



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计

热塑性碳纤维复合材料制备工艺研究

**Study on Preparation Technology of Thermoplastic
Carbon Fiber Composites**

姓 名 姚鑫宇
学 院 航空航天学院
专 业 飞行器制造工程
指导教师 张健
职 称 讲师
完成时间 2022.5.30



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计

热塑性碳纤维复合材料制备工艺研究
**Study on Preparation Technology of Thermoplastic
Carbon Fiber Composites**

姓 名 姚鑫宇

学 院 航空航天学院

专 业 飞行器制造工程

指导教师 张健

职 称 讲师

完成时间 2022.5.30

天津中德应用技术大学

本科生毕业设计（论文）选题申报表

学 院	航空航天学院	申 报 人	姓 名	张健
专 业	飞行器制造工程		技术职务	中级
题目名称	热塑性碳纤维复合材料制备工艺研究			
题目类型	其他	题目来源	其他项目	
课题来源、背景及意义	<p>纤维增强树脂复合材料拥有高强、轻质、耐腐蚀、抗疲劳、吸波隐身等优异性能，在航空航天、军工、汽车、化工及电子等先进工业领域得到广泛应用。按树脂基体性质可以将纤维增强树脂复合材料分为两大类，即热固性树脂基复合材料和热塑性树脂基复合材料；相较而言，热塑性树脂基复合材料具有：韧性好，疲劳强度高，冲击损伤容限高；预浸料和热塑性树脂存储没有期限要求；热成型工艺性好，成型周期短，生产效率高；边角料或废料可再熔融成型或回收利用，环境友好。因此，热塑性树脂基复合材料随着工业技术发展越来越受到青睐。本项目基于复合材料热压机，对热塑性碳纤维复合材料制备工艺进行研究，得到最佳工艺参数。</p>			
任务及要求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 制备碳纤维增强热塑性复合材料； 2. 利用正交法，完成热塑性材料成型工艺参数研究； 3. 进行力学实验分析。 			
工作条件	热压成型机			
知识与能力要求	<ol style="list-style-type: none"> 1. 具有文献检索、收集资料及使用各种设计规范、手册和技术标准的能力； 2. 掌握的复合材料成型等理论知识； 3. 掌握复合材料热压机的使用。 			
系（教研室）审查意见： 无				
负责人(签名)： <u>张健</u> 2021年11月28日				



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

毕业设计（论文）任务书

题 目：热塑性碳纤维复合材料制备工艺研究

学 院：航空航天大学

专 业：飞行器制造工程

学生姓名：姚鑫宇

学 号：18414020304

起止日期：2021年12月3日~2022年6月3日

指导教师：张健

任务书下达日期：2021年12月3日

任务书填写要求

1. 毕业设计（论文）任务书由指导教师根据各课题的具体情况填写，经专业负责人审查签字后生效。此任务书应在毕业设计（论文）开始前一周内填好并发给学生；
2. 任务书内填写的内容，必须和学生毕业设计（论文）完成的情况相一致；
3. 任务书内有关“学院”、“专业”等名称的填写，应写中文全称，不能写数字代码。学生的“学号”要写全号（如：16014010101）；
4. 有关年月日等日期的填写，应当按照国标 GB/T 7408—94《数据元和交换格式、信息交换、日期和时间表示法》规定的要求，一律用阿拉伯数字书写。如“2004年3月21日”或“2004-03-21”。
5. 本毕业设计（论文）课题成果的要求，内容要具体化和数量化。如“毕业设计（论文）一套；A0号装配图纸1张；A2号电气控制原理图纸2张；实物样机1台；产品2件”等。

毕 业 设 计（论 文）任 务 书

1. 毕业设计（论文）课题背景及意义

纤维增强树脂复合材料拥有高强、轻质、耐腐蚀、抗疲劳、吸波隐身等优异性能，在航空航天、军工、汽车、化工及电子等先进工业领域得到广泛应用。按树脂基体性质可以将纤维增强树脂复合材料分为两大类，即热固性树脂基复合材料和热塑性树脂基复合材料；相较而言，热塑性树脂基复合材料具有：韧性好，疲劳强度高，冲击损伤容限高；预浸料和热塑性树脂存储没有期限要求；热成型工艺性好，成型周期短，生产效率高；边角料或废料可再熔融成型或回收利用，环境友好。因此，热塑性树脂基复合材料随着工业技术发展越来越受到青睐。本项目基于复合材料热压机，对热塑性碳纤维复合材料制备工艺进行研究，得到最佳工艺参数。

