

## 超音速电弧喷射雾化银合金粉体的亚稳固溶扩展

秦国义<sup>1,2</sup>, 赵怀志<sup>3</sup>, 蔡宏中<sup>3</sup>, 宁远涛<sup>3</sup>, 郭锦新<sup>1</sup>, 许思勇<sup>1</sup>

- (1. 云南大学 先进材料工程技术研究中心, 昆明 650091;
2. 昆明理工大学 材料与冶金工程学院, 昆明 650093;
3. 昆明贵金属研究所, 昆明 650106)

**摘要:** 采用超音速电弧喷射雾化(UAS)制备 Ag-10Cu、Ag-28Cu、Cu-10Ag、Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 快速凝固合金粉末, 用 XRD 对银合金粉末的亚稳固溶扩展进行研究。结果表明: Ag-10Cu、Ag-28Cu 和 Cu-10Ag 合金粉末的平均亚稳固溶度分别为 7.09%、20.11%和 3.06%(摩尔分数); 当粉末粒度不大于 50  $\mu\text{m}$  时, Ag-28Cu 共晶合金粉末形成完全亚稳固溶体, 而 Ag-10Cu 和 Cu-10Ag 未形成完全固溶体; Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 粉末(65~15  $\mu\text{m}$ )的亚稳固溶度分别为 0.72%~1.30%Ni 和 0.29%~0.57%Fe, 亚稳固溶度随粉末粒度减小而增加。合金生成热和冷却速率分别是判断亚稳固溶扩展能力的热力学参数和动力学参数, 合金生成热越小、冷却速率越高, 亚稳固溶度就越大。超音速电弧喷射雾化有利于降低合金生成热和获得很高的冷却速率, 因此, 银合金粉末获得大的亚稳固溶扩展。

**关键词:** Ag 合金; 超音速电弧喷射雾化; 亚稳固溶扩展

中图分类号: TG 146.4

文献标识码: A

## Metastable solution expansion of Ag alloy powders by ultrasonic arc spray

QIN Guo-yi<sup>1,2</sup>, ZHAO Huai-zhi<sup>3</sup>, CAI Hong-zhong<sup>3</sup>, NING Yuan-tao<sup>3</sup>, GUO Jin-xin<sup>1</sup>, XU Si-yong<sup>1</sup>

- (1. Search Centre of Advanced Material Engineering, Yunnan University, Kunming 650091, China;
2. Faculty of Materials and Metallurgy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;
3. Kunming Institute of Precious Metals, Kunming 650106, China)

**Abstract:** Ag-10Cu, Ag-28Cu, Cu-10Ag, Ag-10Ni and Ag-5Fe alloy powders were prepared by ultrasonic arc spray. The metastable solution expansion of Ag alloy powders was studied by XRD. The results show that the average metastable solution of Ag-10Cu, Ag-28Cu and Cu-10Ag powders are 7.09%, 20.11% and 3.06%, respectively. The Ag-28Cu eutectic powders are single phase metastable fcc solid solution, while the powder size is not larger than 50  $\mu\text{m}$ , but single phase metastable fcc solid solution cannot form in Ag-10Cu or Cu-10Ag powders. The metastable solution of Ag-10Ni and Ag-5Fe powders (65–15  $\mu\text{m}$ ) are 0.72%–1.30% Ni and 0.29%–0.57% Fe, respectively, and the metastable solution increases with decreasing powder size. The forming heat and the cooling rate are thermodynamics parameter and dynamics parameter for estimating the metastable solution expansion extent of alloy powders. The larger the extent of metastable solution expansion, the smaller the forming heat of alloy and the larger the cooling rate.

