



交通系统中等专业学校教材

ICHE XIULI

# 汽车修理

第二版

人民交通出版社

交 通 系 统 中 等 专 业 学 校 教 材

QICHE XIULI

# 汽 车 修 理

(第 二 版)

(汽车运用与修理专业用)

交通部呼和浩特交通学校 丁钊 佟永和 编

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书主要阐述汽车修理的基本理论, 汽车的修理工艺, 零件修复方法及主要总成和主要零件的拆卸、检修、装配、调整、试验等方法。本书可作为交通系统中专学校“汽车运用与修理”专业“汽车修理”课的教材, 也可供本专业函授、业余中专及交通技工学校、职业高中汽车保修班教学参考之用, 还可以供从事汽车保修的技术人员和技术工人使用。

交通系统中等专业学校教材

## 汽 车 修 理

(第二版)

(汽车运用与修理专业用)

交通部呼和浩特交通学校 丁钊 佟永和 编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$  印张: 17.5 字数: 430千

1979年7月 第1版

1988年6月 第2版 第6次印刷

印数: 360,851—441,850册 定价: 2.55元

# 前 言

随着汽车工业的发展,汽车维修方法也在不断地发展和更新。原版本“汽车修理”(1978年编写的)中等专业教材,已不能满足现在的教学需要。因此,按交通部教育局要求,并根据1983年12月审定的教学大纲,对原书作了全面地修订工作。修订稿编出后又根据1986年11月济南会议审定的“汽车修理”教学大纲再一次进行了修改。

本书的编写立足于国内目前的修理水平和实际情况,同时也介绍了部分国内外的新技术、新方法。

本书编写中尽量以汽车维修基本原理、基本方法、普遍性规律为主,并辅以典型汽车和零件的修理。还考虑到中专教学,要加强实践性的特点。

有关汽车电气设备修理和各总成、机构的调试(属于不彻底解体的)方面的内容,由“汽车电气设备”和“汽车运用”介绍,本书不再述及。

本书分二篇二十章。其中第一章,第七章至第十四章等九章由丁钊同志编写,第二章至第六章,第十五章至第二十章等十一章由佟永和同志编写。

本书由济南交通学校李仁光主审,交通中专机械类专业教材编委会汽车运用与修理编审组编委、陕西省交通学校周本谦审定。在本书编写过程中,还征求了呼和浩特交通学校谢世模、吉林省交通学校张美田、广东省交通学校陈润昭等人的意见,在此一并表示感谢。

由于编者水平不高,资料有限,书中难免有缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 第一篇 汽车零件的耗损及修复

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第一章 汽车零件的耗损         | 1  |
| 第一节 摩擦的种类及性质        | 1  |
| 第二节 摩擦与润滑           | 5  |
| 第三节 磨损              | 7  |
| 第四节 零件的腐蚀           | 16 |
| 第五节 零件的疲劳           | 17 |
| 第六节 零件的变形           | 20 |
| 第二章 汽车零件的机械加工修复     | 21 |
| 第一节 机械加工的特点及注意的几个问题 | 21 |
| 第二节 修理尺寸法           | 23 |
| 第三节 零件的镶套修复         | 25 |
| 第三章 汽车零件的焊修         | 27 |
| 第一节 铸铁零件的焊修         | 27 |
| 第二节 铝合金零件的焊修        | 33 |
| 第三节 二氧化碳保护焊         | 37 |
| 第四章 汽车零件的电镀修复       | 40 |
| 第一节 电镀的一般知识         | 40 |
| 第二节 电镀的基本原理         | 43 |
| 第三节 刷 镀             | 45 |
| 第四节 其它电镀方法简介        | 52 |
| 第五章 汽车零件的其它修复法      | 58 |
| 第一节 零件的校正与表面强化      | 58 |
| 第二节 喷涂与喷焊           | 62 |
| 第三节 零件的胶粘修复         | 69 |
| 第六章 零件修复方法的选择       | 74 |
| 第一节 零件修补层的机械性能      | 74 |
| 第二节 零件修复方法的选择       | 76 |

