

# 微结构表面改 性提高摩擦性 能

## 微结构表面改性提高摩擦性能

### 一、摩擦性能概述

摩擦是日常生活和工业生产中常见的现象，其性能直接影响着许多方面。良好的摩擦性能对于机械设备的正常运行、能源利用效率以及材料的使用寿命等都具有至关重要的意义。

#### （一）摩擦的基本概念

摩擦是指两个相互接触并挤压的物体，当它们发生相对运动或具有相对运动趋势时，在接触面上会产生阻碍相对运动或相对运动趋势的力，这种力就叫做摩擦力。摩擦力的大小与物体表面的粗糙程度、材料的性质以及接触面上的压力等因素密切相关。根据物体的运动状态，摩擦可分为静摩擦和动摩擦，而动摩擦又可进一步分为滑动摩擦和滚动摩擦。

#### （二）摩擦性能的重要性

##### 1. 机械系统运行稳定性

在机械工程领域，如汽车发动机、航空发动机、工业机械等，各个零部件之间的摩擦性能直接关系到设备的运行稳定性。如果摩擦过大，会导致零部件磨损加剧，降低设备的精度和可靠性，甚至引发故障。例如，汽车发动机中的活塞与气缸壁之间的摩擦，如果不能有效控制，会使发动机功率下降、油耗增加，严重时可能导致发动机拉缸等严重问题。

## 2. 能源利用效率

摩擦会消耗大量的能量，据统计，约有三分之一的能源消耗在克服摩擦上。在工业生产中，各种传动装置、运输设备等都存在摩擦损耗。提高摩擦性能，降低摩擦系数，可以有效减少能源的浪费，提高能源利用效率。例如，在风力发电机中，优化叶片与空气之间的摩擦性能，可以提高发电效率；在高速铁路中，降低车轮与轨道之间的摩擦阻力，可以减少能源消耗，提高列车的运行速度和经济性。

## 3. 材料寿命与可靠性

对于许多工程材料，如金属、陶瓷、聚合物等，摩擦磨损是导致材料失效的主要原因之一。通过改善摩擦性能，可以延长材料的使用寿命，提高产品的可靠性。在航空航天领域，零部件的可靠性要求极高，因为一旦发生故障，后果不堪设想。采用表面改性技术提高摩擦性能，可以确保零部件在恶劣环境下长时间稳定运行。

### （三）传统提高摩擦性能的方法及其局限性

## 1. 润滑技术

润滑是最常用的降低摩擦的方法之一，通过在摩擦表面之间添加润滑剂，如润滑油、润滑脂等，形成一层润滑膜，将两个摩擦表面隔开，从而减少直接接触和摩擦。然而，润滑技术存在一些局限性。首先，润滑剂的使用需要定期添加和更换，增加了维护成本和工作量。其次，在一些高温、高压、高速等极端工况下，润滑剂可能会失效，无法提供有效的润滑和摩擦降低效果。此外，润滑剂的泄漏还可能对环境造成污染。

## 2. 材料选择与优化

选择合适的材料也是提高摩擦性能的一种方法。例如，使用具有自润滑性能的材料，如石墨、二硫化钼等，可以在一定程度上降低摩擦系数。然而，材料的性能往往受到多种因素的限制，单一材料很难同时满足多种工况下的要求。而且，某些高性能材料的成本较高，限制了其广泛应用。

## 3. 表面处理技术

传统的表面处理技术，如淬火、氮化、镀铬等，可以提高材料表面的硬度和耐磨性，从而间接改善摩擦性能。但是，这些方法往往只能在一定程度上提高表面性能，对于复杂工况下的摩擦性能改善效果有限。例如，在高温氧化环境下，镀铬层可能会发生氧化脱落，失去其保护和耐磨作用。

## 二、微结构表面改性技术

随着科技的不断发展，微结构表面改性技术作为一种新

兴的方法，为提高摩擦性能提供了新的途径。

### （一）微结构表面改性的概念

微结构表面改性是指在材料表面制备出微观尺度的结构，通过改变表面的形貌、粗糙度、纹理等特征，来调控材料表面的摩擦性能。这些微结构可以是规则的几何形状，如凹槽、凸起、孔洞等，也可以是具有有一定随机性的微观形貌。微结构的尺寸通常在微米甚至纳米级别，其对摩擦性能的影响主要基于表面效应、尺寸效应和界面效应等微观机制。

## （二）微结构表面改性的方法

### 1. 光刻技术

光刻技术是一种高精度的微加工技术，常用于半导体制造领域。在微结构表面改性中，光刻技术可以通过掩膜版将设计好的图案转移到材料表面，然后利用化学腐蚀或物理刻蚀等方法在材料表面制备出微结构。光刻技术的优点是可以精确控制微结构的尺寸和形状，能够制备出复杂的二维和三维微结构。然而，光刻技术设备昂贵、工艺复杂、生产效率低，限制了其在大规模工业生产中的应用。

### 2. 激光加工技术

激光加工技术利用高能量密度的激光束对材料表面进行加工，通过熔化、气化或烧蚀等方式在材料表面形成微结构。激光加工技术具有非接触、高精度、灵活性强等优点，可以在各种材料表面制备出不同形状和尺寸的微结构。此外，激光加工还可以实现对材料表面的局部改性，对材料基体的损伤较小。但是，激光加工过程中可能会产生热影响区，影

