

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0267-03

激光诱导燃烧合成 $Zr_{55}Ti_{10.8}Al_{17.1}Ni_{17.1}$ 合金组织性能

王彦芳, 王存山, 李刚, 潘学民, 夏元良, 董闯

(大连理工大学三束材料改性国家重点实验室, 辽宁 大连 116024)

摘要 大块非晶合金与许多金属间化合物一样,其主要组元之间有较大的负混合焓,有可能发生自蔓延反应。利用这一特点,设计了激光诱导燃烧合成非晶合金的工艺方法。用激光诱导燃烧合成的方法合成了 $Zr_{55}Ti_{10.8}Al_{17.1}Ni_{17.1}$ 合金。分析发现,合成产物主要由非晶、 Zr_2Ni 和 Zr_6Al_2Ni 金属间化合物和 Ti/Zr 固熔体组成。合成产物与单相非晶合金相比,具有较高的硬度和较低的摩擦系数。

关键词 材料合成与加工工艺; 激光诱导; 燃烧合成; 非晶合金

中图分类号 TG193.8; TN249

文献标识码 A

Microstructure and Properties of Laser-Induced Combustion Synthesis

$Zr_{55}Ti_{10.8}Al_{17.1}Ni_{17.1}$ Alloy

WANG Yan-fang, WANG Cun-shan, LI Gang, PAN Xue-min,
XIA Yuan-liang, DONG Chuang

(State Key Laboratory for Materials Modification and Department of Materials Engineering,
Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China)

Abstract Bulk metallic glasses, like many crystalline intermetallics, have large negative enthalpy of mixing among the major constituent elements, and hence are potential candidates of self-propagating high-temperature reaction systems. Based on this characteristic, the laser-induced combustion synthesis (LCS) technique is applied to fabricate $Zr_{55}Ti_{10.8}Al_{17.1}Ni_{17.1}$ alloy. The product consists of amorphous, Zr_2Ni and Zr_6Al_2Ni intermetallic phases and Ti/Zr solid solution. Compared with single amorphous alloy, the product shows higher microhardness and lower friction coefficient.

Key words material synthesis and processing technology; laser induced; combustion synthesis; amorphous alloys

1 引言

非晶态合金是指固态下原子排列具有短程有序而长程无序的金属合金,也称金属玻璃。目前,大块非晶合金的研究主要集中在合金制备、成分设计、形成能力、热稳定性及机械、物理和化学性能等方面。研究发现,能够形成大块玻璃合金的各主要组元之间都能够形成金属间化合物,而且化合物的结合力越强,形成大块玻璃合金的能力也越强^[1]。大块非晶合金与许多金属间化合物的主要组元之间都有较大的负混合焓,有可能发生自蔓延反应。利用这一特点,王存山等人设计了激光诱导燃烧合成非晶合金的制备方法,并将此方法应用到 Zr-Al-Ni-Cu 合金系中,取得了可喜的研究成果^[2-3]。本文利用激光诱导燃烧合成的方法合成 $Zr_{55}Ti_{10.8}Al_{17.1}Ni_{17.1}$ 合金,并对其合成产物的组织结构和性能进行研究。

2 实验材料及方法

选取 Zr, Ti, Al 和 Ni 四种合金粉末,按表 1 的原子配比混制成多元粉末混合物,将此粉末混合物进行充分混合,压制成 $\phi 5mm \times 5mm$,相对密度约为 60% 的粉末压坯。将压坯置于充有氩气的反应容器内,用 HL-1500 型横流连续 CO_2 激光器在压坯一端进行引燃,发生燃烧合成反应。激光点火功率 600W,光斑尺寸 $\phi 6mm$,激光引燃时间 2 s。表 1 列

表 1 原始粉末的特性

Table 1 Specification of the raw powder mixture

	Zr	Ti	Al	Ni
Component/at. %	55	10.8	17.1	17.1
Purity/mass. %	99.90	99.80	99.00	99.90
size/mesh	100	200	100~200	200

收稿日期: 2003-10-13

作者简介: 王彦芳(1976-),男,大连理工大学博士研究生,主要从事激光材料表面改性和材料合成方面的研究工作。

E-mail: laser@dlut.edu.cn

出了原始粉末的特性和原子配比。

利用 XRD-6000 型 X 射线衍射仪(Cu K_{α} 衍射, $\lambda=0.154060$ nm)进行物相分析,用 JSM-5600LV 型扫描电镜观察合成产物的组织形貌,采用 OXFORD ISIS-3 型能谱仪和 EPMA-1600 电子探针进行微区成分分析。用切样机沿合成试样横截面切下 0.35 mm 的薄片,经磨制减薄后,用高氯酸和酒精的电解液(体积比 1:8)将样品双喷减薄,制成透镜样品。用 JEM10 0CX II 型透射电镜进行电子衍射分析。本文利用 DMH-2LS 型努氏硬度计测试材料的显微硬度,载荷 10 g,加载时间 15 s。每个试样测试 10 次,取其算术平均值。利用 CETR 公司的 UMT-2 多功能测试系统测试材料的摩擦学特性,采用 Pin on Disc 测试模式,自动检测对偶副之间的干摩擦系数。对偶副为不锈钢($R_a=0.2\mu\text{m}$),实验参数为:法向载荷 6 N,速度 5 mm/s,滑动距离 10 mm,时间 20 min。

