

金属所金属材料低温应变硬化研究获进展

长期以来，基于位错理论的晶体材料应变硬化被视为现代凝聚态物理和材料科学领域里重要且棘手的科学问题之一。它的重要性源于提高应变硬化可同时提高材料强度和塑性；而棘手性在于应变硬化涉及宏量应变载体（位错）的增殖、交互作用、湮灭、重排等复杂的动态演变过程，且存储位错的饱和密度依赖于微观结构。普遍认为，粗晶中位错存储空间大而具有最强的应变硬化能力。诸多强化策略可有效提升材料强度，但不可避免会降低位错存储密度而显著降低其加工硬化，低温变形亦是如此。应变硬化能力的降低是造成结构材料强度-塑性/韧性等性能倒置的根本原因。中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家研究中心研究员卢磊团队在这一科学难题方面取得了重要研究进展。9月14日，相关研究成果在线发表在《科学》（Science）上。

具有空间梯度序构位错胞结构的合金在低温拉伸变形时不仅具有优异的强度和塑性，而且表现出超高的应变硬化能力，其应变硬化率甚至超过粗晶（图1），颠覆了粗晶结构具有最高加工硬化能力的固有认识。这种低温超高应变硬化源于多滑移原子尺度层错束萌生主导的动态结构细化。细化形成的亚十纳米层错畴既能显著阻碍位错运动又能高效存储更高密度的位错（图2）。空间梯度序构、位错胞本征结构以及低温环境协同，激发了超高密度二维平面层错畴主导的应变硬化完全不同于位错、孪生及相变等传统应变硬化机制。

上述成果是本团队继发现梯度纳米孪晶金属的额外强化与加工硬化、梯度位错结构的高强塑性后，又一次发现梯度序构位错结构可激活原子尺度多滑移层错实现晶体低温超高应变硬化。该研究发展了晶体材料的应变硬化理论，为研发高性能金属材料及极端环境应用提供了新的机遇与挑战。

研究工作得到国家自然科学基金委员会、中国科学院和沈阳材料科学国家研究中心等的支持。美国学者在同步辐射X射线表征、中国科学院力学研究所研究员武晓雷团队在低温力学性能、金属所研究员陶乃铭在结果分析讨论方面做出了贡献。

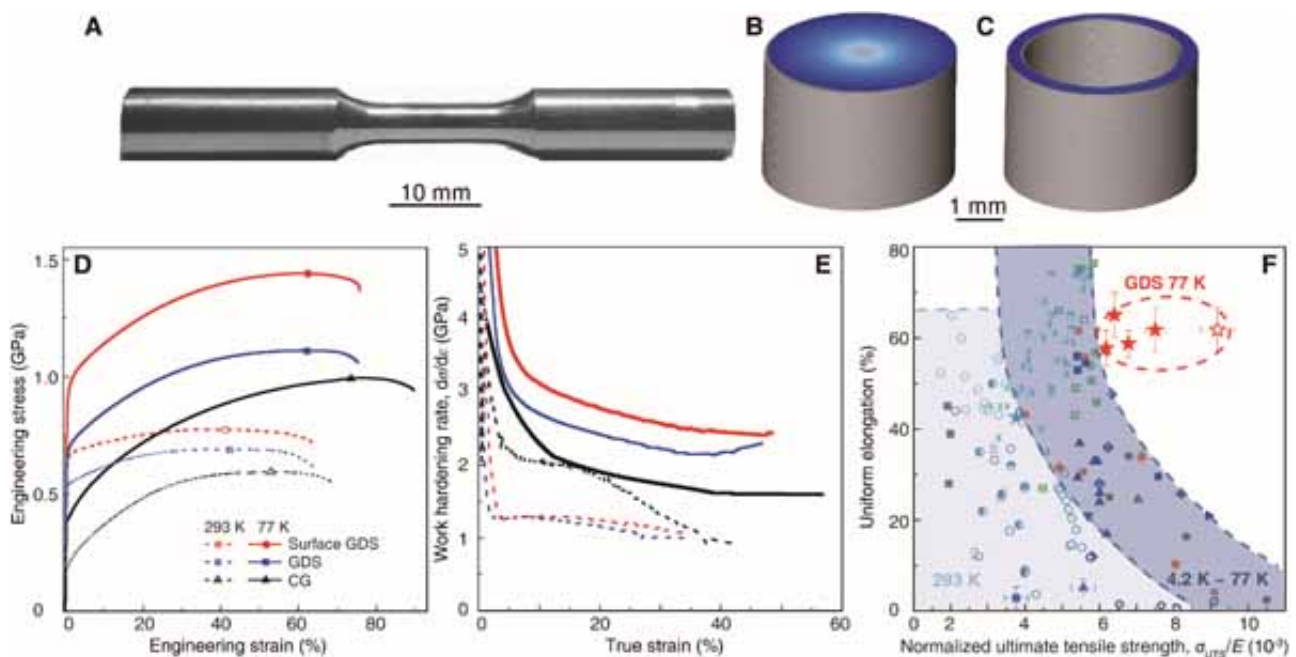


图1. 梯度位错结构（GDS）合金及其典型低温力学行为。（A）狗骨头棒状宏观拉伸样品；（B）样品截面示意图，显示自表（深蓝色）及芯（浅灰色）梯度结构分布；（C）梯度位错管状样品标距段三维X-射线重构形貌（管壁厚度~0.45 mm）；（D）GDS、管状GDS和粗晶的拉伸工程应力-应变曲线和（E）真应力-应变曲线；（F）均匀塑性与归一化抗拉强度曲线，表明梯度位错结构合金的优异低温综合力学性能。