2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

任务内容：

1. 制备碳纤维增强热塑性复合材料；
2. 利用正交法，完成热塑性材料成型工艺参数研究；
3. 进行力学实验分析。

任务要求：

1. 查找并学习相关参考文献 10 篇以上；
2. 独立完成毕业论文；
3. 能够通过分析，得出结论。

毕 业 设 计（论 文）任 务 书

3. 毕业设计（论文）课题成果（包括毕业设计论文、图表、实物样品等）：

毕业论文一套

热塑性碳纤维复合材料

4. 推荐参考资料：

[1] 郭丹丹. 聚丙烯腈基碳纤维改性、预氧化工艺及其机理的探讨[D]. 武汉纺织大学. 2013.

[2] 张均. 聚丙烯腈原丝表面结构形态的形成与演变[D]. 北京化工大学. 2007.

[3] 王东. 舱段用碳纤维环氧树脂复合材料及其整体成型工艺[D]. 哈尔滨工业大学, 2010.

[4] 黎小平, 张小平, 王红伟. 碳纤维的发展及其应用现状[J]. 高科技纤维与应用, 2005, (05): 28-34.

[5] 贾巍. 复合材料力学与热膨胀性能研究及纤维排布设计[D]. 哈尔滨工业大学. 2009.

所在专业审查意见：

同意

负责人： 张健

2021 年 12 月 8 日



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计（论文）开题报告

题 目：热塑性碳纤维复合材料制备工艺研究

学 院：航空航天大学

专 业：飞行器制造工程

学生姓名：姚鑫宇

学 号：18414020304

起止日期：2021年12月3日~2022年6月3日

指导教师：张健

开题日期：2022年3月5日

一、 开题报告内容（课题的目的意义、与本课题有关的国内外研究（应用）情况及发展趋势、课题主要研究内容、参考文献等）

一. 课题研究的的目的意义

本实验主要研究在一定的热压复合工艺条件下，采用热压成型法制备碳纤维/聚苯硫醚（CF/PPS）复合材料。通过力学性能实验，控制单一变量，通过控制温度、压力、时间这三个参数，来对制得的碳纤维/聚苯硫醚复合材料进行逐一力学测试，探究不同参数对热塑性碳纤维复合材料性能的影响，并通过调整参数来控制最好的力学性能，获得性能较好的热塑性碳纤维复合材料。该方法研究的目的是有两个，其一是通过控制不同变量所做出的热塑性碳纤维复合材料，对工艺做进一步的创新和探索。其二是通过对所做出的不同性能参数的热塑性碳纤维复合材料进行拉伸与扭转力学性能测试，并总结变化规律。

二. 国内外研究现状

中国科学院山西煤化所和上海合成纤维研究所在碳纤维制备开展了相关研制工作 [1]，并且在 80 年代进行产业化 [2]。进入新世纪以后，PAN 基碳纤维在民用上需求大幅度增加。2003 年，中国安徽华皖碳纤维有限公司同英国 AMEC / ACE（艾麦克）公司在该领域达成合作并在逐步投入生产 [3]。在国际上来说，碳纤维自 80 年代后性能获得极大的提高。例如，80 年代前以 3000Mpa 的碳纤维为主，90 年代末开始使用的 T1000 纤维，其强度达到 7000Mpa，并且开始在工程应用上的品种越来越多。日本东丽公司为碳纤维主要的生产公司 [4]，碳纤品种从 4 种发展为 21 种。

纤维增强热塑性复合材料广泛发展于上世纪八十年代，通过几十年的发展研究，依据材料增强体类别的不同，其主要可以被分为长纤维增强热塑性复合材料（简称 LFT）、连续纤维增强热塑性预浸带（简称 MITT）、短纤维增强热塑性复合材料（简称 SFT）、玻璃纤维增强热塑性复合材料（简称 GMT）。相比于纤维增强热固性复合材料，纤维增强热塑性具有的优点及其明显较好的断裂初性、较大的损失容限、更好的耐蠕变性能；同时，利于回收利用和存放，并且生产周期较短。所以，纤维增强热塑性复合材料获得了快速而广泛的发展，发展速度迅速超过了纤维增强热固性复合材料，成为了纤维增强复合材料研究应用的主流。碳纤维的应用领域逐渐扩大，除了应用于军工及航空航天等高新技术领域，还在纺织机械、生物工程、化工机械、运输车辆、文体用品、医疗器械、建筑材料等民用领域有大量应用。另外，在需要使用润滑油的如齿轮、轴承、转轴、轴瓦、提升轮等负荷大、运动频繁的零件领域 [5] 也有很好的应用前景。

