

文章编号 1000-5013(2006)02-0180-04

熔射形成的陶瓷件制造技术

赵紫玉 方建成

(华侨大学机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要 从等离子熔射快速制造陶瓷件工艺过程入手,研究等离子射流温度场分布、送粉方式、粉末飞行过程中射流与粉末能量和动量传递、粉末的温度特性和速度特性对成形质量的影响;分析沉积过程中所收集粉末的熔融状态、粒子扁平化形态对熔射层微观结构的影响.研究表明,通过优化工艺参数,改善射流温度场分布、粉末飞行特性,可有效地提高成形质量.

关键词 陶瓷件, 等离子熔射, 温度场, 飞行特性, 成形质量

中图分类号 TB 321; TG 664

文献标识码 A

陶瓷件具有耐磨损、抗腐蚀及热障等显著特点,但陶瓷材料熔点高,难于有效成形,其成形和制造工艺一直是国内外学者关注的热点.传统陶瓷成形工艺一般采用粉末冶金法,其工艺过程复杂,成本较高,并且在烧结过程中粉末体积发生明显变化,影响成形精度. RP 技术的发展,使选择性激光烧结(SLS)在直接成形陶瓷零件方面显示了一定优势.但是,由于存在粉末球形化问题,使粉末间难以结合,目前该技术还仅限于熔点差别很大的金属和陶瓷混合粉末成形^[1]. 等离子射流由于高温、高热焓和高速度的特性使其在陶瓷件制作方面显示了优势^[2,3],但成形过程中影响质量的因素多^[4],本文对其中的关键因素进行分析和实验研究,保证陶瓷件的成形质量.

1 陶瓷件熔射快速制造实验

根据表1的熔射工艺参数进行熔射成形实验,得到的陶瓷零件如图1所示.表1中, I 为电流, Q_{Ar}

表 1 陶瓷件熔射工艺参数

材料	I/A	$Q_{Ar}/L \cdot \min^{-1}$	$Q_{N_2}/L \cdot \min^{-1}$	$Q_{H_2}/L \cdot \min^{-1}$	$Q/L \cdot \min^{-1}$	$F_c/g \cdot \min^{-1}$	s/mm
Al_2O_3	355	25	30	8	40	8	120
ZrO_2	380	30	40	8	40	8	120
WC-12%Co	320	30	35	0	40	8	120

为 Ar 流量, Q_{N_2} 为 N_2 流量, Q_{H_2} 为 H_2 流量, Q 为粉气流量, F_c 为送粉率, S 为熔射距离.壁厚 0.5 mm 的 WC-12%Co 零件是在陶瓷熔射模表面成形得到的.为防止脱模时制件破裂,选用铋锡合金背衬补强,脱模后将合金熔除得到零件,采用图 2 的工艺路线

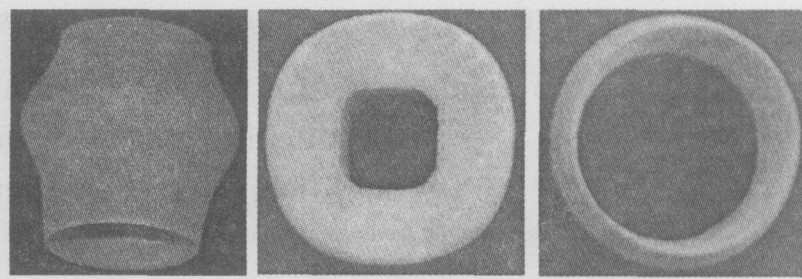


图 1 熔射成形陶瓷零件

①; Al_2O_3 和 ZrO_2 陶瓷件是以锌为熔射模材料,成形后直接将锌加热去除得到的,采用图 2 的工艺路

收稿日期 2005-09-27

作者简介 赵紫玉(1968-),男,讲师,主要从事表面工程及模具快速制造技术的研究. E-mail:zyzhao@hqu.edu.cn

基金项目 国家自然科学基金资助项目(50175035,50375024);福建省自然科学基金资助项目(E0210024);福建省高新技术研究基金资助项目(2002H044)

