

碳/环氧复合材料模压成型工艺特性 及其影响性能主要因素

沃西源 谭 放 章令辉
(北京空间机电研究所 北京 100076)

摘要 文章介绍了碳/环氧复合材料模压成型工艺特性,并讨论了影响模压成型制品性能的主要因素等内容。

关键词 碳/环氧复合材料 模压成型 工艺特性 影响因素

1 前言

碳/环氧复合材料是以碳纤维为增强材料以环氧树脂为基体材料、采用不同的成型工艺方法复合成的一种新型结构材料。它既保持原材料的某些特性,又能发挥复合后比强度高、比模量高、耐高温、密度低的新特性。碳/环氧复合材料成型工艺方法主要有手糊、注射、缠绕、模压、热压罐和新近发展的 RTM 等。复合材料成型工艺技术是其专业的重要环节,也是原材料和使用单位的桥梁。复合材料工艺技术通常包括两个阶段:首先是使原材料在一定温度和压力下产生变形或流动,取得所需的形状;然后设法保持其形状。为此了解复合材料成型工艺过程中的一些基本理论,并把这些理论知识应用到实际工作中具有一定的现实意义。本文将着重分析讨论碳/环氧复合材料模压成型工艺特性及其影响模压成型制品性能的主要因素等内容。

2 模压成型工艺特性

模压成型工艺是将一定量的碳纤维及其织物浸渍树脂基体后制备成预浸料。放入金属模具的模腔中,合模后在一定的温度和压力作用下使预浸料在模腔内受热软化、受压流动、并充满模腔成型、固化而获得碳/环氧复合材料制品的一种工艺方法。

碳/环氧复合材料制品模压成型工艺的特点首先是在成型过程中需要加热。加热的目的是使预浸料软化产生流动,充满模腔,并加速树脂基体材料的固化反应。预浸料充满模腔过程中,不仅树脂基体流动,增强材料也随之流动,使树脂基体和增强纤维同时填满模腔的各个部位。只有树脂基体粘度很大,粘结力很强,才能与增强纤维一起流动,因此模压工艺所需的成型压力较大。这就要求金属模具具有高强度、高精度、耐腐蚀,并要求专用的热压机来控制固化成型的温度、压力和保温时间等工艺参数。

模压成型工艺方法生产效率较高,制品尺寸准确,表面光洁,尤其对结构复杂的碳/环氧复合材料制品一般可一次成型,无需有损于碳/氧复合材料制品性能的机加工。模压成型工艺方法主要不足之处是模具设计与制造较为复杂,初次投资较高。尽管模压成型工艺有上述不足之处,然而目前模压成型工艺方法在碳/环氧复合材料成型工艺中仍占有重要的地位。表 1 列

收稿日期:2000—08—24

出了国外复合材料研制发达国家采用各种成型工艺方法的比例。

表1 各国采用各种成型工艺方法的比例

国家 成型方法	美国	英国	德国	法国	日本
手糊成型	15%	42%	13%	28%	55%
模压成型	29%	21%	28%	30%	18%
缠绕成型	7%	8%	8%	6%	4%
喷射(含RTM)	27%	11%	6%	9%	12%
其它	11%	7%	20%	20%	11%

3 模压成型工艺过程

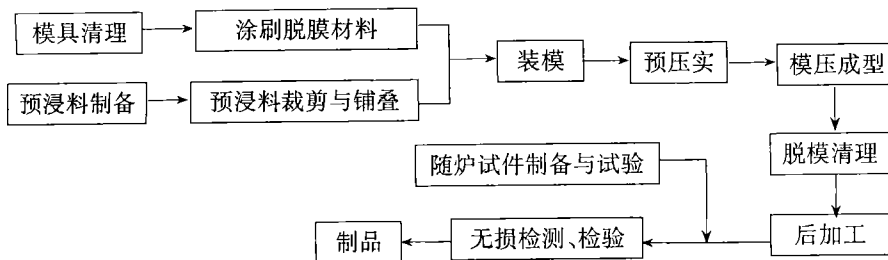


图1 模压成型工艺过程流程图

3.1 模具清理、涂刷脱模材料

按制品工艺规范要求配齐模压成型模具,并用溶剂揩擦干净;然后在指定部位涂刷脱模材料。

3.2 预浸料制备、裁剪与铺层

预浸料按使用要求制备,严格控制其树脂含量、挥发份含量等技术指标,预浸料经复验合格后用各种下料样板裁剪,注意裁剪方位应符合工艺规程要求,然后按制品铺层要求铺叠各方位预浸料。

