

力学所金属玻璃变形能力和强度研究获系列进展

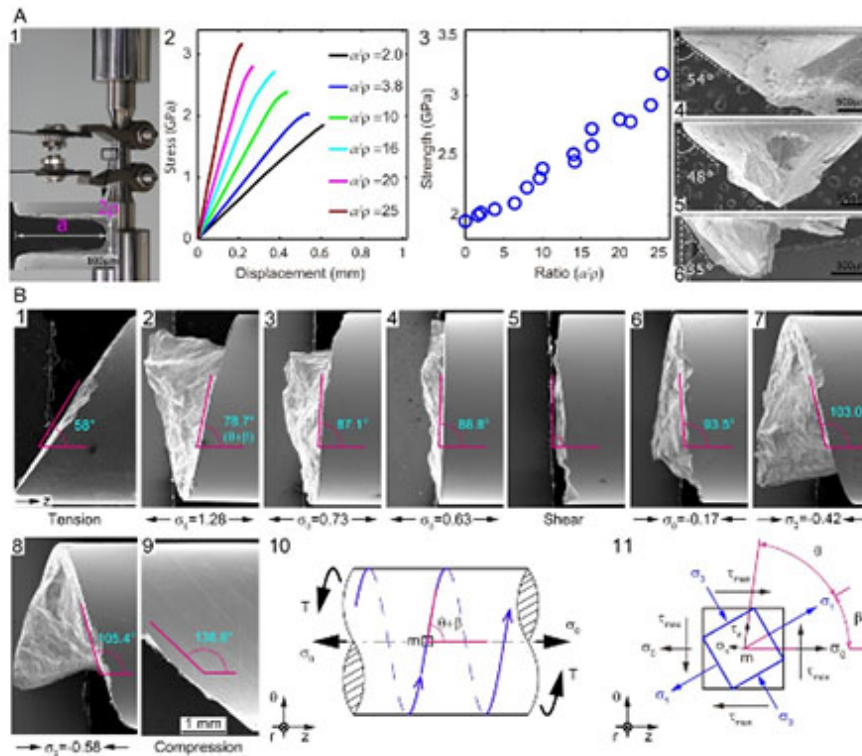


图1: A. 金属玻璃环缺口拉伸强化机理分析: (1) 拉伸装置与缺口深度- a 与缺口宽度- $2p$ 定义; (2) 拉伸应力位移曲线; (3) 缺口强化现象; (4)-(6) 断口模式转变过程。B. 拉-扭组合应力状态下金属玻璃的螺旋断口: (1) 单轴拉伸断口角度; (2) - (8) 不同组合应力状态下螺旋断口角度; (9) 单轴压缩断口角度; (10) 螺旋断口角度 $\theta+\beta$ 定义示意图; (11) 应力状态分析。

