

等离子喷枪各种送粉方式模拟比较

黄明浩, 董晓强

(沈阳工业大学 材料科学与工程学院, 沈阳 110023)

摘 要:介绍了等离子喷枪的 3 种送粉方式, 并利用模拟软件分别对 3 种送粉方式进行模拟试验对比, 通过模拟试验分析总结出 3 种送粉方式的特点: 外送粉对材料和能源利用率低; 内送粉可以节约材料和能源, 达到更好的喷涂效果; 中心送粉理论效果很好, 但实际应用较难。

关键词:等离子喷涂; 沉积率; 热效率; 模拟试验; 送粉

中图分类号: TG174.442

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)01-0040-03

The Simulation and Comparison of Powder Feeding Systems in Plasma Spraying Gun

HUANG Ming-hao, DONG Xiao-qiang

(School of Material Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023)

Abstract: This paper describes three powder feeding systems in plasma spraying gun and simulates them respectively. Through comparison and analysis it can be summarized that the utilization ratio of materials and energy is low for feeding from outside, it becomes better for the feeding from inside, the central feeding system is the best in theory, but it is difficult to use in practice.

Key words: plasma spraying; deposition ratio; heat efficiency; simulative experiment; powder feeding

0 引 言

等离子喷涂是以等离子焰流为热源, 将粉末涂层材料加热熔化并从喷涂枪喷出后, 在高速气流作用下喷散成雾状细粒, 喷射到工件表面, 被撞扁的颗粒就镶嵌在工件的表面, 形成等离子喷涂层^[1]。

1939 年由 Reinicke 完成了最初的等离子涂层。1957 年美国联合碳化物公司 (Union Carbide) 开发出了等离子喷涂的通用技术。1981 年我国开发成功了 80 kW 等离子喷涂技术^[2]。随着材料、计算机的快速发展, 等离子喷涂也得到飞速的发展, 其在热喷涂的份额由 1960 年的 15%, 到 1980 年的 55%, 再到 2000 年的 48%^[3]。生产规模的扩大和高新科技的应用对等离子喷枪提出了更高的要求。最初的手动外送粉喷枪只能完成对工件表面简单材料的喷涂, 喷涂的材料受到限制, 喷涂速度很慢, 无法形成规模, 涂层结合强度和表面粗糙度较低, 热效率低下, 飞粉率高; 现在的自动控制外送粉喷枪, 工艺比较成熟, 可以完成大部分工件的喷涂, 可以喷涂大部分材料, 生产速度比较快, 涂层的结合强度和表面的粗糙度也达到一定水平, 可它仍无法解决

热效率低下, 沉积率低的问题。比较理想的送粉方式是中心送粉, 可是电极难于设计, 虽然有人提出过环形电极的设想, 却无法保证电极的稳定性; 比较成功的是加拿大 Mettech 公司开发的三阴极轴向送粉等离子喷涂系统可是枪体结构复杂, 同时使用 3 台电源, 对控制水平要求要比单电源高。3 个电极的周向对称性不是很高, 如果增加电极更增加了设计的难度。同时, 三电极的中心送粉, 冷的粉末会改变电极的状态, 造成电极的不稳定。而介于外送粉和中心送粉之间的内送粉却可以达到较好的喷涂效果和比较容易实现的结构设计。

如今, 等离子喷涂技术的发展主要集中在喷涂枪射流速度的提高和等离子射流中送粉方式的改良两个方面^[4]。文中主要从送粉方式的角度, 用模拟试验的方法来检验各种送粉方式的特点。

1 枪体工作参数的确定

工作气选择为 H₂-Ar75% (体积分数), 喷嘴直径为 7 mm, 气体流速 60 L/min, 喷涂距离是 10 cm, 环境气氛为空气, 上游流动气体压力为 100 kPa, 起弧后轴线方向最高温度为 12 000 K。喷枪的功率为 40 kW, 效率为 60%, 热功率为 24 kW。经过计算喷嘴出口参数如下: 在直径 7 mm 喷嘴内, 初始送

收稿日期: 2005-12-01; 修回日期: 2006-01-16

作者简介: 黄明浩(1974-), 男(汉), 辽宁沈阳人, 硕士生。

入气体在 300 K 时, 平均速率是 25.98 m/s, 在喷嘴出口处 (不考虑动力学能量修正) 平均流速是 1 448 m/s; 喷嘴出口处最大流速是 1 418.9 m/s; 喷嘴出口处焓温是 10 508 K, 喷嘴出口处最大温度是 11 841 K。选择送粉管直径为 2 mm, 气体流量为 3 L/min, 考虑到粒子在送粉管出口处方向的随机性, 粒子出送粉管锥顶角选为 40 度。

