

准晶粉末超高压固结^①

陈振华^② 黄培云^②

(中南工业大学)

提 要

本文给出了铝基合金准晶粉末的一种新型固结方法, 并对准晶粉末的固结工艺和大块准晶材料的性能进行了介绍。指出: 在准晶粉末晶化温度以下或在比较低的温度下, 采用超高压固结能够获得完全保持准晶结构的大块致密样品; 且热稳性增加, 含晶化相的准晶粉末纯化、即晶化相消失和准晶相增加; 材料的强度提高, 无裂纹和马赫孔。因而揭示采用这种工艺固结准晶粉末优于爆炸固结。

关键词: 粉末冶金, 成形/快速冷凝, 准晶

1 前言

采用快速冷凝装置制取准晶粉末, 并通过粉末固结制取大块准晶材料, 是准晶从实验室研究走向工业应用的重要方法之一。

准晶粉末由于颗粒特别硬脆, 难于成形和固结, 故作者继深入研究准晶粉末的爆炸成形之后, 又进行了准晶粉末的超高压固结试验。所谓超高压固结是指准晶粉末在晶化温度以下或比较低的温度下采用非常高的压力($>5\text{GPa}$)进行固结, 得到大块准晶材料的方法。这种固结方法与爆炸成形相比有较大优越性, 即固结后的材料强度提高, 无裂纹和马赫孔, 且能完全保持准晶粉末的二十面体相结构。

2 实验装置和方法

本研究首先采用自行设计的快速冷凝装置制取准晶粉末^[1], 然后将制得的二十面体相全

准晶粉末置于合成金刚石的六面顶锤压力机上, 在 $5\sim7\text{GPa}$ 的压力下固结成坯; 接着在不释压条件下用碳管感应法或利用坯块的电阻就地加热, 如图 1 所示。为了准确测定固结温度, 将热电偶直接通入粉末内部, 进行温度测量。固结过程为室温加压 $\rightarrow$ 通电加热固结坯块 $\rightarrow$ 保持高压冷至室温 $\rightarrow$ 撬盖准晶样品。加压时间约 1 min, 升温时间约 0.5 min, 冷却时间约 2~3 min。

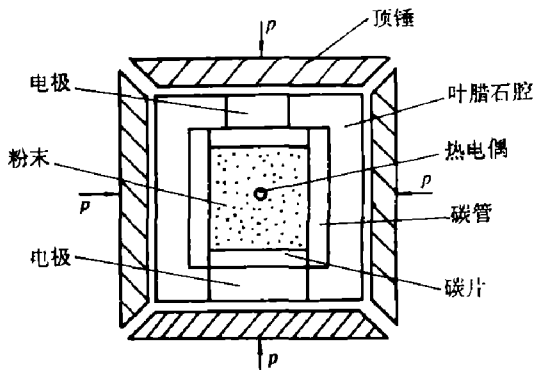


图 1 准晶粉末超高压固结示意图

①本文为国家自然科学基金资助项目, 于 1990 年 9 月 30 日收到

②教授;

3 结果与讨论

3.1 准晶粉末超高压固结后相结构和衍射特征

采用 $\text{Al}_{77.5}\text{Mn}_{22.5}$ 和 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{TM}_{15}$ ($\text{TM} = \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cr}$) 全准晶相粉末在 5~7 GPa 压力和晶化温度以下或较低温度下固结 1~10 min, 所得材料完全保持二十面体相准晶结构。

