

酚醛树脂模压复合材料制品裂纹改进措施研究

张建川

(上海玻璃钢研究院, 上海 201404)

摘要 分析了酚醛模压复合材料制品出现裂纹的特点及其产生原因; 针对这些原因提出了从制品结构设计、模具设计、成型工艺、后处理、贮存条件等 5 方面采取多项改进措施来减小或消除制品应力。经试验证明, 这些改进措施有效, 明显减少了制品出现裂纹现象, 对生产实践具有较强的指导意义。

关键词 酚醛树脂 模压成型 复合材料制品 裂纹 改进措施

酚醛树脂(PF)模压复合材料制品(以下简称“PF模压制品”)尺寸稳定、蠕变极小,具有较高的力学强度及优良的电绝缘、阻燃、耐腐蚀、耐辐射、瞬时耐高温、耐烧蚀等性能,被广泛应用于电气工业、航空航天及空间技术等领域,并以热固性、耐热性工程塑料等美称闻名于世。但PF模压制品较脆、收缩率大、不耐碱、易吸潮、耐冲击性差,在后期贮存和使用过程中,少数制品易出现裂纹,严重时制品沿裂纹方向破坏,进而影响制品质量并限制其应用。经统计,PF模压制品在生产和使用过程中出现的质量问题多数由裂纹引起。现将笔者多年来改进PF模压制品裂纹的资料加以汇集、整理,与大家交流。

1 PF模压制品裂纹特点及其原因分析

1.1 特点

在长期研制和使用过程中,发现PF模压制品出现裂纹有一定规律性:其裂纹以可见类微裂纹居多;出现时间较长,一般在2年左右;同种制品裂纹出现部位相对稳定、集中,且通常情况下该部位为工艺难点或制品结构设计弱点,并可从制品结构设计上预知。

1.2 裂纹产生原因

PF模压制品的制造有一个高温固化然后冷却的过程,因而其内应力十分复杂且客观存在。在生产、贮存和使用过程中,少数制品会出现不同程度的裂纹,根本原因是裂纹处材料应力大于材料强度所致。此材料应力即为通常所说材料内应力与外应力的合力,前者又称残余应力并长期存在于模压制品中。材料应力主要包括热应力、温度梯度场应力^[1]、后固化应力、机械应力等4大类。

(1) 热应力

PF模压制品的热应力又称非均匀热机械应力,主要有3种:一是因增强材料与基体树脂弹性模量、线胀系数不同而产生的热应力;二是模压时因纤维

优先取向造成线胀系数各向异性而产生的热应力;三是因制品材质不均匀而产生的热应力。这3种热应力随制品存在而存在,并常以合力形式作用于制品。

(2) 温度梯度场应力

PF模压制品基本为绝热类制品,其不同部位因热胀冷缩先后而产生温度梯度场应力。对于多层结构制品,尤其是层间弹性模量相差较大时,因弹性模量、线胀系数等因素的综合作用而更为复杂,应力将更大。在后期这种情形时常反复出现,进而产生疲劳效应等。

(3) 后固化应力

PF在体型缩聚固化过程中因反应体系粘度增大、分子流动性降低、分子链时常纠缠在一起等原因而使交联反应未完全进行,同时在不同部位其交联反应程度不同,水分等低分子物也未能完全逸出、挥发,从而导致其模压制品在脱模后一部分低分子物继续挥发,一部分活性端基、官能团与空气中的氧逐渐发生氧化-还原反应,进而产生大小不等的后固化应力。脱模后制品因吸水而产生微缺陷等变化时也产生一定后固化应力,并因微缺陷的存在而使相关性能迅速降低。

(4) 机械应力

机械应力因机加工、装配等外力作用而引起,主要有3种:一是保压关机冷却时因收缩不均而产生的限制变形机械应力;二是制品脱模时因受力不均而产生的外力机械应力;三是机加工、装配时产生的外力机械应力。这3种机械应力均有一个共同特点:随外力存在而立即出现;当外力较大时,应力将导致制品出现裂纹、甚至破坏等;当外力撤除时,应力将迅速降低,并接近于零。鉴于此,又将机械应力

