

力学所等突破材料的强度与韧性之间的对

文章来源：力学研究所

发布时间：2014-04-21

对钢材而言，强度和韧性是衡量品质的重要标准，但两者却总是鱼与熊掌不可兼得，只能衷衷方案。中国科学院力学研究所研究员魏宇杰和他的研究团队探索出有效的材料制备方法，其中的梯度多层次孪晶结构，大幅度提升孪晶钢材料的强度且不损失其拉伸韧性，相关论文发表《通讯》上。

当我们用力拉横截面积相同、长度相等的两种材料，比如铁棒和木棒，如果每施加一点力木棒将恢复到它们的原始长度，这一过程为材料的弹性变形阶段。如果逐步增加所施加的力，铁棒和木棒的长度将不能完全恢复，这一对应状态下的力，如果考虑单位横截面积，对应于铁持续增加外力，材料进入我们常说的塑性变形阶段。这时铁棒的不可恢复部分的变形逐渐变多，在临破坏前，铁棒的最终长度可能比初始长度增加了30-50%。与此相对照，临破坏前木棒初始长度增加了百分之几。这一最终可拉伸的长度，即对应于材料的拉伸韧性。在弹性阶段，越少截面积的材料来承担相同大小的力；韧性越好，材料变形过程中所能吸收的能力就越多。棒的强度高，塑性变形能力强，拉伸韧性好。这也是人类逐步用钢铁取代木材，使前者成为最的原因。

对于同一类材料，尤其是金属材料，它们的强度与韧性之间是对立的，类似于我们常说图1)。这一对立关系，是由于材料内在的微观结构和变形机理导致的，如何设计并控制材料的变形机理，实现强度与韧性两者兼得，是科研人员长期追求的目标。对钢铁而言，考虑到它是重点研究方向。最近几年出现的孪晶钢（TWIP），由于其韧性好，受到了广泛的关注，尤其是韧性变形能在事故过程中将大量的冲击带来的能量耗散在材料变形过程中，从而提高安全性低，导致疲劳寿命（能承受的循环载荷的次数）低。

受文献中高速碾磨后具备纳米结构表层的铜金属所展现的优异力学性能的启发，中科院大学、浙江大学和布朗大学组成的研究团队探索出有效的材料制备方法，实现了孪晶多层次孪晶结构，大幅度提升孪晶钢材料的强度且不损失其拉伸韧性。通过预加的扭转变形，孪晶密度梯度（如图2所示）。由于孪晶界面是原子在某一个排列方向的镜面对称面，原子高孪晶密度的钢材在之后的拉伸变形中强度显著提高，而韧性没有变化。更为重要的是，这一木效、不受材料尺寸的限制。这些特点使得这一研究具有很高的实用价值，能广泛应用于需要增轴承、转子等结构，服务于汽车、高速铁路等行业。

实现大幅度强度提升且不损失材料拉伸韧性的原因在于材料经过预加的扭转变形之后形成得材料由里至外，强度线性增加，这种表面强，内部弱的同类材料复合结构，其强度由各处孪晶密度梯度也使得材料在塑性过程中维持较高的硬化（随着材料塑性变形而需要增加载荷以实现象），这一硬化特点能有效防止变形局部集中导致的材料破坏。

更为重要的是，由于预处理中孪晶密度梯度的存在，后续的拉伸变形使得材料内部形成梯（如图3所示）。实验和理论分析表明，在不同的材料处理和变形阶段，晶体内在的不同孪晶得变形在微观层次趋于均匀分布，同时维持材料宏观上的应变硬化，阻止材料的塑性变形局增

该工作在线发表在4月1日的《自然-通讯》杂志上（魏宇杰，李永强，祝连春，刘垚，雷米振莉，刘嘉斌，王宏涛，高华健。 *Evading the strength-ductility trade-off dilemma*

该研究工作受到了中国科学院、科技部“973”计划以及国家自然科学基金委等机构的资

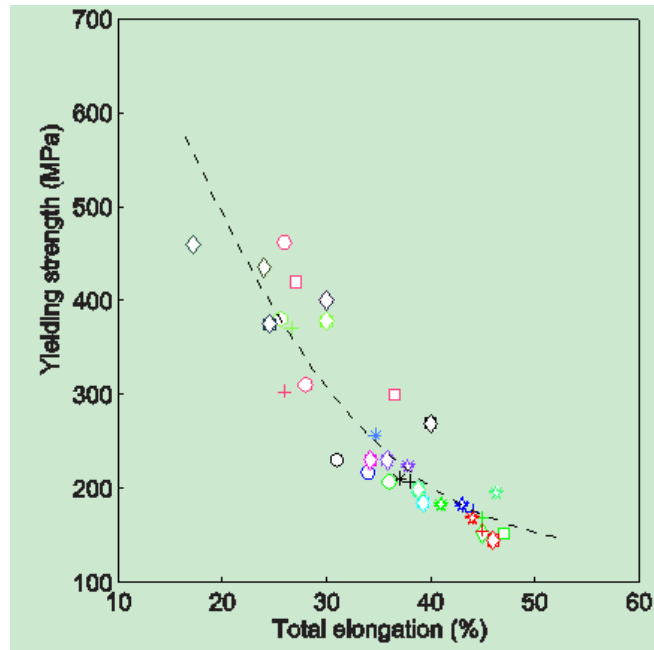


图1 典型钢材的韧性随强度增加而降低的趋势

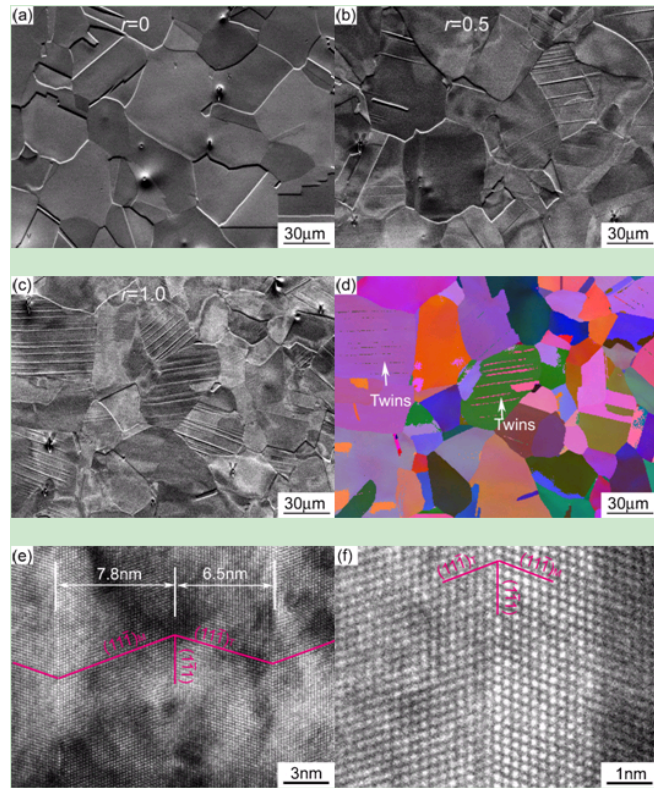


图2 扫描电镜图表明预扭转处理后的材料沿径向形成孪晶梯度。(a)到(c):从试样的表面位置具备高密度孪晶。(d)电子背散射衍射显示的(c)的扫描结果,显示条带状变开度在纳米量级。(f)孪晶界面非常规则。