
金属所等在高强塑梯度纳米位错结构高熵合金研究中获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/15901.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！

金属材料的塑性变形通常基于全位错的增殖运动、孪生、剪切或相变来协调。位错常被视为塑性变形的基本载体，通过与其他结构缺陷（如晶界、孪晶界、相界等）发生交互作用而强韧化材料；在大塑性变形时，则通过形成小角度位错界演变为大角晶界，实现细晶强化。而位错结构本身强化效应有限，尤其是不全位错主导的变形及强化行为鲜有报道。

近年来，多主组元高熵合金因其近乎无限的成分区间、独特的化学短程有序结构和优异的力学性能而备受关注。然而，研究发现长期制约传统金属结构材料发展的“强度-塑性”倒置关系在高熵合金中依然普遍存在，原因在于其塑性变形机制被认为与传统金属材料并无本质差别。因此，迫切需要借助新颖的微观结构构筑来揭示高熵合金是否具有独特变形机制，以丰富金属材料的有效强韧化策略。

近日，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与美国田纳西大学、美国橡树岭国家实验室、美国阿贡国家实验室合作，关于这一科学难题取得研究重要进展。9月23日，相关研究成果以First Release形式在线发表在《科学》（Science）上。

研究人员运用一种简

单、高效的小角度往复扭转梯度塑性变形

技术，保持 $Al_{0.1}$

CoCrFeNi高熵合金棒材样品中原始晶粒的形貌、尺寸和取向不变，同时在晶粒内部引入百纳米尺度位错胞稳定结构。随距样品表面深度增加，位错胞尺寸逐渐增加，位错密度随之降低，实现了位错胞结构从样品表面至芯部的梯度序构分布和可控制备。拉伸结果表明，梯度位错胞结构显著提高材料屈服强度，并使其保持良好的塑性和稳定的加工硬化。梯度位错结构高熵合金的强塑积-屈服强度匹配优于文献报道中相同成分的均匀或梯度结构材料。

研究利用高分辨透射电子显微技术、同步辐射X射线、原位中子衍射等多尺度微观结构表征技术，发现高熵合金中梯度位错结构在塑性变形过程中激活了不全位错-层错诱导塑性变形机制。变形初期，亚十纳米细小层错即从位错胞壁萌生、滑移扩展，其密度随拉伸应变增加而增加，逐渐演变成超高密度三维层错（与少量孪晶界）网络，直至布满整个晶粒。超高密度细小层错/孪晶的形成有效协调其塑性变形、细化初始位错结构、阻碍其他缺陷运动而贡献强度和加工硬化。这一新的层错强韧化机制不同于传统结构材料的全位错强化，与高熵合金中空间波动的低层错能、纳米尺度位错胞结构以及梯度序构效应引起的复杂应力场密不可分。该研究剖析了高熵合金特有的变形机理，表明了简单、易行的往复扭转梯度塑性变形技术可广泛用于梯度结构材料的构筑与

制备，具有重要的基础研究和应用价值。

研究工作获得国家自然科学基金委员会、中科院、辽宁省“兴辽英才计划”、中科院沈阳材料科学国家研究中心等的资助。

[论文链接](#)

