

\*

# 高硅氧纤维/酚醛模压制品裂纹的产生原因及控制措施

原东霞, 孙晓霞

(中国航天科工集团第六研究院 内蒙古 呼和浩特 010010)

**摘要:** 研究了高硅氧纤维/酚醛树脂模压制品裂纹的产生原因, 分析了模具设计与安装、嵌件安放、预混料性能、成型工艺条件和机械加工等影响因素, 并提出了控制裂纹产生的有效措施, 对生产实践具有重要指导意义。

**关键词:** 高硅氧纤维/酚醛树脂模压制品; 裂纹; 产生原因

**中图分类号:** T Q 323. 1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007—6921(2012) 15—0087—02

模压成型是复合材料成型的重要方法之一, 其历史悠久, 工艺重复性好, 制造费用低, 因此被广泛应用。高硅氧纤维/酚醛树脂模压复合制品具有重量轻、比强度高、电绝缘性能好、耐瞬时高温性能好等优点, 是理想的热防护和耐烧蚀材料, 常用于航天航空产品领域。

影响模压制品质量的因素很多, 从模具设计到工艺方案, 每一个步骤都会影响最终制品的性能, 若方法不当, 会导致制品的缺陷。而裂纹是缺陷的主要表现形式之一, 制品一旦产生裂纹, 可能会造成整个制品报废, 特别是整体成型的较大制品, 无论从当前昂贵的原材料还是从制品的生产周期而言, 造成的损失是巨大的<sup>[1]</sup>。为了提高生产效率, 降低成本, 必须尽量减少制品裂纹的产生。笔者针对以氨酚醛树脂为基体, 高硅氧纤维为增强材料的复合模压制品, 分析了制品裂纹产生的原因并提出控制措施。

## 1 裂纹产生原因及控制措施

### 1. 1 模具

#### 1. 1. 1 模具尖角

设计模具时, 尽可能避免尖角, 因为尖角处极易产生应力集中, 在受力或受冲击振动时会发生破裂, 甚至在脱模过程中, 由于内应力而开裂, 特别是内角。因此, 采用圆角过渡, 可降低应力集中, 减少裂纹产生。圆角半径的大小通常应根据壁厚来选取, 这样可兼顾壁厚均匀性。

#### 1. 1. 2 脱模斜度

模具没有脱模斜度或脱模斜度过小, 会使制品在脱模过程中受力过大, 产生裂纹。脱模斜度设计与模具光洁度和制品大小有关, 若模具光洁度较好, 制品尺寸较小时, 脱模斜度可稍小, 大约 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$ ; 模具光洁度稍差, 制品尺寸较大, 脱模斜度应稍大些, 可选 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ; 以利于出模。

#### 1. 1. 3 模具安装

模具安装需要控制上下板的平行度和阴阳模合模间隙。若压机上下板不平行或顶出杆不平行, 会导致制件受力不均从而产生裂纹。因此, 安装上下板和

阴阳模时, 要保证平行度不大于 $0.05\text{mm}$ 。调好上下板的平行度, 需要试运行阳模, 保证合模间隙的均匀一致。同时, 安装好阴阳模具后, 合模检查配合间隙的均匀度, 以保证制品壁厚均匀, 这样才能保证最终制品的质量。

### 1. 2 嵌件

许多模压制品带有金属嵌件, 安放嵌件的目的是为了提高制品的机械强度或为了方便与其他零件相连接。而嵌件大小和安放位置不当会产生内应力, 从而导致裂纹产生。由于金属收缩率小于非金属收缩率, 当金属周围非金属太薄, 制品冷却时, 制品收缩率较大, 而金属收缩率较小, 金属周围会产生较大内应力, 从而导致裂纹产生。因此, 金属嵌件周围的非金属层尺寸不能太小。另外, 在压制前, 要对嵌件预热。同时, 金属嵌件的设计也会对模压制品产生影响, 应尽量避免尖角。在成型脱模后对制品进行后固化处理, 减少由于温度变化引起的内应力。

### 1. 3 预混料挥发分含量

预混料挥发分含量的高低会对制品产生较大影响, 需要在压制制品前检验。高硅氧纤维/酚醛树脂模压料的挥发分含量应控制在一定范围内, 否则, 会影响预混料的流动性, 进而影响制品性能。若挥发分含量过高, 树脂在成型过程中大量流失, 纤维和树脂离析, 导致制品不同部位产生贫、富胶现象甚至开裂。若预混料挥发分含量过低, 会导致模压料流动性差, 可能导致局部缺料、局部纤维裸露。挥发分过高或过低均不利于制品成型, 实践证明, 挥发分含量在 $2.5\% \sim 2.8\%$ 之间时, 模压制品效果最好, 不易出现表面或内部起泡、贫胶、聚胶、粘模等缺陷。在一定范围内, 可以通过调整预混料的烘料时间改善挥发分含量, 烘料时间越长, 挥发分含量越低。

### 1. 4 模压工艺条件

#### 1. 4. 1 温度

高硅氧纤维/酚醛树脂模压制品成型过程中预混料的流动、充模、固化反应速度都与温度有着密切关系, 而且温度在模压成型过程中又起着主要作用,

\* 收稿日期: 2012-04-28

作者简介: 原东霞, 女, 中级工程师, 本科。

它影响着树脂基体交联程度,因而也影响复合材料制品最终性能<sup>[2]</sup>。

1.4.1.1 装模温度。装模温度过高,制品外层迅速固化,影响物料流动性,会产生内应力导致裂纹。当预混料挥发组分含量高,不溶性树脂含量低、结构复杂或较大的模压制品难以装模时,装模温度应低些;对于结构简单、批量大的制品,提高装模温度可以缩短成型周期,提高生产效率。