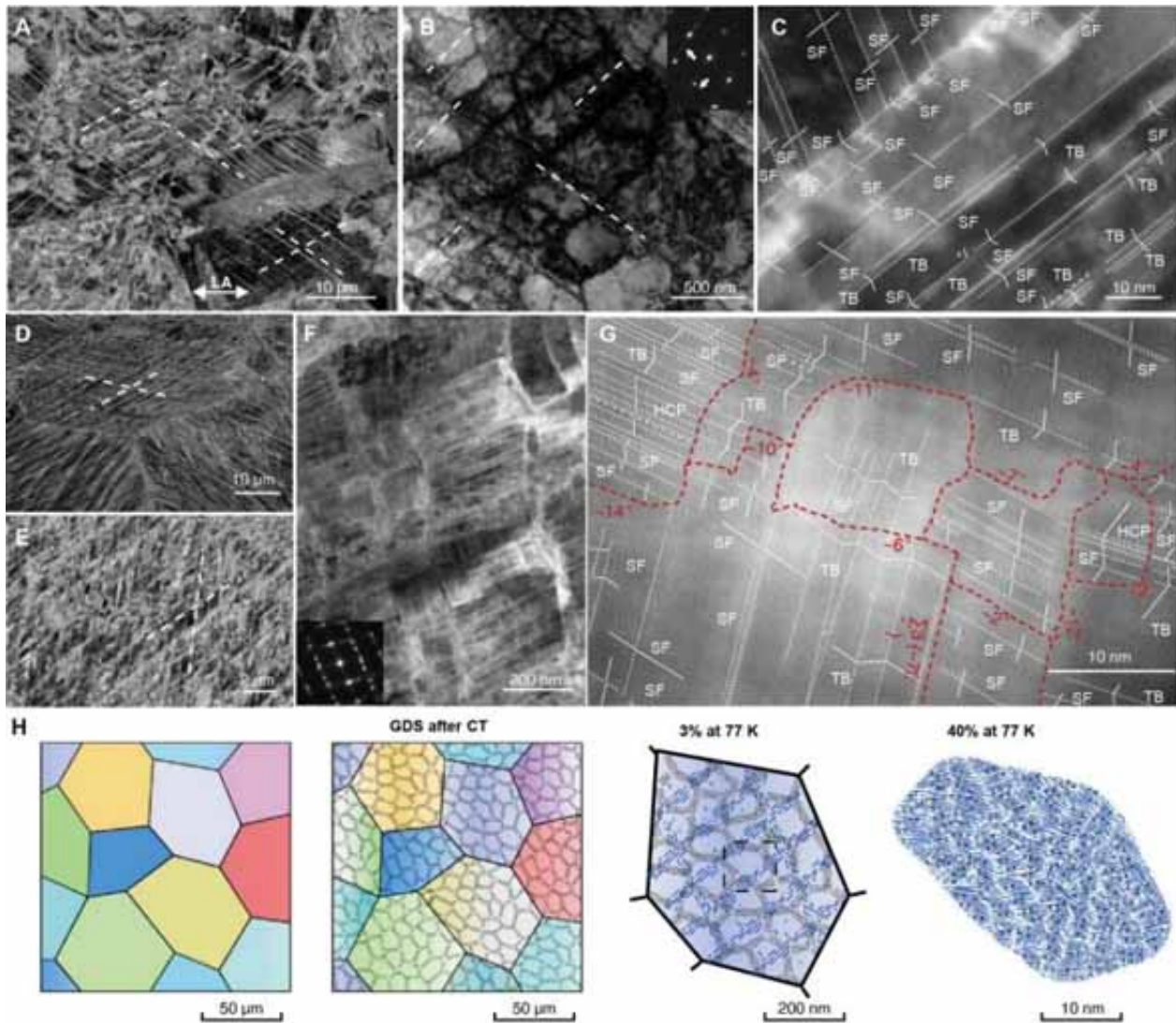


图2. 梯度位错结构表层77 K拉伸结构演变特征。拉伸应变3%时截面SEM (A) 和TEM (B) 结果，晶粒内不同滑移面上相互交割的层错束穿过多个位错胞；(C) 对应的HAADF-STEM结果表明层错束包含超高密度的层错和孪晶结构。拉伸应变40%时截面SEM (D-E) 和TEM (F) 结果，晶粒内已产生高密度细化结构-纳米层错畴；(G) 对应的HAADF-STEM结果表明位错胞被极小层错畴进一步细化；(H) 77 K拉伸变形过程中由原始位错胞逐渐转变为高密度亚十纳米层错畴的动态结构细化示意图。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/201008.html>