

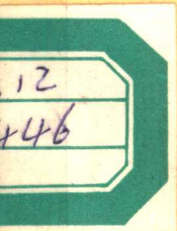
矿山机械磨损 与抗磨技术

葛长路 著



Muosun Yu
Kangmuo

中国矿业大学出版社



矿山机械磨损与抗磨技术

中国矿业大学出版社

(苏)新登字第 010 号

内 容 简 介

本书从矿山机械磨损失效分析入手,系统地介绍了矿山机械磨损的形式、磨损机理及测试方法,常用耐磨材料的性能、特点及选用原则和材料表面的各种抗磨损技术。其中重点介绍了当前国内外各种耐磨堆焊材料及堆焊工艺,国内最新研制的优秀的堆焊焊条。

最后列举了很多国内外成功的现场耐磨堆焊工艺实例,其中一些是作者本人多年从事耐磨堆焊材料研究及推广应用耐磨堆焊技术的新成果和新见解。

本书可供矿山、冶金、煤炭、电力、建材、石油、化工农业等部门从事机械设计、制造的工程技术人员在选用耐磨材料时作参考,供现场修复、保养、使用易磨损件的工程技术人员和工人阅读,也可供大专院校师生参考。

责任编辑 安乃隼

责任校对 马景山

矿山机械磨损与抗磨技术

葛长路 著

中国矿业大学出版社出版发行
新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷
开本 787×1092 毫米 1/16 印张 10 字数 244 千字
1995 年 5 月第一版 1995 年 5 月第一次印刷
印数 1~2000 册

ISBN 7 - 81040 - 322 - 2

TH·6

定价:10 元

序 言

矿山机械的工况条件非常恶劣,其机械零件的磨损十分严重。由于零件的使用寿命低,在生产过程中不得不经常停机检修,更换零部件,有时甚至因零件磨损造成重大事故。生产成本低、效率低,产量上不去,大部分是由于机电设备原因,而其中很大一部分又是由设备的磨损造成的。为了保证矿山机电设备正常运转,每一个矿山上都必须投入大量的人力、物力、财力从事设备的维修工作。据我国煤炭、冶金、建材、电力、农业等部门不完整的统计、全国每年因设备磨损造成的经济损失达 400 多亿元人民币。巨大的经济损失,惨痛的教训不断地提醒人们,研究材料的磨损理论,掌握零件的磨损规律,制造出成本低、寿命高的矿山机械,是当代科学领域和冶金、机械制造、维修领域的迫切任务。

磨损是一个复杂的动态过程。其磨损形式主要有磨料磨损、冲蚀磨损、腐蚀磨损、粘着磨损及接触疲劳磨损等,影响磨损的外部因素有载荷大小,相对运动的形式和速度,环境温度和介质等;影响磨损的内部因素有材料的化学组成,组织结构和机械性能等。要提高矿山机械的耐磨性,应先从矿山机械的失效分析入手,找出具体零件的磨损机理及对材料本身的要求,以选择出合适的耐磨材料和采取有效的抗磨技术措施。

众所周知,矿山机械零件要求零件表面有较高的耐磨性,而且还要求零件本身具有较高的强度、韧性,单一的材料难以做到两全其美。现代表面抗磨技术可以使价格便宜,有较高的强度、韧性的普通材料表面的化学成分、组织结构、机械性能得到根本的改变,使其具有极高的耐磨性、耐蚀性、抗氧化性等特殊性能,这就是本书要重点介绍的各种表面抗磨技术和抗磨材料。它包括各种表面化学热处理、表面热处理、表面喷涂(焊)技术及喷涂(焊)材料,表面堆焊技术及堆焊材料。

大量的事实证明,采用合适的表面抗磨技术和抗磨材料,可使零件的制造成本下降和使零件的使用寿命成倍地提高,具有事半功倍的奇效。无疑,开展表面抗磨技术的研究和推广应用,将会给企业带来巨大的经济效益。

不论是从事矿山机械设计、制造的工程技术人员,还是现场从事机电维修的工程技术人员和工人,都希望了解矿山机械的磨损机理、影响因素,希望将现代的抗磨技术运用到矿山机械设计、制造及维修中去,这也是作者本身的愿望。书中例举大量的表面耐磨堆焊实例是国内外有关人士及作者多年从事表面抗磨技术研究工作的部分成果,供读者参考,希望起到抛砖引玉的作用。

