

文章编号: 1000-5013(2009)02-0131-04

不锈钢模具快速制造技术

张素芝, 赵紫玉

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 为了解决低熔点材料电弧熔射成形模具使用性能差、寿命低等问题, 提出电弧熔射成形制作不锈钢模具的方法. 以不锈钢材料为研究对象, 研究电弧熔射过程中输入参数对飞行熔滴温度和速度的影响, 分析熔滴的扁平化过程, 并对熔射层的硬度和孔隙率进行测试. 实验结果分析表明, 雾化气体压力直接影响熔滴的雾化状态, 熔滴飞行温度、速度, 以及成形质量. 随着空气压力的增大, 熔滴飞行速度提高, 熔射层致密且氧化物质量分数减少, 气孔率降低, 显微硬度也大大提高. 熔射模的预热温度直接影响着熔滴的扁平化状态, 从而影响熔射成形质量.

关键词: 电弧熔射成形; 不锈钢模具; 扁平化状态; 成形质量

中图分类号: TF 124. 39; TG 142. 71

文献标识码: A

电弧熔射成形技术具有效率高、周期短、成本低等优势, 在模具快速制造方面具有很大的发展潜力. 目前, 由于电弧熔射制模所用的材料一般是锌、铝等熔点较低的金属及合金^[1-3], 在实际使用中耐磨性差, 使用性能低, 寿命在3 000件以下, 限制了其进一步发展. 因此, 对适用的高熔点材料, 开发耐磨、耐腐蚀、高寿命的电弧熔射制模技术是十分必要的. 研究表明, 电弧熔射成形过程的输入参数和粒子飞行状态, 影响着熔滴的热传输行为及熔射层的质量^[4-5]. 本文以不锈钢材料为研究对象, 研究电弧熔射过程输入参数对飞行熔滴温度和速度的影响, 以及熔射制模的工艺过程.

1 工艺过程

电弧熔射成形制作不锈钢等高熔点模具工艺步骤, 如图1所示. 传统的快速低熔点金属制模法是在快速原型(Rapid Prototyping)、加工原型及实物样件上, 直接喷涂金属涂层制得模具的. 喷涂高硬度、高熔点的耐磨材料, 可根据上述原型通过硅橡胶模具翻制耐高温的陶瓷材料熔射基模, 以保证金属熔射过

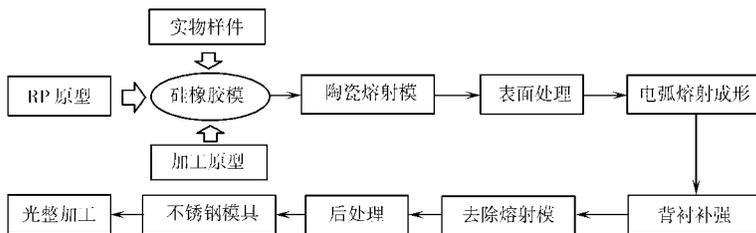


图1 不锈钢模具熔射成形工艺过程

Fig. 1 Process of spray forming for stainless steel mould

程的连续性和稳定性. 背衬补强材料, 可根据模具的服役条件, 选用铅锡合金、锌合金及颗粒增强的树脂基复合材料. 型腔熔射层的表面缺陷, 可采取表面熔凝、金属的熔渗及涂覆等方法进行填补和消除, 以提高模具的机械性能和表面质量.

收稿日期: 2008-02-03

通信作者: 张素芝(1968), 女, 工程师, 主要从事快速成形制造技术的研究. E-mail: zhangzhs@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50675071); 福建省自然科学基金资助项目(2006J0165); 福建省青年创新基金资助项目(2006F3084); 华侨大学科研基金资助项目(06BS104)

2 熔射层质量影响因素

2.1 熔射工艺参数

熔射电流、熔射电压及雾化气体压力,直接影响熔滴的温度、速度和雾化程度,而熔射距离、熔射角度、移动速度等熔射工艺参数,对成形质量有一定影响.合理选择工艺参数,提高熔射模的散热条件,采取间歇熔射方式及熔射层风冷等措施,可有效解决熔射层开裂、起皮及原模易烧损等缺陷.采用 CMD-AS1620 型推丝式电弧喷涂设备,输出电压为 27~38 V(直流),输出电流为 0~300 A(直流).检测设备采用 Spraywatch 2i 型质量监控仪器(芬兰 Oseir 公司).

