

双螺杆挤出长玻纤增强复合材料玻纤含量快速调试方法

佘阿龙¹ 杨海洋^{1,2} 肖 鹏¹

(1. 株洲时代新材料科技股份有限公司, 株洲 412001; 2. 福建师范大学化学与材料学院, 福州 350007)

摘要 通过试验和理论分析提出了双螺杆挤出长玻纤增强复合材料过程中两种准确控制玻纤含量的方法, 这些方法可以快速调节长玻纤增强复合材料生产时的玻纤含量, 降低机头料的废品率及提高设备的利用率, 同时可以迅速更正因原材料更换批次所引起的玻纤含量的波动, 能为现场指导长玻纤增强复合材料生产、稳定产品质量提供快捷而有效的支持。

关键词 挤出 长玻纤 玻纤含量 控制

玻纤增强复合材料在现代生活中应用日益广泛。玻纤是目前塑料工业中用量最大、应用最广的增强剂^[1], 几乎所有树脂都可以用玻纤来进行增强改性。玻纤增强树脂基复合材料能大幅度提高材料的强度、模量及耐热性能而使其具有抗损伤能力强、成本低等优点, 不过玻纤的加入会使材料的脆性增大、密度发生较大的变化^[1]。因此大规模生产中, 为避免玻纤增强复合材料性能的波动, 其玻纤含量的准确控制非常重要。

用双螺杆挤出生产玻纤增强复合材料过程中玻纤加入方式可分为长玻纤加入和短玻纤加入两种。其中, 短玻纤加入方式通常通过侧向喂料装置准确称量来精确控制玻纤含量; 但用长玻纤加入方式生产增强复合材料时, 玻纤含量的控制主要是依据多次测试结果并调整设备的各项工艺参数来实现。要获得合适的玻纤含量和最大产量, 并不是一次、两次调节和测试所能达到的, 有时要经过多次试验和调整各项参数才能满足要求, 因而使得调整周期变长, 降低了生产率, 增加了产品成本。笔者经过长时间的试验探索及理论推导, 得出两种适合长玻纤加入方式生产时现场快速调节玻纤含量的方法, 大大减少了玻纤增强复合材料生产时开机的机头调试料, 从而有效地降低成本, 还可充分利用挤出设备的生产能力。

1 实验部分

1.1 原料

聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT): L2100, 特性粘度 1.0 dL/g, 江苏仪征化纤股份有限公司;

玻纤: EC14-2000, 北京市通州兴旺玻璃纤维有限公司。

1.2 设备

同向双螺杆挤出机: KS-36 型, 昆山科信橡塑

机械有限公司;

同向双螺杆挤出机: RY-75 型, 南京瑞亚高聚物装备有限公司;

电子计数台秤: 量程 150 kg, 福州富日谢之宝电子有限公司;

箱式电阻炉: 上海市康路仪器设备有限公司。

1.3 玻纤含量控制原理

双螺杆挤出机通过长玻纤加入方式生产玻纤增强复合材料的玻纤含量控制原理见图 1。

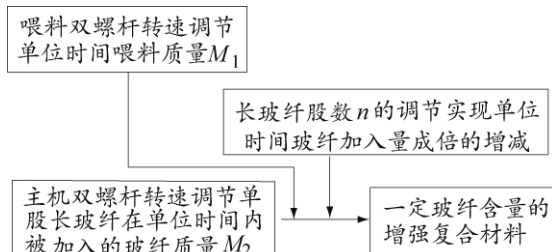


图 1 挤出长玻纤复合材料的玻纤含量控制原理图

1.4 试验测试

(1) 基于同向双螺杆挤出机喂料速率与喂料螺杆转速成正比的关系^[2], 测试 PBT 在该加料设备上在某喂料转速 V_1 下单位时间的喂料量 W_1 , 并以此计算单位喂料转速下的喂料量 M_1 。

