

复合材料 纤维增强复合材料 预制体温度 补偿固化成型工艺规范

Green casting - Freeze casting - Specification for digital processing of
frozen sand mold

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020 《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》 的规定起草。

本文件由中国机械制造工艺协会提出。

本文件由中国机械制造工艺协会标准化工作委员会归口。

本文件主要起草单位： 南京航空航天大学、中国机械科学研究总院集团有限公司、中国机械制造工艺协会、潍柴动力股份有限公司、广西玉柴机器股份有限公司、第一拖拉机股份有限公司、一汽铸造有限公司、上海航天精密机械研究所。

本文件主要起草人： 单忠德、杨浩秦、施建培、刘亲将、戴宇峰、 刘丽敏、闫丹丹、董世杰、 战丽、孙玉成、吕登红、王世杰、王成刚、邹文兵。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件版权归中国机械制造工艺协会所有。未经事先书面许可，本文件的任何部分不得以任何形式或任何手段进行复制、发行、改编、翻译、汇编或将本文件用于其他任何商业目的等。

T/CAMMT 51—2023

纤维增强复合材料 三维机织预制体固化成型工艺规范

1 范围

本文件规定了三维编织预制体温度补偿固化成型工艺的术语和定义、工艺流程、技术要求、质量要求及检验方法。

本文件适用于三维编织预制体温度补偿固化成型。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 40724-2021 碳纤维及其复合材料术语

GB/T 36532 纤维增强塑料 热固性模塑料和预浸料固化特性测定

GB/T 22314-2008 塑料 环氧树脂 黏度测定方法

GB/T 1039 塑料力学性能试验方法总则

GB/T 9979 纤维增强塑料高低温力学性能试验准则

GB/T 33613 三维编织物及其树脂基复合材料拉伸性能试验方法

GB/T 33614 三维编织物及其树脂基复合材料压缩性能试验方法

GB/T 33621 三维编织物及其树脂基复合材料弯曲性能试验方法

GB/T 28889 复合材料面内剪切性能试验方法

GB/T 38537 纤维增强树脂基复合材料超声检测方法 C 扫描法

3 术语和定义

GB/T 5611、GB/T 12204 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 三维机织预制体

