金属所等在块体非晶态材料中实现加工硬化

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/8458.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！

加工硬化或形变硬化，即金属材料随塑性变形而引起强度升高的行为，反映材料在均匀塑性变形中抵抗进一步变形的能力。它是工程材料力学行为最重要的现象，也是金属作为结构材料被广泛应用的重要依据。非晶合金（也称金属玻璃）具有许多优异的机械性能（高屈服应力、高韧性和破纪录的“ 损伤容忍度 ”），但应变软化却是其致命弱点。与传统晶体材料不同，它们的变形高度局域化，表现为以剪切带主导的非均匀变形。这直接导致了其室温脆性，成为非晶合金的瓶颈问题。因此，实现块体非晶合金的加工硬化行为，被认为是非晶合金乃至所有无定型材料领域的核心科学问题。

近期，中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家研究中心材料动力学研究部研究员李毅（通讯作者）、副研究员潘杰（第一作者）和博士生周维华与英国剑桥大学材料系教授A.L. Greer（通讯作者）、博士Y. P. Ivanov合作，首次在块体非晶态材料中实现加工硬化，颠覆了人们对非晶态材料形变软化行为的固有认识，为开发具有均匀塑性变形能力的非晶合金及其工业应用提供了新思路和方向。相关成果于2月26日在《自然》（*Nature*）发表。

研究人员首先通过三维压应力的方法使块体非晶合金产生大范围、高程度的回春，开发出最高能量状态相当于冷速为10^{10}K/s的非晶合金（*Nature Communications* 2018）。在此基础上，通过单轴拉伸或压缩测试发现：高能量状态（回春态）的块体非晶合金在变形时表现出加工硬化现象和优异的塑性变形能力（图1）。在加工硬化阶段，观察不到任何剪切带，表明合金发生了均匀流变，这完全不同于传统非晶合金依靠剪切带的变形行为。此外，非晶合金的硬化速率远高于任何常见的晶体金属体系。对比回春态和传统铸态块体非晶合金在变形前后的结构和能量状态变化时发现，回春态非晶合金在加工硬化过程中硬度明显上升，但能量显著降低（图2）。非晶合金的径向分布函数结果表明加工硬化后回春态块体非晶合金的结构更加有序化（密度增加），与传统铸态非晶合金形变软化和能量升高的变形过程完全相反。

晶体金属加工硬化的原理是变形过程中位错增殖和相互作用阻碍了彼此的运动，这一微观机制最早由G. I. Taylor在1934年提出。虽然微观结构等其他因素也会影响材料的加工硬化行为，但其最基本原理没有改变，仍然是缺陷增殖，并导致材料能量增加的过程。然而，此次研究结果表明，块体非晶合金的加工硬化却是伴随着材料缺陷的湮灭和减少（更驰豫状态），是一个由高能态向低能态的转变过程。这与晶体材料的传统加工硬化过程完全相反，表明非晶合金具有完全不同的加工硬化机制。此研究不仅是八十五年来对材料加工硬化机理的重新认识，也为非晶态材料作为结构材料的应用奠定坚实的理论基础。