## 第二篇 汽车修理工艺

|                   |    |
|-------------------|----|
| 第七章 汽车的接收、外部清洗和解体 | 79 |
| 第一节 汽车的接收和外部清洗    | 79 |
| 第二节 汽车的解体         | 81 |
| 第三节 零件的清洗         | 84 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第八章 零件的检验分类</b> .....         | 60  |
| 第一节 零件检验分类技术标准的制定.....           | 90  |
| 第二节 零件形状和位置误差的检测.....            | 96  |
| 第三节 零件磨损的检验.....                 | 106 |
| 第四节 零件隐伤的检验.....                 | 109 |
| 第五节 平衡的检验.....                   | 112 |
| <b>第九章 气缸体与气缸盖的修理</b> .....      | 114 |
| 第一节 气缸体与气缸盖的耗损与检验.....           | 115 |
| 第二节 气缸的磨损与修理.....                | 119 |
| <b>第十章 活塞连杆组的修理</b> .....        | 133 |
| 第一节 活塞的耗损及选配.....                | 133 |
| 第二节 活塞环的选配.....                  | 135 |
| 第三节 活塞销的选配.....                  | 137 |
| 第四节 连杆的修理及活塞连杆组的组装.....          | 141 |
| <b>第十一章 曲轴与轴承的修理</b> .....       | 144 |
| 第一节 曲轴的耗损、检验与校正.....             | 144 |
| 第二节 曲轴的磨削.....                   | 148 |
| 第三节 轴承的修理.....                   | 153 |
| <b>第十二章 配气机构的修理</b> .....        | 157 |
| 第一节 气门组零件的修理.....                | 157 |
| 第二节 气门传动组零件的修理.....              | 163 |
| <b>第十三章 燃料系、冷却系与润滑系的修理</b> ..... | 167 |
| 第一节 汽油机燃料系的修理.....               | 167 |
| 第二节 柴油机燃料系的修理.....               | 171 |
| 第三节 冷却系的修理.....                  | 177 |
| 第四节 润滑系的修理.....                  | 181 |
| <b>第十四章 发动机的装合与试验</b> .....      | 185 |
| 第一节 发动机的装合.....                  | 185 |
| 第二节 发动机的磨合与试验.....               | 190 |
| <b>第十五章 汽车传动系的修理</b> .....       | 194 |
| 第一节 离合器的修理.....                  | 194 |
| 第二节 变速器的修理.....                  | 199 |
| 第三节 万向传动装置的修理.....               | 206 |
| 第四节 后桥的修理.....                   | 208 |
| <b>第十六章 前桥转向系的修理</b> .....       | 218 |
| 第一节 前桥和转向系主要零件的检修.....           | 218 |
| 第二节 前桥的装配与调整.....                | 224 |
| 第三节 转向系的装配与调整.....               | 226 |
| <b>第十七章 制动系的修理</b> .....         | 231 |
| 第一节 影响制动器修理质量的因素.....            | 231 |

|      |                    |     |
|------|--------------------|-----|
| 第二节  | 车轮制动器的检修与装配调整..... | 234 |
| 第三节  | 气压制动系的检修.....      | 239 |
| 第四节  | 液压制动系的修理.....      | 244 |
| 第五节  | 真空增压器的修理.....      | 246 |
| 第六节  | 驻车制动器的检修.....      | 252 |
| 第十八章 | 车架和悬架的修理.....      | 254 |
| 第一节  | 车架的耗损及受力分析.....    | 254 |
| 第二节  | 车架的修理.....         | 255 |
| 第三节  | 钢板弹簧的修理.....       | 259 |
| 第十九章 | 汽车的总装试车与交车.....    | 260 |
| 第一节  | 汽车的总装.....         | 261 |
| 第二节  | 汽车修竣后的试车和交车.....   | 261 |
| 第二十章 | 汽车修理工艺文件的编制.....   | 263 |
| 第一节  | 基本概念.....          | 263 |
| 第二节  | 汽车修理工艺规程及工艺卡片..... | 263 |
| 第三节  | 典型零件修复工艺举例.....    | 267 |

# 第一篇 汽车零件的耗损及修复

汽车零件的耗损按其原因可分为：零件的磨损；零件的腐蚀；零件的疲劳及零件的变形等四类。

零件表面磨损，使它的尺寸、形状和表面质量发生了变化，改变了零件原有的配合特性。零件磨损是不可避免的。但是，在掌握零件的磨损规律基础上，采取相应技术措施，可以减少零件的磨损，提高零件的使用寿命。

金属零件表面常发生化学腐蚀和电化学腐蚀，研究零件表面腐蚀的原因，减少零件腐蚀的措施，也是提高零件使用寿命的重要途径。

零件疲劳是指零件在交变载荷作用下，由于材料的疲劳而产生的破裂和折断。研究疲劳的影响因素，是为了提高零件的抗疲劳性能，减少零件的损坏。

零件变形，可能产生弯曲、扭曲、挠曲等损伤。基础件的变形，是造成轴承座孔同轴度轴线垂直度和平行度等位置误差过大的主要原因。如气缸体产生变形，严重的影响发动机的装配关系，降低发动机的修理质量和使用寿命。

零件修复的目的是恢复它们的配合特性和工作能力。

零件修复的基本方法有两种：一是对磨损零件进行机械加工，使其恢复原有的几何形状，这种方法叫修理尺寸法；另一种方法是利用堆焊、喷涂、刷镀、电镀和粘结等工艺增补零件的磨损表面，再进行机械加工恢复零件的基本尺寸、几何形状及粗糙度；此外压力加工法是利用金属的塑性变形来恢复磨损部分的形状和尺寸。

