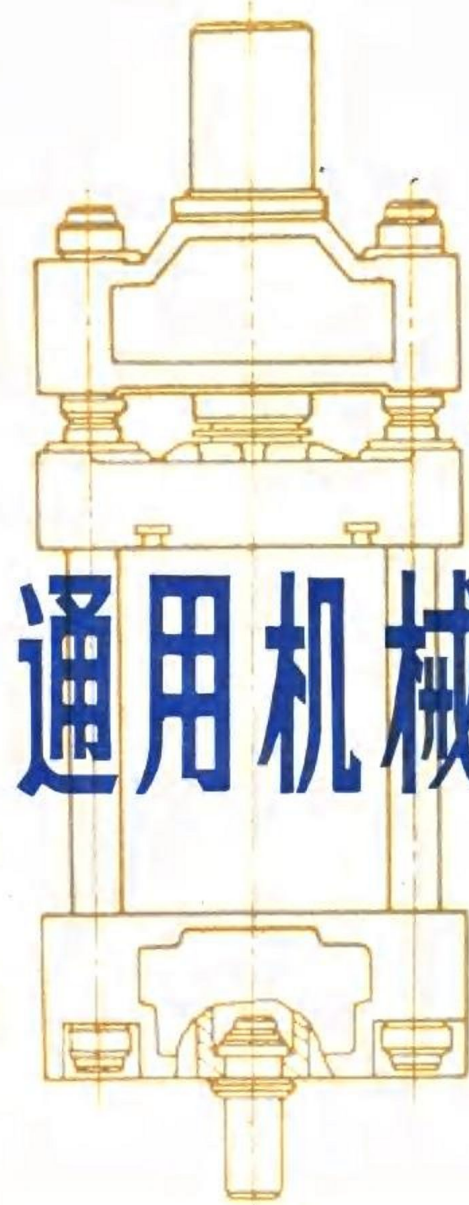




# 通用机械的维护与修理

李 荣 棠 编 著

甘 肃 人 民 大 学 出 版 社

本书介绍机械零件的修理方法和常用零、部件的装配、检验和修理，对破碎机、磨粉机、混捏机、挤压机的安装、试车、维护和修理进行了详细论述。书中的数据均来自生产实践，以图表形式表达出来，便于查找。全书共分七章，即：零件的磨损；零件修理的常用方法及提高耐磨性的工艺；常用零件和部件的装配与修理；破碎机械的使用与修理；磨粉机械的使用与修理；混捏机械的使用与修理；电极水压机的使用与修理。

本书可供机械维修人员在工作中参考，也可做为大、中专院校设备维修专业学生的参考书。

责任编辑：王郁明

封面设计：魏福坤

### **通用机械的维护和修理**

李荣棠 编著

甘肃人民出版社出版

（兰州庆阳路230号）

甘肃省新华书店发行 天水新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张18.25 字数410,000

1982年4月第1版 1982年4月第1次印刷

印数：1—4,800

书号：15096·46 定价：1.55元

## 前 言

随着“四化”建设的迅速发展，工厂中不断采用大、精、尖设备，对设备的维护和修理的水平也提出了更高的要求。加强对设备的维护和修理工作，可以改善设备的工作状况，保证设备安全而可靠的工作，延长设备的使用寿命。

本书从零件的磨损规律入手，介绍了零件常用的修理方法和一些零、部件的装配和检验方法，并以破碎、磨粉、混捏、挤压等设备为例，叙述了维护和修理的方法。书中提供的经验数据均来自生产实践，以图表形式表达出来，供查阅使用。

本书在编写过程中曾蒙阎传万、翟景圣二位工程师审阅，并得到广大工人和技术人员的帮助和指导，在此谨表谢意。

编 者

1981.7.