称为瞬时速变应力。

以上 4 种应力常以合力形式存在, 前 3 种为材料应力主要部分并被称为材料内应力; 机械应力为外应力的一种, 通常较小, 但一定条件下会成为主要应力。

综上所述, PF 模压制品的应力由模压料热力学性能、温度或固化时间等的非均匀性而引起, 其大小除与复合材料组分性能、组分比、温度差等有关外, 还与制品结构、整个成型过程等密切相关, 并具有长期性、复杂性、普遍性等特点, 当受温度、压力、载荷等交变作用或外力作用时, 其情形和影响更为复杂。

2 改进 PF 模压制品裂纹的措施

鉴于上述分析, 减小材料应力对制品质量、性能及使用的影响主要有 2 种方法: 一是在满足制品其它性能与成型工艺条件下进一步提高制品的拉伸强度和韧性等性能; 二是通过改进成型工艺等使材质更均匀、过渡更平稳。

综合考虑材料应力与强度特点, 以及制品的整个成型过程, 可从以下 5 个方面着手进行改进。

2.1 合理设计制品结构

PF 模压制品是将预浸料经一定预成型后在模具中升温加压固化而成。升温促使物料流动、PF 发生一系列复杂的化学反应、低分子物挥发等; 加压促使物料和低分子物流动、使制品致密化。理想的加工条件是各部位物料均能直接受压, 即制品的理想形状为锥形; 而实际制品常为圆柱形、圆筒形、长方形等, 或由前两种或多种基本形状组成, 在模压时部分区域将间接受压, 其致密性、材质均匀性等往往较差, 易成为应力与裂纹集中区域。根据多年经验, 对制品结构设计提出如下参考原则:

(1) 制品形状宜为锥形、圆锥形等对称结构。

(2) 如制品仅为圆柱形、圆筒形等规则回转体形时, 则其高度不能超过 250 mm, 最好控制在 200 mm 内, 模压时宜将制品适当改成锥形, 模压后机加工成最终制品。

(3) 如制品为圆柱形、圆锥形等的组合形状, 锥度宜大; 圆柱部分厚度宜大于 5 mm, 高度不宜小于 10 mm, 同时形状过渡宜平缓。

(4) 如制品含有金属嵌件并要求部分外露, 结构设计时金属嵌件与复合材料之间过渡宜平缓, 以便物料平滑流动; 同时注意金属嵌件与复合材料线胀系数的匹配性和结构对称性。成型工艺设计时, 复合材料宜部分或整体包围金属嵌件, 脱模后机加

工成最终制品。如直接模压成最终制品, 部分区域将因受压不够而不致密, 特殊情况时还可能发生物料逆流等现象, 进而出现增强材料皱折或团聚、树脂聚集或积胶, 甚至含有少量脱模剂等情况, 从而成为应力集中区域或裂纹高发概率区。

(5) 制品厚度不宜大于 120 mm, 最好控制在 80 mm 内, 不同部位间厚度过渡宜平缓。

总之, 在制品结构设计过程中, 在满足制品性能和使用的前提下应充分考虑成型工艺与机加工两者的优势互补性, 进而减小、均匀或消除因制品结构设计而产生的热应力、温度梯度场应力、机械应力。

2.2 合理设计模具

模具设计分为预成型模具设计和模压模具设计两部分, 有时只考虑后者, 具体情况视成型工艺而定, 且两者时常相互影响, 并受成型工艺主导。

(1) 预成型模具设计

PF 模压制品均需预成型, 但有的制品因成型工艺、形状等决定了不便于在压模型腔内直接预成型, 这时就需设计预成型模具; 有的复杂制品因工艺要求可能需采用多个预成型模具进行分别预成型, 然后辅以相应方式进行总体预成型。