图 2 为采用 H800 透射电镜观察大块准晶材料 ($\text{Al}_{77.5}\text{Mn}_{22.5}$) 所得到的衍射斑点图谱。

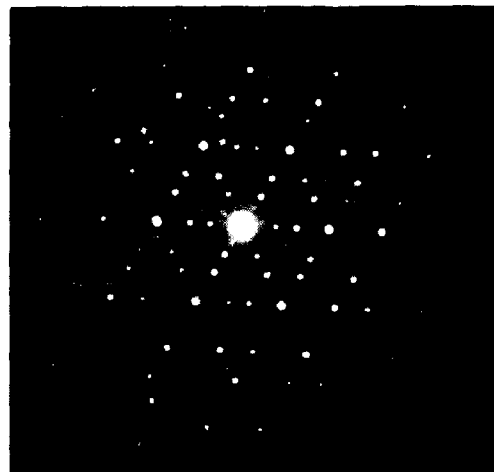
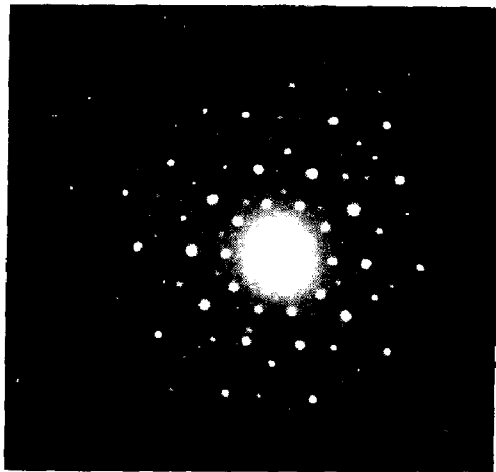
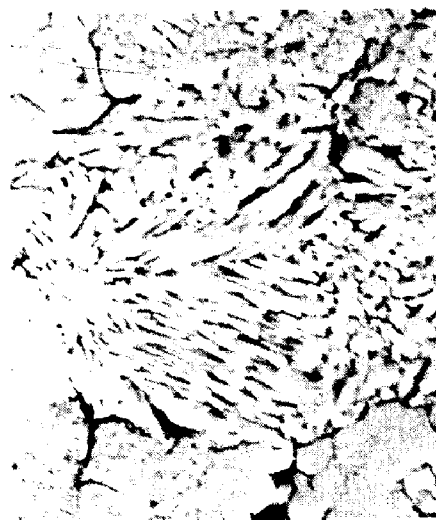


图 2 大块准晶材料的 5-3 对称轴衍射斑点图

图 3 为采用 H737 电子探针观察到的大块准晶材料($\text{Al}_{77.5}\text{Mn}_{22.5}$)的二次电子和背反射形貌图。

图 4 表示 $\text{Al}_{77.5}\text{Mn}_{22.5}$ 准晶粉末固结后的 X 射线谱。衍射结果表明: 在超高固结压力和较低固结温度下, 所得的材料完全保持准晶体的衍射特征。固结压力较低且在 732K 晶化温度附近温区固结, 以及在晶化温度以上一段温区如 813K 进行高压短时固结, 固结后的材料也基本保持准晶衍射特征, 但峰值产生宽化效应。这种宽化效应和爆炸固结准晶材料的衍射特征一样^[2], 可能不仅由内应力作用所引起,



a——二次电子 (SE)

b——背反射 (BE)

