

加工流场诱导聚合物纳米复合材料热导率变化的数值模拟

杨灿¹, 尹晓红¹, 李熹平², 张克华²

1. 中德智能制造学院, 深圳技术大学, 广东省, 深圳

2. 工学院, 浙江师范大学, 浙江省, 金华

简介: 从聚合物成型加工流场调控角度出发, 研究不同流场条件下纤维状导热填料形态的演变及其对聚合物复合材料有效热导率的影响规律。具体以聚碳酸酯 (PC) 为基体, 多壁碳纳米管 (MWCNTs) 为导热填料, 建立填料随机分布于基体内的复合材料模型 (图1)。

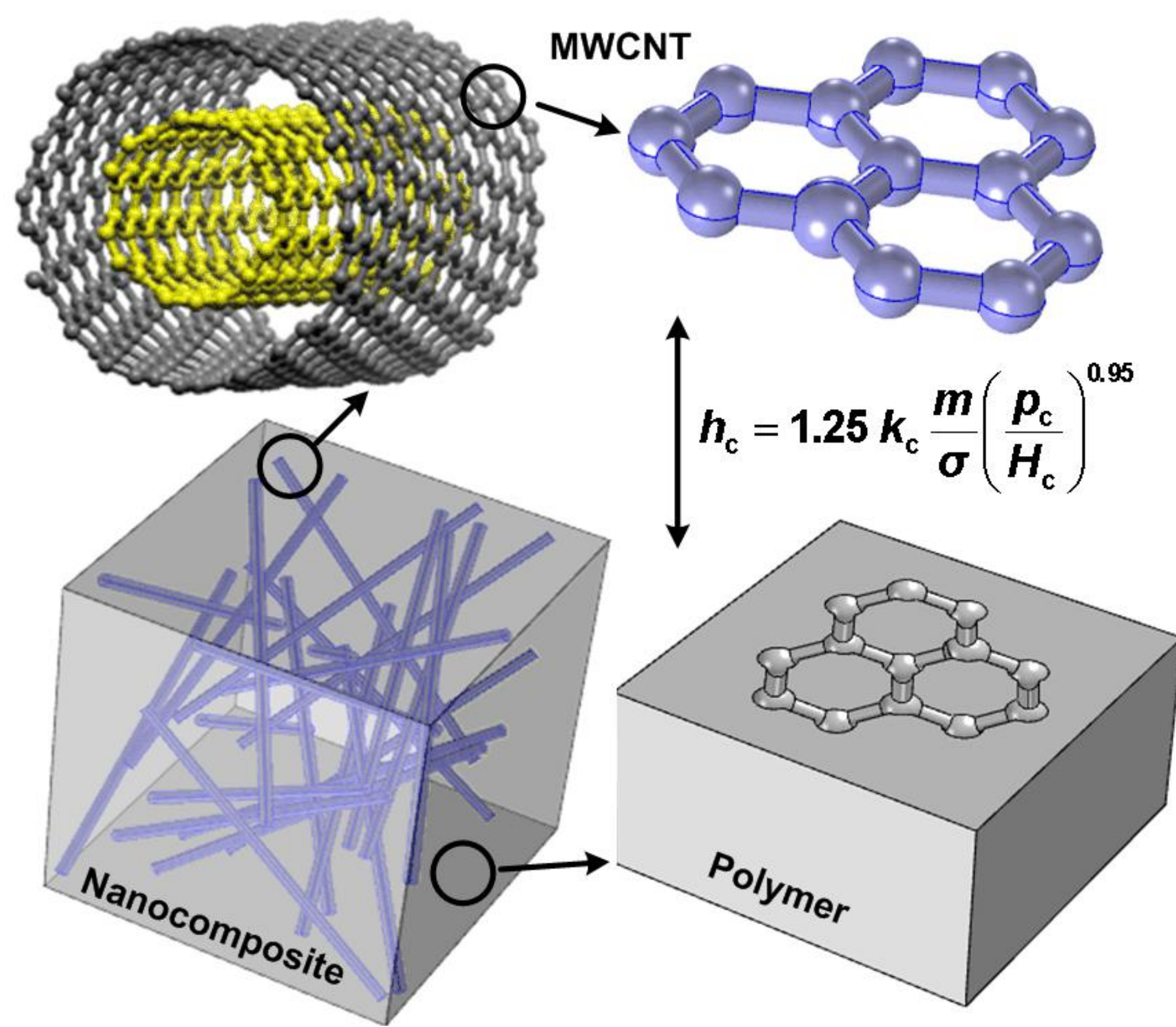


图1. 聚合物基体/碳纳米管界面建模过程示意图

计算方法: 通过调控填料的取向度、长度以及基体/填料间的接触压力分别模拟流场作用下填料的取向分布、折断以及基体/填料间的界面作用。其中, 填料的取向通过调控填料模型轴线的方向得以实现 (图2), 基体/填料间的界面作用采用Cooper-Mikic Yovanovich (CMY) 模型进行建模 (图3), 填料折断则通过产生若干组正态分布的随机数来表征 (图4) [1]。