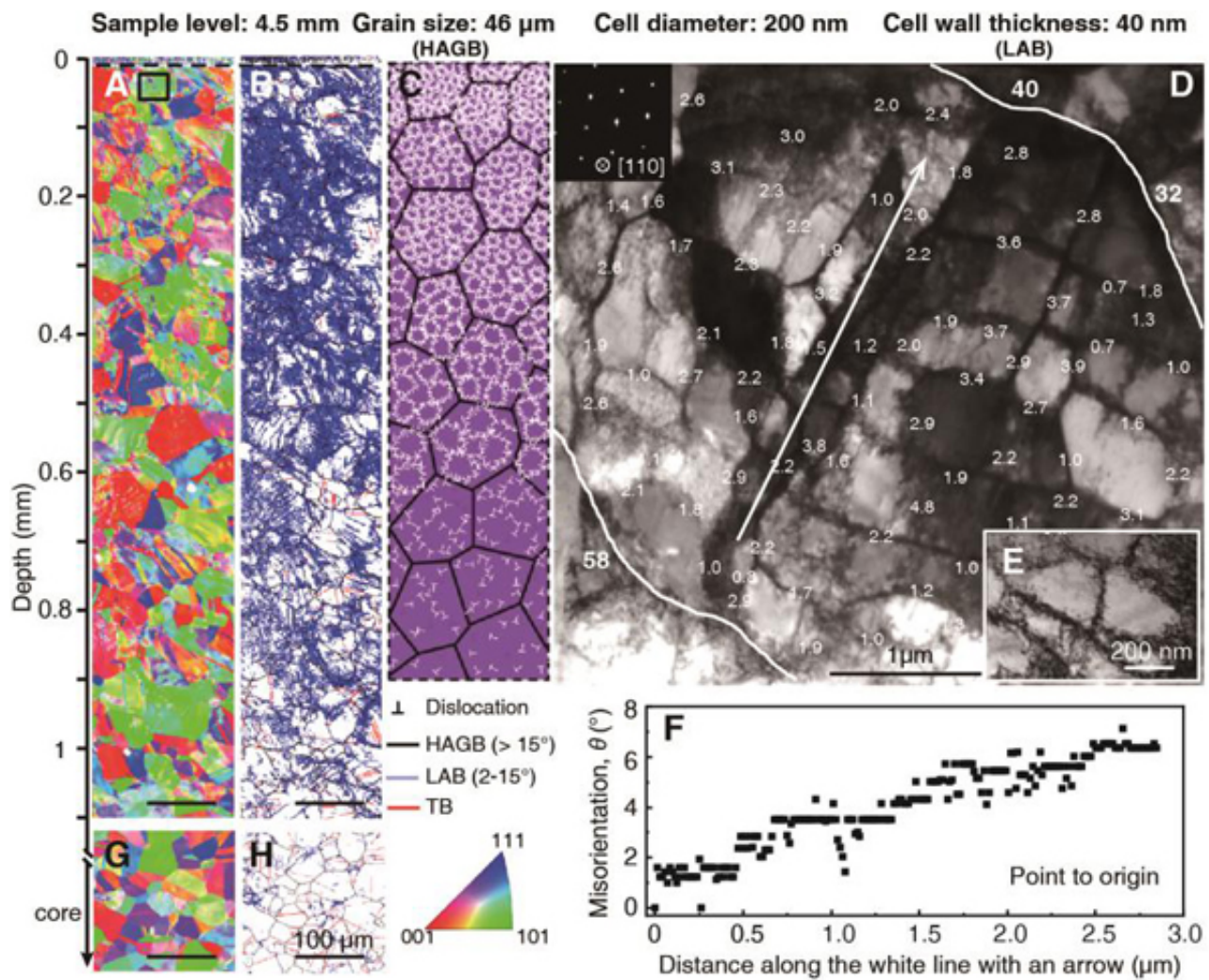


图1. $\text{Al}_{0.1}\text{CoCrFeNi}$ 高熵合金中典型梯度位错结构。距离样品表面1.2 mm内 (A、B) 以及芯部 (G、H) 的截面EBSD结果显示晶粒 (形貌、尺寸、取向) 以及内部位错结构在空间上的分布特征；(C) 梯度位错胞结构示意图；(D-E) 表层晶粒内典型位错胞TEM结果显示平均位错胞尺寸为200 nm，胞壁取向差介于 0.7° - 4.8° ；(F) 对应D图单个晶粒内跨过诸多位错胞的累积取向差仅为 7° 。

