

新型导线用碳纤维复合材料的拉挤成型工艺技术研究

王秋玲 何州文 张 卓

(中国电力科学研究院,北京 102401)

摘要 对影响碳纤维复合芯导线拉挤成型工艺的树脂体系在模具内的非稳态温度场进行了深入研究,并分析了拉挤成型过程中容易出现的缺陷及原因。

关键词 碳纤维复合材料 复合芯导线 拉挤成型

新型碳纤维复合芯导线是近年来输变电工程领域出现的一种可替代传统钢芯导线的全新产品,具有导电率高、载流量大、密度低、拉伸强度高、线膨胀系数小、耐热性好、耐老化性能好等优点^[1]。碳纤维复合芯导线可以有效提高输电线路的输送容量、电网的安全可靠性,并降低架空输配电工程总成本,对实现输变电领域节能、安全、环保和经济性的更高要求具有非常重要的意义。目前工程应用的碳纤维复合芯导线主要是进口产品,碳纤维复合芯导线的国产化是非常必要且紧迫的。

碳纤维复合芯导线的创新之处在于用碳纤维复合材料替代传统钢芯材料,因此,碳纤维复合材料的加工成型是复合芯导线研究的核心技术,成型技术的优劣将直接影响复合芯的性能,从而在很大程度上决定了整个导线的性能。

碳纤维复合芯导线的制备工艺采用拉挤成型。复合材料拉挤制品具有许多优点,如力学性能好、耐腐蚀、尺寸稳定、热导率低、绝缘性能好、耐老化等,是目前复合材料生产中自动化程度较高的连续成型工艺^[2]。拉挤成型重要的工艺参数包括温度、压力、拉挤速度、牵引力和树脂固化反应等^[3]。拉挤成型的工作流程是在牵引机的拉力下,连续的碳纤维在树脂基体中浸渍,预成型后通过加热的模具,热量传递至液态的树脂/碳纤维复合体系,交联反应开始发生,树脂从复合材料的周边向中心固化。树脂固化后体积收缩,使得复合材料与模具分开,经过脱模、后固化、冷却等流程,最终由收线机进行收卷。工艺流程见图1。



图1 拉挤成型工艺流程图

在拉挤成型工艺研究中,必须对影响拉挤成型工艺过程及最终制品性能的各影响因素进行分析调

整。例如,纤维体积含量对复合芯性能的影响,纤维和树脂的界面性能,拉挤树脂体系在模具内的非稳态温度场,以及模具的工况等。其中拉挤树脂体系在模具内的温度控制是拉挤成型工艺成败的关键。

1 拉挤树脂体系在模具内的非稳态温度场研究

拉挤树脂体系在加热模具中的温度和固化度会严重影响制品的性能。拉挤成型工艺中,拉挤树脂体系在模具内移动伴随复杂的固化反应和相变过程,使得温度在拉挤树脂体系内的传导变得很复杂。同时温度与固化度存在强烈的耦合作用。

拉挤模具分为三个区:Ⅰ区为预热区,一般在120℃左右,为下一阶段的固化反应做准备,同时液压的提高也便于热量向内传递;Ⅱ区为凝胶区,树脂发生固化反应并产生相变,从粘稠态转变成为凝胶态;Ⅲ区为恒温区,可防止温度骤变导致复合材料产生裂纹。如图2所示。

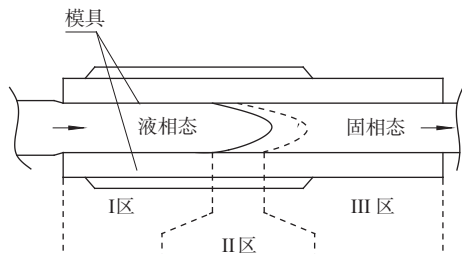


图2 模具分区示意图

在接近模具出口处,表面沾有脱模剂的制品会从模具表面脱离下来。如果材料内外温差或出口处的温度梯度太大,会导致固化不均匀而产生裂纹。因此拉挤成型工艺必须选择合适的模内温度,设定合适的预热温度和牵引速度,以获得最佳固化温度和固化时间,将内应变控制在一定范围内,保证材料性能,宏观上不产生裂纹。

由拉挤成型基本原理可知,模具三区的温度控制是拉挤成型工艺成败的关键。笔者采用差示扫描

量热(DSC)法测试了所用环氧树脂(EP)体系固化反应的放热特性,如图3所示(其中 T_{onset} 为通过切线作出的固化反应起始温度)。然后结合DSC曲线比较了不同模具温度分布下的制品性能,结果如表1所示。