本书共分六章,第三章由李植编写,其余各章由葛长路编写,全书由葛长路统稿。

由于水平所限,书中难免出现许多缺点及错误,欢迎读者指正。

编著者

1994 年 4 月

目 录

绪论	(1)
第一章 材料磨损原理及评定方法	(3)
第一节 磨料磨损	(3)
第二节 粘着磨损	(10)
第三节 冲蚀磨损	(13)
第四节 表面疲劳磨损与腐蚀磨损	(16)
第五节 材料的耐磨性及其试验方法	(18)
第二章 矿山机械磨损与失效分析	(22)
第一节 矿山机械的一般工况条件	(22)
第二节 矿山机械磨损失效的严重性	(24)
第三节 矿山机械磨损失效分析	(27)
第三章 常用耐磨材料选择及表面抗磨技术	(33)
第一节 提高矿山机械耐磨性的途径	(33)
第二节 耐磨材料及工艺优选指南	(34)
第三节 常用耐磨金属材料	(37)
第四节 非金属耐磨材料	(44)
第五节 表面抗磨技术	(45)
第四章 耐磨堆焊	(54)
第一节 耐磨堆焊的意义	(54)
第二节 堆焊方法、设备及堆焊工艺	(54)
第三节 耐磨堆焊合金系统	(68)
第四节 耐磨堆焊焊条的种类、性能及选用	(73)
第五节 耐磨堆焊的工艺措施	(84)
第六节 堆焊层的组织、性能及其检验	(91)
第五章 耐磨喷涂与喷焊	(96)
第一节 热喷涂的分类及特点	(96)
第二节 常用热喷涂(焊)方法的选用	(108)
第三节 耐磨喷涂层和工艺方法的选用	(110)
第六章 耐磨堆焊技术在矿山机械中的应用	(112)
第一节 刮板输送机中部槽大面积耐磨花纹堆焊工艺措施	(112)
第二节 挖掘机斗齿的耐磨堆焊	(116)
第三节 破碎机、球磨机磨损件的耐磨堆焊	(119)
第四节 选矿机械零件的耐磨堆焊	(124)

第五节 采掘机械零件的耐磨堆焊.....	(126)
第六节 其他机械零件的耐磨堆焊.....	(130)
附录:国外耐磨堆焊焊条(共表 12)	(133)
参考文献.....	(152)

绪 论

矿山机械的工作对象为各种矿石、煤炭、岩石、砂土等,在采掘、截割、装载运输、破碎、分选、提升过程中会受到严重的磨损,经常发生机件和工具的失效。如果同时又受到含有酸、碱及其他化学腐蚀性物质的矿下水和气体的多重腐蚀,就会加剧机件的磨损。由于矿山机械的磨损失效,每年给国民经济带来巨大的损失。根据有关部门的不完全统计,我国冶金矿山、煤炭、建材、石油、电力等工业部门每年仅由于磨损而需要补充的设备备件达 100 多万吨钢材,直接经济损失上百亿元。其中煤炭系统每年因磨损而失效的设备备件就达 16~20 多万吨,损失达 10~20 亿元。与此同时,因设备损坏、停机、停产而造成的间接经济损失更是巨大的和无法统计的。

另一方面,我国矿山机械设计和制造过程中由于受传统习惯的束缚,及对摩擦学知识缺乏了解,不能将当今国内外先进的抗磨技术和耐磨材料及时地应用在矿山机械设计和制造上,造成我国矿山机械易磨损机件的使用寿命远远低于国外先进水平。具体情况见表 0-1。

表 0-1 煤矿设备一些易损件国内外寿命差距

序	机件名	主要失效形式	国内耗量或寿命	国外耗量或寿命
1	刮板输送机溜槽	磨料磨损,粘着磨损 腐蚀疲劳	40、44 型过煤量 20~40 万吨 6~12 个月 730、764 型,过煤量 50~60 万吨 6~12 个月	过煤量>100 万吨 2~3 年 200 万吨
2	综采机组截齿	刀头脱落、磨坏, 刀体磨损,刀体折断, 刀体弯曲	100~150 把/万吨	10 把/万吨
3	煤水泵	湿式磨料磨损,冲刷汽蚀	200~300 小时 1~3 个月	2000 小时,1 年以上
4	采煤机齿轮	打断齿,过量磨损, 胶合磨损,接触磨损	半年	2 年
5	链轮	磨料磨损	3 个月	半年以上(德)
6	皮带机托辊	轴承密封失效 表面磨损	1 年	4 年
7	液压泵配油盘	浸蚀磨损	3 个月	15 个月(法)
8	牵引钢丝绳	腐蚀磨损、疲劳	半年	2 年(德)

为了提高矿山机械的使用寿命,降低机件的磨损,我们必须了解摩擦学原理,运用摩擦学的基本知识对矿山机械零件进行磨损失效分析,掌握零件磨损的类型和机理,然后根据实际情况,改进设计、合理选材,采用正确的抗磨新工艺。

自从 1966 年英国学者乔斯特(Jost)公布了关于“摩擦学教育和研究”报告之后,将摩

擦、磨损和润滑统一形成一门独立学科——摩擦学。引起国内、外有关部门普遍重视,并进行了大量实验研究工作。20多年来,人们在磨损分类、机理探讨、工程实践、新材料和表面抗磨技术等方面都有很大的进展,并取得了显著的成就。

