要零件都有明确规定的允许使用的裂纹长度、必须修理的裂纹长度和必须报废的裂纹长度,既保证了安全使用,又节约了大量的材料。当知道零件现有裂纹尺寸后,计算亚临界扩展的速率,可以推断出零件达到使用期限前的剩余寿命。例如英国50×10⁴ kW发电机转子,运行3500 h后,发现其惯性槽底普遍存在深达200 mm左右的裂纹,按断裂力学方法进行疲劳剩余寿命估算,按最保守估计还可安全运行7000 h,实践已证明该电机在