在设计预成型模具时, 首要问题是根据成型工艺所选预浸料蓬松比进行尺寸设计, 预浸料因种类、预成型方式不同其蓬松比为 1.2 ~ 1.6; 其次是在保证强度和加压条件下, 质量宜轻, 以便搬运、脱模等; 再次是其材质既可选用金属, 也可选用非金属, 具体情况根据预成型方式、加压与否及加压方式等确定。

(2) 模压模具设计

模压模具又称压模, 为制品模压时提供加热、加压和外形尺寸, 应便于工艺成型和操作。设计时既应充分考虑模压方向对预浸料流动、铺层滑移、制品质量等的影响, 又要考虑加热方式和加热布局对制品质量的影响, 否则将导致不同部位 PF 因受热不均而引起反应速度、固化度、含胶量等的不同, 进而造成因材质不均而引起较大的局部内应力。

模压模具的型腔尺寸通常为制品最终尺寸, 也可与制品尺寸不同, 具体情况视成型工艺而定。所设计的模压模具要便于制品预成型、操作、脱模、搬运等, 同时还应考虑留有合理的间隙, 以便多余物料流出、低分子物挥发等。总之, 合理设计模具, 有利于减小、均匀制品内应力。

2.3 优化设计成型工艺

优化设计成型工艺是最为关键、最为复杂的环

节。要满足 PF 模压制品的性能,不但对原材料有多种选择余地,而且对选定的原材料也因成型工艺多样而使制品性能差异极大。由成型工艺产生的制品内应力主要有 2 种:一种是因制品不同材料的热学性能不一致而产生的内应力;另一种是因制品材质不均匀而产生的内应力。前一种内应力可通过精心选材、合理设计铺层等而使之大为减小;而后一种内应力因成型工艺很难彻底解决材质均匀性,因而其影响性和潜伏性是长期客观存在的,而且在产生裂纹方面往往起主导作用或为主要诱导因素。总之,成型工艺的优化设计主要围绕两个方面进行:一是把好原材料关,确保原始强度、性能,特别是拉伸强度和韧性,并提高树脂对增强材料的浸润性和线胀系数的匹配性;二是在后期操作中通过精心设计工艺流程和工艺参数,使材质尽可能均匀,过渡更平稳。制品成型工艺设计主要包括下列 6 个方面。

2.3.1 原材料选择

基体树脂对制品韧性影响最大,增强材料对制品强度影响最大,同时也应注意其它材料对制品性能的影响及多种材料间线胀系数的匹配性。

(1) 基体材料

目前 PF 基本实现系列化生产,但刚性大、质脆,其性能、强度受生产原料质量与本身固体含量、挥发分含量、水分含量、贮存方法与时间等影响较大。根据制品性能和成型工艺要求选好树脂后,应采取措施提高其韧性、降低其线胀系数等,可采用的措施有 3 条:①向 PF 中加入内增韧剂,通过封闭 PF 官能度来减少固化时水等低分子物的释放,从而形成改性 PF,如 PF 与环氧树脂(EP)或异氰酸酯共聚、热固性 PF 与热塑性 PF 共聚等;②向 PF 中加入外增韧剂,如二甲苯、ABS、天然橡胶等高性能非 PF 类物质;③将 PF 与其它树脂共混使用,如热固性 PF 与热塑性聚合物共混等,使二者在兼容的同时,通过某种强的相互作用而实现性能互补。此外,还可在 PF 中加入 γ 、 r -二氯丙醇醚化酚羟基等添加剂,以改善其耐碱性。

(2) 增强材料

在 PF 模压制品中,常用的增强材料有玻璃纤维(GF)、高硅氧 GF、碳纤维(CF)、PF 纤维、芳纶纤维及其织物等,选择时应注意纤维长径比及均匀性、表面处理剂残留情况、表面质量及与基体树脂界面结合性能等,因为它们直接影响制品强度等性能。使用前最好进行表面处理以提高其活性。选用单一

增强材料时,最好选用表面活性高、粗糙、树脂对其浸润性好、模量中等的增强材料。选用混杂增强材料时,最好选用高低模量组合材料。另外应考虑贮存等环境对纤维表面、纤维与树脂结合界面的影响,通常增强材料最好在温度 20 ~30℃、相对湿度小于等于 60% 的条件下贮存。