图 3 大块准晶材料的形貌照片

而且有可能是准晶体产生少量晶化相而引起的,因而可以认为准晶粉末在超高压作用下的热稳定性增加。但固结温度很高(如 893K),即使在超高压下固结也会晶化。

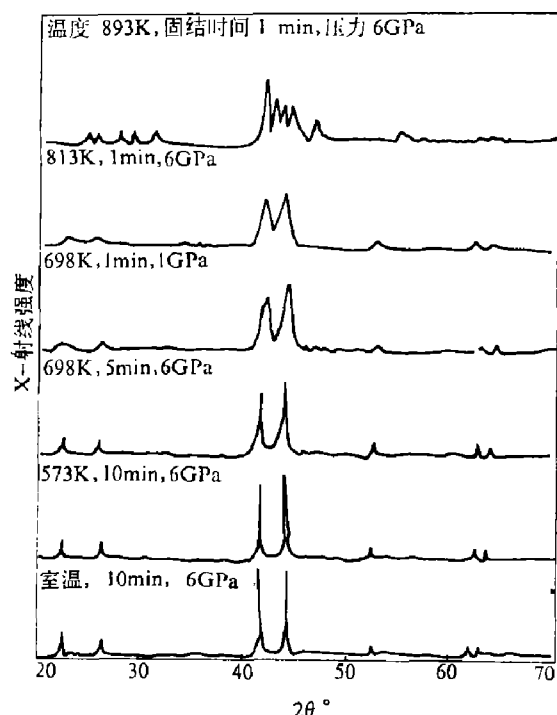


图4 $\text{Al}_{77.5}\text{Mn}_{22.5}$ 准晶粉末固结后的 X 射线衍射图谱

图 5 为 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{TM}_{15}$ 准晶粉末固结后的材料 X 射线图谱, 由于 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_{15}$ 和 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Cr}_{15}$ 在熔化前无晶化问题, 这两种准晶粉末在大约 1100K 以下仍然保持准晶结构, 但在较低与较高温度下分别固结的准晶性能有较大差异, 本文给出的性能数据则是低温固结的结果。 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Mn}_{15}$ 准晶粉末固结温度约为 800K, 固结工艺和 $\text{Al}_{77.5}\text{Mn}_{22.5}$ 相似, 它在较高的温度下进行超高压固结也会产生晶化。

3.2 准晶粉末超高压下的热致密化

准晶粉末固结后的材质密度取决于固结的压力、温度和时间。图 6-9 分别为 $\text{Al}_{77.5}\text{Mn}_{22.5}$ 、 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Fe}_{15}$ 、 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Mn}_{15}$ 和 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{Cr}_{15}$ 的固结密度与固结压力, 温度和时间关系图。一般来说, 固结压力超过 5GPa, 固结时间超过 5 min, 固结温度在 673K 左右, 可得到致密的大块准晶材料。

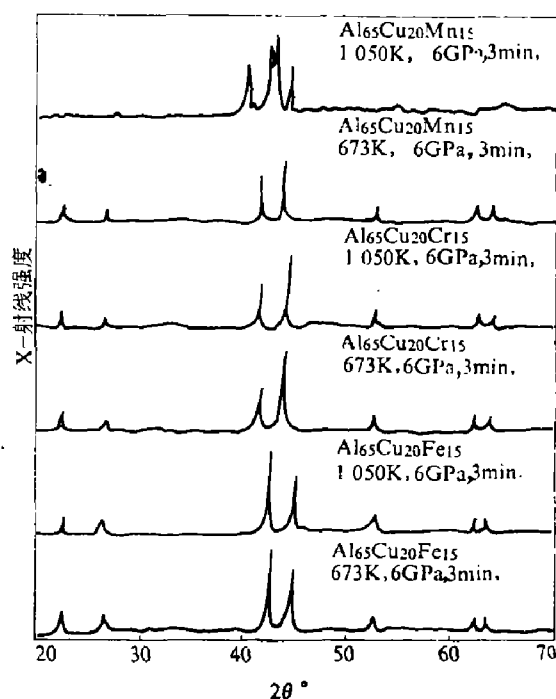


图5 $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{20}\text{TM}_{15}$ 准晶粉末固结后的 X 射线衍射图谱

3.3 准晶体在超高压下的行为

超高压不仅能使准晶粉末的热稳定性增加, 而且会产生纯化现象, 如图 10 所示含有晶化相的 $\text{Al}_{77.5}\text{Mn}_{22.5}$ 和 $\text{Al}_{65}\text{Fe}_{20}\text{Cu}_{15}$ 准晶粉末, 在经过超高压固结之后, 晶化相消失,