上述修复方法中，机械加工法是基本的修复方法，其应用比较多，使用面也比较广。

## 第一章 汽车零件的耗损

### 第一节 摩擦的种类及性质

摩擦是发生在相互运动零件表面之间的一种机械咬合现象，磨损是摩擦的结果。而润滑则是为了降低摩擦、减少磨损所采用的一种重要技术措施。

在机械运动中，绝大多数的摩擦是有害的，它将使零件产生磨损。在机械零件中有80%的零、部件是由于磨损而报废的。所以，研究降低或消除无用的摩擦是很有实际意义的。

#### 一、摩擦现象及分类

##### 1. 摩擦现象

当两个相互接触的物体在外力作用下发生相对运动时，在物体的接触面间产生切向运动的阻力，这个运动阻力与物体的运动方向平行时，通常被称为摩擦力。这种现象则称为摩擦。

## 2. 摩擦的分类

①按摩擦副的运动形式分有：滑动摩擦和滚动摩擦两类。

滑动摩擦是接触表面相对滑动或具有滑动趋势的摩擦。

滚动摩擦是物体在力矩作用下沿接触表面滚动时的摩擦。

②按摩擦副的运动状态分有：静摩擦和动摩擦两类。

静摩擦是物体在外力作用下对于另一接触物体有相对运动的趋势，并处于静止临界状态的摩擦。

动摩擦是当一物体在外力作用下，超越静止临界状态而沿另一物体表面发生相对运动的摩擦。

③按摩擦表面状态分有：干摩擦、边界摩擦、流体摩擦和混合摩擦四类(如图1-1所示)。

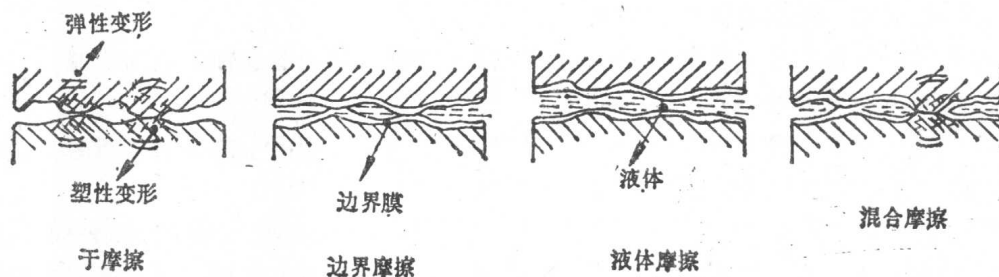


图1-1 摩擦状态

干摩擦是物体表面无润滑剂存在时的摩擦。

边界摩擦是两摩擦表面被吸附在表面的边界膜隔开的摩擦，其摩擦性质不取决于流体粘度，而与边界膜和表面的吸附性质有关。

流体摩擦是两摩擦表面被润滑油完全隔开的摩擦。由于两物体表面不直接接触，故摩擦性质取决于流体内部分子间的粘性阻力。

在实际使用中，有较多的摩擦副是处于干摩擦、边界摩擦、流体摩擦的混合状态，称为混合摩擦。

## 二、干 摩 擦

当物体在外力的作用下沿另一物体接触表面滑动时，在界面上产生切向阻力，这个阻力称为滑动摩擦力。这个摩擦力按物体的运动状态又分为静摩擦力和动摩擦力。

两个固体表面直接接触，对一物体施一切向力，引起物体开始相对滑动时所需的切向力就是最大静摩擦力。保持物体继续运动的力称为动摩擦力。多数情况下是动摩擦力小于最大静摩擦力。

如图1-2所示，粘着理论认为最初是两个静接触的表面，在外力作用下产生了运动的趋

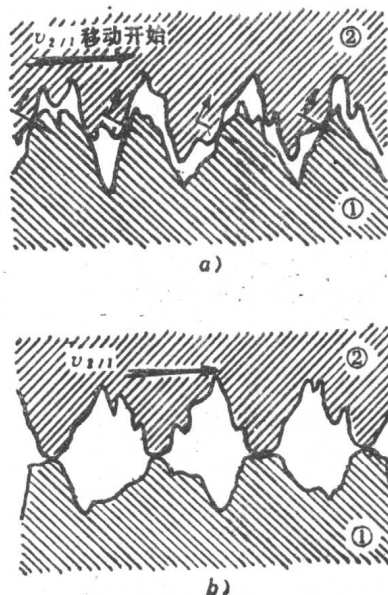


图1-2摩擦图  
a)静摩擦；b)动摩擦

势。又因为工作表面间尚未润滑，其表面上的凸点相互接触，摩擦阻力很大，这个力称为静摩擦力。在滑动速度很低时，粗糙点的摩擦是不连续的，其摩擦系数也是变动的。当物体的运动速度增加到某一值时，摩擦只出现在粗糙表面的最高点上。在凸点上发生极高的压力，这时摩擦所产生的热能足以使尖点金属熔化，因而产生塑性流动。因为这种摩擦只发生在粗糙表面的最高凸点上，因而摩擦力降低，这个力称为动摩擦力。

