



国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材
高职高专规划教材

(汽车运用与维修专业)

汽车维修技术

张金柱 主编



4
2

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材
高 职 高 专 规 划 教 材
(汽车运用与维修专业适用)

汽 车 维 修 技 术

主 编 张金柱
副主编 姜 勇 刘焕学
参 编 韩玉敏 刘 阳 段海峰
主 审 张吉国



机械工业出版社

本书是国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材之一，是高职高专规划教材。

本书主要阐述汽车零件的损伤形式和特点，零件的检验与修复，汽车维护基础，汽车修理的工艺流程，汽车修理质量管理，常用汽车维修与检测仪器等内容。

本书可作为两年制或三年制高等职业教育汽车运用与维修专业教材，也可作为从事汽车维修的工程技术及管理人员的参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

汽车维修技术/张金柱主编. —北京：机械工业出版社，2005.7

国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材. 高职高专规划教材

ISBN 7-111-16736-8

I. 汽… II. 张… III. 汽车—车辆修理—高等学校：技术学校—教材 IV. U472.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 063693 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：蓝伙金 宋学敏

责任编辑：宋学敏 版式设计：张世琴 责任校对：姚培新

封面设计：陈 沛 责任印制：洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·10.5 印张·243 千字

定价：16.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68326294

封面无防伪标均为盗版

国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材
汽车运用与维修专业编委会

主 任	靳和连	天津交通职业学院
副主任	林为群	天津交通职业学院
	姜炳坤	天津开发区职业技术学院
	高树德	吉林交通职业技术学院
	张吉国	内蒙古交通职业技术学院
	蓝伙金	机械工业出版社职教分社
委 员	吴成立	河南职业技术学院
	霍振生	包头职业技术学院
	张西振	辽宁省交通高等专科学校
	任成尧	山西交通职业技术学院
	杨益民	南京交通职业技术学院
	顾振华	河北工业职业技术学院
	娄 云	河南机电高等专科学校
	张金柱	黑龙江工程学院
	汪晓晖	南通航运职业技术学院

国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材
汽车运用与维修专业审委会

主 任	林为群	天津交通职业学院
副主任	韩 梅	辽宁省交通高等专科学校
	吴宗保	天津交通职业学院
	张世荣	天津工程师范学院
	宋学敏	机械工业出版社职教分社
委 员	孔令来	天津职业大学
	李春明	长春汽车工业高等专科学校
	刘 锐	吉林交通职业技术学院
	毛 峰	辽宁省交通高等专科学校
	王世震	承德石油高等专科学校
	边 伟	南京交通职业技术学院

注：排名不分先后

出版说明

根据“教育部等六部委关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知（教职成〔2003〕5号）”、“教育部关于制定《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》的通知（教职成司函〔2004〕13号）”等的文件精神，实施《2003~2007年教育振兴行动计划》中提出的“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训计划”，深化教育教学改革，推动职业教育与培训全面发展，大力提高教学质量，争取在2005年内，完成教育部会同有关部委和行业组织已颁布专业教学指导方案的数控技术应用、汽车运用与维修、计算机应用与软件技术和护理四个专业领域核心教学与训练项目的教材及配套多媒体课件的开发编写任务（教学指导方案已分别以教职成厅〔2003〕3、4、5、6号文件发布）。机械工业出版社根据教育部颁布的指导性方案组织了本套国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材。

本套教材为落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》中提出的“积极推进课程和教材改革，开发和编写反映新知识、新技术、新工艺、新方法，具有职业教育特色的课程和教材”的要求，坚持以就业为导向，以能力为本位，面向市场、面向社会，为经济结构调整和科技进步服务，为就业和再就业服务，为农村、农业和农民服务。积极贯彻“两级规划、两级管理”制度，充分发挥地方、行业和职业院校的积极性，尊重群众首创精神，鼓励教材不断创新，努力建立适应社会主义市场经济体制和现代化建设需要，反映现代科学技术水平，具有职业教育特色，品种多样，系列配套，层次衔接，有利于培养高素质劳动者和高、中级实用人才的高等职业教育与培训教材体系。

本套教材适合于高职高专、成人高校和民办高校使用。

机械工业出版社

2005年3月

前 言

2003 年底,教育部、劳动保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部联合提出优先在汽车运用与维修等四个专业领域实施“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”。为进一步深化教育教学改革和加快紧缺人才培养,机械工业出版社组织了本套“国家技能型紧缺人才培养培训工程系列教材”,《汽车维修技术》是其中之一。

本书共分六章,第一章介绍汽车零件损伤形式和特点;第二章介绍汽车零件的检验与修复;第三章介绍汽车维护基础;第四章介绍汽车修理工艺流程;第五章分析汽车修理质量管理;第六章介绍常用汽车维修与检测仪器。

