金属所等在梯度材料的损伤容限研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/7360.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！

金属所等在梯度材料的损伤容限研究中取得进展

。寻求同时提高工程结构材料多种机械性能的方法是材料科学家长期努力的方向。材料科学家通过从自然材料中获取灵感，制造出与之相似的材料，这就形成了“向自然学习”的概念。自然界中某些生物的独特结构使其具有良好的机械性能，使得它们能够对抗自然界的各种恶劣环境。其中一种结构为梯度结构，自然界中竹子结构便是典型的梯度结构。竹子的维管束结构其密度是从外部向心部逐渐递减，在维持整体强度和刚度的情况下，其心部具有较好的柔韧性。材料科学家已经成功将梯度结构在多种金属材料中进行复制并对其机械性能进行系统研究。相关研究表明梯度结构金属材料能在一定程度上打破材料“强度和塑性”的倒置关系，获得优异的强塑性。

但是作为工程结构材料，必须进一步显示出可接受的断裂韧性（或抗损伤能力），以避免实际应用中发生灾难性的失效。断裂韧性对大多数材料的安全应用是至关重要的，它通常是强度和塑性的综合指标。但是一般而言：强度和塑性是由材料的整体变形控制的全局机械响应，而断裂韧性是裂纹尖端“局部”微观结构变形的机械响应结果，断裂韧性裂纹尖端参与的变形区域比拉伸整体变形体积小多个数量级。因此，尽管通过构建梯度结构可以实现材料强度和塑性的优异组合，但是否能保证其断裂韧性同样优越，仍是一个亟待解决的关键科学问题。同时，梯度结构材料中微观结构的局部变化可能导致裂纹扩展过程中的裂纹扩展阻力发生变化。因此，揭示梯度结构中微观结构的不均匀性对裂纹的启裂和扩展阻力的影响具有非常重要的意义。

在成功制备块体梯度材料的基础之上，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构筑材料组研究员李毅和副研究员潘杰与美国加州大学伯克利分校教授Robert O. Ritchie展开合作，评估晶粒尺寸跨度从~30 nm到~4 μm的梯度结构（GS）Ni的变形和断裂行为。研究发现，1、与脆性的纯纳米晶和韧性的粗晶Ni相比，梯度结构Ni具有高断裂韧性，显示出强度和韧性的最佳组合。梯度材料在拉伸至断裂的过程中消耗的塑性功明显高于纯粗晶和纯纳米晶材料，其来源于在裂纹传播过程中内部渐变的微观结构之间的相互作用。2、梯度材料的断裂韧性和变形行为与
梯度方向有关。粗晶到纳米晶梯度方
向上的起始断裂韧性（K_{JIc}
）
比纳
米晶到粗
晶梯度方向的起始
断裂韧性要高。当裂纹沿粗晶向纳米
晶梯度方向扩展时，其R
曲线（抗裂纹扩展阻力曲线）与纯粗晶Ni类似，显示出强度和韧性的最佳组合。裂纹扩展初期在

粗晶区域会发生钝化，表现为韧性断裂。然而，在裂纹扩展后期，在纳米晶区域诱发脆性裂纹，并迅速扩展失效，发生不稳定的脆性断裂。由于裂纹扩展过程是韧性断裂向脆性断裂的转变过程，因此在安全应用上需要慎重考量。另一方面，当裂纹沿纳米晶到粗晶梯度方向扩展时，其也表现出优于纯纳米晶Ni的起始断裂韧性（K_{JIc}）和R曲线，并且裂纹尖端的韧性不断增加。此外，当裂纹的扩展到达粗晶区域时，裂纹尖端发生钝化。这种裂纹尖端韧性不断增加而发生钝化的过程表明，纳米晶到粗晶的梯度方向，是脆性断裂向韧性断裂的转变过程，具有优异安全应用前景。该研究成果为梯度材料的实际应用提供理论基础。

上述研究成果于近期发表在*Materials Today*。文章第一作者为金属所博士研究生曹汝情。共同第一作者为美国劳伦斯伯克利国家实验室博士于秦。相关工作得到国家重点研发计划（资助号2017YFB0702003）和国家自然科学基金项目（资助号：51471165）的资助。

