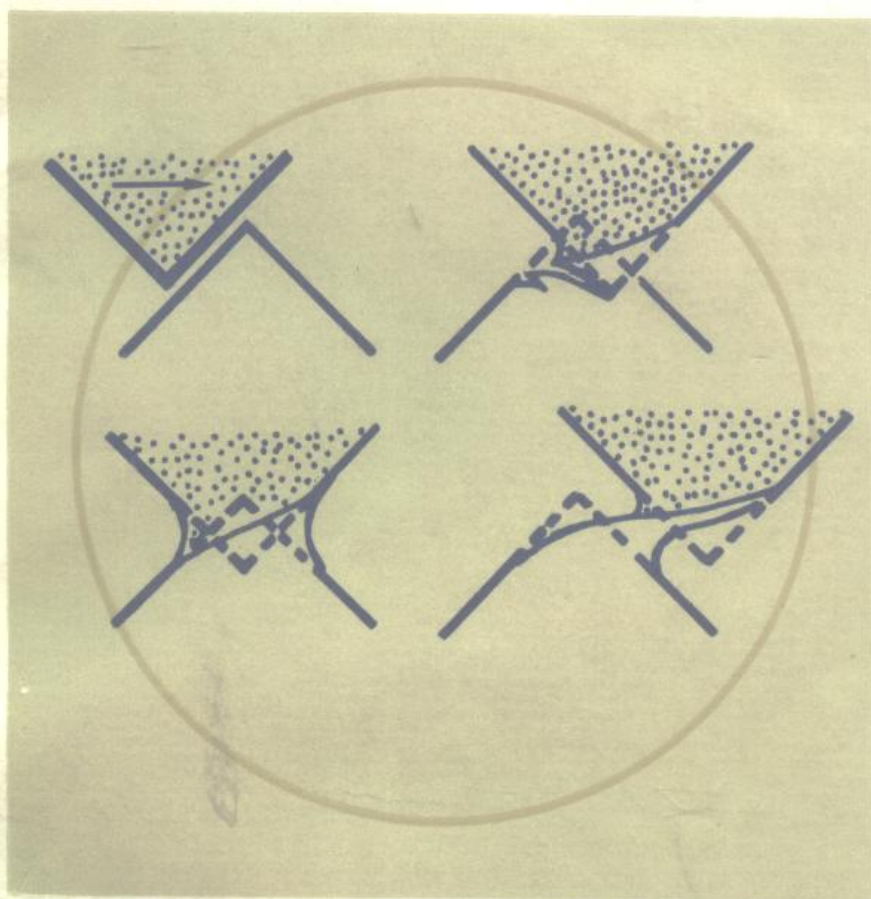


材料耐磨抗蚀及其表面技术丛书



材 料 的 磨 料 磨 损

材料耐磨抗蚀及其表面技术丛书 编委会主编

71.2218
101

材料耐磨抗蚀及其表面技术丛书

材 料 的 磨 料 磨 损

材料耐磨抗蚀及其表面技术丛书 编委会主编

3k566/10



机 械 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书是“材料耐磨抗蚀及其表面技术”丛书的第二分册,它围绕磨料磨损主题叙述了磨料磨损的定义、分类及基本原理,介绍了磨料磨损的试验研究方法,并对耐磨料磨损材料的选择和应用及典型的耐磨材料系列作了详细描述。最后结合矿山、农机和建材等部门的典型易损零部件的实例进行了分析。全书附有插图和表格。

本书可供从事材料及机械产品研究、设计、制造、使用等方面工作的具有中专以上水平的工程技术人员及技术管理人员阅读,也可供其它有关科技人员及大专院校师生参考。

材料的磨料磨损

材料耐磨抗蚀及其表面技术丛书 编委会主编

*

责任编辑: 常燕宾

封面设计: 刘 代

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 11 · 字数 240 千字

1990年8月北京第一版·1990年8月北京第一次印刷

印数 0,001—1,980 · 定价: 9.20 元

*

ISBN 7-111-00391-8 / TB · 20

丛书编委会顾问: 陈南平 邵荷生 王小同

主 编: 刘家濬

副 主 编: 周平安 孙希泰 廖乾初

编委会委员: (按姓氏笔划)

