
金属所等在高层错能金属中构筑超细纳米孪晶结构

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/14474.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！

金属材料的强化是材料领域的核心研究方向。细晶强化（即Hall-Petch强化，包括晶界强化/孪晶界强化）是常用且有效的强化手段之一，其内在机制是源于晶界/孪晶界对位错运动的阻碍。然而，当晶粒尺寸（ d ）和孪晶片层厚度（ λ ）达到某个临界尺寸（10-15nm）时，材料的主导变形机制将转变为晶界运动或退孪生，从而使其表现出Hall-Petch关系失效或软化效应（即材料强度随着 d/λ 的降低而不再增加甚至降低），成为材料强度提升的瓶颈。

近日，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特别研究助理段峰辉、研究员李毅、副研究员潘杰，与上海交通大学教授郭强合作，首次在高层错能金属Ni中实现了超细纳米孪晶结构的可控构筑，以及纳米孪晶Ni在10nm片层厚度以下持续强化。该研究成果突破了人们对纳米晶金属材料在极小结构尺寸下发生软化的认知，为发展超高强度/硬度金属材料提供了可行途径。相关研究成果发表在Science Advances上。

纳米孪晶结构普遍存在

于低层错能金属材料中，而在高层错能金属Ni

（ $\gamma_f=128\text{mJ/m}^2$

）中引入高密度生长孪晶，特别是极小片层厚度的孪晶结构至今鲜有报道。研究人员采用直流电沉积技术，基于高沉积速率和镀层拉应力的协同作用，在金属Ni中获得体积分数达100%的柱状纳米孪晶结构，实现了孪晶片层厚度从2.9到81.0nm的可控调节。研究表明， $\lambda < 10\text{nm}$ 时，纳米孪晶Ni的强度和硬度仍然随着片层厚度的减小而增加，表现出持续强化和硬化行为。最小片层厚度（ $\lambda = 2.9\text{nm}$ ）的纳米孪晶Ni表现出最高的屈服强度（ $\sim 4.0\text{GPa}$ ），约是目前报道的纳米晶Ni最高强度（ $\sim 2.2\text{GPa}$ ）的2倍。微合金化的纳米孪晶NiMo合金片层厚度甚至可达到1.9nm以及更高的强度4.4GPa。

纳米孪晶Ni的持续强化行为源于两个方面：软化机制被抑制于两种强化机制（强化模式I型位错和二次孪晶）的启动。前者主要归因于Ni具有较高层错能，致使不全位错在晶界的形核阻力较大，且不全位错倾向于束集成全位错，抑制了退孪生的发生。后者对位错的运动具有强烈的阻碍作用，提供了强化作用。另外，高密度孪晶界的形成过程或诱发晶界弛豫。弛豫态晶界具有更好的机械稳定性，发射不全位错的临界应力也更大。这种不全位错的发射导致晶界进一步弛豫，且高层错能金属的弛豫态晶界发射不全位错的临界应力更高。

