

新型阻氦材料的研究进展

索进平¹ 陈长安² 梁传辉²

¹ 华中科技大学, 湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037 号, 430074

² 中国工程物理研究院材料研究所, 四川绵阳, 621908

关键词: 阻氦材料, 涂层, 电化学氢渗透, 高温气相氦渗透, 氦氦渗透行为

摘要

氦增殖包层和面向等离子体的第一壁是聚变反应堆中有两个与氦氦有关的重要部件, 氦氦在其中的吸附、扩散、渗透、滞留和定量计算是必须关注的重要科学问题, 这涉及到聚变堆的正常运行和环境安全问题。

在氦增殖包层中, 目前的技术方案是在结构材料低活化马氏体钢表面制备一层以 α -Al₂O₃ 为代表的陶瓷涂层。涂层方案的关键技术难题是, 如何在大型复杂内表面低温制备完整的 α -Al₂O₃ 涂层, 以避免高温对钢基体组织的破坏性影响。本文将讨论低温制备的技术方案。聚变堆在高温下长期工作, 陶瓷涂层/钢基体界面的稳定性没有确切的实验证实, 而且由于长时间高温强辐照的影响, 基体钢会出现硬化、肿胀、气泡等问题, 因此陶瓷涂层/钢基体界面具有非常大的不确定性。本文在分析 RAFM 钢阻氢影响因素的基础上, 提出制备 N-ODS 钢其层状复合材料 N-ODS/Ta, 在材料内部形成大量稳定的纳米 M(C,N) 相和氧化物相, 提高抗辐照性能, 初步研究表明, 2N-ODS 钢在室温下阻氢性能是 F82H 的 200 倍以上, 在高温下也有较好的阻氦性能, 渗透率比 316Lss 不锈钢小 2 个数量级, 其强度也明显优于普通 ODS 钢, 达到 1000Mpa 以上。N-ODS/Ta 层状复合材料中在 Ta 上原位形成多层陶瓷薄膜 Ta(C,N), 具有更好的阻氦性能。

目前报道面向等离子体的第一壁材料以 W 为主, 但 W 具有本征脆性, 其再结晶温度也较高, 工作时环境温度反复跨越再结晶温度, 也会导致脆性。本文讨论制备 W/TiN/Ta 层状复合材料, 初步研究表明, Ta 比 W 具有更好的抗离子辐照性能, 由于其塑性显著优于 W, 耐热冲击性能也更优。层状复合材料具有多个内界面, 扩散阻力更大, 可以有效阻止氦氦的扩散和渗透。这种层状复合材料的 DBTT 降低到了 200-300°C 之间, 其三点弯曲强度达到 1.2GPa, 塑性也较纯 W 有大幅度提升。

致谢: 感谢罗广南研究员课题组在氦渗透方面给予的大力支持和帮助。感谢磁约束聚变能发展专项、军委装发部、国家自然科学基金委的资助。