本书由黑龙江工程学院张金柱任主编,承德石油高等专科学校刘焕学、吉林交通职业技术学院姜勇任副主编。编写人员分工如下:吉林交通职业技术学院姜勇编写第一章、第二章,南京交通职业学院刘阳编写第三章,黑龙江工程学院韩玉敏编写第四章第一、二节,承德石油高等专科学校刘焕学编写第四章第三、四节,黑龙江工程学院张金柱编写第五章和第六章第一节至第四节,珠海汽车服务有限公司段海峰编写第六章第五节。

本书由内蒙古交通职业技术学院张吉国任主审,在审稿中提出了大量的宝贵意见,对此,表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中难免存在不足和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

出版说明 前言

第一章 汽车零件的损伤形式 和特点

- 第一节 汽车零件的损伤形式 1
- 第二节 汽车零件损伤的特点 2

第二章 汽车零件的检验与修复 14

- 第一节 零件的检验分类 14
- 第二节 汽车零件的修复方法 25
- 第三节 零件修复方法的选择 32

第三章 汽车维护基础 36

- 第一节 汽车维护的基本概念 36
- 第二节 汽车维护制度 36
- 第三节 维护工艺的内容 40

第四章 汽车修理工艺流程 61

- 第一节 汽车修理的经济效益分析 61
- 第二节 汽车修理工艺过程 64
- 第三节 汽车接收、解体与清洗 72
- 第四节 汽车总成装配的技术要求
与磨合试验 78

第五章 汽车修理质量管理 86

- 第一节 汽车修理质量 86
- 第二节 汽车修理质量的评价 90

第六章 常用汽车维修与检测 仪器 96

- 第一节 万用表 96
- 第二节 示波器 109
- 第三节 汽车电控系统故障测试仪 123
- 第四节 汽车发动机综合分析仪 137
- 第五节 汽车四轮定位仪 145

参考文献 159

第一章 汽车零件的损伤形式和特点

学习目标

1. 掌握汽车零件损伤的类型和原因。
2. 掌握汽车零件磨料磨损的机理。
3. 掌握汽车零件疲劳损坏的机理。
4. 掌握汽车零件腐蚀的机理。

现代汽车是由上万个具有不同功能的零件组成可执行多种规定功能的部件、机构、总成，再按一定的工艺程序和技术要求装配而成的整体。汽车在使用过程中，因为各种载荷的作用，各零部件会随着工作时间的延长，逐渐失去原有的或技术文件所要求的性能，使汽车丧失部分或全部工作能力，表现为汽车技术状况变差。汽车零件在使用过程中，技术状况的变化导致零配件失效是不可避免的。汽车零件失效分析，是指研究汽车零件丧失其规定功能的原因、特征和规律；研究零件失效分析技术和预防技术，其目的是分析零件失效的原因，从而找出失效的责任、提出改进和预防措施，以提高汽车可靠性和使用寿命。所以，研究汽车零件各种耗损的现象、规律和原因，建立和掌握控制汽车技术状况的理论基础，对于正确使用汽车、提高维修质量，进而提高汽车的可靠性是十分必要的。

第一节 汽车零件的损伤形式

一、汽车零件损伤的概念

汽车零件失去原设计所规定的功能称为零件损伤，它不仅指零件完全丧失原定功能，而且还包含功能降低、有严重的损伤和隐患，如继续使用则零件会失去可靠性及安全性。

二、汽车零件损伤的基本类型

按损伤模式和损伤机理进行分类是研究零件损伤的重要内容之一。损伤模式是指损伤零件的宏观特征，而损伤机理则是指导致零件损伤的物理、化学或机械的变化原因。

汽车零件损伤的主要类型有零件磨损、零件疲劳、零件变形、零件腐蚀及老化等。

三、零件损伤的基本原因

引起零件损伤的原因有很多，主要有工作条件（包括零件的受力状况和工作环境）、设计制造（设计不合理、选材不当、制造工艺不当等）和使用与维修等三个方面的原因。

零件的受力状况包括载荷的类型、载荷的性质以及载荷在零件中的应力状态。零件承受的载荷若超过其允许承受能力时,则导致零件失效。在实际工作中,汽车零件往往不是只受一种载荷的作用,而是同时承受几种类型的复合载荷的作用。例如,曲柄连杆机构在承受气体压力过程中,各零件承受扭转、压缩、弯曲载荷及其应力作用;齿轮轮齿根部所承受的弯曲载荷以及工作表面承受的接触载荷等。

绝大多数的汽车零件是在动态应力作用下工作的。由于汽车的起步、停车以及速度的变化等,使动态应力的波形,应力幅的大小、方向、周期等都随时间而变化,使零件承受动载荷,从而加速零件的早期磨损。