# 目 录

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| <b>第一章 零件的磨损</b> .....              | ( 1 )  |
| 第一节 基本概念 .....                      | ( 1 )  |
| 第二节 零件的磨损规律 .....                   | ( 1 )  |
| 第三节 磨损的分类 .....                     | ( 3 )  |
| 一、机械磨损 .....                        | ( 3 )  |
| 二、腐蚀磨损 .....                        | ( 7 )  |
| 三、热磨损 .....                         | ( 9 )  |
| 第四节 影响零件磨损的因素 .....                 | ( 10 ) |
| 一、材料对磨损的影响 .....                    | ( 10 ) |
| 二、润滑对磨损的影响 .....                    | ( 18 ) |
| 三、零件表面加工质量对磨损的影响 .....              | ( 24 ) |
| 四、零件的工作条件对磨损的影响 .....               | ( 25 ) |
| <b>第二章 零件修理的常用方法及提高耐磨性的工艺</b> ..... | ( 27 ) |
| 第一节 用焊接法修理零件 .....                  | ( 27 ) |
| 一、钢件的焊接 .....                       | ( 27 ) |
| 二、铸铁件的焊接 .....                      | ( 36 ) |
| 三、有色金属件的焊接 .....                    | ( 39 ) |
| 四、硬质合金的堆焊 .....                     | ( 40 ) |
| 五、金属的氧气切割和电弧切割 .....                | ( 48 ) |
| 六、几种零件的焊接方法 .....                   | ( 51 ) |
| 七、焊接变形与应力及其消除方法 .....               | ( 55 ) |
| 第二节 零件的电镀 .....                     | ( 60 ) |
| 一、概述 .....                          | ( 60 ) |
| 二、镀铬 .....                          | ( 60 ) |
| 三、多孔性镀铬 .....                       | ( 63 ) |
| 四、镀铁 .....                          | ( 64 ) |
| 第三节 零件的金属喷涂 .....                   | ( 65 ) |
| 一、概述 .....                          | ( 65 ) |
| 二、金属喷涂用的设备 .....                    | ( 66 ) |
| 三、金属喷涂的工艺过程 .....                   | ( 68 ) |
| 四、喷涂层的物理机械性能 .....                  | ( 71 ) |
| 第四节 零件的表面渗碳 .....                   | ( 73 ) |
| 第五节 零件的表面淬火 .....                   | ( 75 ) |
| 一、火焰表面淬火 .....                      | ( 75 ) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 二、高频表面淬火·····          | (77)  |
| 第六节 零件的表面强化·····       | (79)  |
| 一、零件表面的喷砂强化·····       | (79)  |
| 二、零件表面的辗压强化·····       | (81)  |
| 第三章 常用零件和部件的装配与修理····· | (84)  |
| 第一节 轴和联轴器的装配与修理·····   | (84)  |
| 一、轴和联轴器的装配·····        | (84)  |
| 二、轴和联轴器的修理·····        | (101) |
| 第二节 滑动轴承的装配与修理·····    | (104) |
| 一、滑动轴承的装配·····         | (104) |
| 二、滑动轴承的修理·····         | (115) |
| 第三节 滚动轴承的装配与调整·····    | (118) |
| 第四节 传动皮带和链条的装配·····    | (131) |
| 第五节 齿轮传动的装配与修理·····    | (133) |
| 一、齿轮传动的装配·····         | (133) |
| 二、齿轮的修理·····           | (141) |
| 第六节 蜗杆传动的装配·····       | (149) |
| 第七节 齿轮油泵的装配与修理·····    | (154) |
| 第八节 转动零件的平衡·····       | (156) |
| 一、转动零件的静平衡试验·····      | (157) |
| 二、转动零件的动平衡试验·····      | (160) |
| 第四章 破碎机械的使用与修理·····    | (164) |
| 第一节 概述·····            | (164) |
| 第二节 齿式对辊破碎机·····       | (165) |
| 一、破碎机的结构及工作原理·····     | (165) |
| 二、破碎机的使用和维护·····       | (168) |
| 三、破碎机的修理和排除故障·····     | (168) |
| 第三节 平辊对辊破碎机·····       | (171) |
| 一、平辊对辊破碎机的结构及工作性能····· | (171) |
| 二、平辊对辊破碎机的工作原理·····    | (172) |
| 三、平辊对辊破碎机的使用和维护·····   | (174) |
| 四、平辊对辊破碎机的修理·····      | (175) |
| 第四节 筛式球磨机·····         | (178) |
| 一、筛式球磨机的结构和破碎过程·····   | (178) |
| 二、筛式球磨机的使用和维护·····     | (180) |
| 三 筛式球磨机的修理·····        | (181) |
| 第五节 颚式破碎机·····         | (184) |
| 一、颚式破碎机的结构和工作原理·····   | (184) |
| 二、颚式破碎机的使用和调整·····     | (186) |
| 三、颚式破碎机的修理与排除故障·····   | (187) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 四、影响颚式破碎机生产率的因素        | (187) |
| <b>第五章 磨粉机械的使用和修理</b>  | (191) |
| 第一节 管式球磨机              | (191) |
| 一、管式球磨机的结构             | (191) |
| 二、管式球磨机的工作原理和工作转速      | (193) |
| 三、管式球磨机的安装             | (197) |
| 四、管式球磨机的操作及系统调整        | (201) |
| 五、管式球磨机的修理及排除故障        | (202) |
| 第二节 悬辊式磨粉机             | (204) |
| 一、悬辊式磨粉机的结构            | (204) |
| 二、悬辊式磨粉机的工作原理          | (209) |
| 三、悬辊式磨粉机的操作与调整         | (211) |
| 四、悬辊式磨粉机的修理和排除故障       | (211) |
| <b>第六章 混捏机械的使用和修理</b>  | (215) |
| 第一节 混捏机械的分类            | (215) |
| 第二节 双轴混捏机              | (217) |
| 一、双轴混捏机的结构与工作原理        | (217) |
| 二、双轴混捏机机体的强度计算         | (220) |
| 三、双轴混捏机的操作和维护          | (222) |
| 四、双轴混捏机的修理和排除故障        | (223) |
| <b>第七章 电极水压机的使用和修理</b> | (226) |
| 第一节 电极水压机的分类           | (226) |
| 一、立式模压机                | (226) |
| 二、带回转工作台的模压机           | (226) |
| 三、卧式挤压机                | (227) |
| 第二节 卧式电极挤压机            | (229) |
| 一、卧式电极挤压机的结构           | (229) |
| 二、卧式电极挤压机的操纵系统和工作原理    | (241) |
| 三、卧式电极挤压机的安装与调整        | (258) |
| 四、卧式电极挤压机的试运转          | (262) |
| 五、卧式电极挤压机的故障及消除方法      | (266) |
| 六、卧式电极挤压机的密封           | (267) |
| 七、卧式电极挤压机的阀件修理         | (280) |
| 八、卧式电极挤压机的大修理          | (282) |

# 第一章 零件的磨损

## 第一节 基本概念

每台机械设备都是由若干个部件和零件所组成，如何提高设备中的零件和部件的使用寿命，是不断提高企业生产水平和保证生产连续化的重要条件之一。对于每台设备而言，使用者的正确操作和进行合理的日常维护，检修人员进行有计划的高质量的修理是使设备经常保持完好状态的首要环节。

零件在工作中，不断地受载荷作用。经过长期的摩擦、冲击、高温和介质腐蚀，零件表面逐渐产生磨损，其几何形状和表层组织不断发生改变，逐步地失去了原有的加工精度和设计性能。零件的磨损降低了设备的机械效率，消耗的能量会急剧增加，生产能力则显著下降，将会出现大量的废品，最后使设备停止工作，进行修理，这是由于零件的正常磨损所致。

由于设备在装配后的调整不适应生产的要求、设备的修理和装配质量低劣、或者操作者的不正当的操作等使设备在运转中产生很大的噪音，或者使零、部件出现突然的损坏，造成设备被迫停止工作，进行修理或抢修，这是零件的事故磨损。

零件的正常磨损和事故磨损，对于设备的使用都是有害的，事故磨损更是不允许的。为了提高设备的利用率，必须减少零件的磨损和损坏。在实际生产中，提高设备利用率的一条重要途径是提高零件的耐磨性，向磨损作斗争。因而认真研究零件的磨损现象和规律，讨论影响磨损的各种因素，制定提高零件耐磨性的措施和方法是十分必要的。