(3) 其它材料

①偶联剂 通过改善 PF 对增强材料的浸润性及二者的界面结合状态来提高化学键比例,甚至全部代替范德华键,进而大幅提高复合材料的强度,是减少或消除材料与制品裂纹最直接、最有效的方法。将一定量的化学偶联剂直接引入 PF 的应用迁移法,是改善界面粘结性能的最简单、最有效的方法,根据多年经验,KH-550、KH-560、KH-580、B201 等偶联剂的使用效果较好。

②脱模剂 制备 PF 模压制品时,宜选用外脱模剂,尽可能不用内脱模剂。选用时既要考虑到模具材料、脱模剂涂敷时间、树脂种类、成型温度、制品制造周期及制品后期是否需涂漆或涂覆树脂等;同时也应兼顾脱模剂使用方便、成膜时间短、成膜均匀、光滑且粘附力小、不与树脂反应且不影响树脂固化等;最好成膜剂在 200℃ 左右长期呈薄膜状,否则,可能渗入表层模压料,致使该处材料拉伸强度等大幅降低。笔者曾做过这方面的试验,根据测试数据计算,渗入脱模剂部分的拉伸强度会降低 60% 以上。

③填料、化学改性剂等 选择时除要考虑质量、均匀性、成本之外,还应考虑其是否参与化学反应及其对成型工艺、树脂、增强材料和制品性能的影响。

2.3.2 预浸料制作

制备 PF 模压制品均要用到预浸料,在基体树脂一定时,因增强材料种类、形态不同,所制预浸料及制品性能也不同。预浸料制作方式主要有下列 3 种。

(1) 单一预浸料

单一预浸料较为常用,这种预浸料中同种增强材料常以单一短切乱丝、定长丝、长纤维状及平面织物等形式存在,其预浸料形态相应为片状、乱丝状、束状、平面层状(厚度大于等于 1 mm)等。这种预浸料既可单独使用,也可按一定方式交叉、混杂使用。

(2) 混杂纤维预浸料

随着航空航天事业的发展,对 PF 模压制品在

刚度、断裂韧性、疲劳强度、特殊热膨胀性能、制造成本等方面提出了越来越高的要求,单纯改进基体树脂已难以同时满足上述要求,发挥增强材料的兼容性,进行纤维混杂便成为新的研究和使用的热点。

混杂纤维通常指两种或两种以上的纤维混杂,一种为高模量、断裂伸长率小于等于 1% 的高性能增强纤维,如 CF、碳纤维、碳化硅纤维、氮化硅纤维等;另一种为断裂伸长率、强度均较高,但模量比金属低 1 个数量级的普通增强纤维,如 GF 等。混杂纤维类型、比例、混杂方式等对预浸料和制品性能影响较大。根据混杂方式不同,目前实用混杂纤维预浸料有 A 型、B 型、C 型、AB 型、D 型 5 种^[2],但在实际应用中也可使用由上述预浸料组成新的、更为复杂的混杂预浸料。

(3) 纺织预成型体^[3]与超混杂形态预浸料

在宇航领域对复合材料的技术要求更高,尤其是在结构件、结构功能件等方面,常规制作的复合材料制品已难以满足其使用要求,而由纺织预成型体制作的复合材料制品不但填补了这一需求空白,而且以其独特的优势将被更深入研究、更广泛应用;目前存在的主要问题是成品率低、成本太高。

今后由上述 3 种预浸料分别或共同组成的超混杂形态预浸料将成为研究和使用的主体;通过超混杂形态预浸料不但可以满足制品多功能、多性能要求,而且还可将制品线胀系数、不同部位弹性模量等调节至一合理范围,从而大大降低制品内应力。

在预浸料制作过程中,应严格控制树脂含量、挥发分、可溶性树脂含量等技术指标,此外,增强材料宜均匀分布,防止过密与过稀现象,并减少剪裁、预浸、贮存和成型过程中对增强材料的强度损耗。