1.4.1.2 升温速率。成型过程中的升温速率与模压料固化反应速度密切相关。升温太快,容易造成固化不均而产生内应力,很可能导致裂纹;升温太慢则生产效率低。高硅氧纤维/酚醛树脂模压制品的升温速率为加压前(1~2)/min,加压后为(10~30)/h,大型模压制品可以相应降低升温速率,以保证制品均匀升温。

1.4.1.3 成型温度。通常,模压温度过高,会使模压料的交联速率太快导致其熔融黏度快速增加,流动性下降,造成充模不全;另一方面,由于制品是热的不良导体,过高的模温使塑料外层因先受到模具的高温很快硬化,等内层硬化时,产生的低分子挥发物很难排出,导致制品中产生很大的内应力,使制品产生鼓泡甚至开裂。

1.4.1.4 模温均匀性。若模温不均匀,会导致制品不同的流动性和固化速度不一致,而且,对较大型模具而言,模具中部散热较快,上、下加热板传热速率也不能完全平衡,会产生内应力,导致裂纹的产生。因此,在设计模具时,阴模外表面安装电热装置,使模具均匀受热,降低制品内应力。

#### 1.4.2 模压压力

模压压力是指成型时迫使塑料充满型腔和进行固化时由压机对物料所施的压力。形状复杂、厚度大、结构紧密、外观质量好的制品,所需成型压力高,反之,可适当降低成型压力。加压时机也十分关键,只有当树脂反应程度适中,分子量增加所造成黏度适度增加时加压,才能使树脂本身既能在热压力下流动而又同时使纤维同树脂一起流动,才能得到较好质量的制品,否则,制品会由于加压不当造成裂纹、纤维裸露等缺陷。

#### 1.4.3 模压时间

模压时间是指模塑料从充模加压到完全固化为止的时间段。模压时间太短,交联程度过低,制品表现为机械强度低,耐热性、耐化学腐蚀性差,后收缩增大,表面无光泽,容易出现变形和裂纹;如果固化时间太久,交联度过高,不仅生产效率低,而且会因树脂过度交联而导致制品变脆,收缩率增大,机械强度差,表面出现密集小泡或裂纹。模压时间的设定与制品高度有关,制品越大,壁厚越厚,时间越长。

#### 1.4.4 后固化处理

为提高质量,制品脱模后常在烘箱中后处理,目的是提高制品固化反应程度,通过提高温度,使尚未反应的基团间继续交联增加密度,去掉残留挥发分同时消除制品内应力,提高强度,减少裂纹产生<sup>[3]</sup>。高硅氧纤维/酚醛树脂模压制品的后处理温度为100~120,时间为2h~3h。

#### 1.5 机械加工

若模压制品尺寸精度要求较高,还需进行机械加工,机械加工过程不当也会导致裂纹产生。比如装夹方式、刀具材料、进刀量等的不恰当选择,都可能产生机械应力,导致裂纹产生。因此,对高硅氧纤维/酚醛树脂模压制品而言,机械加工过程中,一般用软爪装夹毛坯,采用金刚石刀具材料,进刀量为0.1mm/r~0.3mm/r,可有效减少裂纹产生。

#### 2 结论

分析了高硅氧纤维/酚醛树脂模压制品裂纹产生的影响因素,分别从模具、嵌件、预混料挥发分含量、模压成型工艺条件及机械加工等因素阐述了裂纹的产生原因,同时提出了有效的控制措施,对生产实践起到了重要的指导作用。

#### [参考文献]

- [1] 赵渠森,申屠年.先进复合材料制造技术[J].高科技纤维与应用,1999,24(5):1~12.
- [2] 胡浚.塑料压制成型[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [3] 刘雄亚,谢怀勤.复合材料工艺及设备[M].武汉:武汉工业大学出版社,1994.

(上接第86页)(71PA01)和无载调压变压器(71PA02)配合调压供电。试验时调节电压和频率使其达到被试电机的额定电压和额定频率。通过陪试直流发电机G2给被试电动机加载,并调节四象限运行变频器的上网电压、频率,实现并网运行。此时测取被试电动机的输入端电功率及机械输出功率(转速转矩传感器端输出转矩及转速值)。

#### 3 测控描述

试验台设计控制检测集于一体,主要由计算机+PLC+数据采集模块+工业显示器组成,其中PLC完成逻辑动作控制;数据采集模块主要完成电量、振动、温度及转速转矩检测;计算机作为操作处理接口,实时采集并显示试验数据,除此之外,完成试验数据的自动存储及报表生成打印等;显示器主要用于界面显示控制(包括步进调压、线路切换、开关分合、档位转换等)及数据监控(监控所有试验的实时数据)。试验测控软件采用目前主流编程软件。

NET和LABVIEW进行编制,采用SQL SERVER2000数据库进行数据存储。

逻辑控制单元包括工业计算机、PLC、中间继电器、安全监测装置等,主要用于完成工频电源电压调节、直流变流器及变频器运行控制、试验线路切换控制、通风冷却用风机运行控制等,对于开关控制,均设计有动作位置反馈检测;对于电压、频率等调节,均设计有输出检测,在PLC中实现PID反馈控制。

#### [参考文献]

- [1] 才家刚.电机试验技术及设备手册[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 王益金,张炳义.电机测试技术[M].北京:科学出版社,2004.
- [3] 王兆安,黄俊.电力电子技术(第4版)[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [4] 陈伯时.电力拖动自动控制系统(第3版)[M].北京:机械工业出版社,2003.