

# 压缩变形对铁路货车用 2205 双相不锈钢腐蚀性能的影响

景朝<sup>1</sup> 杨云圣<sup>1</sup> 蒋晓军<sup>2</sup> 冉庆选<sup>2</sup> 韩日宏<sup>2</sup>

1 中车石家庄车辆有限公司 河北省石家庄市 051430

2 石家庄铁道大学 河北省石家庄市 050043

**摘要:** 2205 双相不锈钢是铁路货车易腐蚀零件和车厢主要应用材料之一, 在生产和使用过程中, 普遍存在压缩载荷。然而, 压缩变形对腐蚀性能的影响并不明确。因此, 本论文主要研究了压缩变形对 2205 双相不锈钢耐腐蚀性能的影响。研究结果表明, 随着压缩变形量和变形速率的增加会使 2205 双相不锈钢中的奥氏体相被拉长甚至破碎。经电化学测试得出 2205 双相不锈钢经压缩变形后, 耐腐蚀性能均有一定程度的提高。当变形速率一定时, 随着变形量的增加, 试样耐腐蚀性能先增加后有所降低, 在变形量为 15% 时达到最佳; 当变形量一定时, 随着变形速率的增加, 材料的耐腐蚀性能先增加后略降低, 在变形速率为 0.3 mm/s 时耐蚀性能最好。

**关键词:** 2205 双相不锈钢; 压缩变形; 微观组织结构; 耐腐蚀性

## 1. 引言

随着铁路货运业的迅猛发展, 铁路货车对材料性能的要求日益严苛。2205 双相不锈钢, 作为一种高强度、高耐腐蚀性的合金材料, 在铁路货车制造中得到了广泛应用。然而, 在复杂多变的运输环境中, 尤其是在承受压缩载荷时, 其腐蚀性能的变化成为了一个值得深入研究的课题。压缩载荷, 作为生产和铁路货车运输过程中不可避免的一种受力形式, 对材料的结构和性能具有显著影响。在压缩载荷的作用下, 材料形成大量亚结构, 进而影响其腐蚀性能 [1-6]。特别是在铁路货运的恶劣环境中, 腐蚀问题更是关系到车辆的安全性和使用寿命。因此, 研究压缩载荷对铁路货车用 2205 双相不锈钢腐蚀性能的影响, 对于保障铁路货运安全、提高车辆使用寿命具有重要意义。本研究通过研究不同应变量和应变速率条件下 2205 双相不锈钢的电化学腐蚀和浸泡失重行为, 探究 2205 双相不锈钢在压缩载荷作用下的腐蚀行为及其机理, 为铁路货车用材料的选用和维护提供科学依据。

## 2. 实验与方法

论文以 2205 双相不锈钢为研究对象, 在不同变形量和变形速率条件下进行压缩变形处理。采用万能试验机进行室温压缩实验, 变形量分别为 0、10%、15%、30% 及 40%, 变形速率分别为 0.03 mm/s、0.15 mm/s、0.3 mm/s、1 mm/s 和 3 mm/s, 经过压缩变形后最终可以获得 20 个不同条件下处理过的 2205 双相不锈钢试样以及 1 个原始态未变形试样。

微观组织分析采用金相显微镜。电化学测试采用的是质量分数为 3.5wt% 的 NaCl 溶液, 在实验开始前需要先进行溶液的配制, 接着要对实验容器、工具以及所用电极均要用去离子水进行清洗, 安装电解池, 向其中倒入配制好的 NaCl 溶液, 正确连接好导线, 进行联机测试, 成功后进行开路电位、阻抗以及极化曲线测试。

## 3. 结果与讨论

### 3.1 压缩变形对 2205 双相不锈钢微观组织结构的影响

不同变形量、不同变形速率下的 2205 双相不锈钢在 1000 倍下的金相组织如图 1 所示, 在图 1 中可以看出, 在变形速率一定的情况下, 2205 双相不锈钢的组织会随着变形量的增大而有变细的趋势, 且铁素体相与奥氏体相之间的相界较为平直, 没有明显的间隙, 奥氏体相随压制变形量的增加而从块状被拉长为细长条状, 且随着变形量的增大, 经压制后的奥氏体会部分破碎且较为均匀的分布。当压制过程中的变形量较小时, 2205 双相不锈钢中的铁素体相并无明显变化, 但奥氏体相发生破碎现象, 均匀分布。

### 3.2 2205 双相不锈钢压缩变形后腐蚀行为

原始态试样的自腐蚀电流密度为  $2.999\text{E}-005\text{ A/cm}^2$ , 腐蚀电位为  $-0.507\text{V}$ 。经压缩变形后的 2205 双相不锈钢试样在 3.5% 的 NaCl 溶液中拟合的电化学性能如图 2 所示。可以看出, 经过压缩变形的 2205 双相不锈钢试样自腐蚀电流密度均小于原始态试样, 即经压缩变形后的试样耐腐蚀性

