

# 新型金属材料的离子辐照响应及力学模型

张坤

中国科学院力学研究所 Email: zhangkun@imech.ac.cn

高熵合金一般由 5 至 13 种主要元素组成, 每种元素原子分数均大于 5%。高熵合金区别于传统合金的一项重要的热力学特性是其具有高混合熵。与传统合金不同, 高熵合金由于其每种主元的元素克分子数相等, 因此存在四个主要的效应: (1) 热力学角度, 高熵合金具有高熵效应; (2) 动力学角度, 高熵合金具有迟滞扩散效应; (3) 结构上具有严重的晶格畸变; (4) 从性能的角度上高熵合金具有“鸡尾酒”效应。这些效应使高熵合金相比于传统合金更倾向于形成简单的固溶体结构而非金属间化合物, 因此在性能上高熵合金具有传统合金无法比拟的特点, 如高硬度, 高疲劳强度, 高耐磨性, 耐腐蚀性和良好的低温抗断裂强度及高温抗软化性等。由于其良好的力学性能和热力学稳定性, 高熵合金已被提议用作极端环境下的结构材料, 如核反应堆和太空器件等。为了探索高熵合金在反应堆及太空器件领域的应用, 本论文通过离子辐照来模拟高熵合金的中子辐照效应, 采用纳米压痕仪、透射电子显微镜及慢正电子淹没装置研究高熵非晶合金在辐照条件下的缺陷的产生及其形成机理、组织结构和力学性能演化规律, 为探索高熵合金在辐照条件下的应用奠定基础。

首先采用扫描电镜和纳米压入方法研究了 100 keV He<sup>+</sup>离子对 CoCrFeCuNi 高熵合金微观演化以及力学性能的影响。结果表明辐照后 CoCrFeCuNi 高熵合金结晶度降低, 且随着辐照剂量的增大, 高熵合金中的富铜相相比于基体相呈现更明显的肿胀行为。纳米压入实验结果表明离子辐照导致 CoCrFeCuNi 高熵合金的硬化程度先增大后减小, He<sup>+</sup>离子对力学行为的显著影响可归因于高辐照损伤引入的氦泡演化。

对典型的 ZrTi 基高熵非晶合金在离子辐照作用下的结构稳定性和力学性能进行了对比研究, 发现含 Ni 的六元高熵合金成分 ZrTiHfCuBeNi 显示出优异的抗辐照性能, 具体表现为在高辐照剂量下, ZrTiHfCuBeNi 高熵非晶合金呈现最轻微的表面损伤, 抗辐照性能强于多晶钨。而且, 纳米压入实验说明添加 Ni 元素高熵非晶合金由于更大的混合熵和混合焓, 具有极好的抗蠕变性和辐照稳定性。