

高等学校教学用书

冶金机械設備修理和安裝

北京鋼鐵學院冶金機械教研組編



中國工業出版社

轉
機器
行

高等学校教学用书

冶金机械設備修理和安裝

北京鋼鐵學院冶金機械教研組編



中國工業出版社

轉
機器
行

第一章 机器、部件和机械的磨损	4
第一节 机件的自然磨损和事故磨损	4
第二节 磨损的类型	7
第三节 影响磨损的因素	19
第二章 机器的润滑	33
第一节 润滑材料	33
第二节 润滑材料的选择、消耗和润滑制度	54
第三节 润滑的方法和装置	76
第四节 集中润滑系统的设计和计算	100
第五节 废润滑油的再生	128
第三章 标准机件装配和修理	135
第一节 轴的装配和修理	135
第二节 滑动轴承的装配和修理	161
第三节 滚动轴承的装配和修理	185
第四节 齿轮和蜗轮传动的装配和修理	206
第四章 主要冶金机械和设备的安装	233
第一节 安装工作的概念	233
第二节 机器的基础	240
第三节 轧钢机械和设备的安装	270
第四节 炼铁机械和设备的安装	287
第五节 炼钢机械和设备的安装	318
第六节 起重机的安装	333
第七节 机械设备修理和安装后的试运转和验收	361

第一章 机器 部件和机件的磨损

近代机械化的设备，其技术要求日渐趋向在许可的范围内尽量提高机件受力的强度以减轻机器的重量和保证摩擦机件使用的正确性。机件在工作中其配合表面由于不断受到摩擦、冲击、高温和介质等作用的结果，逐渐产生了磨损，结果使机件的几何形状和金属表层性质（化学成份、组织、机械性能）的改变，机件便丧失了应有的精度和功能。

对机器进行合理的维护和及时的修理，才能使机器保持正常的工作状态而不发生任何故障。当机器的机械效率降低和在传动中发现很大的噪音现象时，这时机器已经存在故障，这可能是由于机器的调整不适于工作的要求，机器修理和装配质量低劣，或由于机器不正常操作的结果。当机器发生故障后，就使机器不能达到其应有的工作能力，能量消耗过多，生产中就会不断出现废品，最后迫使机器停止工作进行修理。

机器故障的产生，其最显著的特征是构成机器的各个组合机件或部件间配合的破坏。组合机件或部件配合的破坏主要是由于过早磨损的结果，这样就使机件的尺寸和形状发生改变。

第一节 机件的自然磨损和事故磨损

机件的磨损由一系列的因素确定，主要是摩擦和磨损的类型，机件的载荷，机件工作的温度，机件间相对运动的速度，润滑油的数量、质量和润滑方法，机件间间隙的大小，机器日常操作和维护的质量。任何违反机器技术操作的程序，降低机件材料的质量，不正确和不及时的修理和装配等，都能使机件产生过度严重的磨损。

为了使机器能够经常保持在正常的工作状态，不使机器发生故障，主要的问题在于研究机器中各个机件逐渐增长的磨损情况，当机件的磨损达到最大的允许极限时，必须将机件加以修复

或更换，这样才可以达到恢复机器工作能力的最大经济效果。

机器在工作中各个机件的磨损并不是均匀的，随工作的条件而异，但是所有机件磨损的发展，则有共同的规律。图1的曲线为组合机件磨损的典型曲线，即机件的结构正确，并且机件在正常的使用情况和遵守机器正确维护的条件下所逐渐增长的磨损。图中横坐标表示机器的组合机件工作的时间（以小时为单位），纵坐标表示磨损的程度（以当时达到的间隙微米为单位）。

