热老化条件下316LN奥氏体不锈钢棘轮边界的研究

刘彩明, OGUNMOLA Oluwadamilola, 李兵兵, 郑一铭, 陈旭*

天津大学化工学院过程装备与控制工程系, 天津 300072

* E-mail: xchen@tju.edu.cn

doi: 10.1360/SST-2021-0348

目前, 随着第三代核电站的建成和第四代核电站建设的迫切要求, 对材料的选择和要求也越来越严格. 核电材料从成型工艺、化学成分、热处理等方面经历了多次更新. 316LN奥氏体不锈钢是最有潜质的核电管道材料之一. 核电管路长期处于343°C以上的高温环境中, 会受到热瞬态、热分层、热冲击和热波动的影响, 容易产生热老化效应. 此外, 核电管道经常承受高压、地震荷载、随机振动和冲击, 也容易发生棘轮效应^[1]. 过大的棘轮变形不利于核电安全, 在对核电管道的分析设计中需要避免棘轮效应的产生. 所以确定材料或结构的棘轮边界显得尤为重要. 之前的研究, 包括ASME^[2]和RCC-MR^[3]标准, 都没有考虑环境因素对材料棘轮边界的影响, 只提出了一个统一的棘轮边界. 本研究考虑了热老化效应, 对热老化5000和10000 h后的材料进行了棘轮试验, 得到了材料的等累积塑性变形曲线. 结果表明, 当累积塑性变形量为0.1%和0.2%时, 原始材料和老化后材料的等累积塑性应变曲线差别不大. 但当累积塑性变形量较大时, 如1.5%, 2%, 2.5%, 10000 h热老化后材料的等塑性累积应变曲线明显高于其他两者. 采用效率曲线法^[4]得到了原始材料和老化后材料的棘轮边界, 研究了热老化时长对316LN奥氏体不锈钢棘轮边界的影响, 并与ASME和RCC-MR标准进行了对比, 得到了图1所示的结果. 结果表明, 当二次比 U 较小时, 原始材料与热老

化后材料的棘轮边界没有显著差异. 当二次比 U 较大时, 随着热老化时间的增加, 材料的棘轮边界呈轻微的上升趋势. 与ASME标准相比, RCC-MR标准是偏保守的. 最后, 根据效率指数 V 随循环数的演化规律可知, 当采用效率曲线法评估棘轮边界时, 选择效率指数 V 发展为常数的阶段更为保守和合理.

图1 (网络版彩图)不同棘轮边界之间的比较

Figure 1 (Color online) Comparison of different ratcheting boundaries.

英文全文见: Liu C M, Ogunmola O, Li B B, et al. Ratcheting boundary of 316LN austenitic stainless steel under thermal aging. Sci China Tech Sci, 2021, 64: 2595–2607, <https://doi.org/10.1007/s11431-020-1834-9>

参考文献

- 1 Hübel H. Basic conditions for material and structural ratcheting. [Nucl Eng Des](#), 1996, 162: 55–65
- 2 ASME. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII (Div. 2). New York: American Society of Mechanical Engineer, 2010
- 3 RCC-MR. Design Rules for Class 1 Equipment. RCC-MR Codes, RB. 2007
- 4 Cousseran P, Clement G, Lebey J, et al. Simplified design rule for ratchetting analysis. In: Proceedings of Pressure Vessels Piping Conference. Orlando, 1982