

# 非晶态合金的剪切带韧性\*

蒋敏强<sup>†</sup> 戴兰宏

(中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 100190 北京)

**摘要** 非晶态合金, 是金属熔体深度过冷至玻璃态转变点, 其内部原子构型发生突然“冻结”而形成的玻璃态材料<sup>[1]</sup>, 因此, 通常也被称为金属玻璃。与传统的晶态合金相比, 非晶态合金具有独特的原子长程无序、短程有序结构, 且没有位错、晶界等晶体缺陷。这使得这类材料表现出一系列优异的力学、物理、化学性能, 成为当前最具发展潜力的新型材料之一<sup>[2-8]</sup>。但是, 非晶态合金独特的微结构使其塑性变形极易形成局部化剪切带<sup>[9,10]</sup>, 从而导致宏观脆性, 严重限制大规模实际应用。基于位错机理的金属塑性理论和缺乏材料微结构的经典热塑剪切带理论在描述这类新型材料剪切带行为时, 都遇到了前所未有的挑战<sup>[11]</sup>。我们突破传统的热塑剪切带理论框架, 建立了包含多过程耦合与时空多尺度的剪切带新理论, 澄清了非晶态合金剪切带形成机制长期广泛的国际争议, 揭示出剪切带形成是由自由体积软化和热软化耦合控制, 并得到剪切带失稳判据、韧性、厚度以及诱致断裂机制等一系列原创性结果<sup>[12-17]</sup>。

本文主要关注非晶态合金剪切带扩展演化机制<sup>[18]</sup>。基于动态受迫剪切实验, 获得了剪切带扩展的精细图像。进一步, 建立了一个非晶态合金剪切带局部演化动力学模型, 其中考虑了动量(惯性)、能量(温度)以及质量(自由体积)的耗散过程。通过理论分析, 得到了剪切带扩展时间、厚度和临界耗散能的解析表达, 并且揭示出剪切带扩展演化由动量扩散和自由体积扩散的平衡决定, 如图 1 所示。根据得到的剪切带临界耗散能, 引入了剪切带韧性概念, 可表征非晶态合金材料对剪切带扩展固有的抵抗能力。

**关键词:** 非晶态合金, 剪切带, 自由体积, 温度, 能量耗散

\*注: 国家杰出青年科学基金(10725211), 国家自然科学基金青年基金(11002144)

<sup>†</sup>报告人简介: 1979.12-, 固体力学, 副研究员, mqjiang@imech.ac.cn

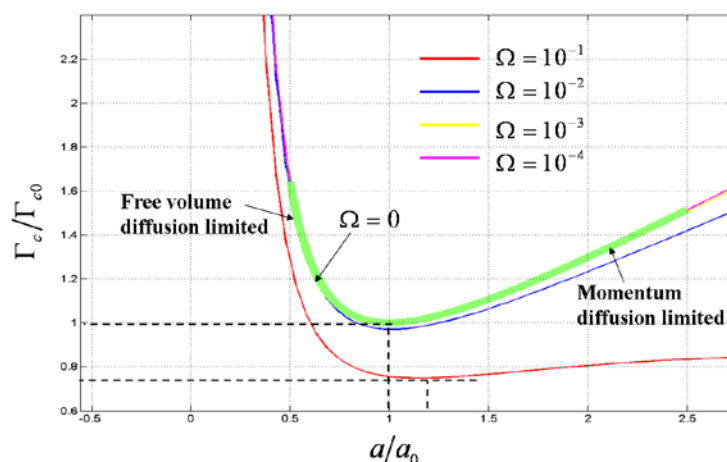


图1 非晶态合金剪切带临界耗散能与剪切带厚度的关系<sup>[18]</sup>

### 参 考 文 献

- 1 Klement W J, Willens R H, Duwez P. Non-crystalline structure in solidified gold-silicon alloys. Nature (London), 1960, 187: 869~870.
- 2 Inoue A, Zhang T, Masumoto, T. Al-La-Ni amorphous alloys with a wide supercooled liquid region. Materials Transactions, JIM, 1989, 30: 965~972.
- 3 Johnson W L. Bulk glass-forming metallic alloys: science and technology. MRS Bulletin, 1999, 24: 42~56.
- 4 Jiang M Q, Dai L H. Intrinsic correlation between fragility and bulk modulus in metallic glasses. Physical Review B, 2007, 76: 054204.
- 5 戴兰宏, 蒋敏强. 液体的 fragility 及其与玻璃固体力学性能的关联. 力学进展, 2007, 37: 346~360.
- 6 Dai L H, Bai Y L. Basic mechanical behaviors and mechanics of shear banding in BMGs. International Journal of Impact Engineering, 2008 35: 704~716.
- 7 Liu Y, Jiang M Q, Yang G W, Guan Y J, Dai L H. Surface rippling on bulk metallic glass under nanosecond pulse laser ablation. Applied Physics Letters, 2011, 99: 191902.
- 8 Jiang M Q, Duan G H, Dai L H. Metallic glass nanofilms. Journal of Non-Crystalline Solids, 2011, 357: 1621~1627.
- 9 Spaepen F. A microscopic mechanism for steady state inhomogeneous flow in metallic glasses. Acta Metallurgica, 1977, 25: 407~415.
- 10 Argon A S. Plastic deformation in metallic glasses. Acta Metallurgica, 1979, 27: 47-58.
- 11 Dai L H. Shear banding in bulk metallic glasses. in Dodd B, Bai Y L. Adiabatic Shear Localization: Frontiers and Advances. London: Elsevier, 2012: 311~348.
- 12 Dai L H, Yan M, Liu L F, Bai Y L. Adiabatic shear banding instability in bulk metallic glasses. Applied Physics Letters, 2005, 87: 141916.
- 13 Jiang M Q, Dai L H. On the origin of shear banding instability in metallic glasses. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 2009, 57: 1267~1292.
- 14 Jiang M Q, Wang W H, Dai L H. Prediction of shear-band thickness in metallic glass. Scripta Materialia, 2009, 60: 1004~1007.
- 15 Jiang M Q, Dai L H. Formation mechanism of lamellar chip in machining bulk metallic glass. Acta Materialia, 2009, 57: 2730~2738.
- 16 Jiang M Q, Ling Z, Meng J X, Dai L H. Energy dissipation in fracture of bulk metallic glasses via inherent competition between local softening and quasi-cleavage. Philosophical Magazine, 2008, 88: 407~426.
- 17 Chen Y, Jiang M Q, Wei Y J, Dai L H. Failure criterion for metallic glasses. Philosophical Magazine, 2011, 91: 4536~4554.
- 18 Jiang M Q, Dai L H. Shear-band toughness of bulk metallic glasses. Acta Materialia, 2011, 59: 4525~4537.