汽车零件在不同的环境介质(气体、液体、酸、碱、盐介质,固体磨料,润滑剂等)和不同的工作温度作用下,可能引起腐蚀磨损、磨料磨损,以及热应力引起的热变形、热膨胀、热疲劳等失效,还可能造成材料的脆化,造成高分子材料老化等。

设计不合理和设计考虑不周到是零件损伤的重要原因之一。例如,轴的台阶处直角过渡、过小的圆角半径、尖锐的棱边等都会造成应力集中。在这些应力集中处,有可能成为零件破坏的起源。花键、键槽、油孔、销钉孔等处,设计时如果没有充分考虑到这些形状对截面的削弱和应力集中问题,或者位置安排不妥当,都将造成零件的早期破坏。材料选择不当以及制造工艺过程中操作不当而产生裂纹、高残余内应力、表面质量不良、达不到机械性能的要求等,都可能成为零件损伤的原因。紧配合零件的装配精度不够,导致相配合零件之间的滑移和变形,将产生微动磨损,从而也加速零件的失效过程。

汽车在使用中超载、润滑不良、滤清效果不好,违反操作规程,出现偶然事故以及维修不当等,也都会造成零件的早期破坏。

第二节 汽车零件损伤的特点

一、汽车零件的磨损

磨损是指两个相对运动零件摩擦表面的物质,由于相互作用而使摩擦表面材料不断损失的现象。磨损随摩擦而产生,有零件加工刀痕留下的微观不平,微观凸起的相互嵌入、划痕和碰撞折断等磨损;还有摩擦过程中产生的高热使金属表层发生相变与软化等。磨损是一个复杂的过程,包括物理、化学、机械等的综合作用。对于一个具体零件表面的磨损可能是单一原因造成的,也可能是多种原因综合造成的。据统计,有75%以上的汽车零件是由于磨损而报废的。

磨损在多数情况下是有害的,会造成零件损伤。但在极少数特殊情况下也有益,如发动机磨合、变速器磨合等。

磨损按摩擦表面相对运动的类型可分为滑动磨损、滚动磨损、冲击磨损、微动磨损和流体侵蚀等。

磨损按零件损伤的机理则又可把磨损分为粘着磨损、磨料磨损、表面疲劳磨损、腐蚀磨损、微动磨损等。应当特别指明的是,具体汽车零件的磨损经常以复合的形式出现。下面分别介绍如下:

1. 粘着磨损

粘着磨损是指摩擦表面相互接触,在接触点之间由于分子吸引力粘附或局部高温熔着,使摩擦表面的金属发生转移而引起的磨损。

(1) 粘着磨损的特点 在一定载荷的作用下,摩擦过程使润滑油膜破裂,摩擦副表面由于微观粗糙而形成点接触,接触点的高接触压力使其发生弹性或塑性变形,在接触点产生分子吸附和原子吸附,形成强粘着。另外摩擦副在高接触压力下以较高速度滑动时产生大量的热,并且由于缺乏足够的润滑油,摩擦产生的热量不能很快散去,使摩擦接触点自身的温度上升,而产生熔化和熔合,进一步强化了微观接触点的粘着作用;进而在摩擦表面相对滑动过程中,粘着点产生塑性变形直至被剪切撕脱,表面材料被转移。这样,粘着→撕脱→再粘着→再撕脱的循环进行,就形成了粘着磨损。

接触点粘着剪切分离只是在微观接触点上进行,接触表面仅有轻微的材料转移,摩擦表面仅会出现轻微擦伤。擦伤即摩擦表面沿着滑动方向形成细小擦痕的现象。若剪切分离在表层金属内进行,就会发生内部撕裂,摩擦表面会出现明显的材料转移和撕裂,甚至引起摩擦表面咬粘,即两个摩擦表面因粘附和材料转移而损坏,进而导致运动中止的现象,酿成机械事故。发动机中的“拉缸”、“抱轴”现象就属于这种磨损。这是一种严重而危险的损伤,常常是突然发生的,应设法避免。

(2) 影响粘着磨损的因素

1) 材料特性的影响。脆性材料的抗粘着性能好于塑性材料。塑性材料发生粘着磨损的部位多在金属表层下一定的深度,常会发生内部撕裂,磨损下来的颗粒较大。脆性材料发生粘着磨损时,破坏则较浅,金属屑也较细微。

采用互溶性小的材料配对组成摩擦副时,其金属晶格不相近,粘着倾向小,抗粘着性能好。如曲轴轴瓦和轴颈表面。在一组摩擦副中,选择一种表层较弱的金属(如减磨合金),即使发生粘着磨损,一般情况下其磨损量也是微量的。