由有机纤维热解重组所制得的碳含量超过 90%（质量分数）的纤维。

3.2 温度补偿

一种聚合物，经过加热、化学催化或其他方式进行固化以后，变成不熔不溶、具有交联结构的材料。

3.3 低温固化成型

采用数控加工去除成形方式直接对冷冻砂型进行数字化切削加工，省去实体模具制造环节，缩短砂型制造流程。

4 工艺流程

三维机织预制体固化成型加工工艺流程见图 1。

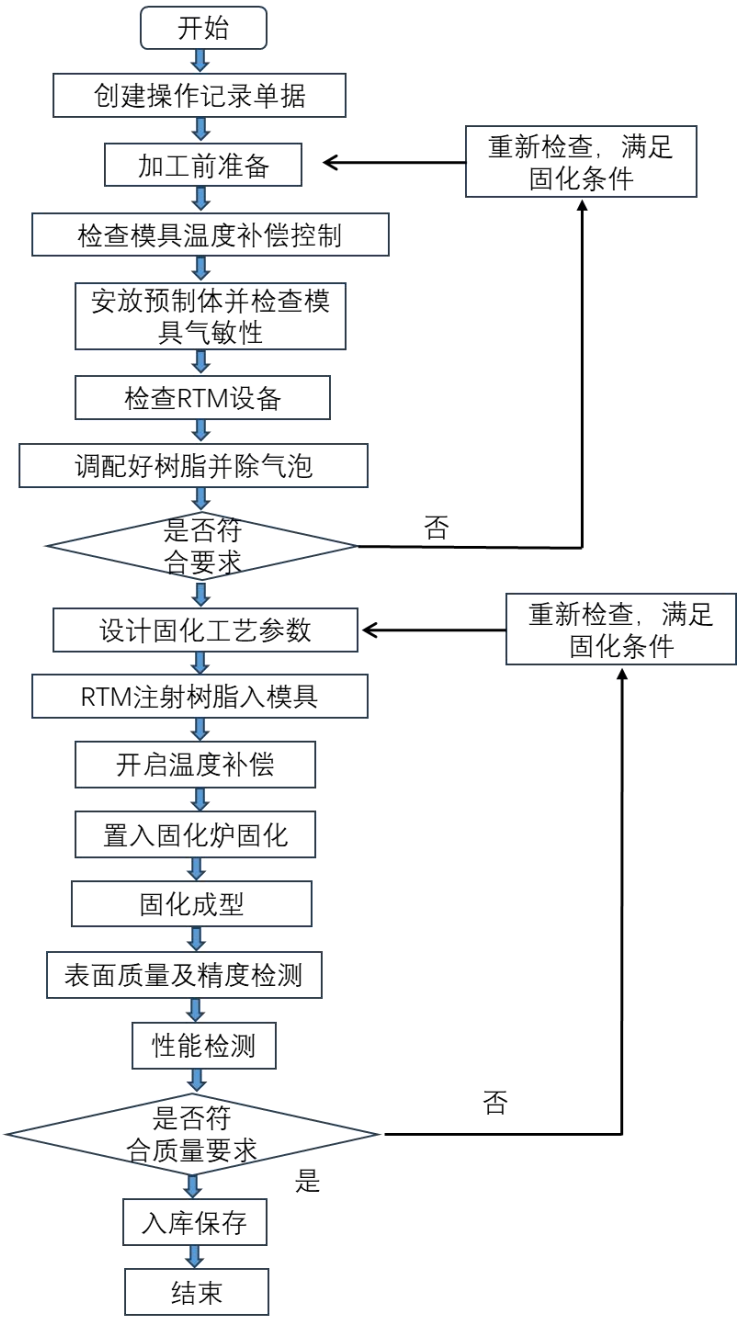


图 1 三维机织预制体固化成型加工工艺流程

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 人员

操作者应为三维机织预制体固化成型工艺的专业培训合格人员，同时具备常用三维建模软件、G 代码编程和使用技能，未经培训或培训不合格人员禁止操作设备。

专业培训内容包括：三维机织预制体固化成型加工设备的操作、维护和校准、软件使用、加工前数据模型预处理、温度补偿处理、异常情况处理、设备易耗零部件检修及更换和故障排除、安全培训等。

5.1.2 设备

5.1.2.1 三维机织预制体固化成型加工装置及温度补偿装置、RTM 装置等应完好并在有效期内，设备的安装调试、使用及维护保养参照设备手册和有关标准执行。

5.1.2.2 温度补偿装置内嵌在三维机织预制体成形装置内，配有温度传感器，可通过温度补偿装置实现固化过程。

5.1.3 原材料

5.1.3.1 所用的预制体为纤维预制体、玻璃纤维预制体、芳纶纤维预制体、超高分子量聚乙烯纤维预制体等；所用的固化树脂为 AM-8927A/B、环氧树脂、聚双环戊乙烯等。

5.1.3.2 使用的固化树脂黏度，通常应小于 600mPa·s，检测符合 GB/T 22314-2008 的有关规定。

5.1.4 环境

5.1.4.1 三维机织预制体固化成型加工设备工作环境：室温；固化成型过程温度：25℃~150℃；真空环境：0.1Pa~0.97Pa。

5.1.5 安全

设备应符合 **GB/T 5226.1** 的规定，化学反应固化过程应符合 **DB37/T 3182-2018** 的规定。操作人员应按照 **GB/T 11651** 的规定使用劳动保护用品。

5.2 三维机织预制体固化成型加工记录单

5.2.1 每个三维机织预制体均应建立固化成型加工记录单。记录单格式见附录 A。

5.2.2 记录单由三维机织预制体固化成型加工总负责人制定，并填写产品主要技术要求和相关信息。

5.2.3 按三维机织预制体固化成型加工工艺流程，应依次将记录单交各工艺流程责任人。责任人在完成各自工艺流程的同时，详细记录完成情况和存在的问题，并确认无误后在栏目签字，转接下一个工艺流程。所有流程完成后最终由质量检测责任人签字留存，同时报告三维机织预制体固化成型加工总负责人。

5.2.4 在执行三维机织预制体固化成型加工过程中，任意流程责任人因故不能及时完成，

应及时报告总负责人，并在记录卡相应流程如实填写原因。

5.2.5 在执行三维机织预制体固化成型加工过程中遇到任何技术难题，该流程责任人应及时报告三维机织预制体固化成型加工总负责人，并应将问题情况及解决措施或方法详细记录在案。

5.3 三维机织预制体低温固化成型温度补偿设计

5.3.1 三维机织预制体低温固化成型温度补偿设计应符合 GB/T 36532 的有关规定。

5.3.2 设计者可通过三维建模软件对复合材料构件成型温度场进行有限元仿真模型，确定温度补偿区域。

5.3.3 三维机织预制体低温固化成型模具包括气囊软模结构设计、分模铺层设计、定点温度补偿装置设计及装配方案等。

5.4 三维机织预制体固化成型加工工艺参数设置

5.4.1 总则

根据三维机织复合材料预制体加工材料种类、树脂固化种类、固化成型厚度、成型精度、固化真空度、固化温度、固化时间等设定工艺参数。

5.4.2 工艺参数

工艺参数包括纤维种类、树脂种类、固化温度、固化时间、补偿温度、成型质量等，按照三维机织复合材料预制体固化成型加工要求依次进行设定。附录 B 中表 1 给出了某纤维增强压力容器固化成型加工关键工艺参数参考范围。