## 第二节 零件的磨损规律

每台设备是否能够经常处于正常的工作状态，在于组成设备的各个零、部件的工作状况，而每个部件的工作状况如何又取决于各个零件磨损量的大小。因为设备在工作中，每个零、部件都将有不同程度的磨损，为了掌握零、部件的磨损情况，正确地检修设备，必须研究其磨损规律。

零件磨损量的大小是由一系列因素决定的，一般地讲，主要是由零件的工作环境、承受载荷的大小、工作温度、零件之间相对运动的速度、摩擦和磨损的类型、润滑油的数量质量和润滑方式、零件之间配合间隙的大小以及设备的日常操作和日常维护的优劣等因素所构成。实践证明，凡是对设备能够进行严格操作，认真地进行日常维护和保养的，都会降低零件的磨损量，延长设备的使用周期，提高设备的利用率；反之，违反设备的操作规程，不加强日常维护和保养就会增加零件的磨损量，甚至发生事故而过早地

进行检修，这就降低了设备的利用率。

我们研究零件的磨损规律，就是要研究设备的零、部件磨损逐渐增长的特性。当零件的磨损量增长到最大的允许极限时，就必须对其加以修理或更换，这样，才能恢复设备的正常工作性能，发挥其应有的工作效率。

各个零、部件在工作中，其磨损是不均匀的，但是，所有零件磨损的发展则又有共同的规律。图 1-1 所示为部件结构正确，在正常的操作和日常维护条件下，磨损量逐渐增长的情况。

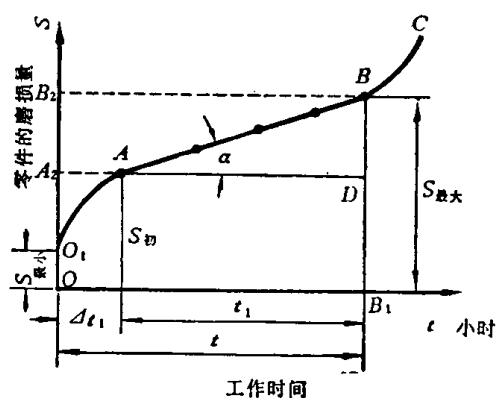


图 1-1 组合零件的磨损曲线

图中横坐标表示零件的工作时间（小时），纵坐标表示零件的磨损量（当时达到的间隙，单位微米）。

曲线具有三个明显部分，分别表示零件不同的三个工作阶段。 $OA$ 段为初期磨损阶段，此阶段是新部件试运转的磨合过程（亦称跑合阶段），在这阶段内，磨损曲线急剧上升，表明部件在投入工作的初期具有较快的磨损。零件在加工时所得到的最初不平度受到破坏，经过擦伤或磨平，形成新的不平度，间隙由 $S_{\text{最小}}$ 增加到 $S_0$ ，当曲线接近 $A$ 点时，磨损速度逐渐降低。曲线 $AB$ 段为正常磨损阶段（或称稳定磨损阶段），部件的磨损成直线均匀缓慢上升，与水平成 $\alpha$ 角，当部件工作经 $OB_1 = t_1$ 小时达到 $B$ 点时，间隙增大到 $S_{\text{最大}}$ ，经过 $B$ 点后，磨损量重新开始急剧上升。 $BC$ 段为事故磨损阶段，此时间隙超过允许的极限间隙 $S_{\text{最大}}$ ，从而增加了部件的冲击作用，润滑油膜被破坏，零件磨损加剧，于是部件处于危险状态。如果设备继续运转，就可能发生事故，故必须停止工作，进行修理。

经过上述分析看出，部件一般应在正常磨损阶段（ $AB$ 段）工作，这样，部件在试运转结束时，即为正常工作的开始。而正常工作終了即转入事故磨损阶段，此时已达到部件的允许极限磨损，故零件必须进行修理或更换。部件在两次修理中间的正常工作时间 $t_1$ 可由下列公式计算：

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{BD}{AD} = \frac{S_{\text{最大}} - S_0}{t_1} \\ t_1 &= \frac{S_{\text{最大}} - S_0}{\operatorname{tg} \alpha} \end{aligned} \quad (1)$$

式中： $\operatorname{tg} \alpha$ ——称为磨损强度。

因为

$$t_1 = t - \Delta t_1 \quad (\Delta t_1 \text{ 为试运转时间})$$

则

$$t = \frac{S_{\text{最大}}}{\operatorname{tg} \alpha} + \left( \Delta t_1 - \frac{S_0}{\operatorname{tg} \alpha} \right)$$

将式中  $\left( \Delta t_1 - \frac{S_0}{\operatorname{tg} \alpha} \right)$  和  $\frac{S_{\text{最大}}}{\operatorname{tg} \alpha}$  比较，显而易见  $\left( \Delta t_1 - \frac{S_0}{\operatorname{tg} \alpha} \right)$  是一个很小的值，可以忽略不计，部件的实际工作时间 $t$ 可由最大间隙（允许极限磨损）和磨损强度求得：



$$t = \frac{S_{\text{最大}}}{\text{tg}\alpha} \quad (2)$$

根据公式(2)所示,为了保证部件有一定的使用时间,应该设法保持磨损强度一定的数值,也就是应该正确地进行日常维护和保养,使间隙不超过最大的允许值。

综合图1—1曲线的分析,我们可以得出部件的磨损规律,磨损可以分为两类:一是自然磨损(正常磨损),二是事故磨损(非正常磨损)。

自然磨损是部件在正常的工作条件下,由于接触表面不断受到摩擦力或受工作环境、温度、介质的影响而产生的逐渐增加的磨损,这是部件在工作中的正常现象。自然磨损是随部件的结构特征、机械加工条件、装配和修理的质量、操作和维护等诸因素的变化而改变的。

事故磨损是由于对设备修理的不及时或修理的质量不佳,以及部件结构缺陷、材料质量低劣、严重违反操作规程等而引起的剧烈磨损。有时由于工作的粗心大意或不能预料的原因也会引起设备的恶性损坏而造成停产。事故磨损是不允许发生的,一旦发生就要全力以赴进行抢修。

