

酚醛树脂高温发泡模具设计研究

王志才 白培康

(中北大学材料科学与工程学院,太原 030051)

摘要 针对采用常温发泡模具进行高温发泡时,常常产生树脂液溢出量及发泡压力不易控制的问题,设计了高温发泡模具。与常温发泡模具采用堵帽控制发泡压力不同,在高温发泡模具中采用压缩弹簧预紧的放气控制单元对树脂液溢出量及发泡压力进行控制,解决了树脂液溢出量过多的问题,发泡压力可调,模具结构可靠、拆装方便。

关键词 酚醛泡沫塑料 常温发泡模具 堵帽 高温发泡模具 放气控制单元

酚醛(PF)泡沫塑料是一种具有轻质、防火、隔热、隔音、高比强度、导热系数低、绝缘等优异性能的材料,密度最低仅为 $30 \sim 40 \text{ kg/m}^3$ 。在常用的隔热泡沫材料中,PF泡沫塑料具有其它泡沫塑料无法比拟的优势,其适用温度范围为 $-150 \sim 150^\circ\text{C}$,近些年来,由于高层建筑、交通运输、舰船、航空、空间技术等方面对泡沫塑料的热稳定性和阻燃性提出了严格要求,使得PF泡沫塑料得到广泛关注和迅速发展^[1]。按发泡温度划分,制备PF泡沫塑料可采用两种发泡方法,即常温和高温发泡方法。目前常用的发泡方法是常温发泡方法^[2-5],即在室温或低热($60 \sim 80^\circ\text{C}$)条件下,向树脂液中加入表面活性剂、发泡剂、固化剂、增韧剂等助剂,电动搅拌使其混合均匀后倒入模具,在发生缩聚反应的同时树脂发泡固化,脱模。该方法操作简单、方便,可在现场发泡。但由于该方法采用酸为固化剂,所制备的泡沫塑料有一定的酸性,当与金属接触时易产生酸渗透、酸腐蚀的现象,从而使其应用范围缩小^[6]。高温发泡的原理是可发性树脂液中含有的易挥发性物质在高温下气化的同时树脂间发生缩聚反应,使树脂在发泡时交联固化,从而形成PF泡沫塑料。

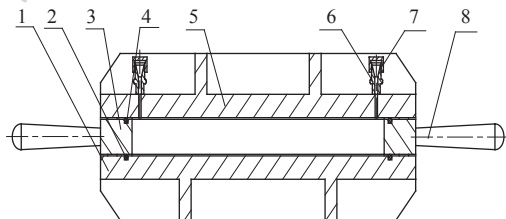
一般而言,发泡剂分解时,模具中的树脂液在发泡压力的作用下,会从模具的出气孔溢出部分树脂。若是采用常温发泡,树脂溢出时,操作者可及时用堵帽等工具堵住出气孔,使模具内发泡保持一定的压力,与常温发泡时不同,高温发泡时一般在密闭的烘箱中进行,发泡时树脂溢出不可见,操作者常常不能及时堵住出气孔,从而影响发泡效果。为使PF发泡时能够保持一定的压力,从而制备出高性能的PF泡沫塑料,必须设计合适的高温发泡模具。

1 模具结构方案的确定

1.1 常温发泡模具

PF泡沫塑料常温发泡模具可采用如图1所示

的结构,模具主要由底板、模腔及盖板组成。在底板及模腔的上表面加工有密封槽,用来放置密封圈,从而对底板、模腔及盖板的对接面进行密封,防止树脂液从这些对接面中溢出。在盖板上与接近模腔4个角对应位置加工有4个 $\text{O}3 \text{ mm}$ 出气孔,在这4个出气孔处焊接有4个放气接头,用于发泡剂分解时少量树脂从这些孔溢出,从而使模具内的空气尽可能被排除,图1中的4个堵帽用来待模具内的空气排出后,拧紧放气接头,使模具内保持所需的发泡压力,从而制备出高性能PF泡沫塑料。



