

缺陷对X80钢焊接接头电偶腐蚀行为的影响

李亚东, 姚万鹏, 李焰
 中国石油大学(华东), 青岛, 山东

简介: X80管线钢焊接接头因各组成部分电化学性质的不均一性, 在服役过程中易发生局部腐蚀而失效, 引发严重的事故。本文借助COMSOL Multiphysics®软件研究了缺陷和应力对X80钢焊接接头的电偶腐蚀行为的影响。



图1 焊接接头局部腐蚀

计算方法: 利用腐蚀模块中的“二次电流分布”接口和“固体力学”接口, 对含缺陷的X80钢焊接接头在有/无应力作用条件下的局部腐蚀进行数值模拟。

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -\nabla \cdot J_i = D_i \left(\nabla^2 c_i + \frac{z_i F}{RT} \nabla (c_i \nabla \phi) \right) = 0$$

$$\frac{1}{i_c} = \frac{1}{-i_{0,c} \times 10^{\frac{\sigma_{mises} V_m}{6F(-b_c)}}} + \frac{1}{i_L} \quad i_a = i_{0,a} \times 10^{\frac{\eta}{b_a}}$$

$$\phi_{eq} = \phi_{eq}^0 - \frac{\Delta P_m \cdot V_m}{zF} - \frac{TR}{zF} \ln \left(\frac{\nu \alpha}{N_0} \varepsilon_p + 1 \right)$$

$$\frac{1}{i_c} = \frac{1}{-i_{0,c} \times 10^{\frac{\sigma_{mises} V_m}{6F(-b_c)}}} + \frac{1}{i_L}$$

图2所示为X80钢焊接接头几何模型。通过改变椭球形坑的深度, 研究不同缺陷尺寸对X80钢焊接接头腐蚀行为的影响。椭球形坑的长轴固定为0.6 mm, 深度分别为0、0.2、0.4、0.6和0.8 mm。

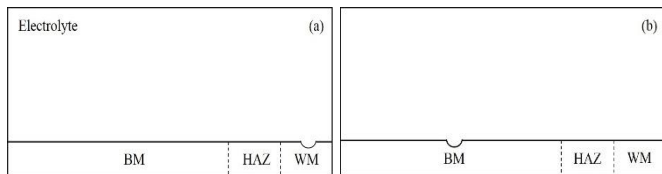


图2 几何模型 (a)焊缝存在缺陷(WM); (b)母材(BM)存在缺陷

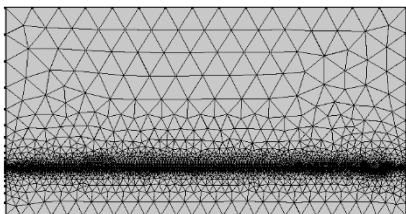


图3 网格剖分

结果: 不同应变下的电流密度、von Mises应力分布如图4~6所示。

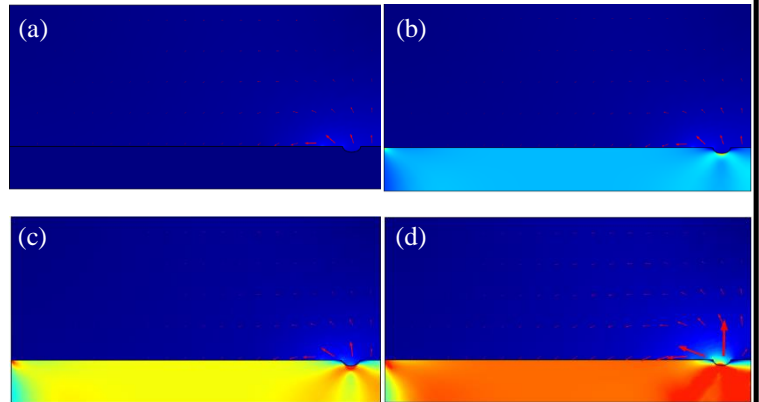


图4 WM存在缺陷的X80钢焊接接头在不同应变下电流密度和von Mises应力场分布 (a) 0%, (b) 0.1%, (c) 0.2%, (d) 0.3%

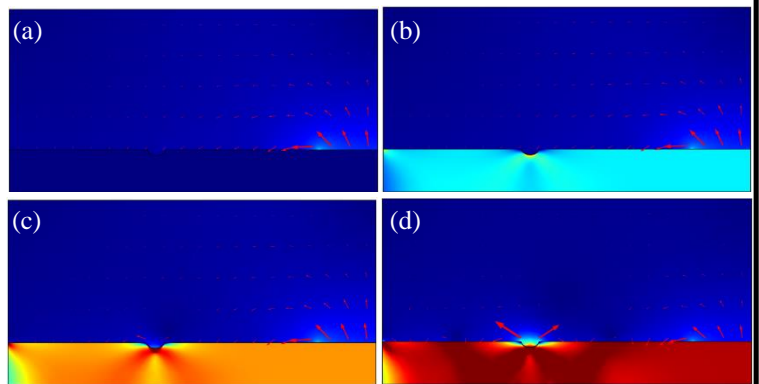


图5 BM存在缺陷的X80钢焊接接头在不同应变下电流密度和von Mises应力场分布 (a) 0%, (b) 0.1%, (c) 0.2%, (d) 0.3%

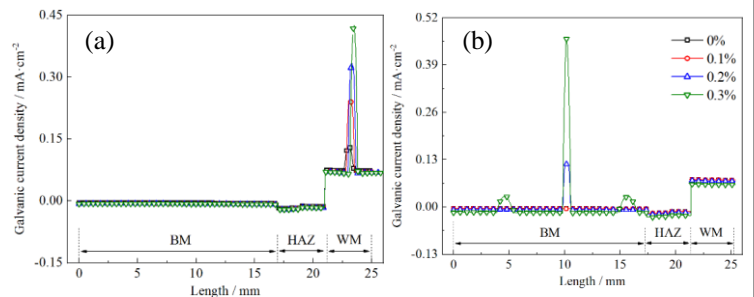


图6 (a) WM, (b)BM含缺陷的X80钢焊接接头不同应变下的电偶电流密度分布

结论: 在应力作用条件下, 缺陷区域引起应力集中, 应力集中的程度随应变的增加而增大, 进而引起缺陷区域的电偶电流密度显著增大。在力学和电化作用下的体系中, 弹性应变(小应变)下是电化作用主导, 塑性应变(大应变)下是力学作用主导。

参考文献:

- Xu L Y, Cheng Y F. Development of a finite element model for simulation and prediction of mechano-electrochemical effect of pipeline corrosion, Corrosion Science, 2013, 73: 150-160.
- Chauhan V, Fordyce I, Gilliver J, et al. Failure investigation of a natural gas transmission pipeline[C]//9th International Pipeline Conference. Calgary, Canada: ASME, 2012.

基金资助: 国家自然科学基金项目(No. 41676071)