

激光制粉过程及其效率计算^①

徐惠彬

谭树松

(德国,柏林工业大学)

(中南工业大学)

摘 要

根据对激光束和样品表面能量交互作用的研究,建立了一个模型。通过测量样品表面辐射坑的体积,用该模型计算了Al、Cu、Mo三种金属的熔化效率及蒸发效率,发现:Al的能量利用率最高,Mo最低;随激光强度增加,Al和Mo的能量利用率增加较快,Cu较慢。

关键词: 激光 辐射 Al Cu Mo

激光自1963年首次用于材料工程以来,已在焊接、切割、表面热处理、表面合金化等许多方面得到了广泛应用。激光制粉作为一种新技术也受到越来越多的重视^[1,2],在最近的研究中,已经发现几种亚稳相纳米晶^[3],配合不同气氛,可合成多种氧化物、氮化物等超细粉末^[4]。

本文在研究激光制粉的基础上,提出了一个物理模型,试图用于描述激光辐照金属材料表面的制粉过程。还用该模型计算了Al、Cu、Mo制粉过程的效率。

本研究的实验方法与文献[3]基本一致。采用光学显微镜调焦测深法测量金属表面的辐射坑深度,其直径则从扫描电镜照片上量得。

1 模型的建立

激光辐照固体材料表面的制粉过程,可用下面模型描述:

激光束照射在样品表面,形成一个等离子弧^[5];光束的能量穿过该弧到达样品表面,通过热转换,使一部分样品表面熔化;受辐照的熔体中心由于炽热而蒸发成气体,见图1。蒸

发的气体强烈膨胀,把熔液飞溅成小液珠;其

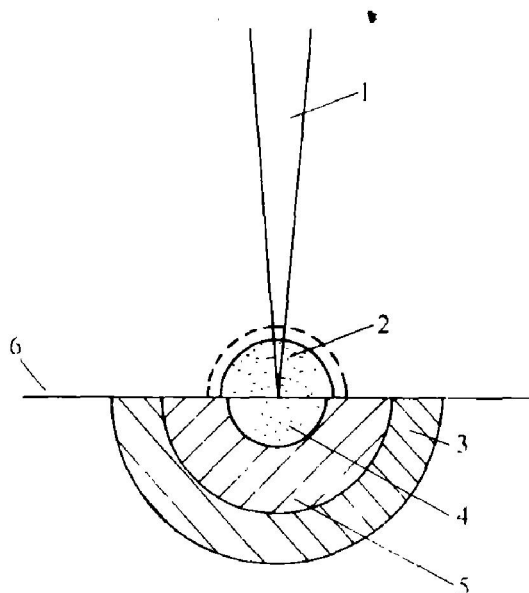


图1 激光束辐射样品表面反应过程示意图

1—激光束; 2—等离子体; 3—受热体积;

4—蒸发体积; 5—熔化体积; 6—试样表面

后被飞溅出来的液珠与气化的试样材料凝固成不同粒度的粉末。每一激光脉冲的能量用于加热($V_H\epsilon_H$)、熔化($V_M\epsilon_M$)及蒸发($V_V\epsilon_V$)三个过程,其中 V_H 、 V_M 和 V_V 分别表示试样被加热

^①于1992年2月19日收到

和熔化、蒸发的体积; ε_H 、 ε_M 、 ε_V 分别为各过程所需的能量密度。同时还需考虑形成等离子弧所需的能量 E_p 以及一部分光线散射、反射所失去的能量 E_R , 由此可建立下列能量等式:

$$E_0 = V_V \varepsilon_V + V_M \varepsilon_M + V_H \varepsilon_H + E_p + E_R \quad (1)$$

式中 $\varepsilon_M = \rho [(T_M - T_R)C_S + Q_S]$;

$$\varepsilon_V = \rho [(T_V - T_M)C_L + Q_V];$$

ρ 为材料密度; T_R 为室温; T_M 为熔点; T_V 为沸点; C_S 、 C_L 分别为固态和液态的热容量(比热); Q_S 和 Q_V 分别为熔化热及蒸发热; E_0 为一个脉冲的能量。在(1)式中, 只有 $V_V \varepsilon_V$ 和 $V_M \varepsilon_M$ 为制取粉末的有效能。

