

中等专业学校试用教材

建材机械 安装与修理

洛阳建材工业专科学校
天津建材工业学校 编



中国建筑工业出版社

中等专业学校试用教材

建材机械安装与修理

洛阳建材工业专科学校
天津建材工业学校 编

中国建筑工业出版社

本书在介绍了机械设备安装与修理的基本知识和基本方法基础上重点介绍了典型建材机械安装与修理方法。

全书内容包括：摩擦和磨损，润滑材料及其选择，修理制度和修理计划，零件失效分析，机械零件的修理方法，建材机械的修理，机械设备安装的基本知识，建材机械的安装，建材机械安装与修理工作中的安全技术。

本书可作为建材类中等专业学校建材机械专业的试用教材，也可供建材企业工程技术人员和建材类高等专科学校建材机械专业学生参考，还可作为建材企业、职工培训教材。

中等专业学校试用教材
建材机械安装与修理
洛阳建材工业专科学校
天津建材工业学校 编

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本：787×1092毫米 1/16 印张：13¼ 字数：321千字
1986年7月第一版 1986年7月第一次印刷
印数：1—10,600册 定价：1.70元
统一书号：15040·5036

前 言

根据1983年11月上海教材编写大纲讨论会制定的建材中等专业学校建材机械专业建材机械安装与修理编写大纲，我们编写了这本教材。

建材机械安装与修理这门课是建材中等专业学校建材机械专业的重要专业课之一。学习该课程任务是使学生懂得机械设备维护的基础理论知识；掌握建材机械安装与修理的方法；明确安装与修理工作中的安全技术；培养学生具有从事建材机械安装与修理工作的能力。

本书着重基本概念和基本方法的阐述，在内容上既照顾到建材厂矿机械设备安装与修理的现状，又考虑到今后的发展，以适应建材工业现代化发展的需要。

本书由洛阳建筑材料工业专科学校主编，天津建筑材料工业学校参加编写。绪论和第一、三、四、五、六、八、九章由赵祖潭编写，第二、七章由皮庆安编写，全书由赵祖潭主编。

本书初稿经《建材机械安装与修理》教材审稿会审查。由武汉建材学院金有道主审。参加审稿的有国家建材局生产管理司黄有丰、上海高桥石化公司潘联昌、洛阳市龙门水泥厂程法儒。参加审稿的同志对初稿提出了宝贵的意见，并提供了一些资料，在此，对他们表示衷心感谢。

由于我们水平有限，实践经验不足，编写时间仓促，错误和不当之处在所难免，请广大读者批评指正。

编 者

1985年7月

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 摩擦和磨损	2
第一节 摩擦的概念和摩擦的分类	2
第二节 磨损的概念和磨损的分类	6
第三节 各种磨损的规律及提高零件耐磨性的途径	7
复习思考题	14
第二章 润滑材料及油选择	16
第一节 润滑油	16
第二节 润滑脂	30
第三节 润滑剂的添加剂	50
第四节 固体润滑剂	52
第五节 主要水泥设备推荐用油	55
复习思考题	58
第三章 修理制度和修理计划	59
第一节 计划预修制	59
第二节 设备配件计划的编制	61
第三节 设备大修修理计划的编制	63
复习思考题	66
第四章 零件失效分析	67
复习思考题	71
第五章 机械零件的修理方法	72
第一节 磨损零件的修理	72
第二节 机械损伤零件的修理	83
第三节 转子的平衡	89
复习思考题	104
第六章 建材机械的修理	105
第一节 锤式破碎机的修理	105
第二节 球磨机 and 大型减速机的修理	109
第三节 回转窑的修理	115
第四节 玻璃垂直引上机的修理	122
复习思考题	125
第七章 机械设备安装的基本知识	126
第一节 概述	126
第二节 设备基础的验收	126
第三节 地脚螺栓的安装和垫铁的布置	127

第四节 机械设备的检验	137
第五节 设备的起重、搬运及就位	138
第六节 设备找正找平、试运转及工程验收	147
第七节 安装前的其他准备工作	155
复习思考题	157
第八章 建材机械的安装	158
第一节 颧式破碎机的安装	158
第二节 球磨机 and 大型减速机的安装	161
第三节 回转窑的安装	180
第四节 玻璃垂直引上机的安装	198
复习思考题	201
第九章 建材机械安装与修理工作中的安全技术	202
复习思考题	205
参考书目	206

绪 论

建筑材料工业在国民经济中占有重要地位。在我国，大规模的经济建设，现代化的国防建设和高质量的民用建筑，都要求建材行业提供越来越多的优质产品。而建材工业的发展水平，在很大程度上又取决于机械设备的完善程度和新型建筑材料发展的水平。就机械设备而论，要求建材工业企业的生产水平，在研究新工艺的同时，要对建材生产机械从设计、制造、安装、操作和维修等方面都进行不断地完善和提高。

建材工业产品中，需求量最大的水泥、玻璃等，其生产过程都是连续性的。这就要求水泥、玻璃生产机械在很长的生产周期中，始终保持良好的运转状态。为了使建材生产企业达到“全效率、安全运转”的目的，生产机械必须正确地安装、合理地操作、精心地维护、高质量地修理。也就是说，保证生产机械安装和修理的高质量，是实现企业生产现代化的重要一环，必须予以充分的重视。