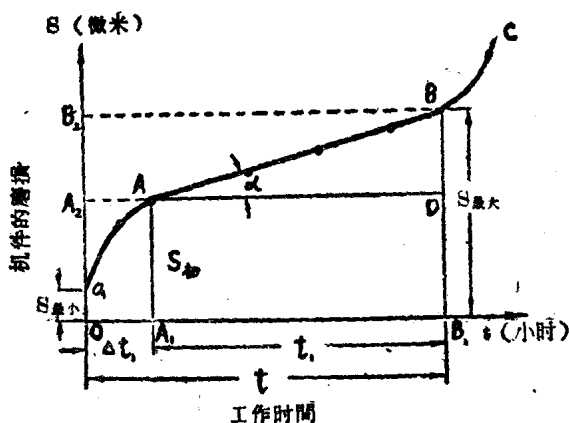


图1 组合机件的磨损曲线

曲线具有三个显著的部分，分别表示不同的工作时期： O_1A 段为初期磨损时期，即新组合机件的试转磨合过程，在这时期内曲线急剧上升，表示组合机件在工作的初期具有较大的磨损，机件在加工时所得到的最初不平度，受到破坏，擦伤或磨平形成新的不平度，间隙由 $S_{\text{最小}}$ 增大到 $S_{\text{初}}$ ，但曲线趋近A点时磨损速度逐渐降低。AB段为正常磨损时期（或称稳定磨损时期），组合机件的磨损成直线均匀上升，与水平成 α 角，当机件工作经 $OB_1 = t$ 小时达到B点时，间隙增大为 $S_{\text{最大}}$ ，经过B点后，磨损重新开始急剧增长。BC段为事故磨损时期，间隙超过最大的允许极限间隙 $S_{\text{最大}}$ ，过大的间隙增加了冲击作用，润滑油膜被破坏，磨损强烈，机件于是处在危险状态，这时机器继续工作，可能立

即发生意外的故障。

我們分析这一曲綫，机件一般工作在正常磨損时期（曲綫的AB段），这样机件在試轉終了时即为正常工作的开始，而正常工作終了时即达到极限允許磨損后轉入事故磨損时期，故机件必須进行修复或更換。机件在两次修理中間的正常工作时间 t_1 可以由下列公式計算：

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

式中： $\operatorname{tg} \alpha$ ——称为磨損强度。

因为

$$t_1 = t - \Delta t_1, \quad (\Delta t_1 \text{ 为試轉時間}),$$

則

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

在上式中 $\left(\Delta t_1 - \frac{S_{\text{初}}}{\operatorname{tg} \alpha} \right)$ 和 $\frac{S_{\text{最大}}}{\operatorname{tg} \alpha}$ 比較，很明显的是一个很小的值，可以忽略不計，机件的实际工作时间 t 可由最大間隙（极限允許磨損）和磨損强度求得：

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

根据公式（2）所示，为了保持机件一定的使用时间，應該設法保持磨損强度一定的数值，也即是應該正确进行日常保养，同时應該使間隙不超过最大的允許极限值，也即是在超过該允許的最大值时，机件應該进行修理或更換了。

分析图1曲綫結果，我們可以得出結論，机件的磨損可以分为两类，可能是自然的（正常的）磨損，或是事故的（过早的，迅速增长的，或突然发生意外的）磨損。

自然磨損是機件在正常的工作條件下由於接觸表面不斷受到摩擦力的結果，有時由於受周圍環境溫度或介質作用的結果，產生逐漸增長的磨損。機件根據不同的結構特徵、機械加工條件、操作條件、修理和裝配的质量、維護的技藝等，而產生不同的磨損，這種自然磨損是由上述條件所決定不可避免的正常現象。

事故磨損是因為對機器修理的不及時或質量不高，或因機件結構的缺陷和材料質量的低劣，或因嚴重違反操作規程，而引起劇烈的磨損發生事故，有時由於工作的疏忽大意或不能預料的原因和天災，引起機器惡性的損壞被迫停工。事故磨損應該認為不允許的。

冶金工廠工作的特徵是工作的連續性、載荷大和溫度高，這種條件使機械設備在極端繁重和惡劣的情況下工作，因此向磨損作鬥爭在冶金工廠更顯得特別重要。為了提高機件的使用期限，保證設備工作正常，必須研究自然磨損的類型和現象，影響磨損的因素，以及提高耐磨性的措施和辦法。

第二節 磨 損 的 類 型

自然磨損根據其產生的原因和磨損過程的本質，可以區分為三種類型：腐蝕磨損、熱磨損和機械磨損。以上三種類型的磨損現象，實際上完全包括了機器在正常使用條件下可能產生的全部主要故障。

1. 腐 蝕 磨 損

機件在使用過程中其金屬的表面受周圍介質的化學和電化學作用，同時受到摩擦或衝擊的結果而使機件損壞，稱為機件的腐蝕磨損。

腐蝕磨損的破壞給國民經濟造成巨大的損失，據估計每年有大量的金屬因腐蝕磨損而不能繼續使用，其中大部分損壞的金屬只能回爐使用，有一部分（約10%）成為粉末完全損耗了。腐蝕磨損危害不僅只是金屬的損失，而最嚴重的是金屬結構的損壞，

