

# 低压片状模塑料模压工艺参数研究

于 浩, 黄志雄, 秦 岩

(武汉理工大学材料科学与工程学院, 武汉 430070)

**摘要:** 对结晶不饱和树脂增稠聚酯模塑料的中温低压模压成型工艺进行了研究。通过差热分析及固化度测试确定了中温模压温度, 通过螺旋流动长度试验确定了低压成型压力, 通过热模内模塑料粘度测试确定了加压时机, 进而利用正交实验方法确定了模压成型的最佳模压温度、加压时机、合模时间及保压时间。结果表明结晶树脂增稠聚酯模塑料不但在热模内具有良好的流动性, 可在 1.6 MPa 的低压下成型, 且在此工艺条件下模压制品具有良好的力学性能。

**关键词:** 低压片状模塑料; 结晶不饱和树脂; 模压工艺参数

中图分类号: TQ 327.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-4431(2006)03-0007-03

## Research on the Molding Parameters of Low Pressure Sheet Molding Compounds

YU Hao, HUANG Zhi-xiong, QIN Yan

(School of Materials Science and Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In this paper, molding process for low-pressure sheet molding compounds thickened by crystalline unsaturated polyester was investigated. The molding temperature was determined by DTA and test of degree of cure, then the molding pressure was determined by the test of spiral flow values and the press timing was determined by test of viscosity. Furthermore, optimal molding parameters such as molding temperature, press timing, molding speed and cure time were determined by orthogonal test. The mechanics properties of low-pressure sheet molding compounds molded in these parameters can be compared with the one molded in traditional process.

**Key words:** low pressure sheet molding compounds; crystalline unsaturated polyester; molding parameters

低压片状模塑料(Low Pressure Molding Compounds, 简称 LPMC)是一种高流动性片状模塑料(SMC)新品种, 可用来加工制造和 SMC 同类的产品, 但模塑压力低得多, 加工设备的造价和生产成本较低。对于 LPMC 的增稠, 目前主要有改性氧化镁增稠、增稠剂与基体树脂及低收缩添加剂室温反应形成弱键增稠、结晶不饱和树脂增稠等<sup>[1]</sup>。结晶不饱和树脂增稠与其他增稠机理不同, 属于物理增稠, 从片材制作到模压成型都与化学增稠制品的机理和方法不同, 工艺对制品的性能影响也很大。在 LPMC 制品的模压工艺中, 需确定合适的工艺条件, 这些条件包括: 正确的加料方法, 选取最佳的成型温度、压力、加压时机和保温时间等<sup>[2,3]</sup>。研究了结晶不饱和树脂增稠 SMC 的模压工艺, 确定了模压工艺参数, 使 LPMC 模压制品在性能与能耗上达到较好的平衡。

## 1 实验

### 1.1 原材料

基体树脂为不饱和聚酯树脂 P17-903B; 增稠剂为结晶不饱和聚酯树脂(熔点 55 °C), 自制; 脱膜剂为硬

收稿日期: 2005-11-26。

基金项目: 国家“863”计划(2003AA333070)和国家自然科学基金(50473013)。

作者简介: 于 浩(1982-), 男, 硕士生, E-mail: zhixiongh@mail.whut.edu.cn

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

脂酸锌;低收缩添加剂为聚苯乙烯糊,自制;交联剂为苯乙烯;固化剂为BPO糊及TBPB;填料为碳酸钙,400目;以上原料皆为工业级。

## 1.2 LPMC片材制备

按配方将固化剂BPO糊、TBPB混合后分散于少量苯乙烯中;将其余苯乙烯加入到装有不饱和聚酯树脂的搅拌釜中,混合均匀;将含有固化剂的苯乙烯溶液加入搅拌釜中,搅拌至分散均匀为止;加入填料、脱模剂,经高速搅拌,得到分散均一的不饱和聚酯糊。加热使树脂糊的温度达到65~70℃,再按要求加入增稠剂,搅拌3 min后将其倒入保温为65℃的加料室内;用聚乙烯薄膜为隔膜,浸渍25 mm无序短切纤维、辊压收卷、熟化存放。熟化后片材易于撕去薄膜,且不粘手。

## 1.3 测试

制品模压成型使用100 t压机,120 mm×12 mm×6 mm的弯曲试体模具;热分析采用差热分析仪(DTA);固化度测试参照GB2576—89;试样弯曲强度测试参照GB2581—81,设备为RGT-30微机控制电子万能材料试验机;螺旋流动长度测定参照JB3757—84;粘度测试使用Brookfield DV II<sup>+</sup>粘度计。

## 2 结果与讨论

### 2.1 模压温度制度的确定

从图1 DTA曲线的主放热峰区域可以看出,固化体系的起始反应温度为82.553℃,90.014℃时达到顶峰并伴随放热,温度达到111.553℃时,反应基本结束。以差热分析为基础,做了大量的不同温度下的模压试验,以确定最佳的模压温度。对比试样在不同温度的固化情况,在100℃固化时固化度为87.5,115℃时为93.7,可以看出,以中温固化剂作为固化体系的模塑料在100~115℃温度范围之间均可达到让人满意的固化程度。

