

[文章编号] 1004- 0609(2001)S1- 0102- 03

CuW 假两相合金的熔渗参数^①

范志康, 梁淑华, 肖 鹏

(西安理工大学 材料科学与工程学院, 西安 710048)

[摘 要] 通过对 CuW 假两相合金的熔渗参数的理论分析和实验研究, 给出了熔渗时间与钨粉粒径、压坯孔隙率、压坯高度之间的定量关系式。结果表明, 钨粉的粒径越小, 毛细作用力越大, 但钨粉总表面积增大使润湿表面要克服的阻力也增加, 综合作用使熔渗的时间延长; 随着压坯的孔隙率增大, 熔渗阻力减小, 熔渗速度加快, 熔渗时间缩短。

[关键词] 铜钨合金; 熔渗参数; 毛细作用; 钨粉

[中图分类号] TF 12

[文献标识码] A

铜钨合金被广泛用于强电弧烧损或强耐热环境中^[1~5]。过去采用混粉烧结法^[4]制备铜钨合金, 目前先进的制备方法是采用熔渗技术^[6,7]。该方法首先把钨粉与少量诱导铜粉及添加剂等混匀, 冷压制坯后, 在真空或气氛保护炉内烧结成钨骨架, 使其具有一定的强度, 但钨骨架之间的孔隙又不闭合, 然后把铜或铬铜合金液渗入钨骨架的孔隙中, 得到铜钨合金。制备工艺的合理与否直接影响铜钨合金的组织^[8,9], 进而影响铜钨合金的导电性、硬度、强度等性能^[10,11]。对于不同高度的压坯, 熔渗时间的选择非常重要, 熔渗时间长了, 不仅影响生产率, 还会对钨骨架造成冲刷、侵蚀; 而时间短了, 熔渗不充分, 出现次品。如何定量地调整熔渗时间, 控制铜钨合金的组织与性能是本文研究的重点。

1 实验

研究材料为 CuW60, CuW70 和 CuW80 铜钨合金, 钨粉平均粒径分别为 5 μm 和 7 μm , 熔渗液相为纯铜, 在立式气氛保护炉内进行烧结熔渗, 熔渗温度为 1320 $^{\circ}\text{C}$ 。

2 理论推导

2.1 熔渗动力

根据毛细及管束理论, 熔渗动力表述为

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 \quad (1)$$

式中 Δp_1 为毛细作用力; Δp_2 为液相压力; Δp_3 为外加压力, 如压坯顶部施加外压或底部抽吸产生负压等。对于所研究的铜钨体系而言, 铜液与钨的润湿较好, 因而不施加外部压力就能完成熔渗过程, 即 $\Delta p_3 = 0$ 。

毛细作用 Δp_1 可按 下式求得:

$$\Delta p_1 = \frac{2\sigma \cos \theta}{R_c} = \rho g h_1 \quad (2)$$

式中 R_c 为毛细管的当量半径, m; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$; σ 为铜液表面张力, N/m; θ 为铜液与钨的接触角, $^{\circ}$; ρ 为铜液的密度, kg/m^3 。

毛细管当量半径 R_c 可按 下式求得:

$$R_c = \frac{\varphi}{2S_0(1-\varphi)} \quad (3)$$

式中 φ 为孔隙率, 对 CuW70 合金, $\varphi = 47.9\%$; S_0 为钨粉颗粒的比表面积, 当钨粉平均直径为 5 μm 时, $S_0 = 1.2 \mu\text{m}^{-1}$ 。根据式(3), $R_c = 4.17 \times 10^{-7} \text{ m}$ 。在 1320 $^{\circ}\text{C}$ 熔渗时, $\theta = 12^{\circ}$, $\sigma = 1.238 \times 10^{-2} \text{ N/m}$ (温度系数 $d\sigma/dT = -0.31 \times 10^{-3} \text{ N/(m} \cdot \text{K)}$), 密度按等压过程处理, $\rho = 7.76 \text{ g/cm}^3$ (20 $^{\circ}\text{C}$ 时, $\rho = 8.93 \text{ g/cm}^3$)。根据式(2) 得到 $h_1 = 0.763 \text{ m}$ 。也就是说, 1320 $^{\circ}\text{C}$ 时, 对当量直径为 8.34 μm 的钨毛细管, 仅靠毛细作用即可上升 0.763 m, 与铜液压力相比, 此高度要大得多, 故在后面的计算中, 可不考虑液相压力的影响, 即 $\Delta p_2 = 0$ 。根据式(1) 和式(2), 总作用力 $\Delta p = 5.81 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 。

2.2 熔渗时间

① [基金项目] 陕西省科技发展计划项目(98KH60); 陕西省教育厅重点基金项目(99JK171)