造成生产中的废品和设备事故，腐蚀磨损有时甚至限制了创造新机器和新技术操作过程的可能性。

金属的腐蚀磨损按照腐蚀作用的原理具有两种形式：1) 电化学的腐蚀，是由电解质作用的结果，有局部电流产生，2) 化学的腐蚀，是由于干燥的气体或不导电的液体介质作用的结果。金属因腐蚀磨损所产生的严重破坏现象，多半是由电化学的腐蚀所引起的，化学腐蚀对金属的破坏则比较缓慢。

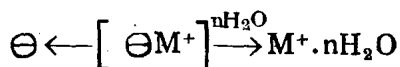
金属的电化学腐蚀性破坏过程是和盐类在水中的溶解过程不相同的。

当盐类溶解于水中时，盐类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及向水中的转移而进行的，这种过程在晶体整个表面均匀的进行。

在固体状态的金属都是晶体，原子规律的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很自由的，在金属中循不同的方向移动转换，金属的原子实际上失去电子，因而成为带正电荷的金属离子 (M^+)，这种原子和中性的原子不同，称为金属的离子-原子。

金属电化学腐蚀的过程是三个环节的互相关系和配合，这三个环节是：

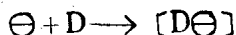
1) 阳极过程 金属离子进入溶液中起水化作用，而电子不能和水分子牢固的结合，于是在金属上留下当量的电子。金属离子进入溶液和水化的过程为：



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

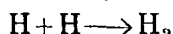
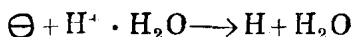
2) 阴极过程 溶液中的某种去极化剂 (D) (即可以在阴极上被还原的原子、分子或是溶液中的离子) 吸收、同化过剩的

电子。这过程为:



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。

在不同介质的腐蚀情况下, 阴极过程可以是各种不同的电极反应。一般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):



和溶解于淡水、海水或其他中性盐类中的氧, 还原成氢氧离子的过程(氧的去极化):



3) 腐蚀电流 阳极过程和阴极过程在一定程度上是独立进行的, 金属在这种电化学作用下受到溶解(破坏), 但这两个过程按其本质和机构而言都是不同, 必须在不同的区域内进行, 因此, 在金属表面分成了阳极区域和阴极区域, 分别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, 这过剩的电子于阴极过程中在阴极区域受到中和, 故电子必须从阳极区域转移到阴极区域而产生了电子的流动, 产生了腐蚀电流:



(阳极区域) (阴极区域)

在溶液中阳离子(K^+)从阳极区域带电向阴极区域移动, 同时阴离子(A^-)从阴极区域带电向阳极区域移动。

金属的表面分成了阳极区域和阴极区域进行全部电化学作用的过程, 这种区域可能是两个占有界限分明较大的面积, 进行了腐蚀过程互相关系和配合的三个环节, 是由于产生了原电池所作的功使金属破坏, 这时腐蚀是集中的和不均匀的。也可能这些区域面积非常小, 密集互处, 因金属真实晶体的表面常不是理想均匀的(金相的不均匀、液相的不均匀和物理条件的不均匀) 因

此形成具有不同电极电位的两个相邻的微小区域，在金属表面产生很多的原电池，这个系统就形成局部的微电池，这时金属的腐蚀是均匀的。

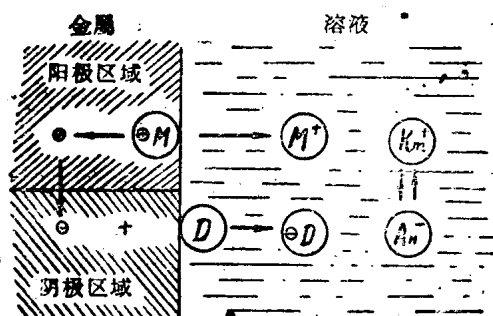


图 2 腐蚀过程示意图

应该指出，金属的腐蚀性的破坏仅在阳极过程进行，在阳极区域中金属离子进入溶液，金属才被消耗。

图 2 表示了金属腐蚀过程的示意图，金属离子从金属表面进入溶液中，被释放的电子由阳极区域流向阴极区域

产生腐蚀电流，然后极化剂在阴极区域吸收电子，形成了互相关系和配合的三个环节。

金属的化学腐蚀表现为腐蚀反应的产物直接生成于发生反应的表面区域。这种腐蚀发生于不导电的腐蚀性介质中，这种介质为干燥的气体如氧、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氢、氟、氯化氢、氧化氮等，各种有机物质如汽油、苯、醇类等。因为金属和腐蚀性气体与有机物质间的作用在温度不高时进行缓慢，故机器和零件只有在高温的条件下才有严重的破坏性。