**Key words:** Ag alloy; ultrasonic arc spray; metastable solution expansion

DUWEZ 等<sup>[1]</sup>在 20 世纪 60 年代初, 采用熔体‘枪喷溅’激冷技术(冷却速率达到  $10^6 \sim 10^8$  K/s)使 Ag-Cu 共晶合金几乎在所有成分范围内获得了单相固溶体。后来, 采用熔体自旋、激光束、电子束、电磁悬浮等快速凝固技术<sup>[2-8]</sup>, 也可以获得 Ag-Cu 合金的单相过饱和固溶体。关于其它银合金的亚稳固溶扩展已有一些研究<sup>[9]</sup>, 但有关超音速电弧喷射雾化银合金粉末的亚稳固溶扩展的研究报道很少<sup>[10-12]</sup>。为此, 本文作者采用超音速电弧喷射雾化技术制备 Ag-10Cu、Ag-28Cu、Cu-10Ag、Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 合金粉末, 用 XRD 对上述粉末的亚稳固溶扩展进行研究。超音速电弧喷射雾化技术具有熔化温度高、连续小体积熔化、无坩埚漏嘴污染、雾化效果好等特点, 是制备高纯净、高熔点难互溶合金粉末的有效方法<sup>[12]</sup>。因此, 对于超音速电弧喷射雾化高性能银合金粉末和其它高熔点难互溶合金粉末的应用研究具有重要的参考价值。

## 1 实验

将 Ag-10Cu、Ag-28Cu、Cu-10Ag、Ag-10Ni 和 Ag-5Fe(质量分数, %)电极丝(直径为 2 mm)分成正、负极装配到超音速电弧喷射雾化(UAS)装置上<sup>[12]</sup>。在直流电压 30 V、电流 140 A 下引燃电弧熔化电极丝; 在 0.8 MPa 的氮气气氛下经由拉伐尔喷嘴产生的超音速气流不断把 Ag 合金电弧熔滴喷雾到水中而制备 Ag-10Cu、Ag-28Cu、Cu-10Ag、Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 急冷合金粉末。粉末的粒径采用筛分法和欧美克粒度分析仪分析结合测定<sup>[12]</sup>。采用 D/MAX-RC 型 X-射线衍射分析仪(Cu 靶  $K_{\alpha}$ , 管电流 80 mA, 管电压 40 kV, 石墨单色器, 波长 0.154 056 nm)进行物相分析和晶格常数测量。为了精确测量晶格常数, 在本研究中, 采用步进慢扫描方式获得精确的衍射峰角度, 并根据  $(\sin^{-1}\theta + \theta^{-1})\cos^2\theta$  作为外推函数的图解外推法对计算所得值进行数学修正<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 Ag-Cu 合金粉末的亚稳固溶扩展

图 1 所示为超音速电弧喷射雾化 Ag-28Cu (39.9%Cu)共晶合金粉末的 X 射线衍射的物相分析结果。从图 1 看出, 物相由大量富 Ag 相和少量富 Cu 相组成, Ag 峰明显宽化, 富 Ag 相的平均点阵参数为

0.401 877 nm, 比 Ag 的点阵参数 0.408 620 nm 减小了 0.006 743 nm; 当粉末颗粒不大于 50  $\mu\text{m}$  时, 点阵参数为 0.392 52 nm, 比 Ag 的减小了 0.016 100 nm。根据合金固溶度的判据, Ag-Cu 系应形成置换式面心立方固溶体<sup>[9]</sup>, 而且当 Cu 固溶于 Ag 中时, 将使 Ag 的点阵参数减小。因此, 富 Ag 相点阵参数的显著减小, 表明超音速电弧喷射雾化 Ag-28Cu 共晶合金粉末获得了较大的亚稳固溶扩展。