工厂中的生产是连续进行的,特别是在高温高尘埃的恶劣条件下,努力降低磨损量是一项极为重要的工作。为了延长部件的使用寿命,必须研究自然磨损的类型和现象、影响磨损的因素以及探讨提高零件耐磨性的措施和方法,以提高设备的生产率。

### 第三节 磨损的分类

自然磨损根据其产生的原因和磨损过程的特性可以分为三种类型:机械磨损、腐蚀磨损和热磨损。这三种类型的磨损基本上包括了设备在正常使用的条件下可能产生的全部主要故障。其中机械磨损是最普遍、最主要、最常见的磨损形式,它对机械设备的威胁也最大。

#### 一、机械磨损

机械磨损是由于零件的金属表面在相对运动中所产生的摩擦和疲劳作用的结果。这种磨损在工矿企业中表现是相当严重的,造成的备件消耗量也是相当惊人的。

目前,关于零件在干摩擦情况下磨损过程的研究还不完善。一般地讲,因摩擦作用而引起的磨损大体可以分为三类:第一类的理论认为摩擦是粗糙的金属表面弹性的交互作用,结果产生磨损;第二类的理论认为摩擦是配合表面分子的交互作用,因分子间的吸引和粘附现象而产生磨损;第三类的理论认为摩擦同时是粗糙表面弹性的交互作用和表面分子间吸引、粘附作用,二者同时作用而产生磨损。第一类的理论称作机械假说,第二类的理论称作分子假说,第三类的理论称作分子机械假说。分子机械假说比较完备地解释了摩擦和磨损的过程。

机械假说是根据零件经过加工以后,表面总是不平滑的,布满着凹凸而成为谷峰状,当零件之间相对运动时,峰与峰之间发生碰击而产生阻力,表面凹凸不平的谷峰间的啮合则在表面上产生弹性和塑性变形,为了克服这种谷峰啮合时的弹性和剪切作用力

而产生的反作用力和随同发生的物理现象即是磨损的过程。根据机械假说的解释，零件表面的粗糙度愈大则表面摩擦力应相应增大。但在实际上这仅适合于比较粗糙的表面，而在比较平滑的表面上随表面平滑度的增加，摩擦力不但不减小反而有增加，在十分光滑的表面上，摩擦力增加得更大。因此用机械假说还不能很完全地解释摩擦和磨损的性质。

分子假说认为，在相对运动的零件相接触或十分贴近的配合表面上，存在着分子的相互吸引和排斥作用。两个摩擦表面愈接近，则分子间吸引和排斥的作用愈大，为克服这种作用所消耗的功能也愈大，功转变为热量消耗在弹性的塑性变形上。结果在金属的接触表面上，有些晶体因晶格的歪扭而被破坏并随滑动面而移动，同时不断发生焊接以及随即撕裂的现象，造成了零件的磨损。分子假说忽视了粗糙度的影响，也不能解释摩擦力随表面粗糙度的增加而增加的现象，故分子假说也不能完善地解释摩擦和磨损。

分子机械假说认为，摩擦具有混合的特性，它既受机械作用的影响，也受分子相互作用的影响，金属表面在相对运动时所发生的摩擦过程，是两种影响的综合。这种假说比较完整地解释了摩擦和磨损的过程。

根据分子机械假说的理论，自然磨损可以分为四种形式：（1）氧化状磨损；（2）热状磨损；（3）磨料状磨损；（4）斑点状磨损。

**机械磨损的氧化状磨损**是零件在摩擦的过程中，所同时产生的金属表面微细的塑性变形和氧化扩散。

零件的金属表面在工作时即被氧化，在摩擦过程中产生了极微细的塑性变形，同时空气中的氧进入到金属表面层中并进行扩散，开始在金属表面形成氧化固溶体，然后进一步形成金属氧化物。由于固溶体和氧化物的形成使金属表面的性质迅速发生变化。

在氧化状磨损的过程中，扩散和塑性变形同时剧烈地进行。扩散的剧烈是由于金属表面层塑性变形时滑动面的增大，并促使金属内充满氧，迅速地形成了氧化固溶体和氧化物所致；塑性变形的剧烈是由于滑动面内具有大量活动的氧原子，氧原子活动的结果使塑性变形如同内润滑，使表面层金属产生很大的活动性和流动性。摩擦表面在形成固溶体时，由于经常形成和带走薄膜而破坏零件，在形成氧化物时，由于周期的形成和剥落氧化层使零件磨损破坏。

在氧化状磨损时，摩擦表面相对移动速度的变化使表面层金属塑性变形的性质和程度发生改变，主要是改变了金属中氧化扩散的速度。按其滑动速度分，氧化状磨损又分为两个阶段：小的滑动速度时为第一阶段，当滑动速度增大时则发展为第二阶段。在第一阶段中，金属表面形成不坚固的氧化固溶体和金属与氧化物的共晶体，经常带走薄膜层；第二阶段中，金属的表面形成片状的金属氧化物层，而且周期地形成和剥落这种金属氧化物层。

氧化状磨损的两个阶段，摩擦力也有较明显的变化。在第一阶段中，摩擦力的数值较小，并且增加的速度比较缓慢；当由第一阶段转入第二阶段时，摩擦力以跃进式的速度增加；当达到第二阶段时，摩擦力的数值较第一阶段时已大为增加，而其增长的速度又趋缓慢了。

氧化状磨损在单位压力不变而零件的速度较低时，由第一阶段转入第二阶段较为缓

慢，随着速度的增大，由第一阶段转第二阶段的速度就加快了，当单位压力增大时摩擦力也会随之增大。

氧化状磨损在滑动摩擦和滚动摩擦时都会产生，但主要在滑动摩擦时产生，在滚动摩擦时氧化状磨损通常随同斑点状磨损产生。

机械磨损的热状磨损是由于零件在摩擦过程中产生了热量，金属表面依摩擦产生的不同热量作用的结果引起的再结晶、回火、淬火和软化等现象，并随同产生了零件接触表面金属的凝固、折皱和烧损等破坏现象。

