

HCCB TBM 结构材料（CLF-1 钢）研究进展

廖洪彬, 王晓宇, 杨国平, 张宽, 宫嘉琳, 冯勇进, 冯开明

中核集团核工业西南物理研究院, 成都 610225

Email: liao hb@swip.ac.cn

摘要: 低活化铁素体/马氏体钢 (Reduced Activation Ferritic/Martensitic steel, RAFMs) 由于具有较低的热膨胀系数、较高的热导率、优良的抗辐照肿胀和抗辐照脆性等性能优点而被选为国际热核聚变实验堆实验包层模块 (ITER TBM) 和未来聚变示范堆 DEMO 包层的首选结构材料。CLF-1 钢 (China Low Activation Ferrite steel-1) 是核工业西南物理研究院 (Southwestern Institute of Physics, SWIP) 针对 ITER TBM 及未来聚变堆包层而自主设计研发的低活化铁素体/马氏体钢^[1-3]。

报告介绍 CLF-1 钢研究背景及历程: 从 2014 年开始, CLF-1 钢研制工作主要包含工业化生产技术研究、性能数据建立、材料认证以及连接技术开发等方面。工业化生产工艺开发及基本性能评估已于 2017 年底完成^[4], 2018 年主要开展了数据库建立 (辐照前) 及连接技术研究方面工作。工业化生产方面, CLF-1 钢已完成多个 5 吨级铸锭的熔炼及其型材生产, 制备型材近 20 吨。型材制备过程中, 基于材料认证相关要求, 开展工艺文件编制及过程管理工作; 性能数据库方面, 测试评估了从室温到 700°C 的各种包层设计所需的物理性能, 包括密度、弹性模量、泊松比、热学性能、电学性能以及磁性能等方面, 并基于设计数据处理用于设计的拟合曲线; 力学性能及环境测试方面, 获得了从室温到 600°C 的强度及延伸率数据, 从室温到 -120°C 的标准冲击性能, 材料的 DBTT 均低于 -50°C (见图 1) 以及室温到 600°C 不同温度的疲劳性能。开展了 550°C 最长 10000h 热时效试验并评估了材料组织及力学性能变化情况。基于 HCCB TBM 制造以及未来 CFETR 和 DEMO 包层制造需求, 分别开展热等静压焊接 (HIP)、激光焊接 (LB)、电子束焊接 (EBW)、手工氩弧焊接 (TIG) 及爆炸焊接 (EW) 等连接技术研究工作。

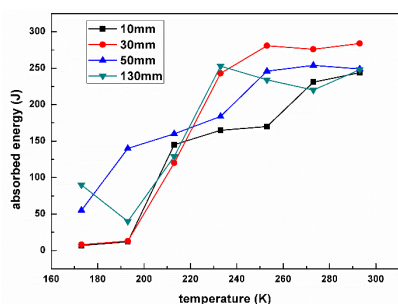


图 1 CLF-1 钢型材冲击性能

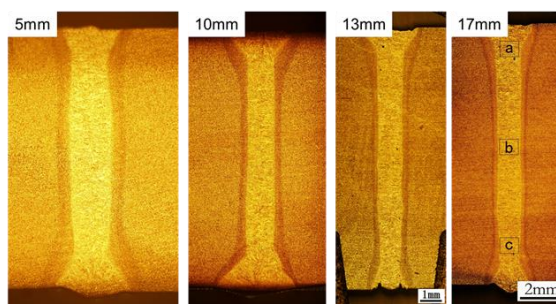


图 2 不同厚度 CLF-1 钢激光焊接焊缝截面

关键词: RAFM 钢; CLF-1 钢; 性能数据库; 材料认证

参考文献

- [1] X.Y. Wang, K.M. Feng¹, Y.J. Chen, *et al.* Current design and R&D progress of the Chinese helium cooled ceramic breeder test blanket system [J]. *Nucl. Fusion* 59 (2019) 076019
- [2] Feng K, Wang X, Feng Y, *et al.* Current progress of Chinese HCCB TBM program[J]. *Fusion Engineering & Design*, 2016, 109-111:729-735.
- [3] Wang Pinghuai, Chen Jiming, Fu Haiying, *et al.* Technical Issues for the Fabrication of a CN-HCCB-TBM Based on RAFM Steel CLF-1. *Plasma Science and Technology*, 2013, 15:133-136.
- [4] Liao H B, Wang X Y, Yang G P, *et al.* Recent progress of R&D activities on reduced activation ferritic/martensitic steel (CLF-1)[J]. *Fusion Energy and Design*, 2019,147.