### 三、固体表面的性质

物体的摩擦状态和摩擦种类与物体的表面性质有很大关系，所以在研究摩擦时，必须了解物体的表面性质。

#### 1. 纯净表面

物体表面不存在任何其他物质的表面称为纯净表面，这种表面只在实验室的真空条件下可以获得或其它特殊条件下才能产生。

经过精加工的金属表面，结晶点阵原子处于不平衡的状态，因而呈现相当活泼的性质，极易吸附其他物质的分子和与其他物质起化学作用。

这种纯净的表面摩擦系数一般都很高，同时可能发生粘着作用。

例如，一对经过精加工的相同金属表面相互接触时，其原子间形成很强的金属键。当一个表面上的原子与另一相同的金属表面的原子接近时，其间金属键的吸引力可以达到它们各自与本体金属原子间相同的程度。这时界面上的金属原子就分不清是属于那一个物体的了。界面上原子间的吸引力大小与接触物体本体内金属原子间的引力相同。实际上，还有许多接合不好的金属原子，成为薄弱区。当金属相对运动时，造成微凸点的塑性流动或热扩散，可能这些薄弱区也连成一体了。这种情况下，金属就发生了转移。

对于两种不同金属，如金属界面原子间的吸引力，大于较弱金属基体内部吸引力，在发生相对运动时，较弱的金属表面将被拉开，而不是在原来的分界面处断开。这个力就是金属间的粘附力。

但是，实际上金属表面间却没有很强的界面粘附，主要是由于金属表面还存在一层氧化膜。

#### 2. 金属表面膜

大多数金属表面都是由金属氧化膜所构成（如图1-3所示），加工后的金属表面有氧化层、毕氏层（表面加工过程中形成的冷硬层）和变形层。

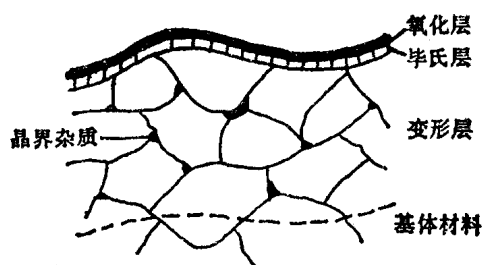


图1-3 加工后的金属表面层

#### 3. 表面粗糙度

经过加工后的金属表面还存在有凹凸不平。这种微观的几何形状误差和表面不平的程度就称为表面粗糙度。

由于物体表面的凹凸不平，使两物体的接触表面总是在少数点上接触。

实际接触面积是在轮廓接触面积内各实在接触的微小面积的总和。它比轮廓接触面积要小得多。一般材料在塑性变形范围内、实际接触面积与载荷大小成正比。

### 四、摩擦机理概述

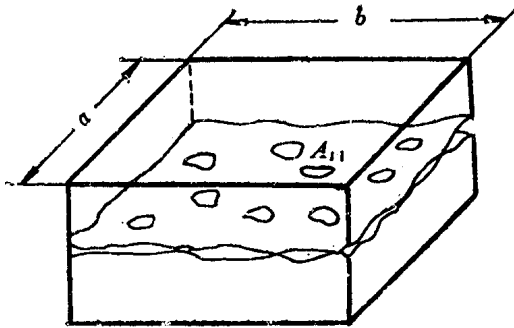
这里讨论的摩擦是干摩擦，是指物体表面间在无润滑条件下的摩擦，但两物体间也可能

存在着自然污染表面膜的现象。关于干摩擦的机理，现在有不同的观点。

### 1. 初期的摩擦理论

具有几何学和机械学的性质，这时的摩擦理论认为：两个粗糙表面接触时，接触点相互啮合，摩擦力就是啮合点的切向阻力的总和。按照这种理论，对于粗糙的工作表面，提高表面光滑程度是可以降低摩擦系数、减小摩擦损失的。但是，当对金属工作表面进行超精度加工的条件下，金属的摩擦系数反而增大，这时应用这一理论就不能解释了。

### 2. 粘着理论



$$A = ab \quad A_1 = \sum_{i=1}^n A_{i1}$$

图1-4 接触面积

粘着理论认为：相互接触的零件，在载荷的作用下，实际接触点上的接触应力很大，使凸点产生塑性变形，形成小平面接触，直到接触面积增大到能够承受全部载荷为止。如图1-4所示。

图1-5为理想的弹—塑性材料表面接触情况示意图。在这种情况下，

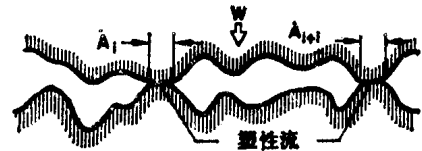


图1-5 金属表面弹塑性接触

金属表面将出现牢固的粘结点。在运动中粘结点被剪断（如图1-6所示）。摩擦过程就是实际接触点粘着与剪切交替进行的过程。



图1-6 粘着结点的剪切

## 五、摩擦系数的主要影响因素

摩擦系数是表示摩擦材料特性的主要参数之一，它与材料的表面性质、工作介质和环境等因素都有关系。

### 1. 金属表面氧化膜对摩擦系数的影响

在一般情况下的金属表面氧化膜的塑性和机械强度比金属材料差，在摩擦过程中氧化膜先破坏，又因为氧化膜使金属不发生直接接触，摩擦表面不易出现粘着现象，使摩擦系数降低，磨损减小。所以在生产中，经常将零件表面涂覆一层软金属，以降低摩擦系数。钢与钢表面之间，在大气中清洁表面的摩擦系数为0.78，而钢表面具有氧化膜时只有0.27。铜与铜的工作表面在上述相同的条件下，其摩擦系数由1.21降到0.76。