搞好生产设备的安装与修理工作，必须注意下述两个方面：

其一，掌握生产设备零件的磨损规律，提高零件的使用寿命和生产设备的运转率。

生产设备在运转中会受到不同程度的磨损或损坏。在设备运转中，磨损是机械零件失效的主要形式。由于磨损使机械零件的强度和精度下降，甚至失去工作能力。机械零件的磨损在一定的条件下，都具有各自的规律。掌握这些规律，再配以现代先进的设备管理的方法和手段，就能更好地使用生产设备，并可对它进行及时的修理，以防设备事故的发生，使机械设备经常处于正常运转状态，提高生产设备的运转率，赢得生产上的主动权。

其二，注意培养从事安装与修理工作的技术人材。

设计合理、制造精良的机械设备，若能正确地安装、使用和修理，可以充分发挥机械效能，延长使用寿命。因此，作为建材机械安装和修理人员，应懂得安装与修理工作的重要性，并应掌握必要的专业技术。培养既懂技术，又热爱本职工作的建材机械安装和修理的技术人材，是搞好建筑材料生产所必需的。

建材机械安装与修理课，是建材类中等专业学校建材机械专业的重要专业课之一。它是研究和介绍建材机械安装与修理的基础理论及方法的技术课。

通过建材机械安装与修理课的学习，使学生懂得机械设备维护的基础理论知识；掌握建材机械安装、修理及试运转的方法，并了解一些实际操作知识；明确建材机械安装与修理工作中的安全技术；为从事建材机械的安装与修理工作，奠定理论与实践的基础。

建材机械安装与修理课，是理论与实践相结合的专业技术课。在学习过程中，要注意应用学习过的理论知识解决实际问题；要把讲授、自学、讨论、实习等学习环节结合起来；在实习时，要注意了解工厂企业机械设备安装和修理的实例，以获得感性认识，并收集必要的实践资料，供学习和今后工作参考。

第一章 摩擦和磨损

第一节 摩擦的概念和摩擦的分类

一、摩擦的概念

在一切运动中总是一个物体与其他物体或介质相接触，这种接触会阻碍相对运动的进行，这种现象叫摩擦。由于摩擦而阻碍相对运动的力称为摩擦力，以 F 表示。一种物体具有在克服摩擦力的外力作用下，才能与之接触的其他物体或介质发生相对运动或具有相对运动的趋势。摩擦力的方向与引起相对运动的切向力的方向相反。在固体之间，摩擦力与施加在摩擦面上的垂直负荷 N 之比称为摩擦系数，以 μ 表示，即 $\mu = F/N$ （此式不适合固体与介质之间的摩擦）。

在一般情况下，具有纯净表面的相同金属材质的摩擦副在相对滑动时，摩擦力很大，并将出现严重的破坏和擦伤；当软金属在硬金属表面上滑动时，摩擦阻力大致与前种相同，但摩擦将呈现出具有“粘着一滑动”特性的间歇运动，软金属将间歇地涂抹在硬金属表面的摩擦轨迹上；反之，当硬金属在软金属表面上滑动时，运动比较平稳，在软金属表面上可以看到磨损的沟痕。

用来克服摩擦力所作的功，一般都是无用功，在机械运动中常以热的形式散发出来，使机械效率降低。在机械设备的运转中，由于摩擦造成的功率损失是相当可观的。因此，机械设备在运转中，应控制摩擦副的工作温度不要过高，使之正常运转。减小摩擦系数，可以减小摩擦力，即可以保证机械效率，又可以减少机械磨损，同时还可以降低能耗。这方面的实例很多，例如使用润滑材料、选择适当的摩擦偶件材料及表面处理等。

当然，事情也是一分为二的，在某些情况下，却要求尽可能增大摩擦系数，如制动器，摩擦离合器的摩擦材料及轮胎等。

二、摩擦的分类

摩擦有多种分类方法。摩擦按摩擦副的运动形式分有滑动摩擦和滚动摩擦。当物体接触表面相对滑动或具有相对滑动趋势时的摩擦，叫做滑动摩擦；当一物体在力矩的作用下，其接触表面沿另一物体的接触表面滚动时的摩擦，叫做滚动摩擦。

摩擦按摩擦副的运动状态分有静摩擦和动摩擦。当一物体在外力作用下，对另一物体具有相对运动趋势，并处于静止临界状态时的摩擦，叫做静摩擦；当一物体受力的作用，越过静止临界状态而沿另一物体表面发生相对运动时的摩擦，叫做动摩擦。通过实验得知：相同材质摩擦副的静摩擦系数大于动摩擦系数。一静止物体在无外力作用时，静摩擦系数为零；当受外力作用时，由静止到滑动，静摩擦力由零变化到最大值，当物体一开始滑动，摩擦力就减小，就变成动摩擦力。