(2) 基于同向双螺杆挤出机玻纤加入量与主机螺杆转速成正比的关系^[2], 测试在合适的玻纤股数 n 时, 在某主机螺杆转速 V_2 下单位时间玻纤的加入量 W_2 , 并以此计算单股玻纤在单位主机螺杆转速下的加入量 M_2 。

(3) 测试在喂料转速为 V_1 , 主机螺杆转速为 V_2 , 玻纤股数为 n 时, 单位时间内复合材料的产量 M 。

1.5 理论分析

为了方便、直接地显示玻纤控制工艺, 笔者通

常以 $(V_2/V_1/n)$ 来表示长玻纤增强复合材料工艺参数。

根据1.4测试数据,玻纤含量 ω 的计算方法如下:

$$\omega = W_2 / (W_2 + W_1) \quad (1)$$

$$\text{即} \quad \omega = n V_2 M_2 / (n V_2 M_2 + V_1 M_1) \quad (2)$$

$$\text{化简得} \quad (1 - \omega) n V_2 M_2 = \omega V_1 M_1 \quad (3)$$

式中: ω ——玻纤含量, %;

n ——长玻纤股数;

V_2 ——主机螺杆转速, r/min;

V_1 ——喂料螺杆转速, r/min;

M_2 ——单股玻纤在单位主机螺杆转速下的加入量, g/r;

M_1 ——单位喂料螺杆转速下的喂料量, g/r。

从(1)、(2)、(3)式可以看出,与玻纤含量相关的有 n 、 V_2 、 V_1 、 M_2 、 M_1 五个参数,其中 n 、 V_2 、 V_1 主要通过人为来调节,而 M_2 、 M_1 则是与机器相关的两个因素,对于同一机台是一定的。

图2是在KS-36型同向双螺杆挤出机上测得的PBT喂料转速与单位时间喂料量的关系,其斜率是一常数,则可算出对于堆积密度一定的同种材料而言单位喂料转速下其喂料量 M_1 是一常数。

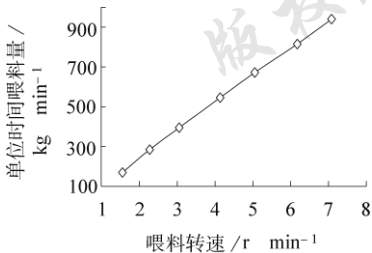


图2 单位时间喂料量与喂料转速的关系

此外,对同一机台而言,将单股玻纤在单位主机螺杆转速下的加入量 M_2 可表示如下:

$$M_2 = \pi D \rho \eta \quad (4)$$

式中: D ——螺杆直径, m;

ρ ——玻纤的线密度, kg/m³;

η ——螺杆直径的有效系数, $\eta < 1$ 。

因为螺杆螺纹块相当于一个表面存在大缺陷的圆柱,它的截面周长要小于直径与螺杆螺纹外径相等的圆柱截面的周长。

从(4)式可知,单股玻纤在单位主机螺杆转速下玻纤的加入量 M_2 只与螺杆的直径 D 和有效系数 η 有直接的联系。而对于同一机台,螺杆直径 D 是一定的;对于同一螺杆组合,有效系数 η 也是一定的。至于玻纤的线密度 ρ 在一般情况下,技术比较

成熟的玻纤制造厂其质量稳定时, ρ 也是一定的。因此单股玻纤在单位主机螺杆转速下的加入量 M_2 一定,即对于同一机台,同一螺杆组合,同一批次玻纤原料,通常将 M_2 作为一个常数来处理。

1.6 两种玻纤含量调试方法

1.6.1 玻纤减量法

此方法就是通过测量长玻纤增强复合材料生产过程中,一定量的玻纤在单位时间内的减少量,同时测量其改性料生产过程中同一时间的产量来调试玻纤含量的方法。

假设某台双螺杆挤出机生产玻纤含量为 ω 的某增强材料时,按以往的经验,其挤出工艺设定为 $V_2/V_1/n$,一开始开机时就按此工艺生产,此时可将所有成卷长玻纤放在电子称上面,以便准确测量玻纤在单位时间的减少量。选择时间以 t min为例,在按下电子秤“清零”键同时,将切粒机口切出的粒料分开接住,时间到 t min后分别测量玻纤加入量 A 和增强复合材料粒料的产出量 B ,则玻纤含量的计算方法为 $\omega = A/B$ 。若 ω 与玻纤含量目标控制值不一致,则可通过计算快速调节主机或喂料螺杆转速,再按减量法称量计算玻纤含量。具体计算如下:

(1) 调节喂料 假设将喂料转速调整为 V_1' ,则有:

$$(1 - \omega) n V_2 M_2 = \omega V_1 M_1$$

$$(1 - \omega) n V_2 M_2 = \omega V_1' M_1$$

化简解方程组得:

$$V_1' = [(1 - \omega) \omega V_1] / [(1 - \omega) \omega]$$

则此时的工艺为:

$$V_2 / [(1 - \omega) \omega V_1] / [(1 - \omega) \omega] / n$$

(2) 调节主机 假设将主机螺杆转速调整为 V_2' ,则有:

$$(1 - \omega) n V_2 M_2 = \omega V_1 M_1$$

$$(1 - \omega) n V_2' M_2 = \omega V_1 M_1$$

化简解方程组得:

$$V_2' = [(1 - \omega) \omega V_2] / [(1 - \omega) \omega]$$

则此时的工艺为:

$$[(1 - \omega) \omega V_2] / [(1 - \omega) \omega] / V_1 / n$$

(3) 同时调节喂料与主机 为了更高效地利用设备,在玻纤稳定后,甚至可以同时调节喂料和主机,即主机与喂料转速同时乘上一个倍率 X ($X > 0$)。

此时的工艺为: $[X V_2] / [X V_1] / n$,推导如下:

$$\omega = n V_2 M_2 / (n V_2 M_2 + V_1 M_1)$$

$$= (XnV_2M_2) / [(XnV_2M_2) + (XV_1M_1)]$$

$$= n(XV_2)M_2 / [n(XV_2)M_2 + (XV_1)M_1]$$

当 $X < 1$ 时,则是为了解决电流过大,生产过载的问题;当 $X > 1$ 时,则是为了充分利用资源,将设备的产能发挥到最大。

当通过调节喂料与主机转速来提高设备利用率时,可能因初始玻纤股数加入不当而出现主机转速已达限额,而设备电流仍然较小的情况,此时可固定主机转速 V_2 ,通过再添加 n' 股玻纤来提高产量,当然喂料转速也相应提高到 V_1' ,则有:

$$(1 - \omega)nV_2M_2 = \omega V_1M_1$$

$$(1 - \omega)(n + n')V_2M_2 = \omega V_1'M_1$$

解方程得: $V_1' = V_1(1 + n'/n)$

即此时可将工艺调整为:

$$V_2/V_1(1 + n'/n)/(n + n')$$

利用此方法一般经过一次测试计算便可以将玻纤含量控制在 $\pm 1\%$ 的波动范围之内,而且可实现不停机的情况下进行不间断的调节,且操作起来快捷方便。

1.6.2 喂料调试法

通过测量某种玻纤增强复合材料的基体树脂在某生产设备上某一喂料转速下的喂料速率,然后与已知该机台生产某玻纤含量的通用工艺相比较,再通过正比关系来反推该复合材料生产所需的喂料转速,从而确定该玻纤增强复合材料的生产工艺,笔者将其称之为喂料调试法。

该方法使用的前提就是要通过实验确定某机台某种玻纤含量复合材料的通用生产工艺做参考,它的表示方法示例如下。

假如玻纤含量为 ω 的玻纤增强复合材料的通用生产工艺为: $V_2/m/n$ (m 为在主机螺杆转速为 V_2 时生产玻纤含量为 ω 的复合材料时稳定的喂料速率, g/min), 则生产任何玻纤含量为 ω 的玻纤增强复合材料时,只需调节喂料转速,使其在单位时间内的喂料量等于通用工艺中的喂料速率 m , 则以此材料为基体树脂在此机台上生产玻纤含量为 ω 的玻纤增强复合材料时的工艺就可确定。具体可根据喂料速率与喂料转速成正比的关系来得出需要的结果。因此以长玻纤加入方式生产玻纤含量为 ω 的玻纤增强复合材料时,可先任意选择一个喂料转速 V_1 , 测出该复合材料基体树脂在单位时间内的喂料量 M , 如此可从如下正比计算式得出该机台在喂料速率为 m 时的喂料转速 V_1' :