对金属表面进行处理,可使摩擦副表面生成互溶性小的金属层,可避免同种金属相互摩擦,较好的防止粘着磨损,如电镀,表面化学处理,表面热处理等。

2) 零件表面粗糙度的影响。某种材料在一定的工作条件下,均可以找到一个对应于最小磨损量的粗糙度。一般情况是磨损量随零件表面光滑程度的提高而减小。

3) 润滑油的影响。如果供给摩擦表面足够的润滑油,并保证润滑油的粘度和工作温度,使配合零件不发生干摩擦,零件表面的氧化膜是不易破坏的,这样就减少了粘着磨损形成的条件。如汽车后桥主减速器采用准双曲面齿轮,其齿面间有很高的接触压力。为避免出现粘着磨损而使用专用的双曲面齿轮油,可以保证在很高的压力条件下形成良好的油膜,使齿面间不致发生直接接触,可以避免粘着磨损。若使用一般的齿轮油,则齿面间很快就会形成粘着磨损而导致零件损坏。

4) 运动速度和单位面积上压力的影响。如运动零件表面间有充足的润滑油,则零件的运动速度提高后容易形成油膜,可以减少磨损。如零件处于干摩擦和半干摩擦状态,那么零件的运动速度越高,产生的摩擦热就越多,却又不能散去,就越有可能发生粘着磨损。在运动速度一定的情况下,零件载荷越大,摩擦力就越大,也就越容易发生粘着磨损。

在汽车发动机中,粘着磨损的发生多数是因为配合间隙过小;运动零件表面加工纹理还没有走合好,就过早地增大负荷,使发动机工作温度过高,缺乏足够的润滑油使热量散去,造成零件的粘着磨损;也有少数是车辆使用不合理、维护不及时,造成相关配合副磨损严重,配合间隙过大,润滑油流失过快,出现半干摩擦状态而发生粘着磨损。

2. 磨料磨损

摩擦表面间,由于硬质固体颗粒(包括硬质凸出物)使相对运动的零件表面引起的磨损称为磨料磨损。磨料磨损是汽车零件中最常见的,同时也是危害最为严重的磨损形式。统计表明,在各类磨损形式中,磨料磨损大约占磨损总消耗的50%。对于汽车发动机来说,空气中的尘埃,燃料、润滑材料中的杂质、零件在摩擦过程中剥落下来的金属颗粒等都是磨料的来源。磨料磨损表面的特征是磨损表面存在着许多直线槽,这些直线槽可以是很轻的擦痕,也可以是很深的沟槽。

(1) 磨料磨损的机理 磨料磨损的机理目前有四种假说。

1) 微量切削假说。该假说认为磨损是由于磨料从金属表面上不断切下的微量切屑造成的,其根据是在实验室里做的磨料磨损试验所获得的磨屑,像切削加工的切屑一样,呈螺旋形、弯曲形等。这种假说是由前苏联学者赫鲁晓夫提出的。他认为当塑性金属被固定的磨料摩擦时,在金属表面内发生两个过程:①塑性挤、压形成擦痕。②切削金属,形成磨屑。在摩擦过程中,大部分磨料在金属表面只会留下擦痕,小部分磨料,如棱面磨料将切削金属形成切屑。

2) 表面疲劳剥落假说。该假说以前苏联克拉盖里斯教授为代表创立。这一假说认为金属同磨料摩擦时,磨料对零件摩擦表面的法向载荷和切向作用力,使金属表面的同一微小体积经多次塑性变形,使金属产生疲劳破坏,小颗粒从金属表面层上剥落下来。但并不排除同时存在磨料直接切下金属的过程。

3) 压痕假说。对于用塑性较大的材料制造的零件,摩擦过程中,磨料在压力作用下被压入工作表面中,并从表面上挤压出金属,其他的磨料便很容易使金属脱落;此外,部分压入的磨料还会“犁耕”另一金属表面,形成沟槽,使金属表面出现严重的塑性变形,加速其破坏。

4) 断裂假说。该假说主要针对脆性材料,以脆性断裂为主。当磨料压入和擦划金属表面时,压痕处的金属产生变形,磨料压入的深度达到临界深度时,随压力增加而产生的拉伸应力使金属表面产生裂纹。裂纹主要有两种形式,一种是垂直于表面的裂纹,另一种是从压痕底部向表面扩展的横向裂纹。在这种压入条件下,横向裂纹相交和扩展到表面时,材料微粒便产生脱落,形成磨屑。由于裂纹能超过擦痕的边界,所以断裂引起的材料迁移率可能比塑性变形引起的材料迁移率大得多。实验证明,对于脆性材料,若磨料棱角尖锐、尺寸大,且施加载荷高时,以断裂过程产生的磨损占主要地位,故磨损率很高。

