

为什么摩擦力是由电磁力引起的

王福合¹ 侯新杰²

(1 北京市首都师范大学物理系 100048 ;

2 新乡市河南师范大学物理与电子工程学院 453007)

在新的普通高中课程标准实验教科书《物理》必修1的第三章相互作用一章中指出：“自然界中最基本的相互作用是引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用。常见的弹力、摩擦力是由电磁力引起的”。为什么摩擦力是由电磁力引起的？从本质上讲摩擦力是怎样形成的？这些问题是中学教师应该清楚但未必清楚的问题。为此我们定性分析摩擦力形成机制，探讨摩擦力为什么是由电磁力引起的，以帮助老师们理解把握新教材。

两个互相接触的物体，当它们发生相对运动或具有相对运动趋势时，就会在接触面上产生阻碍相对运动的力，叫做摩擦力。由于摩擦力与人的生活息息相关，所以有关摩擦力的研究和探索也一直在进行着。一般认为接触面越粗糙，两个物体之间的最大摩擦力越大，但实验证明当接触面非常光滑时，两个物体之间的最大摩擦力不是减小，而是更大。所以直到今天很多人对于摩擦力产生的机理还认识得不是十分清楚。

摩擦力产生的机理是一个十分复杂的问题。自15世纪人们开始研究摩擦起，一直到17世纪末，科学家们才逐步建立起了“机械啮合理论”。啮合理论认为摩擦产生的原因是表面凸起相互间的机械作用和材料形变。当两个物体接触挤压时，接触面上很多凹凸部分就相互啮合，如果物体之间沿接触面发生滑动或有滑动趋势，凸起部分相互碰撞，就产生断裂、磨损，形成对运动的阻碍。人们后来又提出了“黏着摩擦理论”，该理论认为物体在相互挤压时，由于表面在原子分子水平上表现为非常粗糙，只有凸出点才相互接触，使得实际接触面积只占表观接触面积的很小部分，因此在凸出的接触点上的压强可以达到非常大，将超过材料的“弹性限度”，而使材料在接触处发生塑性变形，这时接触处两物体的原子或分子则形成化学键，

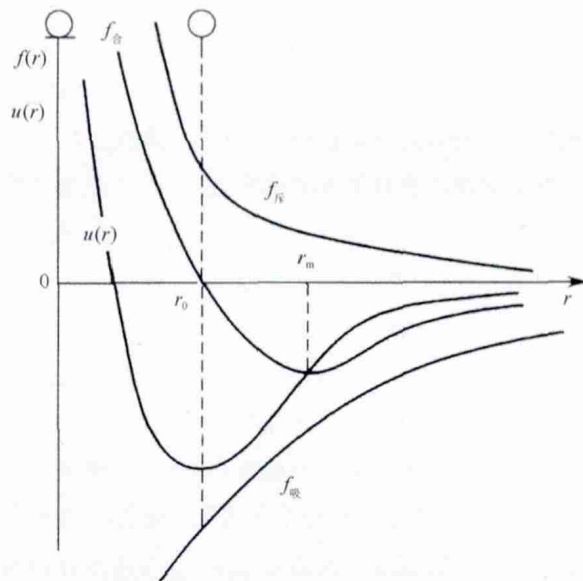


图1 晶体中粒子间相互作用势能 u 和相互作用力 f 随粒子间距的变化

具有很强的黏着力，此时两个物体表面就像被“冷焊”在一起。如果要使两物体彼此沿接触面发生相对滑动，则必须拉断粘合部分，于是就产生了摩擦。

综上所述，摩擦力产生的机理是非常复杂的。要想讨论摩擦力的本质我们还必须从微观的角度来分析。众所周知，固体是由大量的粒子（原子、离子或分子）组成。在固体中两个粒子之间都有相互作用，图1分别给出了两个粒子之间的相互作用势能 $u(r)$ 和相互作用力 $f(r)$ 随粒子之间距离 r 的变化曲线。当两个粒子相距无穷远时二者没有相互作用；当它们相互靠近时便发生相互作用，既有吸引作用，又有排斥作用；在粒子间距 r 较大时，吸引作用起主要作用；反之当粒子间距 r 很小时，排斥作用起主要作用；当粒子间距离为 r_0 时粒子间的相互作用势能最低，两种相互作用达到平衡，使晶格处于相对稳定的状态，此时的 r_0 即为两个粒子间的键长。这里的吸引作用来自原子核和电子之间的库仑引力，而排斥作用是来自同