3.3 装模、预压实

将铺叠好的预浸料装入成型模具模腔,按工艺规程要求合模后进行预压实,并填充部分预浸料,以排除预浸料层与层间的气泡,使其结构致密。

3.4 模压固化成型

根据不同的树脂基体材料,通过DSC分析,确定其对应温度下施加压力大小和保温时间等工艺参数。

3.5 脱模、清理

模压固化成型后,在室温状态下从压机上取出模具,按工艺规程要求脱模,并设法除去制品周边余料,最后将模具清理干净,待下次使用。

3.6 后加工

模压成型制品一般情况下是不进行后加工工序的。在特殊情况下,拟采用金刚石刀具或合金钢刀具来加工连接孔位等。

3.7 随炉试件制备与试验

按制品技术要求制备随炉试件时应与制品使用同一批材料,按相同工艺,由同批人员操作,在同一环境条件下制备。随炉试件的试验按相应试验方法标准进行试验。

3.8 无损检测及最终检验

制品按设计文件要求进行无损检测和最终检验。

4 影响模压制品性能的主要因素

由模压成型基本原理分析可知,模压过程可分为粘流、凝胶和硬固3个阶段。从工艺角度来看最主要的是粘流与凝胶阶段。利用预浸料在粘流和凝胶两阶段是流动可塑态,则在压力作用下即可充模成型。但充模成型是需要时间的,时间长短取决于树脂基体化学反应形成交联结构的速度(即固化速度),而速度的快慢又取决于温度。随着加热时间的增长和温度的升高,处于流动阶段的预浸料中树脂基体粘度降低,直至变成网状体型结构。这个变化需要经历一定的时间。为了加大在流动阶段的流动性,还需要加一定的压力。硬固阶段是最后定型阶段。模压成型过程中一般要求硬固阶段时间长些,这样可使交联程度甚为均匀,固化度高,以保证制品达到设计要求的力学、物理性能。由整个模压工艺过程可见,它是在一定外界条件——温度、压力和时间下进行的。其中温度的影响尤为重要,所以模压成型工艺过程中,温度、压力和保温时间是控制制品研制质量的主要工艺参数。现将有关内容分述如下。

4.1 温度对制品性能的影响

温度的作用主要是促进树脂基体固化反应和使固化反应完全。从表面现象看,温度增高使树脂基体粘度发生变化。起始阶段树脂基体粘度变小易于流动,随着温度的升高粘度会逐渐增大,达到难于流动程度,直至树脂基体失去流动性,变成不熔不溶的状态。从物质结构上看,温度的作用主要是增加了分子热运动和分子之间的反应能力。也就是说,树脂基体开始加热时,由于分子结构主要是支链或不带支链的线性结构,分子链可以自由运动,而加热后会使得分子活动能力增大。因此分子链上各基团较容易进行反应。随着反应不断进行,链与链之间开始交联,分子链增长到一定的粘度即产生凝胶现象,凝胶后的分子运动受到很大约束。为促进固化反应,必须提高温度,增加分子活动能力,但尚未反应的基团继续交联,这就逐渐形成了网状和体型分子结构,即基本达到了固化。为了使固化反应完全,可进一步提高温度,增加交联密度,其工艺过程通常又称后固化。由此可见,固化过程中提高温度是热能的输入,起到增加分

子链或链节的活动能力的作用。实践表明,固化过程中不太可能所有基团 100%都参加反应,达到完全固化程度。经诸多碳/环氧复合材料制品分析结果表明,一般达到 85%左右固化程度的制品,是能够达到设计使用要求的性能。

4.2 压力对制品性能的影响

模压成型工艺过程中,压力的主要作用为:

- 增强预浸料的流动性;
- 使制品结构密实、提高其力学性能;
- 避免制品出现气泡、分层等缺陷。

确定模压成型工艺中施加压力的时机,主要依据是所使用的树脂基体材料类别。同时还须兼顾考虑预浸料的压缩性、预热程度、制品的形状和模具的结构等因素。

在碳/环氧复合材料制品的模压成型中,施加压力时机主要是从工艺试验中摸索出来的。其中加压时间是一个很重要的工艺参数。如过早加压,由于树脂基体粘度低、易流失,使增强材料不能充分浸润,在制品内部会引起孔隙;但如果加压时机过迟,加压时树脂基体交联程度过高,流动性变差,压力难以促使预浸料流动,甚至会起不到使碳/环氧复合材料制品结构致密的作用,同样还会使制品内部产生空隙。只有当树脂基体交联适中、粘度恰当,即容易在热压下流动而同时又能与纤维一起流动,才是最好的加压时机。它应该是在树脂基体激烈反应放出大量气体之前。在环氧 648/BF₃·MEA 树脂基体材料通过工艺试验后,对于不同的制品所选择的压力大小和加压时机等工艺参数,已制定了相应固化工艺参数、经实施后效果甚好。

4.3 保温时间对制品性能的影响

保温时间是指模压成型工艺过程中保持温度和压力的时间。其目的是使制品中预浸料充分固化并消除内应力。保温时间不足,制品不能充分固化,制品的力学性能颇低,且易产生翘曲变形。适当增加保温时间,一般可使制品收缩率减少,耐热性能提高。力学性也会随之增大。然而过分延长保温时间反而会使制品某些力学性能下降,过多浪费电能。故我们应当在不影响制品质量的原则下尽量缩短保温时间,能起到提高生产效率的作用。模压成型工艺过程中保温时间取决于预浸料的类型、制品形状、厚度、模具构造、预热、排气、压力和温度等因素。

由上述内容的分析可见模压成型工艺过程中温度、压力和保温时间 3 个工艺参数并不是孤立的,而是相互联系,相互制约的,制订工艺规程时必须全面考虑。根据我们承担模压制品实践表明,在选择工艺参数时必须根据制品结构特点、模具构造等因素经过较充分的工艺试验,才能制订出工艺状态稳定的工艺文件和研制出性能符合设计要求的碳/环氧复合材料制品。

除此之外,在模压成型工艺过程中,挥发份含量对预浸料的流动影响颇大。挥发份含量大,模压时预浸料流动性大,过高的挥发份含量会使预浸料的流动性过大而引起树脂基体流失,最终碳/环氧复合材料制品会产生气泡、表面不平整等缺陷。但挥发份过低又会使预浸料流动性降低造成成型困难。因此在模压成型工艺过程中要选择挥发份含量适中的预浸料也是保证碳/环氧复合材料制品质量的因素之一。

5 结语

为了确保碳/环氧复合材料模压成型制品质量,要用复合材料成型工艺基础理论来指导工艺文件制订,并把这些基础理论应用在实际生产过程中,是整个型号研制的重要环节,也是产品质量的重要保证。与此同时,通过必要的工艺试验,可以提前暴露出各种工艺技术问题,以采取相应措施解决问题,使制品工艺状态稳定,质量得到有效控制,以适应新形势对航天产品发展需要。

参 考 文 献

- 1 Schwarte N. M. Composite Materials Hand book. McGraw-Hill, 1994.
- 2 Lubin, G. Hand book of composites. VNR, 1992.
- 3 肖翠蓉,唐羽章. 复合材料工艺学. 国防科技大学出版社. 1991, 12.
- 4 航空航天工业部科技研究院. 复合材料设计手册. 北京:航空工业出版社, 1990, 12.

CHARACTERISTICS AND INFLUENCING FACTORS OF THE MOLDING PROCESS FOR CARBON/EPOXY COMPOSITE MATERIALS

Wo Xiyuan

(Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity, Beijing 100076)

Abstract The paper introduces the characteristics of molding process for composite materials, and also discusses the influencing factors of molding process.

Key Words Molding process Carbon/Epoxy composite materials Characteristics
Influencing factors