论文链接

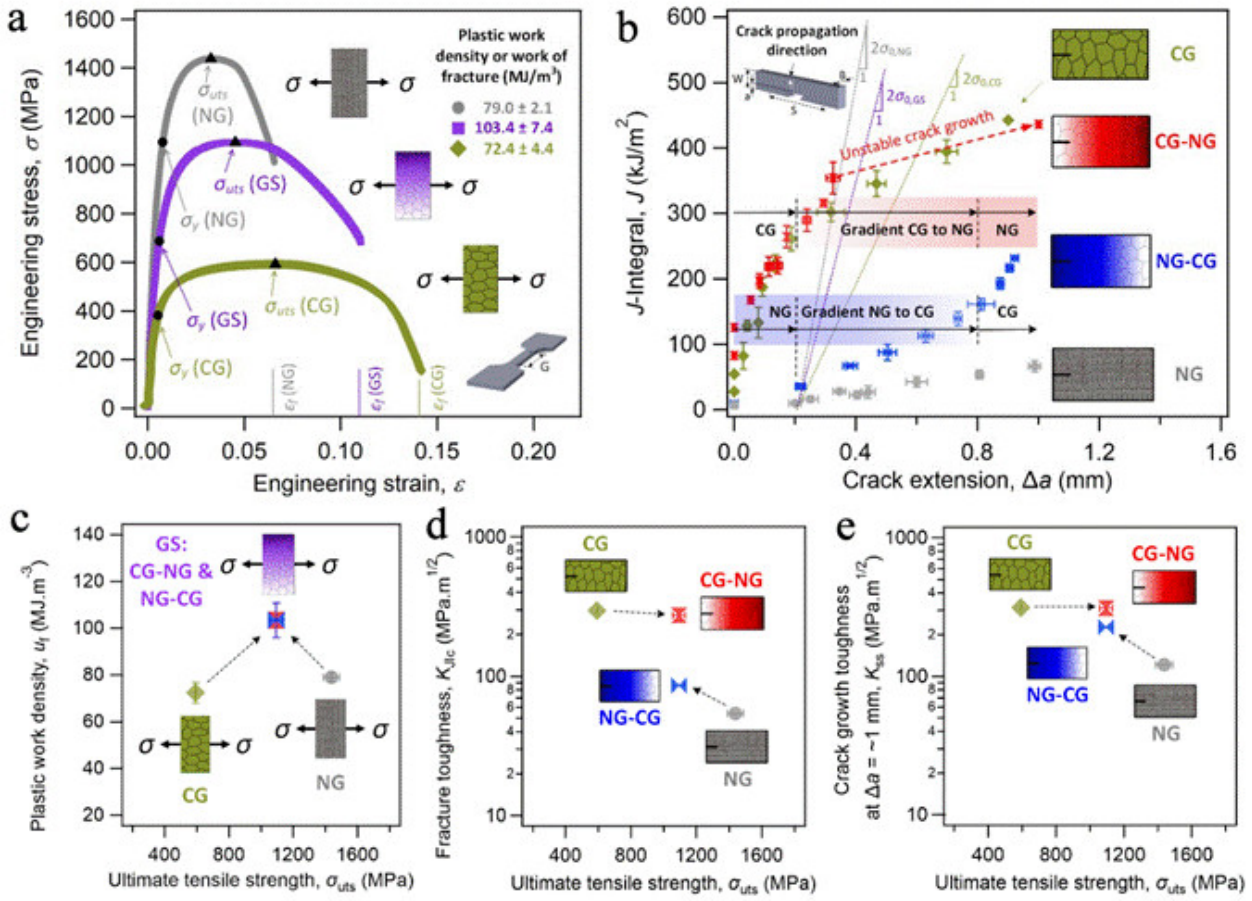


图1：粗晶，纳米晶，粗晶→纳米晶梯度结构，以及纳米晶→粗晶梯度结构金属Ni的力学性能。(a)拉伸应力-应变曲线；(b)断裂韧性J值和裂纹扩展长度a的关系图；(c)拉伸时抗拉强度 vs. 塑性应变能；(d) 抗拉强度 vs. 断裂韧性值；(e) 抗拉强度 vs. a=~ 1 mm时的断裂韧性。

