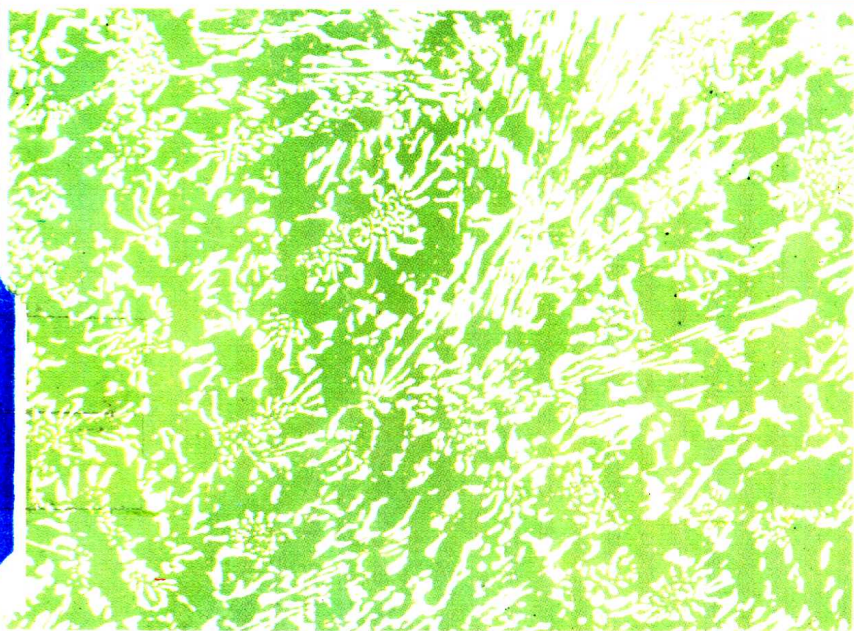


高铬耐磨铸铁

郝石坚 著

煤炭工业出版社



高 铬 耐 磨 铸 铁

郝 石 坚 著

煤 炭 工 业 出 版 社

(京)新登字 042 号

内 容 提 要

本书以作者及由作者领导的科研课题近年来研究高铬铸铁的成果为基础,并汇集了国内外有关的研究成果、工业生产及应用情况编写而成,其内容包括高铬铸铁的组织形成理论、抗磨机制、性能特点、铸造与热处理工艺技术、材料的正确选用及发展前景等。书中还对高铬铸铁在矿山及有关行业部门的推广应用做了重点阐述。

本书具有较高的科学技术水平和实用价值。书中所述内容新颖,概念清晰准确,结构合理,论述流畅明了,适合于从事抗磨材料研究、生产、应用的工程技术人员、高校有关专业师生阅读。

高 铬 耐 磨 铸 铁

郝 石 坚 著

责任编辑:向 云 霞

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街 21 号)

冶金印刷总厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092 \text{mm}^{1/32}$ 印张 11 插页 1

字数 242 千字 印数 1—1370

1993 年 6 月第 1 版 1993 年 6 月第 1 次印刷

ISBN7-5020-0822-5/TD. 761

书号 3590 G0257 定价:11.00 元

前 言

磨损是造成机械失效的主要原因之一。为了维持各种机械设备的正常运行,工业部门经常需要投入大量金属制造易损件,这方面的金属消耗量是相当可观的。金属磨损问题多年来一直是材料科学技术工作者关注的热点。

减少金属磨损,总体上有两个途径:一是改善零件的服役条件,尽量减少外界对零件的伤害;二是设法提高零件材料本身的抗磨能力。

100年前奥氏体高锰钢的产生是以科学技术开发抗磨材料为开端。此后,各种抗磨合金不断出现。高铬白口铸铁作为抗磨材料最早出现于本世纪30年代,经过多年研究开发,60年代开始推广应用。这种金属材料以其优异的抗磨料磨损能力和相对良好的抗断裂能力成为当代最受欢迎的抗磨材料。工业实践表明:煤矿机械、电力机械、建材机械、选矿机械、破碎机械、筑路与工程机械、农业机械中的许多易磨损件改用高铬耐磨铸铁后寿命成倍延长,获得十分显著的社会效益和经济效益。