$$V_1'/m = V_1/M \quad \text{即} \quad V_1' = V_1(m/M)$$

则实际生产时手动设定的工艺为:

$$V_2/V_1(m/M)/n$$

此外在已知某机台生产玻纤含量为 ω 的复合材料的通用工艺时,还可综合两种方法中的计算公式,算出生产玻纤含量为 ω' 的复合材料的通用工艺。

此方法测量过程相对玻纤减量法要复杂一点,但经过多次检验,该方法的准确率更高,理论与实际测量结果的重合性很好,根本原因在于该方法免除了其它因素的干扰,如玻纤减量法中成品料的水分就无法一下子除去,导致其理论与实际的偏差。此外该方法的一个最大的优点在于可以大大降低机头头的数量,甚至对于某个从未进行过的试验,也可一次性将玻纤含量控制在 $\pm 1\%$ 的偏差范围之内。

1.6.3 生产验证

以下是以 PBT 为基体树脂通过长玻纤加入方式用双螺杆挤出机生产不同玻纤含量的玻纤增强复合材料时,分别用两种玻纤含量调试方法对其进行了调节,并对理论计算与实践结果的偏差进行了比较。

如经过试验测试得到 PBT 在 KS-36 型挤出机上单位喂料转速的喂料量为 $143 \text{ g/r}(M_1)$ 。当主机螺杆转速为 $300 \text{ r/min}(V_2)$, 喂料螺杆转速为 $4.2 \text{ r/min}(V_1)$, 长玻纤加入 4 股(n)时,玻纤增强 PBT 复合材料的玻纤含量为 30%。此时通过长玻纤加入方式以 KS-36 型挤出机生产玻纤含量为 30% 的玻纤增强 PBT 时的经验设定工艺为: $300 (\text{r/min})/4.2 (\text{r/min})/4(\text{股})$; 同时用 KS-36 型挤出机生产玻纤含量 30% 的玻纤增强复合材料的通用生产工艺表示为: $300 (\text{r/min})/600 (\text{g/min})/4(\text{股})$, 则玻纤具体调节示例如下:

(1) 玻纤减量法应用 譬如玻纤更换批次后用 KS-36 型挤出机重新开机生产玻纤含量 30% (ω) 的玻纤增强 PBT 时,开始设定工艺为: $300 (\text{r/min})/4.2 (\text{r/min})/4(\text{股})$, 此时通过玻纤减量法测得玻纤含量为 28.9% (ω_1), 则可用提高主机转速来纠正,通过理论计算主机转速为:

$$V_2' = [(1 - \omega_1)\omega V_2] / [(1 - \omega)\omega] = 316 (\text{r/min})$$

将生产工艺调节为: $316 (\text{r/min})/4.2 (\text{r/min})/4(\text{股})$, 待生产再次稳定后按国家标准中塑料灰分通用测定方法得出的结果为 30.08%, 与计算结果非常吻合。

(2) 喂料调试法应用 由于用 KS-36 型挤出机生产玻纤含量 30% (ω) 的玻纤增强复合材料的通用生产工艺为 300 (r/min) / 600 (g/min) / 4 (股), 则用其生产玻纤含量 30% 的玻纤增强尼龙时, 首先调节喂料, 测得喂料螺杆转速为 4.2 r/min (V_1) 时尼龙的喂料量为 634 g/r (M), 再按喂料调试法计算合适的喂料螺杆转速为:

$$V'_1 = V_1 (m/M) = 3.97 \text{ (r/min)}$$

即可将生产玻纤含量 30% 的玻纤增强尼龙的工艺调整为: 300 (r/min) / 3.97 (r/min) / 4 (股), 待生产稳定后, 同样按国家标准检测玻纤含量为 29.83%, 实践检验结果与理论有着很好的重合性。