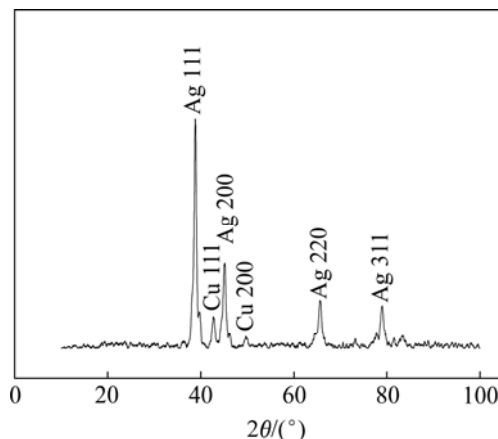


图 1 超音速电弧喷射雾化得到的 Ag-28Cu 粉末的 XRD 谱  
Fig.1 XRD pattern of Ag-28Cu powders by ultrasonic arc spray

DUWEZ 的研究结果表明, 快速凝固 Ag-Cu 合金在整个成分范围内, 固溶度与点阵参数的变化几乎成线性关系<sup>[14]</sup>。这与 Vegard 定律符合较好, 因此, 可以按修正过的 Vegard 定律计算 Cu 在 Ag 中的固溶度:

$$a = a_1 + (a_2 - a_1)x + \Delta a \quad (1)$$

式中  $a$  是合金点阵参数;  $a_1$  是溶质点阵参数;  $a_2$  是溶剂点阵参数;  $\Delta a$  是合金点阵参数的修正值。

BOSWELL 等<sup>[2]</sup>用激光熔凝技术获得了 Ag-50%Cu 完全亚稳固溶体, 测得的点阵参数为 0.387 8 nm。Ag 和 Cu 的点阵参数分别为  $a_1 = a_{\text{Ag}} = 0.408 620$  nm 和  $a_2 = a_{\text{Cu}} = 0.361 530$  nm<sup>[15]</sup>, 将上述数据代入式(1), 得到点阵参数的修正值  $\Delta a = 0.002 725$  nm。再将本实验中富 Ag 相及 Ag 和 Cu 的点阵参数、 $\Delta a$  值代入式(1), 得到超音速电弧喷射雾化 Ag-39.9%Cu 共晶合金粉末的平均扩展固溶度  $x = 20.11\%$ 。这比平衡凝固时共晶温度对应的 Cu 的最大固溶度 14.1%高出 6%; 当粉末颗粒不大于 50  $\mu\text{m}$  时, Cu 的固溶度达到 39.90%, Ag-39.9%Cu 共晶合金形成完全扩展亚稳固溶体, 表明超音速电弧喷射雾化 Ag-39.9%Cu 共晶合金粉末获得了 BOSWELL 等与 DUWEZ 等用激光熔凝技术和“枪”激冷技术达到的快速凝固效果, 且本研究适合

工业应用。

超音速电弧喷射雾化 Ag-10Cu(15.87%Cu)和 Cu-10Ag(6.14%Ag)合金的点阵参数分别为 0.408 007 nm 和 0.362 972 nm。按式(1)计算, Cu 在 Ag 中的亚稳扩展固溶度为 7.09%、是合金原始成分的 44.7%; 而 Ag 在 Cu 中的亚稳扩展固溶度为 3.06%Ag, 是合金原始成分的 49.8%, 与平衡凝固比较都获得了很大的固溶扩展。但与 Ag-28Cu 相比, 即使是粒径很小的 Ag-10Cu 和 Cu-10Ag 粉末仍然未形成完全亚稳固溶体。比较不同成分的 Ag-Cu 合金可以看出, 共晶点附近的合金在快速凝固条件下, 更容易获得完全亚稳固溶体, 而远离共晶点的合金要在更高的冷却速率(大于  $10^7$  K/s)下才可能获得完全亚稳固溶体, 这与固液相线的间隔密切相关。

## 2.2 Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 合金粉末的亚稳固溶扩展

图 2 所示为超音速电弧喷射雾化 Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 合金粉末的点阵参数  $a$  与其粒径的关系。由图 2 看出, 随粉末颗粒粒径的减小其点阵参数  $a$  几乎呈线性减小。当粉末粒径由 65  $\mu\text{m}$  减小到 15  $\mu\text{m}$  时,