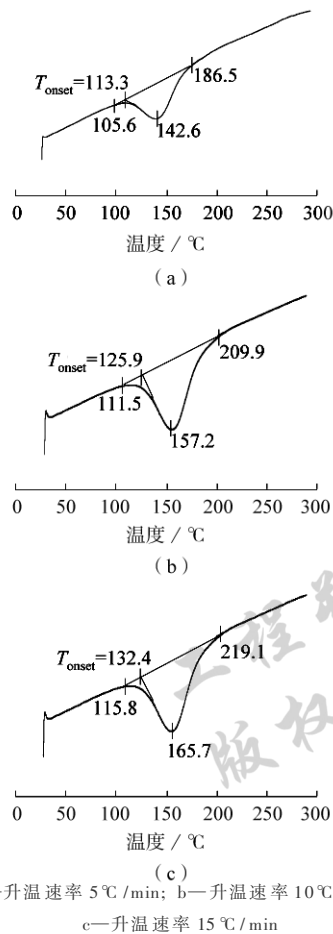


图3 不同升温速率下EP的DSC曲线

表1 模具温度分布与制品性能关系

三区温度/°C	牵引力/N	拉伸强度/MPa	表面状态	备注
110/165/185				堵模
140/165/185	980		粗糙	局部粘模
125/165/185	539	2 200	光滑	
125/140/185	686		粗糙	粘模
125/185/185	539	1 700	光滑	产生部分裂解
125/165/160	549	1 500	光滑	固化不充分
125/165/200以上	490	1 600	光滑	固化中产生部分裂解

从图3可以看出,不同升温速率下EP的DSC曲线差别较大,升温速率高的DSC曲线放热区间宽、放热起始温度高、放热峰面积大。较低的升温速率更能反映EP的实际固化反应过程,所以在试验过程中,选择了升温速率为5 °C/min的DSC曲线作为参考。但在拉挤过程中,传热速度相对较慢,模具

温度需要进一步修正。

从表1可以看出,当三区温度为125、165、180 °C时,制品表面光滑且力学性能优良。若预热区温度太高,凝胶点前移,导致体系粘度过早增大,牵引力增加,发生局部粘模,产品表面粗糙;温度太低,预热不充分,易引起树脂在凝胶区粘模,造成脱模困难,牵引力增大,最后堵模,拉挤成型失败。凝胶区的温度应控制在165~180 °C内,若温度太高,加上EP凝胶时放出的热量可能导致复合材料裂解而使性能降低;若温度太低,凝胶时间长,粘模会使牵引力增加,从而导致制品表面不光滑。恒温区温度也应适中,若太低则固化不完全,太高则可能引起制品裂解,均会降低制品的性能。

同时,拉挤速度也是影响生产率和制品性能尤其是拉挤成型工艺成败的关键因素之一。其应同模具温度协调一致,即模具温度高,拉挤速度应相应提高。在一定的模具温度下,拉挤速度也有一最佳值,如在模具温度为125/165/180 °C下,以20 cm/min的速度进行拉挤时,牵引力小,制品表面光滑、性能优良;以15 cm/min的速度拉挤时,树脂的预热时间长,凝胶点太靠前,造成脱模困难;以25 cm/min速度拉挤时,凝胶点后移,拉挤制品由于固化不完全而性能降低。

2 拉挤成型过程出现的缺陷及原因

拉挤成型过程中出现的缺陷及产生的原因如表2所示。

拉挤成型过程中出现的缺陷及原因	
缺陷	原因
粘模,甚至把制品拉断	纤维及填料含量低;内脱模剂效果不好或太少;固化度太低
表面出现白粉,粗糙度高	脱离点剪应力太大,产生爬行蠕动;脱离点太超前于固化点
固化不均匀、不稳定或不完全	拉挤速度太快;温度波动或太低;制品太厚;固化时间太短
制品表面不平整,有沟痕	纤维含量低,局部含纱量少;粘模、模具划伤
白斑,制品局部发白或露有白纱	浸渍不好;有杂质混入,制品内部形成气泡;表面树脂层太薄
裂纹,制品表层产生裂纹	固化不均匀
表面起毛	纤维过多;树脂与纤维粘结不良,偶联剂效果差
表面起皱、破碎	表面树脂层过厚;成型压力小;纤维含量太低

3 结语

对碳纤维复合芯导线拉挤成型工艺中的关键因素——树脂体系在模具内的非稳态温度场进行了研究和试验对比,并分析研究了碳纤维复合芯导线拉挤成型过程中出现的缺陷及产生的原因,为碳纤维

复合芯导线的产业化和国产化提供了必要的参考。

参考文献

[1] 尤传永. 架空输电线路合成导线的开发研究[J]. 电力建设, 2004, 25(11): 1-6.

[2] 苏小平. 碳纤维增强复合材料的应用现状[J]. 高科技纤维与应用, 2004, 29(5): 34-39.

[3] 韩默生, 朱可源, 郭玉志. 碳纤维及其复合材料制备、检测与应用新技术实用手册[M]. 中国化工电子出版社, 2007.

PULTRUSION MOLDING PROCESS TECHNOLOGY OF CARBON FIBER COMPOSITE USED FOR NEW CABLE

Wang Qiuling, He Zhouwen, Zhang Zhuo

(China Electric Power Research Institute, Beijing 102401, China)

ABSTRACT Non-steady-state temperature field of resin system in the mold affecting the pultrusion molding process of carbon fiber composite core cable was studied. The defects occurred easily in the pultrusion process and the reasons were analyzed.

