



网站搜索
Search

关键词:

搜索类别:

搜索 高级搜索

中国科学院—当日要闻

- 陈嘉庚科学奖首场报告会在京举行
- 路甬祥调研中科院半导体照明关键技术产业化项目
- 路甬祥在电工所调研时指出: 前沿技术要与国...
- 中组部等八部委组织院士专家赴一线开展科技...
- 金属所学者提出提高材料综合强韧性的新途径
- 基金委与中科院合作开展学科发展战略研究
- 新时期科学思想库建设高层研讨会在京召开
- 路甬祥调研光电院激光显示技术产业化研发平台
- 中国科学院科研装备开放服务平台开通
- 《求是》发表白春礼署名文章: 努力培养造就...

金属所学者提出提高材料综合强韧性的新途径

——利用纳米尺度共格界面强化材料

金属研究所

4月17日出版的《科学》发表特邀综述论文, 详细阐述了利用纳米尺度共格界面强化材料的研究成果, 此项成果由中科院金属所沈阳材料科学国家(联合)实验室卢柯研究员、卢磊研究员与美国麻省理工学院S. Suresh教授合作, 在过去大量研究工作的基础上完成。如何提高材料的强度而不损失其塑性? 这是众多材料科学家面临的一个重大挑战。为了使材料强化后获得良好的综合强韧性能, 强化界面应具备三个关键结构特征: (1) 界面与基体之间具有晶体学共格关系; (2) 界面具有良好的热稳定性和机械稳定性; (3) 界面特征尺寸在纳米量级($<100\text{nm}$)。进而, 卢柯等研究人员提出了一种新的材料强化原理及途径——利用纳米尺度共格界面强化材料。

提高材料的强度是几个世纪以来材料研究的核心问题。迄今为止强化材料的途径可分为四类: 固溶强化、第二相弥散强化、加工(或应变)强化和晶粒细化强化。这些强化技术的实质是通过引入各种缺陷(点缺陷、线、面及体缺陷等)阻碍位错运动, 使材料难以产生塑性变形而提高强度。但材料强化的同时往往伴随着塑性或韧性的急剧下降, 造成高强度材料往往缺乏塑性和韧性, 而高塑韧性材料的强度往往很低。长期以来这种材料的强韧性“倒置关系”成为材料领域的重大科学难题和制约材料发展的重要瓶颈。

传统的材料强化技术多利用普通非共格晶界或相界阻碍位错运动来提高强度。当材料中引入大量非共格晶界时, 强度显著提高(如纳米晶体材料的强度较粗晶体材料高一个数量级), 但随着位错运动“阻碍物”(即非共格晶界)的不断增多, 晶格位错运动受到严重阻碍甚至被完全抑制而不能协调塑性变形, 因此材料变脆。

共格晶界或相界是一类特殊而常见的低能态界面, 结构特征是界面上的原子同时位于其两侧晶格的结点上, 即界面两侧的晶格点阵彼此衔接, 界面上的原子为两者共有。一些共格晶界(如小角度倾侧晶界)对位错运动的阻碍能力弱, 因而不能有效地强化材料; 而另一些共格或半共格晶界则可有效地阻碍位错运动, 具有强化效应, 例如沉淀强化Al-Cu合金中的GP区和Ni基合金中的 γ 或 γ' 沉淀相等。但是, 这些沉淀相中共格界面稳定性低, 当沉淀相长大后共格关系即消失; 孪晶界是一种特殊的共格晶界, 其两侧的晶格呈镜面对称。尽管研究表明在一些退火态合金中单个孪晶界对位错的阻碍作用与普通晶界相当,

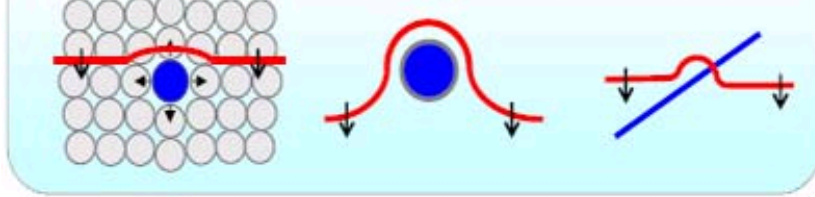
但是由于孪晶界数量较少，其总体强化效应远弱于其他强化机制（如固溶强化和细晶强化等）。因此，长期以来人们一直没有将共格界面作为一种可有效强化材料的界面来加以利用。

然而，共格界面的独特结构使其具有一些特殊力学行为，部分共格界面（如孪晶界）既可阻碍位错运动，又可作为位错的滑移面在变形过程中吸纳和储存位错，因而对提高材料的韧塑性有贡献。若能有效地提高共格界面的稳定性，增加共格界面的密度，则可利用共格界面提高材料的强度，并同时提高其韧塑性。