王小同 刘家濬 刘英杰 孙希泰 李诗卓

李志芳 陈玉民 周平安 杨开庭 范玉殿

倪瑞澄 高彩桥 郦振声 常燕宾 廖乾初

41611

前 言

在国民经济和国防建设中,各种机械产品的零件由于磨损与腐蚀引起的早期失效与报废,从而造成能源与材料的消耗是十分惊人的。各主要工业国家都有这方面的调查统计,如美国每年由于摩擦磨损和腐蚀造成的损失各约 1,000 多亿美元,各占国民经济总产值的 4%。我国据有关部门的不完全统计,每年摩擦损失达 400 亿元,腐蚀方面的损失也将近 200 亿元。同时,材料的磨损与腐蚀也是影响近代机械产品的性能质量和寿命,从而影响其竞争能力的重要问题。作为机械产品的设计原则,目前已从单纯的强度设计发展到针对材料强度、磨损与腐蚀三大失效原因的综合设计。因此,解决材料的耐磨与抗蚀问题,已受到国内外机械设计与制造部门、材料研究与生产部门的普遍重视。

材料的磨损与腐蚀是个相当复杂的边缘学科,它受到一系列因素的影响。解决的途径应从分析失效的原因出发,从调整或改变工况条件,改善构件设计,合理选择材料,改进工艺措施和进行表面防护等各个方面,由整个系统角度去确定解决方案。原则是从实际出发且经济有效,为此需要通过近代研究方法,弄清系统中各因素的相关关系,即弄清楚磨损与腐蚀的基本规律和失效机理,以便正确指导这方面的工程实践。因此,中国机械工程学会材料学会于 1982 年决定成立“材料耐磨抗蚀及其表面技术委员会”,其任务就是要推动综合研究解决材料耐磨抗蚀问题的学术交流活动的,为节约能源与材料消耗,提高机械产品质量发挥积极作用。为了尽

快地，广泛地把这方面的基本理论知识和研究成果介绍给广大的有关工程技术人员，使其能在生产及科研实践中应用并收到实效，因此，学会决定编写一套“材料耐磨抗蚀及其表面技术”丛书，由机械工业出版社出版，为此成立了丛书编委会及顾问组。第一批丛书包括丛书概论等十个分册（分册名称附后），每册大约15~25万字左右。本套丛书共分四大部分，第一部分材料的摩擦与磨损；第二部分材料的腐蚀与防护；第三部分材料表面强化；第四部分材料的表面分析。

材料的腐蚀与防护只在第一分册概论中作一般的介绍，详细的论述将待再版时继续补充。

本丛书选材力求先进、全面，尽量作到在内容上具有一定理论深度，概念准确。为避免与其它专业丛书重复，本书力求突出材料的耐磨与抗蚀，重点放在应用上，同时内容通俗易懂，便于自学掌握。