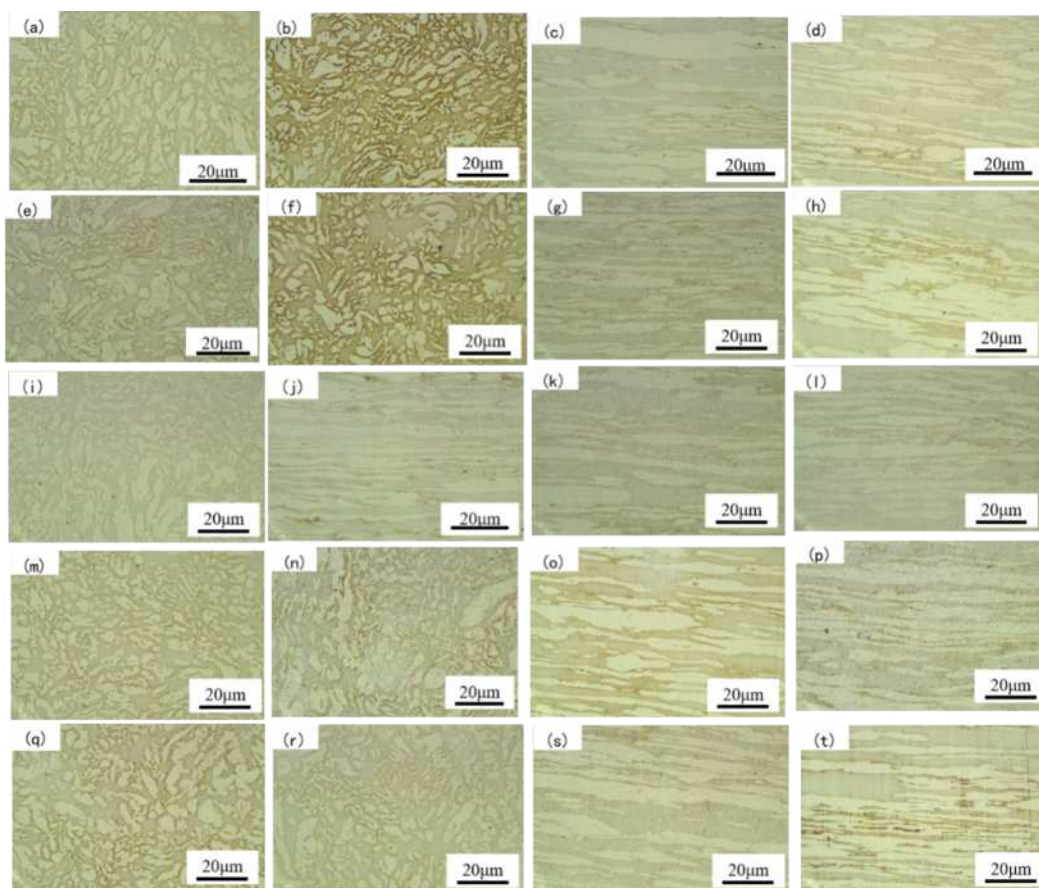


图 1 不同变形量、不同变形速率下 2205 双相不锈钢在 1000 倍下的金相组织。

(a) 10%-0.03mm/s; (b) 15%-0.03mm/s; (c) 30%-0.03mm/s; (d) 40%-0.03mm/s; (e) 10%-0.15mm/s; (f) 15%-0.15mm/s; (g) 30%-0.15mm/s; (h) 40%-0.15mm/s; (i) 10%-0.3mm/s; (j) 15%-0.3mm/s; (k) 30%-0.3mm/s; (l) 40%-0.3mm/s; (m) 10%-1mm/s; (n) 15%-1mm/s; (o) 30%-1mm/s; (p) 40%-1mm/s; (q) 10%-3mm/s; (r) 15%-3mm/s; (s) 30%-3mm/s; (t) 40%-3mm/s。

均要优于原始态。当变形速率一定时，2205 双相不锈钢试样的自腐蚀电流密度值随着变形量的增加均呈现出先减小后增加的趋势，例如在变形速率为 0.15 mm/s 时，其自腐蚀电流密度随变形量增加先减后增，变形量为 15% 时自腐蚀电流密度处于该变量中的最小值，而且其腐蚀电位要稍高于其他变形量下的腐蚀电位值。当变形速率为 0.3 mm/s，2205 双相不锈钢变形量为 15% 时，自腐蚀电流密度相较于其他变形量下的要小，耐腐蚀性能优于该变量中的其他试样。

#### 4. 结论

2205 双相不锈钢由铁素体相和奥氏体相组成，随变形量、变形速率增大，有部分奥氏体相转变为马氏体相。同一变形速率下，随着变形量的增大，奥氏体相由块状被拉长为细长条状，且奥氏体相会部分破碎，均匀分布；在同一变形量下，随变形速率的增大，奥氏体相有碎化趋势，铁素体相