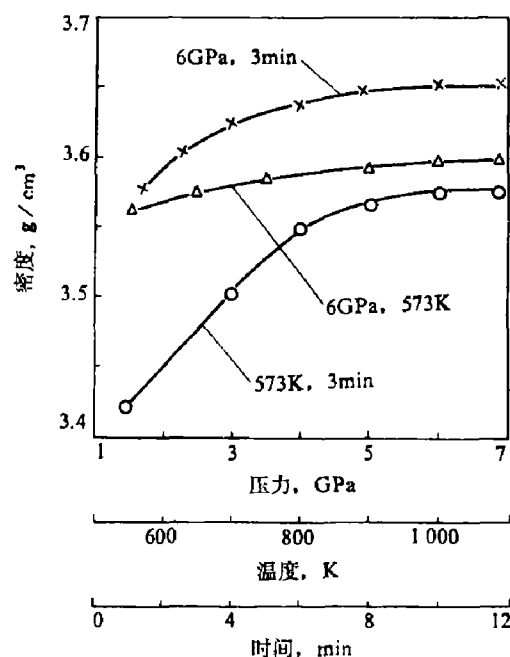


图6 $\text{Al}_{77.5}\text{Mn}_{22.5}$ 准晶粉末固结密度与压力、温度和时间关系

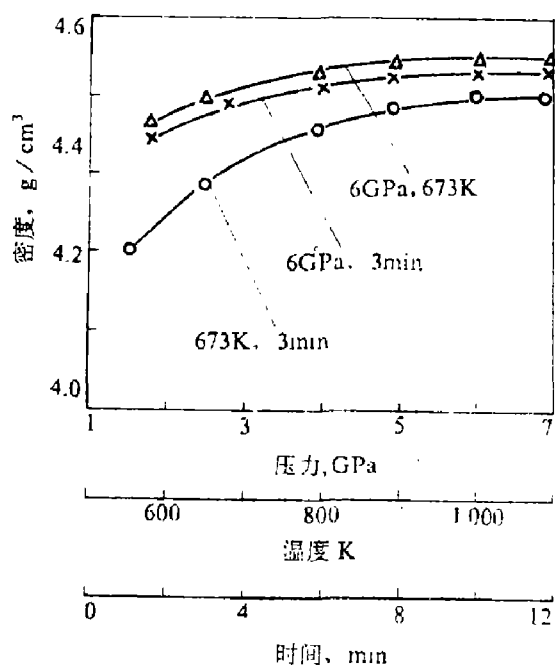


图7 Al₆₅Cu₂₀Fe₁₅ 准晶粉末固结密度与压力、温度和时间关系

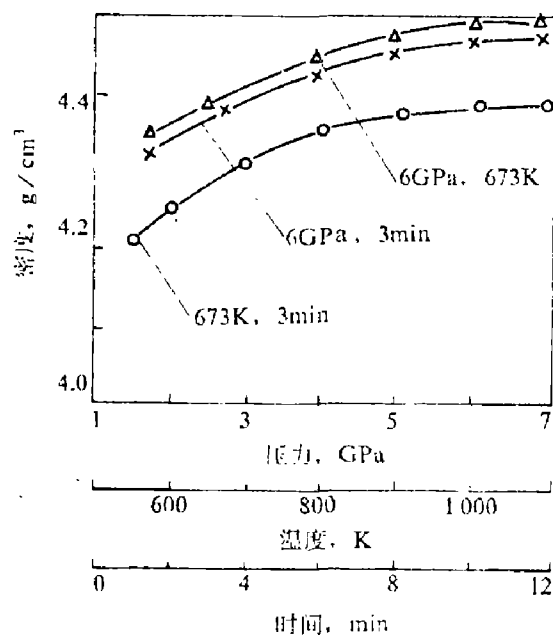


图8 Al₆₅Cu₂₀Mn₁₅ 准晶粉末固结密度与压力、温度和时间关系

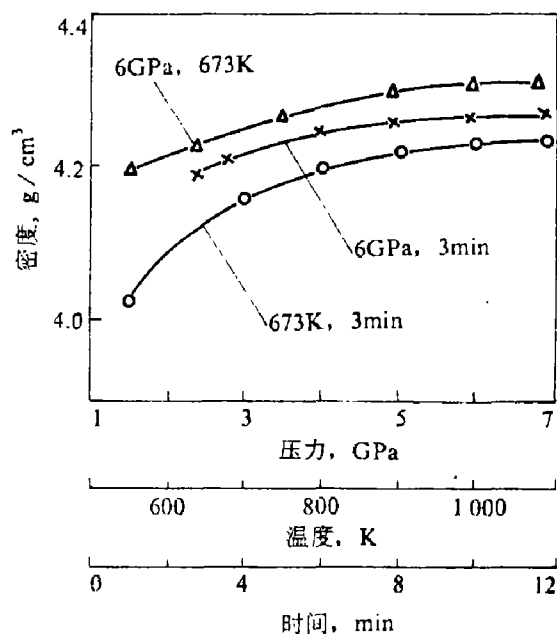


图9 Al₆₅Cu₂₀Cr₁₅ 准晶粉末固结密度与压力、温度和时间关系

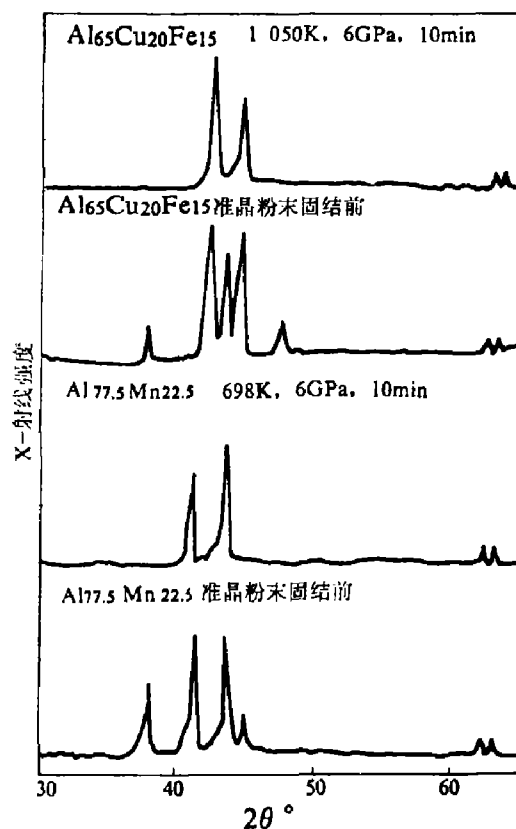


图10 含有部分晶体相的准晶粉末在超高压固结前后的X射线衍射图

准晶相增加, 达到纯化的效果。这种效果, 对 Al_{77.5}Mn_{22.5} 准晶粉末在晶化温度下 (接近晶化温度), 以较高的压力和较长的时间进行固结时比较明显; 对 Al₆₅Fe₂₀Cu₁₅ 准晶粉末, 在比较高的温度和压力下长时间固结时效果更明显。

3.4 超高压固结的材料性能

采用超高压固结的准晶材料性能优于爆炸固结, 其大块准晶样品无裂纹, 不形成由冲击波引起的马赫孔、固结强度高、脆性低。特别

是该法能大量生产, 给准晶材料的工业应用开辟了一条新的途径。

Al_{77.5}Mn_{22.5} 等几种准晶材料的性能测试结果见表1。

