金属所发现快速升温可大幅度提高Cu纳米晶的热稳定性

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/9342.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！

纳米金属由于引入了大量的晶界而导致稳定性差。一般而言，纳米晶的晶粒长大温度远低于粗晶的再结晶温度，一些纳米晶纯金属甚至在室温下即发生长大。稳定性差已经成为限制纳米金属制备和应用的主要瓶颈。传统的稳定纳米晶方法主要是通过合金化来降低界面能或对晶界迁移形成拖曳作用。

中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家研究中心纳米金属科学家工作室近年来在纳米金属的稳定性方面开展了系统的研究工作。2018年，工作室研究人员在塑性变形制备的纳米晶纯铜和纯铝中发现了纳米晶热稳定性的反常晶粒尺寸效应，即小于临界尺寸，随着晶粒尺寸减小，材料的变形机
制由全位错主导转变为不全位错主导，晶界弛豫机制启动，纳米晶的稳定性不降反升（*Science*, 360, 2018）。随后，他们发现，尽管与加热条件下的晶界迁移的内在机制不同，纳米晶在受力条件下的机械稳定性也存在这种反常晶粒尺寸效应（*Phys Rev Lett*, 122, 2019）。该项研究被*Science* 以*A size limit for softening* 为题推选为亮点工作（*Science*, 364, 2019）。

然而，目前常用的严重塑性变形方法（如等通道挤压、叠轧等）制备的纯金属，其晶粒尺寸通常在亚微米尺度，很难在加工过程中启动晶界弛豫机制。例如，严重塑性变形制备的纯铜晶粒尺寸多处于100-200 nm，稳定性较差，其晶粒长大温度远低于粗晶。近期，工作室李秀艳等人的研究发现，利用快速升温可以在纳米晶铜中引入退火孪晶，从而实现纳米晶晶界的“热弛豫”，提高纳米晶的热稳定性。在纳米晶铜中引入退火孪晶面临的一个难题是：不稳定的纳米晶，其晶粒长大稳定度仅为393 K，远远低于退火孪晶产生的温度（~523 K），加热过程中未等产生孪晶，晶粒先已长大。研究人员依据Kissinger效应，提出增加升温速率，可以提升晶粒长大温度，而不影响孪晶生长温度。因此，采取快速升温既避免了晶粒长大，又可产生生长孪晶。将晶粒尺寸80 nm左右的纯Cu，以160 K/min的速率快速升温至523 K保温15 min再冷却，材料晶粒尺寸没有明显变化，而孪晶数量明显增加。与变形孪晶一样，这些生长孪晶也可以弛豫晶界，增强纳米晶的热稳定性。热处理后，纳米晶的明显长大温度从原来的低于393 K升高至773 K以上。

快速升温提高纳米晶稳定性的热弛豫方法可以用于提高一般严重塑性变形所获得的亚微米和纳米晶
的稳
定性，对于发展高稳定纳米材料和推动纳米金属的应用具有重要意义。该项工作发表于*Science Advances*, 6,（2020）。