由于作者知识水平有限，经验阅历不多，书中缺点错误在所难免，恳请广大读者和专家提出批评指教。

材料耐磨抗蚀及其表面技术丛书编委会

1984.11

第二分册材料的磨料磨损共分五章，第一、二章由刘英杰同志编写，第三、四章由周平安同志编写，第五章由两同志合编。

目 录

第一章 概述	1
一、磨料磨损定义和分类	1
1. 定义	1
2. 分类	3
二、磨料磨损在工程中的地位和意义	6
三、磨料磨损研究简史、现状和问题	8
(一) 磨料磨损研究简史和现状	8
(二) 磨料磨损研究中的几个问题	11
1. 研制新型耐磨材料和根据工况条件合理选材	11
2. 关于磨料磨损机理研究	12
3. 磨损过程中的热	20
4. 用动态金属学的基本观点分析磨损	26
5. 对机械零件进行失效分析, 研究磨损的 发生发展过程	28
6. 新的研究方法的开发	29
第二章 磨料磨损基本原理	31
一、滑动磨料磨损机理	31
(一) 磨料磨损过程和简单模型	31
1. 磨料磨损过程	31
2. 磨料磨损的简单模型	39
(二) 滑动磨料磨损机理	41
1. 磨损表面形貌特征	42
2. 磨屑分析研究	42
3. 磨损亚表层特征	47
(三) 滑动磨料磨损特性	52
1. 磨料磨损的系统性质	53

2. 磨料磨损的动态性质	53
3. 磨料磨损过程中机理的转化特性	55
二、变形磨料磨损机理	56
(一) 变形磨损过程	57
(二) 变形磨料磨损模型	57
三、影响磨料磨损的基本因素	60
(一) 材料组织的影响	61
1. 珠光体组织的磨损特性	65
2. 马氏体组织的磨损特性	67
3. 贝氏体组织的磨损特性	69
4. 残余奥氏体组织的磨损特性	71
5. 碳化物的磨损特性	73
(二) 材料性能的影响	83
1. 材料硬度对耐磨性的影响	84
2. 材料磨损表面硬度对耐磨性的影响	86
3. 磨料硬度与材料硬度比值对耐磨性的影响	88
4. 材料磨后硬度与磨料硬度比值对耐磨性的影响	90
5. 材料的断裂韧性对耐磨性的影响	92
6. 材料的低周疲劳特性对材料耐磨性的影响	96
(三) 磨料特性的影响	99
1. 磨料颗粒形状的影响	99
2. 磨料硬度的影响	102
3. 磨料粒度的影响	102
(四) 载荷、速度及介质、环境条件的影响	104
1. 载荷的影响	104
2. 滑动速度的影响	105
3. 介质、环境条件的影响	108
第三章 磨料磨损试验及研究方法	109
一、对实际磨料磨损零件的分析	109
(一) 意义和特点	109

(二) 磨损零件的实际工况条件分析	110
(三) 实际磨损零件的宏观分析和微观分析	110
(四) 磨损产物的分析	114
二、磨料磨损试验	119
(一) 意义和特点	119
1. 磨损试验的主要目的	119
2. 磨损试验步骤	120
3. 实际使用试验	120
4. 实验室磨损试验	121
5. 衡量实验室磨损试验的基本标准	122
(二) 实验室磨料磨损试验	122
1. 实验室磨料磨损试验机的类型与发展	122
2. 典型磨料磨损试验机	124
3. 材料磨损率和相对耐磨性的评定	144
4. 室内磨料磨损试验机和试验方法的选择	147
5. 室内和实际磨料磨损试验结果对比	149
第四章 耐磨料磨损材料的选择和应用	161
一、提高磨料磨损零件使用寿命的途径	161
(一) 关于零件的使用寿命	161
1. 衡量机器零件磨损使用寿命的标准	161
2. 使用寿命与工况条件	162
(二) 提高磨料磨损零件使用寿命的主要途径	163
1. 改进耐磨料磨损零部件的结构设计	163
2. 提高零部件材料的耐磨性	165
3. 提高操作水平, 改善使用和维护条件	166
二、耐磨材料优选的方法和指南	167
(一) 耐磨材料优选的方法和步骤	167
1. 磨料磨损过程的系统分析	169
2. 根据磨损零件失效分析确定磨损类型和 选材方向	173

