

固体力学进展

S07

CCTAM2009-002855

非局部理论新框架和基于新框架的塑性应变梯度理论

王自强

中国科学院力学研究所, 北京 100190

纳米材料和器件的蓬勃发展, 微机电系统和微电子元件微型化趋势, 先进材料微结构设计以及精细薄膜涂层, 促使材料科学家和力学家关注微米尺度和纳米尺度范围内材料的力学行为。大量实验表明, 当非均匀塑性变形的特征长度在微米量级时, 金属材料材料呈现很强的尺度效应。典型的实验包括: 细铜丝扭转; 纯镍薄膜弯曲; 不同金属材料的微纳米压痕; 碳化硅粒子增强的铝-镁基复合材料实验。简要介绍微尺度塑性理论发展概况, 说明了 Fleck-Hutchinson 的应变梯度理论和 Gao 和 Huang 等人的 MSG 理论成功地解释了大量的实验现象。但是这些理论均包含高阶应力, 其控制方程和附加的边界条件相当复杂, 而且与高阶应力对应的附加边界条件往往难以唯一确定, 这给分析和计算带来很大的困难。为此作者和合作者提出了《不含高阶应力的塑性应变梯度理论》。这个理论保持经典塑性理论的基本框架, 只是在切线模量中引入拉伸应变梯度和弯扭张量的影响。其控制方程并不比经典理论的控制方程复杂, 而且不包括附加的边界条件, 从而给分析和计算带来很大方便。这个理论成功预测了细铜丝扭转; 纯镍薄膜弯曲; 不同金属材料的微压痕; 薄膜基底的微压痕; 碳化硅粒子增强的铝-镁基复合材料等的实验结果。本文进而介绍了作者和合作者最近提出的《非局部理论新框架和基于新框架的塑性应变梯度理论》。经典的非局部理论将宏观应力看作是非局部量, 它不涉及高阶应力, 跟目前公认的塑性应变梯度理论没有任何内在的联系。本文将体元的应变能密度看作是非局部量, 提出了非局部理论新框架。能量非局部模型的本构关系不仅包括宏观应力的非局部公式而且包括高阶引力的非局部公式。前者与经典非局部理论的公式一致。在此基础上建立了塑性应变梯度理论。该理论成功预测了细铜丝扭转; 纯镍薄膜弯曲; 金属材料的微压痕的实验结果。

S07

CCTAM2009-002856

表面吸附引起的表面变形与微梁弯曲和共振频移

余寿文, 张吉桥, 冯西桥

清华大学航天航空学院工程力学系, 北京 100084

yusw@mail.tsinghua.edu.cn

原子/分子吸附在固体表面上时, 由于其与基底表面原子的相互作用, 导致固体表面物理和化学性质的改变。由于外来原子/分子的吸附, 表面会发生变形, 如形成表面微凹。微凹的形成可以应用于对表面进行纳米构造, 如利用吸附分子在表面上的规则排列来实现表面的纳米构造。人们可以制造各种传感器, 来对吸附体进行探测和识别, 通过结构对表面吸附的力学响应, 反过来了解表面吸附的情况, 如吸附原子/分子的种类, 吸附物质量等。由

于微梁结构具有灵敏度高, 可信度好, 响应快, 尺寸小和造价低等优点, 被制作成传感器, 应用于物理, 化学和生物领域。微梁传感器的两种操作模式: (1) 静态模式: 由于外场作用或其自身的内应力变化而导致的微梁弯曲; (2) 共振模式: 由于弹性的变化, 附加质量或者是阻尼的变化而导致的微梁共振频率变化。微梁传感器涉及到其表面上的化学或物理相互作用, 针对外加激励的本质, 可分为物理, 化学和生物传感器。迄今为止, 虽然有不少学者对表面吸附引起微梁传感器的力学响应如静态弯曲, 共振频移都进行了不少的研究, 但是大多都是局限于实验或者是定性, 半定量解释, 在力学理论建模计算研究方面还缺乏定量完备的统一描述。在原子尺度上直接研究表面缺陷(台阶)对吸附原子/分子的动力学行为影响的理论研究尚不多见。吸附原子受表面缺陷(台阶)的影响是很大的, 吸附原子在台面上的动力学行为与其种类有关, 对于力偶极子值为负的吸附原子, 台阶-吸附原子之间的相互作用为排斥, 吸附原子趋于在两台面中间汇集; 对于力偶极子值为正的吸附原子, 台阶-吸附原子之间的相互作用为吸引, 吸附原子趋于附着到台阶缺陷处(成核)。吸附原子/分子与基底原子之间的相互作用主要包含 van der Waals 吸引力和 Pauli 排斥力, 该相互作用随基底变形而改变, 是一个位移依赖的非线性力。在连续介质力学的框架下, 本文研究了在该非线性力作用下的基底变形, 提出了一个计算表面变形的力学模型。在此基础上, 进一步研究表面能和表面弹性对表面变形的影响。建立了表面吸附引起微梁静态弯曲和共振频移的力学模型, 得到了表面吸附引起微梁弯曲的挠曲线函数, 定量计算了微梁的弯曲挠度; 得到了吸附原子-微梁系统的共振频率表达式, 定量计算了吸附原子-微梁系统的共振频率; 分析了表面弹性和表面层厚度对微梁弯曲挠度和共振频率的影响。结果表明: 吸附原子与基底, 吸附原子间的相互作用对微梁弯曲起主导作用, 它们之间的竞争机制决定着微梁的弯曲行为(向下弯曲和向上弯曲); 表面吸附引起微梁有效质量的变化和弯曲刚度的变化, 它们之间的竞争机制决定着微梁的共振行为(共振频率减小或增加); 微梁的弯曲行为和共振行为依赖于吸附原子种类和基底材料。表面弹性和表面层厚度均具有显著的尺度效应, 在纳米尺度下, 应同时考虑表面弹性和表面层厚度的影响。关键词: 表面吸附, 表面缺陷, 微梁传感器, 弯曲与共振频移, 表面弹性

S07

CCTAM2009-002857

Surface-induced Size-dependent Young's Modulus in Nano Materials

Zhang Tongyi, Luo Miao

Department of Mechanical Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China, mezhangt@ust.hk