三. 课题主要研究内容

1. 热压成型法制备碳纤维/聚苯硫醚（CF/PPS）复合材料

热压成型法制备热塑性增强复合材料是利用热压工艺将热塑性树脂薄膜和碳纤维

单向板进行加热加压，迫使热塑性树脂在达到熔点时融化，由于外部的压力开始向纤维内部渗透，冷却减压后制得热塑性复合材料。

2. 热塑性复合材料力学性能的分析

通过热压成型法制得热塑性碳纤维复合材料后，在相关变量已进行控制的基础上，对其力学性能进行测试并做分析，通过 3 个关键工艺参数即温度、压力、时间作为因素，在对不同条件下得出的热塑性碳纤维复合材料进行拉伸与扭转测试后得出相关性能的优劣差异，并分析出现性能差异的原因。

四. 参考文献

[1] 郭丹丹. 聚丙烯腈基碳纤维改性、预氧化工艺及其机理的探讨 [D]. 武汉纺织大学. 2013.

[2] 张均. 聚丙烯腈原丝表面结构形态的形成与演变 [D]. 北京化工大学. 2007.

[3] 王东. 舱段用碳纤维淋氧树脂复合材料及其整体成型工艺 [D]. 哈尔滨工业大学, 2010.

[4] 黎小平, 张小平, 王红伟. 碳纤维的发展及其应用现状 [J]. 高科技纤维与应用, 2005, (05): 28-34.

[5] 贾巍. CfiMg 复合材料力学与热膨胀性能研究及纤维排布设计 [D]. 哈尔滨工业大学, 2009.

二、进度及预期结果

起止日期	主要内容	预期结果
2021.12.05-12.20	总体方案设计	1. 通过热压成型法制备碳纤维/聚苯硫醚 (CF/PPS) 复合材料。 2. 通过对热塑性复合材料力学性能的分析得到性能最优的复合材料并总结规律。
2021.12.21-12.31	阅读参考文献，寻找合适的材料	
2022.01.03-02.25	制作复合材料并做力学性能试验	
2022.02.06-04.01	撰写论文，修改论文	
2022.04.02-06.03	完成论文定稿	

<p>完成课题的 现有条件</p>	<p>热压成型机、扭转拉伸机</p>
<p>指导教师 意见</p>	<p>同意开题</p> <p>指导教师： <u>张健</u> <u>2022年3月5日</u></p>
<p>开题答辩 小组意见</p>	<p>同意开题</p> <p>组 长： <u>张健</u> <u>2022年3月5日</u></p>

天津中德应用技术大学
本科生毕业设计（论文）的声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：



年 月 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

年 月 日

摘 要

随着现代大飞机航空工业的发展,飞机上越来越多的部件都由最初的铝、钢、铝合金转变成现如今的碳纤维复合材料,达到减轻减重的目的。不管是飞机外部主要承力部件,例如副翼、方向舵、升降舵、中央翼盒、桁梁、机翼上下壁板、机体,还是电子设备外壳零件,以及飞机内部地板和内部装饰都逐渐由碳纤维复合材料替代。

现如今衡量一架传统大飞机它的结构性能好坏大多数是看碳纤维复合材料在主要承力部件、简单零部件、复杂受力部件应用比例。碳纤维复合材料有密度小,具有很好的耐热性能以及耐腐蚀性能,强度大,受到冲击后有可产生形变量大,质量轻等优点。在航空航天领域,碳纤维复合材料是理想的轻量化材料。本文以对选取碳纤维复合材料,对其制备工艺进行工艺参数的调试改进,使其在原有轻量化的前提下更具有良好的力学性能。