这两种用双螺杆挤出通过长玻纤加入方式生产增强复合材料时, 玻纤含量的调试方法经过验证, 实践结果与理论非常接近, 说明两种调试方法有效可行, 而且方法简单易懂, 容易为生产操作人员所掌

握, 因此非常适合于指导生产。

2 结论

(1) 提出了通过长玻纤加入方式采用双螺杆挤出生产玻纤增强复合材料造粒过程中, 快速调节玻纤含量的两种方法, 并可根据需要与不同的现场情况随机结合使用。

(2) 结合实际生产中遇到的问题提出的两种解决玻纤含量波动的方法高效、实用、简洁、准确, 能在开机前或开机后很短的时间内将玻纤增强复合材料的玻纤含量控制在 $\pm 1\%$ 的误差范围之内, 特别适用于业内同行指导通过长玻纤加入方式生产玻纤增强复合材料。

参考文献

- 1 黄锐, 唐志玉, 曾邦禄, 等. 塑料工程手册. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- 2 张向南. 玻纤增强塑料中玻纤含量的控制. 现代塑料加工应用, 1997, 9(5): 36

METHODS OF DEBUGGING FASTLY OF THE CONTENT OF LONG GLASS FIBER IN THE PROCESS OF PRODUCTION OF GLASS FIBER REINFORCED PLASTIC COMPOSITES

She Along¹, Yang Haiyang^{1,2}, Xiao Peng¹

(1. Zhuzhou Times New Material Technology Co. Ltd., Zhuzhou 412001, China;

2. College of Chemistry and Materials Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

ABSTRACT Two methods of controlling accurately the content of long glass fibers in the process of production of glass fiber (GF) reinforced plastic composites by the method of two-screw extrusion were put forward through tests and theoretical analysis. GF content of composites could be adjusted quickly and the defective index was decreased, while the utilization factor of the equipment was increased, by these method. The fluctuation of the content of long glass fiber causing by material batch change could be adjusted quickly. It was efficient to control the quality stability of the GF reinforced plastic composites.

KEYWORDS extrusion, long glass fiber, glass fiber content, controlling

北京星贝达化工材料有限公司

美国大湖化学公司指定经销商: 十溴联苯醚、十溴二苯乙烷(环保阻燃剂)、四溴双酚 A (适于 ABS)、聚溴化苯乙烯 (PBS-64HW) (适于尼龙、聚酯, 热稳定性好, 不析出)、苯氧基四溴双酚 A 碳酸酯齐聚物 (BC-58、BC-52) (适于 PC、PBT、PET、PC/ABS 合金, 且热稳定性好)、磷酸酯(无卤阻燃 PC 用) 系列阻燃剂; 抗氧剂: 1010、168、DSTP、330、GP-45(245)、TBM6(300)。

湖南嘉星铋业公司专售商: 三氧化二铋、铋酸钠(塑料用)、硫化铋(粉/块)、铋锭。

阿托菲纳(阿科玛)指定经销商: 核-壳增韧剂 MBS(E-920, C223)/ACR(D440, D320) 和三元共聚增韧剂(聚酯或尼龙专用)(AX8900, LOTADER4700, LOTADER3210), EMA, EBA 等。

本公司还销售: POE、乙丙胶、SBS、SEBS、EAA、超韧尼龙增韧剂、PC/ABS 合金相容剂、接枝 PP、接枝 PE。

常年招聘销售人员

总公司地址: 北京上地信息路 1 号国科创业园 1-802(100085)

电话: 010-82895069 82895074

http://www.starbetter.com

E-mail: sales@starbetter.com, info@starbetter.com

广州办事处: 东圃商业大厦 A-802(510660)

电话: 020-82580538 82580439

上海湖盟化工公司: 中山北路 2918 号 1-1415 (200063)

电话: 021-62164991 51272622