

文章编号: 1001-3806(2003)06-0503-03

## 粉末冶金材料激光焊接的气孔现象研究 \*

周金鑫 唐霞辉 周 毅 何艳艳 朱国富

(华中科技大学激光技术与工程研究院, 武汉, 430074)

**摘要:** 焊接气孔是粉末冶金材料激光焊接的主要缺陷。简要分析了粉末冶金材料激光焊接中气孔的产生机理, 着重研究了焊接速度与活性气体对气孔形成的影响关系。结果表明, 在一定的激光功率下, 提高焊接速度可减少金属蒸气的形成, 从而降低气孔数; 通过混合  $N_2$ 、 $O_2$  作活性气体可改善熔化金属流动, 防止气孔产生。

**关键词:** 激光焊接; 粉末冶金材料; 活性气体; 气孔缺陷

**中图分类号:** TG456.7 **文献标识码:** A

### Investigation of the porosity defect phenomenon during laser welding of powder metal material

Zhou Jinxin, Tang Xiahui, Zhou Yi, He Yanyan, Zhu Guofu

(Institute of Laser Technology &amp; Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** Welding porosity is the main defect during laser welding. In this paper we briefly analyze the mechanism of engendering pores in powder metal material (PM), and study the influence of welding speed and active gas for welding porosity defect. We find that the pore number will be reduced through depressing metallic vapour if welding speed is increased with constant laser power. Using  $N_2$ ,  $O_2$  as active gas, the fluidity of the melting metal can be improved, so blowholes may be avoided.

**Key words:** laser welding; powder metal material; active gas; porosity defect

## 引言

粉末冶金材料深熔激光焊接的最大缺陷是气孔的产生, 气孔也是激光焊接过程中最常出现的缺陷, 它是深熔焊接的一个直接结果。由于激光焊接焊缝深且窄, 冷却速度又快, 焊接过程中产生的气体不一定有足够的时间从熔化区中逸出。对于非穿透焊缝, 这个问题就比较严重, 较易在焊缝的根部出现分散的气孔, 这种情况在电子束焊接中也常出现<sup>[1]</sup>, 但是由于激光焊接的冷却速度快, 如果出现气孔, 其直径也比传统熔焊中的气孔直径小。

气孔产生的原因<sup>[2,3]</sup>一方面由于粉末冶金材料受到烧结和压制条件的限制, 不可能达到熔炼材料一样的致密性; 另一方面, 由于光致等离子体控制过程中, 辅助气体动压力对熔池流动以及小孔内气体的逸出产生影响。焊接气孔的防止和消除也是解决厚板粉末冶金材料激光焊接的关键技术之一。

本文中简要分析了粉末冶金材料激光焊接中气孔的产生机理, 并着重研究了激光焊接速度与活性气体对气孔形成的影响关系。

## 1 气孔产生机理分析

粉末在烧结过程中, 颗粒粘结面的形成, 通常不会导致烧结体的收缩, 因而致密化并不标志烧结过程的开始, 而只有烧结体的强度增大才是烧结发生的明显标志。随着烧结颈长大, 总孔隙体积减少, 颗粒间距离缩短, 烧结体的致密化过程才真正开始。

在粉末的等温烧结过程中, 烧结初期, 颗粒间的原始接触点或面转变成晶体结合, 即通过成核、结晶长大等原子过程形成烧结颈, 在这一阶段中, 颗粒内的晶粒不发生变化, 颗粒外形也基本未变, 整个烧结体不发生收缩, 密度增加也极微, 但是烧结体的强度和导电性由于颗粒结合面增大而有明显增加; 随着烧结时间延长, 原子间颗粒结合面的大量迁移使烧结颈扩大, 颗粒间距离缩小, 形成连续的孔隙网络; 同时由于晶粒长大, 晶界越过孔隙移动, 而被晶界扫过的地方, 孔隙大量消失, 烧结体收缩, 密度和强度增加是这个阶段的主要特征; 烧结后期, 闭孔隙球化