摩擦按摩擦副表面的润滑状态分有干摩擦、边界摩擦、流体摩擦和混合摩擦。摩擦副的接触表面之间无任何润滑剂存在时的摩擦，叫做干摩擦；当两表面被一种具有分层结构

和润滑性能的边界膜分开时的摩擦，叫做边界摩擦（即边界润滑）；当两表面被润滑油膜完全隔开时的摩擦，叫做流体摩擦（即流体润滑）。流体摩擦发生在两表面间的润滑油膜内；半干摩擦和半流体摩擦都叫做混合摩擦。半干摩擦是指在摩擦表面上同时存在着干摩擦和边界摩擦的情况；半流体摩擦是指在摩擦表面上同时存在着流体摩擦和边界摩擦的情况。

三、干摩擦

严格讲，干摩擦是指纯净表面直接接触时的摩擦。所谓纯净表面，是指不存在其他物质（包括自然污染膜）的表面。但是，通常所讲的干摩擦是指在无润滑的条件下，两物体接触表面之间可能存在着自然污染膜时的摩擦。所谓自然污染膜是指物体表面不是由于人为的原因而自然形成的表面覆盖膜（包括水蒸汽吸附膜、氧化膜或其他异物）。在这种情况下，金属对金属的干摩擦系数，一般在0.5~1.5之间，它比纯净金属表面的干摩擦系数小得多。

最早的干摩擦理论叫做机械理论。该理论认为：两个粗糙表面接触时，接触表面的微凸体相互啮合，摩擦力就是所有这些啮合点的切向阻力的总和。这种理论适用于粗糙表面，在这种情况下，提高接触表面的表面光洁度，可以降低摩擦系数。但当金属材料在超精加工的条件下，摩擦系数反而加大，这个理论就不适用。以后又提出过分子吸引理论、静电力理论、分子—机械理论等，都不能满意地解释金属对金属的干摩擦现象。而1950年提出的焊合、剪切及犁削理论，被普遍承认适用于金属的干摩擦。焊合、剪切及犁削理论包括两个方面：即焊合、剪切理论（即我国常说的粘着理论）及犁削理论。下面我们分别介绍一下：

粘着理论又分：简单的粘着理论、修正的粘着理论和有自然污染膜的粘着理论。

简单的粘着理论认为：两物体的接触面，在载荷的作用下，真实接触点上的接触应力很大，以致产生塑性变形，形成小平面接触，直到接触面积增大至能够承受全部载荷为止（图1-1中A、C点）。在这种情况下，金属接触表面将出现牢固地粘着结点。在切向力的作用下粘结点被剪断，表面随即发生滑动。摩擦的过程，就是粘着与滑动交替进行的过程（图1-2）。当硬金属接触面的凸峰嵌入软金属接触面内，在摩擦时也会增加滑动阻力。但粘着理论认为在一般情况下，这个阻力只占全部摩擦力的百分之几，可以略去不计。因此，摩擦力可以近似地等于剪断金属粘结点时所需的剪切力。

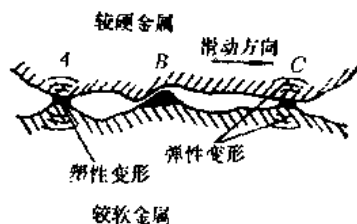


图 1-1 表面接触情况示意图

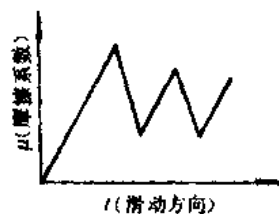


图 1-2 摩擦过程图解

根据这一理论，对于大多数金属来说，摩擦系数 $\mu \approx 0.2$ 。但这个结果与实验得出的数值并不相符。实验表明：很多金属材料在空气中测得的摩擦系数高于0.5，在真空中测得的摩擦系数就更高。因此，简单的粘着理论必须进行修正。

简单的粘着理论说明, 真实接触面积与载荷成正比。所谓真实接触面积是指在接触面积内各真实接触部分微小面积的总和。真实接触面积与载荷成正比的关系, 在静摩擦的情况下是成立的, 而在动摩擦的情况下就是另外一种情况了。

修正的粘着理论认为: 当摩擦副滑动时, 由于切向力的存在, 这时的真实接触面积除简单粘着理论中的法向载荷形成的真实接触面积外, 还有切向载荷形成的真实接触面积。因此, 纯净表面摩擦时, 真实接触面积可能增加很多, 所以出现很大的摩擦系数。

当摩擦副在空气中摩擦时, 其接触表面并不是纯净表面, 由于接触表面存在着自然污染膜, 其摩擦现象就需用有自然污染膜的粘着理论来解释。

有自然污染膜的粘着理论认为: 有自然污染膜的金属表面, 膜的剪切强度极限低于金属材料的剪切强度极限。在切向载荷的作用下, 真实接触面积增大, 当切向载荷所造成的切应力等于自然污染膜的剪切强度极限时, 真实接触面积停止增大, 自然污染膜被切断, 摩擦副开始滑动。这个情况和结论与简单的粘着理论是一致的。

这个理论适用于金属对金属的摩擦。由于它是建立在下列假定的基础上的: 1) 接触表面的真实接触面积, 是由载荷和金属材料的塑性变形所决定的; 2) 两个接触表面是被一个剪切强度较低的膜隔开; 3) 膜的强度较高时, 摩擦力决定于底材金属的剪切强度。因此, 在应用这个理论时, 必须注意这些假定。