为了防止腐蚀磨损采取了各种方法，用新的抗蚀合金和不锈钢等作为制造机件的材料，但就经济和技术观点，常采用在机件的表面上增加金属的或非金属的保护层，用热浸、电镀或金属喷镀等方法，将金属材料锌、铬、镍、锡、铜、铅、铝等复盖在机件表面，或用涂料（色漆、清漆）、涂料（矿物油、凡士林、石蜡溶液）涂刷在机件表面上。

2. 热 磨 损

机件直接在高温的条件和影响下工作，使金属表面发生剧烈

的氧化現象，降低金屬的機械性能，改變機件的幾何尺寸，有時甚至機件表面被燒壞，這些機件因高溫直接作用所產生的破壞形式稱為熱磨損。通常在冶金工廠中有很多機械設備都在很高溫度的條件下工作，如高爐的爐頂設備及其他附件，平爐和加熱爐的附件，軋道，起重機和各種盛罐等。

機件遭受熱磨損的現象，首先應估計機件在工作中受熱的最高溫度和受熱的時間，同時根據在這高溫下受載荷作用的時間。有的機件雖然在高溫的作用下，但受熱狀態的時間不長，周期性的加熱和冷卻，而有的機件則長期處在加熱狀態和應力的作用下。

機械零件在高溫條件下工作，還能夠維持本身結構和性質的完整，不遭受熱磨損的破壞，主要是具有耐熱性，即在高溫下對氧化作用穩定性的能力和抵抗機械載荷的能力。

在高溫下能夠保持對氧化作用的穩定性，這種性能對機件在高溫時能夠保證耐久工作的重要條件。鋼的表面受氧化作用的最初階段是一種化學過程，當氧化作用進一步加強時，便成為一種複雜的熱化學過程了。這時氧不僅與金屬化合成氧化物，並且金屬離子和氧離子進行擴散，一般是金屬離子向外擴散，氧化膜在外表面生長，只有極少情形氧離子（或原子）相對擴散（圖3）。

氧化膜的厚度決定於擴散速度，速度依溫度和氧化膜的結構而定。氧化膜結構致密則擴散緩慢或停止，結構松散則擴散在各種程度上進行。氧化膜在生長增厚過程中，發生不同情況的破壞現象，如形成泡、剝落和裂開等。

保護鋼制機件在高溫時不氧化的基本方法是鋼在冶煉時加入某些合金元素，如鉻、鋁、矽等，因為這些元素和氧的亲和力較高，可以從金屬內層很快擴散到表面形成一層致密的氧化膜，而阻止氧化速度。

金屬在高溫下其機械性能的变化很大，這時金屬對機械載荷能力的抵抗已與常溫時不同。不僅是溫度提高的數值，特別在這溫度下工作時間的長短顯著影響其機械性質。

鋼的彈性系數和比例極限隨溫度的增加而降低；橫向變形系

数一般稍有增加；屈服点一般在温度开始增高时增大，而温度超过 200°C 后屈服点的值即很快降低；钢的塑性在温度增高至 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 前有若干减小，当温度继续提高时塑性亦随即增加；钢的强度极限在温度达到 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 以前较常温时增加，超过这温度时就急剧降低。故受热为周期性（时间不长）的机件，应按在该受热温度时的机械性质标准来选择。

金属在高温下所产生的机械性能变化最显著的现象是发生变形量。故机件长时处在受热状态和应力作用下时，其机械性质标准主要应按变形量来选择。这种金属在高温时受应力作用下的逐渐变形的现象称为蠕变。