磨损是摩擦学的三个重要组成部分之一,50年代的文章和专著多把磨损分为四大类,即粘着磨损、磨粒磨损、腐蚀磨损、疲劳磨损。60年代有人提出了软磨粒磨损和硬磨料磨损。也有人提出了二体磨料磨损和三体磨料磨损等等。由于人们经常把磨损的形式(现象)与磨损机制混为一谈,反应了磨损学科尚不够成熟,缺乏对磨损过程深刻的理解。事实上,一种磨损形式经常由一种或多种磨损机制所决定,而同一种机制,由于工况条件的不同可能产生不同的磨损形式。因此,正确的分类方法应当明确形式—机制—条件三者的关系。例如,磨料磨损是一种磨损形式,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(包括推挤变形和碾压变形)和脆性的断裂与脱落。如果磨料受到高挤压应力而被碾碎,则磨损机理又有所不同。如果材料在含水的砂浆中(酸性、碱性的介质中),则还伴有化学及电化学的腐蚀作用,从而加速了磨损过程。另一方面,磨损不光是材料本身的问题,它涉及到机械学、冶金学、润滑力学、摩擦化学、固体力学、表面物理等多种学科,对于矿山机械零件磨损失效,必须进行系统性的综合分析,才能找到真正引起磨损失效的原因。

根据矿山机械零件失效的具体原因,我们可以改进设计,合理地选择材料和表面抗磨工艺,以提高零件的使用寿命。目前在矿山机械抗磨技术中用得最广泛的是材料表面耐磨堆焊和喷焊技术。这一工艺既保持了机件本身的高强度和高韧性,又提高了表面硬度和耐磨性;既节约了大量合金材料,降低了制造成本,又增加了零件的使用寿命,提高了劳动生产率。这是一举两得、事半功倍的事。只可惜的是这种工艺目前我国矿山机械中应用得不广泛,堆焊材料的产量、质量、品种还不适应现场的需要。为了进一步推广这一新工艺,本书除了介绍一些当前国内外堆焊方面的新材料、新工艺以外,还对目前矿山机械磨损最严重的典型零件的堆焊、喷焊实例做一详细介绍,其中很多事实是作者多年从事耐磨材料研究和现场工作经验的总结。可为从事矿山机械设计和维修的同志提供一个抛砖引玉的机会。

第一章 材料磨损原理及评定方法

磨损是工业领域和日常生活中常见的现象,特别是矿山机械中造成材料和能源损失的重要原因。为了解决磨损过程中的各种问题,需要熟悉有关磨损名词术语、定义、分类及评定方法,了解并掌握各种磨损类型的机理及影响因素,掌握零件磨损失效分析的方法、步骤,从而在零件设计、耐磨材料和表面强化处理方案的选用时,作出尽可能正确的判断。

目前比较通用的磨损分类方法是由 J·T·Burwell 和 C·D·Strang 提出的按磨损形式提出的分类方法。即磨损分有:磨料磨损、粘着磨损、疲劳磨损、冲蚀磨损、腐蚀磨损及微动磨损等。

第一节 磨料磨损

一、磨料磨损分类

由粗糙硬表面把较软的工作表面划伤,或者工作表面受外界硬粒划伤,都属于磨料磨损。在矿山机械、工程机械、农业机械等行业中与泥沙、矿石或灰渣等直接摩擦,都会发生不同形式的磨料磨损。据统计,因磨料磨损而造成的损失占整个工业范围磨损损失的 50%。对磨料磨损的分类很多文献都习惯引用 Avery 和 Rigney 的分类法(见表 1-1)。

二、磨料磨损基本原理

磨粒作用在金属材料表面上,磨料上承受的载荷 P 可分为法向分力和切向分力。在法向分力作用下,磨料的棱角刺入材料表面,在切向分力作用下,磨粒沿平行于表面方向滑动,带有锐利棱角并具有合适的迎角的磨粒能切削材料而形成切屑(见图 1-1)。图 1-2 是一典型的磨粒切削材料而形成显微切屑过程的照片。可以看出,切屑仍然立在表面上,黑色的磨粒仍然镶嵌在切屑的根部。磨粒切削过程使材料表面产生某种程度的塑性变形,图 1-2 上还可以看到划痕两边残留的剪切皱折。这种切削过程与机加工过程产生的切屑极为相似,只是体积小些,故称为微观切削。