粘着现象(即焊合、剪切)是相对滑动中产生摩擦的一个较重要的因素。其剪切力是滑动摩擦力的一个主要分量, 称做粘附项。

犁削理论认为: 当硬度不同的两金属接触表面滑动时, 较硬表面的凸峰将在较软表面上犁削出细沟槽, 如图1-1中B点处表示增大滑动阻力, 增加滑动摩擦力的一个分量, 称做犁削项。

因此, 两金属表面相对滑动时, 总摩擦力是粘附项和犁削项两项阻力的总和。

四、边界摩擦(边界润滑)

在边界摩擦的情况下, 摩擦界面上存在着一层与介质的性质不同的薄膜, 这层薄膜的厚度通常是 $0.1\mu\text{m}$, 并具有良好的润滑性能, 称为边界膜。同时, 在边界摩擦情况下, 界面的润滑性能是决定于这层薄膜的性质, 所以边界摩擦又叫做边界润滑。

边界摩擦是一种极为普遍的润滑状态。例如普通滑动轴承、气缸与活塞环、凸轮与顶杆等处都可能是边界摩擦。

边界摩擦的特点是: 相对于摩擦来说, 边界摩擦具有较低的摩擦系数, 能有效地减少机器零件的磨损, 延长使用寿命, 大幅度地提高承载能力。边界摩擦情况下的摩擦系数的大小, 只取决于摩擦表面的性质和边界膜的结构形式, 而与润滑剂的粘度无关。

边界膜按膜的结构形式不同, 可以分为吸附膜和反应膜两类。由于润滑剂的极性分子, 吸附在摩擦表面上所形成的边界膜, 叫做吸附膜; 由于含有硫、磷、氯等元素的润滑剂的添加剂, 能与摩擦表面起化学反应, 而生成一层边界膜, 叫做化学反应膜。

吸附膜和反应膜的性质及适应范围等见表1-1

边界摩擦的机理是: 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1-3为单分子吸附膜的定向结构。也可以形成多分子层吸附膜。当单分子层吸附膜达到了饱和, 极性分子紧密排列, 分子间的内聚力使吸附膜具有一定的承载能力, 有效地防止两摩擦表面直接接触。摩擦副滑动时, 表面的吸附膜如两个毛刷子相互滑动一



图 1-3 分子单层吸附膜的定向结构

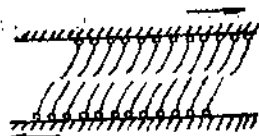


图 1-4 分子单层吸附膜的润滑作用模型

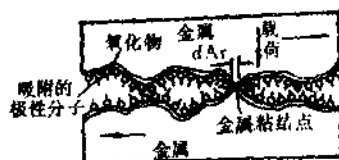


图 1-5 边界润滑机理模型

样(图1-4),降低了摩擦系数;起到了润滑作用。

当边界膜是反应膜时,由于摩擦主要发生在熔点高、剪切强度低的反应膜内,有效地防止金属表面直接接触,使摩擦系数降低。

由于表面凹凸不平,在载荷作用下,接触凸峰的压力很大。当两表面相互滑动时,接触点上的温度很高,导致这部分的边界膜破裂,产生金属表面的直接接触(图1-5)。这时,摩擦力为剪断表面粘着部分的剪切阻力与边界膜分子间的剪切阻力之和。

边界膜的分类及适用范围

表 1-1

分 类	特 点	形 成 条 件	适 应 范 围	举 例	
吸 附	物理吸附膜	由分子吸引力使极性分子定向排列, 吸附在金属表面。吸附与脱吸完全可逆	在 $2 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3$ cal/mol 的吸附热时形成。在高温时脱吸	常温, 低速, 轻载	脂肪酸极性分子吸附在金属表面, 形成脂肪酸膜, 可做为滑动导轨、轻载的蜗杆传动的润滑
	化学吸附膜	由极性分子的有价电子与基体表面的电子发生交换而产生化学结合力, 使金属基的极性分子定向排列, 吸附在金属表面上, 吸附与脱吸不完全可逆	在 $10 \times 10^3 \sim 10 \times 10^4$ cal/mol 的吸附热时形成。在高温下脱吸, 随之发生化学变化	中等温度, 中等速度, 中等载荷	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
反 应	化学反应膜	硫、磷、铝等元素与金属表面进行化学反应, 生成金属膜。这种膜的熔点高, 剪切强度高, 这种反应是不可逆的	在高温条件下反应生成	重载、高温、高速	十二烷基硫醇中的硫原子与铁反应, 生成硫化铁, 只做重载齿轮、蜗杆传动的润滑及金属切削冷却液用
	氧化膜	金属表面由于结晶点阵原子状态处于不平衡, 化学活性比较大, 极易与氧反应, 形成氧化膜	在室温下, 无油纯净金属表面氧化生成	只能起瞬时润滑作用	室温下切削钢、铁等表面, 形成氧化铁膜(Fe_2O_3)