### 2. 材料性质对摩擦系数的影响

金属间的摩擦系数因配对材料的性质不同而不同。

相同金属或互溶性较大的金属间易发生粘着现象，摩擦系数增高。性质相差较大的金属，不易发生粘着现象。所以，经常在一组摩擦副中选择一方为金属键不强的金属，如铅、锡、铜、铝等。

### 3. 温度对摩擦系数的影响

温度对摩擦系数的影响，一般是随着温度的升高，摩擦系数增加。当出现极大值时，温度再升高，摩擦系数下降。

### 4. 表面粗糙度对摩擦系数的影响

表面粗糙度直接影响物体的摩擦系数。在一般情况下，表面愈光滑，物体的摩擦系数愈低。在粗糙度降低到一定程度后，摩擦系数却随粗糙度的降低而增加。

此外，零件的载荷越大，滑动速度越高，一般摩擦系数也增加。

## 第二节 摩擦与润滑

工作零件的摩擦与润滑是分不开的。

在一组相对运动着的零件表面之间引入润滑剂，便产生了使摩擦系数明显减小的作用。为了防止相对运动的零件表面直接接触，可以依靠润滑剂的粘性及其零件表面的几何形状和零件的运动，使润滑油产生足够的压力进行润滑。还可以用外部泵送润滑油保证零件的润滑。汽车发动机曲轴就是用这种方式来润滑的。

### 一、流体摩擦

流体摩擦是指两工作表面完全被润滑油隔开的摩擦，其摩擦系数明显减小。这样的润滑油膜厚度一般在工程上是  $1.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$  至  $1\text{mm}$ 。由于两摩擦表面不是直接接触，当发生相对滑移时，其摩擦只发生在润滑油流体分子之间。所以流体摩擦的性质完全决定于流体的粘性。从理论上说流体摩擦是不发生磨损的，实际上只有微小的磨损。流体摩擦的摩擦阻力较小，摩擦系数低。

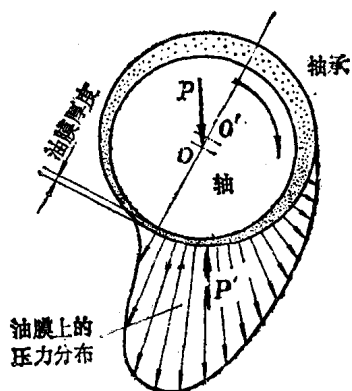


图1-7 滑动轴承的流体动压润滑原理

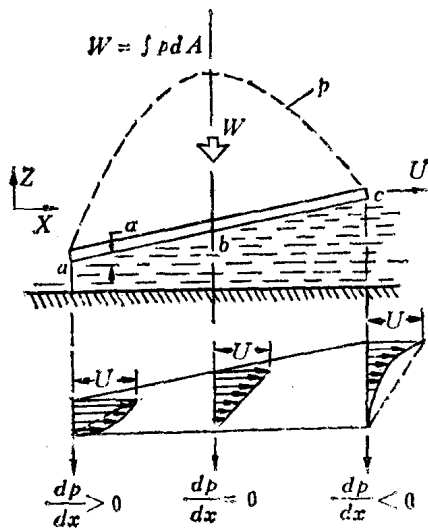


图1-8 楔形油膜的形成

根据流体润滑膜压力的产生方式，可以分为流体动压润滑和流体静压润滑。在工程技术中经常用的是流体动压润滑（如图1-7中所示）。

图1-7中轴承形成油膜的厚度及支承能力取决于轴的直径、表面粗糙度、形成油楔的形状、轴的转速及载荷的性质和润滑油的粘度等。

一般来说，液体润滑的效果比较稳定。但是当轴承的工作温度过高，使润滑油粘度下降，转速和载荷波动很大的情况下，油膜的承载能力就下降。特别是起动，停车的过渡过程，不可避免的要使油膜破坏，甚至发生干摩擦现象。

图1-8表示一对摩擦副，底板是固定的，另一平面物体以速度 $u$ 做相对滑动。它们之间形成楔形油膜。由于润滑油完全附着在零件表面上，可认为运动物体表面上润滑油的速度为 $u$ ，而固定底板表面上润滑油的速度为零。同时由于油膜很薄，可以认为润滑油的流动是层流。而且各不同断面润滑油的流量是相同的。润滑油从断面 $c$ 处进入油楔而从断面 $a$ 处通过，则润滑油膜对物体产生相当大的压力，使运动物体抬起。这个油楔压力的合力与运动物体重量相平衡。油压的大小决定于润滑油的粘度和运动的相对速度。

## 二、边界摩擦

边界摩擦是两摩擦表面被一层极薄的润滑油边界膜分开的摩擦。这层薄膜的厚度通常只在 $0.1\mu\text{m}$ 以下，其性质与润滑介质的性质不同，润滑性能好。在边界摩擦条件下，界面的润滑性能决定于这层薄膜的性质。而与润滑油的粘度无关。例如曲轴的滑动轴承，气缸与活塞环，凸轮与挺杆等都可能出现边界摩擦。