本书从生产和应用角度综合讨论高铬耐磨铸铁的各种问题。前两章首先简要介绍金属磨损的一般问题以及国内外常用的抗磨金属材料。第三章较详细地讨论铁碳铬三元合金的成分、组织及其形成条件,希望能为有关的科技工作者提供实用的基础性资料,这些资料主要来源于多方面的研究成果。第四章阐述高铬铸铁中一些合金元素的作用。这些合金元素在提高材料的工作性能和工艺性能方面常是不可缺少的。抗磨

11.11.100

性和抗断裂能力是衡量高铬铸铁件耐用程度的基本指标,第五章探讨影响这些性能的因素以及发挥高铬铸铁性能潜力的可行途径。高铬铸铁的实际生产技术,主要是零件的铸造和热处理工艺要点在第六章中加以介绍。本书最后一章引用现场资料列举高铬铸铁的一些应用实例,供制造者和使用者参考。

交通部西安公路学院工厂和陕西省陇县铸钢厂长期与作者合作。他们生产的球磨机用的高铬、中铬、低铬铸铁磨球、衬板及其他抗磨件在水泥工业、选矿工业及电力工业部门中使用都获得良好效果。他们为本书提供了实践方面的素材并大力支持本书出版。

作者向在百忙中为本书审稿的李啟东教授、西安公路学院工厂和陕西省陇县铸钢厂的同志以及为本书提供原始资料和科研成果的国内外朋友表示诚挚的谢意。

作 者

一九九二年十二月于西安



霍石坚,教授,1931年生,1952年毕业于天津大学机械工程系,曾经长期在我国煤矿机械制造系统从事铸造工作,是国内较早从事球墨铸铁研究开发并在铸造的工业领域内取得过许多成果的铸造专家,现为交通部西安公路学院教授。

近年承担的研究课题有“球墨铸铁形态变异机制研究”、“铝系抗磨白口铸铁组织与性能”、“球墨铸铁退火缺陷”,科研成果均在国内期刊作过介绍,并多次获奖。

近年著有《现代球墨铸铁》,主编《球墨铸铁工艺与设备专业教材》《金属热加工工艺》,并多次发表多篇论文。

目 录

第一章	金属磨损.....	1
第二章	耐磨金属材料	28
第三章	高铬白口铸铁组织的形成	79
第四章	高铬铸铁中的合金元素.....	180
第五章	高铬铸铁耐用性的影响因素.....	211
第六章	高铬铸铁件生产技术.....	233
第七章	应用实例.....	287
参考文献		338

第一章 金属磨损

金属磨损是造成机械零件失效的主要原因之一。自从人类使用机器代替手工劳动以来,如何延长机器的使用寿命,减少零件损耗,始终是人们最关心的问题之一。许多人为此进行了长时期的探索和研究。

统计资料表明:在失效的机械零件中,大约有 75%~80%是属于金属磨损。供给机器的能量大约有 30%~50%消耗于摩擦和磨损过程中。零件磨损失效后,不但需要耗费人力、物力去更换配件,也使设备在更换零件期间不能生产产品,影响设备固有能力的发挥。由此可见,金属磨损是关系到国民经济的重要问题。

在科学技术高速发展的今天,国民经济的各个部门都对机械设备的耐用性、可靠性和精度提出了更高的要求。因此,研究金属磨损现象,探讨影响磨损的各种因素,提高金属的抗磨能力,研制新型抗磨合金,早已成为科学技术工作者面前的重要课题。

金属磨损行为和机制是最近几十年兴起的摩擦学领域内的重要研究课题。这方面的研究成果为国民经济提供了一系列新的抗磨合金。多年来的研究实践表明:与金属磨损现象相关的学科范围比较广泛,除了材料学和冶金学以外,还涉及到力学、表面物理、表面化学等领域。

在不同的工况和环境中,造成金属材料磨损的机制是不相同的。根据大量的研究成果,当前已经可以把磨损现象划分

成许多类型。粘着磨损、磨料磨损、腐蚀磨损、冲蚀磨损、接触疲劳磨损、微动磨损各有其特征和产生机制。

本书主要讨论高铬耐磨铸铁的各种问题。探讨高铬铸铁成分、组织、机械性能等方面的问题,都是从充分发挥其抗磨损能力(特别是在有冲击载荷下的磨料磨损)为前提的。因此在讨论这类抗磨材料之前,扼要介绍摩擦现象、各种磨损机制,特别是磨料磨损机制是有必要的。