注: 1 cal = 4.1868 J

当边界膜能起很好的润滑作用时,摩擦系数决定于边界膜内部的剪切强度。由于膜内部的剪切强度比干摩擦时金属的剪切强度低得多,所以在这种情况下的摩擦系数比干摩擦时的摩擦系数低得多。当边界膜的润滑效果比较差时,即摩擦面上金属的粘结点较多,因而使摩擦系数增大。通常,在上述两种情况下的摩擦系数可差3~4倍左右,从而使后一种情况下的磨损增大很多。

第二节 磨损的概念和磨损的分类

一、磨损的概念

物体工作表面的物质，由于摩擦的结果，引起工作表面的微小颗粒分离出来，使工作表面发生尺寸变化、重量损失的现象称为磨损。

物体工作表面摩擦时，磨损量与摩擦时间（或摩擦行程）的关系可用图线表示。这种图线称做磨损曲线。

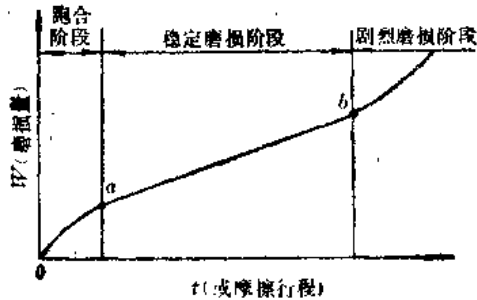


图 1-6 典型磨损曲线

机械零件正常工作时的磨损过程一般分为三个阶段，可用典型磨损曲线（图1-6）来说明。

第一阶段——跑合阶段（磨合阶段）。新的摩擦副表面有一定的粗糙度，真实接触面积较小。跑合阶段表面逐渐磨平，真实接触面积逐渐加大，磨损速度减缓，如图中 $O-a$ 线段。人们有意利用跑合阶段轻微快速地磨损，为正常工作稳定磨损创造条件。

采用适当的摩擦副材料及加工工艺，选择合理的跑合规程，使用含油性添加剂的润滑剂润滑等方法，都能缩短跑合期。跑合结束应重新更换润滑剂。

第二阶段——稳定磨损阶段。这一阶段磨损缓慢稳定，如图中 $a-b$ 线段。这一线段的斜率就是磨损速度，横坐标的时间就是零件的使用寿命。

应尽量采取有利措施，延长稳定磨损阶段的时间，这是设备管理工作的主要任务。

第三阶段——剧烈磨损阶段。图中 b 点以后，磨损速度急剧增大，机械效率下降，精度丧失，产生异常噪音及振动，摩擦副温度迅速升高，最终导致零件失效。

机械零件在实际工作中，要避免磨损发展到剧烈磨损阶段，要在零件失效前进行修理或更换。

上面所说，是机械零件正常磨损的典型规律，也是一般的情况。有时也会发生下述情况：

- 1) 转入稳定磨损阶段后，长时间内磨损量甚微，并无明显的剧烈磨损阶段，零件寿命较长；
- 2) 跑合阶段和稳定磨损阶段无明显磨损，当表层达到疲劳极限后，产生剧烈磨损；
- 3) 由于摩擦条件恶劣或其他原因，跑合阶段后，立即转入剧烈磨损阶段，机器无法正常工作。

根据磨损量与不同影响因素的关系，还可以作出各种形状的磨损曲线。例如：磨损量与载荷关系的磨损曲线、磨损量与滑动速度关系的磨损曲线及磨损量与温度关系的磨损曲线等等。

二、磨损的分类

磨损分类的方法很多，由于磨损现象的复杂性以及对其机理研究的不够，目前还没有统一的看法。这里根据摩擦表面破坏的原因，将磨损分为：磨料磨损、腐蚀磨损、粘着磨损和疲劳磨损四种。

第三节 各种磨损的规律及提高零件耐磨性的途径

一、磨料磨损

硬的颗粒或硬的突起物，在摩擦过程中，引起材料脱落的现象叫做磨料磨损（研磨磨损）。

在建材机械中，许多机械零件与泥沙、矿石或灰渣直接摩擦；有的是对矿石作用，使之破碎或粉磨；有的是硬的颗粒或砂尘进入相对运动摩擦面，有的是借助液流或气流输送物料颗粒与壳体相摩擦。这些都会发生不同形式的磨料磨损。

磨料磨损可分为凿削式磨料磨损、高应力碾碎式磨料磨损及低应力擦伤式磨料磨损三种形式，见表1-2。



图 1-7 凿削式磨料磨损

(a) 磨料与表面碰撞；(b) 细小切削；(c) 卷曲状切削；
(d) 突出部分的变形与脱落

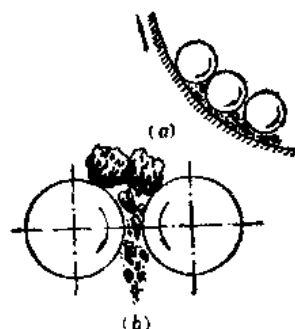


图 1-8 高应力碾碎式磨料磨损

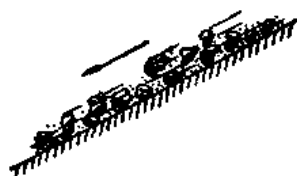


图 1-9 低应力擦伤式磨料磨损

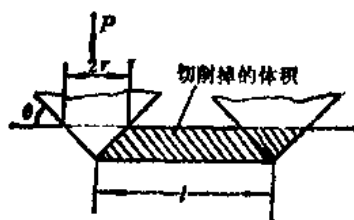


图 1-10 磨料磨损模型示意图

图1-10是磨料磨损模型示意图。按着这一模型，在接触压力 P 作用下，硬材料的凸出部分（假定为圆锥体）压入软材料中，若 Q 为凸出部分的圆锥面与软材料平面间夹角，在摩擦偶件相对滑动 l 长的距离时，就会使软材料中画影线部分呈粉末状被切削下来，故磨损体积即磨损量 W 可用下式计算：