热塑性树脂在与碳纤维预浸料面结合时,树脂浸入结合能力差,需改变工艺参数使热塑性树脂与碳纤维预浸料之间更好的浸入,具有更加优良的力学性能。本文采用热压法制备聚苯硫醚碳纤维复合材料,对制备的正交试验材料在力学性能实验对比后,获得性能最佳的聚苯硫醚碳纤维复合材料。在通过改变工艺参数,获得参数影响下碳纤维复合材料力学强度的变化规律。通过实验分析汇出的数据图表,用最佳的制备方法制备出性能最好的热塑性碳纤维复合材料,既能保证在轻量化的前提下,又能保证具有最好的力学强度。

本文采用热压法制备热塑性碳纤维复合材料,并进行力学性能试验,对制备工艺过程进一步研究,实验表明:通过对 16 组正交试验制备出的实验件力学拉伸后,最佳工艺参数为 320℃、5.8Mpa、3min。碳纤维/聚苯硫醚复合材料在随温度、压力、时间这三个参数逐渐升高,它们的力学性能都逐渐变好;在温度、压力、时间都达到最佳工艺参数后,随着参数升高,力学性能逐渐变差。

关键词: 碳纤维; 热塑性复合材料; 热压法; 力学性能

ABSTRACT

With the development of modern large aircraft aviation industry, more and more components on the aircraft are transformed from the original aluminum, steel and aluminum alloy into today's carbon fiber composites to reduce weight. Whether the main external load-bearing components of the aircraft, such as ailerons, rudders, elevators, central wing boxes, stringers, upper and lower wing panels, airframes, or shell parts of electronic equipment, as well as the internal floor and interior decoration of the aircraft, are gradually replaced by carbon fiber composites.

Nowadays, the structural performance of a traditional large aircraft is mostly measured by the application proportion of carbon fiber composites in main load-bearing parts, simple parts and complex load-bearing parts. Carbon fiber composites have the advantages of low density, good heat resistance and corrosion resistance, high strength, large deformation and light weight after impact. In the field of aerospace, carbon fiber composites are ideal lightweight materials. In this paper, carbon fiber composites are selected and the preparation process is adjusted and improved to make them have better mechanical properties on the premise of original lightweight.

When the thermoplastic resin is combined with the carbon fiber prepreg surface, the resin immersion bonding ability is poor. It is necessary to change the process parameters to make the thermoplastic resin better immersed with the carbon fiber prepreg and have better mechanical properties. In this paper, polyphenylene sulfide carbon fiber composites were prepared by hot pressing method. After comparing the mechanical properties of the prepared orthogonal test materials, the polyphenylene sulfide carbon fiber composites with the best properties were obtained. By changing the process parameters, the change law of mechanical strength of carbon fiber composites under the influence of parameters is obtained. Through the experimental analysis of the data charts, the thermoplastic carbon fiber composites with the best performance are prepared by the best preparation method, which can not only ensure the lightweight, but also ensure the best mechanical strength.

In this paper, thermoplastic carbon fiber composites are prepared by hot pressing method, and the mechanical properties are tested. The preparation process is further studied. The experiment shows that after mechanical stretching of the experimental pieces prepared by 16 groups of orthogonal tests, the optimal process parameters are 320 °C, 5.8mpa and 3min. The mechanical properties of carbon fiber /

Polyphenylene Sulfide Composites gradually improve with the increase of temperature, pressure and time; After the temperature, pressure and time reach the best process parameters, the mechanical properties gradually deteriorate with the increase of parameters.

Key words: carbon fiber; Thermoplastic composites; Hot pressing method; mechanical propert

目 录

第一章 绪论	1
1.1 热塑性碳纤维复合材料国内外研究现状	1
1.2 热塑性复合材料的优点	1
1.3 热塑性碳纤维复合材料的成型方法	1
1.4 研究内容与方案	2
1.4.1 研究目的	2
1.4.2 研究内容	2
1.4.3 研究方案	3
第二章 热压成型法	4
2.1 热压成型法工艺过程	4
2.1.1 热压机工作流程	4
2.1.2 热压机工艺流程	4
2.2 热压机成型优点	5
2.3 热压成型法制备热塑性碳纤维复合材料	5
2.3.1 热压机温度的控制	5
2.3.2 热压机压力的控制	5
2.3.3 热压机时间的控制	6
2.4 铺层方法的设计	6
第三章 实验设计及试件制备与性能测试	7
3.1 田口 (Taguchi) 试验	7
3.1.1 设计方法介绍	7
3.1.2 实验设计	7
3.2 实验材料	8
3.3 实验仪器及设备	8

