
研究揭示马氏体相变在疲劳裂纹扩展中的两面性

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/17657.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！

研究揭示马氏体相变在疲劳裂纹扩展中的两面性。

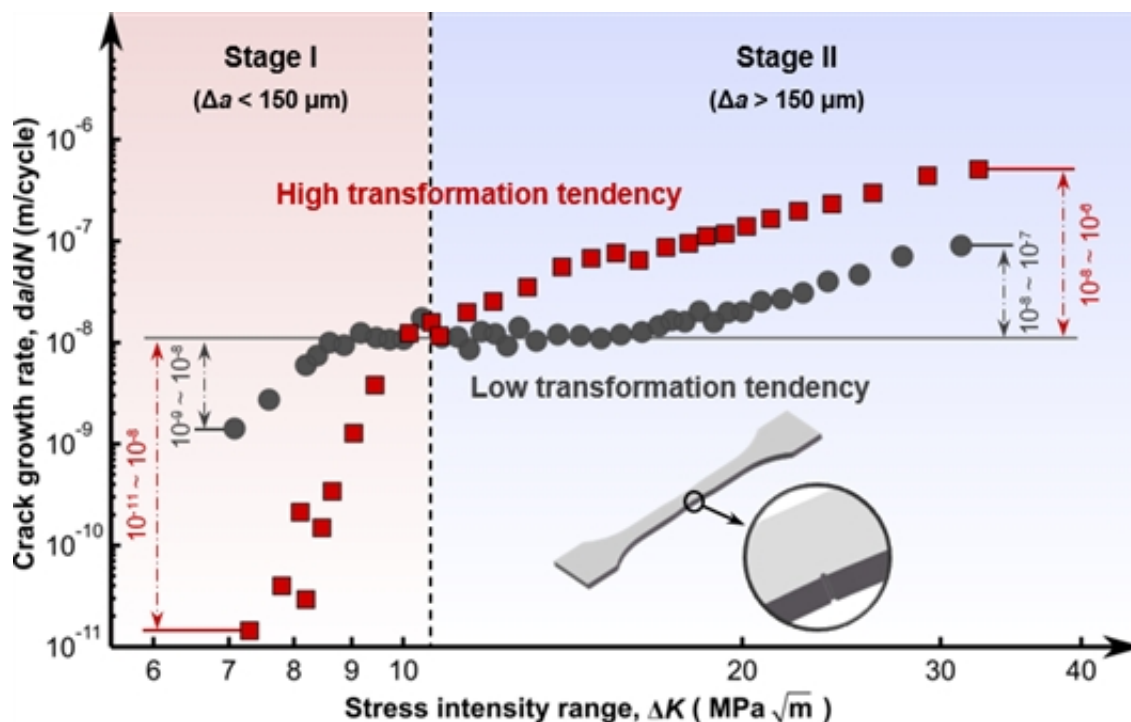
记者3月10日从湖南大学获悉，该校机械与运载工程学院教授姜潮团队与德国马普所Dierk Raabe院士团队合作，提出相变介导疲劳的全新科学概念与物理机制，深入揭示了马氏体相变对疲劳裂纹扩展影响的两面性，澄清了相变疲劳的多尺度效应。这一机理性突破为新一代抗疲劳材料的设计提供了全新理念与技术路径，并有望用于构建基于材料失效物理的多尺度寿命模型，应用于航空、航天、核电、高铁等重要工业领域。

上述成果近日发表在美国《国家科学院院刊》。

疲劳失效是机械装备结构失效的首要原因，约占全部机械失效事件的90%，由此带来了巨大的经济损失和安全隐患。为避免疲劳失效的发生，需要深入理解控制疲劳损伤的微观物理机制，这些机制可能显著区别于材料在静载荷下的力学行为。一个典型例子就是形变诱导马氏体相变，尽管这一机制早已被公认为合金材料最有效的强化机制之一，但其对材料疲劳性能的影响目前仍不明确，并长期存在着多种相互矛盾的机理解释。

研究团队采用一种新兴的中锰TRIP钢作为研究材料，该材料可实现对奥氏体含量和机械稳定性的大范围调节，从而有效控制材料发生马氏体相变的倾向性，这为通过直接对比两种在相变倾向性上具有显著差异的材料力学行为，从而探明相变疲劳效应提供了理想条件。团队还采用了先进的原位SEM疲劳实验技术，可对疲劳裂纹扩展及其周边微观组织演化进行实时观察，从而实现疲劳过程细节信息的完整获取。得益于新材料和新技术手段的采用，研究发现了一些关于马氏体相变效应的有趣现象和结果。

研究表明，马氏体相变对疲劳裂纹扩展的影响存在着两面性。在短裂纹阶段，马氏体相变可起到抑制疲劳裂纹扩展的有益作用，可使疲劳裂纹扩展速率降低高达2个数量级；而在长裂纹阶段，马氏体相变却起到加速疲劳裂纹扩展的相反作用。进一步的机理研究揭示，马氏体相变可诱发两种具有对抗性的疲劳机制，即起抑制裂纹扩展作用的相变介导裂纹滞止和起促进裂纹扩展作用的相变介导裂纹合并其分别在短裂纹阶段和长裂纹阶段起主导作用。研究深入分析了这两种疲劳机制的成因，证明其来源于相变产物马氏体自身所具有的硬而脆的内禀特性，而非来源于相变过程本身（如裂纹闭合效应）。



马氏体相变对材料疲劳裂纹扩展速率的影响示意图。受访者供图

据介绍，关于相变疲劳效应两面性的揭示，可用于合理解释和调和一些看似矛盾的疲劳现象报道，并有望用于一种全新亚稳微观组织梯度材料的设计，以提升材料的抗疲劳性能。研究提出的相变介导概念是对传统相变疲劳理论的一个重要补充，有助于深入理解亚稳合金材料疲劳损伤的微观物理机理。

本文研究了具有不同奥氏体稳定性的中锰钢的疲劳裂纹扩展行为，实验方法新颖、可靠，研究结果具有重要意义。该论文审稿人认为，作者开展了一系列有趣的实验研究，其实验发现有助于更好地理解马氏体在疲劳裂纹扩展中的作用，研究结论深刻而富有启发性。

该研究得到了国家自然科学基金委杰出青年科学基金项目、面上项目以及德国洪堡基金的支持。
(来源：中国科学报王昊昊)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1073/pnas.2110139119>

版权声明：凡本网注明来源：中国科学报、科学网、科学新闻杂志的所有作品，网站转载，请在正文上方注明来源和作者，且不得对内容作实质性改动；微信公众号、头条号等新媒体平台，转载请联系授权。邮箱：shouquan@stimes.cn。

作者：姜潮等 来源：《国家科学院院刊》

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](http://www.iikx.com)转发