当零件表面的显微体积在高速和大的单位压力下进行摩擦时即产生大量的热，使金属的表面产生高温和形成热区，这种金属表层在摩擦时所产生的特殊热过程，是根据受热的速度、达到的温度、冷却的条件、表面的结构、表面受热的分布深度及强烈程度等条件而决定的。

金属表面显微结构的变化使金属表面强度降低，而温度的作用使金属内部原子接合力减弱和使金相组织产生相变。摩擦产生的热量在金属表面形成了热区，热区的强度和深度同摩擦表面的载荷条件相适应。当滑动速度增大时（压力不变），热区呈现大量的热量集中和显微结构的急剧变化；当滑动速度较小时，则热区热量集中亦小，其显微结构变化亦比较平稳，同时摩擦力也随滑动速度的增大而增大。但当滑动速度继续增大时，金属表面因热量集中而发生的塑性和熔化使摩擦力逐渐减小。当单位压力增大时（滑动速度不变），热区的温度增长较为缓慢，但摩擦力的增长近似成直线，当单位压力增大到一定程度时，摩擦力的增长又趋平稳。

热状磨损的发展分三个阶段进行：

在第一阶段时，摩擦温度较低，这是热状磨损的初期阶段。此时，因温度作用使金属表面强度降低较少，表面上局部发生接触凝固现象，并产生塑性变形，表面的基体金属中开始聚集温度，金属表面层的破坏具有个别的性质，在表面上交互布满了有一定间隔的撕裂。对于钢来说这一阶段的温度低于 $600^{\circ}\text{C}$ 。

在第二阶段时，摩擦温度较高，使金属表面的强度有很大的降低，接触凝固的数量增多，塑性变形加剧，温度再升高时，接触凝固的面积增大，各个凝固点汇合成点群而如块状的凝固，于是在金属的表面上布满了薄膜和结疤。对于钢来说这一阶段的温度在 $600^{\circ}\text{C}$ 以上。

在第三阶段时，摩擦温度更高，金属表面几乎全部开始软化，塑性变形的程度更高，当温度达到熔点时，金属表面产生细长的薄膜，摩擦的进行犹如液体金属的润滑。对于钢来说这一阶段的温度为 $1400\text{—}1500^{\circ}\text{C}$ 。

在热状磨损的各个阶段中摩擦力的变化各不相同，摩擦力的大小主要决定于表面接触凝固的面积和表面强度这两个因素，在开始阶段随温度的增高和接触凝固现象的增大，摩擦力随之增大，然后随接触凝固现象的继续增大，摩擦力仍然继续增大，最后因表面不断增长的塑性和熔化，而摩擦力大为减小。

热状磨损通常在滑动摩擦具有较大的速度和较大的单位压力时产生。这种磨损是零件在工作中十分严重的磨损现象，热状磨损的破坏程度较氧化磨损大 $10\text{—}100$ 倍，我们在实际工作中决不可忽视热状磨损。

**机械磨损的磨料状磨损**是零件在相对运动摩擦时，因金属表面细微的塑性变形和被剪切下细小坚硬的磨料微粒，而产生的擦伤过程。磨料在摩擦的作用下对金属表面进行切割和刨削，并使表面强化。由于磨粒形状、金属表面强度、表面的粗糙度和表面强化的分布情况等因素的不同，磨料状磨损的程度也不同。有时磨粒是由零件的外部落入的，特别在那些灰尘大，环境恶劣的工厂中，这种现象更为严重。

磨料状磨损的摩擦力是随着不同的滑动速度而变化的，当滑动速度增大时，摩擦力随之降低。摩擦力同样也受单位压力的影响，当单位压力增大时，摩擦力随同按比例直线增长。

因磨料状磨损发展的性质比较单一，并不随同发生很复杂的物理化学过程，在磨损中机械作用是主要的，并且在磨损过程中所发生的热现象对磨损的特性影响很小，所以这种形式的磨损在发展过程中，不容易分出明显的阶段。

磨料状磨损在滑动摩擦和滚动摩擦中都同样发生。

**机械磨损的斑点状磨损**主要是在滚动摩擦时发生，它是一种复杂的显微塑性变形、金属表面复杂的应力状态和重复载荷时的特殊疲劳现象。

在滚动摩擦时，金属表面层的显微塑性变形引起了金属的强化，并随之产生压缩残余应力。在重复交变的载荷作用下，因超过屈服极限引起了疲劳现象，这时磨损表现为细微裂纹形成并继续发展成斑点状的凹坑，而使零件损坏。

斑点状磨损主要依单位压力的大小、载荷的循环振幅、零件的尺寸形状和材料的机械性能而定。这种磨损主要表现在摩擦表面塑性变形层的深度和塑性变形的强度，而塑性变形层的深度确定于裂纹的分布和斑坑的深度，塑性变形的强度象征着斑点状磨损的发展速度。

斑点状磨损通常发生于滚动轴承的工作表面和齿轮齿廓的节圆以下区域。

斑点状磨损不单纯是机械的作用，滚动摩擦表面由于不均匀的显微塑性变形而进行不同程度的氧化，因此斑点状磨损常伴随发生氧化状磨损。在封闭条件下的齿轮传动、润滑油的粘度和油量的多少直接影响齿面斑点状磨损的程度。实践证明，润滑油的粘度愈低、油量愈大，则由于斑点状磨损而引起的零件破坏现象就愈严重。

上述各种磨损是自然机械磨损的四种主要形式，也是零件在工作中的主要磨损形式。在实际上，往往是数种磨损同时进行，不过磨损的程度各有不同罢了。为了提高零件的耐磨性，降低零件的磨损，首先应判断出零件磨损的主要类型，而采取相应的有效措施。

区分磨损的各种形式及其发展的程度，可根据下面两个因素来确定：

1. 由于摩擦表面外部的影响所引起的磨损，主要是：摩擦是滑动的还是滚动的，摩擦表面相对运动速度的大小，摩擦时单位压力的大小和性质，摩擦表面是否带入磨粒，摩擦中产生的热量以及摩擦零件的工作环境等。上述各种条件可以确定摩擦力的性质及其作用的程度，摩擦表面金属强化的情况或显微结构变化的程度。