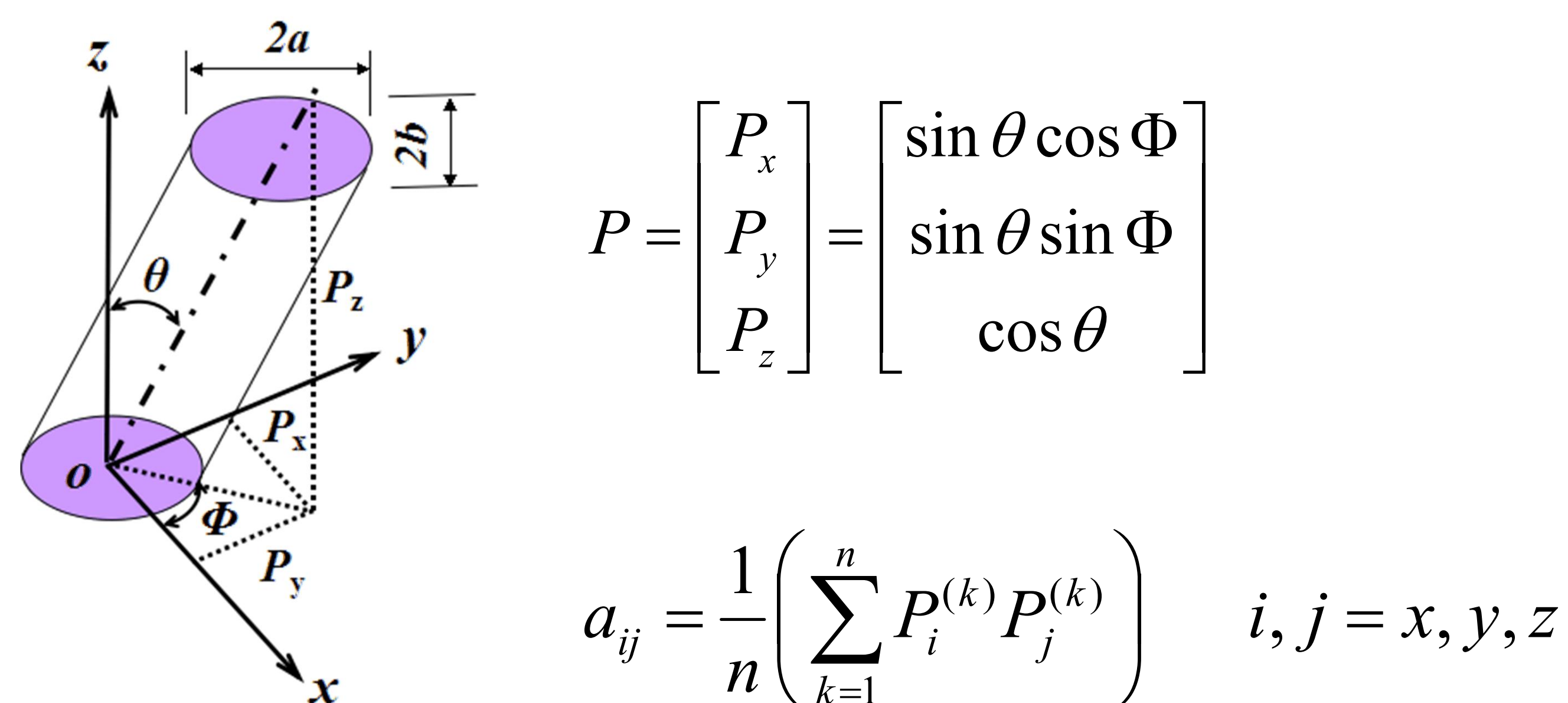
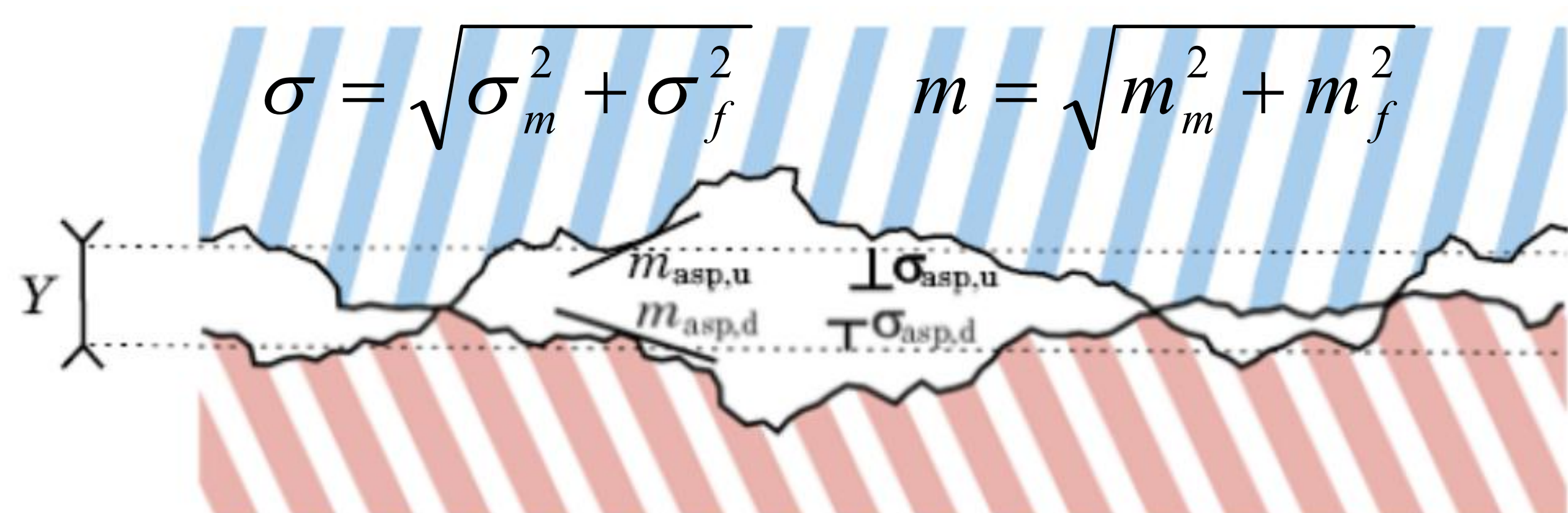


图2. 流场中MWCNTs取向度的数学描述



$$h_{ct} = h_c + h_g \quad h_c = 1.25 k_c \frac{m}{\sigma} \left(\frac{P_c}{H_c} \right)^{0.95} \quad h_g = \frac{k_g}{Y + \alpha \beta \lambda}$$