### 2.2 模压成型压力制度的确定

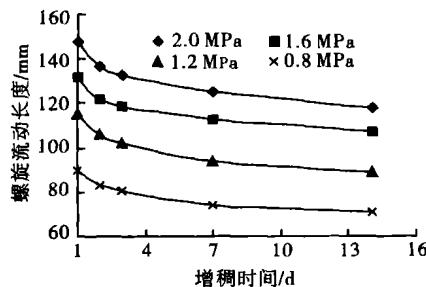


图2 不同压力下的螺旋流动长度

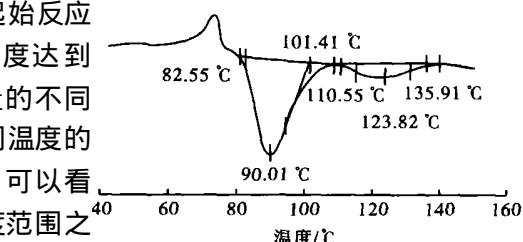


图1 树脂糊DTA曲线

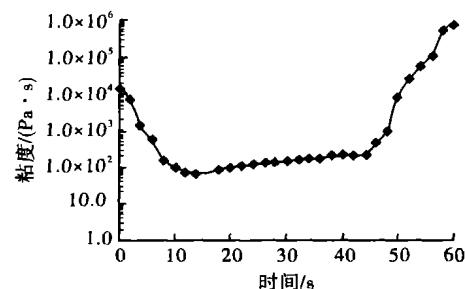


图3 模内粘度变化

图2为LPMC体系在室温2~14 d的增稠时间段100℃时的螺旋流动长度,LPMC在压力超过1.2 MPa时显示出了良好的流动性,与SMC模压料在10 MPa压力下相仿。在此压力下模压成型模塑料能够充满模腔并很好地浸渍短纤维,达到低压模压成型的要求。

对于LPMC模压过程,只有当树脂反应分子量增加所造成粘度适度增加时,加压才能使树脂本身既能在热压力下流动而又同时使纤维随同树脂一起流动,这样才能得到合乎要求的制品<sup>[4,5]</sup>。图3为模具温度为110℃时加料60 s内模压料粘度变化测试结果,可以看出在20~40 s内有一个比较稳定的粘度平台,且粘度适合于低压成型,因此确定模压料放入模具后20~40 s内完成加压过程。

### 2.3 正交实验确定最佳模压工艺参数

在确定模压工艺参数时,以模压温度、加压时机、合模时间及保压时间等作为影响因素,模压温度分别为105℃、110℃、115℃,加压时机分别为加料后10 s、15 s、20 s时加压,合模时间为最后25 mm行程用时10 s、15 s、20 s,保压时间为3 min、4.5 min、6 min,模压压力为1.6 MPa,每个因素3个水平,采用正交实验法,通过9次实验得到各工艺参数对制品力学性能的影响,试验设计及弯曲强度结果见表1。

表 1 模压成型工艺  $L_9(3^4)$  正交试验设计

	A 保压时间/min	B 合模时间/s	C 加压时机/s	D 模压温度/℃	弯曲强度/MPa
1	$A_1(3)$	$B_1(10)$	$C_1(10)$	$D_1(105)$	139
2	$A_1(3)$	$B_2(15)$	$C_2(15)$	$D_2(110)$	156
3	$A_1(3)$	$B_3(20)$	$C_3(20)$	$D_3(115)$	144
4	$A_2(4.5)$	$B_1(10)$	$C_2(15)$	$D_3(115)$	154
5	$A_2(4.5)$	$B_2(15)$	$C_3(20)$	$D_1(105)$	145
6	$A_2(4.5)$	$B_3(20)$	$C_1(10)$	$D_2(110)$	143
7	$A_3(6)$	$B_1(10)$	$C_3(20)$	$D_2(110)$	147
8	$A_3(6)$	$B_2(15)$	$C_1(10)$	$D_3(115)$	163
9	$A_3(6)$	$B_3(20)$	$C_2(15)$	$D_1(105)$	173
I	439	440	445	457	
II	442	464	483	462	
III	483	460	436	461	

由正交试验的极差分析和方差分析(见表 2)可知, 固化温度等 4 个因素对制品弯曲性能的影响大小为: 加压时机影响最大, 其次为保压时间、合模时间, 模压温度影响最小。根据正交试验分析结果确定模压工艺参数为模压温度 110 ℃、加压时机 15 s、合模时间 15 s、保压时间 6 min。经过多次试验, 结果证明制品的弯曲性能可达到 170 MPa 以上, 符合 LPMC 的力学性能要求。

### 3 结 论

a. 使用中温固化剂, 模压料在较低的温度下即可较好地固化, 降低了模压温度, 但为使物料能够固化完全并消除内应力, 在一定程度上需要延长保压时间。由于模压料在热模内需要有一定的加热熔融过程, 模压温度过高、加压过迟或合模时间过长都会导致模塑料预固化, 影响制品性能。

b. 结晶树脂增稠 LPMC 模压料在高温模内开始时粘度下降很快, 最低粘度超出了树脂可承载纤维流动的范围, 随后由于树脂固化交联程度提高粘度又会上升。在本试验条件下, 加压时机为 15 s、合模时间 15 s 时流动性良好, 可在 1.6 MPa 的低压下成型, 且在此工艺条件下模压制品具有良好的力学性能。

表 2 正交试验极差与方差分析

影响因素	极差	方差
保压时间	14.67	201.445
合模时间	8.00	55.111
加压时机	15.67	207.445
模压温度	5.00	20.111

### 参考文献

- [1] 黄家康. 聚酯模塑料生产与成型技术[ M ]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [2] 梁国正, 顾媛娟. 模压成型技术[ M ]. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [3] Duck-Ki Kim, Hyung-Yun Choi, Naksoo Kim. Experimental Investigation and Numerical Simulation of SMC in Compression Molding[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1995, 49: 333~344.
- [4] Dumont P, Orgéas L, Le Corre S, et al. Anisotropic Viscous Behavior of Sheet Molding Compounds (SMC) During Compression Molding[J]. International Journal of Plasticity, 2003, 19: 625~646.
- [5] Ki-Taek Kim, Jin-Ho Jeong, Yong-Taek Im. Effect of Molding Parameters on Compression Molded Sheet Molding Compounds Parts[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 67: 105~111.