(二) 耐磨材料及工艺优选的指南	174
1. 根据操作工况条件及磨损类型来选择材料	177
2. 根据材料类型的性能、特征以及适用的工 况条件来选择材料	177
3. 根据材料硬度与磨料硬度的比值关系选择 耐磨材料	183
4. 根据材料组织、硬度与耐磨性的关系来 选择材料	183
三、常用的耐磨料磨损材料系列	189
(一) 国内外耐磨料磨损材料的发展	189
1. 高锰钢的研究和发展	190
2. 白口铸铁耐磨材料的发展	192
3. 低合金耐磨钢的发展	195
4. 非金属材料及表面强化工艺的发展	195
(二) 几种典型的耐磨材料系列	196
1. 锰钢系列	197
2. 白口铸铁系列	208
附表 1~7	228
第五章 几种典型的磨料磨损类型和应用实例	257
一、几种典型的磨料磨损类型	257
(一) 凿削式磨料磨损	257
(二) 高应力磨料磨损	259
(三) 低应力磨料磨损	261
二、磨料磨损零件的应用实例	262
(一) 矿山、建材行业中几种典型磨损零件实例	262
1. 颚式破碎机齿板	262
2. 挖掘机斗齿	274
3. 球磨机磨球	281
4. 球磨机衬板	287
(二) 农业机械中典型磨损零件实例	293

1. 拖拉机履带板	293
2. 犁铧	306
3. 饲料粉碎机锤片	315
4. 榨油机榨轴	327
参考文献	331

第一章 概 述

一、磨料磨损定义和分类

1. 定义

翻译国外文献时，可以将 Abrasive wear 译成磨粒磨损，也有人译成磨料磨损。译成磨粒磨损学者认为，此类磨损是单个磨粒与零件表面相对滑动而造成的磨损，强调的是机理。50 年代的文章和专著中多把磨损分为四大类，即粘着、磨粒、腐蚀、疲劳磨损等。当时是把磨粒磨损看成一种主要磨损机理，简单的磨粒磨损物理模型及数学表达式的建立都是以磨粒在材料表面划出沟槽，并计算沟槽体积来确定材料体积磨损率的。译成磨料磨损的学者强调的是工况条件，是分析与大量的矿石、土砂、岩石、煤炭、水泥熟料等物料相互作用的机械零件所受到的磨损。认为磨料磨损不是一种磨损机理，而是一类磨损方式。物料可能是金属（例如喷丸机中的铁丸），也可能是非金属（例如上面所述的各种磨料），尺寸可大可小，可软可硬，它们连续地与零件表面相互作用，零件与物料接触方式可以是滑动、冲撞、滚动，甚至是较高速度颗粒的冲击等。这类磨损的发生过程比少量颗粒相对于零件表面滑动而造成的磨损要复杂得多，甚至也可能同时发生粘着、疲劳、腐蚀等磨损。中国机械工程学会摩擦学学会扩大理事会于 1981 年组织专门讨论，对摩擦学的名词术语进行了研究，决定编写常用名词术语对照表，并且规定磨粒磨损要写为磨料（磨粒）磨损。

欧洲经济发展与合作组织 (OECD) 编写的摩擦学术语词汇中, 对磨料 (磨粒) 磨损所下的定义是: “由于硬颗粒或硬微突体的作用而造成物料转移所致的磨损”^①, 并且加了两个附注:

1) 划伤磨料磨损 (Scoring Abrasion) 由于相对运动的两个表面之间存在硬颗粒, 或者由于相对运动的两表面中, 至少一个表面上存有微突体所造成的磨损。磨料颗粒可能嵌在一个表面上; 某种金属材料中第二相质点是硬而脆的, 剥落后存留在两表面间, 这种“自由”颗粒可能使两个表面都受划伤。划伤磨料磨损可能在干摩擦中发生, 也可能在有液体的摩擦中发生。

2) 磨料冲蚀 (Abrasive Erosion) 是在固体表面流动的液流中的固体颗粒的 (包括与固体表面几乎平行的颗粒) 相对运动对材料所造成的磨损。在这个定义中, 强调了硬颗粒及硬的突出点。众所周知, 磨料颗粒的硬度可在很宽的范围内变化, 如烟煤的硬度为 HV35, 刚玉的硬度为 HV2020。工程上常遇到的各类矿石、岩石、土砂等, 大多在这个硬度范围内, 而不同成分和组织的金属材料, 其硬度值也在一个很宽的范围内变化, 所以硬颗粒的含义是在某个具体工况条件下, 相对于被磨材料^②来说硬得多的磨粒, 详细叙述见第二章。在定义的附注中, 把磨粒冲刷也并在磨料磨损中了, 从近年来磨损研究进展的状况分析, 一般将冲刷磨损归于冲蚀磨损中, 本套丛书将这部分内容编写在第四分册中了。

