

# Al 及 Al 合金粉末颗粒表面氧化膜厚度 对爆炸烧结体质量的影响

张登霞 马成辉  
蔡 铭

(中国科学院力学研究所)

艾宝仁 张晋远  
朱瑞珍 柳春兰

(冶金工业部钢铁研究总院)

**摘 要** 借助光学显微镜、扫描电镜分析研究了水雾化、氮气雾化 Al 粉和超声氩气雾化 Al-Li 合金粉爆炸烧结体的显微结构。结果表明：只有 Al 及 Al 合金粉的表面氧化膜厚度小于 30nm 时，才可以得到性质优异的爆炸烧结体。

**关键词** 铝及铝合金粉，爆炸烧结，氧化膜

一般说来，快速凝固合金粉末具有晶粒微细、偏析小、过饱和固溶以及可能使亚稳相得以保留等特征。爆炸烧结可以保留这些微观上的优异性，从而得到质量好的粉末冶金型材。

Al 和 O 的亲合力极强，在 Al 和 Al 合金表面一般都存在着厚度不等的氧化膜，这些氧化膜如何影响爆炸烧结体的质量以及最佳氧化膜厚度应该是多少都是需要解决的问题。

本文研究了水雾化和氮气雾化 Al 粉及超声氩气雾化 Al-Li 合金粉爆炸烧结体的显微结构，并基于这些分析结果，从爆炸烧结优质型材的角度确定制备 Al 合金粉末的工艺。

## 1 试验方法

用于试验的 Al 粉，由水雾化和氮气雾化法制备。颗粒小于 200 mesh，显微硬度分别为 23.7 和 22.7；Al-Li 合金粉则由超声氩气雾化法制备。颗粒小于 150 mesh，显微硬度为 86.4。这三种粉末表面的氧化膜厚度分别为 50—60、20—30 和约 5 nm。把这些粉末放在包套内进行爆炸烧结试验。试验结束后，移去包套测量烧结体密度。借助光学显微镜和扫描电镜观察烧结体微观组织和断口形貌。

## 2 试验结果

图 1 是水雾化 Al 粉爆炸烧结试样的显微照片。分析用的试样相对密度达到了 99.4%。由图 1 可见，颗粒边界清晰可辨，既无熔化再结晶区，又无晶粒变形的痕迹，颗粒内部保持了固有的微观组织。这表明，粉末材料只被压实，而无焊合。颗粒之间的连接为机械咬合，因此反映在断口形貌上，基本上是颗粒边界的脆断（见图 1b）。

1991年3月18日收到初稿；1991年11月16日收到修改稿。

本文通讯联系人：张登霞，副研究员，北京(100080)中国科学院力学研究所

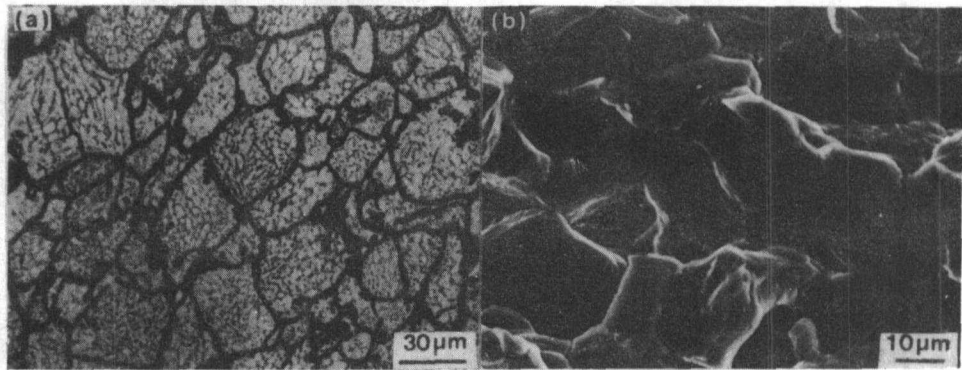


图 1 水雾化 Al 粉爆炸烧结试样的显微照片

Fig. 1 Micrograph of Al powder explosive compact, water atomizing  
(a) optical metallograph, (b) fracture surface

图 2 是氮气雾化 Al 粉爆炸烧结试样的微观组织和断口形貌照片. 分析用的试样相对密度达到了 99%. 从图 2a 看到, 颗粒内部保持了固有的微晶组织. 颗粒间存在着: (1) 宽度约为  $2\ \mu\text{m}$  的超细晶粒区, 其两侧晶粒被拉长; (2) 严重变形区; (3) 较大区域的熔化再结晶区, 其中还包含着颗粒表面氧化膜的痕迹. 这里观察到的现象类似于爆炸焊接界面附近的金相组织. 表明, 在这类烧结体内, 颗粒间的焊接结合与机械咬合同时存在, 反映到断口形貌上 (图 2b) 是穿颗粒和沿颗粒边界的脆断和韧断.