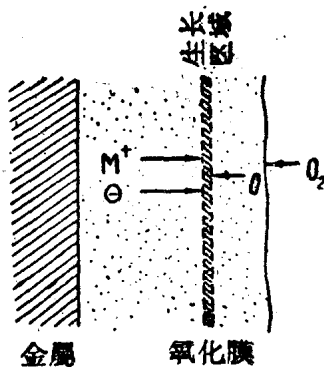


图3 金属氧化膜形成示意图

金属产生蠕变的过程是一方面金属在塑性变形的作用下发生金属的强化作用，而另一方面因高温下金属的原子获得很大的活动能力而发生强化消失的软化作用，在变形过程中进行了两个同时又相反的作用。第二个作用因素的影响愈大，则金属的变形量愈大，因此机件加热到一定温度时，如果这一温度在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作用并不超过金属在该温度时的弹性极限，这样应力仅能引起弹性变形，蠕变就不会发生。使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，可能完全消除蠕变现象，但在实际上往往不能达到这目的。

为了改善钢制机件在高温下抵抗机械载荷的能力，通常在钢中加入合金元素钨、钼、钒或少量的铬、镍等。

钢铁机件的工作温度达到 400°C 而长期加热时，即发生机件

体积的增大，在高于 800°C 的温度冷却时更为显著。体积增大后使机件发生扭曲变形、組織松散和生成裂紋。

在高温下鑄鉄增大的原因是由于碳化鉄 (Fe_3C) 分解为石墨和鉄素体的結果。在高温下工作的机件，如果矽的含量在 5% 以上可以得到較好的耐热性能，在实际应用中鑄鉄机件含有 2.3~2.5% C 和 5~7% Si 的成份，其耐热性能可达到 $850\sim 950^{\circ}\text{C}$ ，但含矽量提高使性质变脆，不适宜在冲击条件下工作。适当含量的錳和硫能阻止碳化鉄的分解。磷能减小生鉄体积增大，并减少气孔和使机件表面致密。

因为冶金工厂中很多設備都是高温下工作，故对机件的热磨损应十分注意。

3. 机械磨损

机件在正常的工作条件下逐渐增长的自然磨损中，机械磨损是最普遍和最主要的一种磨损形式，它基本上是由于机件的金属表面在相互运动所产生的摩擦力作用的结果。

关系机件在干摩擦情况下磨损过程的本质问题，目前对这方面的研究还不很完善。根据苏联许多学者的研究，因摩擦作用而引起磨损过程的理論，大致可以分为三类：第一类的理論說明了摩擦是粗糙的金属表面弹性的交互作用，结果产生磨损；第二类的理論說明了摩擦是配合表面分子的交互作用，因分子間的吸引和粘附现象，结果产生磨损；第三类的理論說明了摩擦同时是粗糙表面弹性的交互作用和表面分子間吸引和粘附的作用，结果产生磨损。这个分子机械的理論是由苏联的 И.В. 喀拉格里斯基 (Крагльский) 教授和 Б.В. 吉良金 (Дерягин) 教授所提出的，比較完善地解释了摩擦和磨损的过程。

机件经过机械加工后，表面总是不平滑的滿布着凹凸成为谷峰状的粗糙度，当机件間进行相对运动时，則峰和峰之間发生碰击而产生机件相对运动的阻力，和表面凹凸不平的谷峰間嚙合，結果在表面上产生弹性和塑性变形，为了恢复这种谷峰嚙合时的弹性和剪切作用力，因此所产生的反作用力和随同发生的物理現

象，这是根据机械假說所解释的摩擦和磨损过程。

根据机械假說所解释的摩擦现象，如果机件表面的粗糙度愈大，则表面摩擦力应该相应的增大，但是在实际上这种条件仅适合于比较粗糙的表面上，而在比较平滑的表面上，随表面平滑度的增加，摩擦力的值不但不减小反而有增加，在十分光滑的表面上，摩擦力的值增加得更大。因此用机械假說来解释摩擦和磨损的性质，不能满意的作为理论的基础。

分子假說的解释是相对运动机件相接触或十分贴近的配合表面上，存在着分子的互相吸引和排斥而消耗必需的功能。两个摩擦表面愈接近，则分子间吸引和排斥的作用愈大，因此所消耗的功能也愈大，产生摩擦力所需的功能就转变为热量，消耗在弹性变形和塑性变形上。结果在金属的接触表面上有些晶体因晶格的扭曲而破坏并随滑动面而移动，同时不断发生焊接以及随后撕裂现象的结果，造成了机件的磨损。

分子假說也不能完善地解释摩擦和磨损的现象，尤其是忽视了粗糙度的影响，它不能解释摩擦力随表面粗糙度的增加而增加，故也不能作为摩擦和磨损性质的理论基础。

分子机械假說认为摩擦具有混合的特性，它既受机械作用的影响，也受分子互相作用力的影响。金属表面在相对运动时所发生的摩擦过程，完全是综合进行的，是机械、物理和化学现象的总和。这种假說比较完整地解释了摩擦和磨损的性质。