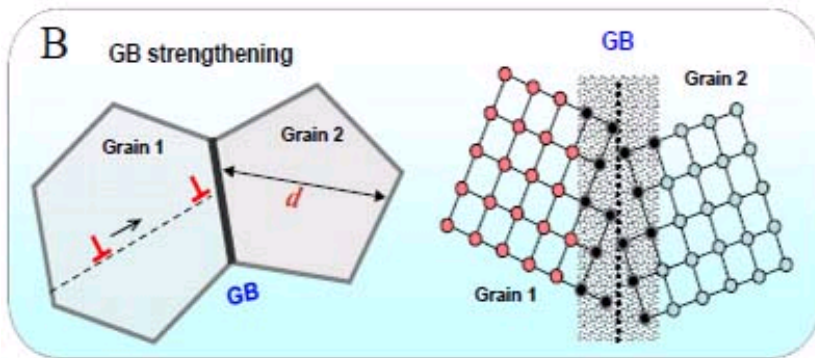
卢柯等人研究发现，纳米尺度孪晶界面具备上述强化界面的三个基本结构特征。他们利用脉冲电解沉积技术成功地在纯铜样品中制备出具有高密度纳米尺度的孪晶结构（孪晶层片厚度 $<100\text{nm}$ ）。发现随孪晶层片厚度减小，样品的强度和拉伸塑性同步显著提高。当层片厚度为 15nm 时，拉伸屈服强度接近 1.0GPa （是普通粗晶Cu的十倍以上），拉伸均匀延伸率可达 13% 。显然，这种使强度和塑性同步提高的纳米孪晶强化与其他传统强化技术截然不同。理论分析和分子动力学模拟表明，高密度孪晶材料表现出的超高强度和高塑性源于纳米尺度孪晶界与位错的独特相互作用。例如当一个刃型位错与一 $\Sigma 3$ 孪晶界相遇时，位错与孪晶界反应可生成一个新刃型位错在孪晶层片内滑移，同时可在孪晶界上产生一个新的不全位错，该位错可在孪晶界上滑移。当孪晶层片在纳米尺度时，位错与大量孪晶相互作用，使强度不断提高。同时，在孪晶界上产生大量可动不全位错，他们的滑移和贮存为样品带来高塑性和高加工强化。由此可见，利用纳米尺度孪晶可使金属材料强化的同时也可提高韧塑性。

材料中纳米尺度孪晶界可以通过多种制备技术获得，如利用电解沉积、磁控溅射沉积、塑性变形或退火再结晶等工艺均可在金属中产生纳米尺度孪晶。研究表明，沉积速率越快形成的孪晶层片越薄。如在脉冲电解沉积中当沉积速度超过 4nm/s 时，Cu样品中的平均孪晶层片小于 20nm 。塑性变形诱发的孪晶在中低层错能材料（如Cu、Cu合金及不锈钢等）十分普遍，提高应变速率或降低变形温度等均有助于孪晶形成。卢柯等人近期发展的动态塑性变形（DPD）技术可使材料中形成大量的纳米尺度孪晶界，已成为制备块状纳米孪晶结构的有效途径。利用纳米尺度共格晶界强化材料还可以带来优异的电学性能。研究表明，超高强度纳米孪晶Cu样品具有与无氧高纯铜相当的高电导率，可同时实现高强度高导电性。纳米孪晶结构可有效降低Cu中电致原子的扩散迁移率，从而大大降低电迁移效应，这为减少微电子器件中铜线的电迁移损伤找到了新的解决途径。也有学者发现纳米孪晶结构可有效提高材料的阻尼性能，为研发高性能阻尼材料开辟了新途径。

利用纳米尺度共格界面强化材料已成为一种提高材料综合性能的新途径。尽管在纳米尺度共格界面的制备技术、控制生长，及各种理化性能、力学性能和服役行为探索等方面仍然存在诸多挑战，但这种新的强化途径在提高工程材料综合性能方面表现出巨大的发展潜力和广阔的应用前景。

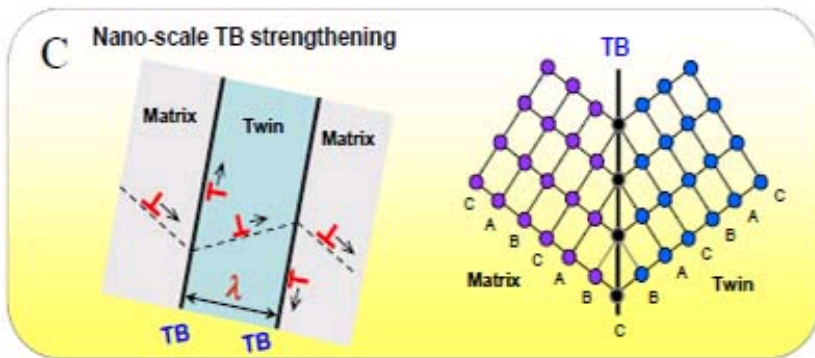


A (自左向右)：固溶强化、第二相弥散或沉淀强化、加工（或应变）强化



B: 晶粒细化强化（或晶界强化）

A和B分别是材料的传统强化途径示意图



C为新提出的纳米尺度孪晶界强化示意图，右侧为一孪晶界示意图

[时间：2009-04-17]

[关闭窗口]