$$W = \frac{1}{2} \cdot 2r \cdot r \tan \theta \cdot l = r^2 l \tan \theta$$

软材料的压痕面积 πr^2 与接触压力 P 和软材料的硬度 H 有如下关系：

$$\pi r^2 \propto P/H$$

由上面二式得出：

$$W \propto \frac{Pltg\theta}{H}$$

从上面关系式可以看出：磨损量与接触压力、摩擦距离成正比；与软材料硬度成反比；同时，与硬材料凸出部分尖端形状有关。

磨料磨损的分类

表 1-2

分 类	产 生 条 件	破 坏 形 式	实 例
磨削式磨料磨损	磨料对金属材料表面产生高应力碰撞，见图1-7	从金属材料表面上磨削下大颗粒的金属，被磨损表面有较深的沟槽	挖掘机斗齿，破碎机锤头等零件的表面破坏
高应力碾碎式磨料磨损	磨料与金属表面接触处的最大压应力大于磨料的压溃强度，见图1-8	一般金属材料被拉伤、韧性材料产生塑性变形或疲劳、脆性材料则发生破裂或剥落	球磨机衬板、钢球(图1-8a)、辊式破碎机辊筒的辊套(图1-8b)及颚式破碎机颚板的表面磨损
低应力擦伤式磨料磨损	磨料作用于金属表面的应力不超过磨料的压溃强度，见图1-9	金属表面产生擦伤(或微小切削痕)，累计磨损	螺旋输送机的铰刀、气力输送管道及机械零件被砂尘污染的摩擦表面

磨料磨损是一种显微切削过程，其特征是接触面上呈明显的切削痕迹。

因各种形式磨料磨损产生的条件不同，各种因素对它们的影响也不同，可用试验方法找到它们的规律。

对低应力擦伤式磨料磨损进行试验的结果表明：

- 1) 在相同的条件下，材料的耐磨性随材料硬度的提高而提高；
- 2) 钢的耐磨性随热处理回火温度升高而下降；
- 3) 在相同硬度下，材料中的碳化物相愈多，耐磨性愈好；
- 4) 加工硬化现象不能提高表面的耐磨性，甚至反而有下降的趋势。

对于高应力碾碎式磨料磨损曾用球磨机钢球进行了试验。试验表明，材料在高应力冲击负荷下，表面会受到加工硬化，加工硬化后的硬度愈高，其耐磨性也愈高。

高锰钢的耐磨性就可以说明上面的问题。高锰钢淬火后为软而韧的奥氏体组织，当受低应力磨损时，它的耐磨性不好，而在受高应力磨损时，它具有特别高的耐磨性。这是由于奥氏体在塑性变形时其加工硬化率很高，同时还因转变为很硬的马氏体的缘故。生产实践证明，高锰钢用做球磨机的衬板和钢球可呈现很好的耐磨性，而用做螺旋输送机的铰刀时其耐磨性却不大好，这就是因为两种情况下工作应力不同。

综上所述，机械零件在受低应力擦伤式磨料磨损时，应设法提高硬度，钢铁材料的硬度主要取决于钢中碳和合金元素的含量及所采用的热处理规范，作为组织状态则应有碳化物、氮化物等硬化相存在。而在受高应力碾碎式磨料磨损时，尤其在较大的冲击负荷下，则不但要求材料具有高的硬度，而且要求较好的韧性。

机械零件的防尘和经常清洗，能大大减轻磨料磨损。

二、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，由于外界环境引起金属表层的腐蚀产物（主要是氧化物）剥落，与金属摩擦面间的磨损（包括磨料磨损和粘着磨

损)相结合的现象称为腐蚀磨损。

腐蚀磨损包括: 各类机械中普遍存在的氧化磨损、在机械零件嵌合部位出现的微动磨损、在水利机械中出现的浸蚀磨损(又称气蚀)以及在化工机械中因特殊腐蚀气氛而产生的特殊介质腐蚀磨损。表1-3介绍了前两种腐蚀磨损, 而后两种腐蚀磨损因在一般机械中少见, 我们不做介绍。