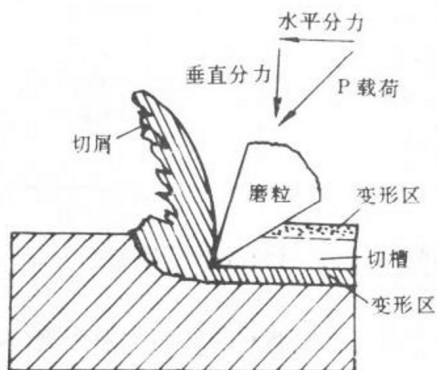


图 1-1 显微切削模型

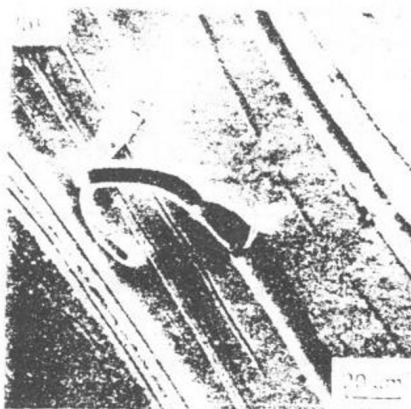
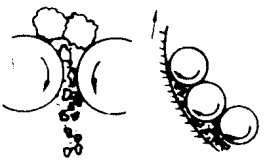
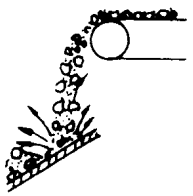
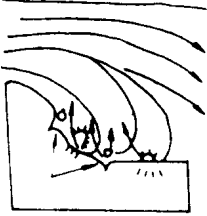


图 1-2 微观切削

表 1-1 工业中常见的磨料磨损的一般分类方法和定义

磨料磨损类型	定 义	示 意 图	实 例
低应力磨料磨损	松散磨料自由地在表面上滑动,磨料不产生破碎		犁地和输送过程。例如:犁铧、溜槽、料仓、漏斗、料车等
高应力磨料磨损	磨料在两个工作表面间互相挤压和摩擦。磨料被不断破碎成愈来愈小的碎片。总载荷可能较低而局部应力却很高		研磨机中的磨杆、磨球、衬板;滚式破碎机中的滚轮
凿削型磨料磨损	粗糙磨料使磨损表面撕裂出很大的颗粒。这种磨损通常形成很高的应力,经常在输送或破碎大块材料时发生		颚式破碎机中的齿板、辊棍
冲击磨料磨损	磨料(通常是块状)垂直或以一定的倾角落在材料表面上。其情况与冲蚀磨损很相似,但局部应力要高得多		破碎机中的滑槽或锤头
冲蚀磨损	材料同含有固体颗粒的液体作相对运动,在表面造成的损耗		泵中的壳体、叶轮和衬套
气蚀—冲蚀磨损	固体同液体作相对运动,在气泡破裂区产生高压或高温而引起的磨损,并伴有流体与磨料的冲蚀作用		泥浆泵中的零件
腐蚀磨料磨损	同环境条件发生化学或电化学反应,而磨损是材料损失的主要原因	腐蚀性介质中	水田拖拉机履带板,化学工业中的泵零件

如果磨粒不够尖锐,或刺入材料表面角度不适合切削,则会将材料表面挤出犁沟。犁沟变形有两种:一种是由于磨粒推挤材料,使之堆积在磨粒运动的前方,当堆积增高后就会阻碍磨粒运动直到磨粒破碎,或被其他磨粒破碎带走。第二种是磨粒将材料挤向沟槽两侧(也可能挤向一侧),图 1-3 所示为带有负前角的磨粒推挤材料的模型。图 1-4 是磨粒推挤材料形成犁沟的过程照片。磨粒犁沟材料表面并不能一次产生磨屑,而是当第一个磨粒推挤材料

表面形成犁沟后,已经使沟槽底部或沟槽两侧金属发生一定程度的塑性变形,后继的磨粒可能切削金属或继续推挤已经发生塑性变形的犁沟沟底或两侧,当磨粒多次使金属变形且变形程度超过材料允许的延伸极限后,变形材料表面就会产生裂纹,裂纹扩展,形成薄片状磨屑,这一磨损过程被称为微观犁沟(图 1-4)。

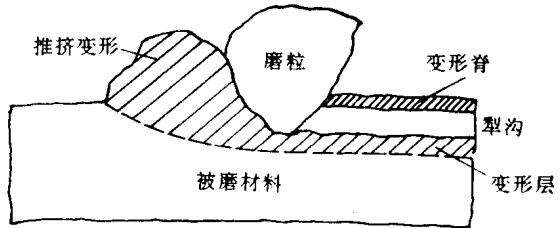


图 1-3 磨粒推挤材料模型



图 1-4 微观犁沟

当材料较脆或其中含有硬而脆的第二相质点时,磨粒与材料或第二相粒子就会发生冲撞或滑动,造成材料或硬质点发生裂纹和碎裂,这一磨损过程称为微观断裂。如高铬铸铁磨损表面微观形貌上往往出现很多凹坑,就是由于脆性的 Cr_7C_3 碳化物脱落造成的(见图 1-5)。