1.1 金属表面与磨损

1.1.1 金属表面

材料的磨损总是发生于互相接触且有相对运动的机件表面。因此为了研究磨损的产生过程,有必要了解机件材料表面状况。现在,首先介绍机件表面几何形状对摩擦磨损的影响。

金属机件表面产生磨损的部位有些是比较粗糙的毛坯表面,有些是经过精加工的光洁表面。尽管精加工技术已经能使机件表面宏观上十分光洁,但从微观角度来看,绝对平滑的表面目前还是无法得到的。经过精加工的表面仍然存在着许多显微尺度的“峰”和“谷”(图 1-1a)。当两个平面在正压力作用下互相接触并开始产生相对运动时,力只作用在相互接触的峰体上(图 1-1b)。50 年代初期 Bowden 和 Tabor^[1-1]研究了载荷和接触面积的关系,他们提出由于峰体弹性变形而形成的接触面积(A)正比于负荷(W)的 $2/3$ 次方($A \propto W^{2/3}$)。应力进一步增加可导致塑性变形,接触面积将正比于负荷($A \propto W$)^[1-2,1-3]。实验表明,变形的峰体并不立即脱离母体,只是在应力超过一定数值后,这部分金属才从表面剥离,产生磨损。被磨表面由弹性变形转变到塑性变形的临界条件与材料的屈服强度、弹性模量、峰体高度以及峰体顶部曲率半径等因素有关。

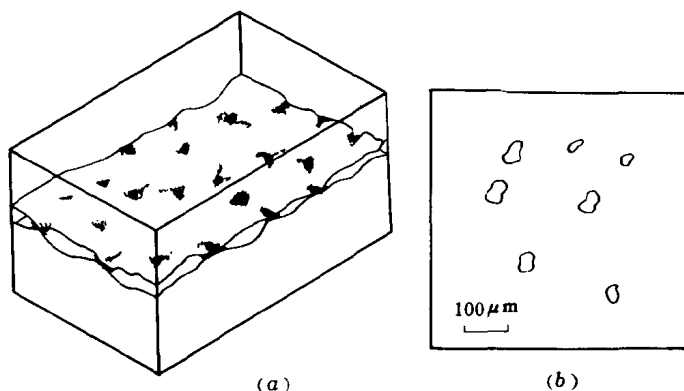


图 1-1 金属表面

a—金属表面的峰和谷;*b*—力只作用在相互接触的峰体上

工件表面的化学性质也是研究材料摩擦学性质的一个必须考虑的因素。我们知道,只有在极仔细控制的条件下(例如在高度惰性气体与低应力环境中加工和存放),金属自由表面的成分才能保持与母体成分一致。这是因为暴露在大气中的工件表面总要与周围介质发生化学反应,在表层形成反应产物,也可以产生物理的或化学的吸附层^[1-4, 1-5]。例如,400K以下吸附于金属表面的氧和氮可以形成很薄的化合物吸附膜,氧与氮原子的活动能力在700K更为增强,进入晶体而使薄膜损伤。在一般情况下,暴露在大气中的试样表面氧化物是逐渐形成的。除了氧化膜和氮化膜外,金属表面还可能形成硫化物或氯化物薄膜。表面的化合物膜(厚度一般在 $10^{-4}\mu\text{m}$ 左右)在相互运动的机件表面间形成隔离层,可产生润滑剂的作用。

经过 N. Ohmae^[1-6], A. W. Ruff, L. K. Ives^[1-7]等人系统研究,发现机件亚表层中金属晶体点阵发生歪扭,甚至出现非

晶体结构,部分晶体内还发现微小裂纹。研究表明,出现这种情况的原因是零件切削加工时或两个表面的峰体相互作用时,表层金属产生强烈塑性变形。变形层的厚度一般小于 $50\mu\text{m}$ 。亚表层金属的塑性变形消耗了大部分损失于摩擦的能量,而且也能使机件的表面状态发生变化。

