金属所在纳米多孔金属中观察到反常的均匀-非均匀变形转变

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/15422.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！

在多孔材料压缩变形的初始阶段，其应力-应变曲线呈现出一个较长应力平台。流变应力在压缩变形中几乎保持恒定，直至致密化阶段流变应力才开始急剧上升。多孔材料的压缩应力平台与其非均匀变形方式有关：在外加载荷下多孔结构发生局部失稳坍塌，形成变形带；该变形带在恒定应力下逐渐扩展至整个样品。这一独特变形方式是多孔材料的典型行为，也赋予了该材料抗冲击、吸能等优异性能。对于常规多孔材料，当相对密度或固相体积分量较低时，其压缩应力平台较明显；随着相对密度的提高，应力平台长度急剧缩短；当相对密度上升至~0.30以上，应力平台逐渐消失，多孔材料的压缩变形也逐渐转变为类似于全致密材料的均匀变形行为。

近年来，纳米多孔金属因其高强度及独特的表面控制功能特性而备受关注。纳米多孔金属的变形行为与该材料的结构-功能一体化应用探索紧密相关，也是当前该领域的研究热点之一。以往研究表明，纳米多孔金属在压缩下呈现均匀变形，且在其应力-应变曲线上未见应力平台。一般认为，这是由于当前纳米多孔金属相对密度较高所致，压缩应力平台可能在相对密度更低的纳米多孔金属中出现。

与上述传统认识相反，中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家研究中心副研究员刘凌志、博士研究生张烨元、特别研究助理解辉和研究员金海军发现，通过进一步提高而非降低相对密度，可在纳米多孔金中复现由非均匀变形诱发的压缩应力平台。近日，这一研究成果以*Transition from homogeneous to localized deformation in nanoporous gold*为题，发表在*Physical Review Letters*上。

研究发现，随着相对密度升高，纳米多孔金压缩加工硬化率急剧下降，在相对密度提高至~1/3以上时呈现良好的应力平台，其变形也从均匀变形逐渐转变为非均匀变形。这一变形方式的转变与传统多孔材料中观察到的转变方向完全相反，且机制不同。进一步结构表征和分析表明，纳米多孔金属变形方式转变源自于其孔棱变形从弯曲主导向拉压主导的转变。在较低相对密度纳米多孔金的压缩变形中，由于悬挂孔棱的搭接以及孔棱弯曲产生几何必需位错强化，从而诱发应变硬化并抑制应变局域化。而在较高相对密度纳米多孔金中，孔棱在拉压主导变形下更易于发生位错滑移雪崩诱发的应变失稳，从而诱发局部变形带的形成以及恒定载荷下递进式的宏观变形方式。这一转变只在孔棱直径小于200纳米，且晶粒尺寸远大于孔棱直径的条件下存在，有可能是自组装纳米多孔结构晶体材料的共同特征。

这是在该临界相对密度（~1/3）附近观察到纳米多孔金属的异常力学行为【L.Z. Liu et al, *Acta Materialia* 78(2016)77-87；L.Z. Liu et al, *Applied Physics Letters* 110(2017)211902；H.J. Jin et al, *MRS Bulletin* 43(2018)35-42】和自发致密化行为【H. Xie et al, *Acta Materialia* 209(2021)116806】后，该团

队发现的纳米多孔金属异于传统多孔金属的又一特征行为。该研究对于发展结构-功能一体化高性能纳米多孔金属材料、理解自组装纳米结构的稳定性及表面控制力学响应【H.J. Jin and J. Weissmueller, *Science* (2011)；Y.Y. Zhang et al, *Physical Review Letters*(2021)】等具有重要意义。