KEYWORDS carbon fiber composite, composite core cable, pultrusion process

我国电线电缆市场前景广阔, 绿色环保是趋势

电线电缆行业产品种类繁多, 应用范围十分广泛, 涉及到电力、建筑、通信、制造等行业, 与国民经济的各个部门都密切相关。电线电缆还被称为国民经济的“动脉”与“神经”, 是输送电能、传递信息和制造各种电机、仪器、仪表, 实现电磁能量转换所不可缺少的基础性器材, 是未来电气化、信息化社会中必要的基础产品。尤其象我国这样的快速发展中国家, 基础设施建设及配套设施建设的庞大需求不言而喻。

随着我国经济持续快速地增长, 为线缆产品提供了巨大的市场空间, 我国市场强烈的诱惑力, 使得世界都把目光聚焦于我国市场, 在改革开放短短的几十年, 我国线缆制造业所形成的庞大生产能力让世界刮目相看。伴随着我国电线电缆行业高速发展, 新增企业数量不断上升, 行业整体技术水平得到大幅提高, 也吸引了为数不少的外资进驻我国。

随着欧盟颁布 RoHS 指令, 生态环保电线电缆的研发和大规模采用已成为国际趋势。目前国内外阻燃、防火电缆应用已扩大到很多领域, 如矿用橡套电缆、电梯电缆、家用电器用线缆均有不同程度阻燃要求。

电线电缆行业是我国仅次于汽车行业的第二大行业, 产品品种满足率和国内市场占有率均超过 90%。在世界范围内, 我国电线电缆总产值已超过美国, 成为世界上第一大电线电缆生产国。伴随着我国电线电缆行业高速发展, 新增企业数量不断上升, 行业整体技术水平得到大幅提高。

我国北京、上海等重点城市已明确规定: 重要建筑禁止使用聚氯乙烯电线电缆, 以避免火灾发生时大量浓烟、氯气, 造成更多人员伤亡, 采用无卤低烟交联聚烯烃绝缘电线电缆已成为这些地区的地方法规, 随着环保意识的增加, 这类电线电缆的应用会逐步扩大。 (中聚网)

化工新材料扮靓上海世博会

日前, 上海世博局宣布, 世博轴、中国国家馆、世博中心、主题馆工程建设已近尾声, 90% 的建设安装工作已完成。据了解, 化工新材料、新技术广泛应用于世博园建设和装修中, 彰显出节能、环保、低碳经济等元素, 将扮靓 2010 年 5 月 1 日在上海开幕的这届科技盛会。

节能、环保、高效新材料的应用是上海世博会的一大亮点。长 1045 m、宽 100 m 的世博轴, 是园区内最大的单体工程, 巨型立交桥朵朵“白云”, 采用的是高强度聚四氟乙烯 (PTFE) 材料。此外, 陶氏旗下舒泰力挤塑聚苯乙烯 (XPS) 隔热保温板, 用于世博会城市最佳实践区项目。由中石化、中石油和中国海油联合建设的石油馆, 位于上海世博园浦西片区, 建筑面积 6200 m²。其造型简洁大方、特色鲜明, 建筑外表皮由聚碳酸酯 (PC) 板加工成管道单元, 经纵横交错“编织”而成。 (慧聪网)

Teknor Apex 公司推广新乙烯基塑料“微球” 供汽车使用

Teknor Apex 公司近日宣布, 该公司现供应乙烯基“微球”, 供汽车仪表板、安全气囊盖和饰件的生产厂家使用, 可采用模内着色工艺, 产品具有色泽亮丽和触感好的特点。与塑料粉末和塑料溶胶相比, 具有密度低和加工工艺简单的优点。

微球的直径仅有 0.1 mm, 采用搪塑和滚塑等工艺时, 可在中空成型模内自由流动。Teknor Apex 为非汽车市场生产这种微小直径的塑料颗粒已有多年, 目前已与 Bayer Material Science AG 达成协议, 获得向国际汽车工业销售这种塑料微球。Teknor Apex 将使用 Tek-Spheres 作为这种微球塑料的商品名称, 其邵氏硬度为 55~90。

Teknor Apex 的微球采用熔融共混工艺生产, 在聚氯乙烯树脂内加入色料、增塑剂和其它添加剂, 形成均相混合物, 然后与热模接触, 实现快速熔融。 (中聚网)

科聚亚宣布 2 月 1 日阻燃剂全球提价

化学品生产商科聚亚公司日前宣布将自 2010 年 2 月 1 日起在全球范围内对其 BA-59P(R)、HBCD [包括所有的 CD-75P(R) 及 SP-75(R)], PH-73FF(R) 及其它一些溴阻燃剂实施提价, 最高涨价幅度达 20%。科聚亚表示日益高涨的主要原材料, 特别是苯衍生物和氯气的价格催生了此次提价。科聚亚提供的防火阻燃剂用于电视机、电脑、电器中转设备、电器部件及建筑物中以提升这些物体的安全性。 (PUWORLD)