在三种典型磨损过程中,以切削过程对材料造成的磨损最为严重,微观断裂的影响在某些材料中也相当严重。

三、磨料磨损的影响因素

1. 磨料硬度的影响

磨料硬度对材料磨损率有明显影响。这种影响的程度主要是以材料的硬度 H_m 和磨料的硬度 H_a 的比值为标志,随着 H_m/H_a 变化,材料磨损机制就会发生变化(见图 1-6 所示)。图 1-7 为材料磨损表面硬度与磨料硬度比值 H_m/H_a 和磨损率关系的实验室试验结果。



图 1-5 微观断裂(剥落)

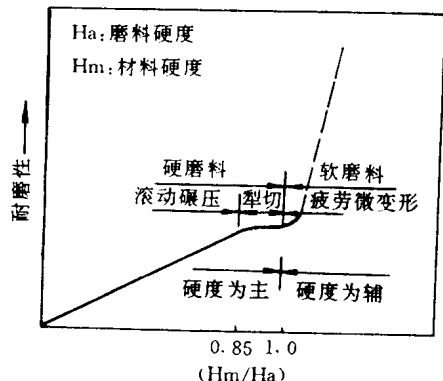


图 1-6 H_m/H_a 比值与耐磨性及磨损机制转换之间的关系

由此可见,当磨料硬度 H_a 远远大于材料硬度 H_m 时,磨损严重,磨损与材料硬度无关;当材料硬度接近于磨料硬度时,随 H_m/H_a 值增大,磨损急剧减小。应该指出的是,即使是很软的磨料,由于冲击作用或者其中渗有硬磨料等因素,也会导致工件的磨损。因为实际磨料硬度和材料硬度都不是一个单一的数值而是一个分布值(见图 1-8),因而,即使工件的平均硬度值超过磨料的平均硬度值,由于磨料与材料硬度的统计分布关系也会引起磨损。这就说明了为什么煤炭的硬度不高,但对煤矿机械造成的磨损仍然是十分严重的事实。表 1-2 表示了各种磨料类型及岩石硬度值。

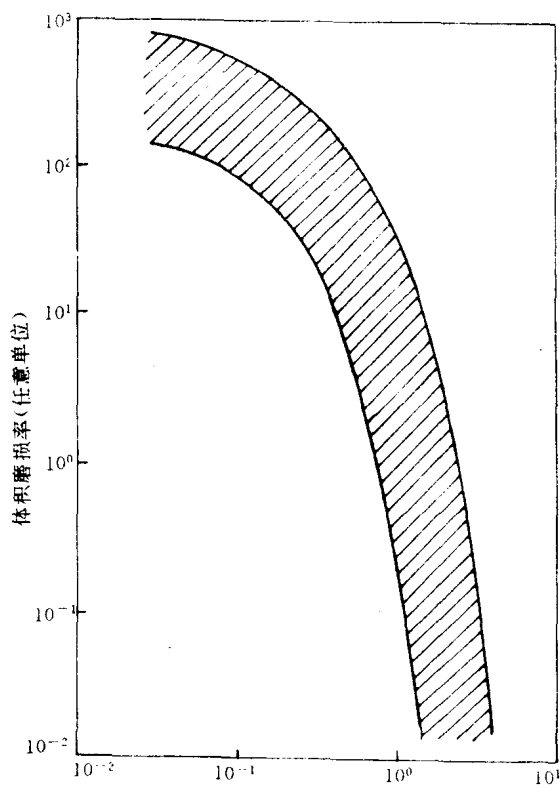


图 1-7 H_m/H_a 与金属和陶瓷材料磨损率之间的关系

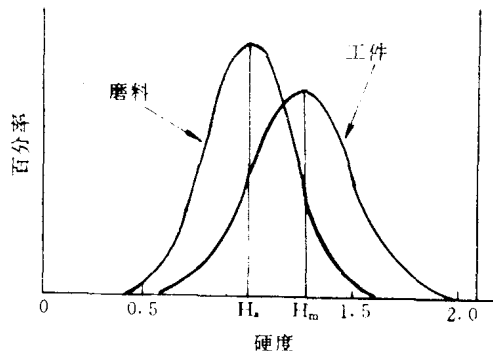


图 1-8 工件材料与磨料硬度的统计分布示意图

表 1-2 普通磨料和岩石组成矿物的硬度

磨料或矿物类型	维氏硬度 HV(kg/mm ²)	磨料或矿物类型	维氏硬度 HV(kg/mm ²)
碳化硅	2100—3000	钛铁矿	300—470
刚玉	1900—2100	褐铁矿	300—370
黄玉	1200	磷灰石	300
石英(石遂石)	750—1100	沸石	180
石榴石	600—970	萤石	180
橄榄石	600—750	陨铁、菱铁矿	145—180
斜长石	470—600	白云石	145—180
黄铁矿	470—600	蛇纹石	90—180
正长石	470	方解石	175
磁铁矿	370—600	云母	70—185
赤铁矿	370—600	绿泥石	70—90
辉石	300—470	高岭土、陶土	70—90
闪石	300—470	石膏	70
白榴石	370—470	滑石	45—56