在本书中我们采用这样的定义: 各种物料颗粒或硬的微

② 以下简称“材料”, 除特指某些材料外, 一般本文中出现的“材料”字样均指被磨材料。

突体与材料表面相互作用而造成材料流失所形成的磨损称为磨料磨损。材料流失或称失重是指材料在磨料作用下，因磨损而失去的重量。

2. 分类

美国学者 H.S.Avery^[2] 于 1953 年在总结前人工作的基础上对磨损进行了分类，他认为造成磨损的基本因素有三方面，即：力学的（又分为冲击的、摩擦的、磨料的、振动的）；热学的和化学的。认为在各种磨损中，这三个基本因素都在不同程度上起作用，其中一个因素起主导作用。他认为，在磨料磨损中，磨料的存在是必要的因素，并且把磨料磨损再分为：冲刷的、刮伤的、研磨的和凿削的四种类型。在 1961 年他又根据工况条件把磨料磨损分为：凿削磨料磨损（一般有严重的冲击作用）、研磨磨料磨损（又称高应力磨料磨损，即研磨应力超过被磨矿物的抗压强度，使物料破碎）、刮伤磨料磨损或冲刷磨损（又称低应力磨料磨损）。这一分类法后为美国矿山机械行业普遍使用^[3]。

H.S.Avery 在 1975 年编写的“磨料磨损性质”^[4]一文中，仍然坚持他本人的一贯主张，认为：“切削磨损有时也称为磨料磨损。作者认为磨料磨损应专指那些存在着不连续的磨料的磨损，而把由于磨面上微突点的切削作用产生磨屑的磨损简单地称为切削磨损，这种作用可以和外来磨料的切削作用（例如那种要用空气除尘器来排除的磨粒）联系起来，认为切削作用是由内在因素造成的，而磨料磨损则是由不期而来的污染颗粒造成的，在分析磨损时，需要予以区别对待，所以这种区分可能是重要的”。在这篇文章中还提出：“磨料是指自然矿物或人造矿物，只有极少数是人工的，如喷丸那样的金属物体。”并建议把磨料磨损重新划分为七类：

纯净流体冲蚀（指流体中无颗粒）；撞击冲蚀（指流体所带颗粒对金属表面进行撞击）；冲蚀磨损（指平行流体中的低应力磨料磨损）；切削磨料磨损；高应力研磨磨料磨损；凿削磨料磨损；冲刷腐蚀磨损。

这一段的叙述说明，他把冲蚀磨损划在磨料磨损中了；他考虑了磨料与金属材料的相互作用方式，强调的是对磨物，但没有考虑材料表面磨屑形成过程。

60年代，R.C.D.Richardson^[5]提出了软磨料磨损和硬磨料磨损。软磨料磨损指的是那种比一般金属硬度低的磨料对材料表面造成的磨损，硬磨料磨损指的是磨料硬度比一般金属硬度高的磨料对材料表面造成的磨损。他的观点也没有涉及磨损发生过程，即磨屑脱离母体的过程，特别是未考虑磨粒相对材料表面高速滑动时，材料表面的热软化效应使这种相对硬度比值发生变化，所以这种分类就显得含混不清。