1—底板; 2、4—密封圈; 3—模腔; 5—盖板; 6—放气接头;
7—堵帽; 8—手柄

图1 PF泡沫塑料常温发泡模具

1.2 高温发泡模具

高温发泡与常温发泡明显不同之处在于高温发泡一般在密闭的烘箱中进行,发泡时树脂溢出不可见,因此适时控制树脂液的溢出量同时控制模具内的发泡压力,成为高温发泡模具设计是否成功的关键。图2为所设计的PF泡沫塑料高温发泡模具,其与图1所示的常温发泡模具不同之处在于,高温发泡模具在盖板上安装导柱及放气控制单元,通过导柱和放气控制单元组合使用,代替常温发泡模具所用的堵帽对发泡时树脂液的溢出量及模具内的发泡压力进行自动控制。

(1) 放气控制单元的设计

放气控制单元为高温发泡模具设计的关键之

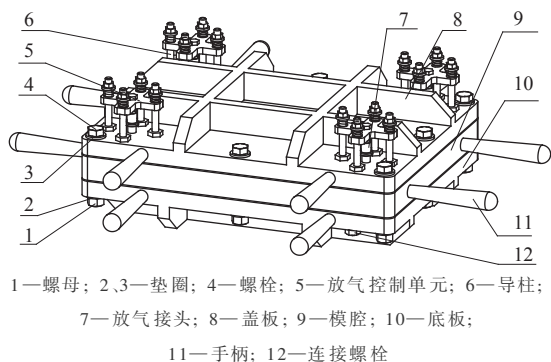
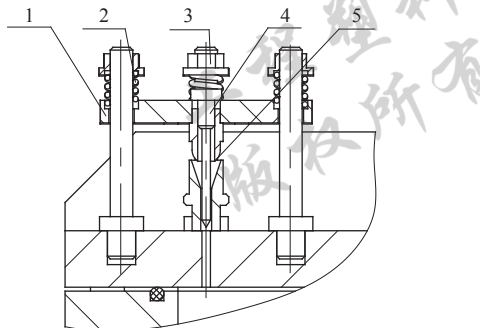


图2 PF泡沫塑料高温发泡模具

一,放气控制单元结构如图3所示,包括十字板、压缩弹簧、压紧螺母、节流螺钉及球形堵头。其与盖板上的导柱及放气接头组合使用,可适时控制发泡时树脂液的溢出量及模具内的发泡压力。球形堵头和节流螺钉通过螺纹连接与十字板组合在一起。当装有可发性PF树脂液的模具放入烘箱前,通过压紧螺母对弹簧施加预紧力,使球形堵头紧紧压在放气接头的内圆锥面上。放气控制单元中的节流螺钉可起到减缓树脂液溢出的作用。



1—十字板; 2—压缩弹簧; 3—压紧螺母; 4—节流螺钉; 5—球形堵头

图3 酚醛泡沫高温发泡模具放气控制单元

(2) 树脂发泡时发泡压力的确定

定树脂发泡时的发泡压力是设计及使用发泡模具的另一关键,树脂发泡时的发泡压力可通过试验确定,确定后的发泡压力是放气控制单元设计时的依据。由于发泡剂生产厂家提供的发泡剂的发气量是在特定的条件下测试得出,故其发气量数据仅具有参考意义。为较准确地确定树脂发泡时的发泡压力,需要通过发泡试验得出所用配方树脂的发泡压力。

设树脂在一敞开的容器中所发泡沫体积为 V_1 ,在发泡模具中所发泡沫体积为 V_2 , V_1 和 V_2 均可通过试验进行测定。在敞开的容器中发泡,其压力条件为 $P_1 = 0.1 \text{ MPa}$,由公式 $P_1 V_1 = P_2 V_2$ 可推出 $P_2 = P_1 V_1 / V_2$, P_2 即为树脂发泡时的发泡压力。

(3) 放气控制单元中弹簧的设计

树脂发泡时的发泡压力确定后,即可根据确定后的树脂发泡压力对放气控制单元中的弹簧进行设计。

① 弹簧参数的设计^[7]

