

## 微纳米复合材料力学

MS34

CCTAM2009-003170

多壁纳米碳管增强环氧树脂基复合材料的低温力学性能研究

付绍云, 杨庆生, 陈振坤, 杨娇萍

中国科学院理化技术研究所, 北京 100190

syfu@mail.ipc.ac.cn

环氧树脂在低温工程领域有广泛应用, 低温力学性能为评判其是否适合在极端低温环境中应用的重要依据。为了满足低温环境的苛刻要求, 改善环氧树脂低温强度和韧性具有重要意义。在前期工作中, 我们研究了柔性胺改性、热塑性改性、超支化改性、聚氨酯改性、稀释剂改性、二氧化硅和蒙托土纳米改性环氧树脂的低温力学性能, 对低温强度和韧性有不同程度的改善效果。纳米碳管被认为是聚合物的优异增强体, 但遗憾的是对聚合物室温力学性能的改善效果有限, 主要原因是纳米碳管分散难和界面结合弱。该文研究了超声技术制备的多壁纳米碳管增强双酚 F 型环氧树脂基复合材料的低温力学性能, 纳米碳管含量从 0.02wt% 至 2.0wt% 之间变化。由于温度的下降, 纳米碳管/环氧树脂界面强度明显变强, 从试样断口扫描电镜照片观察到纳米碳管表面黏结了环氧树脂基体。低温力学性能研究结果表明适当含量纳米碳管的引入同时改善了液氮温度 (77K) 下环氧树脂的强度、模量、失效应变和冲击强度。在引入 0.5wt% 多壁纳米碳管含量时, 综合低温力学性能达到最佳, 5 个试样的平均低温拉伸强度从未改性环氧树脂的 92.7MPa 提高到 119.4MPa, 低温延伸率从 2.5% 提高到 3.2%。国家自然科学基金资助项目 (10672161)。

MS34

CCTAM2009-003171

CS 和 SG 应变梯度介质的椭球形 Eshelby 张量

马寒松, 梁立红, 魏悦广

中国科学院力学研究所, 北京 100190

mahs@lnm.imech.ac.cn

研究了 CS(偶应力) 和 SG(二阶梯度) 应变梯度复合材料中的单夹杂问题, 分别得到了无限大各向同性 CS 和 SG 应变梯度介质中含有椭球形夹杂时的 Eshelby 张量的解析表达式, 该解析解只包含一个一维积分, 是目前应变梯度椭球形 Eshelby 张量最简单的形式。球形夹杂、长纤维夹杂的 Eshelby 张量都可以由它简化得到, 是其中一种特殊形式。数值计算结果显示, 这两种应变梯度椭球形 Eshelby 张量在夹杂内都是不均匀的, 但是变化不大, 因而可以用其平均性质来近似模拟它们。对 CS 和 SG 平均椭球形 Eshelby 张量的计算发现, 当夹杂尺寸同基体的特征尺度相当时, 尺度效应现象得到体现; 当夹杂的尺寸远大于基体的特征尺度时, 该 Eshelby 张量退化为传统的 Eshelby 张量。国家自然科学基金 (10702070) 和非线性力学国家重点实验室青年基金资助项目。

关键词: Eshelby 张量, CS 应变梯度, SG 应变梯度

MS34

CCTAM2009-003172

T 应力对单晶裂尖力学行为影响的分子静力学模拟

范亮亮, 陈常青

西安交通大学航天航空学院振动与强度教育部重点实验室, 西安 710049, cchen@mail.xjtu.edu.cn

裂尖位错发射机制是研究裂纹韧脆转变的关键问题。对于单晶材料, 这一机制必然与晶体结构及裂尖的应力状态相关。断裂力学理论指出, 很多情况下裂尖附近平行于裂面的非奇异正应力场 ( $T$  应力) 对于材料断裂行为的影响是不可忽视的, 并且一般认为负  $T$  应力会提高  $K_{IC}$ 。 $T$  应力可能在一定程度上影响晶体材料中裂尖的位错发射过程, 甚至导致裂纹的韧脆转变。本文采用分子静力学模拟 (molecularstatics) 的方法, 对  $T$  应力对单晶裂尖力学行为影响进行了研究, 模拟了 OK 条件下含单个半无限裂纹的铜单晶体, 在不同应力强度因子  $K_I$  及  $T$  应力组合的远场载荷共同作用下的裂尖位错发射过程。结果表明,  $T$  应力会影响位错发射的临界应力强度因子, 一般情况下负  $T$  应力会提高材料断裂韧性; 而且在一些特殊晶向下,  $T$  应力达到某一临界值时可能导致裂尖的塑性变形机制发生改变, 甚至导致材料的韧脆转变。国家自然科学基金 (10425210, 10832002) 和 863 计划 (2006AA03Z519) 资助项目。

关键词: T 应力, 韧脆转变, 分子静力学, 位错发射

MS34

CCTAM2009-003173

碳纳米管非线性力学行为的数值模拟

姚小虎, 韩强, 张晓晴

华南理工大学土木与交通学院工程力学系, 广州 510640

yaoxh@scut.edu.cn

将分子动力学和连续介质力学相结合, 提出了改进的有限元方法, 系统地研究了单壁和多壁碳纳米管在轴压、弯曲和扭转载荷作用下的大变形非线性力学行为。改进的有限元方法主要包括: 采用考虑几何非线性效应、横向剪切效应的连续弹性壳体理论来模拟单壁碳纳米管; 构建特殊的接触单元来模拟分子间范德华力的非线性作用; 考虑由石墨板卷曲曲率引起的碳纳米管的初始内应力。首先利用非线性大变形弹性壳模型模拟了单壁碳纳米管的非线性力学行为。结果表明, 有限元方法得到的屈曲临界值与已有的分子动力学模拟结果吻合较好, 而且碳纳米管后屈曲构型也和分子动力学模拟结果吻合很好, 从而验证了有限元方法的正确性, 为系统地研究单壁和多壁碳纳米管在各种载荷作用下的非线性力学行为提供了有力的依据。在此基础上, 利用改进的有限元方法, 研究了范德华力对多壁碳纳米管屈曲性能的影响; 同时研究了单壁和多壁碳纳米管各种几何参数对其在各种载荷作用下的大变形力学行为的影响。将有限元结果与连续介质力学的壳体理论、欧拉屈曲理论以及现有的分子动力学结果进行了对比, 给出了连续介质壳体理论和欧拉屈