2. 磨料形状尺寸的影响

磨料形状(尖锐度)对磨损也有明显的影响。新破碎的石英砂和河砂相比,新破碎的石英砂对材料磨损更剧烈。由于各种磨料的形状难以测量和定量区别,一般仅定性地将磨料分为三种类型:即尖锐形、多角形和圆钝形。

在相同硬度条件下,尖锐形磨料对材料磨损最剧烈,磨损机制以显微切削为主;多角形对材料磨损次之,磨损机制为显微切削加犁沟;圆钝形磨料又次之,磨损机制以犁沟为主。

磨料的尺寸粒度对磨损也有一定的影响(见图 1-9)。当磨料在某一临界尺寸以下时,体积磨损随磨料尺寸的增加而急剧地按比例增加;当超过一临界尺寸后,磨损增大的幅度显著降低。

3. 材料机械性能的影响

材料对磨损有影响的机械性能为:弹性模量、宏观硬度和表面硬度、强度、塑性和断裂韧性等。

工业纯金属的耐磨性与其弹性模量成正比(见图 1-10)。但这种关系不适用于热处理过的钢材,虽然热处理不改变材料的弹性模量,但却会使其耐磨性大大提高。相反,工业纯金属和不同类型钢相对耐磨性与其宏观硬度成正比(见图 1-11)。热处理前后钢的相对耐磨性单值地决定于其宏观硬度,只不过随其宏观硬度增高其耐磨性变化斜率不同而已。耐磨性不仅取决于钢的硬度、而且取决于它们的成分,不同成分的钢热处理后虽然具有相同的硬度,但其耐磨性却不同,这说明各种钢的耐磨性与其宏观硬度间并不存在单值的对应关系。

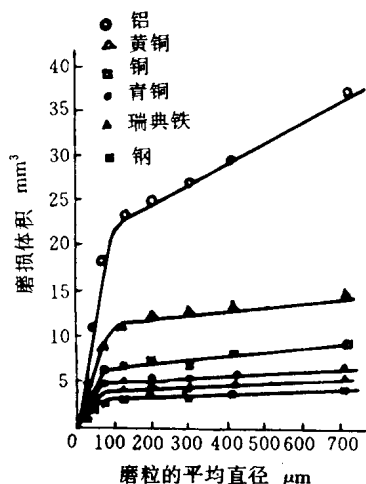


图 1-9 不同材料条件下磨料尺寸对磨损率的影响

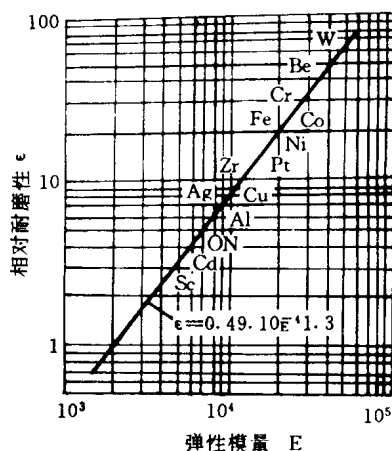
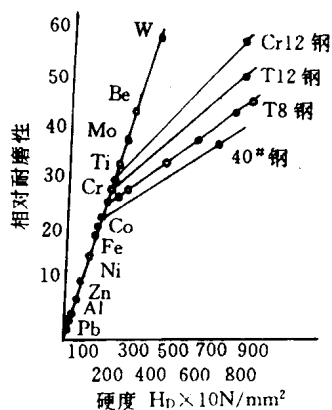


图 1-10 纯金属的弹性模量与其相对耐磨性的关系



1-11 纯金属和钢的相对耐磨性与其宏观硬度之间的关系

金属材料经过磨损后,其表面硬度均有所提高,把磨后表面最高硬度值 H_{μ} 代替材料硬度值 H_m ,作出的 $H_{\mu}-\epsilon$ 曲线与 $H_m-\epsilon$ 曲线的规律是一致的,只要最高硬度相等,其耐磨性也相同,与原始硬度无关。

材料的耐磨性与拉伸强度和塑性之间没有明显的对应关系,只是由于材料的流变特性增高,耐磨性有线性提高的趋势。在高硬度时,由于强度特别是塑性和韧性的提高,耐磨性大大地增高。

4. 材料微观组织结构的影响

材料的显微组织对材料磨料磨损有明显的影响。材料的组织又是由其化学成分和加工工艺所决定的。同种材料采用相同的加工工艺,可能表现出不同的耐磨性,这又与生产厂的冶炼、铸造水平有密切关系,因此显微组织对材料的耐磨性影响是个复杂的问题。