2.3.3 铺层设计

铺层方式是影响 PF 模压制品不同部位线胀系数等性能的主要因素,因此利用复合材料制品性能设计与制造同时完成的特点,合理、优化设计铺层可使制品整体内应力大为减小。

在铺层设计过程中,首先,要根据平常建立的模压模型和工作经验,考虑模压时物料流动情况,确定模压方式和模压方向,并进行模具设计;其次,要根据制品外观、力学、电学、耐烧蚀等性能和功能要求进行选材、设计制备预浸料;第三,要根据各种预浸料特点并结合性能过渡或渐进等要求,进行具体厚度和铺层设计;第四,要在制品拐角、金属嵌件等处采用不同长度的预浸料进行过渡设计;第五,要根据

预成型、制品解剖情况及性能测试数据等进行进一步的调整、改进,最后再确定具体的铺层设计。

在具体的铺层设计中,应特别注意制品不同部位的特殊设计,并通过梯度功能过渡思路逐步过渡到整体设计,即以渐进为宜,严防突然性阶梯出现,这样有利于减小、均匀热应力和温度梯度场应力等。总之,要确保根据设计方案进行铺层的预成型体在模压时不发生较大滑移、团聚、冲刷、局部堆积等,确保物料(尤其是增强材料)经轻微流动后能压实制品,并便于实际操作。

2.3.4 制品预成型

制品预成型既要遵循设计而又不完全拘泥于设计,因为实际操作情况在变化。对于一些复杂制品,其预成型可分几个阶段在不同预成型模具或辅助工装上进行,然后装配成总预成型体。装配过程中应严防造成团聚滑移等。

在预成型过程中,因预浸料、预成型体均有一定的蓬松比,因此在预浸料搭接方式上要注意防止后期压实时因滑移、错开、撕裂等情况而造成缺料等;层与层搭接处应错开,严防因区域重叠造成高低不平等现象。对于厚度变化的制品,应根据制品厚度变化情况设置除性能外的高度、厚度等过渡层,确保平滑过渡。用短切乱丝预浸料进行预成型时,除要求无团状料外,预成型模具应尽可能大些,以便预成型时一次投料,从而防止因多次预压而出现人为隐形层界面情况等。

在预成型过程中,每成型 4 ~7 mm 厚时应压实一次,并检查均匀性,严防波浪形、锅形等情况出现;相邻区域质量波动宜控制在 $\pm(2 \sim 4)\%$,否则将会出现贫树脂区、富树脂区、积胶区等,进而导致热应力等产生。

2.3.5 模压成型

在模压成型过程中,PF 在加热、加压条件下发生了一系列复杂的化学反应,在合理模压参数下物料在铺层设计允许范围内流动,既有利于增强材料突破原有预成型时层的界限而相互交叉构成一定立体网络结构,提高制品强度,又可使物料流动充填铺层设计、预成型可能留下的空隙,并有利于低分子物等的挥发,从而使制品致密化、内应力减小;但不合理的模压参数下物料流动较大,由其引起的连锁效应再加上其它因素,可能引起制品出现积胶、发白、缺料等现象,从而影响制品质量和性能。

模压工序中最为重要的技术环节是压制温度和

压力的选定与控制,这两个参数会随着预浸料类型、制品结构等的变化而变化。结合实际工作经验,提出如下参考原则:

(1) 模压温度

模压温度主要指装模温度、升温速率、成型温度、固化时间等方面。

①装模温度 装模温度指将预浸料放入压模型腔时的温度,与预浸料质量、制品结构有关。当预浸料挥发分含量高、不溶性树脂含量低时,装模温度可低些,最好在 50℃ 以下;当制品结构复杂、较大或较厚时,宜室温装模;对于结构简单的薄壁(厚度小于等于 6 mm)制品,装模温度可高达 80 ~90℃。