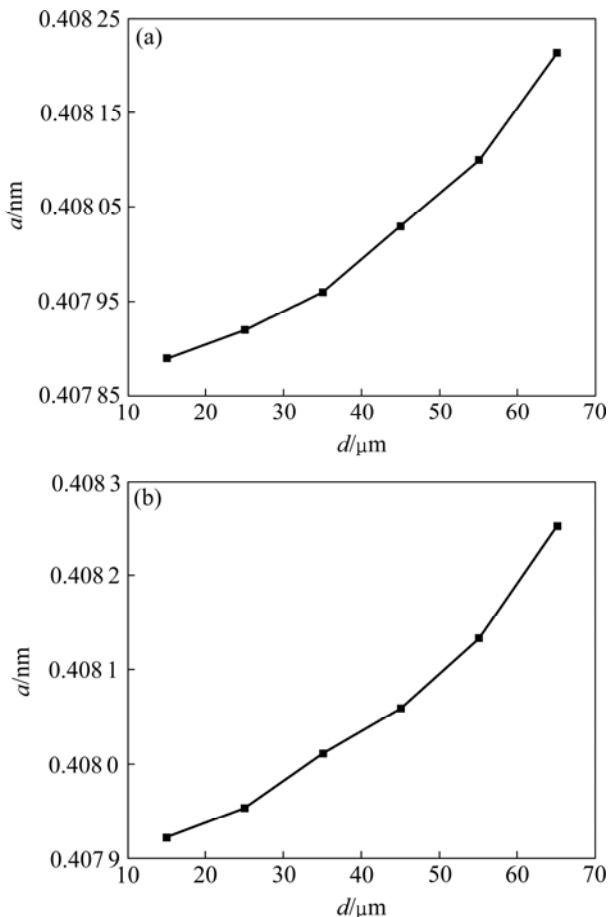


图 2 Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 的点阵参数与粉末粒径的关系  
Fig.2 Lattice parameters vs powder size of Ag-10Ni and Ag-5Fe: (a) Ag-10Ni; (b) Ag-5Fe

Ag-10Ni 粉末颗粒的点阵参数  $a$  由 0.408 213 nm 减小到 0.407 890 nm; Ag-5Fe 粉末颗粒的点阵参数  $a$  由 0.408 251 nm 减小到 0.407 921 nm。Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 合金粉末的平均点阵参数分别为 0.408 010 nm 和 0.408 058 nm。与 Ag 的点阵参数(0.408 620 nm)相比, Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 合金粉末的点阵参数明显减小, 表明 Ag 合金的点阵发生了收缩。Ag、Ni 和 Fe 的原子半径分别为 0.144、0.125 和 0.124 nm<sup>[15]</sup>, Ni 和 Fe 的原子半径比 Ag 的原子半径小, 其相对原子半径比约为 14%、原子半径比约为 0.86, 满足置换式固溶体的条件, 因此, 合金粉末的点阵收缩是 Ni 和 Fe 与 Ag 形成置换式固溶体而引起的结果。Ni 和 Fe 的点阵参数分别为<sup>[15]</sup>: 0.352 38 和 0.286 60 nm。按 Vegard 定律, 超音速电弧喷射雾化 Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 合金粉末的平均亚稳扩展固溶度分别为 1.08%Ni 和 0.46%Fe; 当 Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 合金粉末粒径为 65~15  $\mu\text{m}$  时, 亚稳扩展固溶度的变化分别为 0.72%~1.30%Ni 和 0.29%~0.57%Fe。对比 Ni 和 Fe 的亚稳固溶度, 可以看出 Ni 的亚稳固溶度约为 Fe 的 2 倍。文献[9]用锤砧法(冷却速率为  $10^6$  K/s)得到的 Ni 和 Fe 在 Ag 中的亚稳固溶度分别为 1.5%和 1.0%(合金中 Ni、Fe 的配比浓度小于 5%), 高于本研究的实验结果, 这是由于本研究中 Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 合金的 Ni 和 Fe 浓度较高所致。