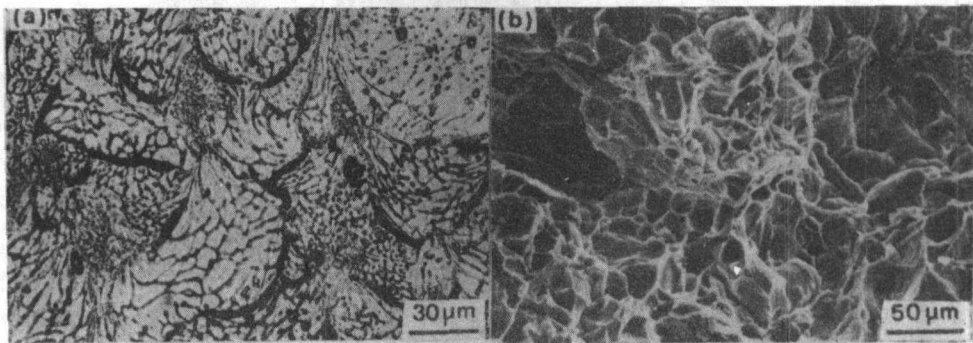


图 2 氮气雾化 Al 粉爆炸烧结试样的显微照片

Fig. 2 Micrograph of Al powder explosive compact,  $\text{N}_2$  atomizing  
(a) optical metallograph, (b) fracture surface

图 3 是超声氩气雾化 Al-Li 合金粉爆炸烧结试样的显微照片. 分析用的试样相对密度达到了 99%. 光学照片上 (图 3a) 看到, 粉末颗粒已由原始球形变成多边形. 颗粒内部仍保持原始粉末所固有的微晶组织. 多数颗粒间形成了白色亮带, 宽度大约有  $10\ \mu\text{m}$ . 经高倍扫描电镜观察, 该亮带是由超细 ( $\sim 0.2\ \mu\text{m}$ ) 的胞状晶组成 (图 3b). 在未形成白色亮带的区

域内, 颗粒间直接接触. 断口形貌 (图 3c) 主要是韧性断裂.

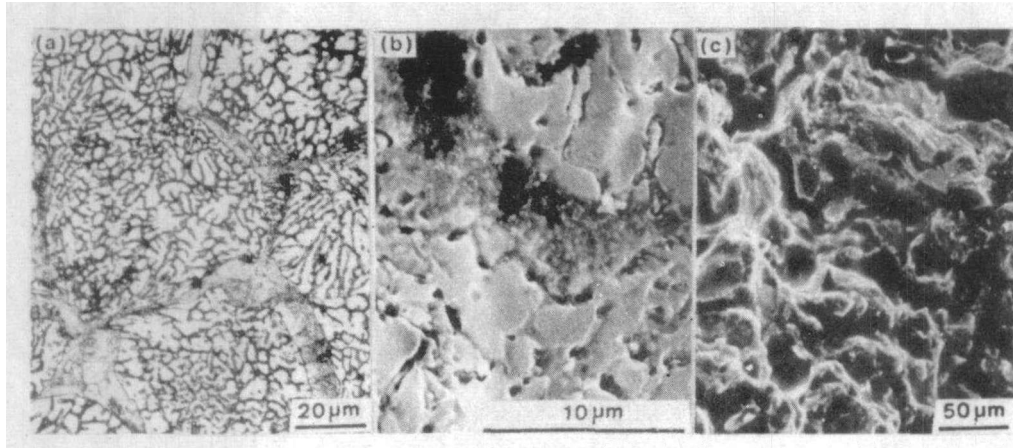


图 3 超声 Ar 气雾化 Al-Li 合金粉爆炸烧结试样的显微照片

Fig. 3 Micrograph of Al-Li alloy powder explosive compact, ultrasonic Ar gas atomizing  
(a) optical metallograph, (b) SEM image, (c) fracture surface

### 3 试验结果分析

Filnn<sup>(1)</sup> 用计算机模拟了爆炸烧结过程中粉末颗粒之间的相互作用, 计算结果证明了粉末材料的动态烧结过程实质上是粉末颗粒之间的碰撞焊接过程.