研究工作得到国家重点研发计划、国家自然科学基金面上项目和青年科学基金项目资助。

论文链接

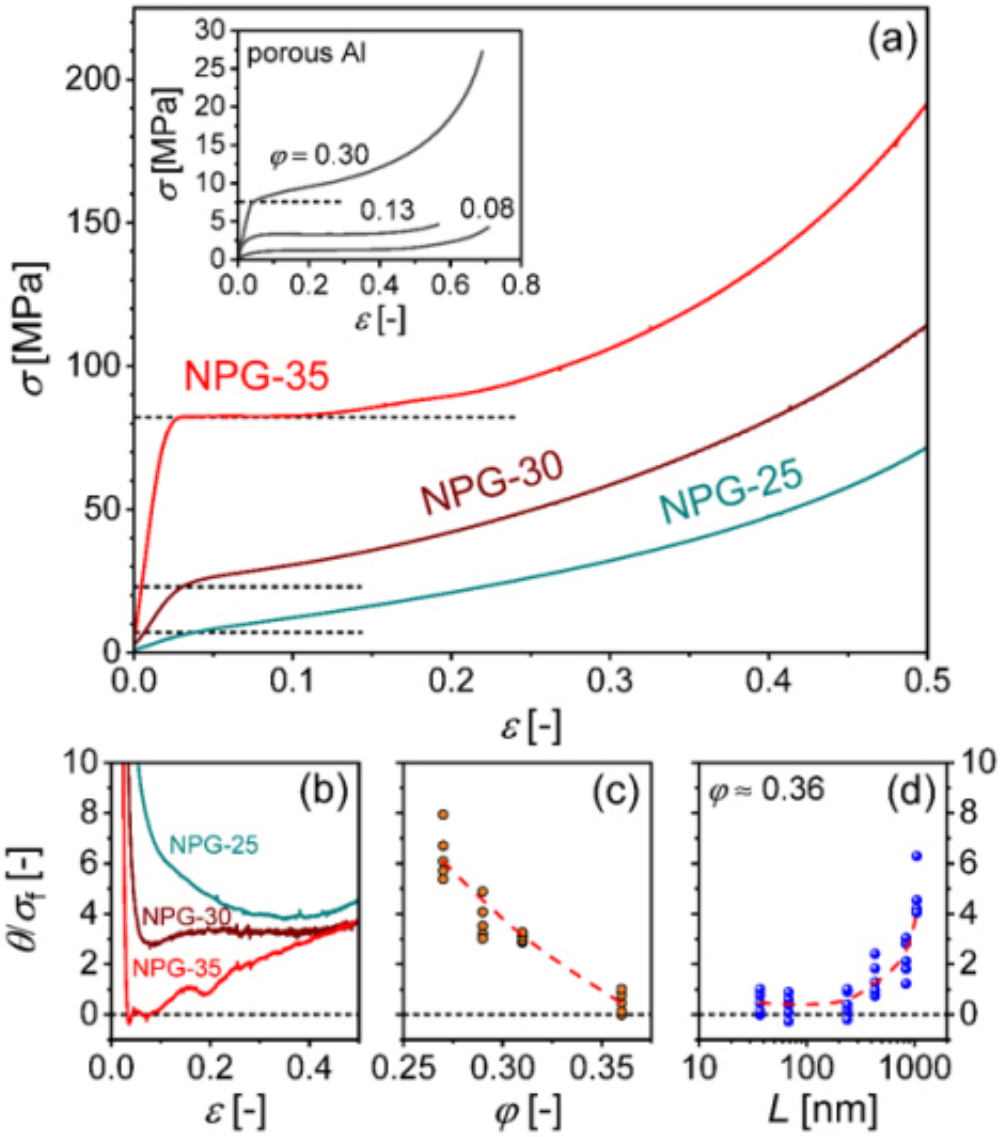


图1.纳米多孔金的压缩变形行为。（a）不同相对密度纳米多孔金的压缩应力应变曲线，小图为不同相对密度常规多孔铝的压缩应力应变曲线；（b）不同相对密度纳米多孔金归一化后的加工硬化率随压缩应变的变化情况；（c）纳米多孔金归一化加工硬化率随相对密度的变化；（d）相对密度为0.36的NPG-35样品的加工硬化率随孔棱尺寸的变化情况