## 3 讨论

实验结果表明, UAS Ag-28Cu 共晶合金粉末的平均亚稳扩展固溶度(20.11%Cu)显著大于 UAS Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 偏晶型合金粉末的平均亚稳扩展固溶度(1.08%Ni、0.46%Fe)。合金亚稳固溶扩展能力的差别与其合金生成热不同密切相关。宁远涛等<sup>[9]</sup>用 Miedema 键参数模型对 Ag 合金的相图进行分析, 指出 Ni 和 Fe 等过渡金属与 Ag 之间电子密度差较大, 导致这些合金具有大的正生成热, 在合金化时组元间有强的相互排斥作用, 致使这类合金在液态广泛存在不混溶区, 因而, 在很宽的成分范围内呈偏晶反应、不形成任何化合物和固态不互溶。由此可以推论, 超音速电弧喷射雾化 Ag 合金的亚稳固溶扩展机制可以用组元电子密度差  $\Delta n$  和化学势差  $\Delta\Phi$  的变化来进行分析。合金两组元元胞边界之间存在电子密度差, 它阻碍合金化进行; 而两组元之间存在的化学势差可导致电子迁移, 减小电子密度差, 促使合金化进行。因此,  $\Delta n$  和  $\Delta\Phi$  是影响合金亚稳固溶度大小的 2 个主要因素。

**表 1** Cu、Ni 和 Fe 在 Ag 中的平衡与亚稳扩展固溶度(冷却速度  $10^6$  K/s)**Table 1** Equilibrium and metastable solution of Cu, Ni and Fe in Ag at cooling rate of  $10^6$  K/s

Solute	Type of phase	Equilibrium solution at $T_E$ or $T_M$ /%	Equilibrium solution at $T_R$ /%	Metastable solution at $T_R$ /%	Forming heat of alloys/(kJ·mol <sup>-1</sup> )
Cu	Eutectic	14.1	~0	39.9 <sup>1)</sup>	2
Ni	Monotectic	3.0	0	1.3 <sup>2)</sup>	22
Fe	Monotectic	0.26	0	0.57 <sup>3)</sup>	39

1) UAS Ag-28Cu powders ( $\leq 50 \mu\text{m}$ ); 2) UAS Ag-10Ni powders ( $\sim 15 \mu\text{m}$ ); 3) UAS Ag-5Fe powders ( $\sim 15 \mu\text{m}$ );  $T_E$  means eutectic temperature;  $T_M$  means monotectic temperature;  $T_R$  means room temperature.

从宏观物理及热化学因素来看,  $\Delta n$  和  $\Delta\Phi$  为合金生成热或熔化热的主要函数。因此, 合金生成热可以作为判断其亚稳固溶扩展能力的热力学参数。

在超音速电弧喷射雾化过程中, 一方面, 在电弧熔化温度下, 合金熔滴的过热度在  $1000^\circ\text{C}$  以上, 使合金熔滴的生成热显著降低, 使合金化势垒大幅度减小, 这从合金在液态的互溶度大于固态的固溶度得到证明; 另一方面, 在电弧超高温区, 电弧作用使得组元原子外层电子受激, 原子处于离子化状态, 熔滴受到电磁力作用, 从而减小  $\Delta n$  和促进电子迁移, 导致熔滴的生成热进一步降低。这两方面的叠加作用, 使电弧熔滴处于高合金化或完全合金化状态, 为急冷“冻结”形成亚稳固溶扩展创造必要条件。超音速电弧喷射雾化 Ag 合金熔滴的冷却速率高达  $10^5\sim 10^7$  K/s<sup>[12]</sup>, 因而, 合金熔滴具有很大的过冷度。很快的凝固速度导致深过冷合金熔滴的高合金化状态得到很好的凝固“冻结”(发生溶质捕获)。与平衡态凝固相比, 银合金粉末获得了较大的亚稳固溶扩展。