该研究得到国家自然基金、沈阳材料科学国家研究中心、金属所和中科院等的资助。

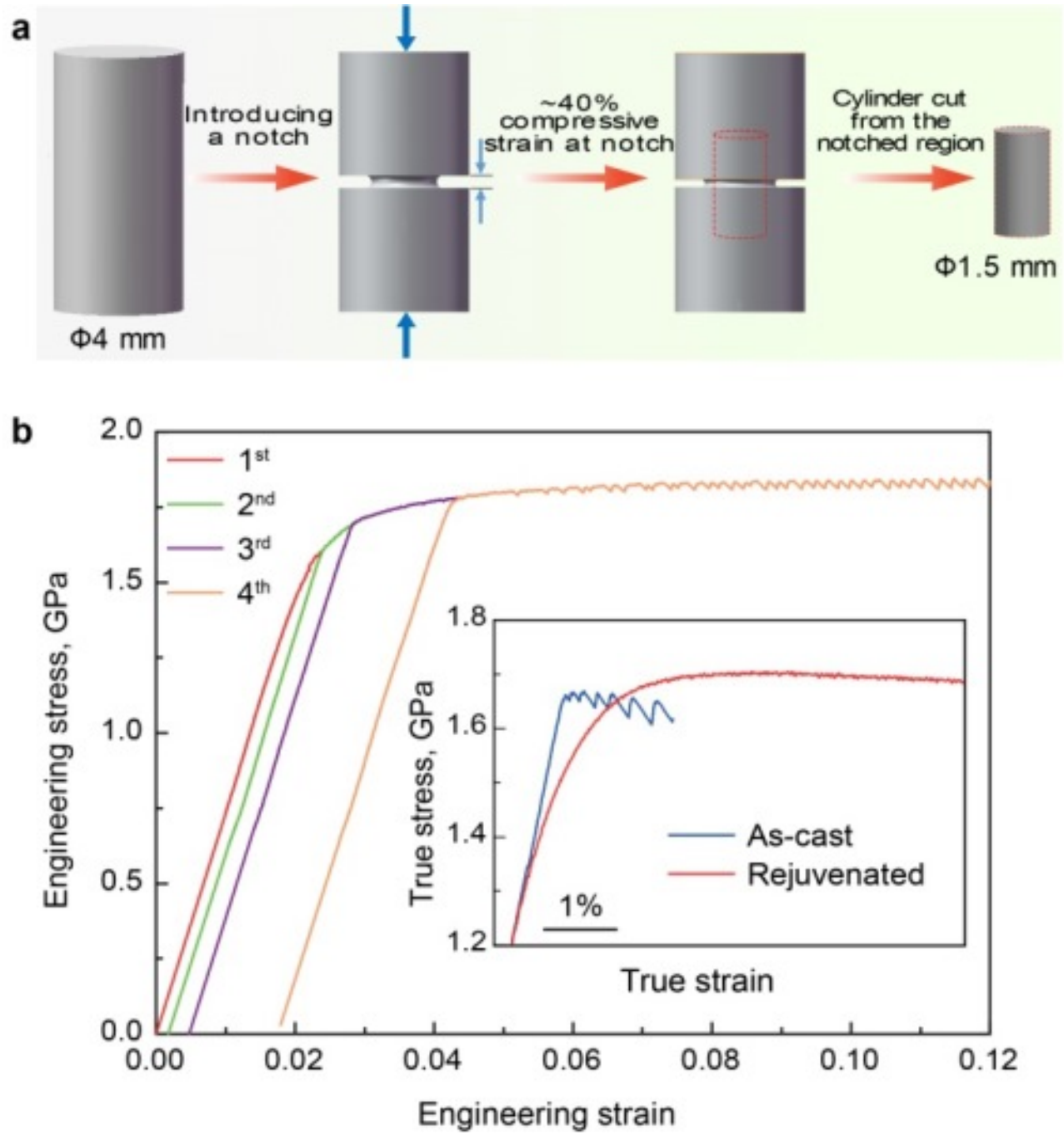


图1 (a) 利用三维压应力的方法使块体非晶合金产生大范围、高程度的回春，获得高能态的块体非晶合金；(b) 回春态块体非晶合金在单轴压缩时的加载-卸载-再加载曲线和真实应力-应变曲线（插图）。