3.4 试样的制备	9
3.5 拉伸性能试验	10
3.5.1 拉伸试验仪器	10
3.5.2 试件尺寸	12
3.5.3 拉伸试验结果分析	13
3.5.4 最佳工艺参数	14
第四章 工艺参数对试件的影响	15
4.1 设计工艺参数变量试件实验	15
4.1.1 温度变量试件实验设计	15
4.1.2 压力变量试件实验设计	15
4.1.3 时间变量试件实验设计	16
4.2 拉伸性能分析	16
4.2.1 温度变量试件的拉伸试验结果	16
4.2.2 压力变量试件的拉伸试验结果	16
4.2.3 时间变量试件的拉伸试验结果	17
4.3 数据分析	17
4.4 规律性总结	18
第五章 结论与展望	20
5.1 全文总结	20
5.2 展望	20
参考文献	21
致 谢	22

第一章 绪论

1.1 热塑性碳纤维复合材料国内外研究现状

中国科学院山西煤化所和上海合成纤维研究所在碳纤维制备开展了相关研制工作，并且在 80 年代进行产业化。进入新世纪以后，PAN 基碳纤维在民用上需求大幅度增加。2003 年，中国安徽华皖碳纤维有限公司同英国 AMEC/ACE（艾麦克）公司在该领域达成合作并在逐步投入生产。在国际上来说，碳纤维自 80 年代后性能获得极大的提高。例如，80 年代前以 3000MPa 的碳纤维为主，90 年代末开始使用的 T1000 纤维，其强度达到 7000MPa，并且开始在工程应用上的品种越来越多。日本东丽公司为碳纤维主要的生产公司，碳纤品种从 4 种发展为 21 种。

热塑性碳纤维复合材料广泛发展于上世纪八十年代，通过几十年的发展研究，取得了很多进展，不管是从材料的取材还是力学性能变化以及铺层角度顺序等有很大改进。相比于热固性碳纤维复合材料，热塑性碳纤维复合材料具有的优点及其明显较好的断裂初性、较大的损失容限、更好的耐蠕变性能；同时，利于回收利用和存放，并且生产周期较短。所以，热塑性碳纤维复合材料获得了快速而广泛的发展，发展速度迅速超过了热固性碳纤维复合材料，成为了碳纤维复合材料研究应用的主流。碳纤维的应用领域逐渐扩大，除了应用于军工及航空航天等高新技术领域，还被广泛的应用用于国防工业领域，是无人机、导弹、卫星、舰船等先进装备不可缺少的战略性材料。在风力发电、体育休闲、交通运输、汽车工业、能源、化工、建筑等民用领域也有着广泛的应用。

1.2 热塑性复合材料的优点

- (1) 韧性、损伤容限性能、抗冲击，抗裂纹扩展等性能较好。
- (2) 成型周期短，生产效率高，节约成本。
- (3) 实现结构减重。
- (4) 具有重塑性，可以循环利用，提高零件的修理性，降低报废率，废料也可回收。
- (5) 良好的耐热性能。

因此，热塑性复合材料在飞机结构中的应用，可以缩短零件的制造周期，提高其结构的抗冲击性能，减轻结构的重量，减少飞机的生产和使用成本。

1.3 热塑性碳纤维复合材料的成型方法

近一二十年我国的碳纤维发展非常迅速,它的制造技术和碳纤维复合材料的成型已成为一门独立的和前沿性的现代工程技术。随着使用经验的不断积累,碳纤维复合材料将在更大范围内得到推广和应用,因而,进一步提高碳纤维复合材料的性能和降低成本就成了现代碳纤维复合材料发展主流,而在其中,高效、节能、低成本的成型和制造技术是复合材料低成本化的重要方面。现在比较主流的成型方法有:

(1) 手糊成型法主要用手工来进行复合材料的成型,不需要专门的机器与特定的设备,制造过程简单所用工具简易,适合制作小型的碳纤维复合材料。

(2) 热压罐成型法目前是比较主流的热压成型法,目前在大量使用于一些大型复杂的复合材料上多用于航空结构。

(3) 模压成型法是比较传统常用的成型方法,适用于热塑性树脂与热固性树脂。它是将预浸料放到模具中施加压力填充使其固化冷却得到产品。

(4) 纤维缠绕成型法是一种生产成本较高的复合材料连续成型方法,它是将预浸料按照预设的方法缠绕到芯模上,固化成复合材料制品。

1.4 研究内容与方案

1.4.1 研究目的

本实验主要研究在一定的热压复合工艺条件下,采用热压成型法制备碳纤维/聚苯硫醚(CF/PPS)复合材料。通过力学性能实验,设计正交试验,通过控制温度、压力、时间这三个参数,来对制得的碳纤维/聚苯硫醚复合材料进行逐一力学测试,对力学性能结果进行分析得到最佳工艺参数。探究不同参数对热塑性碳纤维复合材料性能的影响,并通过调整围绕最佳参数来设计控制单一变量实验,得到围绕最佳工艺参数下碳纤维复合材料的强度变化规律。该方法研究的目的有两个,其一是通过控制不同变量所做出的热塑性碳纤维复合材料,对工艺做进一步的创新和探索。其二是通过对所做出的不同性能参数的热塑性碳纤维复合材料进行拉伸力学性能测试,并总结变化规律。

1.4.2 研究内容

(1) 热压成型法制备碳纤维/聚苯硫醚(CF/PPS)复合材料

利用华博/HBSCR 热压机对已手糊成型好的碳纤维/聚苯硫醚复合材料进行热压,在对设计好的 16 组正交试验制备试件完成后,拉断试件测试它们的力学性能,通过少数的实验次数,得到最准确的实验结果即同等条件下力学最佳的工艺参数试件。

(2) 热塑性复合材料力学性能的分析

通过热压成型法制得热塑性碳纤维复合材料后,在相关变量已进行控制的基础上,对其力学性能进行测试并做分析,通过 3 个关键工艺参数即温度、压力、

时间作为因素,在对不同条件下得出的热塑性碳纤维复合材料进行拉伸测试后得出相关性能的优劣差异,并分析出现性能差异的原因。

1.4.3 研究方案

(1) 采用热压成型法制备热塑性碳纤维复合材料

将碳纤维预浸料放到热压机上按预设进行加热加压,并调节时间。通过预加热,升温冷却改变压力来使树脂材料侵入碳纤维中,而后经过冷却得到热塑性碳纤维复合材料。

(2) 设计正交试验,探究最佳工艺参数

对按实验制备好的碳纤维复合材料进行力学拉伸,找到正交试验下力学性能最好的一组实验工艺参数,并记录。

(3) 通过控制单一变量制备多种不同性能的热塑性碳纤维复合材料

在热压成型机中,通过控制机器作用在材料上的温度与压力一定的条件下,改变热压成型机作用于材料上的时间,得到几块热塑性碳纤维复合板备用。然后再通过控制机器作用在材料的压力与时间一定的条件下,改变热压成型机作用于材料上的温度,得到几块热塑性碳纤维复合板备用。最后通过控制机器作用在材料的温度与时间一定的条件下,改变热压成型机作用于材料上的压力,得到几块热塑性碳纤维复合板备用。

(4) 对制备出的热塑性碳纤维复合板进行拉伸性能测试

将在三种不同参数条件下制作出的热塑性碳纤维复合板若干,放到拉伸机进行拉伸力学性能测试,直到拉断,记录不同参数下制作的复合板断裂所施加的力,并进行规律总结。

(5) 将数据画为直观图表,进行规律性总结

在对热塑性碳纤维复合材料进行力学性能测试后,将得到的断裂极限数据在图表上得到规律周期性体现,找到不同温度、压力与作用时间的条件下的复合材料强度变化规律。

第二章 热压成型法

2.1 热压成型法工艺过程

2.1.1 热压机工作流程

(1) 预期准备。用轻质洁净的材料擦拭热压板表面直至表面无污染干净干燥，并检查气密性是否有漏气的现象产生。若有以上现象产生，重复进行上述过程；若没有上述现象产生，在热压板上涂布脱模剂。

(2) 裁剪和铺叠。将碳纤维预浸料按照所需要的尺寸裁剪成相同的尺寸，剪切时一定要注意碳纤维方向，在得到相同碳纤维预浸料裁剪板后，撕去剪好的预浸料表面保护膜，按照预定设计的次序和方向依次铺叠，在铺完一层后要用塑料板等工具将预浸料压实，以驱赶空气使每一层紧密贴合在一起，形成接近真空的状态。