边界膜主要由吸附在零件工作表面上润滑介质的物理吸附膜构成。物理吸附膜是由润滑油介质分子吸引使极性分子定向排列，吸附在金属表面。吸附和脱吸完全可逆。如脂肪酸极性分子吸附在金属表面，形成脂肪酸膜。化学吸附膜是润滑介质中极性分子有价电子与基体表面的电子发生交换，而产生化学结合力，使金属皂的极性分子定向排列，吸附在金属表面上。吸附和脱吸不完全可逆。如硬脂酸极性分子和氧化铁在有水的情况下，反应生成硬脂酸铁膜。

边界摩擦的机理。当界面存在吸附膜时，吸附在金属表面的极性分子形成定向排列的分子栅。图1-9即为分子吸附膜的结构模型。当分子吸附膜达到了饱和状态时，分子的紧密排列，分子的内聚力使吸附膜具有一定的承载能力，防止了摩擦表面的直接接触。由于吸附膜的存在而降低了摩擦系数，起到了润滑作用。

如上述分析可知，边界摩擦主要是发生在边界膜内，其摩擦系数比干摩擦低的很多，其消耗的摩擦功小，磨损也小。若摩擦表面的凸点多，发生金属的粘结点也多，其摩擦系数高，消耗的摩擦功多磨损也大。

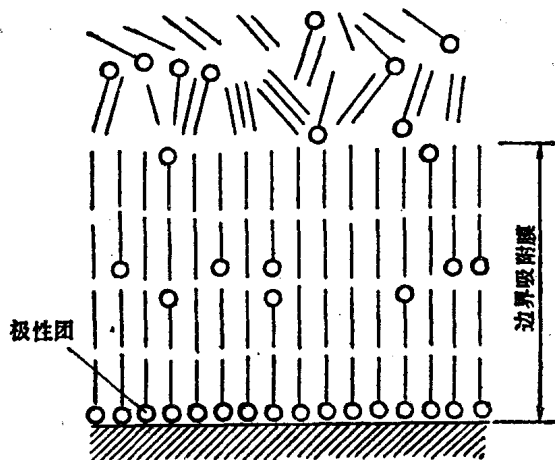


图1-9 分子吸附膜的润滑作用模型

## 三、干摩擦

干摩擦的机理在本章第一节中已叙述。

#### 四、混合摩擦

综上所述，将物体的摩擦分为液体摩擦、边界摩擦、干摩擦等，只是为了论述的方便，实际上在工作中这三种摩擦是混合存在的。除特殊设计要求外，都是混合摩擦（参照图1-1）。

混合摩擦的摩擦系数决定于各种摩擦所占的比例。如汽车的各种摩擦副：轴与轴承，齿轮之间，我们希望它们是在液体摩擦条件下工作，但是实际上不可免的出现起动和冲击载荷，这将造成边界摩擦，甚至是干摩擦。在正常的运转中，轴与轴承多数情况下是在液体摩擦条件下工作，其磨损很小。气缸壁与活塞环之间的摩擦是以边界摩擦和干摩擦为主。

图1-10所示，表示在不同的摩擦状态下，摩擦系数的变化曲线。纵坐标为摩擦系数 $f$ ，横坐标为 $(\mu v/W)$ ， $\mu$ 为润滑油的绝对粘度， $v$ 为摩擦速度， $W$ 为负荷。从曲线的形状可以看出， $f$ 与 $(\mu v/W)$ 在不同摩擦状态下，都接近线性关系。在②处，摩擦系数为最低，其摩擦力也最小，由②→① $(\mu v/W)$ 增加时，其摩擦系数缓慢增加，这时处于流体摩擦②—③间是部分处于边界摩擦，同时还存在液体摩擦。③—④间整个摩擦表面处于边界摩擦。④—⑤间为部分是边界摩擦还有固体摩擦。⑤以后是全面固体摩擦。

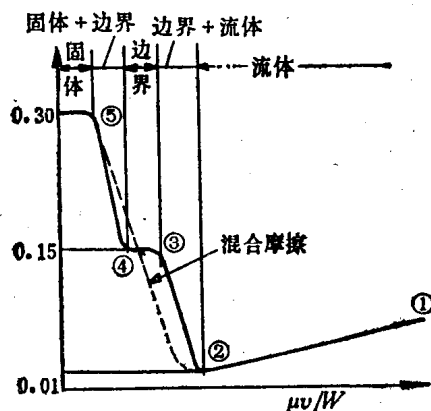


图1-10 摩擦系数变化曲线

### 第三节 磨 损

磨损是两个相对运动零件摩擦表面互相作用的结果，是摩擦表面金属不断损失的现象。磨损多数情况下是有害的，造成零件的破坏，但也可能是有益的，如磨合。磨损是一个复杂的过程。它包括物理的，化学的，机械的，冶金的综合作用。对于一个表面的磨损可能是单独的或综合的机理造成的。