2 效率计算

为了确定激光制粉的效率, 需确定一个激光脉冲留在样品表面的辐射坑体积 V_0 (图2), 算出熔化这个体积试样所需的能量 $V_0 \varepsilon_M$ 以及蒸发它所需要的能量 $V_0 \varepsilon_V$ 。由于 V_V 及 V_M 实际上无法确定, 只好近似地用 V_0 代替。本文研究的 Al、Cu、Mo 三种金属的 $V_0 \varepsilon_M$ 及 $V_0 \varepsilon_V$ 等参数的计算值列于表1。表中 D_p 表示脉冲强度。用上述能量, 可分别定义熔化效率 η_M 及蒸发效率 η_V 。

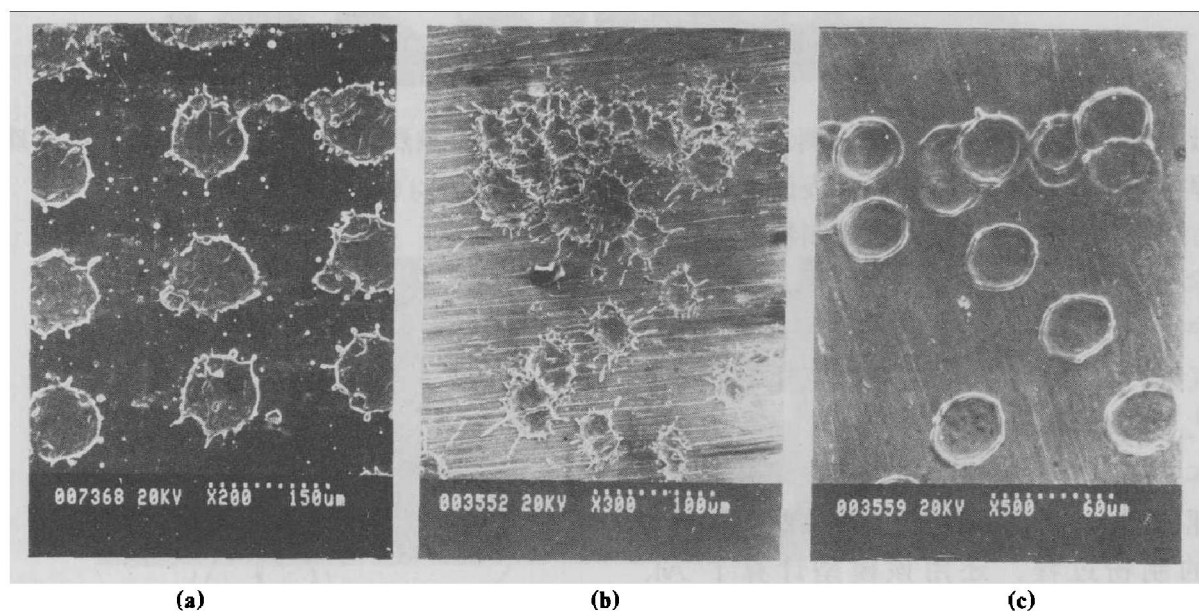


图2 激光脉冲辐照后留在样品表面的辐射坑

(a)—Al; (b)—Cu; (c)—Mo

表1 不同脉冲强度对 Al,Cu,Mo 辐照参数的影响

材料	$D / 10^3 \text{ kW} \cdot \text{mm}^{-2}$	$V_0 / 10^{-6} \text{ mm}^3$	$V_0 \varepsilon_M / \text{mJ}$	$\eta_M / \%$	$V_0 \varepsilon_V / \text{mJ}$	$\eta_V / \%$
Al	0.86	5.0	0.014	2.30	0.180	30
	1.43	17.0	0.046	4.6	0.630	63
	1.98	26.0	0.068	4.9	0.950	68
	2.50	40.0	0.109	6.2	1.480	84
Cu	0.86	1.42	0.009	1.5	0.078	13
	1.43	3.8	0.021	2.1	0.021	21
	1.98	7.1	0.039	2.8	0.039	27
	2.50	10.9	0.060	3.4	0.600	34
Mo	0.86	0.3	0.003	0.5	0.030	5.0
	1.43	1.2	0.012	1.2	0.090	9.0
	1.98	3.0	0.029	2.1	0.230	17
	2.50	6.9	0.069	3.9	0.510	29