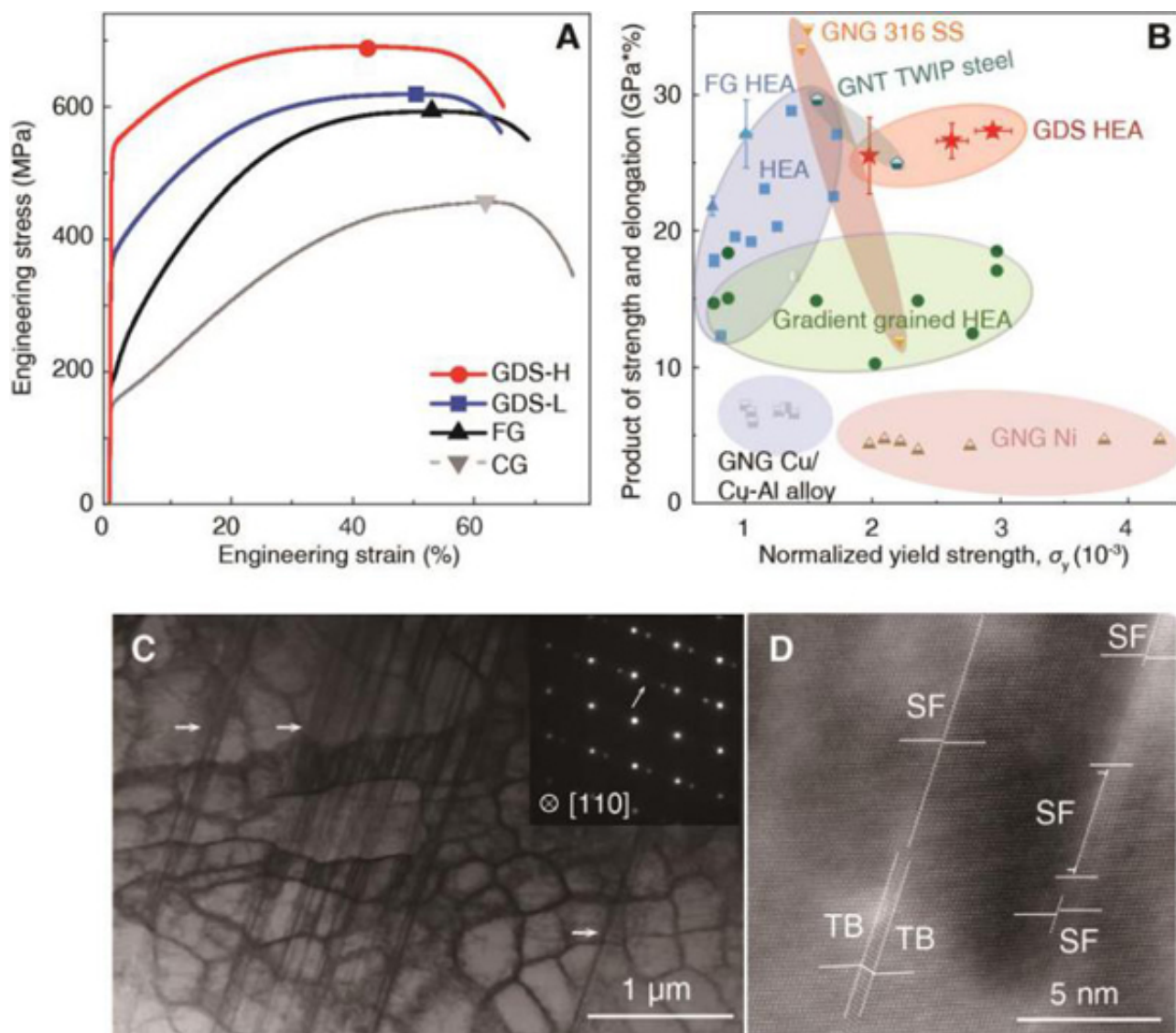


图2.梯度位错结构 $\text{Al}_{0.1}\text{CoCrFeNi}$ 高熵合金的力学性能和变形机制。(A)拉伸工程应力-应变曲线；(B)强塑积与归一化屈服强度曲线，表明梯度位错结构高熵合金的综合力学性能优于相同成分的其他均匀结构和梯度结构，也优于文献中其他梯度纳米晶和梯度纳米孪晶结构金属和合金；(C-D)拉伸应变为3%时典型变形结构的HAADF-STEM结果表明，梯度位错结构的塑性变形通过独特的超高密度亚十纳米层错和少量孪晶界协调。

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](https://www.iikx.com)转发