Al 粉强度低, 韧性好, 熔点约为 600℃, 而颗粒表面氧化膜的熔点可高达 2000℃. Al 粉压实到接近理论密度所需的颗粒碰撞速度较低; 而使氧化膜熔化后移去, 则需要较高的碰撞速度. 水雾化 Al 粉的表面氧化膜厚度约为 50—60 nm, 这种粉末被压实到 99.4% T.D. 时, 颗粒间碰撞产生的射流仍不足以使表面氧化膜全部移去或熔化; 增加碰撞速度, 除偶见颗粒间的焊合点外, 其余部位均为机械咬合; 继续增加碰撞速度, Al 粉则被熔化. 这表明用爆炸法无法使氧化膜厚度为 50—60 nm 的 Al 粉, 烧结成具有一定强度的型材.

氮气雾化 Al 粉氧化膜厚度为 20—30 nm. 光学照片中 (图 2a) 观察到的焊接结合区表明, 在该区内射流的厚度大于 30 nm, 射流移去了颗粒表面的氧化膜, 新鲜界面附近的熔化金属迅速冷却时形成颗粒间的焊合区. 清晰可辨的颗粒界面是氧化膜滞留的痕迹. 它表明在该区内射流的厚度小于氧化膜的厚度, 射流不能移去全部的氧化膜, 颗粒间只能是机械咬合而无焊合.

Al-Li 合金粉的硬度约为纯 Al 粉的 4 倍. 要把这种粉末压实到 99% T.D., 所需要的颗粒碰撞速度比 Al 粉的高, 可使氧化膜熔化后被移去, 形成颗粒间的焊合区. 所以在这种烧结体中到处可以看到连成一片的颗粒形貌, 颗粒间结合区是由超细胞状晶组成. Filnn<sup>(1)</sup> 的计算还表明增加激波压力, 高温区的范围将增加, 颗粒间的机械结合区将减少. 这表明适当提高粉末颗粒的碰撞速度, 无焊合区数量减少, 烧结体压实密度相应地增大. 从而得到质量较好的烧结体.

综上所述, 粉末颗粒表面氧化膜厚度是影响爆炸烧结体质量的重要因素. 氧化膜过厚 (50—60 nm), 粉末材料只能被压实, 颗粒间不能达到焊接结合, 它们基本上属于机械咬合; 减少氧化膜厚度 (20—30 nm), 粉末材料被压实且有部分颗粒间达到了焊接结合; 氧化膜足够薄 (5 nm), 颗粒间达到了焊接结合, 焊合区是由超细胞状晶组成, 烧结体的密度有可能达到理论密度.

### 参 考 文 献

- 1 Filnn J E, Williamson R L, Berrg R A, Wrigat R N, Gupta Y M, Williams M. *J Appl Phys*, 1988; 64: 1446

## EFFECT OF OXIDE LAYER THICKNESS OVER Al AND Al ALLOY POWDERS ON QUALITY OF THEIR EXPLOSIVE COMPACTS

ZHANG Dengxia, MA Chenghui, CAI Ming (*Institute of Mechanics, Academia Sinica, Beijing*), AI Baoren, ZHANG Jinyuan, ZHU Ruizhen, LIU Chunlan (*Central Iron and Steel Research Institute, Ministry of Metallurgical Industry, Beijing*)  
(Manuscript received 18 March, 1991; revised manuscript 16 November, 1991)

**ABSTRACT** Observations of microstructure of explosive compacts made of Al or Al-Li alloy powders by atomization with water, nitrogen or ultrasonic Ar gas were carried out under optical and scanning electron microscopes. The results indicate that super quality explosive compact can only be obtained by powders of which the thickness of the oxide layer is less than 30 nm.

**KEY WORDS** Al powder, Al-Li alloy powder, explosive compact, oxide layer

*Correspondent:* ZHANG Dengxia, associate professor, Institute of Mechanics, Academia Sinica, Beijing 100080