通过试验及上述公式可以得到树脂发泡时的最小发泡压力 $P_{\min} = 0.4 \text{ MPa}$,最大发泡压力 $P_{\max} = 0.8 \text{ MPa}$,则可推出作用在每个弹簧上的载荷,最小工作载荷 $P_1 = 15 \text{ N}$,最大工作载荷 $P_2 = 30 \text{ N}$,弹簧的工作行程预设 $h = 15 \text{ mm}$,根据模具实际情况初步设定弹簧外径 $D_2 = 12 \text{ mm}$,弹簧端部结构为端部并紧、磨平,两端支承圈各1圈,由于弹簧的工作环境为 170°C ,故选用使用温度为 $40 \sim 200^\circ\text{C}$ 的 $60\text{Si}_2\text{Mn}$ 弹簧钢丝,该种弹簧钢丝弹性好,回火稳定性好。对弹簧的各个参数分别进行计算,如下所示。

初算弹簧刚度 $P' = (P_2 - P_1) / h = (30 - 15) / 15 = 1 \text{ N/mm}$,工作中载荷为Ⅲ类载荷,故工作极限载荷 $P_{ij} = P_2 = 30 \text{ N}$ 。

根据 $P_{ij} = 30 \text{ N}$ 条件,可从机械设计手册查表得出与 $P_{ij} = 30 \text{ N}$ 最接近的实际工作极限载荷 P_j 为 33.62 N 。根据 $D_2 = 12 \text{ mm}$ 及 $D_2 = D + d$ (D 为弹簧中径、 d 为弹簧丝直径) 为条件,可从机械设计手册查表得出既满足 $P_j = 33.62 \text{ N}$ 、又满足弹簧外径接近 $D_2 = 12 \text{ mm}$ 的 D 及 d 值,分别为 10 mm 、 1 mm 。

于是可继续确定弹簧实际的各有关参数。工作极限载荷下的单圈变形量 $f_j = 3.403 \text{ mm}$,单圈刚度 $P_d' = 9.88 \text{ N/mm}$ 。

弹簧有效圈数 $n = P_d' / P' = 9.88 / 1 = 9.88$,取标准值10。

总圈数 $n_1 = n + 2 = 10 + 2 = 12$ 。

实际弹簧刚度 $P' = P_d' / n = 9.88 / 10 = 0.988 \text{ N/mm}$ 。

工作极限载荷下的变形量 $F_j = n f_j = 12 \times 3.403 = 41 \text{ mm}$ 。

节距 $t = F_j / n + d = 41 / 12 + 1 = 4.5 \text{ mm}$ 。

自由高度 $H_0 = n t + 1.5 d = 12 \times 4.5 + 1.5 \times 1 = 55.5 \text{ mm}$ 。

弹簧外径 $D_2 = D + d = 10 + 1 = 11 \text{ mm}$ 。

弹簧内径 $D_1 = D - d = 10 - 1 = 9 \text{ mm}$ 。

最小工作载荷时的高度 $H_1 = H_0 - P_1 / P' = 55.5 - 15 / 1 = 40.5 \text{ mm}$ 。

最大工作载荷时的高度 $H_n = H_0 - P_2 / P' = 55.5 - 30 / 1 = 25.5 \text{ mm}$ 。

极限载荷时的高度 $H_j = H_0 - P_j/P' = 55.5 - 30/1 = 25.5 \text{ mm}$ 。

实际工作行程 $h = H_1 - H_n = 40.5 - 25.5 = 15 \text{ mm}$ 。

②弹簧受力的计算

弹簧受到的切应力 τ 可按式(1)计算。

$$\tau = (8 \times K \times D \times P) / (\pi d^3) \quad (1)$$

式中: K ——曲度系数, $K = (4C - 1) / (4C - 4) + (0.615/C)$, 其中 C 为旋绕比, $C = D/d$;
 P ——发泡压力, MPa。