总之,磨料磨损机理属于磨料的机械作用,这种机械作用在很大程度上与磨料的性质、形状及尺寸大小、固定程度以及载荷作用下磨料与被摩擦表面的力学性能有关。

(2) 磨料磨损规律 经过试验发现,磨料磨损有如下规律。

1) 摩擦条件不变时,磨损量与工作表面所经过的滑动距离成正比。

2) 摩擦条件不变时,磨损量与工作表面所承受的单位压力成正比。

3) 一般情况下, 金属材料的硬度越高, 耐磨性越好。

4) 磨料颗粒硬度对磨损的影响。如磨料颗粒硬度明显高于金属硬度时, 两者之间的硬度稍有变化时, 对金属的耐磨性影响不大。如磨料颗粒的硬度稍高于金属的硬度时, 硬度的差别越小, 磨损也越小。如磨料颗粒硬度减小 20%, 工件的磨损会降低 60%。

5) 磨料粒度对磨损的影响。用不同粒度大小的磨料, 对不同的金属材料进行磨料磨损试验, 结果显示, 如粒度为 $20 \sim 30 \mu\text{m}$ 的尘埃将引起曲轴轴颈、气缸表面的严重磨损, 而 $1 \mu\text{m}$ 以下的尘埃同样会使凸轮挺杆副磨损加剧。

(3) 减轻磨料磨损的主要措施

1) 加强空气滤清。因为汽车发动机的磨料主要来自空气, 空气中的磨料主要是尘土和砂粒等, 有时空气中的含砂量较大, 所以, 应加强空气滤清。在实际应用中, 应保持空气滤清器良好的技术状况, 做到按要求及时更换滤芯。

2) 加强燃油的滤清。保持燃油滤清器良好的技术状况, 及时清洗或更换滤芯, 特别是对柴油机, 使用的柴油的滤清器更应该要求严格。

3) 加强润滑油的滤清。要经常清洗机油滤清器, 并采取措施除去机油中的油泥和胶质, 金属屑可以通过磁性螺塞吸附并及时除掉。

另一方面, 可以通过增加零件的抗磨性能, 提高零件的表面硬度, 使表面硬度尽可能高于磨料硬度, 提高零件的耐磨性, 从而减少零件的磨损。

3. 表面疲劳磨损

在纯滚动或同时带有滑动的滚动条件下, 材料表面层因疲劳而产生物质损失的现象称为表面疲劳磨损。表面疲劳磨损一般出现在齿轮副的轮齿、滚动轴承的滚珠和滚道以及凸轮副等表面, 一般为点接触或线接触的摩擦副。

表面疲劳磨损是疲劳与摩擦共同作用的结果, 其磨损过程可分为三个发展阶段。

1) 表面的相互作用。

2) 在接触压应力及摩擦力的作用下接触材料表层性质变化, 形成疲劳核心裂纹。

3) 疲劳裂纹的发展直至材料微粒的脱落。

表面疲劳磨损与零件材料、热处理的金相组织、表面粗糙度、精度以及润滑状态有关。零件材料中含有非金属夹杂物, 特别是脆性夹杂物, 如氧化铝、硅酸盐、氮化物等, 对表面疲劳磨损影响很大。它们在基体的交界处引起应力集中, 在含有脆性夹杂物的边缘部分最易形成裂纹, 降低了材料抗疲劳磨损的能力。材料的强度和硬度影响表面疲劳磨损, 材料的抗断裂强度愈大, 则磨损微粒分离所需要的疲劳循环次数也愈多, 可以提高耐磨性。经研究表明, 轴承钢的表面硬度为 62HRC 左右时, 轴承的平均使用寿命最高。零件的强化层(渗碳层、氮化层等)设计要合理, 使最大切应力发生在强化层内, 就能提高零件抗表面疲劳磨损的能力。另外, 当零件摩擦表面间的润滑油粘度较高时, 由于接触部分的压力几乎均匀, 而油液又不易渗入裂纹, 从而能提高零件表面抗表面疲劳磨损的能力。

4. 腐蚀磨损

零件表面在摩擦过程中, 表面金属材料与周围介质发生化学反应或电化学反应, 而引起物质损失的现象称为腐蚀磨损。腐蚀磨损是腐蚀和摩擦共同作用的结果。

因介质的性质、介质作用在摩擦表面上的状态以及摩擦材料性质的不同,腐蚀磨损的状况也不同。根据腐蚀磨损的状态可分为氧化磨损、特殊介质腐蚀磨损、穴蚀等形式。

(1) 氧化磨损 氧化磨损是最常见的一种磨损形式,曲轴轴颈、气缸、活塞销、齿轮啮合表面、滚珠或滚柱轴承等零件都会产生氧化磨损。

所有存在于大气中的金属表面都存在氧吸附层(物理吸附层和化学吸附层),这是金属与周围空气中的氧相互作用的结果。当零件表面相互运动时,金属表面和周围介质间相互作用的活性迅速增加,金属表面形成氧化膜的速度比不运动时快得多。因此,如果摩擦表面微凸体上的氧化膜由于摩擦而遭到破坏脱落后,在另一次摩擦接触前又形成新的氧化膜,这种氧化膜不断被除去,又反复形成的过程称为氧化磨损。与其他类型的磨损比较,氧化磨损具有最小的磨损速度(线磨损值为 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m/h}$)。若形成的氧化膜韧性好,强度高,与基体的结合处的抗剪性能好,则氧化膜能起到保护摩擦表面的作用。