②升温速率 模压成型过程中,如升温过快,因模压料本身导热性差,易造成树脂固化不均而产生内应力,影响制品性能,甚至出现近热源处已固化而内部未固化物料不能流动等情形;如升温较慢,则降低生产效率。因此制品升温速率除取决于模压料种类外,还随制品结构复杂性、厚度增加而变慢。实际操作过程中常分阶段进行,且不同阶段其升温速率有所不同,如装模后加压前升温速率可为 1 ~2℃ /min,加压后则为 10 ~25℃ /h。

③成型温度 根据所用树脂种类、成型工艺等而定,通常成型温度为 140 ~210℃。如成型温度过低,制品保温时间不足,将出现固化不完全等缺陷;如成型温度过高,虽可缩短生产周期,但将影响物料流动,甚至导致充模困难等。实际工作中成型温度常取 170℃ 左右。

④固化时间 合理的固化时间既可提高生产效率、充分固化制品,又可减小内应力。固化时间从升至成型温度开始计时,以制品垂直于模压方向厚度最大值为计算依据,一般为 2 ~15 min/mm,具体由树脂种类、制品结构而定。

⑤降温 在保压条件下按一定降温制度进行,关机后自然冷却也可,但不宜强制冷却。

⑥脱模温度 根据实际经验宜低于 50℃。

(2) 模压压力

模压压力主要指压力计算、加压时机。

①压力计算 按制品垂直于模压方向水平投影面积计算,常规理论计算参考值为 30 ~50 MPa,但对于结构复杂、厚度过大或过小、外观要求较高的制品,建议按 80 ~150 MPa 计算。

②加压时机 实际加压过程中,最好在不同温度下分次加压,最后一次加压时机最好根据实际情

况确定。

此外,制品脱模时,可借助液压机构连续、均匀施力,严防在冲击性外力作用下脱模。

2.3.6 机加工

PF 模压制品属绝热类制品,机加工时除考虑装卡方式对其影响外,还应考虑机加工速度,防止因速度过快而引起局部过热、烧焦、裂纹、破坏等现象。实际加工中适宜的加工线速度为 0.6 ~1.5 m/s。

2.4 妥善的制品后处理

2.4.1 原因分析

PF 模压制品约在 170℃ 固化,然后保压冷却 7 ~10 h 降至室温再脱模,从工艺和生产角度来讲是合理的。但由于 PF 复合材料导热系数很小,基本属于绝热材料,故冷却时制品外层首先冷却、固化,而内层仍相当热。随着冷却的进行,外层材料进一步冷却并收缩,压迫内层进行类似收缩,但当内层降温也拟收缩时,由于受硬外层约束而难以完全收缩,从而形成内层受拉、外层受压的情形。脱模时制品内层温度要比外层高(与厚度有关),有时内外温差可达 40 ~60℃,因此脱模后制品仍有较大且不均的内应力。

此外,因模压过程中 PF 交联反应进行得不够完全而制品脱模后进一步固化、低分子物质挥发等,制品不同部位固化程度不一致,以及材质不均等,均将产生一定内应力,而这些内应力时常导致(15 ~20)% 制品产生变形、裂纹等,故制品在脱模后应采取减小、均匀内应力。

2.4.2 后处理措施

制品脱模后用于减小、均匀内应力的后处理措施主要有回火和压冷模两种。

(1) 回火后处理

为减小、均匀内应力,矫正变形等缺陷,可多采用回火后处理措施,因制品厚度不同,整个过程需 24 ~36 h。通过回火后处理可提高树脂固化度,并显著减小制品模压冷却时的内应力和后固化应力,进而提高制品尺寸稳定性和电性能等。从实际工作来看,制品经回火后处理出现裂纹的可能性会降低 80% 左右;此外,回火时不出现裂纹,后期出现裂纹的可能性甚低。