该工作受到科技部重点研发计划、国家自然科学基金以及中科院项目支持。

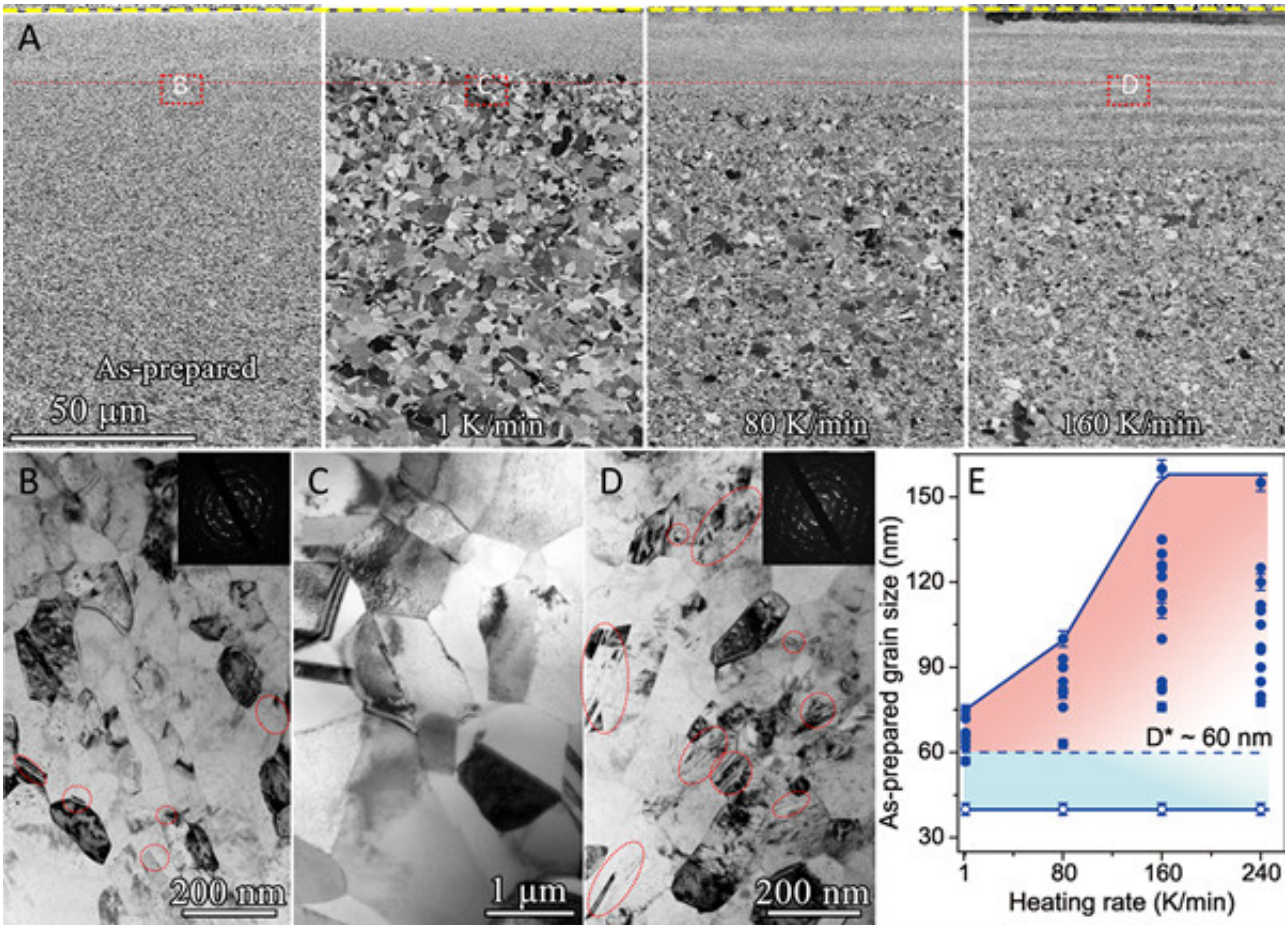


图1. 快速加热稳定纳米晶铜。（A）制备态样品及分别以不同升温速率（1，80，160K/min）加热至523K的样品的表层梯度纳米结构的典型横截面扫描电镜照片。（B-D）制备态样品及不同升温速率加热处理后的样品中距表面~25 μm深度处纳米晶典型透射照片（对应深度如图A中虚线框所示，该深度处制备态样品平均晶粒尺寸约为80nm）。（E）以不同升温速率加热至523K处理后的样品中表层稳定纳米晶对应晶粒尺寸范围。图中实心和空心圆点分别代表实验观察到稳定纳米晶层的上下界所对应晶粒尺寸，虚线表示制备态样品在523K热处理时稳定纳米晶的平均晶粒尺寸上界（D^*~60nm），误差棒指平均晶粒尺寸的统计标准误差。

