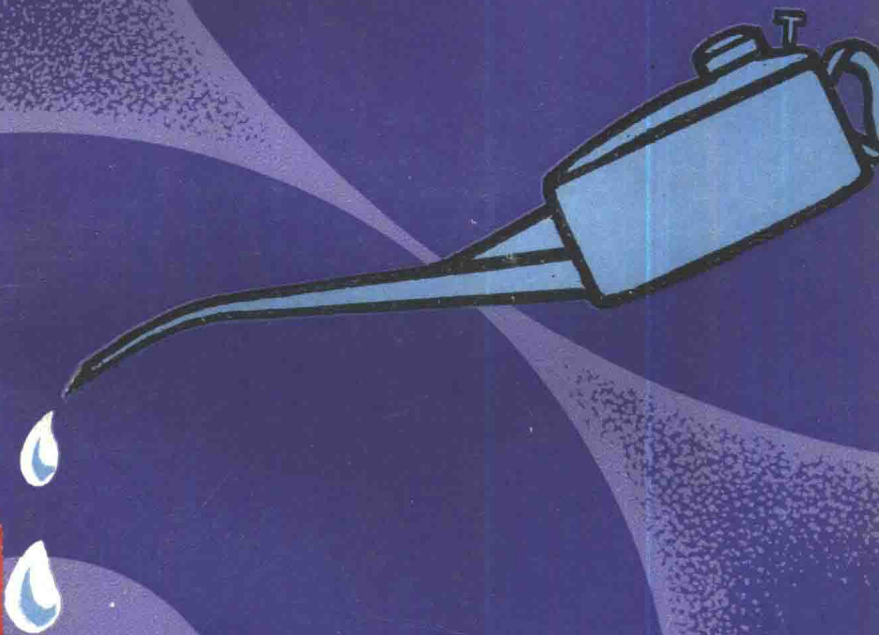


〔英〕A·D沙卡尔 著

金属的磨损

董阳照 王振基 译



河北人民出版社

金属的磨损

[英]A. D. 沙卡尔 著

董阳照 王振基 译

本书是作者多年从事金属磨损研究的经验总结，
可作为机械、冶金、材料等专业的参考书。

河北人民出版社

一九八二年·石家庄

金属的磨损

[英] A.D. 沙卡尔 著

董阳照 王振基 译

河北人民出版社出版 (石家庄市北马路19号)

河北新华印刷一厂印刷 河北省新华书店发行

787×1092毫米 1/32 7印张 137,000字 印数: 1—2,540 1982年12月第1版
1982年12月第1次印刷 统一书号: 15086·162 定价: 0.60元

内 容 提 要

本书专门讨论了金属和一些重要的非金属材料的摩擦、磨损和润滑问题。作者尤其对金属的磨损问题，从基础理论、试验研究方法、近代重要研究成果，一直到某些计算方法，都作了较为系统和详尽的叙述。是目前在摩擦学领域中，内容比较丰富的一本较新著作。

本书可作为高等工科院校有关专业的教学参考书，也可供研究人员和工程技术人员参考。

译 者 序

本书系根据英国 A.D.沙卡尔 博士所著《Wear of Metals》一书译出的。它是目前国外介绍金属材料的摩擦和磨损机理方面的一本较新著作。

摩擦学是一门新兴学科。它的研究及应用,对减少机器零部件的摩擦,降低能源消耗;减少零部件的磨损,提高机器的使用寿命和可靠性;减少维修人员和费用;改进机器的摩擦学设计,提高产品竞争能力等等,都有很大的经济效益。

我国近年来已开始重视摩擦学的研究和应用。中央和许多省市成立了摩擦学学会,举办各类摩擦学培训班;不少高等工科院校开设有关摩擦学课程,招收和培养摩擦学研究生。

在科研、教学、培训和实际应用中,普遍感到缺乏系统介绍这一学科知识的书籍。我们翻译此书,希望对科研工作者、工程技术人员和高等工科院校师生在学习这门科技知识时有所裨益。