线②. 熔射模材料的选择主要是根据脱模方式来考虑的, 由于熔融状态的陶瓷粉末温度较高, 耐热性要求也是熔射模制作的关键. 陶瓷件的精度和表面质量取决于熔射模的质量, 熔射模表面处理的主要目的是提高陶瓷件质量, 保证陶瓷件与熔射模表面的界面结合状态和复形精度. 熔射成形是陶瓷件快速制造的主要工序, 涉及的因素也较多. 考虑到成本, 背衬工序一般选用树脂或者低熔点金属浇铸补强. 根据熔射模材料及一定工艺条件, 可以采用破坏性脱模、非破坏性脱模或复合脱模方法. 去除背衬一般选用溶化法或熔融法. 研究表明, 合理控制工艺参数, 改善射流温度场分布、粉末飞行特性和粒子沉积条件, 可以得到致密、结合强度高的陶瓷零件. 对于陶瓷粉末特别是氧化物陶瓷, 需要提高等离子体的热焓, 以利于粉末的充分熔融; 而对于金属/陶瓷粉末, 在熔射过程中使金属粉末熔融, 但不过烧, 陶瓷粉末处于熔融或半熔融状态, 才能进一步保证涂层预先设计金属含量的要求以及金属的粘结作用, 使陶瓷件具有良好的韧性和致密度. 因此, 送粉方式的合理选择和设计在金属/陶瓷粉末中的熔射是非常重要的.

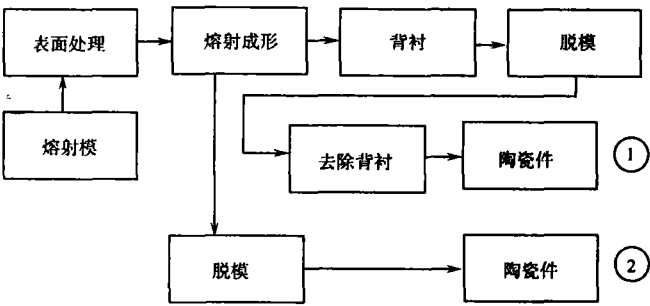


图 2 陶瓷件熔射成形工艺流程

2 影响陶瓷件质量因素分析

2.1 射流温度场分布

图 3 为等离子射流温度场分布图, 实验参数如表 2 所示. 从图像处理结果看, 1, 2 两组实验结果表明输入电流增大, 射流变长, 高温区域(图像中间白色部分)增大. 1, 3 两组实验结果表明, 引入少量的 H_2 就会大大影响等离子射流的温度分布, 使得射流径向温度梯度变小. 轴向温度梯度变大, 并且高温区面积变大变长, 从而证明引入氢气是提高等离子射流温度最有效的方法. 3, 4 两组实验进一步增加氢气流量, 过饱和区域更大, 射流温度急剧增大. 因此, 对于高熔点陶瓷材料, 需要提高射流的温度, 尤其是氢气的引入有助于延长陶瓷粉末在高温区的飞行时间, 促进粉末与射流动量和能量的充分交换, 提高陶瓷件的成形质量.