2.2 飞行熔滴特性

雾化气体压力直接影响熔滴的雾化程度.通过收集和分析不同雾化气体压力下粒子尺寸(d)及分布状态(x),可以很好地了解熔滴的雾化规律,结果如图 2 所示.图 2 表明,雾化后的熔滴呈球形,随雾化压力增大,熔滴雾化越来越充分,熔滴粒度也趋于均匀化.当雾化气体压力为 750 kPa 时,平均粒径为 35 μm 左右,较大为 59 μm ,较小为 16 μm ,在 30~50 μm 范围内的熔滴数达 67%.阳极金属丝由阴极释放的电子加热,部分电子能量转移到等离子区,使得阳极温度低,金属丝熔化慢,熔滴粗大;而阴极由正的气态离子碰撞加热,温度高,金属丝熔化快,熔滴细小.在低气压时雾化熔滴直径相差很大,随着空气压力的升高或辅以二次雾化,会使雾化熔滴细化及均匀化,有利于成形质量的提高.

熔滴飞行特性直接影响着熔射质量,通过输入参数的变化可以控制飞行熔滴的特性.在熔射电流为 200 A,电压为 33 V,距离为 160 mm,气体压力为 550~800 kPa 的工艺参数下,进行熔滴飞行特性实验,装置如图 3 所示.采用在线质量监测仪分别测量飞行熔滴的温度、速度和粒径变化,测试结果如图 4,5 所示.图 4 表明,熔滴的飞行速度随空气压力的增大明显增大,有利于提高扁平化粒子间的结合强度,获得致密熔射层.空气压力对粒子温度的影响较复杂,粒子在低气压和低速时,散热时间较长,温度

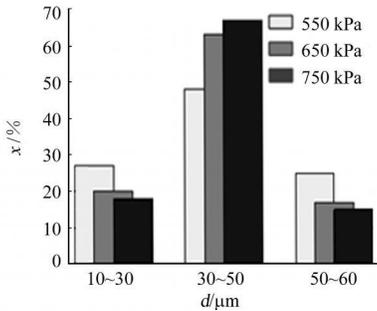


图 2 熔滴粒子尺寸及分布状态

Fig. 2 Particle size and distribution of the droplets

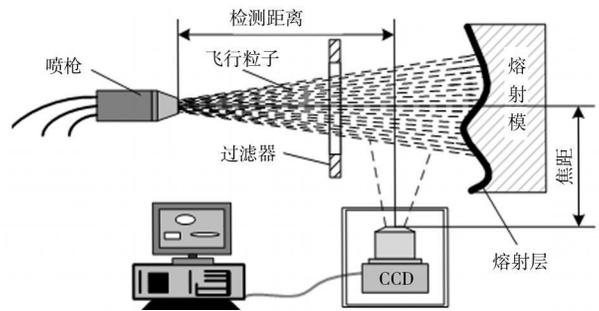


图 3 熔滴飞行特性检测装置示意图

Fig. 3 The sketch of the device for detecting in flight characteristics of the droplets

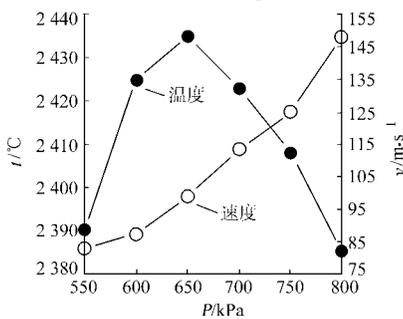


图 4 熔滴平均温度和速度随雾化压力变化

Fig. 4 The average temperature and speed of droplets vary with atomization pressure

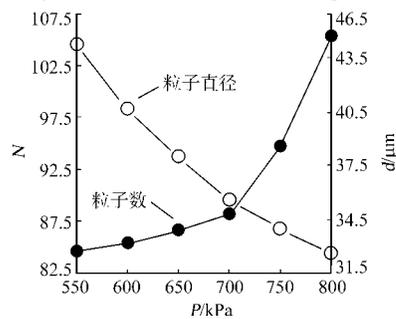


图 5 熔滴平均粒度及流量随雾化压力变化

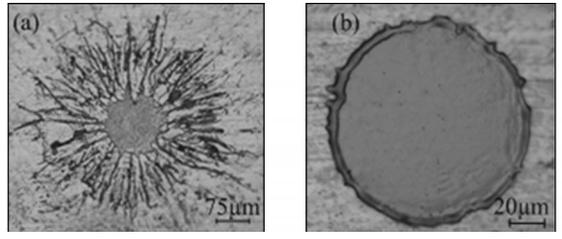
Fig. 5 The mean particle size and flux of droplets vary with atomization pressure

较低;随着气压增大,粒子速度升高,散热时间变短,温度逐渐较高;但过度增大气压,粒子雾化程度加剧,使得粒子细小,散热面积加大,粒子温度反而明显下降.掌握合适的雾化气体压力,是保证成形质量的关键.图 5 表明,雾化气体压力的提高,使得熔滴雾化充分,熔滴平均尺寸变小,流量加大,有利于熔滴

的喷洒沉积, 获得较致密的熔射层.

