

文章编号 1000-5013(2005)04-0401-03

分段沉积雕铣成形工艺的材料选择问题

赵宝民 江开勇 顾永华

(华侨大学机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要 分段沉积雕铣成形是一种基于堆积成形和传统成形相结合的复合成形方法, 同时具有堆积成形的柔性和传统成形的高精度. 工艺实现的前提是使支撑材料和工件材料都满足严格的匹配关系. 根据国内现有的条件, 试验出一种新的材料, 它满足分段堆积成形的要求, 同时可在实践中加以应用.

关键词 分段沉积, 雕铣成形, 工件材料, 支撑材料, 匹配

中图分类号 TG 244⁺. 2; TG 221

文献标识码 A

快速成形(RP)技术是近 20 年来制造领域的一项重大突破, 其突出特点是成形工艺过程与工件复杂程度无关^[1]. 但是, 与传统的机械加工相比, 其成形精度低、表面质量差、工件强度低、材料单一. 基于 RP 技术与传统成形相结合的分段沉积/雕铣方法, 具备了 RP 技术的柔性及传统成形的高精度. 形状沉积成形将原本截然不同的两种成形方法(去除成形、增材成形)有机地结合在一起, 改变了传统快速成形工艺基于层厚的分层方法. 它采用基于干涉特征识别的智能分段(分层), 使成形更灵活, 更具柔性^[2~5]. 分段沉积雕铣成形, 在工艺原理上和形状堆积成形基本上是一致的. 首先, 它对零件的三维 CAD 模型作分段处理, 分离为三维可直接加工段和不可直接加工段(干涉段). 其次, 对于可加工段, 浇注工件材料, 直接加工成形; 对于干涉段, 先浇注支撑材料, 并在支撑材料上加工出“负型”, 然后再浇注工件材料, 复制出工件的几何形状. 如此交替, 直至完成所有加工、复制过程. 最后, 把支撑材料与工件材料分离, 获得所需零件原型. 工艺实现的前提是使支撑材料和工件材料满足严格的匹配关系. 因此, 选择合适的支撑材料和工件材料组合成为实现成形工艺的一个重要研究内容. 本文通过实验研究, 致力寻找一种合适的材料组合, 来满足这种技术的加工需要. 在此基础上, 实现了一些特殊零件的制造.

1 实验方案

实验采用 CAD/CAM 造型软件造型, 利用分层软件对三维可加工区域进行分段. 实体材料主要采用 E-44(6101)型环氧树脂、乙二胺、铝粉(300 目), 通过正交实验对 3 种材料在不同配比时得出的材料进行实验. 在实验中采用热电偶对材料的温度数据进行采集, 按照时间分布得出温度曲线, 可以得到环氧树脂固化的时间(t)和峰值温度(θ)与乙二胺、铝粉的比例对应关系. 按照 ISO 2577 热固性模塑材料线性收缩率测定中的规定^[6], 对不同配比的材料进行线性收缩率的实测对比分析. 在室温环境下, 温度变化不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$, 同种材料做 3 种试样, 放置 24 h 后进行测量并取平均值, 样品如图 1 所示. 最后, 在 HASS VF-3 加工中心上对材料进行加工实验^[7]. 实验条件为, 转速 n_s 为 $1\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$, 进刀深度 a_p 为 1 mm , 进给速度 V_f 为 $200\text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$.

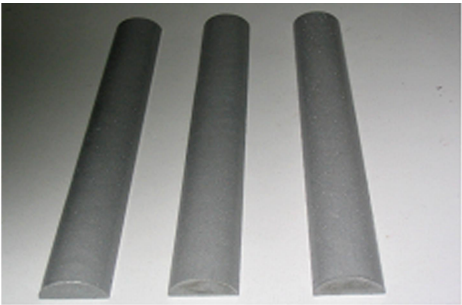


图 1 试样图片

收稿日期 2005-04-03

作者简介 赵宝民(1977), 男, 硕士研究生, 主要从事快速成形技术的研究. E-mail: zhaobm77@163.com

基金项目 福建省自然科学基金资助项目(E0410021)