表 2 等离子射流采集实验参数

编号	$Q_{Ar}/L \cdot \min^{-1}$	$Q_{N_2}/L \cdot \min^{-1}$	$Q_{H_2}/L \cdot \min^{-1}$	I/A
1	15	40	0	245
2	15	40	0	315
3	15	40	6	245
4	15	40	12	245

2.2 送粉方式

如图 4 所示, 陶瓷件快速制造过程中, 陶瓷粉末的输送方式分为内送粉和外送粉. 外送粉方式结构

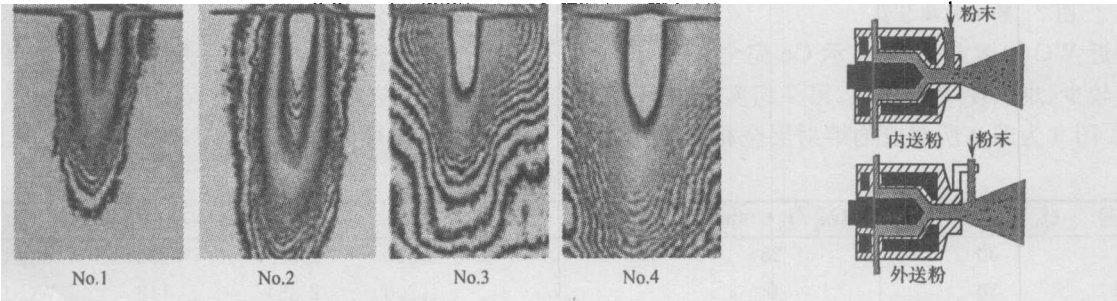


图 3 等离子射流图像处理结果

图 4 送粉方式

简单容易实现, 但陶瓷粉末易受紊流射流的搅动, 在飞行过程中难以进入射流的高温区, 直接影响了与射流动量和能量的充分交换. 另一方面, 对金属/陶瓷粉末则极易在射流中产生分离而沉积在不同位置, 因此影响了成形质量. 内送粉时粉末在等离子体射流中加热较充分和均匀, 但喷嘴结构复杂一些, 使用不当容易堵塞喷嘴, 引起喷嘴烧损. 实验表明, 对于陶瓷粉末采用内送粉方式的熔射成形件质量比外送粉的要好, 而对于金属/陶瓷复合粉末则采用具有内外送粉结构集成的喷枪.

2.3 粉末飞行特性

除了射流温度场分布和送粉方式影响粉末的熔融状态外,粉末在射流中飞行特性是实现粉末与射流动量和能量传递,影响成形质量的重要因素.根据所建立的等离子射流和粉末相互作用的动量和能量传递方程^[5],模拟计算了 WC-12%Co 粉末在射流中的速度(V)特性和温度(θ)特性,如图 5,6 所示.研