3 实验结果与分析

图 1 是 $\text{Zr}_{55}\text{Ti}_{10.8}\text{Al}_{17.1}\text{Ni}_{17.1}$ 合金粉末压坯经激光诱导燃烧合成产物的 X 射线衍射图。从图中可以清晰地看出,在 2θ 为 $30\sim 42^\circ$ 的范围内出现了表征非晶态的漫散峰,说明有非晶存在。同时,其上还叠加着较强的晶体相衍射峰。经标定这些晶体相主要为 Zr_2Ni , $\text{Zr}_6\text{Al}_2\text{Ni}$ 和 Ti/Zr 固熔体。

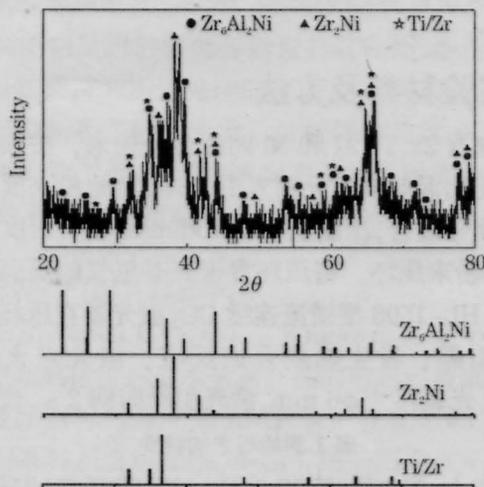


图 1 合成产物 X 射线衍射图
Fig.1 X-ray diffraction spectrum of $\text{Zr}_{55}\text{Ti}_{10.8}\text{Al}_{17.1}\text{Ni}_{17.1}$ LCS product

图 2 为合成样品的典型组织形貌。从图中可以看出,在灰色基体上析出了细小的黑色组织,这些黑色组织呈网状分布。用电子探针的微区成分分析发现,灰色基体成分为 $\text{Zr}_{56.78}\text{Ti}_{6.04}\text{Al}_{16.45}\text{Ni}_{20.71}$,接近原始粉末成分 $\text{Zr}_{55}\text{Ti}_{10.8}\text{Al}_{17.1}\text{Ni}_{17.1}$;黑色组织成分为

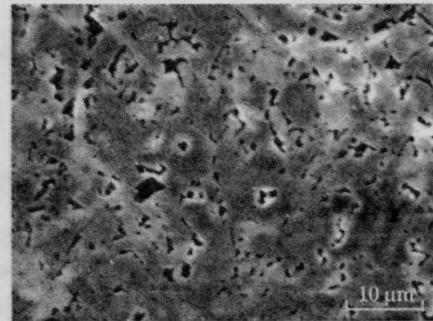
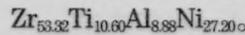


图 2 合成产物扫描电镜照片
Fig.2 SEM image of LCS

用透射电镜对合成产物进行研究,除了发现有非晶的衍射晕环(图 3)和 Zr_2Ni 金属间化合物外(图 4),还发现了 $\text{Zr}_6\text{Al}_2\text{Ni}$ 晶体相。图 4 是面心立方的金属间化合物 Zr_2Ni 的选区电子衍射图谱,其晶体学参数为: $a=b=c=1.227$ nm。图 5 是六角相 $\text{Zr}_6\text{Al}_2\text{Ni}$ 的选区电子衍射图谱,其晶体学参数为: $a=b=0.8175$ nm, $c=0.337$ nm。

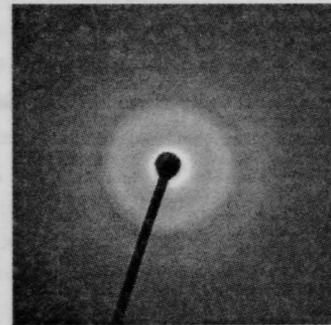


图 3 非晶选区衍射

Fig.3 SAED patterns of the amorphous

表 2 列出了激光诱导燃烧合成 $\text{Zr}_{55}\text{Ti}_{10.8}\text{Al}_{17.1}\text{Ni}_{17.1}$ 合金的显微硬度和平均摩擦系数与单相非晶合金的比较。从表中可以看出,合成产物比单相非晶合金具有较高的硬度和较低的平均摩擦系数。这主要归因于其相组成和不同的结构特征。金属间化合物比非晶具有更高的硬度,在由金属间化合物和非晶所组成的复相材料中,其硬度值主要取决于它们之间的相对含量。由于在获得的合成产物中虽有高比例的