研究工作得到金属所、沈阳材料科学国家研究中心、中科院青年创新促进会和国家自然科学基金（优秀青年科学基金项目 and 面上项目）等的资助。

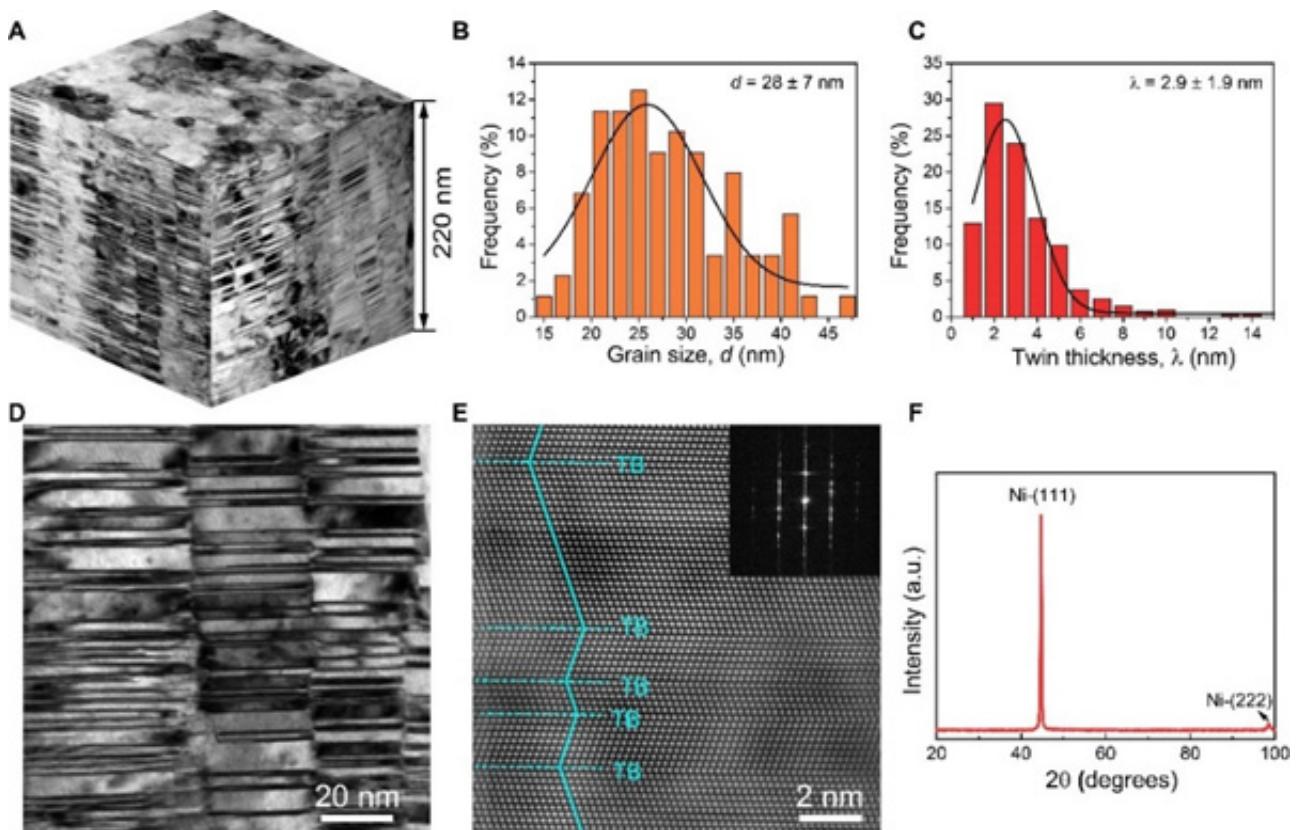


图1. $\approx 2.9\text{nm}$ 的纳米孪晶Ni的微观结构。(A) 典型的三维结构，包括平面图和截面图；(B) 和 (C) 分别为孪晶片层厚度和柱状晶粒宽度的分布图；(D) 高倍TEM截面图像；(E) 高分辨TEM图，插图为相应的选取电子衍射花样；(F) XRD曲线，表现为强烈的(111)织构

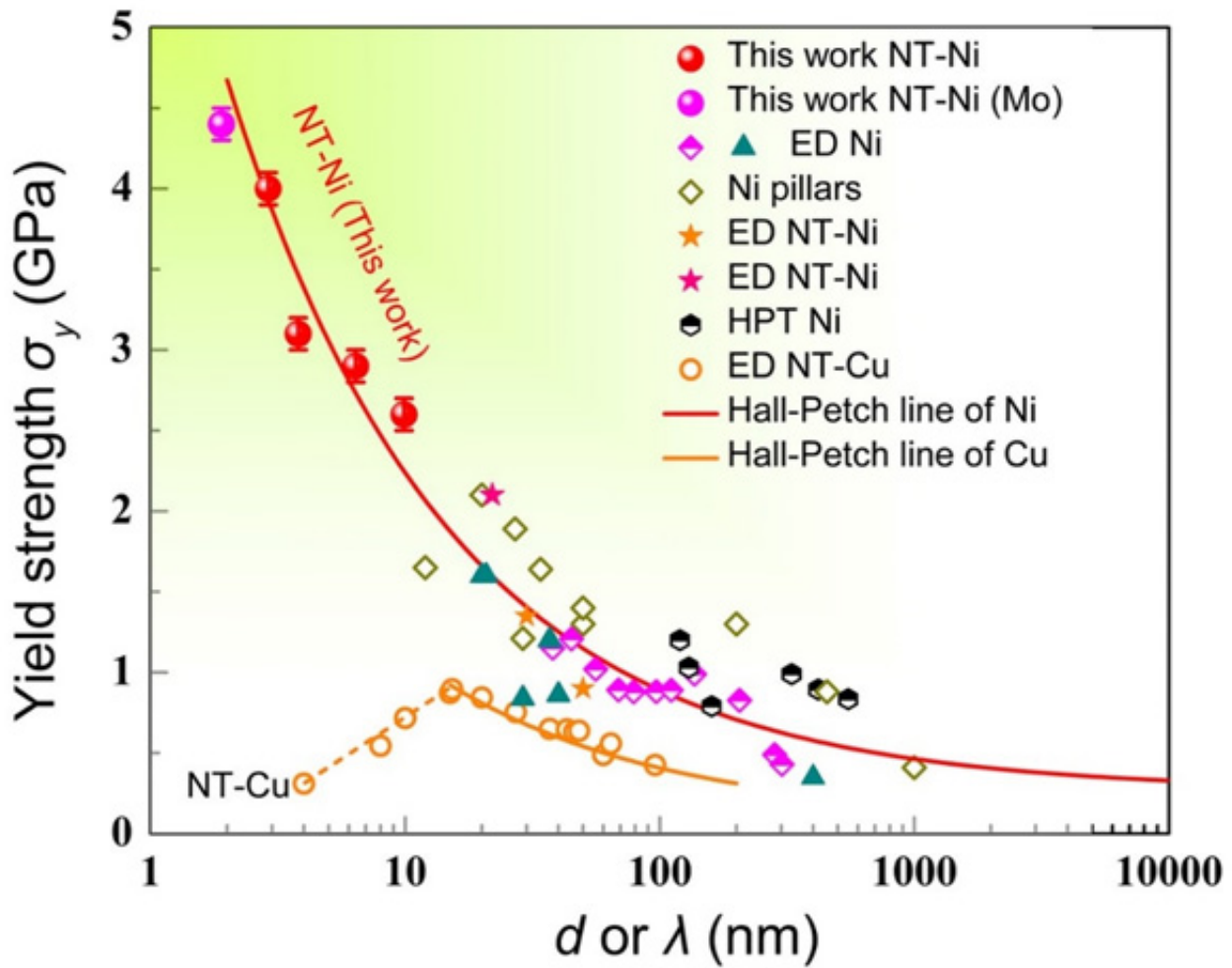


图2.纳米孪晶Ni的持续强化行为。纳米孪晶Ni的强度随孪晶片层厚度的变化关系。作为对比，图中包含了文献中不同晶粒尺寸或孪晶片层厚度纯Ni强度值，还包含了纳米孪晶铜的强度随孪晶片层厚度的变化关系。这些强度值都是通过单轴拉伸和压缩实验获得的。在片层厚度小于10-20nm时，纳米孪晶Ni表现出持续强化现象，而纳米孪晶铜表现出软化行为

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](http://www.iikx.com)转发