Ag-Cu 共晶系合金与 Ag-Ni 和 Ag-Fe 偏晶型合金的亚稳固溶扩展是具有相同机制的 2 种类型。它们的生成热( $\Delta H$ )和电子密度差的大小关系为:  $\Delta H_{\text{Ag-Fe}} > \Delta H_{\text{Ag-Ni}} > \Delta H_{\text{Ag-Cu}}$ ,  $\Delta n_{\text{Ag-Fe}} > \Delta n_{\text{Ag-Ni}} > \Delta n_{\text{Ag-Cu}}$ 。Ag-Cu 共晶系合金属于生成热小的类型, 而 Ag-Ni 和 Ag-Fe 偏晶型合金属于生成热大的类型。表 1 是 Ag-Cu 共晶系合金和 Ag-Ni、Ag-Fe 偏晶型合金平衡固溶度和亚稳固溶度(冷却速度  $10^6$  K/s)与其生成热之间的对应关系。从表 1 中看出, Ag-Cu 合金的生成热比 Ag-Ni 和 Ag-Fe 偏晶型合金的生成热小 1 个数量级, 因此, Ag-Cu 合金的亚稳固溶度比 Ag-Ni、Ag-Fe 合金的固溶度大 1 个数量级; Ni 的亚稳固溶度约为 Fe 的 2 倍, 这与 Ag-Fe 的生成热约是 Ag-Ni 的 1.8 倍有很好的对应关系, 表明生成热大的合金在快速凝固时亚稳固溶扩展小。Ag-Cu 合金电子密度差很小, 生成热很小, 当深过冷熔体具有液相线温度之上(完全固溶)的电子密度

差时, 就可以形成完全亚稳固溶体。

罗群芳等<sup>[16]</sup>进行了机械合金化法制备 Ag-Ni 电接触材料的研究, 发现在机械合金化过程中形成的 Ag-Ni 亚稳固溶合金在随后的成型过程中形成高度弥散的细小的 Ni 析出质点, 从而使 Ag-Ni 电接触材料的电接触性能得到很大改善。在超音速电弧喷射雾化过程中, Ag-Ni 和 Ag-Fe 等难互溶体系同样可形成亚稳固溶合金, 这为高效制备高性能 Ag-Ni 和 Ag-Fe 等难互溶体系电接触材料提供了新的途径。

## 4 结论

1) 超音速电弧喷射雾化银合金粉末的亚稳固溶扩展能力随粉末粒径减小而增大; 当粉末粒径不大于  $50 \mu\text{m}$  时, Ag-28Cu 共晶合金粉末形成完全亚稳固溶体, 亚共晶和过共晶合金的亚稳固溶扩展能力随离共晶点的距离增大而减小; 粒径不大于  $15 \mu\text{m}$  的 Ag-10Cu 和 Cu-10Ag 合金粉末不能形成完全亚稳固溶体; 粉末粒径为  $65\sim 15 \mu\text{m}$  的 Ag-10Ni 和 Ag-5Fe 合金粉末的亚稳扩展固溶度变化分别为  $0.72\%\sim 1.30\%$  Ni 和  $0.29\%\sim 0.57\%$  Fe。

2) 合金亚稳固溶度大小与其生成热密切相关, 随合金生成热的减小, 其亚稳固溶度增加。生成热小的合金可以形成完全亚稳固溶体, 生成热大的合金只能形成有限亚稳固溶体。

## REFERENCES

- [1] DUWEZ P W, WILLENS R H. Rapid quenching of liquid alloys[J]. Trans Met Soc AIME, 1963, 227: 262-264.
- [2] BOSWELL P G, CHADWICK G A. The structure of the  $\gamma'$  extended solid solution in a splat-cooled Ag-50%Cu alloy[J]. J Mater Sci, 1977, 12(9): 1879-1894.
- [3] THOMA D J, GLASGOW T K, TEWARI S N. Effects of