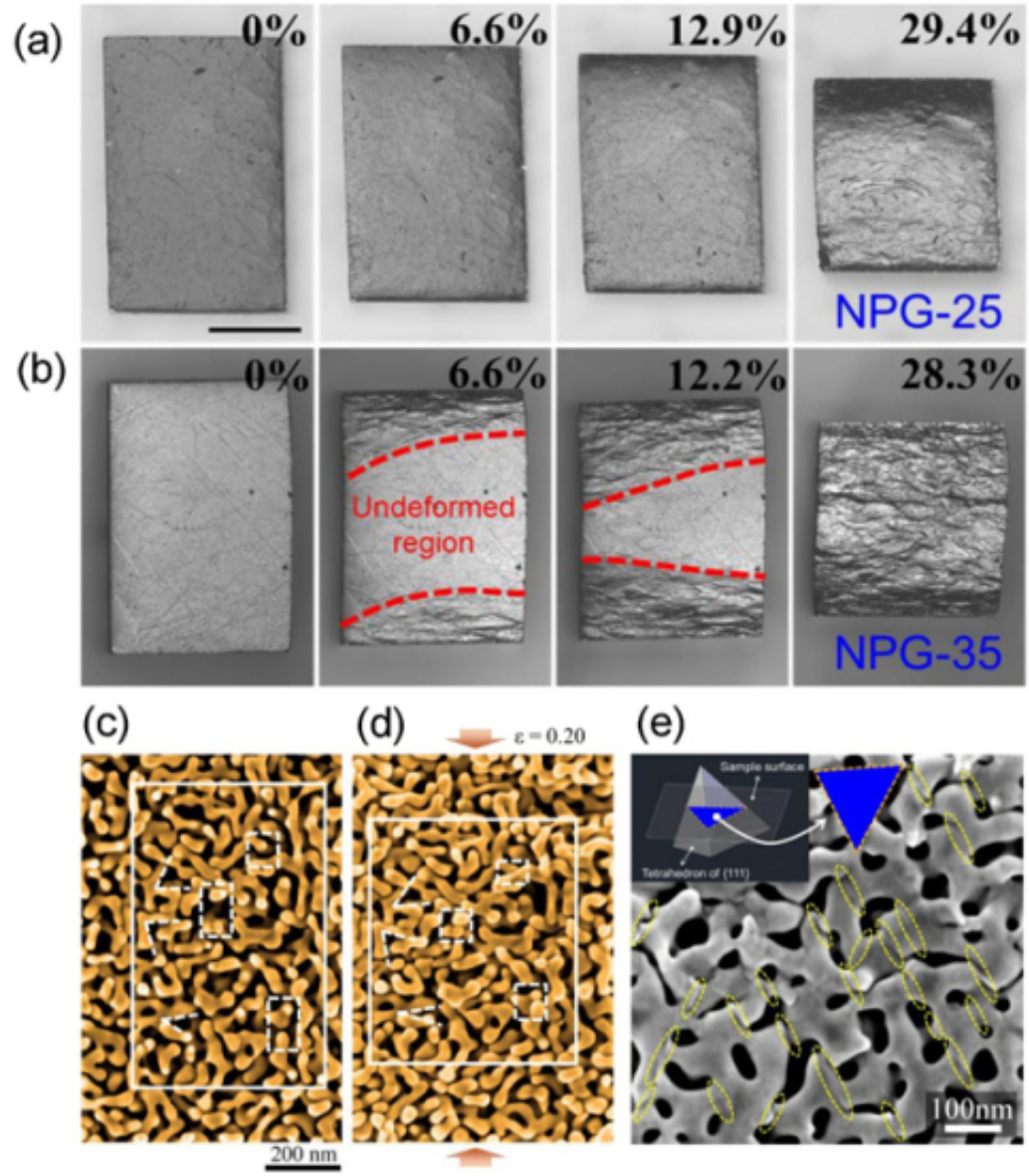


图2.纳米多孔金的均匀与非均匀变形。相对密度为0.27的NPG-25样品。（a）和相对密度为0.36的NPG-35样品；（b）压缩不同应变后的表面形貌光镜照片；（c-d）为NPG-25样品压缩20%前后局部变形情况，可见孔棱发生弯曲变形和悬挂孔棱发生搭接；（e）压缩10%的NPG-35中，变形带内的孔棱发生位错雪崩式滑移变形的痕迹

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