影响氧化磨损的因素有摩擦副的滑动速度、接触载荷、氧化膜的硬度、介质中的含氧量、润滑条件以及材料性能等。

在载荷不变的条件下,氧化磨损量随滑动速度的变化而变化。当滑动速度变化时,磨损类型将在氧化磨损和粘着磨损之间相互变化,如图 1-1 所示。

在其他条件不变的情况下,当载荷超过某一临界值时,磨损量随载荷的增大而急剧增加,磨损类型也会由氧化磨损转化为粘着磨损,如图 1-2 所示。

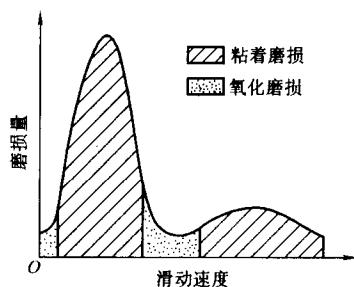


图 1-1 磨损率与滑动速度的关系

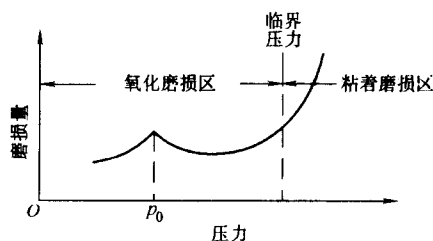


图 1-2 磨损量与载荷的关系

润滑油膜能起到减磨和保护作用,减缓氧化膜生成的速度,但油脂与氧反应生成酸性氧化物时则会腐蚀摩擦表面。生产中有时利用危害性小的腐蚀磨损来防止危害性大的粘着磨损。如汽车主减速器的准双曲面锥齿轮副接触应力较大,极易产生早期的粘着磨损。为了防止粘着磨损的发生,在润滑油中加入中性极压添加剂,提高油膜强度,以使之产生较低的氧化磨损为代价,而避免严重的粘着磨损的出现。

(2) 特殊介质腐蚀磨损 摩擦表面遇酸、碱和盐等特殊介质后,发生化学反应生成各种产物,并在摩擦过程中不断被磨去,或者与周围介质产生电化学反应造成摩擦表面材料不断损失的现象称为特殊介质腐蚀磨损。

前者(发生化学反应)的磨损机理与氧化磨损相似,后者(发生电化学反应)的机理类似于干电池使用后外表皮的破损。特殊介质腐蚀磨损的磨损速度较快。磨损率随介质腐蚀性的增大而变大。若钢表面能形成一层结构致密,与基体金属结合牢固的钝化膜,则磨

损率不再随介质腐蚀性的变化而变化。若保护膜的生长速度大于腐蚀速度，磨损率也不会随介质腐蚀性的变化而变化。

发动机气缸内的燃烧产物中含有碳、氮和硫的氧化物、水蒸气和有机酸（如醋酸（ $C_2H_4O_2$ ）、蚁酸（ CH_2O ））等腐蚀性物质，可直接与气缸壁起化学反应，也可溶于水形成酸类腐蚀气缸壁，前者称为化学腐蚀，后者称为电化学腐蚀，其腐蚀强度与温度有关。

润滑油氧化时将生成有机酸，对轴承材料中的铅、镉有很大的腐蚀作用。开始时有有机酸在轴承表面形成黑点，并逐渐扩展成海绵状空洞，在磨损过程中呈小块剥落，因此要严格控制润滑油中的酸值。

金属的腐蚀过程虽然是缓慢的，但是对零件的正常工作和使用寿命都有很大影响，所以在金属表面要采取防腐措施。在汽车上经常采用覆盖法防止腐蚀。覆盖层可以是金属镀层，也可以是非金属的涂漆等。

(3) 穴蚀 穴蚀是指与液体接触的金属表面在相对运动过程中产生的一种表面破坏现象。柴油机湿式气缸套的外壁与冷却液接触的表面、滑动轴承在最小油膜间隙之后的油膜扩散部分，都可能产生穴蚀。如图 1-3 所示。穴蚀的磨损特征是表面呈麻点状，严重时呈聚集的蜂窝状孔穴群，更严重时可能使湿式气缸套产生针状孔而漏水。