[收稿日期] 2000- 09- 18; [修订日期] 2001- 03- 30

[作者简介] 范志康(1959), 男, 教授, 博士。

$$\Delta p = k \frac{L \eta \bar{v}}{4R_c^2} \quad (4)$$

式中 k 为阻力系数, 由实验确定; L 为待熔渗的孔隙长度, m; η 为动力粘度, Pa·s; $\bar{v}$ 为铜液在钨骨架中的熔渗速度, m/s。

把式(3)代入式(4), 可得

$$\Delta p = k L \eta \bar{v} \frac{S_0^2 (1 - \varphi)^2}{\varphi^2} \quad (5)$$

根据 $\bar{v} = \frac{L}{t}$, $L = \tau \cdot h$, 则有

$$t = \frac{k \tau^2 h^2 \eta S_0^2 (1 - \varphi)^2}{\Delta p \varphi^2} \quad (6)$$

式中 t 为熔渗时间, s; τ 为曲折度; h 为待熔渗压坯高度, m。

3 实验结果

3.1 熔渗时间

1320 °C 时, 铜的动力粘度 $\eta = 4.35 \times 10^{-3}$ Pa·s, 待熔渗压坯高度 $h = 50$ mm, 曲折度 $\tau = 3$, 粒径 $5 \mu\text{m}$ 钨粉的比表面积 $S_0 = 1.2 \mu\text{m}^{-1}$, 对 CuW70 合金, 孔隙率 $\varphi = 0.479$, 毛细作用力 $\Delta p = 5.81 \times 10^4$ N/m², 今假定阻力系数 $k = 1$, 根据式(6), 则有 $t = 2869.9$ s。

实测的熔渗时间为 82 min, 与上面假设阻力系数 $k = 1$ 时计算出的熔渗时间相差较大。这主要是由于钨骨架存在很轻微的氧化, 对铜液与钨的润湿角有影响, 从而增加熔渗阻力, 按实测熔渗时间计算, $k = 1.71$ 。

按 $k = 1.71$ 计算的熔渗时间与熔渗压坯高度的关系如图 1 所示。从图 1 可以看出随着熔渗压坯高度的增加, 熔渗时间按抛物线增加, 即

$$t = a \cdot h^2 \quad (7)$$

比较式(7)与式(6), 有

$$a = \frac{k \tau^2 \eta S_0^2 (1 - \varphi)^2}{\Delta p \cdot \varphi^2} \quad (8)$$

3.2 钨粉粒径的影响

钨粉粒径越细, 比表面积 S_0 愈大, 从式(6)可知, 熔渗时间增加; 另一方面, 钨粉粒径减小, 对应的当量孔隙半径减小, 毛细作用增加, 又使熔渗时间缩短, 两方面综合作用使熔渗时间延长。当钨粉平均粒径从 $5 \mu\text{m}$ 增加到 $7 \mu\text{m}$, 曲折度 $\tau = 2.5$ 时, 熔渗 50 mm 高的压坯, 熔渗时间从 4920 s 缩短至 1742 s (如图1所示), 说明钨粉粒径对熔渗时间的影

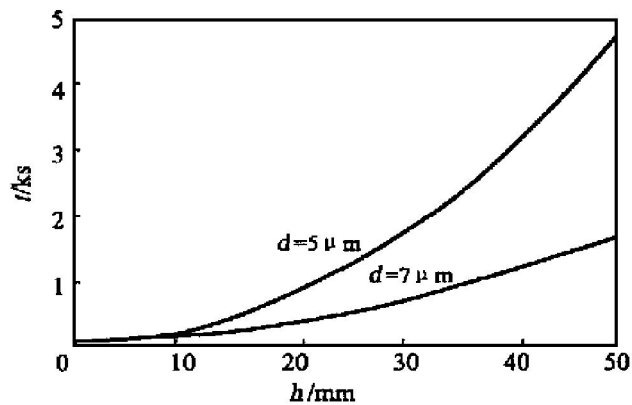


图 1 W 粉粒径不同时熔渗压坯高度与熔渗时间的关系

Fig. 1 Relationship between infiltration time and height of compacts with different W powder sizes

响较大。

3.3 孔隙率

铜钨合金中的钨含量越少, 意味着熔渗前毛坯的孔隙率越大, 从式(6)可知, 熔渗时间越短。钨粉平均粒径为 $5 \mu\text{m}$, 熔渗温度为 1320 °C 时, CuW60, CuW70 及 CuW80 压坯的孔隙率约为 58.4%, 47.9% 和 34.2%, 计算的熔渗时间与压坯高度的关系如图 2 所示。

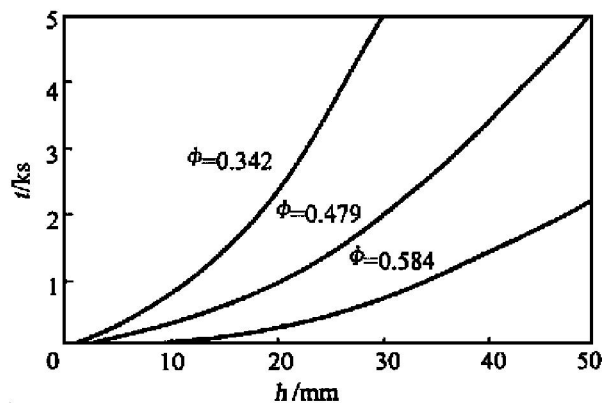


图 2 不同孔隙率时压坯高度与计算熔渗时间的关系

Fig. 2 Relationship between infiltration time and height of compacts with different pore fractions