本书承蒙杨学涵教授仔细审校,并提出了很多宝贵意见,特在此表示感谢。

译 者

1982年4月

目 录

序.....	(1)
第一章 绪论.....	(3)
§ 1-1 粘着	(3)
1.1.1 接触电阻	(4)
§ 1-2 污染	(4)
§ 1-3 磨损的类型	(5)
1.3.1 粘着磨损	(5)
1.3.2 磨粒磨损	(5)
1.3.3 其它磨损形式	(5)
§ 1-4 摩擦和磨损的试验	(6)
§ 1-5 冶金学的研究	(9)
§ 1-6 磨损研究成果的应用	(10)
第二章 表面形貌.....	(13)
§ 2-1 粗糙微体.....	(13)
§ 2-2 波度的测量	(14)
§ 2-3 峰角	(15)
§ 2-4 粗糙度的测量	(16)
§ 2-5 充实度或空虚度.....	(17)
§ 2-6 阿博特支承面积曲线	(18)
第三章 固体的接触.....	(20)

§ 3-1 单点接触	(20)
3.1.1 一般情况	(21)
§ 3-2 多点接触	(22)
§ 3-3 理想的粗糙表面	(23)
§ 3-4 实际的粗糙表面	(25)
3.4.1 指数分布	(26)
§ 3-5 塑性接触	(27)
§ 3-6 加工硬化的影响	(28)
第四章 摩擦	(33)
§ 4-1 接触面积	(33)
§ 4-2 接合点的粘着	(34)
§ 4-3 摩擦的机理	(38)
§ 4-4 阿蒙顿定律	(41)
第五章 滑动的影响	(42)
§ 5-1 接合点的生长	(42)
5.1.1 接合点生长的方程式	(43)
§ 5-2 吸附功	(44)
§ 5-3 动摩擦	(47)
§ 5-4 粘滞——滑移现象	(48)
§ 5-5 热的影响	(50)
§ 5-6 氧化膜	(51)
§ 5-7 脆性表面间的滑动	(52)
§ 5-8 污染对摩擦的影响	(52)
第六章 摩擦和磨损的分子理论	(55)
§ 6-1 干摩擦	(55)

§ 6-2 磨损	(58)
第七章 跑合磨损	(60)
§ 7-1 磨损曲线	(60)
§ 7-2 机理	(61)
§ 7-3 跑合磨损的定律	(62)
第八章 粘着磨损	(65)
§ 8-1 磨损率	(65)
§ 8-2 接合点的相互作用	(67)
§ 8-3 粘着磨损定律	(68)
§ 8-4 峰角	(70)
8.4.1 半球形粗糙微体	(73)
§ 8-5 疲劳的机理	(74)
8.5.1 滑动表面的接触	(74)
8.5.2 磨损定律	(76)
第九章 磨损的氧化假说	(79)
§ 9-1 氧化假说	(79)
9.1.1 β 项	(80)
§ 9-2 对方程 9.7 的评论	(81)
第十章 表面的污染	(83)
§ 10-1 分隔膜缺陷率	(83)
10.1.1 α 项	(84)
10.1.2 修正的磨损方程	(84)
§ 10-2 吸附热理论	(85)
10.2.1 摩擦	(87)
10.2.2 磨损	(89)

§ 10-3 E 的重要性	(90)
§ 10-4 简化的定律	(91)
10.4.1 举例	(92)
第十一章 磨粒磨损	(93)
§ 11-1 磨粒磨损系数	(93)
§ 11-2 耐磨粒磨损的性质	(95)
§ 11-3 分界面上的磨粒	(96)
§ 11-4 贮藏能	(97)
第十二章 磨损碎屑	(99)
§ 12-1 能量的研究	(99)
§ 12-2 碎屑的大小	(101)
§ 12-3 载荷的影响	(103)
第十三章 金属的迁移	(105)
§ 13-1 钢对黄铜	(105)
§ 13-2 钢对钢	(107)
§ 13-3 迁移量	(109)
第十四章 表面和次表面	(110)
§ 14-1 表面层和次表面层	(110)
§ 14-2 摩擦	(111)
§ 14-3 表面疲劳	(111)
§ 14-4 塑性指数	(112)
第十五章 温度和速度	(114)
§ 15-1 温度	(114)
§ 15-2 速度	(116)
第十六章 兼溶性	(120)