按零件破坏的机理，磨损可分为：粘着磨损；磨料磨损；接触疲劳磨损和腐蚀磨损，而磨损经常以复合的形式出现。

#### 一、粘 着 磨 损

粘着磨损是在摩擦表面相互接触点间发生的。摩擦表面在切向力作用下，使金属表面的吸附膜、边界膜破坏，新的金属表面直接接触才能发生粘着。由于粘着作用使一个零件表面的金属转移到另一个零件表面所引起的磨损称为粘着磨损。零件表面负荷越大，表面温度愈高，粘着现象也越严重。

粘着磨损发生的机理。金属表面经过机械加工后，不可避免的留下了宏观及微观的不平度（如图1-11所示）。当金属受有一定外载荷作用而相互摩擦运动时，实际的表面接触面积将受到宏观粗糙度的限制，实际的接触面积很小，单位面积上的平均压力很大，在接触点处

往往发生弹性或塑性变形。当零件滑动时,将使零件表面刻划出沟槽或变形,同时产生大量的热。并由于缺乏足够的润滑油,摩擦产生的热量不能散去,接触点的温度上升可能出现凸点的熔焊过程。在随后的运动中焊合点又被撕破,发生了粘着磨损。其破裂部位在较软金属表面,被撕下的软金属粘着在与之配合的硬金属表面上。

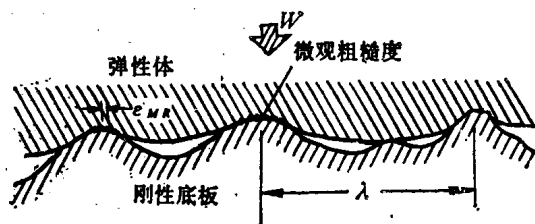


图1-11 宏观和微观粗糙度对接触面积的影响

粘着磨损按其发生的部位可分为外部粘着磨损和内部粘着磨损。

**外部粘着磨损。**当两种金属其内部结合强度大时,粘着磨损只发生在粘着点上,表面材料的转移极轻微。一般情况下即为轻微的磨损,其工作表面较为平滑。如活塞环与气缸壁间由于润滑不足经常发生这种磨损。

**内部粘着磨损。**当粘着点的结合强度高于两相互配合金属中之一方的内部结合强度时,粘着后的分离面将发生在这一较软金属的内部。每发生一次粘着磨损,软金属就被挖去一块。其磨损表面将出现很粗糙的撕裂痕迹。这种情况称为内部粘着磨损。这种磨损剧烈,但也可以避免。

在多数情况下,是两种粘着磨损同时发生的。一部分粘着点是在凸点上发生的;另一部分粘着点是从金属凸点内部发生的。

影响粘着磨损的因素。

#### 1. 材料特性的影响

脆性材料比塑性材料的抗粘着性能好。塑性材料发生粘着磨损,常发生在距离表面一定的深度,即属内部粘着磨损,磨损下来的颗粒较大。脆性材料发生粘着磨损,破坏的较浅,金属屑也细微。

如采用互溶性小的材料组成的摩擦副,其金属晶格不相近,粘着倾向小。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——减磨合金,即使发生粘着磨损,一般也是微量的。

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,可以防止粘着磨损。如电镀,表面化学处理,表面热处理等等。

#### 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双曲面螺旋齿轮,其齿面间有很高的接触应力。为避免出现粘着磨损而使用专用的润滑油,它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。如若使用一般的润滑油,齿面间很快就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

如果运动零件的表面有充足的润滑油,那么零件的运动速度提高容易形成油膜,可以减少磨损。如零件处于干摩擦和半干摩擦,零件运动速度愈高,产生摩擦热愈多又不能散去,可能发生粘着磨损。零件超负荷时,摩擦力就要增大,易发生粘着磨损。

在汽车发动机中粘着磨损的发生,多数是配合间隙过小,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,往往会造成零件的粘着磨损。

## 二、磨料磨损

在摩擦表面间,由于硬质固体颗粒使相对运动的零件表面产生磨损,称为磨料磨损。

磨料可能是空气中的尘埃和粘着磨损脱落的金属颗粒。

磨料磨损的现象是在两个工作表面上存在有许多直线槽,它们可以是很轻的擦痕或是很深的沟槽。

### 1. 常见磨料磨损的形式

#### 1) 疲劳剥落或塑性挤压

磨料夹在两摩擦表面之间,它在压力作用下被压碎。被压碎的磨料对金属表面产生集中的高应力,使零件表面产生疲劳和剥落。如磨料进入齿面易发生疲劳和剥落;对于塑性材料将使表面发生塑性挤压现象,如磨料进入轴承间,易发生塑性挤压。

