

经典 Kendall 薄膜撕脱模型的拓展*

彭志龙¹, 陈少华²

(1. 中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 北京 100190;

2. 北京理工大学先进结构技术研究院, 北京 100081)

薄膜撕脱模型可简单、有效地表征界面性质, 广泛应用于薄膜/基底系统。然而, 经典的 Kendall 模型仅考虑了薄膜达到稳态撕脱后的黏附行为, 目前对薄膜在基底上整个撕脱过程的脱粘机理仍不清楚。为此, 我们应用最小势能原理研究了薄膜在基底上撕脱的全过程, 重点考虑了薄膜弯曲刚度、撕脱角和界面黏附能对撕脱行为的影响, 得到了薄膜在不同弯曲刚度和撕脱角下撕脱力-位移关系曲线以及撕脱过程中薄膜构型的变化。结果表明: 当撕脱角和黏附能一定时, 薄膜弯曲刚度对起始撕脱过程(达到稳态撕脱前)有重要影响, 撕脱力随弯曲刚度的增大而增大; 当薄膜达到稳态撕脱后, 撕脱力保持不变。最大撕脱力受弯曲刚度、撕脱角和黏附能的影响, 并非总是出现在稳态阶段, 有可能在达到稳态之前撕脱力就已达到最大值。进一步分析薄膜在粗糙基底上的准静态撕脱过程, 得到了撕脱力的封闭解。研究发现: 撕脱力在撕脱过程中随粗糙度呈周期性变化, 基底粗糙度能显著提高薄膜的撕脱强度(最大撕脱力), 并且撕脱强度随着粗糙度的增大而增加; 当基底粗糙度增大到某临界值时, 薄膜将在波峰或波谷位置自发脱粘。当薄膜在湿环境中与基底黏附接触时, 环境相对湿度产生的毛细力对薄膜撕脱行为的影响比较复杂, 毛细力对界面黏附的增强或减弱作用取决于固-液、液-气界面黏附能的竞争。本研究结果对理解薄膜/基底系统的界面黏附行为及设计高强度界面具有重要的理论指导意义。

* 通讯作者: 彭志龙(1984-), 男, 助理研究员, 主要从事固体力学研究. E-mail: zlpeng@lnm.imech.ac.cn
陈少华(1972-), 男, 教授. E-mail: shchen@bit.edu.cn