2 粉末的选择和设定

粉末选择为 Al_2O_3 , 其固体比热为 1363 J/kg·K, 质量密度为 3 900 kg/m³, 固态热导率 λ 为 5 J/m·s·K, 熔点为 2 327 K, 熔化潜热为 1 070 kJ/kg, 初始温度为室温 300 K。图 1 是常用商业粉末随直径增大所占百分比的变化。粉末的个数选择为 20 000 个。送粉口粉末初始速度大小均相同, 粒子的速度大小均为 15.92 m/s。

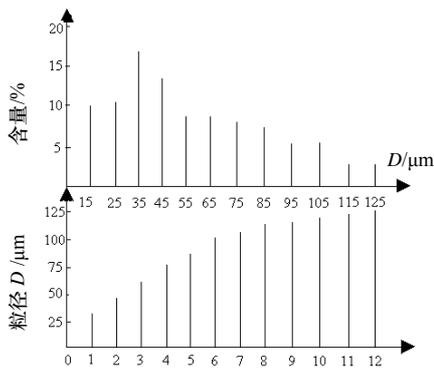


图 1 粉末粒度百分比分布和粒度分布

Fig.1 Distribution percentage of particle size

3 模拟试验

3.1 外送粉的模拟

送粉口位置为 $x: 2.5 \text{ mm}$, $y: -8 \text{ mm}$ 。普通的外送粉大多是垂直送粉, 这里选择与轴线成 75 度角送粉。图 2 为外送粉模拟粒子轨迹图, 图中横坐标为焰流距离出口的距离, 纵坐标为焰流距离中心线距离。

模拟结果显示, 软件处理了 20 000 个粒子, 飞溅出燃流的粒子占 43.95%, 沉积率为 56.05%, 沉积的涂层厚度可达 1.00 mm。在粒子与机体接触瞬间, 单个粒子温度最高为 2672 K, 热焓值最大为 1.71 E-4 J/kg, 最小值为 4.42 E-6 J/kg, 这样的粒子 $N = 1 799$ 个。粉末的熔化率为 10.35%。假设冷却水带走的热量相同, 而外送粉大量粒子带走了热量,

却没有成为涂层导致外送粉的有效热功率也不高。

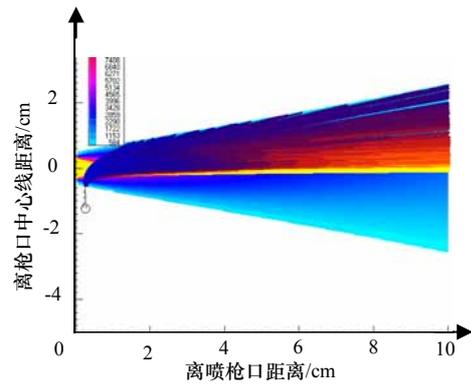


图 2 外送粉模拟粒子轨迹图

Fig 2 Track of powders feeding from outside

外送粉喷枪粉末飞溅率高, 沉积率低, 浪费材料, 不适合喷涂贵重材料和稀有材料; 从单个粒子温度和热焓值可以看出, 外送粉喷枪的热效率也不高。这是由于外送粉方式下, 粉末粒子被送入燃流高温区的数量少, 所以外送粉喷枪的热效率低下。外送粉低的热效率导致很难喷涂高熔点材料, 比如陶瓷; 从熔化率来看, 没有飞散的粉末也只有少部分熔化, 成为牢固的涂层, 大部分只是粘着在工件上, 涂层的强度和硬度很难保证。

3.2 内送粉的模拟

内送粉就是在喷嘴内部将喷涂粉末垂直的或以某一角度吹入等离子炬中, 这种送粉方式克服了外送粉的缺点。内送粉虽然也有一定送粉角度, 但粉末在喷嘴内的相互碰撞以及和喷嘴壁的碰撞, 使得粉末在喷嘴出口接近平行于喷嘴, 取为 30 度。送粉位置为粉末出口位置 $X: -0.25 \text{ mm}$, $Y: 0 \text{ mm}$ 。图 3 为内送粉模拟粒子轨迹图。

模拟结果显示, 软件处理 20 000 个粒子, 飞溅出燃流的粒子占 90.22%, 沉积率为 90.22%, 沉积的涂层厚度可达 1.54 mm。在粒子与机体接触瞬间, 单个粒子温度最高为 3 246 K, 热焓值最大为 3.30 E-4 J/kg, 最小值为 5.9 E-6 J/kg, 这样的粒子 $N = 1 958$ 个。粉末的熔化率 18.71%。内送粉高的沉积率, 使喷枪的大部分热量用于熔化粉末, 大大提高了喷枪的热效率。

内送粉粉末在喷枪中飞行时间长, 所以粉末加热时间长, 速度增加的快, 涂层质量好; 粉末受热变软充分, 所以粉末的沉积率高; 同时内送粉的热效率很高, 可以节省能源, 适合于我国未来的大面积推广。

