

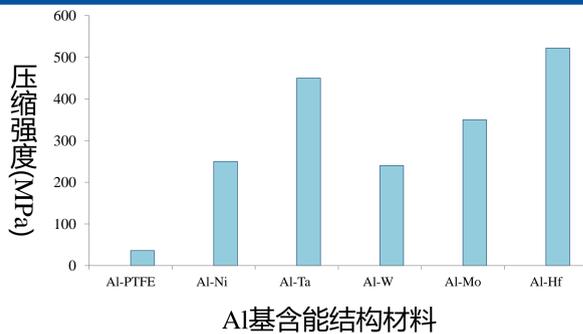
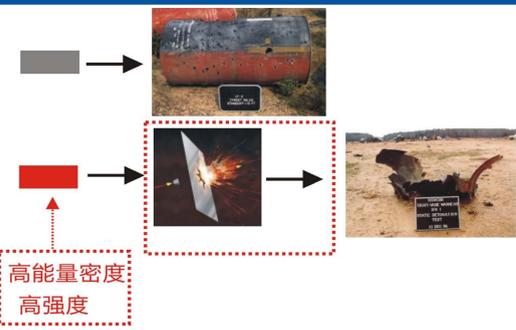


# Zr基块体非晶合金的冲击释能行为研究

黄彩敏, 李顺, 白书欣, 唐宇

国防科技大学 材料科学与工程系 湖南 长沙

## 引言



由于Al基复合材料强度较低, 需要开发一种更高强度的含能材料。Zr、Al合金元素的燃烧热值高, Zr基非晶合金具有优异的力学性能和良好的玻璃成形能力, 有望应用于含能结构材料领域。文中揭示Zr基非晶合金在高速撞击过程的破碎特性及其化学反应行为特征。

## 实验方法

### 制备及显微结构表征

#### (1) 成分及制备方法

名义成分:  $Zr_{55}Ni_5Al_{10}Cu_{30}$  水冷铜模吸铸法

#### (2) 物相分析

XRD: Smartlab 9KW 3°/min

TEM: FEI Tecnai F20

### 力学性能测试

#### 准静态压缩实验

设备型号: America instron-3369 尺寸:  $\Phi 6 \times 6$  mm  
 应变率:  $10^{-3}$  /s

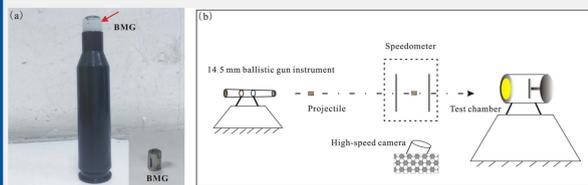
#### 断口形貌观察

SEM、EDS、XRD

### 冲击反应性能测试

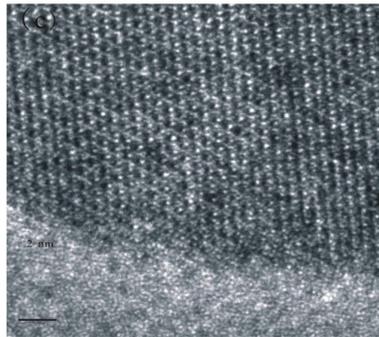
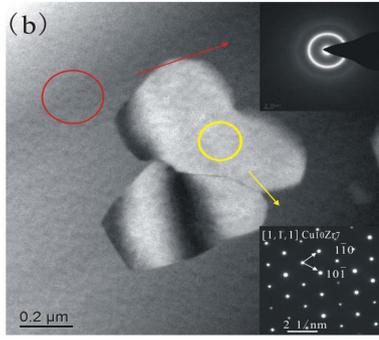
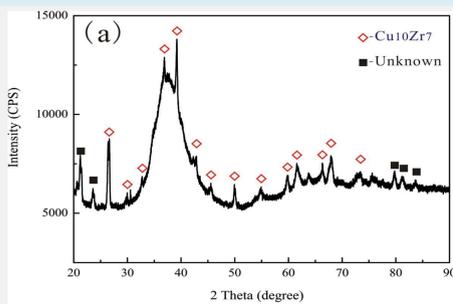
#### 弹道实验

靶板: 铝合金, 厚度 2 mm  
 尺寸:  $\Phi 6 \times 10$  mm 撞击速度: 1000-1500 m/s  
 质量: 1.92-2.03 g 弹靶距离: 15 m



