合肥研究院在电子束热负荷平台建设和钨材料热冲击损伤研究方面取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/21166.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近期，中国科学院合肥物质科学研究院研究团队在钨材料的热负荷冲击疲劳损伤机理研究方面取得进展。团队通过电子束热负荷冲击的方式，研究了两种代表性弥散强化钨材料W-ZrC和W-Y2O3微观结构演化与性能退化之间的关联性，揭示了热疲劳诱导颗粒粗化、剥落和微裂纹的形成机理。相关成果发表在Journal of Materials Science Technology上。

磁约束聚变装置中，面向等离子体的第一壁钨基材料直接包围高温等离子体，通常面临5-20 MW/m2的稳态热负荷及约1GW/m2瞬态热冲击。高温、高热负荷会导致材料再结晶、开裂，甚至表面熔化，材料性能显著下降。因此，第一壁材料在服役前，需要对其热冲击性能进行系统的评估。基于面向聚变堆第一壁钨基材料研发和性能考核的迫切需求，研究团队近年来成功搭建了30 kW高热负荷研究平台EBMP-30(图1)，其最大输出电压达100 kV，最大输出功率为30 kW，电子束扫描面积达30×30 mm2，扫描频率达35 kHz，具有高效、热加载均匀等优点，适用于第一壁钨材料和部件抗热负荷性能的测试评价。

研究团队基于EBMP-30电子束热负荷平台，以两种代表性的弥散强化钨材料W-0.5wt% ZrC(WZC)和W-1.0wt%Y2O3(WYO)为研究对象，在10-30 MW/m2热负荷功率密度(APD)范围内，研究了多次热负荷冲击下材料的损伤行为。当APD ≤ 20 MW/m2时，WZC和WYO试样的微观结构和拉伸性能(图2)相比初始样品均无明显变化。但当APD ≥ 22 MW/m2时，WYO试样发生再结晶和明显的晶粒长大，同时观察到Y2O3颗粒从W基体脱落，WYO的极限抗拉强度(UTS)从861 MPa下降到510 MPa，总延伸率(TE)从15%下降到接近零(图2b)。结果显示，由于Y2O3颗粒与W基体之间的热膨胀系数不匹配，热加载过程中粗大的Y2O3颗粒受热膨胀会挤压W基体，使W基体发生不可逆的塑性变形，冷却后Y2O3颗粒收缩导致Y2O3颗粒与W基体之间形成微裂纹，最终在多次热疲劳作用下粗大的Y2O3颗粒从钨基体脱落，形成孔洞和宏观裂纹(图3)。而WZC由于高的再结晶温度(RCT)(~1300°C)，在22 MW/m2条件的热加载后，仅发生部分再结晶，仍保持816 MPa高的UTS值(图2a)。此外，由于WZC合金中ZrC的热膨胀系数与W基体相当，且ZrC颗粒尺寸细小、分布均匀，有效避免了ZrC颗粒脱落和微裂纹的形成。

该研究揭示了弥散强化钨材料微结构损伤与力学性能退化之间的关联性，以及高热负荷疲劳损伤的微观机理，为后续进一步发展高性能钨基材料提供了重要参考。

上述研究工作得到国家重点研发计划、国家自然科学基金、安徽省自然科学基金和合肥研究院院长基金融合专项等项目的资助。

论文链接



图1 研究团队搭建的30 kW、100 kV高热负荷研究平台EBMP-30 图2 (a) WZC、(b)WYO和(c)ITER-W试样热冲击后的拉伸应力-应变曲线 图3 循环热载荷下Y2O3颗粒脱落行为示意图

研究团队单位：合肥物质科学研究院

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发