$$\eta_M = V_0 \varepsilon_M / E_0 \quad (2)$$

$$\eta_V = V_0 \varepsilon_V / E_0 \quad (3)$$

如果全部能量都用于熔化或蒸发, 则效率为1. 用激光方法制粉的实际效率 η 则处于 η_M 和 η_V 之间。

表1示出: 当单一脉冲的能量为恒量即 $E_0 = 1.4 \text{ mJ}$ ($D_p = 1.98 \text{ kW/mm}^2$) 时, 3种试验材料的熔化效率 η_M 值变化于2.1%~4.9%之间, 蒸发效率 η_V 值在17%~68%之间。辐射坑体积 V_0 可用下面公式计算获得。

$$V_0 = \frac{1}{6} \pi h \left(\frac{3}{4} d^2 + h^2 \right) \quad (4)$$

式中 h 为坑深; d 为坑在试样表面的直径

增大单一脉冲能量 E_0 值, 则辐射强度 D_p 值也相应增加。由Al、Cu、Mo三种金属在不同 D_p 下的试验结果可见: η_M 和 η_V 都随 D_p 的增加而提高, 具体数据见表1。在辐射强度 D_p 相同的情况下, 辐射坑体积 V_0 及 η_M 、 η_V 均是Al最高, Cu居中, Mo最低。显然, 这与三种金属的熔点、沸点有关。此外, 图3所列的实验数据表明: 随着 D_p 提高, 不同金属的 η_M 、 η_V 的提高速率均不同。

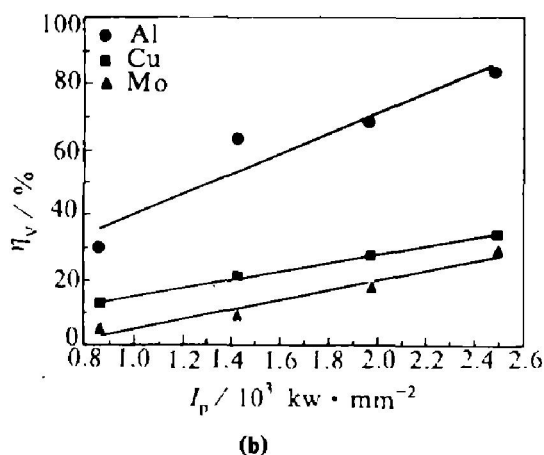
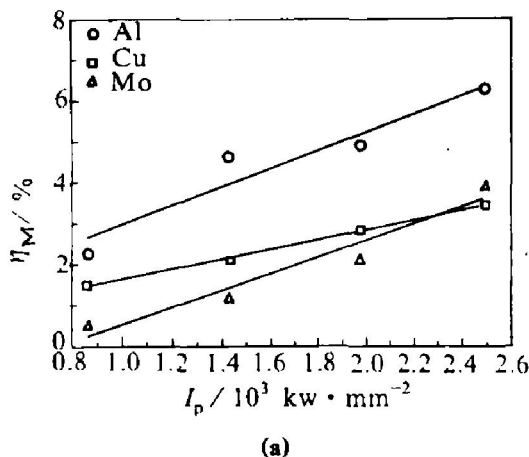


图3 不同激光脉冲强度对效率的影响

(a)—脉冲强度(I_p)—熔化效率(η_M)曲线; (b)—脉冲强度(I_p)—蒸发效率(η_V)曲线

参考文献

- 1 Matsunawa A *et al.* Trans. JWRI, 1985, 14(2), 197.
- 2 Xu, H. Diplomarbeit, TU-Clausthal, 1987.
- 3 徐惠彬等. 金属学报, 1990, (2), B 146.

- 4 徐惠彬等. 中国有色金属学报, 1992, 2(1), 50-52.
- 5 Weber H *et al.* Laser-Grundlagen und Anwendungen, In Physik Verlag Weinheim, 1972. 211-279.

(上接 P52)

参考文献

- 1 Otsuka K *et al.* Phys. Stat. Sol., 1971, A5, 457.
- 2 Kudoh Y *et al.* Acta Metall., 1985, 33, 2049.
- 3 Shapiro S M *et al.* Phys. Rev., 1984, B30, 4314.
- 4 Salamon M B, *et al.* Phys. Rev., 1985, B31, 7306.

- 5 Moine P *et al.* Acta Metall., 1982, 30, 109.
- 6 Michal G M *et al.* Acta Metall., 1982, 30, 125.
- 7 Goo E, Sinclair R. Acta Metall., 1985, 33, 1717.
- 8 陈丽君, 周勤友, 洪卫卿. 金属学报, 1983, A19, 385.
- 9 Miyazaki S *et al.* Phil. Mag., 1984, A50, 393.
- 10 Miyazaki S *et al.* Metall. Trans., 1986, A17, 53.