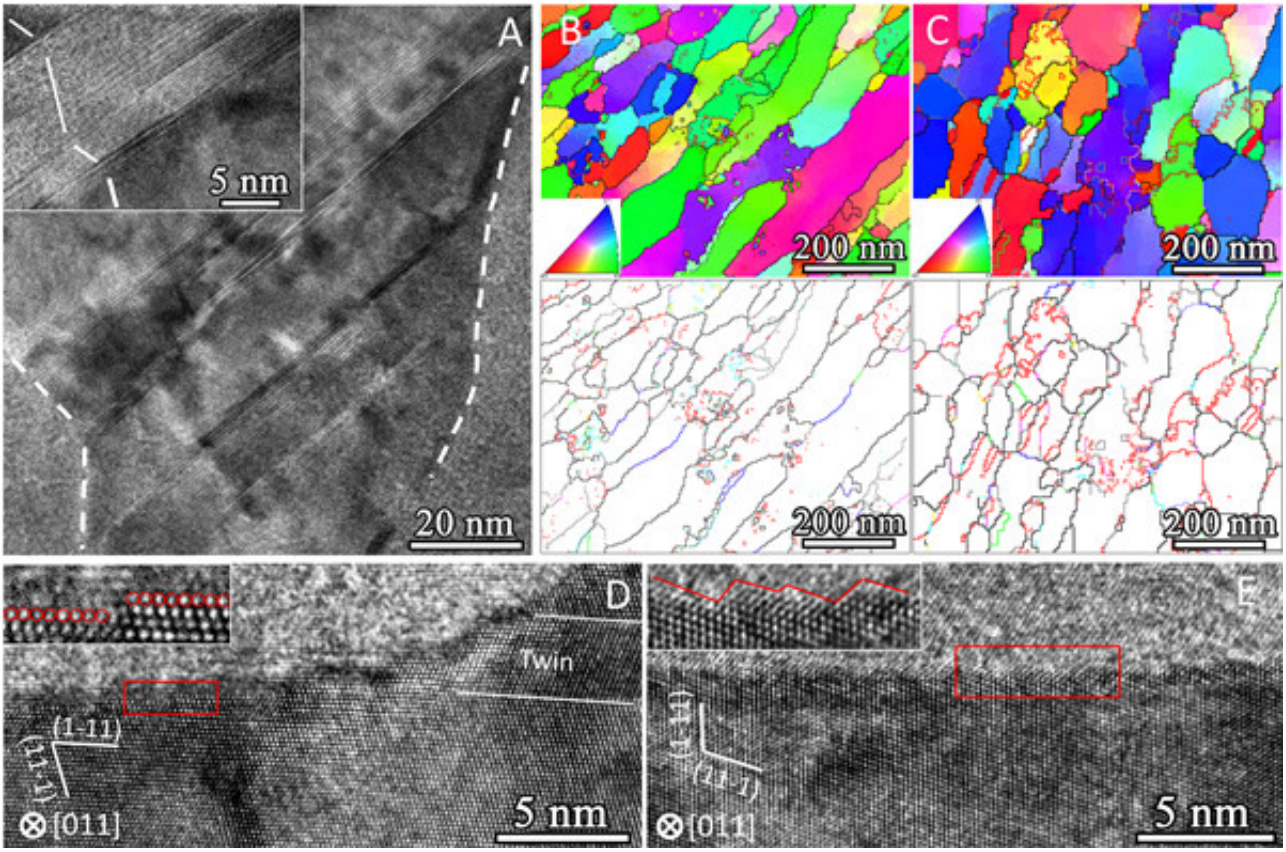


图2. 快速加热后纳米晶内部形成大量孪晶且晶界平面化。（A）图1D中所示区域内纳米晶的典型高分辨照片，左上角插图为晶粒中纳米孪晶的原子像图片。（B, C）制备态样品和以160K/min升温速率加热至523K处理后样品中典型晶界特征分布。不同颜色代表不同类型晶界，红色为孪晶界，灰色为小角晶界，黑色为普通大角晶界，其他颜色为其他特殊重位点阵界面（Σ < 29）。（D, E）图1D所示区域内的典型晶界高分辨照片，左上角插图为红色实线框放大图。

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