§ 16-1 兼容性	(120)
16.1.1 耐划伤性	(120)
16.1.2 在真空中工作	(122)
16.1.3 正在切削加工的滑动表面	(123)
第十七章 晶体的结构	(125)
§ 17-1 粘着系数	(125)
§ 17-2 钴的试验	(126)
17.2.1 温度的影响	(127)
§ 17-3 稀土金属	(128)
§ 17-4 结构的改变	(128)
第十八章 滚动阻力	(130)
§ 18-1 滚动的原理	(130)
§ 18-2 滑移	(131)
18.2.1 雷诺滑移	(132)
18.2.2 海司科脱滑移	(132)
§ 18-3 在塑性范围内的滚动	(133)
18.3.1 痕迹的宽度	(133)
18.3.2 滚动摩擦	(134)
18.3.3 平衡状态	(135)
§ 18-4 在弹性状态下的滚动	(137)
18.4.1 弹性滞后现象	(138)
§ 18-5 振摆极限	(138)
18.5.1 残余应变	(139)
第十九章 滚动接触下的磨损	(141)
§ 19-1 滑移面积	(141)

§ 19-2 磨损	(142)
§ 19-3 滚动磨损定律	(143)
第二十章 聚合物	(147)
§ 20-1 摩擦和磨损	(147)
§ 20-2 摩擦的一般定律	(149)
§ 20-3 橡胶	(152)
第二十一章 微动磨损	(154)
§ 21-1 微动磨损的四个过程	(154)
21.1.1 蛇形的痕迹	(156)
§ 21-2 点蚀深度的测量	(157)
§ 21-3 载荷和温度	(158)
§ 21-4 湿度	(160)
第二十二章 摩擦学部件的实例	(162)
§ 22-1 齿轮传动	(162)
22.1.1 滑动速度	(163)
22.1.2 滚动速度	(164)
22.1.3 摩擦和磨损	(165)
22.1.4 点蚀	(166)
§ 22-2 轴承	(167)
22.2.1 滑动轴承	(167)
22.2.2 滚动轴承	(169)
§ 22-3 活塞环	(169)
§ 22-4 冲击状态下的磨损	(170)
第二十三章 黄铜的磨损	(172)
§ 23-1 重量损失与滑动距离的关系	(172)

§ 23-2 磨损率	(174)
§ 23-3 跃变载荷	(177)
第二十四章 石墨和碳化物的摩擦和磨损	(180)
§ 24-1 石墨	(180)
§ 24-2 碳化物	(183)
第二十五章 铸铁的磨损	(184)
§ 25-1 石墨的功用	(185)
§ 25-2 硬度	(185)
§ 25-3 有润滑时的滑动磨损	(188)
§ 25-4 无润滑时的滑动磨损	(190)
§ 25-5 结论	(193)
第二十六章 铝-硅合金的磨损	(195)
§ 26-1 硅对磨损的影响	(196)
§ 26-2 轴瓦的变形	(197)
§ 26-3 物理模型	(199)
§ 26-4 磨损率	(201)
第二十七章 耐磨性设计	(203)
§ 27-1 疲劳磨损	(203)
§ 27-2 冲蚀磨损	(204)
§ 27-3 气蚀	(205)
§ 27-4 耐粘着磨损和耐磨粒磨损的设计	(206)
27.4.1 保护层	(207)
27.4.2 换位原理	(208)
27.4.3 转移原理	(208)
§ 27-5 磨损的重要性	(208)

序

目前，全世界对金属和材料的磨损都在进行着大量的研究。虽然，我希望有关特殊材料磨损的一些章节将对研究工作者也有帮助，但我写这本书的主要对象是大学生。一般说来，本书讨论的只是一些原理，特殊情况下的特殊材料，也只是作为叙述原理时才被引用。我还假定读者已具备有冶金学和工程原理方面的基础知识。

磨损的先决条件是表面的相互作用，于是在第二章讨论了表面的形貌。磨损与摩擦是不可分割的，所以在第四章讨论摩擦，而在第三章预先分析了接触力学。第五章着重讨论了摩擦接触的弹、塑性状态，以及由于塑性接触而形成的接合点。第八章介绍粘着磨损的理论，而在第六章和第七章分别介绍了汤姆里孙的研究工作和跑合磨损。第九、十章分别介绍有关氧化和表面污染的磨损理论。第十一章讨论了磨粒磨损。有几章是专门讨论如金属的迁移、晶体结构的功能、滚动阻力和磨损等问题。现有的微动磨损方面的文献与重要的工程材料如铸铁和铝硅合金的摩擦和磨损，已并在一起讨论。为了加强对聚合物的摩擦和磨损的讨论，专门列了一章。最后一章总结了其余几种磨损形式，并指出耐磨损设计时可能的一些研究方向。有些好的教科书，应给出摩擦零件的材料和制造工艺，在本书的第二十二章中，也给出了这方