\* 国家科技部“十五”攻关项目资助。

作者简介: 周金鑫, 男, 1979 年 5 月出生。硕士研究生。主要从事激光焊接粉末冶金材料及设备方面的研究。

收稿日期: 2003-03-03; 收到修改稿日期: 2003-06-16

和缩小。图 1 表示球形颗粒的烧结模型示意图。

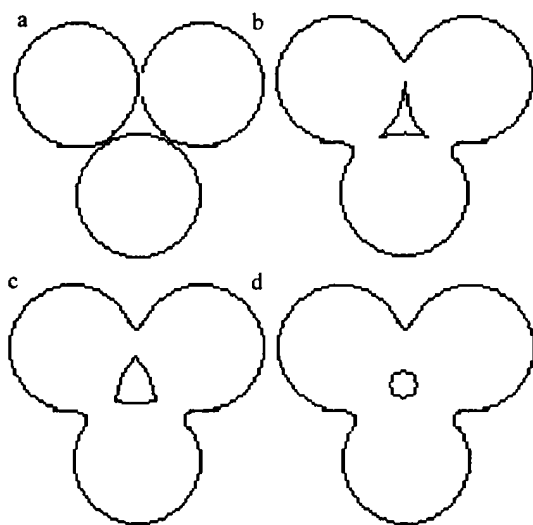


Fig. 1 Sintering model of spheroidal grain

a—original contact of grain before sintering b—growth of neck in the forefront of sinter c, d—glomeration of hole in the rear part of sinter

当烧结体密度达到 90 % 以后,多数孔隙被完全分隔,闭孔数量大为增加,孔隙形状趋近球形且不缩小。在这一阶段,整个烧结体仍可缓慢收缩,但主要是靠小孔的消失和孔隙数量的减少来实现。这一阶段可以延续很长时间,但是仍残留少量的隔离小孔隙不能消除,成为残留孔洞。另外,在烧结过程中,还将出现粉末表面气体或水分的挥发,氧化物的还原和离解,颗粒内应力的消除,金属的回复和再结晶

以及聚晶长大等<sup>[4,5]</sup>。

在粉末冶金材料的激光焊接过程中,充满金属蒸气 and 气体的小孔不允许熔池中金属流动造成不规则的小孔形状,这种不规则的形状快速凝固过程中,气孔产生。由于基体金属中氧和氮含量,从熔池中蒸发的金属蒸气,或由于熔池不稳定,保护气体陷入熔池,这样就会由金属蒸气导致产生气孔,或是具有小孔的熔池中不稳定金属流动使气体陷入金属中,凝固后留存下来也形成气孔。Arata 等人研究了碳钢激光焊接中气孔问题<sup>[6]</sup>,发现在穿透焊时无气孔,但在部分穿透焊的焊缝中有小于 0.4mm 的气孔,并且不锈钢及碳钢薄片表面扫描焊缝的凝固型式,焊根附近的凝固线弯曲,显示一个不稳定的金属流动。另有研究铁粉激光焊接气孔内部的断面形貌,发现气孔形状不均匀,据推测是由于快速凝固所致,在气孔内部有一个凝固下层结构似乎是凝固边界面,这种下层结构类似于缩孔的内部结构。

## 2 实验条件

实验采用德国进口 LSM240 全自动激光焊接机,激光发生器为 Rofin-Sinar 公司 DC025 型扩散冷却 SLAB 激光器。最大功率 2500W,激光模式为基模,方形光斑,  $w_f = 0.2\text{mm}$ ,反射聚焦焦距 150mm。

采用可焊性较好的 Co 粉末烧结体焊接试样,其烧结参数如表 1。

Table 1 Technical parameters of PM sintering

component	sinter temperature/	sinter press/ (MPa $\cdot \text{min}^{-2}$ )	density/ (g $\cdot \text{cm}^{-3}$ )	specific resistivity/ ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	shielding atmosphere
100 % FCo	820	0.68	7.9	$8.6 \times 10^{-6}$	reducibility

焊后用日本 Akashi 公司 M-400-H1 显微镜观察焊缝。

## 3 焊接气孔的防止和消除实验研究

粉末冶金材料激光焊接时,由于材料本身存在一定的孔隙,加之焊接过程中小孔内金属蒸气和外界气体使金属不规则流动会形成气孔,笔者主要从以下几个方面研究了在激光焊接过程中防止和消除焊接气孔的方法。

### 3.1 改变激光焊接速度

激光功率和焊接速度选择对气孔的影响很大,通过降低激光功率提高焊接速度减少金属蒸气的形成,气孔数和激光功率的关系表明,随着激光功率增加,气孔数增加,据推测,功率增加,熔化金属被加热到很高温度,产生金属蒸气,熔池中液体金属变得不稳定产生湍流。