表 2 激光诱导燃烧合成产物显微硬度和平均摩擦系数与非晶合金的比较

Table 2 Comparison of the microhardness and average friction coefficient

	Microhardness/Hk	Average friction coefficient
LCS product	665	0.36
Single amorphous alloy	400-500	0.5-0.6

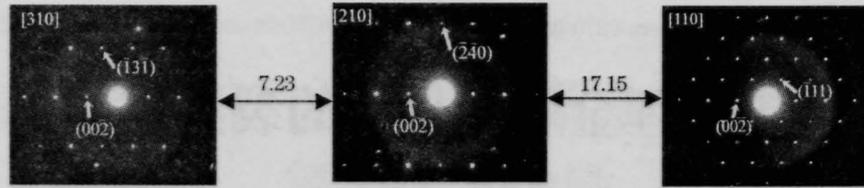


图4 Zr_2Ni 相的选区电子衍射(相邻图片之间的夹角为实验值), 背底为非晶

Fig.4 SAED patterns of the Zr_2Ni phase (The angles between neighboring patterns are experimental values), the background is amorphous phase

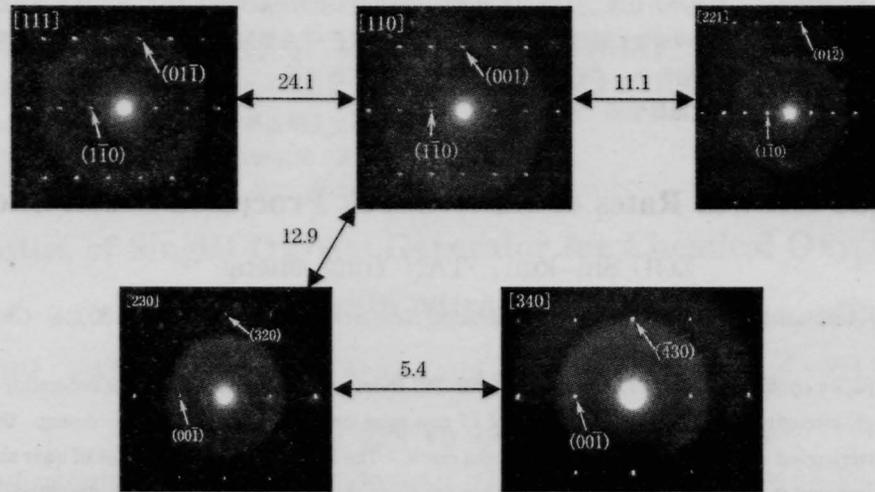


图5 Zr_6Al_2Ni 相的选区电子衍射(相邻图片之间的夹角为实验值), 背底为非晶

Fig.4 SAED patterns of the Zr_6Al_2Ni phase (The angles between neighboring patterns are experimental values), the background is amorphous phase

非晶相存在,但是还存在有大量的金属间化合物,因此有比单相非晶合金更高的硬度。

金属间化合物和非晶的抗磨损能力也不同。非晶合金具有结构和化学的均匀性,具有很好的塑性和韧性,在摩擦过程中容易产生塑性变形。而金属间化合物硬度高,具有良好的抗粘着磨损性能,因而由金属间化合物和非晶所组成的复相材料比非晶合金具有较低的摩擦系数。

参考文献

1 He Guo, Chen Guoliang. Intermetallics and formation of bulk

glassy alloys [J]. *Chinese J. Materials Research*, 1999, **13** (6): 569~575

何国,陈国良. 金属间化合物与大块玻璃合金的形成[J]. 材料研究学报, 1999, **13** (6): 569~575

2 Wang Cunshan, Xia Yuanliang, Li Gang *et al.*. Microstructure and properties of amorphous-based composite fabricated by laser-induced self-propagating reaction synthesis [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(5):471~475

王存山,夏元良,李刚等.激光诱导自蔓延反应合成非晶复合材料组织与性能[J]. 中国激光, 2003, **30**(5):471~475

3 Wang Cunshan, Gao Linhui, Li Gang *et al.*. Laser-induced Self-propagating reaction synthesis of amorphous-based composite Zr-Al-Ni-Cu alloys[J]. *J. Materials Science*, 2003, **38**:1377~1381