2 过程分析

按照分段沉积雕铣成形工艺的要求, 必须满足实体材料的收缩率小, 放热峰值温度不能超过 110℃, 材料的加工性能良好, 以及固化时间短的要求. 所以, 参照文 [8] 并采用极限值实验分析认为, 当环氧树脂的固定体积为 1 份时, 乙二胺的体积可选择 0.04~0.08 份, 铝粉的体积可选择 0.30~1.00 份. 在正交实验中, 通过对不同配比的材料进行检测和分析, 可以发现随着固化剂乙二胺的增加, 环氧树脂固化的时间越来越短, 放热峰值逐步增大, 固化反应也越来越剧烈, 最终导致收缩率变大. 而随着铝粉比例的增加, 在一定程度上提高了固化速度, 铝粉的增加, 材料的金属性能增加, 导热性能增加, 材料内部的温度降低. 但是随着铝粉比例的增大, 树脂的粘性降低, 与铝粉的结合力减弱, 使材料的脆性增强; 如果铝粉比例过小, 材料硬度不够, 因此需要找出一个处于两者之间的平衡点. 在对材料的分析可以发现, 当乙二胺为 0.06 份, 同等条件下得出的材料峰值温度和固化时间最适中. 因此, 设定当乙二胺为 0.06 份固定不变时, 环氧树脂和铝粉在不同配比时所得的性能, 如表 1 所示. 在表 1 中, ρ 为收缩率, v 为环氧树脂、铝粉和乙二胺的体积比, F_{\max} 为最大负荷, σ_b 为拉伸强度, f_c 为断裂强度, F_c 为断裂负荷. 从表中可以看出, 当环氧树脂、铝粉、乙二胺的配比为 1: (0.60~0.80): 0.06 时, 得出的材料表面光滑, 内部组织分布均匀, 加工性能很好, 并且具有金属光泽. 同时, 这种比例的材料收缩率在 0.103%~0.157% 之间, 完全满足加工材料的要求. 其中, 材料的机械性能按照国标 GB/T 2568-1995 规定的树脂浇铸体拉

表 1 环氧树脂加入不同比例铝粉后的性质

v	ρ (%)	θ (℃)	F_{\max} /N	σ_b /MPa	f_c /MPa	F_c /N	加工性能
1: 0: 0.06	0.472	175	1 075	6.75	0.08	12.10	质脆、表面质量差
1: 0.30: 0.06	0.323	130	3 740	25.47	0.10	14.58	加工表面光滑
1: 0.60: 0.06	0.157	112	3 650	23.59	0.11	16.35	加工表面优、有金属光泽
1: 0.80: 0.06	0.103	99	2 680	16.23	0.11	17.88	加工表面优、有金属光泽
1: 1.00: 0.06	0.101	94	2 210	12.37	0.09	15.73	加工表面优

伸性能实验方法, 使用 XL-100A 型拉力实验机对材料进行拉伸强度测试. 从表中可以看出, 材料的最大负荷和拉伸强度随着铝粉比例的增加而增大. 但是, 随着铝粉比例的增大, 树脂的粘性降低, 与铝粉的结合力减弱, 使材料的脆性增强. 环氧树脂具有较高的拉伸强度, 粘接拉伸试件的拉伸强度低于单层试件的拉伸强度, 即粘接面造成强度的降低. 粘接面是工件的薄弱环节, 尽可能减少粘接面是提高工件强度的途径之一. 随着不饱和树脂中铝粉比例的增加, 拉伸强度有所降低.

采用电阻式传感器对树脂固化的温度曲线进行采集分析, 结果表明在室温下, 当环氧树脂、乙二胺、铝粉的比例为 1: 0.06: 0.60 的时候, 得出的温度曲线最为合理, 如图 2 所示. 从图 2 中可以发现, 在此固化过程中^[9], 反应的预热过程最短, 即反应的自催化过程最短. 在这段时间, 温度缓慢上升, 分子互相碰撞, 交联反应在缓慢的进行, 树脂基体就有了一定的预反应程度. 随着时间的推移, 预反应程度加大, 直到时间为 30 min, 温度为 60℃的时候, 内部的热量足以引起 n 级反应, 使树脂温度剧烈变化. 树脂在短时间内, 从实验槽的中心开始, 由内向外, 呈发散状迅速固化. 温度曲线峰值为 112℃, 低于支撑材料的熔点 120℃, 同时从 60℃反应迅速固化开始到反应又恢复到 60℃为止, 整个过程只用了 35 min. 从数据表中看出, 温度较低时, 环氧基团转化率达到 50% 时所需要的时间比温度高时要长. 说明其反应速率在温度低时较为缓慢, 存在自催化过程, 反应机理为自催化反应机理. 在高温条件下的固化反应速率较快, 自催化现象已经不明显, 反应过程以 n 级反应机理为主. 通常可以认为对固化度起主要作用的是高温点, 低温点对固化度的贡献不大. 而在固化过程中加上低温点主要是从工艺角度考虑, 如复合材料中树脂基体在低温点流动, 填充空隙时不至于由于反应过于剧烈而导致表面严重流胶等后果. 如果我们采用紫外线照射的方法, 使环氧树脂的温度保持在 60℃左右, 就可以使环氧树脂跳过自催化过程, 直接进行典型的 n 级反应. 在 30 min 左右, 就能实现树脂的完全固化.