也有人提出分成两体磨料磨损和三体磨料磨损。

随着磨料磨损研究工作的不断深入，对磨损过程本质有了进一步的认识，越来越多的研究者认为，对磨料磨损分类如果不抓住磨屑的形成过程也就不能抓住其主要矛盾。磨料磨损是一种磨损方式，而不是一种磨损机理，磨料磨损机理要根据磨料与材料相互作用方式及磨屑形成过程来区分。当磨料相对零件表面滑动时，磨损机理有三种：显微切削、犁沟变形（包括推挤变形与辗压变形）和脆性的断裂与脱落。如果磨料承受高挤压应力而被辗碎，则材料磨损机理不同于上述滑动方式，主要是多次塑性变形而产生的应变疲劳和应力疲劳及脆性断裂。如果材料在含水的砂浆中（或酸性、碱性的介质中）则还伴有化学及电化学的作用，从而加速了磨损过程。如果金属材料承受的是高速粒子流的冲刷，则材料

磨损机制是显微切削、犁沟和软基体的选择磨损及硬质点被挖出脱落。高速粒子的冲击,可使材料产生熔化。由于磨损过程十分复杂,在材料受到磨损时往往不是一种机理起作用,可能是两种以上机理同时发生作用,而且这些机理在工况条件发生变化时还可能发生转化。

如果按磨料磨损机理分类,可分为:

(1) 显微切削磨损

多发生在磨料相对于材料表面滑动时,切削下来的材料与车床、刨床的切屑十分相似,只是体积小。

(2) 疲劳磨损

可分为应力疲劳和应变疲劳,应力疲劳产生在那些磨料比材料软的工况条件下;应变疲劳产生在那些磨料使材料多次变形的工况条件下,包括犁沟、辗压,以及颚式破碎机齿板磨损,它们的磨屑呈薄片状。

(3) 脆性断裂或脱落磨损

(4) 腐蚀磨损

腐蚀加速了磨损,磨损产生新鲜表面又加速了腐蚀。这种机理多发生在有腐蚀性介质的工况条件下。

(5) 熔化磨损

当磨料以较高速度接触材料表面时发生材料熔化,并以熔球形式的磨屑脱离表面。

运用磨料磨损机理来描述磨损过程本质是方便而且清楚的,但是也离不开磨料与材料的相互作用状态。特别是对那些不是专门研究磨料磨损机理而主要从事耐磨材料研究的工程技术人员来说,按照磨料与材料相互作用特征来讨论磨损发生过程可能更简便些。通常就把磨料磨损分为以下三类:凿削式磨料磨损、高应力磨料磨损和低应力磨料磨损。

二、磨料磨损在工程中的地位和意义

磨损是摩擦学的三个重要组成部分之一，磨料磨损又是磨损研究领域中最重要研究方向之一。产生磨料磨损的实例处处可见，广泛地存在于工业、农业、交通运输和日常生活中，如与土砂、矿石、岩石、煤、水泥等物料相互作用的矿山机械、工程机械、粉磨设备中许多机械零件；耕作、收割、粮油加工等的农业机械；水力、火力发电设备中许多机械零部件；人体的牙齿、鞋底、笔尖及多种生活用品等，磨料磨损造成的经济损失在磨损领域中无疑是最大的。

磨料磨损最严重，耗费备件最多的部门是冶金矿山的采矿、选矿；石油钻探、采煤选煤；水力火力发电；水泥、玻璃和制砖的生产设备以及农业机械设备等，据 1981 年的不完全统计，上述部门制造备件耗费钢材为百万吨左右（见表 1-1），再加上更换备件影响了生产效率，一年耗费资金达 20 亿元以上。全国汽车拖拉机用钢每年约 600kt，而备件生产用钢也要 600kt，其中磨料磨损耗费钢材在 20 万吨以上。

表 1-1 磨料磨损耗费钢材备件统计表 (1981 年)

部 门	冶 金	煤 炭	电 力	建 材	农 机
消耗钢材($\times 10\text{kt}$)	45	13	13	12	12

从某矿山生产精铁矿粉所消耗的易磨损件状况可以看出磨料磨损的严重程度。

生产精铁矿粉	3500t
为此需剥离岩石	30000t
采掘矿石	12000t

五种工序所消耗的最多的磨损备件列于表 1-2。