

快速凝固高强铝合金粉的爆炸烧结

张登霞

(中国科学院力学研究所)

摘要 本文介绍了高强铝合金粉的爆炸烧结试验,通过试验,现已能用爆炸法烧结成 $\phi 20 \times 60$ mm的无中心孔且质量均匀的棒材,密度超过了理论密度的98%,金相组织分析表明:绝大部分粉末颗粒边界连接得较好,颗粒内部仍保持粉末材料的固有特性。

关键词 爆炸烧结;碰撞焊接;快速凝固。

1. 前言

航空粉冶铝合金是一种新型航空用材料。它的生产过程是:制粉 \rightarrow 冷、热等静压成棒材 \rightarrow 轧制成板材。高强铝合金粉是一种快速凝固的粉末材料,其冷却速度为 $10^3 \sim 10^5$ K/s,属于细晶,比用普通方法生产的粉末组织均匀,力学性能好。用常规的粉末冶金方法(冷、热等静压)把这种粉末材料烧结成棒材时,必须把被烧结的试件保持高温下足够长的时间,长时间的高温将导致粉末颗粒内部的晶粒长大,其结果使粉末材料失去了它固有的特性。用常规法制成烧结体的第二个缺点是,粉末颗粒之间的连接强度不够,致使粉末材料固有的良好力学性能在产品中不能发挥它应有的作用。

用爆炸法烧结成的烧结体不存在上述两种缺点,这是因为粉末材料爆炸烧结的实质是粉末颗粒之间的碰撞焊接,粉末颗粒高速碰撞时产生的高温只局限在颗粒边界处,颗粒内部仍处于常温状态。在高温高压条件下,粉末颗粒彼此焊接在一起,其焊接强度可达到粉末材料本身所具备的强度。颗粒内部未受热仍保持其固有的特性。爆炸烧结的这一特点引起许多科学工作者的兴趣,近年来在这方面的研究工作也很活跃,这种工艺的主要困难在于,在柱面收缩爆炸中,烧结体内形成难以清除的中心孔。

过去,在国外已研究过用爆炸法烧结快速凝固铝合金粉^[1,2],据报导他们所得的烧结体的密度超过了理论密度的95%,存在的问题是烧结体内或者有裂缝,或者有中心孔。1986年J. D. Williams^[3]报导他们已能烧结成无中心孔的块材,但未见有关烧结体的力学性能及微观组织的分析资料。我们研究了快速凝固高强铝合金粉的爆炸烧结工艺参数,现已能烧结成 $\phi 20 \times 60$ mm的无中心孔且密度超过98%理论密度的棒材。

2. 爆炸烧结机理和工艺参数的设计原则

虽然现在越来越多的人承认,粉末材料的爆炸烧结实质上是粉末颗粒之间的碰撞焊接,但对粉末颗粒获得速度的途径却有不同的看法。一类看法是,炸药爆轰后,爆轰波通过包套以激波的形式在粉末材料中传播,激波通过粉末材料后,粉末颗粒获得了速度,高速运动的粉末颗粒相互碰撞和摩擦产生的高温使粉末颗粒彼此焊合在一起。按照这种观点,爆轰压力

本文于1988年1月13日收到。

是控制烧结体质量的主要因素, 而爆轰压力 $p = \rho_0 v_D^2 / (\gamma + 1)$, 其中 ρ_0 是炸药密度, v_D 是爆轰波的传播速度, γ 是炸药的多方指数。为了得到足够高的爆轰压力, 人们常常采用高爆速、高密度的炸药。控制烧结体质量的另一种因素是炸药重量与粉末重量比。另一类看法是当炸药爆轰后, 在爆轰压力作用下, 包套获得了速度, 粉末材料受到高速运动的包套打击后而被烧结成块材。按照这种观点, 控制粉末材料爆炸烧结体质量的主要因素是包套的动能, 这种观点的代表是 J. D. Williams^[4]。本文作者研究了粉末材料爆炸烧结的物理过程, 并对烧结机理提出了初步看法^[5]。按照这种机理, 他提出了设计爆炸烧结工艺参数的原则: 即根据粉末材料的物理力学特性确定包套运动速度和包套材料, 然后再结合被烧结体的尺寸确定炸药量。