穴蚀是一种复杂的破坏现象，是由于冲击应力而造成的表面疲劳破坏，液体的化学和电化学作用以及液体中含有杂质磨料等均可加速穴蚀的破坏过程。

如柴油机湿式气缸套外壁穴蚀的形成，主要是因为柴油机运行中，活塞在侧向力的作用下撞击缸套，缸套产生高频振动，引起冷却液压力的波动。当冷却液压力低于冷却液饱和蒸气压时即在与缸套接近的冷却液中产生气泡。当冷却液压力高于冷却液的饱和蒸气压时，气泡爆裂，引起超过 10kHz 的极其剧烈液压波动（压力可高达几千甚至 10^4 个大气压，1 标准大气压等于 101325Pa）；当气泡爆裂时产生微小射流和冲击波，使缸套外壁的侵蚀层产生疲劳而逐渐脱落。缸套穴蚀的孔穴群一般集中出现在连杆摆动平面的两侧，尤其是在活塞承受侧压力大的一侧所对应的缸套外壁穴蚀现象最严重。

防止缸套穴蚀的措施，一是防止或减少气泡的形成，二是应设法使气泡在远离机件的地方或提高零件材料抗穴蚀的能力。增加缸套固定刚度，以减少缸套的振动；加宽水套使冷却均匀，减少气泡爆破时的影响；消除冷却液路中局部涡流区及死水区，使冷却液沿缸套完全的回转流动，将产生的气泡带走；另外，提高缸体与活塞修理质量和装配质量等对防止穴蚀都有一定作用。

应当指出，单一的磨损形式仅仅在特殊条件下偶然发生。在一般情况下，零件的磨损常常是几种磨损机理综合作用的结果。在零件的摩擦表面一般会同时发生下列过程：两个摩擦表面先产生氧化反应表面层；摩擦表面材料和反应物从一个摩擦表面向另一个摩擦表

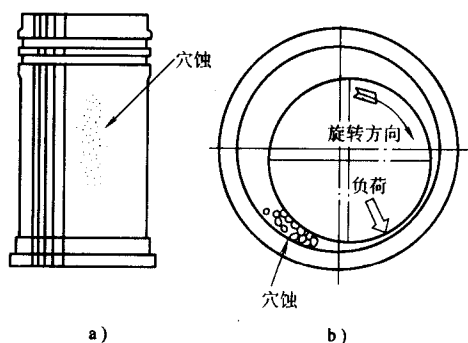


图 1-3 穴蚀位置示意图

a) 湿式缸套 b) 滑动轴承

面发生粘附转移；通过表面疲劳和磨料的作用，使摩擦表面材料及反应物或粘附转移材料脱离摩擦表面形成磨损微粒。这种过程称之为磨损机理的叠加。

在摩擦过程中，转移和消耗在摩擦表面微观凸峰和基体材料中的机械能及热能也会使磨损机理叠加。

5. 各类磨损的特征

各类磨损的内容和特征如表 1-1 所示。

表 1-1 各类磨损的内容及特征

类 型	内 容	磨损表面特征	实 例
磨 料 磨 损	在摩擦过程中，因硬质颗粒或硬的凸出物划伤摩擦表面而引起材料脱落的现象	刮伤、沟槽擦伤	农业及矿山机械零件、内燃机的气缸壁等
粘 着 磨 损	摩擦副相对运动时，由于固相焊合，接触表面的材料由一个表面转移到另一个表面的现象	擦伤、锥形坑、鱼鳞片状、麻点、沟槽	内燃机的铝活塞与缸壁、滑动轴承等
表面疲劳 磨损	两接触表面，因周期性载荷作用，使表面产生变形和应力，从而导致材料产生疲劳裂纹和分离出微粒或颗粒的现象	裂纹、麻点、剥落	滚动轴承、齿轮副、凸轮和挺杆、滑动轴承等
腐 蚀 磨 损	在摩擦过程中，金属与周围介质发生化学反应或电化学反应，产生材料损失的现象	有反应物生成（形成膜、颗粒）	曲轴轴颈的氧化磨损、气缸套的低温腐蚀等

二、汽车零件的疲劳

汽车零件在较长时间内由于交变载荷的作用，性能破坏，甚至产生断裂的现象称为零件的疲劳。

对于汽车而言，这种零件损坏很难避免，具有一定的必然性，可是对于每一个具体零件而言，又具有偶然性。疲劳损坏的形成是逐渐积累和发展的，但其表现形式又具有突然性，如曲轴与转向节指轴的疲劳断裂等。汽车零件的疲劳损坏，是汽车的常见故障，据资料记载，因疲劳而损坏的零件占 15% ~ 18%。