2. 磨损是由于金属内部的性质所引起的，主要是：金属的机械性能（如金属的强度极限、屈服极限、硬度），金属的耐热性能（金属在高温下对氧化作用的稳定性和对机械载荷的抵抗能力），金属的耐疲劳性能以及在摩擦温度升高时金属对接触凝固的能

力。

由上述两个因素中第一个因素可以确定零件自然磨损的形式，用改变摩擦表面外部影响的特性、条件和作用程度的方法可以改变磨损的类型、形式及其发展的程度。第二个因素很明显，金属的内部性质不仅可以阻止由外部影响所引起的磨损的发展，而且也可以改变磨损的类型和形式。

## 二、腐蚀磨损

零件在使用的过程中，金属表面在受周围介质的化学和电化学作用的同时也受到摩擦或冲击的作用，这些作用使零件受到的损坏称为腐蚀磨损。

腐蚀磨损给设备带来很大的危害，它对零件的破坏是相当严重的，每年有大量金属因腐蚀磨损而报废，造成巨大的损失。腐蚀磨损的危害不仅是零件的损失，更为严重的是会造成设备结构的损坏，在生产中出废品和设备事故，这种磨损有时甚至限制了采用新工艺和新设备的可能性。因此研究腐蚀磨损、防止腐蚀磨损是有一定经济意义的。

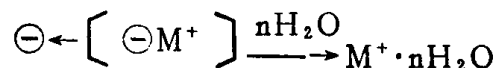
金属的腐蚀磨损按照腐蚀作用的原理分为两种形式：一是电化学腐蚀，是由于电解质作用的结果，有局部电流产生；二是化学腐蚀，是由于干燥的气体或不导电的液体介质作用的结果。电化学腐蚀所引起的金属破坏速度较快，因腐蚀磨损而产生的严重破坏现象多半是由电化学腐蚀造成的，化学腐蚀对金属的破坏速度则较为缓慢。

电化学腐蚀对金属的破坏过程与盐类在水中的溶解过程不相同。盐类溶解于水中时，其晶体的金属离子和酸根离子在晶体表面上同时发生水化作用，即向水中转移，这种过程在晶体整个表面是均匀进行的。

金属在固体状态时都是晶体，原子规律地分布在一定晶系空间的晶格中。位于晶格结点上的原子经常互相交换电子（ $\ominus$ ），这些电子在相当程度上是很自由的，在金属中循不同方向进行移动转换。金属的原子由于失去了电子而成为带正电荷的金属离子（ $M^+$ ），这种原子和中性原子不同，称为金属的离子—原子。

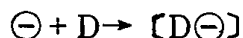
金属的电化学腐蚀过程由三个环节组成：

1. 阳极过程：金属离子进入溶液中起水化作用，而电子不能和水分子牢固地结合，于是在金属上留下当量的电子。金属离子进入溶液和水化的过程为：



因为在金属上的电子和溶液中阳离子不断累积的结果，使电极电位向负的方面急剧地移动，阻碍阳极过程的继续进行，因而阳极过程就很快停止。为了使金属离子继续进入溶液中，必须有吸收过剩电子的阴极过程。

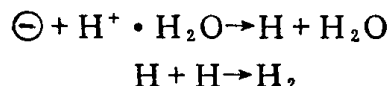
2. 阴极过程：溶液中的某种去极化剂（D）吸收和同化过剩电子的过程称阴极过程。去极化剂（D）在阴极上吸收被还原的原子、分子或溶液中的离子，这种过程为：



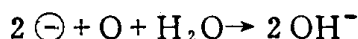
如果阴极吸收过剩电子的过程和阳极过程同时进行，则阳极过程就可以继续不断地进行。

由于腐蚀介质的不同，阴极过程可以是各种不同的电极反应。但是最重要的是水化

的氢离子失去电荷形成中性原子，然后又形成氢分子的过程（氢的去极化），其反应式如下：



另一个是溶解于淡水、海水或其他中性盐类中的氧，还原成氢氧化离子的过程（氧的去极化），反应式如下：



3. 腐蚀电流：阳极过程和阴极过程在零件的腐蚀过程中是独立进行的，金属就在这种电化学作用下不断地受到溶解破坏，这两个过程按其本质和机构而言是不相同的，必须不同的区域内进行，因此，在零件的金属表面分成了阳极区域和阴极区域，在阳极区域进行阳极过程，在阴极区域进行阴极过程。阳极过程使电子在阳极区域释放，产生过剩的电子，这过剩的电子在阴极区域的阴极过程中受到中和，故电子从阳极区域转移到阴极区域。这种电子转移的流动称为腐蚀电流。

在溶液中阳离子 ( $\text{K}_\text{M}^+$ ) 从阳极区域带电向阴极区域移动，同时阴离子 ( $\text{A}_\text{H}^-$ ) 从阴极区域带电向阳极区域移动。

在金属电化学腐蚀过程中如果阳极区域和阴极区域界限分明而占有较大的面积，这时金属的腐蚀是集中的和不均匀的。如果这些区域面积非常小，同时金属真实晶体的金相不均匀、液相不均匀和物理条件不均匀，使金属表面晶体结构不是理想均匀的，因此在金属表面就会形成无数个具有不同电极电位的两个相邻的微小区域，这些微小区域同时进行电化学作用，此时金属的腐蚀是均匀的。