图 2 所示为激光功率  $P = 1.2\text{kW}$  时,Co 粉末烧结体焊接试样横截面气孔数和焊速的关系,随焊速

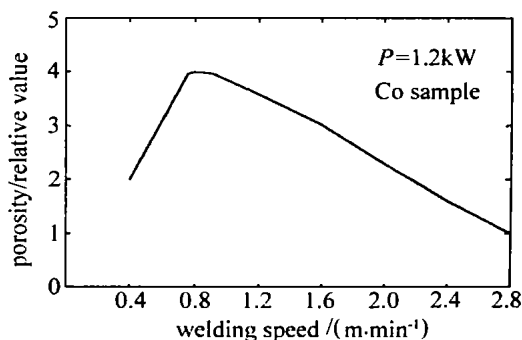


Fig. 2 Influence of welding speed with pore number

从  $v = 0.3\text{m/min}$  逐渐增加,气孔数也增加;当焊速达到  $0.8\text{m/min}$  时气孔数达到最大临界值;而当焊速继续加大,气孔数相反会减少,达到  $3.0\text{m/min}$  的焊速时,气孔几乎消失。Co 粉试样典型的焊缝形貌见图 3,分析认为,高速焊接时,小孔沿焊接方向加长,

小孔开口直径增加,金属蒸气容易逸出,从而降低了气孔数。



Fig. 3 Shape of the cobalt welding seam on the minimum number of pore

### 3.2 活性气体对气孔形成的影响

为了稳定熔池流动,保护气体中加活性气体  $N_2$  和  $O_2$  以减小熔化金属的表面张力,保护气体 Ar 气中混合  $N_2$  或  $O_2$ ,总流量 20L/min,从混合保护气体对熔深及气孔的影响结果来看,与纯 Ar 气保护气体相比,混合熔深也略有减小,但当  $N_2$  比例达 10%, $O_2$  达 5%时,气孔数几乎降为 0。

图 4 说明了只用  $N_2$  做主吹保护气体时,Co 粉焊缝横截面的凝固型式,凝固线较光滑,比纯 Ar 气作保护气体时的凝固线更平滑。可以设想含有  $N_2$ , $O_2$  的保护气体,表面张力减小,熔化金属流动稳定,保证熔化金属平稳地填进小孔之中,故通过混合  $N_2$ , $O_2$  作保护气体改善熔化金属流动,可防止气孔。



Fig. 4 Cobalt welding seam using  $N_2$  as nozzle gas

为了弄清活性气体减少气孔的机理,Knopp 采

用 He 和 He, $N_2$  混合气体做保护气体<sup>[7]</sup>,通过石英晶体镜片,进行熔池行为观察,发现 He 保护时,熔池行为、小孔的低部分扩展后向流动,熔化金属没有平滑地流进遗留在此高速凝固时形成气孔。同时显示了  $N_2$  气保护下熔化金属行为,小孔后部熔化金属流动稳定,小孔具有较大的开放直径,所以,内部气体和金属蒸气容易向上逸出,防止了气孔的产生。

## 4 结 论

(1) Co 粉末烧结体激光焊接气孔数随焊速的变化有一临界点,达临界点后随焊接速度增加气孔数减小;在高速焊接时,小孔沿焊接方向加长,小孔开口直径增加,金属蒸气容易逸出。

(2) 激光功率和焊接速度选择对气孔的影响很大,在一定的激光功率下适当提高焊接速度可以减少金属蒸气的形成,从而降低气孔数。

(3) 随着激光功率增加,熔化金属被加热到很高温度,产生强烈金属蒸气,熔池中液体金属变得不稳定,产生湍流,气孔数增加,为了稳定熔池流动,保护气体中加活性气体  $N_2$  和  $O_2$  可以减小熔化金属的表面张力,如果在保护气体 Ar 气中混合  $N_2$  或  $O_2$ ,当  $N_2$  比例达 10%, $O_2$  达 5%时,气孔数几乎降为 0。

## 参 考 文 献

- [1] Welz W, Yang G W. International Conference on Quality and Reliability in Welding, 1984, D4:16. 1 ~ 16. 6.
- [2] 张文钺. 金属熔焊原理及工艺. 北京:机械工业出版社,1987: 160 ~ 173.
- [3] 夏锦华,殷 声,叶宏煜 *et al.* 人工晶体学报,1999,28(1):79 ~ 83.
- [4] He A Zh, Ni X W, Lu J. SPIE, 1991, A1554:547 ~ 552.
- [5] Huntington C A, Edgar T W. Welding Research Supplement, 1983 (4):11 ~ 15.
- [6] Arata Y, Oda T. Transaction of JWRI, 1984, 13(2):55 ~ 61.
- [7] Knopp W K. Int J Powder Metall, 1975, 11(1):63 ~ 65.