(2) 压冷模法后处理

压冷模法后处理也是一种矫正制品变形的措施。但用该法处理过的制品,后期变形时有反弹。

根据实际经验,在生产设施许可的条件下,建议

用压冷模法后处理装置固定好制品后再进行回火后处理,其效果更好。

2.4.3 涂敷处理

PF 模压制品在贮存、使用过程中有一定的吸湿性,尤其是机加工部位。制品吸湿后,会破坏树脂与纤维结合界面的微观化学结构,进而导致耐热性能等降低;如加热去除水分,则产生的气体将导致制品产生微观缺陷,进而引起材料失效破坏、降低介电性能等。

因此,对机加工部位或要求较高制品,需在表面相应部位涂敷一层如 EP 等韧性较好的树脂,以防止或消除湿气影响。

2.5 改善使用方法与贮存条件

PF 模压制品的脆性较大,只有正确使用、精心维护才能获得较好的使用效果。对这类制品必须按照脆性、不耐碱性的非金属材料所规定的条件进行贮存、使用,主要包括以下两方面:

(1) 在装配、使用过程中,应缓慢升温、降温,尤其是降温,否则易产生裂纹;材料及制品不宜用铁锤

等刚性器具敲打;严禁在超温、超压、超荷载、冲击性荷载与碰撞等条件下使用。

(2) 制品在贮存过程中,应包装好并不受外力作用,建议在温度 15 ~25℃、相对湿度小于 85%、通风、远离火源、中性环境条件下贮存,并每隔 3 ~6 个月检查一次。

3 结语

分析了 PF 模压制品出现裂纹的特点及其产生的原因,指出了该类制品的应力种类及其引起因素等。针对这些原因,提出了从制品结构设计、模具设计、成型工艺、后处理、改善使用方法与贮存条件等 5 方面采取多项改进措施来减小、均匀或消除制品应力。经试验证明,这些改进措施有效,明显减少了制品裂纹,对生产实践具有较强的指导意义。

参考文献

- 1 梁国正,顾媛娟.模压成型技术.北京:化学工业出版社,1999.
- 2 周祖福.复合材料学.武汉:武汉工业大学出版社,1995.
- 3 [美]T. G. 古托夫斯基.先进复合材料制造技术.李宏远译.北京:化学工业出版社,2004.

STUDY ON IMPROVEMENT MEASURES FOR CRACKS IN THE MOLDED PHENOLIC COMPOSITE PARTS

Zhang Jianchuan

(Shanghai FRP Research Institute, Shanghai 201404, China)

ABSTRACT The characteristics and the reason of inducing cracks in the molded phenolic composite parts are analysed. According to the research many improvement measures are put forward to relieve the product stress from five aspects, such as the structure design, the mold design, the process, the post treatment, and the store condition. Those improvement measures are proved effective in reducing the cracks by experiments, and are helpful for the manufacture of the products.

KEYWORDS phenolic resin, composite parts, cracks, improvement measure

《工程塑料应用》杂志开设“技术转让与合作”、“企业风采”栏目

为作好广大作者、读者单位最新科研成果及新产品、新技术的推广服务,《工程塑料应用》杂志社将在《工程塑料应用》杂志和工程塑料网站(www.epa1973.com)上开设“技术转让与合作”栏目,以方便买卖双方的有效交流与沟通。栏目内容可涉及科研成果及专利技术的转让,公司新产品、新技术简介等各方面。

另外,为了全方位宣传塑料行业精英企事业单位形象,《工程塑料应用》杂志增设“企业风采”栏目。报道内容主要是企业发展历史、企业文化、企业管理、研发创新能力、新产品发布、攻关项目介绍,人物专访等。来稿字数控制在 5000 字以内,可以附带图片。

《工程塑料应用》是中文核心期刊,是中国工程塑料工业协会会刊,国内外公开发行,屡获国家期刊奖,是中国塑料行业的权威媒体,知名度高,发行量大。可确保您发布的信息有足够的浏览量。

欢迎各有关企事业单位踊跃投稿!投稿时请提供所发布信息的真实性证明,并加盖单位公章。具体刊登事宜请与编辑部直接联系。

地址:山东省济南市 108 信箱杂志社 邮编:250031

电话:0531-85878057 85878278 传真:0531-85947355 85878224 E-mail:epa@epa1973.com