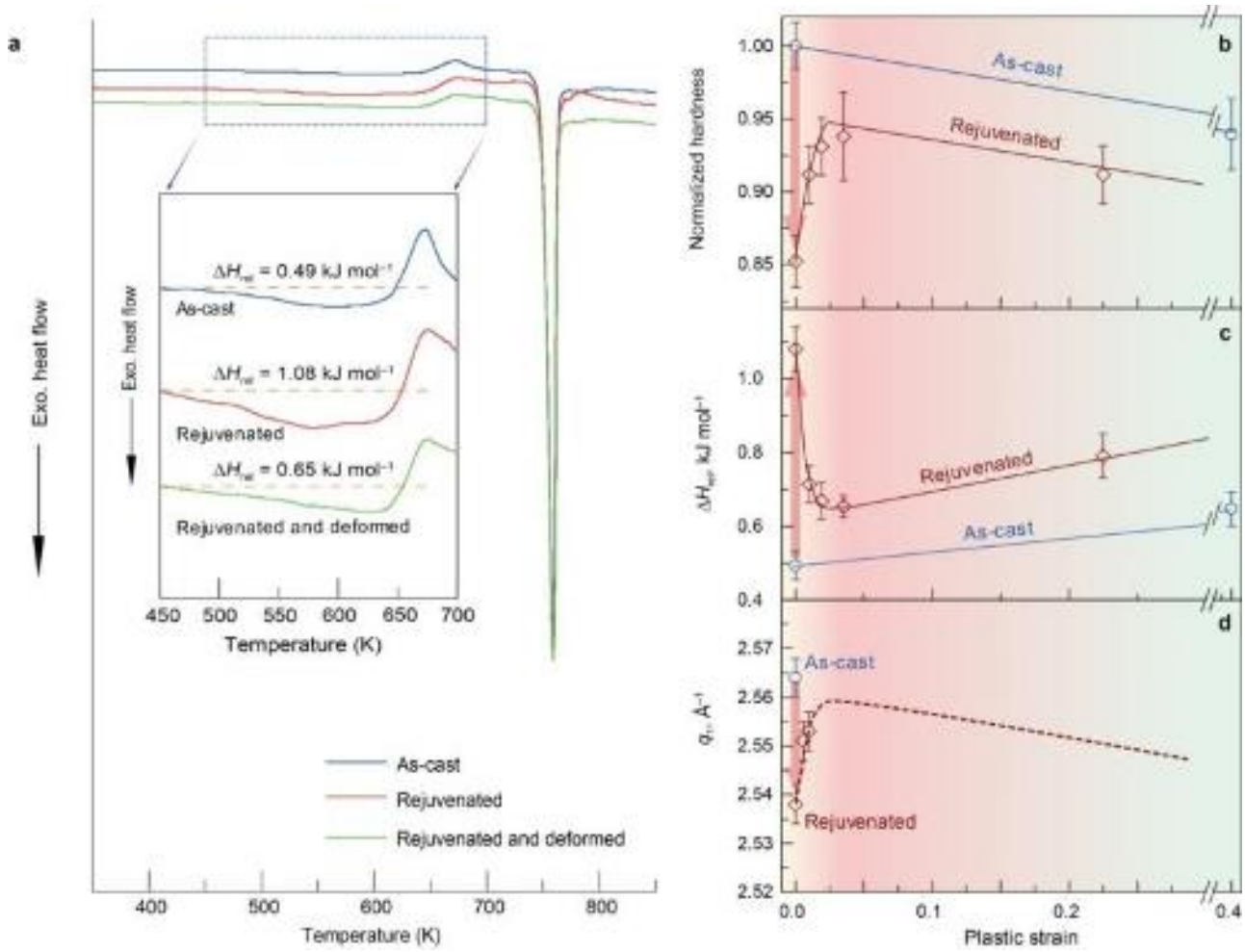


图2 变形过程中块体非晶合金的能量状态和结构的变化。(a) 回春态非晶合金在变形前后的DSC曲线和驰豫焓；铸态和回春态非晶合金的(b)归一化硬度，(c)驰豫焓，以及(d)主衍射环位置q1与塑性变形量间的关系。回春态非晶合金在最初变形阶段（<5%）表现出显著的加工硬化，伴随着硬度升高和能量的降低，以及结构的有序化。这完全不同于传统铸态非晶合金应变软化并伴随能量增加过程。

研究团队单位：金属研究所

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转发