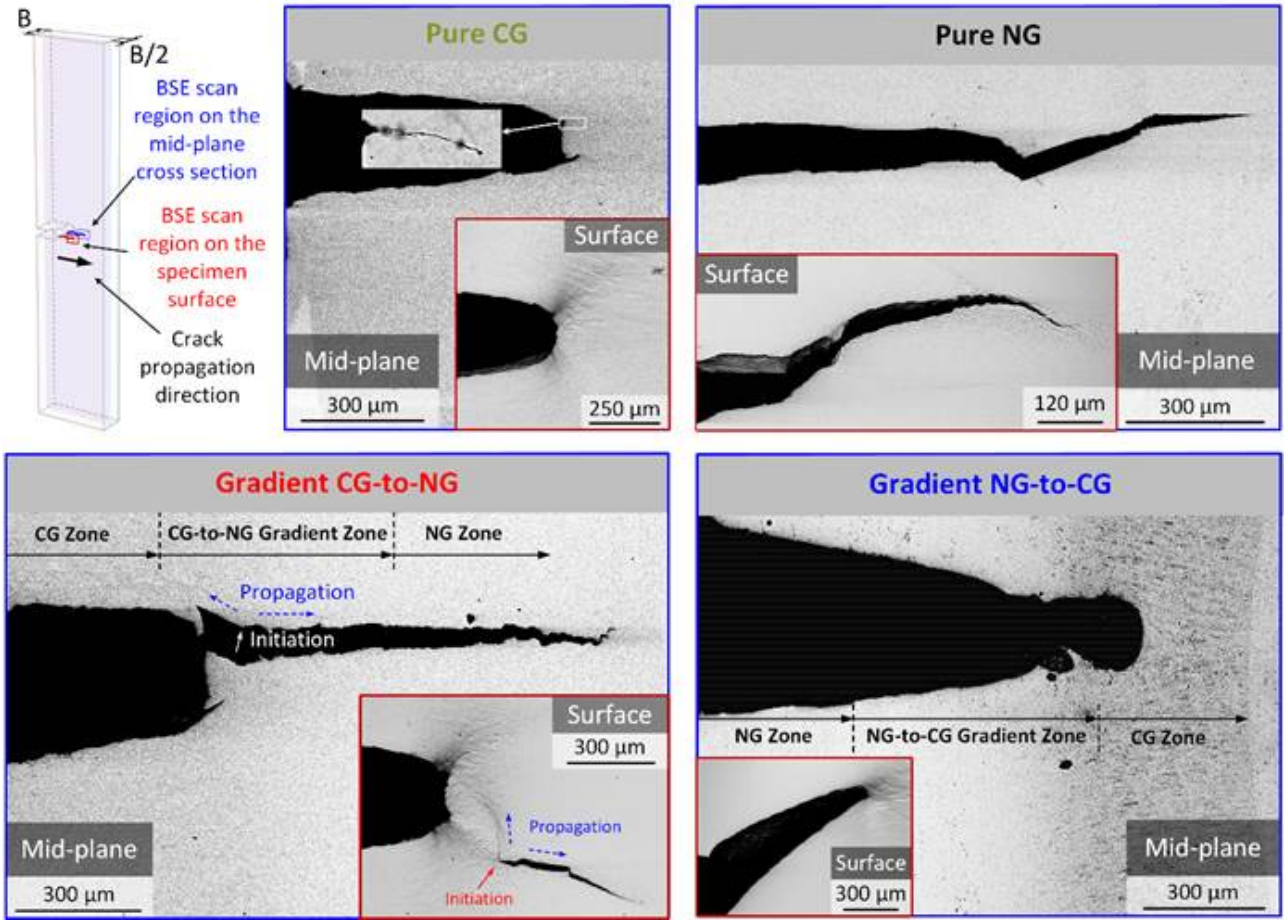


图2：粗晶（CG），纳米晶（NG），粗晶→纳米晶梯度结构（CG→NG），以及纳米晶→粗晶梯度结构（NG→CG）金属Ni的裂纹扩展行为。
研究团队单位：金属研究所

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转发