

钨及钨合金的制备与服役性能评价

刘伟¹, 李恺伦¹, 陈婉琦¹, 王啸洋¹, 崔一南¹

¹清华大学, 北京 100084

Email: liuw@tsinghua.edu.cn

采用激光选区熔化技术制备出钨及钨钼等合金, 对钨及合金的显微组织结构进行了表征。对比纯钨, 选区激光熔化技术制备的钨合金的开裂行为发生了明显的改善。研究发现钨钼合金形成了位错亚结构, 形成的纳米氧化钼钉扎了位错, 而钨形成的位错较少。因此, 相较纯钨, 钨钼合金具有更好的塑性变形能力。研究采用位错动力学理论模拟了位错的形成过程, 模拟结果与试验吻合的较好。基于试验与模拟结果解释了位错的形成机制, 以及力学性能的变化机制。在钨碳化钨合金中, 裂纹密度下降约 89%。相较纯钨, 加入碳化钨纳米颗粒可以细化晶粒, 并可均匀分散激光选区熔化过程中形成的热应力, 增加裂纹扩展的阻力。同时碳化钨纳米颗粒能与游离态的氧发生反应, 生成二氧化钨, 净化晶界, 提高了晶界强度。

采用等离子体对钨的损伤行为进行了研究, 研究发现不同柏氏矢量的 $1/2\langle 111 \rangle$ 位错的交汇处将形成柏氏矢量为 $\langle 100 \rangle$ 的位错段。氢原子将在 $\langle 100 \rangle$ 位错段处富集, 并逐渐填充 $\langle 100 \rangle$ 位错段的少半原子面, 形成沿着 (100) 面分布的氢裂纹 (H cavity/crack) 早期形核。在形核生长的过程中, 通过这种位错环挤出机制继续长大, 对应实验上观察到沿着 $\langle \bar{1}\bar{1}1 \rangle$ 方向排列的成串咖啡豆形貌位错环 (“coffee-bean” dislocation loop), 大小约为几纳米。当氢裂纹继续长大时, 氢裂纹依靠尖端发射剪切位错环的方式继续扩展长大, 在实验上表现为氢裂纹尖端发射出成串的沿着 $[\bar{1}\bar{1}1]$ 方向排列的位错环。随着氢裂纹尺寸的进一步增大, 裂纹再次通过挤出与裂纹尺寸相近的位错环的方式长大, 对应实验上观察到沿着 $\langle \bar{1}\bar{1}1 \rangle$ 和 $\langle \bar{1}11 \rangle$ 方向排列的位错环。

关键词: 增材制造; 钨合金; 等离子体辐照; 位错形核