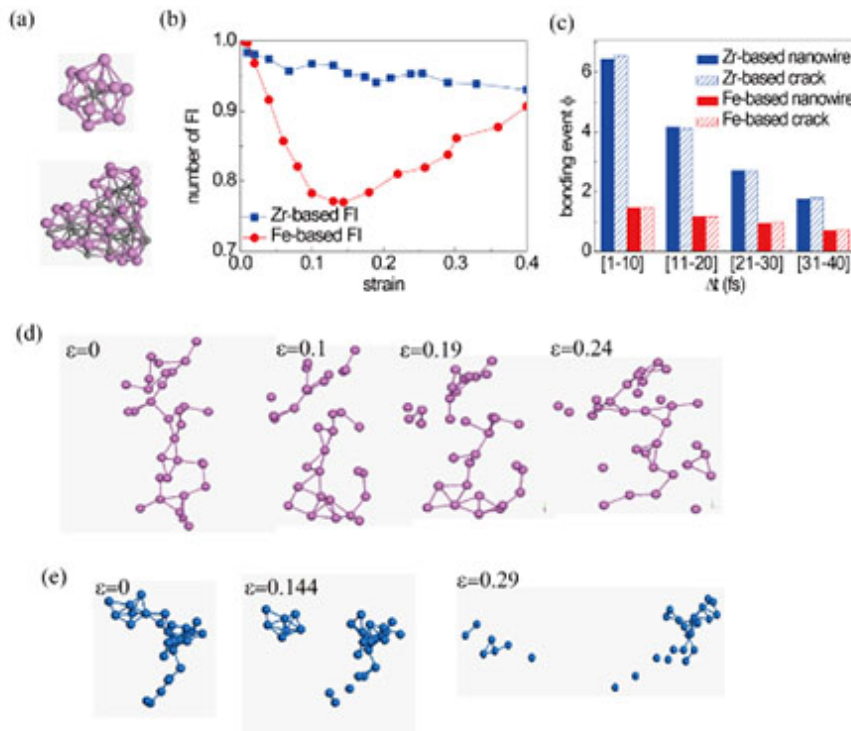


图2: (a) 原子团簇组成的正二十面体以及多个团簇组成的示意图。(b) 加载过程中Zr基和Fe基团簇数目的变化。(c) 团簇自愈合能力的比较。(d) 加载过程中Zr基团簇自愈合示意图。(e) 加载过程中Fe基团簇断裂示意图。

金属玻璃由于其极高的弹性模量、强度、硬度，良好的耐腐蚀性能等一系列优异的力学、物理和化学性能，在国防、空天等领域显示出了广阔的应用前景。以Vitreloy1金属玻璃为例，其断裂强度约2GPa，弹性极限达2%，断裂韧性约55MPa·m^{1/2}。另一方面，金属玻璃由于其长程无序结构，无法通过位错萌生等方式产生塑性变形，导致室温下拉伸延展性能较差。这几乎成了金属玻璃的阿喀琉斯之踵。因此关于玻璃金属的失效机理和变形能力的研究近些年来得到了极大的关注。

中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室微结构计算课题组对金属玻璃的拉伸延展性能以及失效特征与对应的强度准则进行了研究，取得了重要发现。

变形模式的转变是导致带缺口的金属玻璃试样强化的原因：通常认为材料中缺口导致应力集中，因此降低有效承载部分材料的强度。实验发现带环向缺口的金属玻璃试样拉伸断裂强度随着缺口加深而增加。同时从理论上发现这一异常强化源自其断裂机制由Mode II剪切破坏向Mode I最大拉应力控制的断裂（见图1A）。研究成果发表于Sci. Rep. 5, 10537; doi: 10.1038/srep10537 (2015)。

金属玻璃在轴向-剪切组合应力状态下的螺旋断口可以用Mohr-Coulomb屈服准则来描述，并可以准确确定Mohr-Coulomb涉及的材料参数；这一方法不仅为判断金属玻璃的失效准则提供了新的实验方法，也可广泛应用于理解其他材料断裂机制（见图1B）。研究成果发表于Acta Mater. 99 (2015) 206 – 212。

团簇结构组成的中程有序结构的自愈合能力决定了材料的延展性能强弱。尽管金属玻璃结构长程无序，但是研究发现其具有短程有序的团簇结构。此类团簇又以致密的正二十面体居多（即一个中心原子外包裹十二个最近邻原子）。通过选择两类典型的金属玻璃，即延展性能较好的Zr基材料和较差的Fe基材料进行比较分析，课题组人员发现在加载过程中Fe基材料的团簇结构数量具有比较大的涨落，特别是在主剪切带出现的地方，团簇结构急剧减少。而Zr基材料则没有出现团簇结构的急剧变化。进一步的研究发现，Zr基材料中团簇结构的自愈合能力，即中程有序结构的断裂、重组、愈合能力显著强于Fe基材料（见图2）。研究人员认为团簇结构的自愈合能力有效抑制了主剪切带的发展，进而提升了金属玻璃的延展性能。此工作从原子尺度对金属玻璃的延展性能进行了阐释，对进一步理解金属玻璃的变形机制具有重要价值。研究成果发表于Sci. Rep. 5, 12177; doi: 10.1038/srep12177 (2015)。

该项工作得到了国家自然科学基金杰出青年基金和优秀青年基金的支持，相关研究成果分别在线发表于Nature出版集团期刊Scientific Reports以及Acta Materialia上。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/83268.html>