表1 几种准晶材料的基本性能测试结果

材质名称	密度 (g/cm ³)	显微硬度 HV(kg/mm ²)	电阻率 (μ·Ωm)	线膨胀率 (×10 ⁻⁶)				
				373K	473K	573K	673K	773K
Al _{77.5} Mn _{22.5}	3.62	780~800	8~10	8.48	9.24	10.40	11.80	11.20
Al ₆₅ Cu ₂₀ Fe _{22.5}	4.50	800~850	20~22	15.84	24.54	25.84	29.42	31.60
Al ₆₅ Cu ₂₀ Mn ₁₅	4.30	750~800	16~18	16.41	24.00	24.14	25.96	26.02
Al ₆₅ Cu ₂₀ Mn ₁₅	4.40	750~780	18~20	17.21	26.26	28.54	28.80	28.94

4 结论

用价值。

1 Al基准晶粉末在晶化温度以下或比较低的温度下, 采用非常高的压力(5~7 Gpa)、固结5 min左右, 可以获得致密的完全二十面体相结构的大块准晶材料;

参加本课题研究的还有蒋向阳、王云和周多三同志, 作者谨向他们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 陈振华等, 中国专利 88212137.5, 1988
- 2 陈振华等, Scripta Metallurgica et Materialia, 1990, 24(3): 599

准晶粉末超高压固结不仅能提高热稳定性、纯化效果; 固结后的材料, 性能优于爆炸固结好, 有潜在的工业应