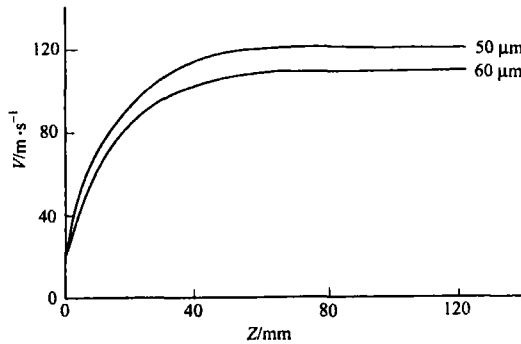


图 5 粉末速度特性

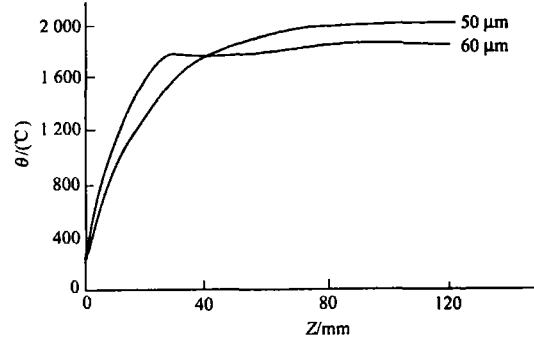
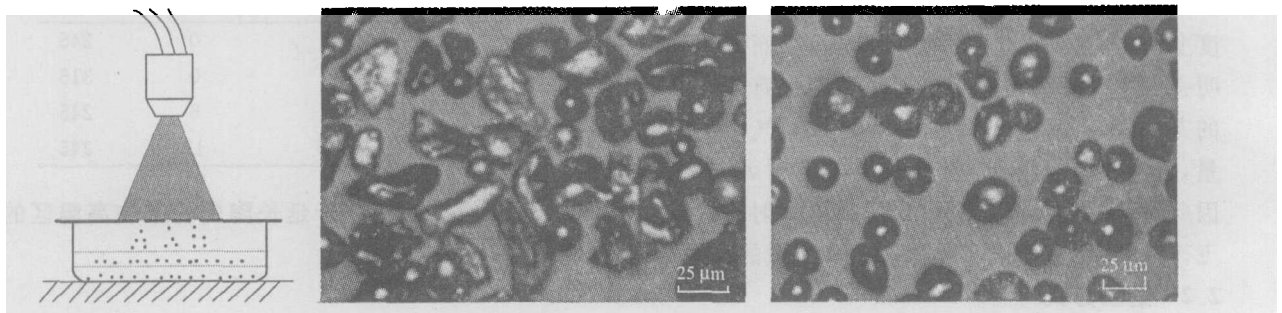


图 6 粉末温度特性

究表明,由于粒径的差异,粉末到达熔射模时的速度是不同的,粒径越小,速度越大,对成形质量越有利;但粒径太小,其流动性差,易受到射流搅动的干扰,使得轴向速度波动较大.同时,粒径不同达到熔射模的温度也不同,粒径越大温度越低.小粒径有利于提高成形质量,但如果粒径太小,则会严重烧损,甚至汽化.模拟结果可以预测粉末飞行特性,对粉末与射流的动量传递与能量交换的研究有着重要的意义.

2.4 熔射沉积过程分析

对熔射沉积过程粉末的收集,可以有效地分析陶瓷粉末在射流中实现能量传递的程度;而对粉末熔融状态、扁平化形态的研究,有助于分析陶瓷粉末堆积生长过程中的微观结构,以便进一步实现对粉末飞行状态的反馈控制,优化工艺参数,提高成形质量.图 7 为飞行粉末收集装置,图 8(a),(b)是分别采用第 1,2 组参数所收集的粉末形态照片(实验参数见表 3).第 1 组参数检测的粉末温度超过 Co 的熔点



(a) 第 1 组

(b) 第 2 组

图 7 粉末收集装置

图 8 WC-12%Co 粉末形态

接近 WC 的熔点,结果显示 Co 完全熔融;而 WC 处于半熔融和未熔化状态,说明粉末在射流中获得能量较少,难以使 WC 熔化.第 2 组实验表明,射流与粉末实现了能量的耦合,使 WC-12%Co 粉末充分熔化.图 9 为图 8 所对应的熔射层金相照片,其中图 9(a)中含有未熔的大颗粒 WC,这在一定程度上提高

表 3 实验参数及检测结果

编号	$Q_{Ar}/L \cdot \min^{-1}$	$Q_{N_2}/L \cdot \min^{-1}$	$Q_{H_2}/L \cdot \min^{-1}$	I/A	$\theta/(^{\circ}C)$	$V/m \cdot s^{-1}$	材料
1	30	25	0	300	2 695	106	WC-12%Co
2	30	0	7	300	2 854	113	WC-12%Co

了熔射层整体硬度,但在颗粒的周围易产生孔隙,影响熔射层结合强度.图 9(b)由于粉末熔融状态良好,得到的涂层均匀致密,孔隙率也较低,但由于部分 WC 脱碳的影响,使得熔射层的硬度有所下降.结合收集粉末和相应熔射层金相分析结果可以看出,粉末熔融状态直接影响了熔射层微观结构,对于 WC-12%Co 粉末的熔射,必须优化工艺参数,保证 WC 不完全脱碳下的充分熔化,以便得到致密高硬度的熔射层.图 10(a),(b)分别为 WC-12%Co 粉末在室温和预热 200 °C 时,在抛光的碳钢基体上得到的扁平化图片.结果表明,基体在没有预热的情况下产生飞溅,这主要是基体与粉末在较低的温度下润湿