3. 试验细节

前面述及, 粉末材料爆炸烧结过程实质上是粉末颗粒的碰撞焊接过程。爆炸焊接机理的研究表明, 每一种材料都有自己的焊接阈值(即具有一定的碰撞速度和适当的碰撞角)。为了保证高强铝合金粉能被烧结成块材, 这就要求打击粉末材料的包套具有足够的速度。滑移爆轰作用下金属板运动的研究表明^[6], 高爆速炸药爆轰后, 金属板加速运动的时间很短, 因此为了使包套获得一定的速度, 选用高爆速炸药较合适, 但用高爆速炸药有两缺点: (1) 由于斜激波的不规则反射常常导致中心孔的出现; (2) 由于包套加速度时间短而导致烧结体沿径向不均匀。为了避免这些缺点, 采用低爆速炸药是有利的。在这种条件下, 包套加速运动的时间较长, 为了使包套获得足够的速度, 包套在打击粉末以前必须在空中运行一段距离, 这就是说粉末和包套之间应保持一定的间隙, 然而这在工艺上是不可能的。邵等^[7]在多层金属爆炸复合参数工程计算方法中指出, 两块金属板爆炸复合后仍具有一定的速度, 据此, 在本试验中采用如图1所示的装置。这种装置是由打击管、包套、上下盖板构成。打击管与包套之间间隙的大小, 根据粉末材料的物理力学性能、打击管在爆炸载荷作用下的加速过程确定。

试验用粉末材料是航空用快速凝固高强铝合金粉, 粒度为 -150 目, 材料强度 $\sigma_b = 580$ MPa, 屈服应力 $\sigma_{0.2} = 490$ MPa, 伸长率 $\delta = 6\%$ 。试验时把粉末材料装在包套内, 充填密度约为理论密度的50%。

试验用的炸药为粉状铵油炸药加适量的黑索金, 爆轰速度约为 2500 m/s。炸药装在打击管外面的纸管内。用导爆索引爆铵油炸药。图2是试验组件的示意图。图3是爆炸烧结过程的示意图。

当炸药从一端起爆后, 爆轰波沿打击管轴向传播, 与此同时, 打击管被压垮, 压垮后的打击管高速倾斜地打击在包套上, 二者碰撞后焊合在一起, 其焊合件仍具有一定的速度, 它们继续打击粉末材料, 最终使粉末材料焊合成块材。

4. 试验结果

通过多次试验, 现已获得 $\phi 20 \times 60$ mm 的无中心孔的棒材, 密度超过了98%理论密度。图4是这种烧结体的宏观照片, 图中A是烧结体的外形, B是烧结体的纵剖面, C是烧结体的横剖面。