金属的腐蚀性破坏仅在阳极过程中进行，因为阳极区域中金属离子进入溶液，金属是被消耗的。

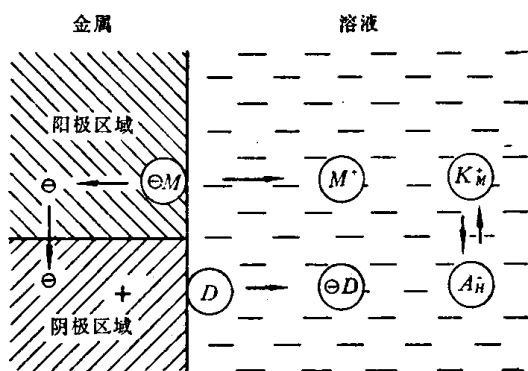


图 1-2 金属腐蚀过程示意图

图 1-2 表示了金属腐蚀过程的示意图，金属离子 ( $\text{M}^+$ ) 失去电子后从金属表面进入溶液中 ( $\text{M}^+$ )，被释放的电子 ( $\ominus$ ) 由阳极区域向阴极区域移动产生了腐蚀电流，去极化剂 ( $\text{D}$ ) 在阴极区域吸收电子 ( $\ominus$ ), 阳离子 ( $\text{K}_\text{M}^+$ ) 从阳极区域带电向阴极区域移动，同时阴离子 ( $\text{A}_\text{H}^-$ ) 从阴极区域带电向阳极区域移动，形成了相互关连和配合的三个环节。

金属的这种腐蚀是发生在不导电的腐蚀性介质中，这种介质为干燥的气体及其他有机物质，如：氧、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氢、氯、氯化氢、氧化氮等气体和汽油、苯、醇类等。其中二氧化硫、氢、氯和氯化氢等气体对金属的危害最大。腐蚀性介质和金属的作用在温度不高时进行缓慢，在高温下腐蚀性介质会使金属产生严重的破坏，而破坏的速度也是相当大的。

为了防止腐蚀磨损,近年来出现了各种新的工艺和方法,如采用抗腐蚀合金、不锈钢等作为制造零件的材料,利用碳素制品作为耐腐蚀材料的效果则更好。就经济和技术观点而言,常采用在零件的表面上增加金属或非金属的保护层,如用热浸、电镀或金属喷涂等方法将锌、铬、镍、锡、铜、铝、铅等金属材料复盖在金属表面上,或用涂料(色漆、清漆、矿物油、凡士林、石蜡溶液等)涂刷在零件表面上作为防腐层。

### 三、热 磨 损

零件直接在高温的条件下工作,其金属表面会发生剧烈的氧化现象,金属的机械性能和零件的几何尺寸都会受到影响,甚至烧坏零件的表面。这种因零件在高温直接作用下受到破坏的形式称为热磨损。

工厂中有很多机械设备都是在很高的温度下进行工作的,如冶金工厂的炼铁炉、炼钢炉及其附件,各种加热炉的附件;碳素工厂的罐式煅烧炉、回转窑及其附件,焙烧炉和石墨化炉的附件等。这些设备和附件由于长期在高温条件下工作,热磨损现象十分严重。

零件的热磨损程度取决于零件在工作中受热的最高温度和受热的时间以及这种高温条件下承受载荷作用的时间。有的零件长时期在高温和重载的条件下工作,其热磨损现象就严重,而有的零件虽然在高温条件下工作,但由于受热状态的时间不长,或成周期性的加热和冷却,则受热磨损影响也较轻微。

零件在高温下能否保持对氧化作用的稳定性,这是零件在高温状态下能否持久工作的重要条件。钢的表面受氧化作用的最初阶段是一种化学过程,当氧化作用进一步加强时,便成为一种复杂的热化学过程了。这时氧不仅与金属化合成氧化物,并且金属离子和氧离子进行扩散,一般是金属离子向外扩散,氧化膜在外表面生长,只有极少情况氧离子(或原子)相对扩散。图1-3为氧化膜形成示意图。

金属氧化膜的厚度决定于扩散速度,扩散速度又依温度和氧化膜的结构而定。温度愈高则松散速度愈快,氧化膜生成愈厚,而氧化膜结构致密则扩散速度就缓慢或停止,氧化膜结构松散则扩散在各种不同程度上进行。氧化膜生长和增厚的过程会使金属表面发生不同情况的破坏现象,如氧化膜形成泡状、剥落起皮和裂开,此时零件表面又重新开始形成氧化膜,氧化膜生长增厚后又开始剥落和起皮,就这样周而复始地破坏零件。

为了提高钢制零件在高温下的抗氧化性能,在冶炼钢时加入某些合金元素,如铬、铝、硅等。这些元素和氧的结合能力较强,它们可以从金属内层很快地扩散到表面,形成一层致密的氧化膜,减慢氧化的速度,从而在零件表面形成一个保护层。

金属在高温下机械性能变化很大,这时金属对机械载荷的抵抗能力与常温时不同,在高温下工作时间愈长,零件的机械性能下降愈显著。钢的弹性系数和比例极限随温度的增加而降低;横向变形系数一般稍有增加;屈服点一般在温度开始增高时增大,而温度超

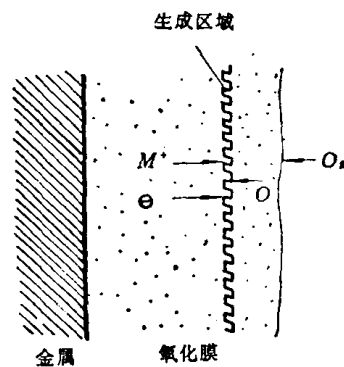


图1-3 金属氧化膜形成示意图

过200°C后屈服点的值却很快降低，塑性在温度增至200—300°C前有若干减小，当温度继续提高时塑性亦随之增加；强度极限在温度达到250—300°C以前较常温时增加，超过这个温度时就急剧下降。故周期性受热（周期时间不长）零件的选择应以在受热温度时的机械性能为标准。

金属在高温下所产生的机械性能变化最显著的现象是变形量，所以零件由于高温和应力作用时其机械性能的变化主要应以变形量为标准。金属在高温时在应力的作用下逐渐变形的现象称为蠕变，金属在产生蠕变的过程中同时进行了两个相反的作用：在塑性变形时发生强化作用；在高温下金属的原子获得很大的活动能力而发生软化作用。第二个作用的影响愈大，则金属的变形量愈大，当零件的温度低于能够促使软化作用显著进行的再结晶温度以下时，则金属不发生蠕变现象，如果零件的温升超过再结晶温度时，则产生显著的蠕变现象。如果温度超过再结晶温度而应力并不超过金属在该温度时的弹性极限时，则只能发生弹性变形而不会发生蠕变。因此，使零件的工作温度低于金属的再结晶温度、或使在工作温度时的工作应力低于金属的弹性极限，这样可以完全消除蠕变现象。但是，在实际上往往是不能达到这种理想状态的。