疲劳损坏的特点是，断裂时的应力远远低于材料的强度极限，甚至低于屈服点；在交变应力作用下的疲劳断裂，在断裂前不会发生明显的塑性变形，断裂是“突发性”的。因此疲劳断裂具有极大的危险性，常常导致致命故障，甚至导致重大机械事故或交通事故。

1. 疲劳损坏的机理

金属零件疲劳损坏实质上是一个累积损伤过程。一般要经历弹性（或塑性）变形、滑移、产生微观裂纹、微观裂纹扩展、宏观裂纹扩展、最终断裂等几个过程。

(1) 疲劳裂纹的产生 在交变应力的作用下，金属零件会产生一定的弹性变形（有的甚至还会产生一定量的塑性变形），较长时间作用之后，在金属零件表层下产生晶格错位、表面产生不均匀滑移线、金属内的非金属夹杂物和应力集中点等均有可能成为产生疲劳裂纹核心的策源地。

在一定应力循环后，在应力集中区域内由于应力的增加，出现局部损伤积累以及空穴

的堆积,因此在各晶粒内局部地区出现一个或几个相对滑移线,分布不均匀。随着交变应力作用时间的延长,原有滑移线的滑移量加大,新出现的滑移线也不断加入而共同组成滑移带。滑移带随着时间的延长而逐步加宽加深,在金属表面出现挤出带和挤入槽,如图 1-4 所示。这种挤入槽就是疲劳裂纹核心的策源地。此外,在金属中的非金属夹杂物等处以及零件上的应力集中点(如台阶、尖角、键槽等)均会产生不均匀滑移线,最后也形成疲劳裂纹核心。

(2) 疲劳裂纹的扩展 对于一般的金属材料而言,当疲劳裂纹核心产生以后,在应力集中的强化作用下,裂纹核心沿与主应力垂直的方向逐渐伸展、加长,进而使零件断裂失效。

在没有应力集中的情况下,交变应力的作用将使裂纹从金属材料表面上的滑移带、挤入槽或非金属夹杂物等处开始,沿着最大切应力方向(和主应力方向成 40° 角)的晶面向内扩展,直至形成宏观裂纹。在这一阶段裂纹逐渐扩展,其扩展的速率很慢。当裂纹发展成为宏观裂纹以后,裂纹的扩展方向将发生变化,转向与主应力垂直的方向扩展,直到零件断裂失效。

(3) 疲劳断口的宏观特征 疲劳损坏的断面形态和一般破坏的形态不同,其断口从宏观上来看由两个区域构成,即疲劳裂纹产生和扩展区及最后断裂区,如图 1-5 所示。

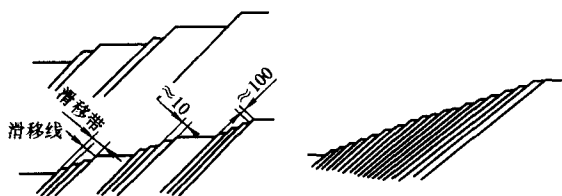


图 1-4 延性金属中由于交变应力作用而产生的滑移线

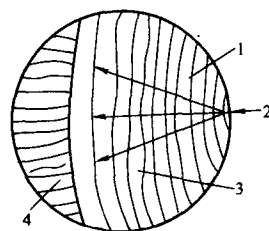


图 1-5 疲劳断口示意图
1—前沿线 2—裂纹策源地
3—裂纹扩展区 4—最后断裂区

1) 疲劳裂纹产生和扩展区 最初疲劳裂纹的产生往往是由零件的结构或材料的内部缺陷等引起,这些区域便是疲劳裂纹核心的策源地。疲劳源是疲劳损坏的起始点,一般位于零件表面,但如果内部存在严重缺陷,也可能发生在零件内部。疲劳源区的断面由于疲劳裂纹扩展缓慢及裂纹反复张开与闭合而磨损严重,一般具有光亮和细颗粒的断面结构。

在疲劳裂纹的扩展区,常常会留下一些以疲劳源为中心,与裂纹方向垂直的呈半圆形或扇面形的弧形线,称为疲劳线,这是金属疲劳断口宏观形态的基本特征。疲劳线是由于外加载荷的改变或者是由于邻近的裂纹、材料中的缺陷、残余应力影响下发生的应力再分配,或者是由于邻近区域局部地区出现应力大小及应力状态的变化,使疲劳裂纹扩展的速度及方向均发生变化,从而在断口上留下塑性变形的痕迹。疲劳裂纹扩展区一般比较光亮、平滑。

疲劳源的数目可以不止一个,尤其是过负荷疲劳,其应力幅度较大,断口上常出现几个不同位置的疲劳源。在断口表面同时存在几个疲劳源的情况下,可根据疲劳线的密度来