金属表层示意图见图 1-2。

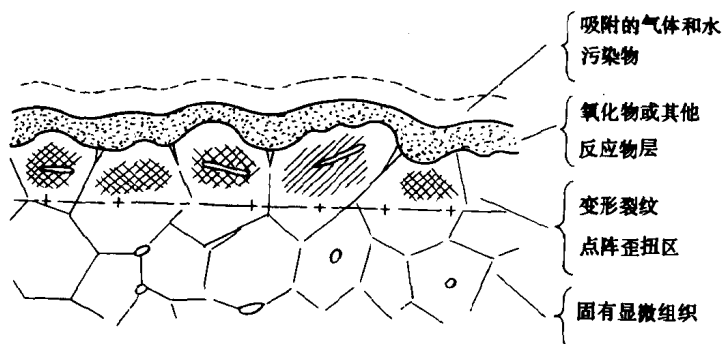


图 1-2 金属表层示意图

1.1.2 金属的磨损

材料的磨损总是发生在与外界物体接触并有相对运动的机件表面。这是一种在机械力的作用下(部分磨损过程受电及化学作用影响)表面材料逐渐脱离母体,导致机件表面形状、尺寸、组织和性能不断变化,材料不断损失的过程。造成材料磨损的原因和影响因素很多,尽管国内外许多人曾经给磨损定义,但是这些定义都难以概括磨损过程的全部实质。

磨损可以产生于不同的环境中,在大气中产生的磨损一般称为干磨损,在液体(特别是在活性较高的液体)介质中产生的磨损称为湿磨损,它是磨料机械力与环境腐蚀综合作用

的结果。在运动的流体(气体或液体)中产生的磨损称为流体磨损。

根据磨损的机制可将磨损分为:粘着磨损,磨料磨损,接触疲劳磨损,腐蚀磨损,微动磨损和冲蚀磨损等几种类型。

各种类型的磨损产生于不同的工况,各有其失效特征。在工业实践中,磨料磨损造成的材料损耗率是最高的。大约有一半因磨损而失效的零件毁于磨料磨损,因而磨料磨损成为人们研究的热点。粘着磨损大多数发生于经过机械加工的零件,因此机件失效造成的经济损失相对较高。腐蚀磨损与冲蚀磨损大多发生于接触腐蚀介质的零件或流体动力机械零件,其失效机制和防护措施正日益受到人们的重视。

下面分别讨论各种类型的磨损。

1.2 粘着磨损

摩擦力 两个机件表面互相接触并作相对运动时,都有摩擦阻力产生。若两表面间无润滑层,产生摩擦阻力主要有以下两个方面的原因。

摩擦副在正压力作用下,实际接触的部分是在峰体上,由于峰体的投影面积远小于整体表面积,实际接触面上的压应力往往是很高的。这部分材料受力发生塑性流动并产生形变热,使表面紧密接触的金属在分子间力作用下发生焊合,这种现象称为“粘着”。如果外来的驱动力迫使已经发生粘着的零件表面继续做相对运动,两零件中材料抗剪强度较低的零件表面的峰体将被剪断,形成磨屑。磨屑可能与母体脱离,也可能粘附在材料较硬的、抗剪强度较高的零件表面上。克服粘着力使峰体剪断所需的力,是构成摩擦力的主体部分。

如果互相摩擦的机件表面硬度有显著差异,较硬表面上的峰体可能嵌入较软表面的谷中。在运动过程中,较软表面的

材料在硬质微峰体的挤切作用下发生塑性流变,形成沟槽。沟槽两侧的金属凸起,易于产生粘着。在一些工况下,可能有硬质磨料存在于两个摩擦表面之间,这些磨料也会在工件表面拉出沟槽。形成沟槽消耗的切削力和形变力,也是摩擦阻力的一部分。

如果摩擦副由硬度和抗剪强度不同的材料制成,粘着点可能出现以下4种情况:

第一种情况 较软材料的抗剪强度小于粘着点界面强度,而较硬材料的抗剪强度高于界面强度时,金属在接近较软金属部位剪断,剪下的金属粘附于较硬金属表面,发生较轻微的磨损。