两种腐蚀磨损介绍

表 1-3

分 类	产 生 的 基 本 条 件	损 坏 特 征	举 例
氧化磨损	金属表面与氧化性介质的反应速度很快, 形成的氧化膜从表面磨掉后, 又很快形成新的氧化膜。一般在空气中, 其磨损速度较小	金属的摩擦表面沿滑动方向呈均匀细磨痕, 钢铁的磨损产物为红褐色片状 Fe_2O_3 , 或为灰黑色丝状 Fe_3O_4	曲轴轴颈, 铝合金零件等摩擦副表面
微动磨损	机械零件配合较紧的部位, 在载荷和一定频率振动条件下, 使零件表面产生微小滑动, 其磨损产物为氧化物	摩擦表面有较集中的小凹坑, 使紧配合部位松动, 钢铁的磨损产物为红褐色氧化铁细颗粒	紧配合轴颈, 螺母、螺栓及键槽处等配合表面

氧化磨损是最广泛的一种磨损形式, 它不管在何种摩擦过程及何种摩擦速度下, 也不管压力大小和是否存在润滑条件下, 都会发生。但氧化磨损是各类磨损中磨损率最小的一种, 也是生产中允许存在的一种磨损形式, 所以在与磨损作斗争中, 总是首先创造条件使出现的磨损形式转化为氧化磨损, 然后再设法减少氧化磨损量, 从而延长零件的寿命。

氧化磨损的过程是金属表面与空气中的氧起反应, 生成单分子氧化膜, 膜的厚度逐渐加大。若氧化膜是脆性的, 它与底材金属结合的性能差, 或是氧化速度小于磨损速度, 则氧化膜极易被磨损; 反之, 若氧化膜韧性好, 它与底材金属结合性能好, 或是氧化速度大于磨损速度, 则氧化膜起着保护摩擦表面的作用, 因此磨损率相当小。

氧化磨损量与摩擦副的滑动速度、接触载荷、介质中含氧量、润滑条件及材料性能等因素有关。通过试验得出以下规律:

1) 在载荷不变的条件下, 磨损类型和磨损量都随滑动速度而变化, 如图1-11所示。当滑动速度很小时, 摩擦表面被红色 Fe_2O_3 所覆盖, 磨损量较小, 属于氧化磨损; 当滑动速度增高时, 产生的磨屑较大, 并呈金属色泽, 摩擦表面粗糙, 属粘着磨损; 若滑动速度再增高, 表面被灰黑色 Fe_3O_4 粉末所覆盖, 属于氧化磨损, 此时磨损量也较小; 当滑动速度再增大时, 又出现粘着磨损, 磨损量又增大。

2) 当载荷超过临界压力时, 磨损量随着载荷的增大而急剧增加, 磨损类型由氧化磨损转化为粘着磨损, 如图1-12所示(P_c 是氧化磨损区中磨损量最大时的载荷)。

3) 氧化膜硬度与基体金属硬度之间有密切的关系。当氧化膜硬度高于基体金属硬度时, 在小载荷作用下, 氧化膜极易破碎而产生氧化磨损; 在氧化膜的硬度与基体金属硬度比较接近的条件下, 当载荷引起小变形时, 两者可以同时变形, 若变形量大, 则氧化膜极易破碎而产生氧化磨损; 若氧化膜与基体金属的硬度均高, 当载荷引起小变形时, 氧化膜不易破碎, 因此耐磨性好。

4) 金属在还原性气氛、惰性气体及纯氧介质中, 其磨损量都比在空气中大, 这是因为空气中形成的氧化膜强度高, 与基体金属结合牢固的缘故。在氮气等不活泼气体和真空

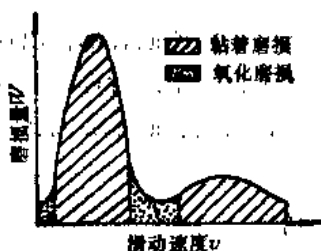


图 1-11 磨损量与滑动速度的关系

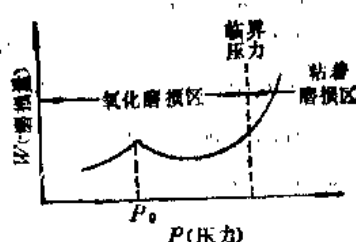


图 1-12 磨损量与载荷的关系

中则可减少磨损。

5) 干摩擦时, 仅在较小的速度和载荷下出现磨损, 并极易转化为粘着磨损。在生产中为了减小摩擦表面的磨损, 利用润滑油、脂润滑, 此时, 润滑油除了起减磨作用外, 同时又隔绝了摩擦表面与空气中氧的直接接触, 氧化膜的生成速度减缓, 但是润滑油、脂能与氧反应, 生成酸性氧化物, 腐蚀摩擦面。使用润滑油、脂润滑摩擦表面, 虽然产生氧化磨损, 但可避免粘着磨损。又如双曲线齿轮副接触应力大, 极易产生早期粘着磨损, 为防止粘着磨损, 在润滑油中有意加入中腐蚀性极压添加剂, 使油膜强度提高。上述二例, 都是利用产生较小的腐蚀磨损, 以避免发生破坏严重的粘着磨损。

因此, 致密而非脆性的氧化膜能显著提高耐磨性。如生产中广泛采用的发兰、磷化、蒸汽处理、渗硫及有色金属的氧化处理等, 对提高耐磨性都有良好的效果。氧化膜与基体金属的结合能力主要取决于它们之间的硬度差, 硬度差愈小, 结合力愈强。提高基体表层硬度, 可以增加表层塑性变形抗力, 从而减轻氧化磨损。

