

冷静液机械压制成形的块体 $\text{Al}_{85}\text{Ni}_{10}\text{Ce}_5$ 非晶合金 复合材料

魏先顺^①, 黄永江^①, VEKSHIN BorisSergeevitch^②, KRAPOSHIN ValentinSidorovitch^②, 沈军^{①*}

① 哈尔滨工业大学材料学院, 哈尔滨 150001;

② Material Science Chair, Bauman Moscow State Technical University, Moscow 105005, Russia

* 联系人, E-mail: junshen@hit.edu.cn

Al 基块体非晶合金因具有比晶态合金优异的力学、物理与化学性能备受人们关注, 但 Al 基块体非晶合金具有很低的玻璃形成能力, 铜模铸造法制备 Al 基块体非晶合金的玻璃临界尺寸明显低于其他合金体系, 使得其试样仅限于非晶合金薄带或粉末等低维材料. 粉末冶金法是制备低玻璃形成能力块体 Al 基非晶合金的有效方法, 但是 Al 基非晶态合金由于其具有高强度和结构亚稳特性, 采用传统粉末固结技术对非晶合金粉末进行固结压制时, 面临致密化过程困难与容易晶化等难题, 目前广泛应用于非晶合金粉末快速烧结的放电等离子烧结技术也面临温度不均匀的问题, 很难对低玻璃形成能力的非晶合金粉末进行均匀化固结成形. 本文根据粉末三轴固结原理提出了冷静液机械压制成形技术, 成功地对气雾化 $\text{Al}_{85}\text{Ni}_{10}\text{Ce}_5$ 部分非晶合金粉末进行了固结成形. 激光粒度分析表明, 气雾化 $\text{Al}_{85}\text{Ni}_{10}\text{Ce}_5$ 完全非晶相与完全晶体相的粉末的体积分数分别为 23% 和 31%, 合金粉末为部分非晶相组织. 在室温条件下, 对粉末包套同时施加轴向压力 5600 MPa 和液体静压 950 MPa, 固结成形的 Al-Ni-Ce 非晶复合材料试样的直径为 16 mm, 高度为 15 mm, 其相对致密度高达 99.4%. 固结后试样的 XRD 曲线表明, 其组织由非晶漫散射峰与晶体

相构成, 晶体相由 *fcc*-Al, 金属间化合物 $\text{Al}_{11}\text{Ce}_3$, Al_3Ni 和 τ_6 (Al_5CeNi_2) 构成. DSC 曲线表明, 冷静液机械压制后试样的晶化行为发生明显改变, 具体表现为原始粉末在 550~560 K 之间的主晶化放热峰消失, 原始粉末在 610 K 附近的 2 个发生重叠的晶化峰向 600~650 K 高温区移动, 并发生明显的分离. 分析结果表明, 冷静液机械压制后球状晶体颗粒在轴向压力方向发生更严重的塑性变形, 部分颗粒形状变为长条形, 晶体颗粒之间的不规则间隙被发生黏滞性流变的非晶颗粒所包围, 晶体颗粒内部的针状晶体相在塑性变形的过程中被破碎为细小的碎片, 非晶颗粒之间没有明显的颗粒边界. 固结试样的室温压缩断裂强度高达 1.1 GPa, 显微硬度为 343.5 HV, 接近铸态试样的力学性能, 具有优异力学性能

的主要原因是, 致密化过程中获得了紧密的颗粒界面结合与晶体粉末颗粒中针状晶体相的破碎. 冷静液机械压制成形过程分为冷等静压和冷静液机械压制 2 个阶段. Al-Ni-Ce 非晶合金粉末在等静压阶段的粉末致密化机理是, 粉末颗粒通过滑动和转动进行重排, 非晶颗粒与半非晶态的颗粒将占据晶体颗粒之间的间隙. 在冷静液机械压制阶段的粉末致密化机理主要是粉末颗粒之间的摩擦力与晶体塑性变形诱发非晶颗粒局域升温, 非晶颗粒的局域黏滞性流变与晶体颗粒的塑性变形作用共同促进了 Al-Ni-Ce 非晶合金粉末高致密度的固结成形. 室温条件下高致密度块体 Al-Ni-Ce 非晶合金复合材料的获得表明, 冷静液机械压制成形技术在亚稳粉末材料的固结成形方面具有潜在应用前景.

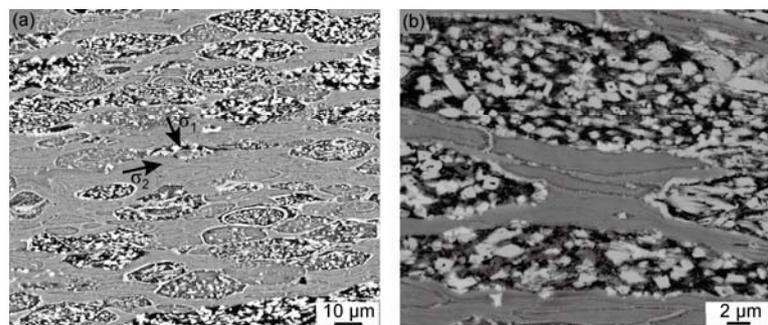


图 1 压制的 Al-Ni-Ce 非晶合金试样的 SEM 背散射照片

(a) 低倍; (b) 高倍

全文见: Wei X S, Huang Y J, Vekshin B S, et al. Bulk amorphous $\text{Al}_{85}\text{Ni}_{10}\text{Ce}_5$ composite fabricated by cold hydro-mechanical pressing of partially amorphous powders. *Chin Sci Bull*, 2011, 56: 3965–3971, doi: 10.1007/s11434-011-4785-4