无明显变化。2205 双相不锈钢经压缩变形后，耐腐蚀性能均有一定程度的提高。当变形速率一定时，随着变形量的增加，试样耐腐蚀性能先增加后有所降低，在变形量为 15% 时达到最佳；当变形量一定时，随着变形速率的增加，材料的耐腐蚀性能先增加后略降低，在变形速率为 0.3 mm/s 时耐腐蚀性能最好。变形量为 15%、变形速率为 0.3 mm/s 的试样自腐蚀电流密度为  $2.302E-006A/cm^2$ ，腐蚀电位为  $-0.469V$ ，此时耐蚀性最好。

#### 参考文献：

- [1] 谷莉，曹秀鸽. 我国双相不锈钢的现状与发展前景[J]. 中国西部科技，2006，(01) :28-29.
- [2] 张继祥，高波，秦海涛，等. 2205 双相不锈钢中温塑性变形行为及本构方程[J]. 塑性工程学报，2013，20(06) :77-82.

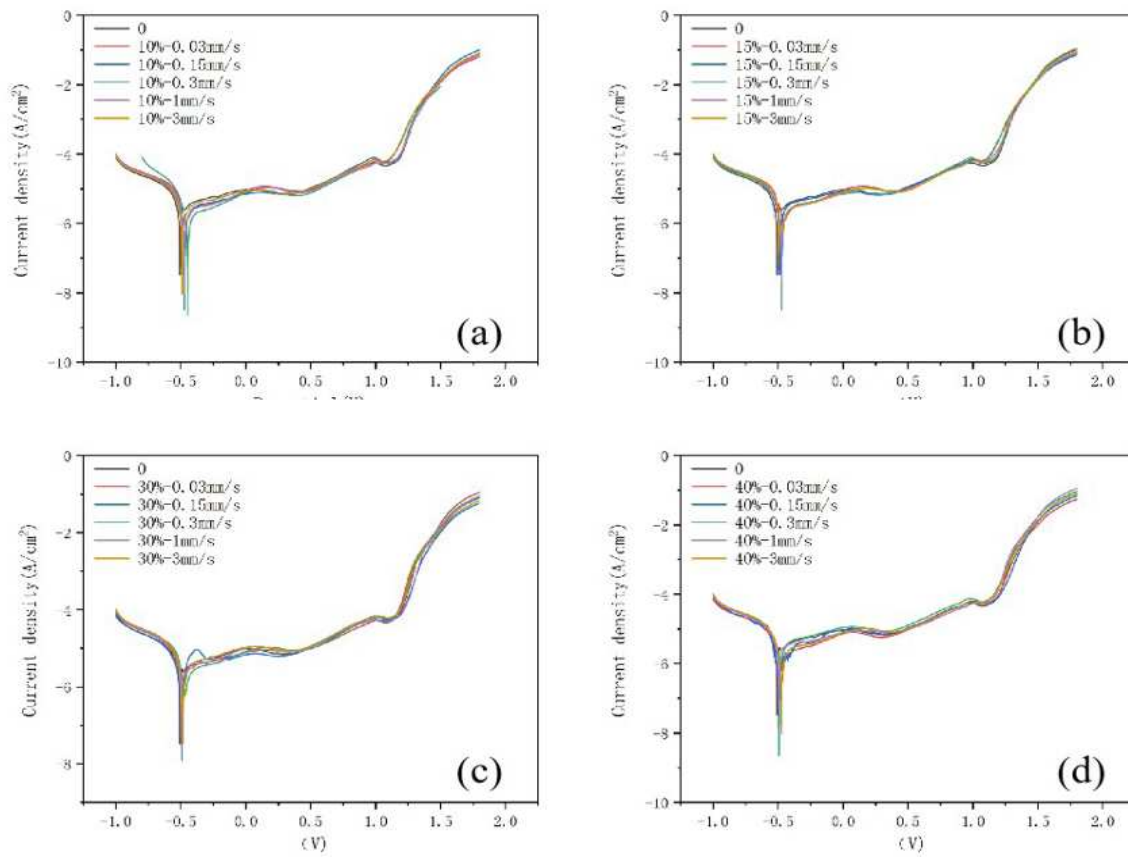


图 2 2205 双相不锈钢压缩变形后的动电位极化曲线

[3] 张俊丰. 2205 双相不锈钢焊接工艺及质量控制分析 [J]. 中国机械, 2023, (15): 41-44.

[4] 吴天海. 2205 双相不锈钢中  $\sigma$  相的析出及其对组织性能的影响 [D]. 东北大学, 2013.

[5] 王顺. 2205 双相不锈钢/Q345 碳钢热压缩复合工艺及微观组织演变 [D]. 太原科技大学, 2020.

[6] Xiao Y, Tang J L, Wang Y Y, et al. Corrosion behavior of 2205 duplex stainless steel in NaCl solutions

containing sulfide ions [J]. Corrosion Science, 2022, 200: 110240.

#### 第一作者简介:

景朝, 中车石家庄车辆有限公司, 高级工程师, 中国中车技术专家。

项目资助: 石家庄市驻冀高校产学研合作项目 (项目编号: 241010021A)。天津市交通运输科技项目 (项目编号: 2024-A04)。