性差,最终导致熔射层内存在大量的孔隙,同时结合强度差.当基体预热 200 ℃ 时,润湿性能得到了大大

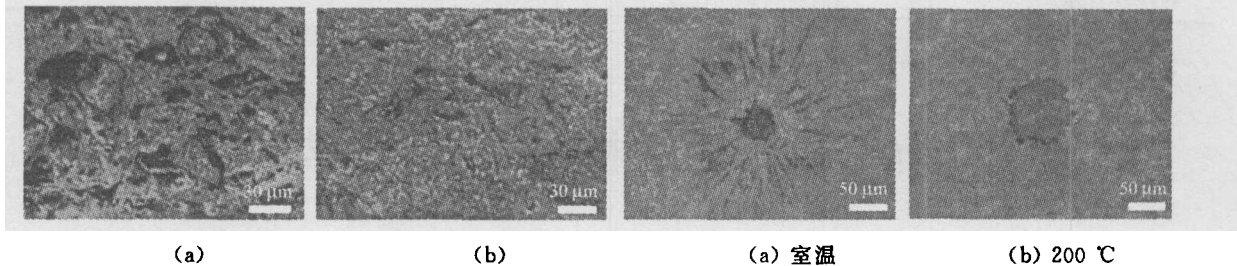


图9 熔射层金相照片

图10 粉末扁平化图片

地改善,没有产生飞溅,粉末扁平化程度好,这样相应地提高了熔射层质量.除了表面润湿性以外,粉末温度、速度以及直径是影响扁平化率的直接因素,只有对这些因素进行有效控制,才能提高粉末的扁平化效果,进一步提高熔射层质量.实验表明,扁平化特征是影响熔射层质量最直接的因素.

3 结束语

等离子熔射成形技术,可以快速制造致密、结合强度高的陶瓷零件.通过优化工艺参数,改善射流温度场分布、粉末飞行特性,有助于实现粉末与射流的动量和能量的充分传递,使粉末处于熔融状态、扁平化程度好,从而直接影响了熔射层的微观结构,提高了成形质量.

参 考 文 献

- 1 Bourell D L, Marcus H L, Barlow J W, et al. Selective laser sintering of metals and ceramics[J]. Powder Metallurgy, 1992, 28(4): 369~381
- 2 Zhao Ziyu, Wang L, Fang Jianchen, et al. Near net forming of metal-ceramic parts by plasma spraying[J]. Key Engineering Materials, 2005, 1 811~1 884
- 3 Sampath S, Gansert R, Herman H. Plasma-spray forming ceramics and layered composites[J]. JOM, 1995, 47(10), 30~33
- 4 Fang Jiancheng, Xu Wenji. Plasma spray forming[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 129(1-3), 288~293
- 5 方建成,徐文骥. 面向等离子熔射成形技术的粉末飞行特性数值分析[J]. 中国表面工程, 2003, (1): 20~23

Ceramic Part Rapid Forming by Plasma Spraying

Zhao Ziyu Fang Jiancheng

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, 362021, Quanzhou, China)

Abstract According to the technology of rapid manufacturing ceramic parts by plasma spray forming, the temperature field distribution of the plasma jet, the method of feeding powder, the energy and momentum transfer between the particle and plasma jet during spraying, and the influence of temperature and velocity property of the particle on forming quality are studied in detail. Meanwhile, the molten state of the particle collected during spraying, and the influence of the flatten state of the particle on the microstructure of the coating are analyzed. The results show that by optimizing the technical parameters, and improving the temperature field distribution of the plasma jet and flight properties of particles, the forming quality can be improved effectively, which is very significant for further widespread application of this technology.

Keywords ceramic part, plasma spraying, temperature field, flight properties, forming quality