#### 2) 擦痕

混合在液体或气体流中的磨料,随流体以一定的速度冲刷零件的工作表面,并产生擦痕。如柴油机喷油嘴的针阀磨损,即属于这种磨损。

### 2. 磨料磨损的机理

磨料在摩擦表面间,要受到载荷的法向压力和零件相对运动时切向力的作用,它将使零件表面损坏。关于磨料磨损的机理目前有以下三种观点。

#### 1) 微量切削假说

这一观点认为磨料磨损是由于磨料在摩擦表面间发生微量的切削造成的。

磨料受法向压力使它压入或部分压入零件工作面,零件在相对运动中受切向力的作用,零件表面被切削,脱落部分金属颗粒,留下细槽的擦痕。

按照这种假说可知零件材料硬度越高,耐磨性越好。此外磨粒的硬度,颗粒的大小、形状,磨粒的数量和零件的运动速度等因素都将影响磨损程度和磨损速率。

#### 2) 表面疲劳剥落假说

这一观点认为由于磨料对零件摩擦表面的法向载荷和切向作用力,使工作表面承受交变接触应力造成材料的疲劳破坏。

磨料颗粒在流体中运动,在剪切和压力作用下,对于脆性材料,磨料颗粒的作用将使工作表面产生疲劳裂纹,引起表面疲劳剥落。对于塑性材料表面由于挤压产生层状屑并剥落。

#### 3) 磨料的压痕假说

对于材料塑性较大的零件,磨料被压入工作表面而产生压痕,并从表面上挤压出金属并剥落。

磨料在高压应力作用下被捣碎,由于零件表面接触点在循环的压应力作用下,导致表面疲劳剥落。对硬度高的材料产生疲劳裂纹。

### 3. 磨料磨损的影响因素

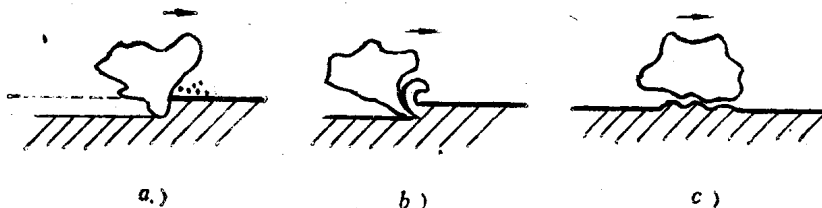


图1-12 磨料磨损  
a)细小切屑; b)卷曲状切屑; c)压痕变形及剥落

为了研究磨料磨损规律,通常用摩擦试验机进行试验。它可以对不同的试验目的控制试验条件和试验方法。如试验磨料磨损的规律,用没有浸蚀介质的条件下,使零件与砂纸相互摩擦,可以得到零件的磨料磨损规律:

①摩擦条件不变时,磨损量与试件所经过的滑动距离成正比。

②摩擦条件不变时,磨损量与试件所受单位压力成正比。

③金属材料硬度越高,耐磨性越好。当选用退火状态的钢,和经热处理后的钢,其硬度与耐磨性成正比的增加。而一般合金钢或40号钢经表面冷作硬化后,其硬度大大增加,这时其耐磨性保持相对不变。

④磨粒硬度对磨损的影响。如磨粒硬度明显高于金属硬度时,这时两者的硬度稍有变化时,对金属的磨损影响不大。

如磨粒的硬度稍高于金属硬度时,硬度差别越小,磨损也越小。如磨粒硬度减少20%,而金属的磨损降低60%。

⑤磨料粒度对磨损的影响。将不同粒度的磨料制成砂布,对不同金属材料进行磨损试验可得如图1-13所示的结果。

磨料的颗粒尺寸不同对磨损的影响也不同。最大颗粒的磨料,不能通过摩擦间隙,造成的磨损最小。最细小的颗粒也引起了相对较小的磨损,这是因为它们的尺寸小于配合间隙,磨料只能在润滑油中处于游离状态。对于气缸和活塞环磨损作用最大的磨粒尺寸为 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ ,其次是 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 的磨粒。

#### 4.减轻磨料磨损的主要措施

汽车发动机的磨料磨损主要是空气中的磨料造成的。空气中的磨料主要是尘土和砂粒等,有时空气中的含砂量很大,可达 $1 \sim 2 \text{g/m}^3$ 。为除去空气中的灰尘,在发动机上应配备滤清效果高的空气滤清器。

对于燃油也要滤清,特别是柴油机对于柴油的滤清作用要求更严。

对于润滑油的清洁,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物,其中金属屑可通过磁性螺塞吸附及时除掉。

另一方面可以增加零件的抗磨性能。提高零件表面的硬度,使表面硬度尽可能高于磨料的硬度,以提高零件的耐磨性。

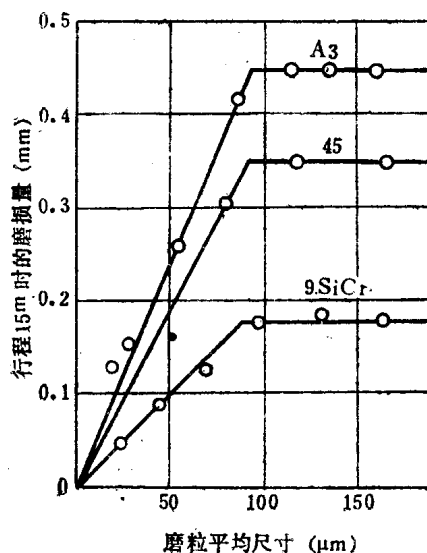


图1-13 磨损量与磨粒尺寸的关系