金相显微镜下观察了烧结体的微观组织, 包套与粉末颗粒分界处观察到一个窄的区域,

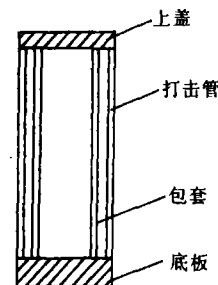


图 1

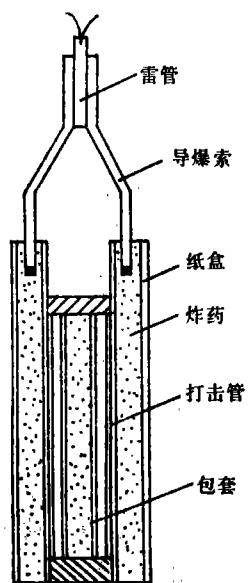


图 2

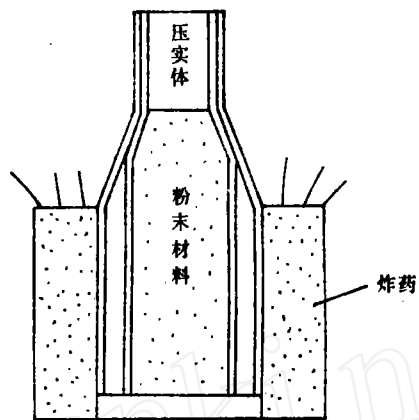


图 3

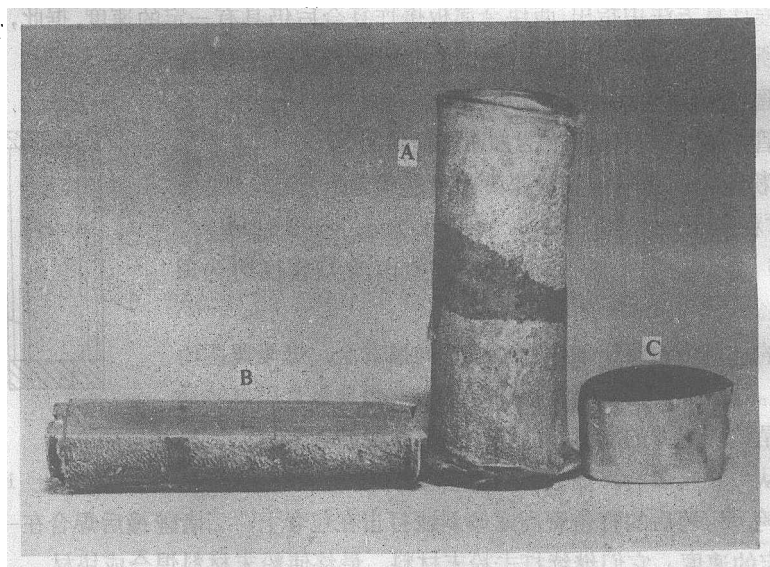


图 4

在该区域内颗粒连接的不够好，局部地区还有孔洞。其余部分颗粒结合的较好，颗粒内部仍保持着粉末颗粒的原始组织（图5）。在个别粉末颗粒中还观察到微裂缝。

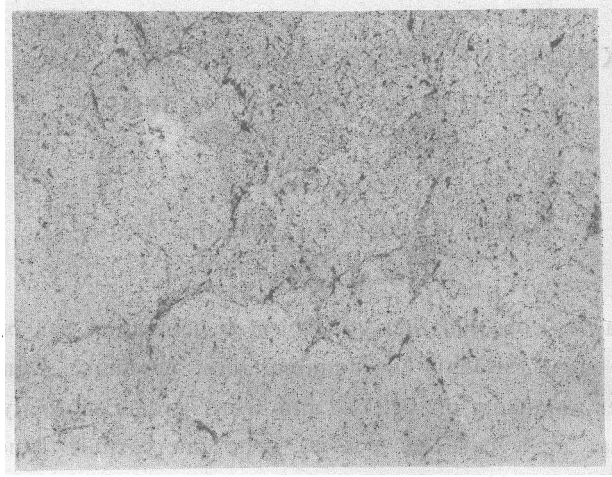


图5 (×200)

金相组织照片是航空工业部621研究所张国斌提供的, 边小兵同志参加了试验工作, 作者表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Kosljukov, N.A., *Shock Waves and High-Strain-Rate Phenomena in Metals*, M.A. Meyers and L.E. Murr, eds., Plenum Press, New York, NY, (1981), 843.
- [2] Peng, T.C., Sastry, S.M., O'Neal J.E., Brasher, D., *Metallurgical Transactions A*, 16A (1985), 1445.
- [3] Williams, J.D., *Powder Metallurgy*, 29 (2) (1986), 91.
- [4] Bhalla, A.K., Williams, J.D., *Proc. 5th Int. Conf. for H.E.F.*, (1975), 2.2.
- [5] 张登霞, 粉末材料爆炸固结过程的试验研究, (待发表).
- [6] 邵丙璜、张登霞、李国豪、周之洪, *爆炸与冲击*, 5 (3) (1985), 1.
- [7] 邵丙璜、周之洪, 私人通信.

EXPLOSIVE CONSOLIDATION OF RSHS ALUMINUM ALLOY POWDERS

Zhang Dengxia

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

ABSTRACT Dynamic consolidation by explosive detonation has been applied to rapidly solidified high strength aluminum alloy powders. Dense, uniform and defect-free cylinder compacts of $\phi 20 \times 60$ mm were produced. Analysis of the microstructure shows that most particles possess good interparticle bonding and the microstructure within particle remains initial character.

KEY WORDS explosive consolidation, colliding bonding, rapidly solidification.