为了提高钢制零件的高温抗载能力，通常在钢中加入合金元素钨、钼、钒或少量的铬、镍等。铸铁零件当工作温度达到400°C而长期受热时，零件的体积会增大，在高于800°C的温度时更为显著。零件体积增大会发生扭曲变形、组织松散和生成裂纹，使零件破坏。

在高温下铸铁零件体积增大的原因是碳化铁（ $\text{Fe}_3\text{C}$ ）分解为石墨和铁素体的结果。如果零件中硅的含量在5%以上则可以有较好的耐热性能，在实际应用中，铸铁零件有含碳2.3—2.5%和含硅5—7%的成分，其耐热可达到850—950°C，但是硅的含量提高会使铸铁变脆，不适宜在冲击载荷条件下工作。适量的锰和硫能阻止碳化铁的分解，磷能减小铸铁体积增大，并减少气孔，使零件表面致密。

## 第四节 影响零件磨损的因素

### 一、材料对磨损的影响

零件的耐磨性主要取决于材料的硬度和韧性。材料的硬度取决于金属对其表面变形的抵抗能力，但过高的硬度易使材料脆性增加，材料表面容易产生磨粒的剥落，而材料的韧性则可防止磨粒的产生，从而提高耐磨性能。

金属经过轧制和锻压后组织变得致密，提高了耐磨性。由于冶金工业的发展和技术上的提高，广泛地采用新的合金材料和对零件采取各种热处理的方法，可以更为有效地提高零件的耐磨性。

在选用零件的材料时，还应该遵照一个原则：在组合部件中，对于比较贵重和制造加工复杂的零件应采用优质和耐磨的材料；对于较简单的零件，则采用软质的材料。在一般工厂中最常用的材料是黑色金属，可以分为铸铁和钢两类。有色金属如铜、锌、铅、锡、铝等主要是使用它们的合金，例如青铜、黄铜、轴承合金等。金属烧结材料和其他



类型材料如塑料、石墨制品，粉末冶金等在机械设备的制造中具有其独特的优点。

### 1. 黑色金属。黑色金属包括铸铁和钢。

**铸铁**为制造零件的主要材料，一般的零件采用灰铸铁，需要提高韧性的零件采用可锻铸铁，需要提高表面硬度的零件采用冷硬铸铁〔马口铁〕，需要较高机械性能的零件采用合金铸铁或用优质铸铁、球墨铸铁等。

铁素体灰铸铁石墨化的程度完全，铁中所有渗碳体均分解形成石墨，这种铸铁最易磨损。

珠光体灰铸铁只是使组织上自由的渗碳体石墨化，这种组织是具有薄而细小的石墨析出物和珠光体的基体，这种铸铁耐磨性较高。

在珠光体灰铸铁中加入适量的合金元素或进行常化处理，可以得到索氏体灰铸铁，其耐磨性较珠光体灰铸铁大2—3倍。

铸铁的成分中除铁和碳外，所含的硅、锰、硫、磷等杂质对石墨化的条件也起主要影响。硅能加强石墨化，并且含碳量愈多，则硅对石墨的析出影响愈大，故硅和碳对石墨形成的作用一致，又随铸件冷却速度的减慢促进石墨化；锰会阻止石墨化；硫对铸铁起白口化的作用；磷对石墨化不发生什么影响。随着石墨含量的增多虽然材料容易磨损，但因为石墨具有润滑的性能，故又适当地减小了摩擦。

铸铁中加入适量的合金元素对提高其耐磨性有重要作用。通常在铸铁中加入0.5—1.5%的镍和0.2—0.5%的铬可以使铸铁的组织成为分布均匀的细密的珠光体和细小的石墨，而提高铸铁的耐磨性；加入0.2—0.8%的钼能阻止石墨化，并促进组织得到较细小的珠光体晶粒而提高耐磨性；加入0.1—0.15%的钒能提高铸铁的硬度、强度和韧性，而提高耐磨性；以含量不大于2%的铜代替镍加入铸铁中亦可以提高耐磨性。总之，在铸铁中加入合金元素主要是控制铸铁的成分、熔炼、浇铸和冷却速度，从而控制铸铁中石墨的含量及其分布，以提高铸铁的机械性能。

在铸铁中加入能使石墨变为细晶粒的加入剂进行变质处理，可以得到很高的耐磨性。硅化钙（钙30—35%，硅55—65%，铝<5%，铁<5%，碳<0.5%）、硅铁（硅45%或75%、90%）、钙的碳化物和硅铁与硅化钙的混合物等，都可以用来作为加入剂。

应用硅铁铜镁、硅铁镁、铝镁和纯镁硅铁混合物作为加入剂，在铸铁变质处理中使石墨球化，铸铁冷凝后具有索氏体状的珠光体组织，在珠光体中分布球状石墨，它不但提高耐磨性而且还提高铸铁的强度，有时可以代替铸钢使用，这种铸铁称为球墨铸铁。

铸铁经过热处理和化学热处理也可以提高耐磨性，将铸铁进行淬火和回火的双重热处理，可以改进其加工性能而不降低其耐磨性，双重热处理只适用于优质铸铁；铸铁经等温淬火后，耐磨性可以提高数倍；因铸铁对冷却速度的敏感性很强，故将铸铁在金属模中浇铸进行表面热处理后，铸件表面在结晶时形成白口铁的组织，铸件内部仍保持为灰口铸铁而具有适当的韧性，这种冷硬铸铁具有很高的耐磨性。铸铁表面进行渗氮和渗铬的化学热处理，可以得到较高的耐磨性，并延长零件的使用寿命。

**钢**是机械零件中最重要的材料，根据用途的不同，用结构钢、工具钢和特殊钢来制造零件，按照钢的化学成分来分类可分为碳素钢和合金钢。

钢依其各种成分含量的多少而决定其耐磨性能。钢的含碳量愈高，珠光体的量增