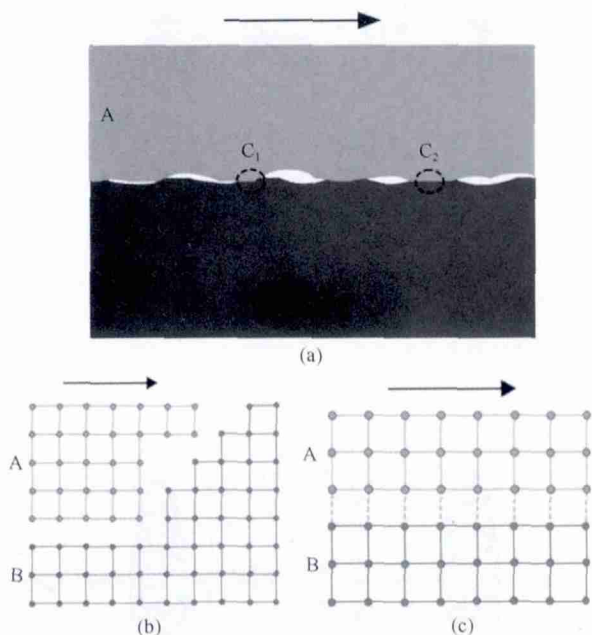


图2 两个物体 A 和 B 产生摩擦时的界面示意图。其中 (b) 和 (c) 分别为 (a) 中接触点 C_1 和 C_2 放大到原子级别时的结构示意图

号电荷（如原子核与原子核、电子与电子）的库仑排斥力和泡利不相容原理所引起的排斥作用。这些作用均为电磁力。

现在我们来讨论摩擦力形成的机理。当物体 A 和 B 接触挤压时，一般情况下由于两个物体表面比较粗糙，接触面上只有凸出点才相互接触，形成如图 2 (a) 所示的界面。由于实际接触面积只占表观接触面积的很小部分（只占万分之一），因此在凸出的接触点上的压强可以达到非常大，将超过材料的“弹性限度”，而使材料在接触处发生塑性变形，形成一些像 C_1 和 C_2 那样的接触点，其局部放大到原子大小的级别时分别如图 2 (b) 和 (c) 所示。

在接触点 C_1 处，当物体 A 相对于物体 B 有如图中箭头所指方向的移动趋势时，位于接触点 C_1 处物体 A 中的粒子越来越接近物体 B 中的粒子（尽管此时从宏观上看物体 A 相对于物体 B 并没有发生滑动），根据图 1 中粒子间相互作用曲线可知，当物体 A 和 B 中的粒子间距过近时，粒子之间出现很强的排斥力，从而阻碍物体 A 相对于物体 B 的运动，这就是啮合理论所给出的摩擦力机制。

在接触点 C_2 处，物体 A 中的粒子与物体 B 中的近邻粒子形成化学键，粒子位于平衡位置。当物体 A 相对于物体 B 有如图中箭头所指方向的移动趋势时，

位于接触点 C_2 处物体 A 中的粒子将有远离物体 B 中相应的近邻粒子，使平衡时的化学键断开，根据图 1 中粒子间相互作用曲线可知，当物体 A 和 B 中的粒子间距从 r_0 逐渐变大时，粒子之间出现很强的吸引力，从而阻碍物体 A 相对于物体 B 的运动，这就是黏着摩擦理论所给出的摩擦力机制。

一般情况下两个物体的接触面越粗糙，二者之间的最大摩擦力越大，这可以用啮合理论来解释，此时摩擦力主要是由粒子间的排斥力引起的。但当接触面非常光滑时，两个物体之间的最大摩擦力不是减小，而是增大，如在真空中把两块经过精细抛光（表面非常光滑）的金属紧密地放在一起，则二者之间的摩擦力会非常大，这可以用黏着摩擦理论来解释，此时摩擦力主要是由粒子间的吸引力引起的。

由上述分析我们可以看出：从原子和分子级别来看，摩擦力主要来自于粒子间的排斥和吸引作用，而这些排斥和吸引作用均来自于粒子间的电磁力，所以摩擦力在本质上是由电磁力引起的。

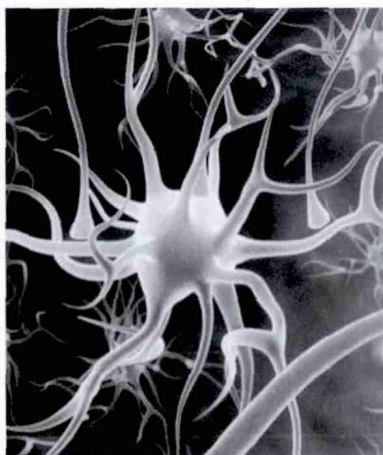


科苑快讯

老年痴呆治愈有望

许多神经退行性疾病，包括老年痴呆，都是蛋白质产生错误折叠或出现其他差错（称为朊病毒）所致。作为对抗朊病毒的防御机制的一部分，大脑会发现病毒蛋白并停止蛋白质的生产，以防止病毒扩散。这一机制对其他错误蛋白也会启动，但停止生产蛋白质会导致脑细胞的死亡。

莱斯特大学的马露西（Giovanna Mallucci）和同事口服药可以阻止此反应，完全预防小鼠的朊病毒诱



发型神经退行性疾病变。这是首次成功阻止神经退行性疾病变，被誉为有效治疗老年痴呆症的一个转折点。

（高凌云编译自 2013 年 11 月 20 日《欧洲核子中心快报》）