第二种情况 粘着点界面强度大于两种材料中的任何一种,此时剪切将发生在较软金属的亚表层内,剪下的金属粘附于硬金属表面并对软金属产生切削作用。材料表面的损伤情况比前一种情况要严重一些,常称此种现象为“擦伤”。

第三种情况 与第二种情况相似,粘着点界面的强度最高,峰体塑变产生的形变热使材料表层温度急剧上升,硬度下降,且使表面产生轮廓清晰的白亮层。在相对运动过程中,材料被撕裂,材料表面产生划伤。划伤具有积累性质,如不及时采取措施,机件可能在很短时间内失效。

第四种情况 当机件的驱动力小于粘着界面的结合强度时,粘着金属不能被剪断,机件的相对运动被迫停止。常称此种现象为“咬死”,这是最严重的粘着情况。“咬死”的零件一般是难于修复的。

有润滑介质存在于摩擦表面时,一般不会产生粘着。只有当润滑介质膜破裂、机件表面的氧化膜失去保护作用后,才会产生粘着磨损。

粘着现象的实质是摩擦副表面材料中原子互相迁移、互相溶合而形成焊合体的过程。粘着磨损涉及材料的力学性能与物理化学性能。

对纯铜和纯铁摩擦副的研究^[1-8]表明:相同材料组成的摩擦副,其粘着磨损量远远大于不同材料的摩擦副,其原因是同种材料具有相同的原子尺寸、点阵类型以及相同的熔点,互溶性良好,为发生焊合提供了有利条件。其它试验也表明,能够形成无限固溶体的两种材料也有较强的粘着倾向。材料内部原子间内聚力较弱,以及摩擦副温升较高时,原子扩散的激活能较低,两种金属也容易发生粘合现象。金属的点阵类型对互溶性和原子迁移能力都有重要作用。密排六方点阵中原子密集度高,每层原子的内聚力强,原子迁移能力小于具有面心点阵的金属原子,较难与另一金属形成新的固溶体,因而密排六方晶体发生粘着的倾向较小。还有两点值得注意,一是有些金属(例如钴)在一定温度下发生点阵改组,粘着倾向也随之发生相应变化。二是晶体取向对粘着倾向有明显影响。原子密度高、表面能低的晶面处于摩擦表面位置时,材料不易发生粘着。

合金中的某些元素有抑制粘着的能力,例如钢铁中的碳和硫在机件表面形变热的激活作用下,可以扩散至界面,富集的碳和硫有强烈阻滞粘合的作用,因而能减少粘合磨损。

金属显微组织的性质对粘着也有明显影响。阻碍金属表面发生塑性变形的因素都有助于提高抗粘合能力。

多相合金比单相合金有更好的抗粘着能力。例如,共析组织(特别是片状共析组织)或含有碳化物硬质相的多相合金,发生粘着倾向远低于只有单一固溶相的合金(如奥氏体不锈钢)。合金晶粒越细,晶体间位向差越大,晶界能量越高,材料

的粘着磨损量越低。

根据粘着磨损的机理可知:工况、环境、摩擦副表面粗糙度、摩擦表面及近表层的力学性能,都对粘着磨损程度有明显影响。

I. F. Archard 于 50 年代初期提出了粘着磨损模型^[1-9],并提出了体积磨损量与载荷、摩擦距离、材料强度之间的关系:

$$W_v = K \frac{PL}{3\sigma} \quad (1-1)$$

式中 W_v —— 体积磨损量(mm³);

P —— 法向载荷(N);

L —— 摩擦行程(mm);

σ —— 金属强度(MPa);

K —— 磨损系数。

磨损系数是一个无量纲量,表示一个已与配对表面接触的峰体产生磨屑的概率,不同配对金属的 K 值可在有关的手册上查出,一般为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 数量级。

由(1-1)式可以看出,粘着磨损量与法向载荷、摩擦行程、摩擦系数成正比,与金属的强度成反比,而与接触面积无关。但在某些特定工况下,载荷增加到一定程度后,磨损率可能有突然变化。载荷较轻时,机件表面受到氧化膜的保护,磨损量低,载荷超过临界值后,氧化膜失去保护作用,金属磨屑骤然增加,磨损量急剧上升。如果载荷继续增大,摩擦表面被形变热加热到很高温度,表层金属发生相变,出现白亮层,材料抗粘着能力显著提高,磨损量开始呈现下降趋势。

