

中国科学家研制出室温超大塑性大块金属玻璃

长期以来,探索同时具有高强度和大塑性的金属合金材料一直是材料领域追求的目标.一般而言,材料的强度遵循着这样的规律:越小越强,即组成材料的晶粒尺寸越小,材料的强度越高.这个规律的最终极限是每个晶粒仅包含一个原子——原子排列长程无序的玻璃态材料.事实上,通过快速凝固的现代冶金方法制备的大块金属玻璃(也称非晶态合金),其强度接近于 Frenkel 理论强度极限,即剪切模量的十分之一.然而,似乎高强度和大塑性是无法共存的.在室温条件下,金属玻璃由于不存在位错等传统缺陷,其塑性变形高度局部化于极薄的纳米尺度剪切带内,从而导致典型的宏观脆性破坏.金属玻璃这种差的室温塑性极大地限制了其作为工程结构材料的广泛应用.因此,如何在保证金属玻璃强度不下降的前提下,大幅度地提高其室温塑性就成为该领域将面临的巨大挑战之一.

中国科学院物理研究所汪卫华研究组近几年来在非晶态合金材料的塑性变形方面开展了深入系统的研究,取得了若干有重要国际影响的研究进展.他们发明了一种集聚合物塑料和金属特点于一身的新型钪基非晶结构材料,被命名为——金属塑料^[1];澄清了脆性材料断裂研究中一些重要科学问题,加深了对非晶态等脆性材料的断裂机制的认识^[2],并在此基础上提出了切变唯像模型,利用泊松比有效地标定了大部分大块非晶合金的室温塑性^[3~5],为设计新的具有大塑性、高强度的金属玻璃材料提供了必要的理论依据.在此基础上首先开发出了具有较大塑性的 CuZr 基非晶合金材料^[5];进一步,汪卫华研究员与剑桥大学 Zhang 等人^[6]合作研究发现,利用喷丸对大块金属玻璃进行表面处理,可显著改善其室温延展性.最近,该研究组 Liu 等人^[7]在《科学》杂志上发表题为《室温超高塑性大块金属玻璃》的论文,报道了在改善大块金属玻璃室温塑性方面所取得的突破性进展.他们创造性地基于一种模量判据(即作为塑性指标的泊松比在某些成分点会发生突变),通过巧妙的成分设计,制备得到了室温下兼具高强度(~1.7 GPa)和超大压缩塑性(应变>150%)的 Zr-Cu-Ni-Al 体系大块金属玻璃.这种通过成分优化设计得到“传统”的新型金属玻璃,在室温下可以像常见的纯 Al 和纯 Cu 那样任意弯曲或变形成一定的形状.这种新材料的室温超塑性可与以往金属玻璃在过冷液态

区的塑性能力相媲美.微观分析表明,这种超塑性归因于其特殊的微观结构,即存在高密度硬区和低密度软区(约占10%),并且硬区象“小岛”一样被软区包围着.这种特殊微观结构有效地控制了剪切带的形成、扩展和演化,在材料内部诱发形成了大量互相交割的多重剪切带,大大推迟了导致脆性破坏的主控剪切带的形成,从而导致材料具有优异的室温超塑性.可以看出,剪切带对于金属玻璃宏观力学性能尤其是塑性的影响具有两面性,即单个主控剪切带导致金属玻璃灾难性的脆性断裂,而多重剪切带的形成以提高金属玻璃的塑性.这项工作证实,通过一些合理的手段(如成分调节、结构重组等),可以有效控制剪切带的形成演化,从而使金属玻璃的高强度和大塑性达到完美的统一;并且,这项工作使人们认识到,对金属玻璃剪切带形成机制和扩展演化规律的研究至关重要.他们的这项研究成果为理解金属玻璃材料的塑性变形机制、解决金属玻璃的脆性难题及推进金属玻璃材料的工程应用提供了重要的线索.

此工作受到了国内外学术界和媒体的广泛关注.美国科学促进会发表专题评论,高度评价他们的研究成果可能引领一族全新的材料.目前,性能优异的不透明大块金属玻璃已在深空探测、武器装备、MEMS 等众多领域初现曙光^[8].可以相信,随着这项研究工作影响的深入与拓展,以及各类集高强度和大塑性于一体的大块金属玻璃的不断涌现,大块金属玻璃将展露更加璀璨的光芒.

参 考 文 献

- 1 Zhang B, Zhao D Q, Pan M X, et al. Amorphous metal plastic. *Phys Rev Lett*, 2005, 94: 205502
- 2 Xi K X, Zhao D Q, Pan M X, et al. Fracture of brittle metallic glasses: brittleness or plasticity. *Phys Rev Lett*, 2005, 94: 125510
- 3 Lewandowski J J, Wang W H, Greer A L. Intrinsic plasticity or brittleness of metallic glasses. *Philos Mag Lett*, 2005, 85(2): 77—87
- 4 Wang W H. Correlations between elastic moduli and properties in bulk metallic glasses. *J Appl Phys*, 2006, 99: 093506
- 5 Das J, Tang M B, Kim K B, et al. “Work-hardenable” ductile bulk metallic glass. *Phys Rev Lett*, 2005, 94: 205501
- 6 Zhang Y, Wang W H, Greer A L. Making metallic glasses plastic by control of residual stress. *Nat Mater*, 2006, 15: 857—860
- 7 Liu Y H, Wang G, Wang R J, et al. Super plastic bulk metallic glasses at room temperature. *Science*, 2007, 315: 1385—1388
- 8 潘明祥,汪卫华.不透明玻璃显出的曙光——块体金属玻璃的发现与应用. *物理*, 2002, 31: 453—460

(中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室 戴兰宏)