微动腐蚀磨损的过程是摩擦副表面之间的压力, 使表面凸起部分粘着; 它们之间虽然没有宏观的相对位移, 但在外部变负荷和振动的影响下, 却产生微小的滑动, 此时粘着处由于振动被剪切, 剪切处表面被氧化; 同时在继续微小滑动过程中, 氧化物在摩擦面间又起着磨料的作用。因此, 微动腐蚀磨损是粘着磨损、氧化磨损和磨料磨损的复合磨损形式。

由于微动腐蚀磨损, 不仅使机械零件精度、性能下降, 而更严重的是当振动应力足够大时, 微动腐蚀磨损处引起应力集中, 产生疲劳裂纹并发展导致零件疲劳损坏。

对微动腐蚀磨损的研究指出, 影响微动腐蚀磨损的因素如下:

1) 除极短时间的初期磨损外, 磨损量与零件振动的的时间或总次数成正比例增大。
2) 磨损量随零件振幅增大而增大, 在总振动次数相同时, 磨损量随振动频率的增加而减小。

3) 磨损量随负荷的增大而增大, 但增大的速率则不断减小。

4) 在氮气等不活泼气体及真空中磨损量减小, 而空气中湿度增大时则磨损量增大。

综上所述, 微动腐蚀磨损受外界条件影响很大, 所以目前为了提高微动腐蚀磨损条件下零件的寿命, 主要是从设计和工艺上采取措施。如紧配合两零件的配合部位, 采用互溶性小的材料及在紧配合部位的表面进行表面处理, 以避免粘着; 或涂复固体润滑膜, 以避免磨损等。

三、粘着磨损

摩擦副相对运动时, 由于固相粘着, 使接触表面的材料从一个表面转移到另一个表面

的现象,叫做粘着磨损(又称咬合磨损)。

对于机械性能相差不大的两种金属之间发生的磨损,最常见的就是粘着磨损,它是破坏比较严重的一种磨损形式,严重时摩擦副咬死,影响因素比较复杂。

粘着磨损按摩擦表面破坏程度可分为五类,见表1-4。

粘 着 磨 损 的 分 类

表 1-4

分 类	破 坏 现 象	损 坏 原 因	举 例
轻微磨损	剪切破坏发生在粘着结合面上,表面转移的材料极轻微	粘着结合强度比摩擦副的两基体金属的剪切强度都弱	缸套与活塞环的正常磨损
涂 抹	剪切破坏发生在离粘着结合面不远的较软金属浅层内,软金属涂抹在硬金属表面	粘着结合强度大于较软金属的剪切强度	重载蜗轮副的蜗杆上常见
擦 伤	剪切破坏主要发生在软金属的表面内,有时硬金属表面也有刮痕	粘着结合强度比两基体金属剪切强度都高,软移到硬金属面上的粘着物质又刮削软金属	内燃机的铝活塞与缸体摩擦常见此现象
撕 脱	剪切破坏发生在摩擦副一方或两方金属较深处	粘着结合强度大于任一基体金属的剪切强度,剪切应力高于基体金属的剪切强度	主轴—轴瓦摩擦副的轴承表面经常可见
咬 死	摩擦副之间咬死,不能相对运动	粘着结合强度大于任一基体金属的剪切强度,粘着区域大,剪切应力低于基体金属的剪切强度	主轴与轴瓦可见,不锈钢螺栓与不锈钢螺母在拧紧过程中常发生

粘着磨损的过程是当摩擦表面接触时,接触点产生塑性变形,如果没有表面膜存在,接触点的两侧会发生局部再结晶、扩散或熔化等变化,表面之间极易粘着。若单纯受法向载荷时,如有表面膜,不易粘着;若同时有切向运动,表面膜就会被压碎破裂,造成新生面直接接触,就可能产生冷焊粘着。若法向载荷和滑动速度都很大,摩擦表面温度升高,油膜破裂,严重时表层金属软化或熔化,接触点产生粘着。“粘着——撕脱——再粘着”的循环过程,构成粘着磨损。

粘着磨损与摩擦副的材料特性、接触载荷、滑动速度、表面光洁度、温度和润滑等因素有关,并具有以下规律:

1) 互溶性大的材料所组成的摩擦副(相同金属或晶格类型、晶格间距、电子密度、电化学性能相近的金属)粘着倾向大;多相金属比单相金属组成的摩擦副、金属中有化合物相比单相固溶体组成的摩擦副、金属与非金属组成的摩擦副比金属组成的摩擦副粘着倾向小。因此,采用表面处理工艺,可使摩擦副表面生成互溶性小、带有多相化合物组织的表面或采用非金属涂层,均能避免同种金属相互摩擦而发生粘着磨损。如电镀、表面化学处理、表面合金化沉积、表面热处理、喷镀或堆焊等工艺。

2) 粘着磨损量,一般随压力增大到某一临界值后而急骤增大。不同金属组成的摩擦副产生粘着磨损的临界载荷不同。如A₃钢对铸铁比A₃钢对青铜摩擦副的临界载荷大将近三倍。材料硬度与许用应力有以下关系:当载荷(平均接触压力 kgf/mm^2)超过材料硬