- process parameters on melt-spun Ag-Cu[J]. *J Mater Sci*, 1988, 98: 89-93.
- [4] JACOBSON N. Rapid solidification of Ag-Cu and Ag-Pb[J]. *Mater Sci Eng A*, 1991, 133: 574-576.
- [5] BOETTINGER W J, SHECHTMAN D, SCHAEFER R J, BIANCANIELLOET F S. The effect of rapid solidification velocity on the microstructure of Ag-Cu alloys[J]. *Metall Tran A*, 1984, 15(1): 55-66.
- [6] WALDER S, RYDER P L. Nonequilibrium solidification in undercooled melts of the alloy Ag-39.9%Cu[J]. *J Appl Phys*, 1993, 73: 1965-1970.
- [7] WALDER S, RYDER P L. Critical solidification behavior of undercooled Ag-Cu alloys[J]. *J Appl Phys*, 1993, 74: 6100-6106.
- [8] PANDEY O P, LELE S, OJHA S N. Undercooling and solidification of droplets of Cu-Ag alloy entrained in the primary phase[J]. *J Mater Sci*, 1995, 30(2): 538-543.
- [9] 宁远涛, 赵怀志. 银[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2005: 102-125.  
NING Yuan-tao, ZHAO Huai-zhi. Silver[M]. Changsha: Central South University Press, 2005: 102-125.
- [10] 秦国义, 王剑华, 蔡宏中, 赵怀志, 张富文. 超音速电弧喷射雾化难固溶 Ag-10Ni 合金粉末的凝固特征[J]. *稀有金属材料与工程*, 2007, 36(5): 924-928.  
QIN Guo-yi, WANG Jian-hua, CAI Hong-zhong, ZHAO Huai-zhi, ZHANG Fu-wen. Rapid solidification features of Ag-10Ni immiscible alloy by ultrasonic arc spray gas atomization[J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2007, 36(5): 924-928
- [11] 张富文, 秦国义, 张 婕, 宁远涛. 超音速电弧喷射成形技术在贵金属领域中的应用展望[J]. *贵金属*, 2004, 25(2): 57-60.  
ZHANG Fu-wen, QIN Guo-yi, ZHANG Jie, NING Yuan-tao. The ultrasonic arc spray forming and its applicational prospect in the field of precious metals[J]. *Precious Metals*, 2004, 25(2): 57-60.
- [12] 秦国义. 超音速电弧喷射快速凝固银合金组织结构与性能研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2008.  
QIN Guo-yi. The research for the structure and properties of rapid solidification Ag alloys by ultrasonic arc spray[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2008.
- [13] 梁敬魁. 粉末衍射法测定晶体结构[M]. 北京: 科学出版社, 2003.  
LIANG Jing-kui. Detecting crystal structure by powders diffraction[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [14] 胡壮麒, 宋启洪, 张海峰, 刘 正. 压稳金属材料[M]. 北京: 科学出版社, 2006.  
HU Zhuang-qi, SONG Qi-hong, ZHANG Hai-feng, LIU Zheng. Metastable metal materials[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [15] 虞觉奇, 易文质, 陈邦迪, 陈宏鉴. 二元合金状态图集[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987.  
YU Jue-qi, YI Wen-zhi, CHEN Bang-di, CHEN Hong-jian. Phase diagrams of binary alloys[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1987.
- [16] 罗群芳, 刘丽琴, 王亚平, 丁秉钧. 机械合金化方法制备银镍触头合金的研究[J]. *稀有金属材料与工程*, 2003, 32(4): 298-300.  
LUO Qun-fang, LIU Li-qin, WANG Ya-ping, DING Bing-jun. Preparation of silver-nickel contact materials by mechanical alloying[J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2003, 32(4): 298-300.

(编辑 杨 华)