5.5 三维机织预制体低温固化成型加工过程

5.5.1 加工前准备

5.5.1.1 人员、设备、原材料、环境、安全应符合 5.1 的要求。

5.5.1.2 依据需方对三维机织复合材料预制体固化成型的技术要求，检查上一次预制体固化成型加工记录单，核对或调整固化关键工艺参数等。

5.5.1.3 在室温状态下，对放入模具的三维机织复合材料预制体进行真空处理 10 分钟，检查模具的气敏性。

5.5.1.4 检查固化炉升温、保温控制是否正常。

5.5.1.5 检查三维机织预制体低温固化成型模具温度补偿装置，加热器、温度传感器是否正常工作。

5.5.1.6 调配好低粘度的树脂，并进行抽气泡处理 10 分钟。

5.5.2 三维机织预制体低温固化成型加工

5.5.2.1 根据三维机织预制体制备对应纤维种类、树脂种类、固化参数等，依据事先规定的预制体固化成型性能而定。

5.5.2.2 在室温状态下，对放入模具的三维机织复合材料预制体进行真空处理 10 分钟，参照真空压力表，真空度达到 0.1Pa。

5.5.2.3 调配好低粘度的树脂，经 RTM 注入模具中，树脂缓慢浸渍到预制体中。

5.5.2.4 开启三维机织预制体低温固化成型模具温度补偿控制，使补偿温度达到预定值。

5.5.2.5 把含有树脂浸渍液的三维机织预制体放置到固化炉中，调整好设定的固化温度。

5.5.2.6 固化完成后，进行脱模处理。

5.6 后处理

5.6.1 表面处理

对于表面质量要求较高的部位，可进行机加工如切削、磨削等二次加工。

6 质量要求及检验方法

6.1 质量要求

6.1.1 目测三维机织预制体固化成型表面不允许有肉眼可见的分层、裂纹、塌陷、错层和翘曲等缺陷。采用蓝光扫描仪对其表面轮廓进行扫描并与三维模型进行对比，排除微细裂纹、型腔内部结构等缺陷。

6.1.2 三维机织预制体固化成型尺寸精度检验应符合模型设计要求，可用精度不低于 0.1mm 的无接触式测量工具进行测量，三维机织预制体固化成型整体尺寸精度在 $\pm 0.5\text{mm}/1000\text{mm}$ 范围内。

6.2 检验方法

6.3.1 制样方法

力学性能检测试样应根据测试标准制备样件，抗压强度检测试样为圆柱形，抗拉试样为“哑铃”状，尺寸形状需符合 GB/T 1039 中的规定。

6.3.2 性能检测

三维机织预制体固化成型强度（拉伸、弯曲、压缩、剪切强度）的测定应参照 GB/T 33613、GB/T 33614、GB/T 33621、GB/T 28889 的测量方法执行；三维机织预制体固化成型质量（内部结构缺陷）的测定应参考 GB/T 38537。

附录 A

三维机织预制体固化成型加工记录单

表 A.1 三维机织预制体固化成型加工记录单

产品编号			
生产时间		预制体固化成型加工总负责人	
需方编号		数量	
技术要求	表面形貌		
	尺寸精度		
	力学强度		
	记录人：		
三维机织预制体固化成型加工前准备	检查模具气敏性		
	检查温度补偿加热装置		
	调配树脂		
	检查 RTM		
	除气泡		
	固化炉温控		
	记录人：		
三维机织预制体固化成型加工工艺参数设置	纤维		
	树脂		
	补偿温度		
	RTM 注射速度		
	树脂黏度		
	除气泡时间		
	固化温度		
	固化时间		
记录人：			
固化成型初步检验	成型表面质量		
	二次加工	□是 □否	
	记录人：		
结论	责任人：		

附 录 B
参考加工工艺参数

表 B.1 工艺参数参考设置范围

参数名称	设置范围
纤维种类	碳纤维、玻璃纤维、芳纶纤维、超高分子聚乙烯纤维等
树脂	AM-8927A/B、环氧树脂、聚双环戊乙烯等
除气泡	10min
模具真空度	0.1Pa~0.97Pa
RTM 树脂注射速度	0.1-1cm ³ /s
温度补偿	80 ℃~150 ℃
固化温度	25~150℃
固化时间	4h-8h