苏联学者研究机器中因摩擦作用而发生的自然机械磨损规律性和各种复杂现象的构成情况，应用了许多综合方法。根据苏联学者 Б.И. 柯斯捷次基 (Костецкий) 研究的结果，自然的机械磨损可以区分为四种形式：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机件在摩擦的过程中所同时产生的金属表面层微细的塑性变形和氧化扩散。

机件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。固溶体和氧化物的形成使金属表面的性质迅速地发生变化。

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；塑性变形的剧烈是由于滑动面内具有很大数量活动的氧原子，大量活动的氧原子作用的结果，使塑性变形如同内润滑，表面层金属产生很大的活动性和流动性。摩擦表面在一相氧化磨损（形成固溶体）时，由于经常的形成和带走薄膜而破坏机件，在二相氧化磨损（形成化合物）时，由于周期的形成和剥落氧化层使机件破坏。

当氧化状磨损时，摩擦表面相对移动速度的改变使表面层金属塑性变形的性质和程度发生改变，这主要改变了金属中氧化扩散的速度。在小的滑动速度时先发展第一阶段的氧化磨损，速度增大发展成第二阶段的氧化磨损。氧化状磨损的这两个阶段是：

1) 在第一阶段中，金属的表面形成不坚固的氧化固溶体和金属与氧化物的共晶体，经常带走的薄膜层形成氧化状磨损。

2) 在第二阶段中，金属的表面形成成片的金属氧化物层，周期地形成和剥落硬的或脆的氧化层形成氧化状磨损。

氧化状磨损在第一阶段时，摩擦力的数值较小，并且缓慢地增长，当氧化状磨损由第一阶段转入第二阶段的期间，摩擦力成跃进式的迅速增加，当达到第二阶段时，这时摩擦力的数值较第一阶段时已大为增加，而增长的速度又趋缓慢。

氧化状磨损在单位压力一定时，机件的速度较低时，由第一阶段转入第二阶段较为缓慢，随着速度的增大，就迅速地由第一阶段转入第二阶段。当单位压力改变时，随压力的增长使摩擦力随同增长。

氧化状磨损通常在滑动摩擦和滚动摩擦时都产生，而在滑动摩擦时则是主要的，在滚动摩擦时氧化状磨损常随同斑点状磨损而产生。

机械磨损的热状磨损是由于机件在摩擦过程产生了热量，金

属表面依摩擦产生的不同热量作用的结果引起了再结晶、回火、淬火和软化等现象，并随同产生了机件接触表面金属的凝固、折皱和烧化等破坏。

当摩擦机件表面的显微体积处在高速和大的单位压力下进行摩擦时即发生大量的热，使金属的表面形成热区和高温度，这种金属表面层在摩擦时所产生的特殊热过程，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和强烈程度等条件而定。

金属表面显微结构的变化引起了金属表面强度的降低，因为温度作用时使金属内部原子接合力减弱和产生金属组织的相变。金属因摩擦产生的热量在金属表面层形成了热区，热区的强烈程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），则热区呈现很大的热量集中和显微结构的急剧变化；滑动速度较小时，则热区热量集中亦小，其显微结构的变化亦比较平稳。同时，滑动速度不同时摩擦力随速度的增大而增大，但速度继续增大时金属表面因热量集中发生增长的塑性和熔化使摩擦力逐渐减小。当单位压力增长时（滑动速度不变），热区温度的增长较为缓慢，但单位压力的增长，其摩擦力随同近似成直线比例增长，在较高的单位压力时，摩擦力的增长又趋平稳。

热状磨损的发展按三个阶段进行：

1) 在第一阶段时，这时摩擦温度较小，在这热状磨损初期的阶段因温度作用使金属表面强度的降低较少，表面上局部的发生接触凝固现象，并产生塑性变形，而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，于是在表面上交互的布满了有一定间隔的撕裂。对于钢这一阶段的温度小于 600°C 。

2) 在第二阶段时，摩擦温度提高，使金属表面的强度很大的降低，接触凝固的数量增多，塑性变形加剧，温度再提高时，接触凝固的面积增大，各个凝固点汇合成点群如块状的凝固，于是在金属表面上布满了薄膜和结疤。对钢这一阶段的温度为 600°C 或更高一些。