图3. 两相接触表面的微观形貌示意图

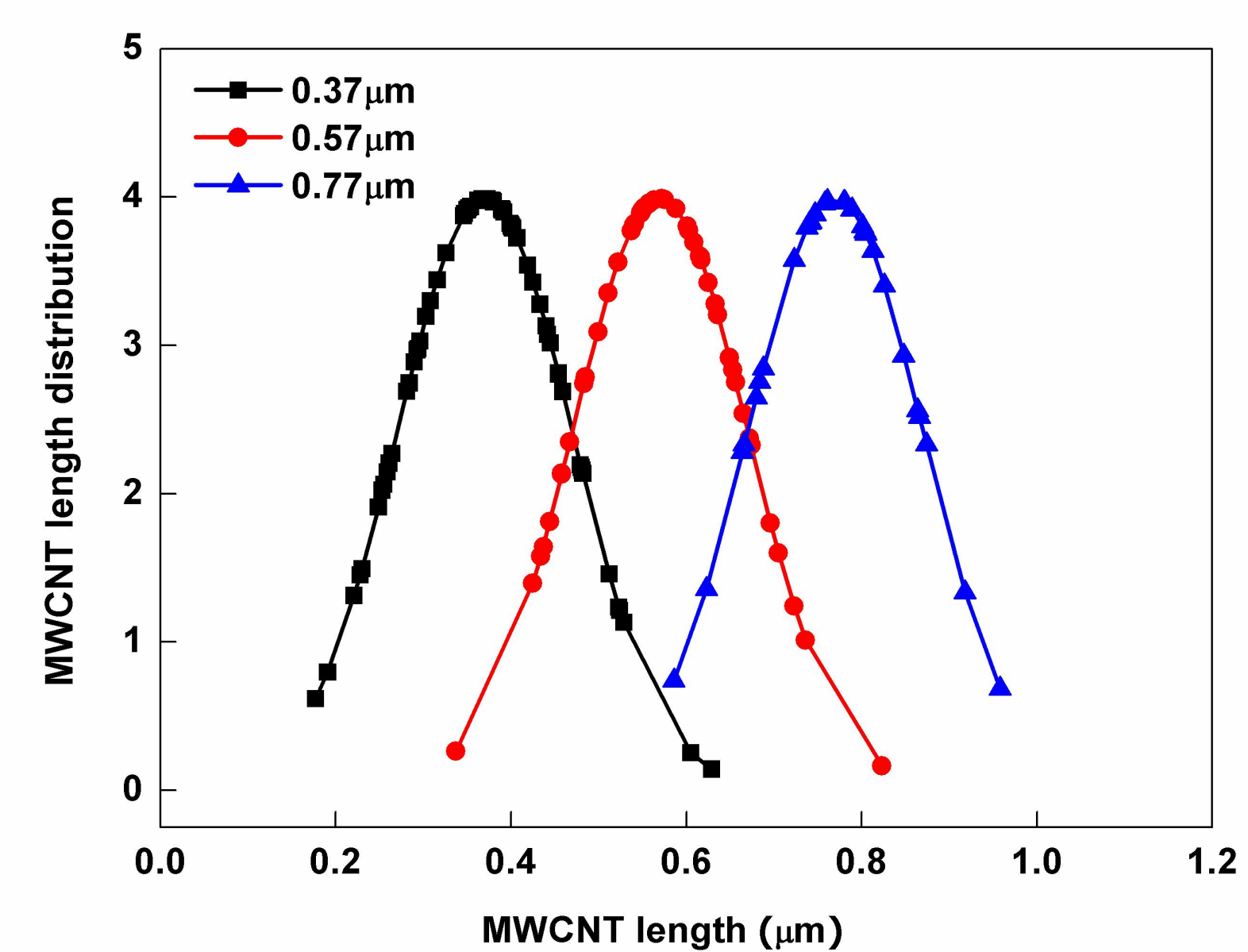


图4. 随机函数产生正态分布长度以模拟碳纳米管在流动中的折断