图 1-12 是高锰钢、合金钢的耐磨性与它们组织之间的关系图。在一定的接触应力、一定的滑动磨料磨损试验条件下,具有较高含碳量的回火马氏体钢能获得较高的耐磨性;相同硬度条件下,贝氏体的耐磨性又比回火马氏体的耐磨性高。这时的高锰钢只相当于回火马氏体和贝氏体钢的中等耐磨水平;珠光体的硬度最低,耐磨性最差,相同硬度的奥氏体与珠光体组织相比,奥氏体的耐磨性又高得多。残余奥氏体对钢的耐磨性也是有影响的。很多学者认为,在马氏体-碳化物的混合组织中存在着残余奥氏体,对提高抗磨料磨损性能是有益的。残余奥氏体在其中起的作用一般认为是:

- (1) 在磨屑形成过程中,阻止裂纹扩展。
- (2) 与碳化物结合较马氏体好,能防止磨损过程中碳化物脱落。

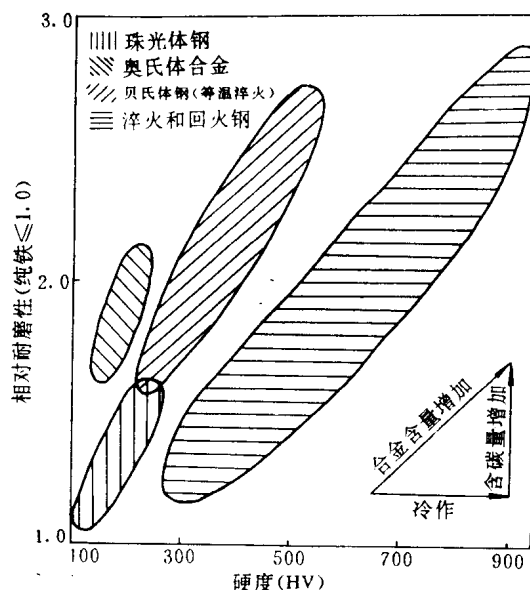


图 1-12 高锰钢、合金钢耐磨性与其组织之间的关系图

(3) 转变为马氏体时吸收了能量、消耗了外界功,形成高硬马氏体从而提高了耐磨性。

在珠光体、马氏体、贝氏体、奥氏体基体组织中如果分布着大量的高硬度的合金碳化物、硼化物、氮化物、金属间化合物,就会形成耐磨骨架,大大地提高材料的耐磨性。这时材料的耐磨性又取决于这些硬质点的类型、大小、硬度、数量、分布、与基体组织之间的结合强度以及具体的工况条件等。

表 1-3 常见碳化物、硼化物硬度

碳化物类型	维氏硬度 HV	硼化物类型	维氏硬度 HV
Fe_3C	860	FeB	1800~2000
Cr_7C_3	1336	Fe_2B	1400~1500
Cr_{23}C_6	1650	Cr_2B	1350
WC	1780	CrB	1200~1300
W_2C	2470	CrB_2	2100
VC	2094	VB_2	2800
TiC	3000	TiB	2700~2800
MO_2C	1499	TiB_2	3300
NbC	1961	$\alpha\text{-WB}$	3700

在碳化物中, M_3C 型结构的硬度较低,对耐磨性贡献小,马氏体钢和合金工具钢中碳化物多属于 M_3C 型结构。高铬铸铁中碳化物主要是 $(\text{FeCr})\text{C}_3$ 型碳化物,也有少量的 $(\text{FeCr})_6\text{C}$ 、 $(\text{FeCr})_{23}\text{C}_6$ 型碳化物,它们的硬度均较 M_3C 型为高,对耐磨性贡献也大。在硬质合金中的碳化物大多是 WC 、 TiC 、 ZrC 、 NbC 、 VC 等,它们具有极高的硬度和高温稳定性,是硬

质合金具有高的耐磨性和红硬性的主要原因。此外,很多合金元素还可与B生成FeB、Fe₂B、TiB、CrB等高硬度的硼化物,对材料的耐磨性也具有较大的影响。常见的碳化物、硼化物硬度见表1-3。

碳化物虽然硬度很高,但脆性很大,在材料组织中如果形成网状碳化物,对材料的耐磨性是十分不利的。一般要求碳化物颗粒大小适中,分布均匀,碳化物之间的自由程小于磨粒直径为好。如果磨粒直径小于碳化物间的自由程,磨料将会首先挖空碳化物周围基本组织,最后使碳化物脱落变成新磨料。碳化物的作用是对磨粒的刺入起阻碍作用,使磨沟变浅,这时材料的耐磨性随碳化物含量的增加而增加,达到一个最大值。

碳化物与基体的结合强度对材料耐磨性也有很大影响,结合强度低时,在硬磨粒的冲撞、摩擦作用下,碳化物易脱落。不同类型碳化物与基体的浸润性不同,结合牢固程度不同。有人认为硬的碳化物与软的基体组织配合较好,也有的认为与强度高的基体配合好,但是磨损的具体工况条件往往是决定性的因素。