经计算及查表得 $C = 10$, $K = 1.145$, P 取 0.8 MPa , 弹簧许用切应力 $[\tau] = 980 \text{ MPa}$ 。将有关数据代入以上公式即可得出弹簧所受到的切应力 τ 为 23.2 MPa , 其值远小于 $[\tau]$, 因此所设计的弹簧在受力时是安全的。

2 模具使用情况

若采用常温发泡模具进行高温发泡, 为制备不同密度的泡沫塑料, 树脂固含量、发泡剂用量等配方成分需进行多次改变, 而且包括加热温度、第一次加热保温时间等制备泡沫塑料的工艺条件也会发生改变, 因而发泡后的树脂液从模具出气孔溢出的时刻会有很大差别。若不能准确掌握发泡剂分解而导致树脂液溢出的时刻, 常常会造成操作者发现时树脂溢出已经过多的现象, 最后得到的泡沫塑料泡孔粗大、分布不均, 密度及其它力学性能和热物理性能不能满足要求。图4所示即为树脂溢出过多而得到的泡沫塑料。采用图2所示高温发泡模具后, 发泡剂分解时树脂的溢出量得到了有效的控制, 模具内的发泡压力得到了保持, 所制备 PF 泡沫塑料的密度指标控制达到了预期, 泡孔均匀细密, 泡沫体质量较好, 如图5所示。

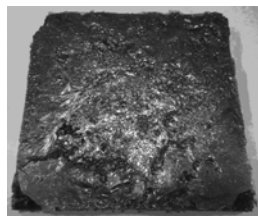


图4 采用常温发泡模具由高温发泡法制备的 PF 泡沫塑料

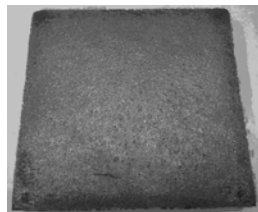


图5 采用高温发泡模具由高温发泡法制备的 PF 泡沫塑料

3 结语

采用放气控制单元的高温发泡模具, 解决了高温发泡工艺下发泡剂分解时树脂溢出量及模具内发泡压力不易控制的问题, 用该模具所制备的 PF 泡沫塑料质量好, 模具结构可靠、拆装方便, 可确保所制备的 PF 泡沫塑料的质量。

参考文献

- [1] 黄发荣, 焦扬声. 酚醛树脂及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 24 - 25.
- [2] 梅启林, 黄志雄, 周祖福, 等. 改性酚醛泡沫材料的研究[J]. 武汉理工大学学报, 2002(6): 22 - 24.
- [3] 杨勇, 马晓雄, 何斌, 等. 酚醛泡沫塑料研究[J]. 广东塑料, 2005(10): 26 - 29.
- [4] 殷锦捷, 戴英华. 增韧酚醛泡沫塑料的制备及填料对其性能的影响[J]. 上海塑料, 2010(2): 37 - 40.
- [5] 钟远, 季永新, 朱殿奎, 等. 柔性酚醛泡沫塑料的制备[J]. 现代化工, 2010(5): 60 - 62.
- [6] 耿紧紧, 葛庆平, 陈海松, 等. 无腐蚀性酚醛泡沫的制备[J]. 新型建筑材料, 2010(4): 50 - 51.
- [7] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 7 - 70.

DESIGN RESEARCH OF HIGH TEMPERATURE FOAMING MOULD OF PHENOLIC RESIN

Wang Zhicai, Bai Peikang

(School of Materials Science & Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

ABSTRACT Aiming at the problem that when normal temperature foaming mould was applied to high temperature foaming, controlling resin liquid overflow quantity and foaming pressure was often difficult, high temperature foaming mould was designed. It was different from plugging cap was applied to control foaming pressure in normal temperature foaming mould, that deflation control unit with compressing spring to preloading was applied for controlling resin liquid overflow quantity and foaming pressure. The problem which resin liquid overflow quantity was too much was solved. Foaming pressure was adjustable, the structure of mould was reliable and the mould could be dismantling conveniently.

KEYWORDS phenolic foam, normal temperature foaming mould, plugging cap, high temperature foaming mould, deflation control unit