2.3 熔滴扁平化

雾化的熔滴与熔射模, 或与已形成的熔射层碰撞后, 扁平化形状和程度对熔射层的微观结构和成形质量影响很大. 在垂直熔射情况下, 熔滴与熔射模正碰后, 喷洒及扁平化从中心向四周方向扩散, 但是, 扁平化形态受到熔射模预热温度的影响. 在熔射模预热 60 °C 时, 熔滴扁平化后中心呈岛状结构而四周产生手指状飞溅, 如图 6(a) 所示; 熔射模预热 140 °C 时, 界面润湿性得到了改善, 熔滴向四周均匀铺展, 指状飞溅消失, 冷凝后呈标准的圆盘形, 如图 6(b) 所示. 实验表明, 熔滴扁平化存在临界温度 $t_1 = 100$ °C. 基体温度高于临界温度时, 熔滴与基体浸润性好, 扩散稳定, 成为圆盘形状; 低于此温度时, 产生指状飞溅. 在扁平化的薄饼上, 由于瞬间凝固收缩产生了不同程度的亚微结构裂纹. 随着熔射模预热温度的升高, 改善了界面处的温度分布, 使熔滴冷却速度大大降低, 进一步遏制急剧冷凝收缩而产生裂纹的趋势.



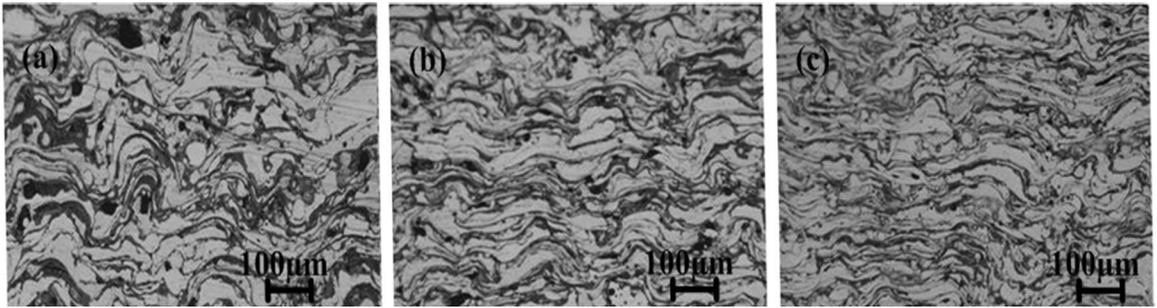
(a) 预热 60 °C (b) 预热 140 °C

图 6 不锈钢熔滴扁平化形态

Fig. 6 The splat morphology of droplets of stainless steel

2.4 熔射层性能分析

飞行熔滴的温度、速度和粒度, 决定熔射层的致密度及内聚结合强度. 图 7 为断面微观结构. 从图 7 可看出, 随着空气压力增大, 熔滴得到不断细化, 扁平化程度也得到极大提高, 结合强度好; 变形熔滴



(a) 550 kPa (b) 650 kPa (c) 750 kPa

图 7 熔射层断面微观结构

Fig. 7 Cross sectional microstructure of spray coating

由波浪状过渡到平滑层状, 孔隙率(η)和氧化物质量分数(w)得到良好控制, 获得较致密的熔射层. 熔射层测试结果, 如图 8, 9 所示. 从图 8 可知, 随着空气压力的升高, 断面层硬度大幅提高. 对比原材料与熔射层, 发现原 3Cr13 不锈钢经过熔射过程后, 组织得到进一步细化, 熔射层内变形薄片由于快速凝固具

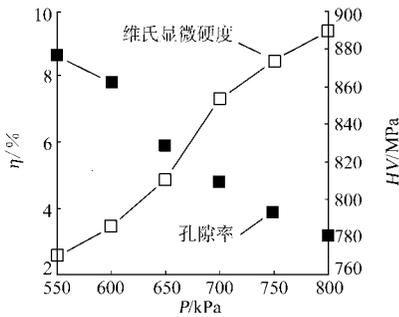


图 8 熔射层气孔率及显微硬度随雾化压力变化

Fig. 8 The porosity and microhardness of spray coating vary with atomization pressure