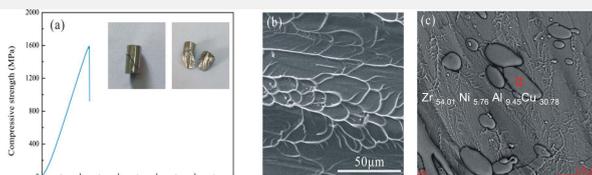
## 实验结果

### 显微结构表征



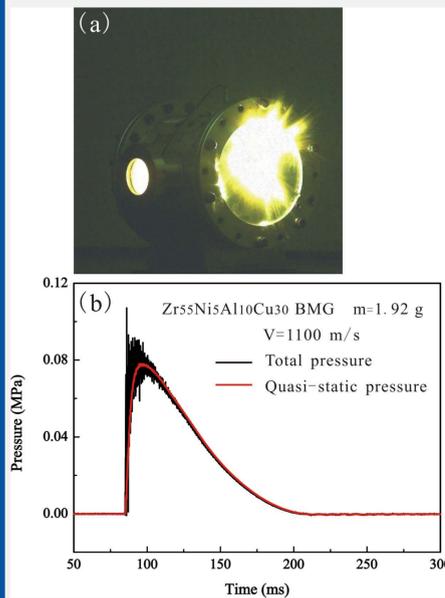
- (1) 合金显微组织为**非完全非晶态组织**;
- (2) 析出相与非晶态组织**界面结合良好**。

### 力学性能



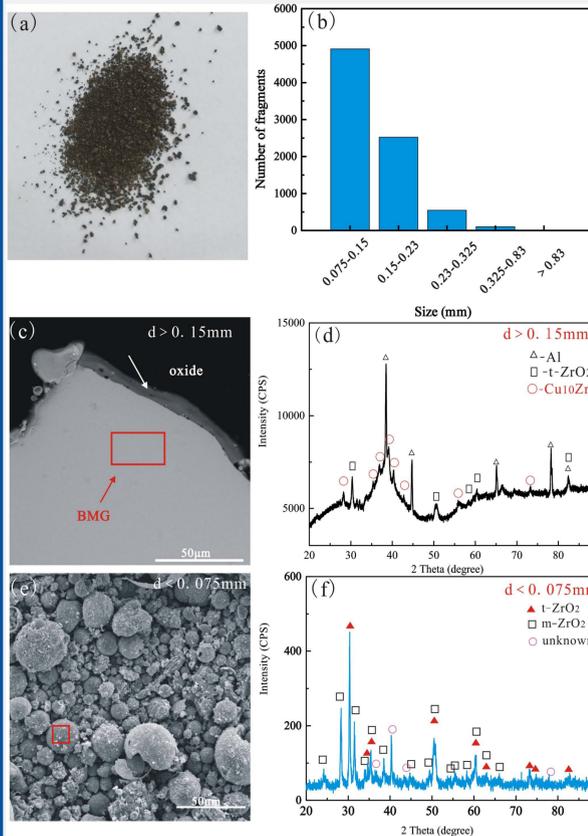
试样没有发生塑性变形阶段, 断裂方式为剪切断裂; 断口表面脉状花样沿着剪切方向分布; 熔滴的出现说明了剪切过程出现了剧烈的升温。

### 冲击反应特性



冲击过程产生剧烈的火光现象, 测试腔内准静态压力峰值达0.078 MPa。

### 冲击反应产物



冲击作用下, 非晶合金发生破碎行为, 碎片的数目与尺寸大小呈指数规律; 直径越小, 颗粒越多, 其中以 < 0.23 mm 的颗粒尺寸为主。碎片尺寸越小, 更有利于氧化反应的进行。

## 结论

- (1) 合金为部分非晶态组织, 由于析出相颗粒与非晶态组织具有良好的界面结合, 合金具有良好的力学性能, 压缩断裂强度高达1600 MPa, 断裂应变为1.2%。
- (2) 以1100 m/s 高速撞击铝板时, 合金出现破碎粉化现象, 并发生剧烈的氧化燃烧反应, 释放大量的能量, 可观察到明亮的火光。测试腔内空气的准静态压力峰值为0.078 MPa。
- (3) 碎片的化学反应程度与碎片尺寸有关。当碎片颗粒 < 0.075 mm时, 主要反应生成t-ZrO<sub>2</sub>和m-ZrO<sub>2</sub>; 当碎片尺寸 > 0.15 mm时, 碎片仍保留非晶态组织, 仅在合金/空气界面生成一层薄薄的氧化层。

## 参考文献