3.4 熔渗温度

熔渗温度的选择主要是保证钨骨架中不产生闭孔, 铜液又能充分渗入。熔渗温度对熔渗时间的影响是通过影响铜液的粘性进行的。铜液的粘度可按下式计算:

$$\eta = \frac{\eta^* (MRT)^{1/2}}{\delta^2 \cdot N_0} \quad (9)$$

式中 η^* 称为约化粘度, 与约化温度 T^* 和约化体积 V^* 有关, N_0 为 Avogadro 数, 其值为 $6.02 \times$

$10^{23}/\text{mol}$; M 为摩尔质量, 对铜而言, M 为 63.5 g/mol ; R 为气体常数, 其值为 8.314×10^7 ; T 为绝对温度, K; δ 为绝对零度时密排结构的原子间距, 对 Cu 而言, $\delta = 2.56 \times 10^{-8}$ 。

不同温度下铜液的粘度见表 1。可见在熔渗温度范围内, 铜液的粘度改变不大, 仅从铜液粘性的角度考虑, 熔渗温度对熔渗时间的影响不大。

表 1 不同温度下铜液的粘度

Table 1 Viscosity at different temperatures

T/K	$\eta/(\text{Pa}\cdot\text{s})$	T/K	$\eta/(\text{Pa}\cdot\text{s})$
1525	5.03×10^{-3}	1585	4.37×10^{-3}
1545	4.74×10^{-3}	1605	4.20×10^{-3}
1565	4.55×10^{-3}	1625	4.11×10^{-3}

[REFERENCES]

- [1] Hori Koichi, Ohtsuka Masao, Hara Masanori. [J]. Electrical Engineering, 1997, 18(1): 41–51.
- [2] Kim J C. Densification behavior of mechanically alloyed W-Cu composite powders by the double rearrangement process [J]. Scr Metall Mater, 1998, 39(6): 669.
- [3] FAN Zhikang(范志康), LIAN Shuhua(梁淑华), XIAO Peng(肖鹏). 整体烧结熔渗 CuW/CuCr 自力式弧触头的静态性能[J]. Electrical Engineering Alloys (电工合金), 1998, 69(4): 25–27.
- [4] Wojtasik K, Btolarg S. Proceedings of Powder Metallurgy World Congress [M]. France: Paris, 1994. 6–9.
- [5] A Producing Method for Sintering CuW Alloy, Japan Patent, 15383(1991).
- [6] CHEN Yarnan(陈亚男), WANG Sai(王赛), TAO Jie(陶吉). 整体式粉末冶金 CuW-CuCr 合金自力型触头的应用与试验[J]. High Voltage Apparatus (高压电器), 1994, 30(3): 29–33.
- [7] FAN Zhikang(范志康), LIANG Shuhua(梁淑华), YANG Hongwang(杨红旺). 整体烧结熔渗 CuW/CuCr 自力式弧触头的形式试验研究[J]. Electrical Engineering Alloy (电工合金), 1999, 70(2): 27–29.
- [8] WANG Zhifa(王志法), LIU Zhengchun(刘正春), JIANG Guosheng(姜国圣). W-Cu 电子封装材料的气密性[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals (中国有色金属学报), 1999, 9(2): 323–326.
- [9] LIAN Shuhua(梁淑华), FAN Zhikang(范志康). W-Cu 触头材料的缺陷及防止方法[J]. High Voltage Apparatus (高压电器), 2000, 36(3): 20–21, 47.
- [10] Moon I H, Kim E P, Petzow G. Full densification of loosely packed W-Cu composite powders [J]. PM, 1998, 41(1): 51–56.
- [11] Johnson J L, German R M. Solid-state contribution to densification during liquid-phase sintering [J]. Metall Trans B, 1996, 27B: 902–906.

Infiltration parameters of CuW pseudobinary alloy

FAN Zhikang, LIANG Shuhua, XIAO Peng

(School of Materials Science and Engineering, Xi'an University of Technology,
Xi'an 710048, P. R. China)

[Abstract] The infiltration parameters of CuW pseudobinary alloy were studied through theoretic deduction and experimental study. A formula was given out to show the relationship among infiltration time and tungsten powder size, pore fraction and CuW compact height. The results show that the smaller the tungsten powder size, the greater the capillary force. However, the surface area of the tungsten powder also increases, which results in a greater resistance to wetting. In general infiltration time extends. With increasing pore fraction of CuW compact, the resistance to infiltration decreases and the infiltration time becomes shorter.

[Key words] CuW alloy; infiltration parameters; capillary, tungsten powder

(编辑 杨兵)