响材料的性能，并且激光设备的成本也相对较高。

### 3. 化学刻蚀技术

化学刻蚀技术是利用化学反应将材料表面的部分物质去除，从而形成微结构。这种方法通常需要将材料浸泡在特定的化学溶液中，通过控制刻蚀时间、温度、溶液浓度等参数来控制微结构的形成。化学刻蚀技术操作简单、成本较低，可以制备大面积的微结构。但是，化学刻蚀的选择性较差，难以精确控制微结构的形状和尺寸，而且化学试剂可能对环境造成污染。

### 4. 微纳米压印技术

微纳米压印技术是一种通过模具将微纳米结构复制到材料表面的方法。该技术将具有微纳米结构的模具压在材料表面，在一定的压力和温度下，使材料表面发生塑性变形或固化，从而复制出模具上的微结构。微纳米压印技术具有高分辨率、高效率、低成本等优点，适用于大规模生产微结构表面。然而，模具的制作成本较高，且模具的使用寿命有限，需要定期更换。

## (三) 微结构表面改性对摩擦性能的影响机制

### 1. 表面形貌与粗糙度的影响

微结构表面的形貌和粗糙度对摩擦性能有着重要的影响。表面的凸起和凹槽可以改变接触面积和接触应力分布，从而影响摩擦力的大小。当表面粗糙度适当时，微结构可以起到储存润滑剂的作用，在摩擦过程中形成润滑油膜，降低摩擦系数。此外，微结构表面的粗糙度还可以影响摩擦过程中的磨损机制，减少磨粒磨损和粘着磨损的发生。

## 2. 微结构尺寸效应

在微结构表面改性中，微结构的尺寸处于微米或纳米级别，会产生明显的尺寸效应。随着微结构尺寸的减小，表面原子所占比例增加，表面能增大，材料的物理和化学性质发生变化。这种尺寸效应会影响材料表面的吸附、扩散和化学反应等过程，进而改变摩擦性能。例如，在纳米尺度下，微结构表面的原子更容易与润滑剂分子发生相互作用，提高润滑剂的吸附能力和润滑效果。

## 3. 界面效应与润滑机制

微结构表面改性可以改变材料表面与润滑剂或对磨材料之间的界面性质。微结构可以增加界面的接触面积，促进润滑剂在界面上的分布和吸附，形成更稳定的润滑膜。同时，微结构表面的特殊形貌还可以产生流体动压效应或弹流润滑效应，在摩擦过程中形成额外的润滑作用，降低摩擦系数。此外，微结构表面还可以改变磨损颗粒的运动轨迹和分布，减少磨损颗粒对摩擦表面的损伤。

### 三、微结构表面改性在不同领域的应用

微结构表面改性技术由于其独特的优势，在众多领域得到了广泛的应用。

## （一）机械工程领域

### 1. 轴承与轴颈表面改性

在机械传动系统中，轴承和轴颈是关键摩擦副部件。通过微结构表面改性，可以在轴承和轴颈表面制备出具有良好润滑性能和耐磨性的微结构。例如，采用激光加工技术在轴承表面制备出微凹槽结构，可以储存润滑油，在运转过程中形成连续的油膜，降低摩擦系数，提高轴承的使用寿命和承载能力。同时，微结构表面还可以减少磨损颗粒的聚集，降低磨损速率，提高机械系统的稳定性和可靠性。

### 2. 活塞与气缸壁表面改性

汽车发动机、压缩机等设备中的活塞与气缸壁之间的摩擦性能对设备的性能和效率有着重要影响。微结构表面改性技术可以在活塞和气缸壁表面制备出特定的微结构，改善润滑条件，减少摩擦损失。研究表明，在活塞表面制备出纳米级的凸起结构，可以增加润滑油的吸附能力，形成更薄且更稳定的润滑膜，有效降低活塞与气缸壁之间的摩擦系数，提高发动机的燃油效率，减少尾气排放。

### 3. 切削刀具表面改性

在金属切削加工过程中，刀具的磨损和摩擦会影响加工质量、效率和成本。微结构表面改性可以提高刀具的切削性能和耐磨性。例如，在刀具表面制备出微纳米级的纹理结构，可以改善切屑的流动和排出，减少刀具与工件之间的摩擦和粘附，降低切削力和切削温度，从而延长刀具的使用寿命，提高加工表面质量。

## （二）汽车制造领域

### 1. 轮胎表面改性

轮胎与地面之间的摩擦性能直接关系到汽车的操控性、安全性和燃油经济性。微结构表面改性技术可以应用于轮胎胎面设计，通过在胎面橡胶表面制备出特定的微结构，如花纹、凹槽、凸起等，来提高轮胎的抓地力和排水性能。在湿滑路面上，轮胎表面的微结构可以快速排出积水，增加轮胎与地面的接触面积，提高摩擦力，确保车辆的行驶安全。同时，合理设计的微结构还可以降低轮胎的滚动阻力，减少燃油消耗。

### 2. 制动盘表面改性

汽车制动系统的性能关键在于制动盘与制动片之间的摩擦性能。微结构表面改性可以在制动盘表面制备出具有良好散热性能和摩擦性能的微结构。例如，采用激光熔覆技术在制动盘表面制备出多孔微结构，可以增加制动盘的表面积，提高散热效率，防止制动过程中因温度过高而导致的热衰退

现象。同时，微结构表面还可以改善制动片与制动盘之间的接触状态，提高摩擦系数的稳定性，确保制动的可靠性和安全性。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/648012071055007002>