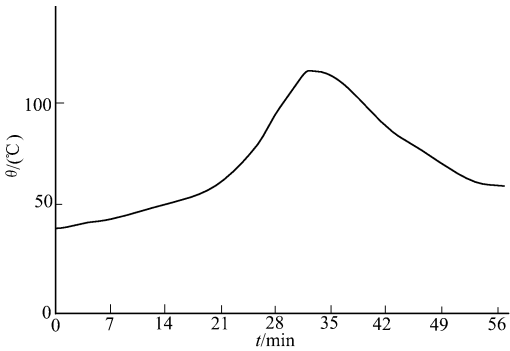


图 2 环氧树脂固化曲线

从数据表中看出, 温度较低时, 环氧基团转化率达到 50% 时所需要的时间比温度高时要长. 说明其反应速率在温度低时较为缓慢, 存在自催化过程, 反应机理为自催化反应机理. 在高温条件下的固化反应速率较快, 自催化现象已经不明显, 反应过程以 n 级反应机理为主. 通常可以认为对固化度起主要作用的是高温点, 低温点对固化度的贡献不大. 而在固化过程中加上低温点主要是从工艺角度考虑, 如复合材料中树脂基体在低温点流动, 填充空隙时不至于由于反应过于剧烈而导致表面严重流胶等后果. 如果我们采用紫外线照射的方法, 使环氧树脂的温度保持在 60℃左右, 就可以使环氧树脂跳过自催化过程, 直接进行典型的 n 级反应. 在 30 min 左右, 就能实现树脂的完全固化.

这样就完全实现了加工成形的快速性.

最后, 对此种材料进行实验验证. 图 3 是在 MASTERCAM 上完成的零件模型, 图 4 是实际加工出的零件. 用分段沉积雕铣成形的方法, 完成普通加工难以加工完成的零件, 在一次装夹的情况下, 完成有关零件的加工. 通过对标准试件的检测, 试件的尺寸精度达到 0.01 mm , 表面粗糙度 $R_a = 2.6\text{ }\mu\text{m}$, 完全

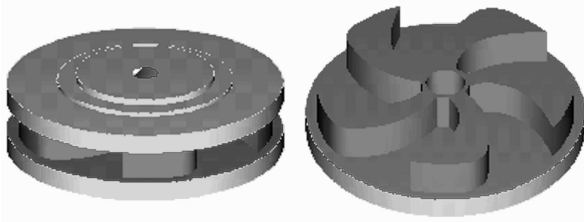


图 3 工件模型图

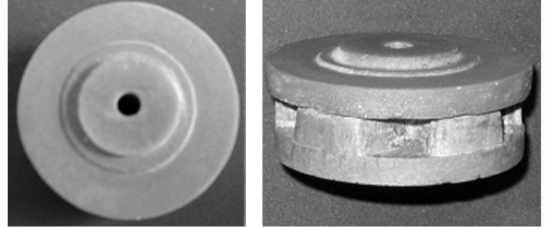


图 4 工件实物图

可以满足快速成形的加工要求.

4 结束语

当环氧树脂、乙二胺、铝粉的比例为 $1:0.06:0.6$ 的时候, 得出的材料在收缩率、放热峰值温度、加工性能及材料的整体强度等方面, 完全适合分段沉积雕铣成形工艺的要求. 通过对分段沉积雕铣成形工艺过程的改进, 参数的优化, 最终实现原型分段沉积雕铣成形. 该成形工艺体现材料堆积成形的柔性、传统材料去除成形的高精度.

参 考 文 献

- 1 颜永年, 张伟, 卢清萍. 基于离散/堆积成形概念的 RPM 原理与发展[J]. 中国机械工程, 1994, 5(4): 64~66
- 2 Alexander H N. Analysis of thermal stresses in shape deposition manufacturing of metal parts[D]: [dissertation]. Stanford: Stanford University, 1999. 87~95
- 3 John K. Rapid prototyping polymer parts via shape deposition manufacturing[D]: [dissertation]. Stanford: Stanford University, 1999. 3~16
- 4 Cooper A G, Kang S, Stampfl J, et al. Fabrication of ceramic parts for a miniature jet engine application using mold SDM[J]. Ceramic Transactions, 2000, 108: 389~398
- 5 John K. Part strength improvement in polymer shape deposition manufacturing[J]. Rapid Prototyping Journal, 2001, 7(3): 130~137
- 6 王荣秋. 固体树脂收缩率的测定的几种方法[J]. 纤维复合材料, 1994, 40(2): 40~45
- 7 彭颖红. 材料可加工性能的实验研究[J]. 锻压技术, 1994, (4): 7~9
- 8 沈开猷. 不饱和聚酯树脂及其应用[J]. 北京: 化学工业出版社, 2001. 21~37
- 9 姚兴芳, 巴信武. 环氧树脂固化过程中两种固化机理的渡越[J]. 高分子材料与工程, 2002, 18(6): 41~43

Forming Technology by Segmented Deposition and Carving Milling and Its Application

Zhao Baomin Jiang Kaiyong Gu Yonghua

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

Abstract Forming by segmented deposition and carving milling is a combined method of forming integrating traditional forming with pile up forming, thus it possesses both the flexibility of pile up forming and higher precision of traditional forming. The premise of technological implementation is to make both supporting material and entity material to meet strict matching. According to the existing condition at home, the authors work out a new material to meet the demand of piecewise pile up forming which has been applied in practice.

Keywords segmented deposition, forming by carving milling, part material, support material, matching