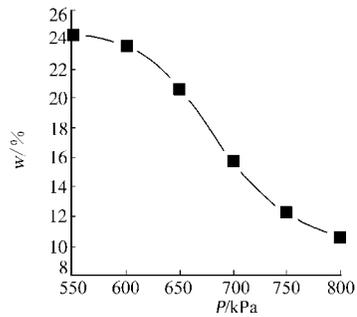


图 9 熔射层氧化物随雾化压力变化

Fig. 9 The oxide content of spray coating varies with atomization pressure

有一定的淬硬性, 而部分氧化物也使得硬度有所提高. 随着雾化压力的增大, 熔滴速度提高, 熔滴扁平化充分, 孔隙率明显降低. 从图 9 可知, 缩短熔滴碰撞熔射模前的飞行时间, 使氧化物质量分数减少, 提高了熔射层中熔滴扁平化后的内聚强度.

3 快速不锈钢模具制作

图 10 是根据鞋样原型制作的陶瓷熔射模,图 11 是采用电弧熔射工艺过程快速制作 3Cr13 不锈钢鞋模的底模. 模具结构主要由工作层和复合材料背衬层构成,考虑到不锈钢工作层和铝颗粒增强的背衬层物性参数的差异而影响结合强度,中间增加了一道熔射锌铝合金过渡层工序. 熔射工艺参数: 工作层电压



图 10 陶瓷熔射模
Fig. 10 Ceramic spray
mould



图 11 不锈钢鞋模
Fig. 11 Stainless steel
sole mould

33 V, 电流 240 A, 压强 650 kPa, 面积 200 mm; 过渡层电压 28 V, 电流 200 A, 压强 600 kPa, 面积 180 mm. 最终模具工作层表面纤维硬度达到 830 MPa, 工作层厚度 0.75 mm, 过渡层厚度 0.3 mm. 结果表明, 模具工作层、过渡层和背衬层间的界面结合强度高, 表面硬度达到使用要求. 另外, 采用不锈钢材料制取的模具型腔, 不但能精确复制原模的花纹图案, 而且提高了模具的耐磨性、耐腐蚀性和使用寿命.

4 结束语

电弧熔射成形技术可以快速制造高熔点模具, 工艺简单、成本低, 是很有发展前途的制模方法. 建立了熔射工艺参数、熔滴飞行特性和熔滴扁平化形态与熔射层形成质量的内在耦合关系, 研究结果对熔射成形快速模具制造的质量控制具有重要意义.

参考文献:

- [1] CHUA C K, HONG K H, HO S L. Rapid tooling technology (II): A case study using arc spray metal tooling[J]. *Advanced Manufacturing Technology*, 1999, 15(8): 609-614.
- [2] WANG J, WEI X P, CHRISTODOULOU P. Rapid tooling for zinc spin casting using arc metal spray technology [J]. *Materials Processing Technology*, 2004, 146(3): 283-288.
- [3] 朱东波, 王伊卿, 李涤尘, 等. 板料成形模具快速制造技术研究[J]. *中国机械工程*, 2002, 13(6): 487-491.
- [4] 朱子新, 徐滨士, 马世宁, 等. 高速电弧喷涂雾化熔滴的热传输行为[J]. *中国表面工程*, 2003, 59(2): 1-4.
- [5] PLANCHE M P, LIAO H, CODDET C. Relationships between in flight particle characteristics and coating microstructure with a twin wire arc spray process and different working conditions[J]. *Surface and Coatings Technology*, 2003: 1-12.

Rapid Manufacturing of Stainless Steel Mould

ZHANG Su-zhi, ZHAO Zi-yu

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

Abstract: To solve the problem of short service life and poor performance of low melting point alloy mould manufactured by arc spray forming, the manufacturing of stainless steel mould has been presented. With stainless steel as the research object, the influence of the inputting parameters on the temperature and speed of flying droplets during spraying is investigated, the flattening process of the droplets is analyzed, and the hardness and porosity of the coating is measured. The experimental results have indicated that the air pressure has direct influence on the atomization, in flight temperature, speed, forming quality of the droplets. With the increase of air pressure, the flying speed of droplets increases, the coating becomes denser, the mass percentage of the oxide and the porosity of the coating decreases, and the micro hardness increases significantly. It has also revealed that the preheating temperature of the prototype has direct influence on the flattening states, and also on the forming quality consequently.

Keywords: arc spray forming; stainless steel mould; splat morphology; forming quality

(责任编辑: 黄仲一 英文审校: 郑亚青)