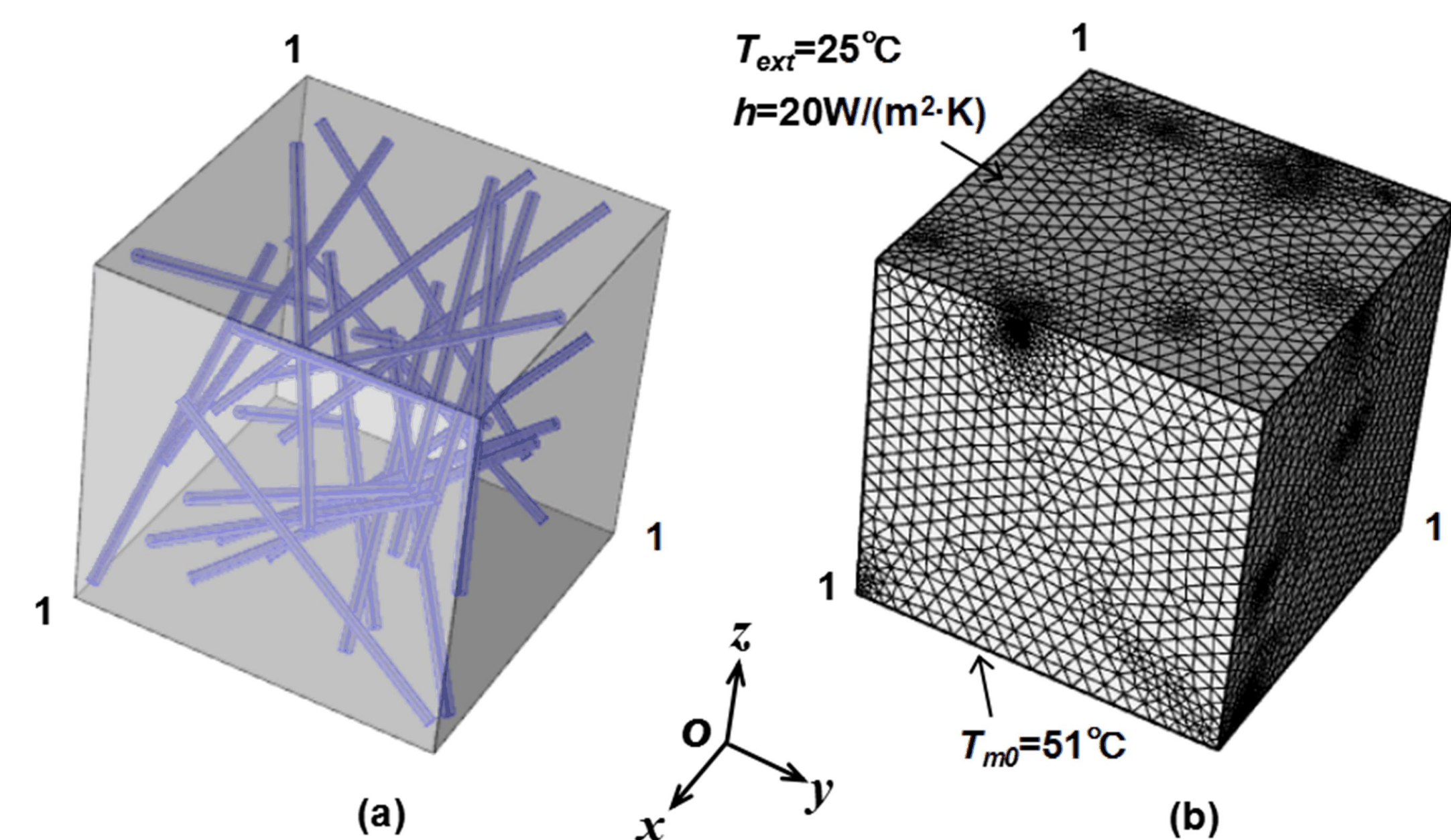


图5. 聚合物复合材料模型的网格划分与边界条件

结果:

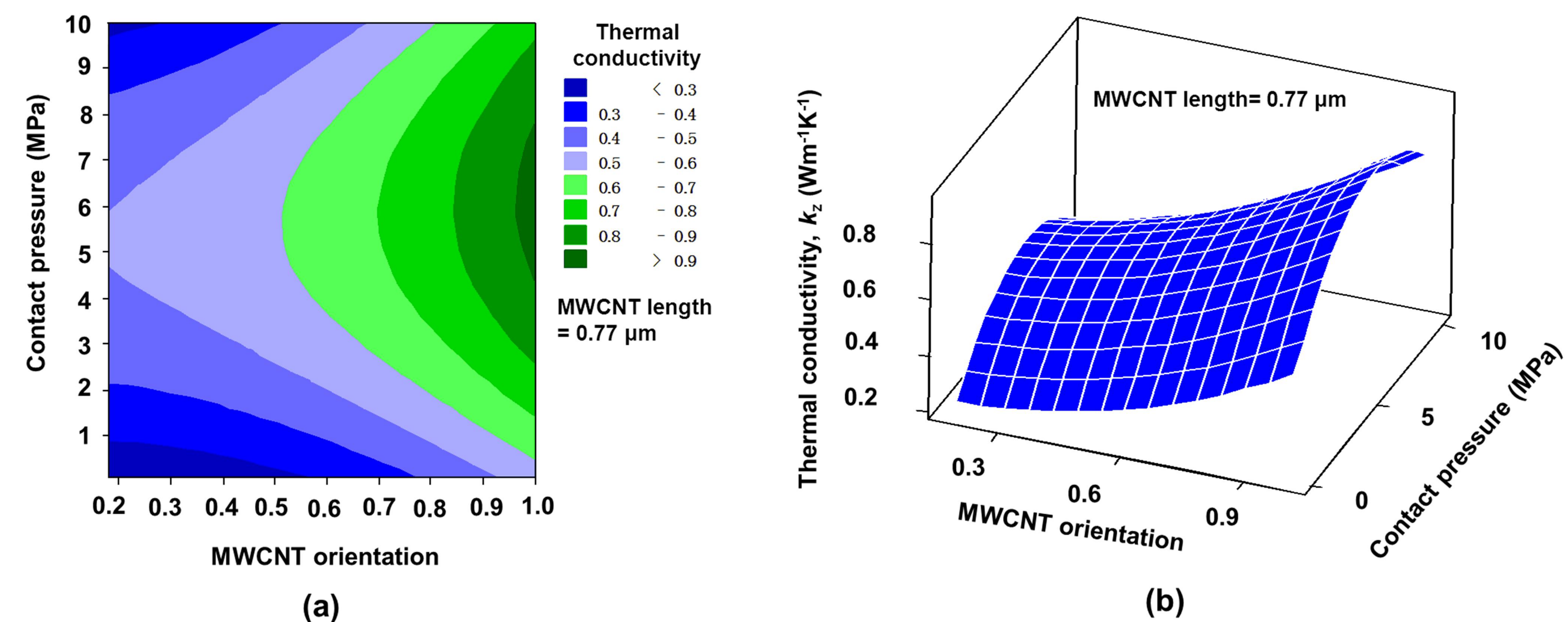


图6. 碳纳米管取向与界面接触压力的交互作用对复合材料热导率的影响

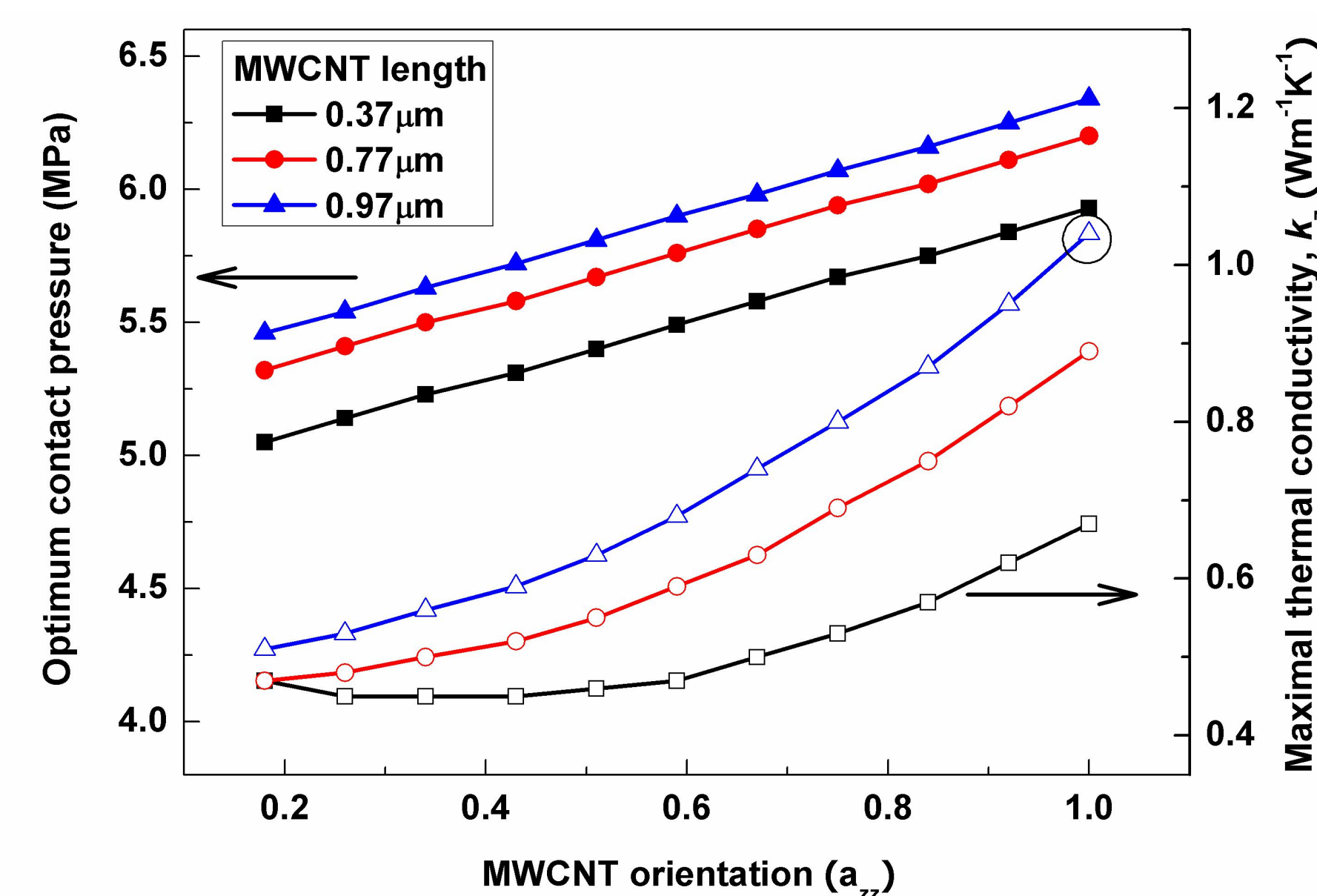


图7. 不同参数条件下的最优界面接触压力及相应复合材料热导率

结论: 基体/填料界面热导变化范围为 $10^5 \sim 10^9$ W/(m²·K), 填料取向和界面接触压力对复合材料的热导率有显著影响; 聚合物复合材料出现高达5倍的流动诱导热导率不均匀度 (平行与垂直流动方向的热导率比值)。

参考文献:

1. C. Yang*, X.-H. Yin, X.-P. Li, et al. Simulation study on flow dependent thermal conductivity of PC/MWCNTs nanocomposites considering interface topography, Appl. Therm. Eng., 100, 1207-1218 (2016)