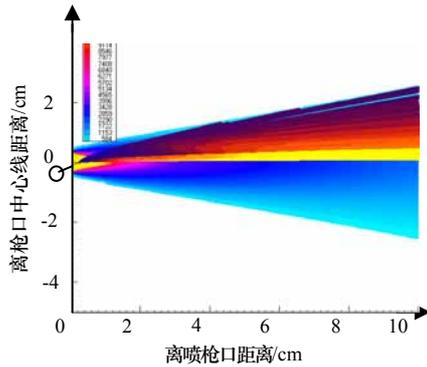


图3 内送粉模拟粒子轨迹图

Fig.3 Track of powders feeding from inside

3.3 中心送粉的模拟

中心送粉就是把粉末从枪体的中心轴线上送入枪内,这是理论上理想的送粉位置,而电极的理想位置也是位于中心轴线上,送粉位置和电极位置产生矛盾,所以在实际中,人们发明了环形电极的中心送粉和三阴极方式送粉。由于是内送粉,角度为0度。送粉位置为 $x:0\text{ mm}$, $y:0\text{ mm}$ 。图4中心送粉模拟粒子轨迹图。

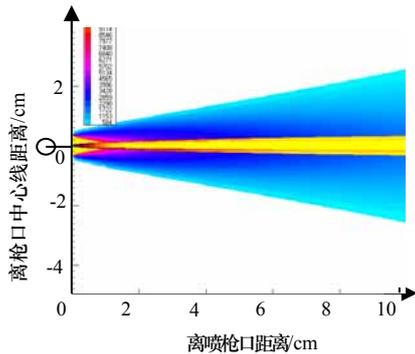


图4 中心送粉模拟粒子轨迹图

Fig.4 Track of powders for central feeding

模拟结果显示,软件处理 20 000 个粒子,飞溅出燃流的粒子占 0%,沉积率为 100%,沉积的涂层厚度可达 1.98 mm。在粒子与机体接触瞬间,单个粒子温度最高为 3 801 K,热焓值最大为 $5.74 \times 10^{-4} \text{ J/kg}$,最小值为 $6.15 \times 10^{-6} \text{ J/kg}$,这样的粒子 $N=2\ 000$ 个。粉末的熔化率 26.04%。中心送粉飞粉率低,热效率高,是理想的送粉方式,但实现起来比较困难。

中心送粉在理论上是最理想的送粉方式。它的粉末沉积率很高,材料可以被充分的利用,浪费很少;同时他的热效率也相当高,粉末被加热的速度很快,速度也提高的很快,节省能源;而且粉末的熔化率也是最高的,可以更好的提供涂层的质量。3种送粉方式对比见表1。

表1 3种送粉方式对比

Table 1 Comparison of three feeding systems	外送粉	内送粉	中心送粉
沉积率/%	56.05	90.22	100
沉积厚度/mm	1.00	1.54	1.98
单个粒子最高温度/K	2672	3246	3801
单个粒子最大焓值/(J/kg)	1.71×10^{-4}	3.3×10^{-4}	6.15×10^{-6}
单个粒子最小焓值/(J/kg)	4.42×10^{-6}	5.9×10^{-6}	6.15×10^{-6}
熔化率/%	10.35	18.71	26.04

4 结论

对比以上3种送粉方式:①外送粉结构简单,方法灵活,是比较传统、成熟的喷涂方法,这种方式喷枪功率大,热效率低,粉末沉积率低,适合于喷涂便宜的常规合金或熔点不很高的材料;②内送粉的粉末直接进入焰流高温区,喷枪热效率高,粉末沉积率高,涂层质量好于外送粉,该方式既可以喷涂普通工业涂层,更适合于喷涂高熔点或贵重材料,具有较高要求的工业涂层;③中心送粉的粉末在枪中加热时间长,粒子速度快,涂层质量好,热效率非常高,大大节省能源,极低的飞粉率,更适合喷涂贵重材料,但对于低熔点或很细的粉末材料容易气化粘着于喷嘴,堵塞喷嘴,而且该种方式实现还有一定的困难。

随着科技的进步,能源的紧张,对涂层性能要求的提高,发展一种新型的内送粉方式的喷枪,正是适应了时代的需求。

参考文献:

- [1] 姜焕中. 电弧焊与电渣焊 [M]. 北京:机械工业出版社, 1992, 241-242.
- [2] 李德元, 董晓强. 等离子技术在材料加工领域中的应用 [M]. 沈阳:工业大学出版社, 2004, 245-247.
- [3] Thorpe M L. Thermal Spray Process Overview. Advanced materials&processes, 1993, 3.
- [4] 徐滨士, 李长久, 刘世参, 等. 表面工程与热喷涂技术及其发展 [J]. 中国表面工程, 1998, 11(1):3-9.

作者地址:沈阳市铁西区兴华南街 58 号 110023

沈阳工业大学材料科学与工程学院

Tel: (024) 25695452; 13322498365

E-mail: yunchuan19790918@163.com