影响粘着磨损量的另一个因素是摩擦副的相对滑动速度。滑动速度通过影响接触界面的温度而起作用。低速摩擦

产生的形变热量少,接触面温升不高,有助于维持或增厚机件表面的氧化膜,因而金属粘着比较轻微。滑动速度超过某一临界值后,氧化膜失去保护作用,摩擦表面温度逐渐上升,金属硬度随之降低并促进表面峰体发生塑性变形,粘着量随之增加,磨损相应加快。在很高的滑动速度下,工件表面局部熔化,机件工作寿命大大缩短。

金属材料表面性质对粘着磨损的影响是不可忽视的。提高摩擦副表层及亚表层材料的强度和硬度,有助于减少粘着。正如前述,粘着点受力时亚表层发生严重塑变,晶体点阵歪扭,部分晶体内还出现微小裂纹。在剪切力的作用下,这部分材料最易成片剥落、断裂。从减少粘着磨损的角度来看,摩擦副外表面的强度和硬度不宜过高,以便表面微峰体形状在相对运动初期就发生变化,尽量减少可能产生于亚表层的应力。

图 1—3 表示粘着磨损过程中磨损量的变化。 oa 段为峰体发生塑变和剪断阶段。在此阶段,随磨损行程增加磨损量较快地增长,通常称为“跑合阶段”。 ab 段磨损量的变化趋于平缓。这是因为跑合已经使表面峰体的塑变进行到一定程度,摩擦副的实际接触面增加,相应降低了应力水平,再加上形变硬

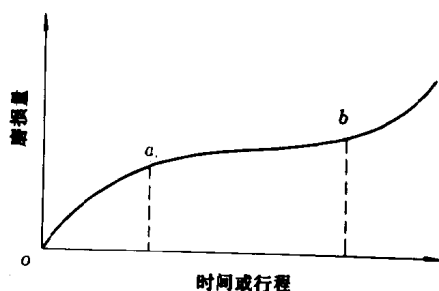


图 1—3 典型磨损过程

化所起的作用,使磨损率基本保持稳定。摩擦行程超过一定限度(b 点)后,由于磨屑的积累、嵌入和运动,摩擦副接触面温度上升很快,粘着量增加,导致磨损速率再度提高。

1.3 磨料磨损

磨料冲击、滑过或滚过工件表面,使金属表面产生磨屑,这些磨屑脱落造成的损耗,一般称为磨料磨损。有些磨料属于非金属材料(如水泥原料、土壤、岩石),也有磨料是金属材料(如抛丸机用的铁丸)。磨料并非专指细小颗粒,一些机件之间的相互作用也会产生磨料磨损,如刮板输送机的链条与中部槽之间发生的磨损。

磨料磨损在工农业中都会造成大量金属损失,但是它也有可以利用的一面。金属切削加工中的研磨,磨削工序,是用磨料从工件表面去除金属的过程,这个过程中一直发生磨料磨损。不过在这些工序中,除去金属是为了达到改善工件表面粗糙度、提高尺寸精度的目的。

磨料磨损是最常见的磨损形式,在工农业生产中,磨料磨损现象几乎是随处可见。例如金属选矿厂、火力发电厂、水泥厂、耐火材料厂使用的球磨机中,研磨体与被粉磨物料、物料与筒体衬板、研磨体与衬板之间的磨损;挖掘机的斗齿与被挖掘物料之间的磨损;破碎机颚板、反击板、锤头与被破碎物料之间的磨损;煤矿用刮板输送机中部槽与原煤及链环之间的磨损;拖拉机履带板、犁铧与土壤之间的磨损;抛丸机叶片与铁丸之间的磨损;以及磨面机、榨油机零件与物料接触部位的磨损都属于磨料磨损。

1.3.1 磨料磨损分类

由于磨料磨损产生于不同的工况,摩擦系统所处的环境各异,磨损过程是复杂和多样的,影响磨损的因素也很多。根