面的一些例子。

我感谢乔那斯绘制了插图，也感谢霍林教授阅读了底稿，并提出了宝贵的建议。

由于大量引用数学符号，要使它们完全统一是有困难的，因而对书中出现的每一个数学符号的意义，都分别作了说明。

【英】利物浦 A.D. 沙卡尔

第一章 绪 论

人类文明的标志之一是使用了技术，从新石器时代（公元前 3500 年到 1500 年）的野蛮社会，到近代社会的建立，只有 2000 年到 3000 年的历史。当时，技术的发展，制成了一些金属和非金属的零件，如打猎用的长矛和运输车辆等。最普通的摩擦工具是贝壳、石头或骨制的钻头。石头在中世纪（公元 400 年到 1400 年）的欧洲，是应用较多的耐磨材料，常被用在犁铧或车轮的轮缘上。技术人员常常重视磨损问题，并想寻找既可能是为了防止它的发展，也可能是应用它的有利方面为人们服务的知识。因为，磨损的先决条件是相互作用的零件必须紧密接触，所以工程人员常把润滑剂引入接触面，以达到使两表面被分离的目的。

§ 1-1 粘着

工程表面总是粗糙的，并具有波峰和波谷，所以两个物体之间的接触，只能在个别孤立点上出现，因而形成的实际接触面积，只是其名义面积的一部分。接触区内，存在着很高的压应力，它可能超过两个或其中一个物体的屈服极限，接触面将焊在一起而形成接合点。必须撕裂这些接合点，才能开始并维持相对运动，撕裂这些接合点所需的力就是摩擦

力。

1.1.1 接触电阻

当然，可以通过实验来测量接触面的实际接触面积，一种方法就是测量两个正在接触物体之间的电阻。假设两个物体 A 和 B 的电导系数为 λ ，接触面呈圆形，其直径为 $2a$ 。若让物体表面污染上一层均匀的薄膜，它的电阻是 $\sigma 1/\text{cm}^2$ ，则接合点的综合电阻为 R ，其近似计算公式为：

$$R = \frac{1}{2a\lambda} + \frac{2\sigma}{\pi a^2} \quad (1.1)$$

当 R 与导线的电阻相比是很小时，为了测量接触电阻，应采用电势的方法。若周围环境是干净的，则方程 1.1 中的第二项可以忽略， a 值可由方程 1.1 求出。实际接触面积的大小，也能通过显微镜的观察，或从金属的屈服极限 σ_y 间接得到，因为在垂直载荷 W 的作用下 $\pi a^2 = \frac{W}{\sigma_y}$ 。

§ 1-2 污染

当接合点被撕裂，磨损碎屑就会形成。为了防止磨损，首先应了解接合点上金属原子间的相互作用。意外的是，暴露在大气中的金属表面，会很快地被覆盖上一层或几层吸附的气体 and 氧化膜。摩擦热促进了氧化作用，污染减少了许多明显缺乏润滑的磨损。吸附的气体，由于过热可能蒸发，压应力过大，可能破坏氧化膜，随之暴露出新的金属表面，这就加剧了磨损的倾向。

为了了解磨损，必须研究表面的形貌和其物理——化学性质。在摩擦和磨损的机理中，物体表面的光洁度和次表面的变形，具有很重要的作用。所以，分析机器运动链的磨损性质和磨损量时，必须首先研究接触应力的性质和运动的形式。

§ 1-3 磨损的类型

只要两个相互接触的物体，在载荷作用下作相对运动，就必然存在着潜在的磨损状态。一般说来，运动可以是单向或往复、滑动或滚动，也可以是滑动和滚动的联合。磨损也可能是由于很小振幅的振动而引起的，金属会与非金属或润滑油、海水等液体介质发生作用。按照运动的性质或中间介质作用方式的不同，磨损可分成下列几种类型。

1.3.1 粘着磨损

在垂直载荷作用下，作单向或往复滑动的相对运动，或由很小振幅的振动所产生的相互作用，使接触表面的波峰趋于塑性流动状态，形成坚固并被加工硬化的接合点。在强加的切向力作用下，接合点被撕裂，即引起物体上材料的损失，这种现象称为粘着磨损。

1.3.2 磨粒磨损

由磨损碎屑，或由于偶然的原因，从周围环境中落到滑动分界面上的泥砂和灰渣等形成的磨料微粒，通过切削作用，大量地擦伤表面，这种现象称为磨粒磨损。

1.3.3 其它磨损形式