5. 工况和环境条件的影响

除了磨料及材料本身特性的影响以外,工况和环境条件对磨损过程也有很大的影响。这些因素主要指载荷、速度、磨损距离、磨料冲击角以及环境湿度、温度和腐蚀介质条件等。

经过对多种材料的不同载荷下磨损试验证明:材料的磨损率随载荷增加而增加,在硬磨料条件下,由于载荷增加使磨沟加深、加宽,磨屑由小变大。滑动速度与载荷变化相似,但更严重一些。

第二节 粘着磨损

粘着磨损按磨损机理、磨损过程、影响因素等方面分别说明如下。

一、粘着磨损的基本原理

当两个固体材料相互接触时,接触点处首先受到范德瓦尔斯力(长程力)的作用,互相产生吸引力。这个力是由接触点分子或原子中电荷分布的涨落引起的。如果假设固体表面的范德瓦尔斯力可以近似地叠加,那么两个相对运动的表面中所包含的这种范德瓦尔斯力总和可以用下公式来表达

$$F = \frac{hC\pi^2}{240} \cdot \frac{A}{Z_0^4}$$

式中 F ——粘着力;

$h = \frac{k}{2\pi}$, k ——普郎克常数;

C ——光速;

Z_0 ——表面间距。

两固体表面相互贴合时,接触点将是一些比较高的接触点,称微突体,当承受很大压力,致使很多微突体发生塑性变形,这时接触点间的范德瓦尔斯力就会显示作用。事实上,在任何摩擦副之间只要当它们的间距达到几个纳米以下时就可能产生范德瓦尔斯力。

当两物体间距小于1nm时,各种短程力也会发生作用,接触点处就会产生强烈的短程交互界面键作用力(金属键力、离子键力等)。这时,如果没有表面膜存在,两表面将通过原子间作用力发生粘着。当粘着表面相对滑动时,粘合点将被剪断,便发生粘着磨损。

二、磨损过程

机件在磨损过程中受多种因素影响,比较复杂,故至今没有比较成熟的计算磨损寿命的公式,但从现场观测和实验结果表明,一般零件的磨损过程其磨损量与工作时间或磨损路程有一定的关系(如图1-13)。

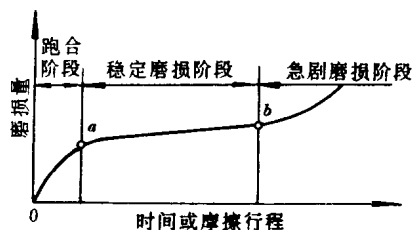


图 1-13 磨损量与时间的关系曲线

1. 跑合(磨合)磨损阶段

如图1-13中的0a线段。新的摩擦副由于表面粗糙,开始时真实接触面积较小,由于相互运动摩擦,表面被磨得平滑,真实接触面积逐渐增大,磨损速率减缓,进入稳定磨损阶段。

2. 稳定磨损阶段

图1-13ab段表示稳定缓慢磨损阶段。此时由于摩擦时真实接触面积增大,且在前段中金属材料由于塑性变形而产生加工硬化,使零件表面耐磨性提高。本阶段是零件的正常运行阶段,磨损率即曲线的斜率平缓。

3. 剧烈磨损阶段

b点以后磨损剧烈增大,配合精度丧失,温度升高,出现振动和噪声,最后导致零件失效。

因此,提高零件的使用寿命,应尽量延长稳定磨损阶段。

三、影响粘着磨损的因素

1. 载荷的影响

粘着磨损率在一定范围内与载荷成正比。图1-14表示钢与钢摩擦时磨损率与载荷之间的关系。超过此范围加载就得到图1-15a、b的结果。图中表示不同硬度钢的粘着磨损系数与硬度比值 K/H 和压应力间的关系。当表面压应力小于 $H/3$ (H 为钢的硬度)时, K 值不变,即磨损量与载荷成正比,当超过此临界值后, K 值急剧上升,磨损量也急剧增大。实际上,在高载荷下会发生大面积焊合与咬死。

不同金属组成摩擦副其临界载荷是不同的。例如,Q235钢对青铜产生的粘着磨损的临界载荷是170MPa,而对铸造GCr15钢的临界载荷是180MPa,对铸铁则是467MPa。

2. 滑动速度对磨损的影响

当压力固定不变时,粘着磨损随着滑动速度增加而增大,当达到一极大值后,磨损机理发生改变,由粘着磨损转变为氧化磨损,磨损率开始下降。

3. 环境温度对磨损的影响

在摩擦过程中所产生的热量会使摩擦副表面温度升高,温度越高,材料表面硬度越低,磨损率相应会增加;温度升高后,界面润滑油可能由于氧化、分解而变质、失去减磨作用,温度升高还可能引起材料相变,再结晶等,使磨损发生更大的变化。

4. 材料对磨损的影响

(1) 配对材料的互溶性

互溶性大的材料,特别是相同的金属或相同的晶格类型、晶格间距、电子密度和电化性能相近的金属,互溶性大,容易粘着。一般来说与铁基金属抗擦伤性好的金属有:锕、银、