(3) 放置材料。将已裁剪好的碳纤维复合材料放到已涂布脱模剂的热压板上，通过在触摸屏上设置好压力压强，温度参数。

(4) 抽真空热压固化。在触摸屏上设置真空度数值，自动启动真空泵，到达真空数值真空泵会自动停止工作，低于设定数值会自动启动。在设定好的压力，温度下进行合模，到达热压累计时间后，报警时间继电器会自动音乐报警，提醒手动开模。

(5) 冷却。在手动开模前，若需要快速将温度降下来，则冷却开关打开，管道里的自来水会在雾化器的作用下，将水雾吹进热压板回型管道内部，做到快速使温度降下来的目的。

2.1.2 热压机工艺流程

热压成型工艺在上述生产工艺中，热压过程中的热压机给予碳纤维预浸料的温度、给予碳纤维预浸料的压力和热压机作用于碳纤维预浸料的时间是三个最重要的工艺参数。碳纤维复合材料的热压过程，一般分为预热预压和热压两个阶段。

(1) 第一阶段-预热预压阶段。此阶段的主要目的是使在铺叠碳纤维时的树脂熔化，去除挥发物、浸渍纤维，并且使树脂逐步固化至凝胶状态。此阶段的成型压力一般为预设压力的三分之一到二分之一之间。

(2) 第二阶段-中间保温阶段。这一阶段的主要目的是使树脂在平缓的速度下进行固化。在保温过程中应密切注意树脂的流胶情况。一般现象为在保温阶段有树脂以粘稠状态挤压流出，挤出树脂量的多少由温度和压力控制，为匀速均匀流出，若出现微微固化的现象，需增加温度，快速升温防止出现这类现象。

(3) 第三阶段-升温阶段。由中间保温阶段缓慢进行固化到快速升温达到迅速使碳纤维复合材料固化的目的,但是不能使温度升温过快,会引起部分树脂快速固化,形成一团聚集区,其他部分产生没胶缺胶的状况,所以需缓慢加热到预设温度。

(4) 第四阶段-热压保温阶段。升温到预设温度后,保持热压机作用在材料的时间到达预设时间。目的在于使树脂能够充分固化。热压阶段热压机作用于材料的温度、压力和恒温时间,也是由不同基体与增强体材料所决定的。

(5) 第五阶段-冷却阶段。在保持预设压力的情况下,采取自然冷却或者强制冷却到室温的方法,然后卸压,取出产品。若冷却时间过于短,容易使复合材料产生开裂、翘曲等质量问题现象。如果冷却时间过长,对制作好的复合材料质量没有明显效果,但是会使生产效率明显降低,所以在冷却阶段也要控制好复合材料的冷却时间。

2.2 热压机成型优点

(1) 碳纤维热压机主要用于碳纤维复合材料成型压制工艺,它可以满足压制工艺的各项参数要求。设备温度、压力、固化时间均符合复合材料的工艺特性;并且采用 PLC 加触摸屏控制,操作方便,工作参数随所做材料性质可调节。

(2) 采用优质复合材料调压阀和电磁阀,可以通过控制系统精密的来调节压缩空气的数值,预热以及恒压时间根据不同复合材料进行不同预先设置。

(3) 对于温度的控制更加精确,使树脂能更加融合进碳纤维材料中,温差精度高;并且通过控制阀噪音小,性能安全稳定。

(4) 设备精度高,快速平稳,保障了成型产品的质量及生产效率并且机器小巧,占地面积小外观精美,操作便利。

2.3 热压成型法制备热塑性碳纤维复合材料

2.3.1 热压机温度的控制

对于温度,分为预热温度,中间保温温度,升温,保温,冷却。它主要取决于材料的种类。通常当材料挥发物含量高,不溶性树脂含量低时,预设温度低些。结构复杂或较大的制品,预设温度应低些为好。提高预设温度,可缩短生产周期,提高生产效率。预设温度视材料的品种而定。

2.3.2 热压机压力的控制

对于压力也取决于材料的品种,预设压力要符合制品的本身特性,避免制品产生分层,结构松散或损坏的现象产生。同时控制好压力的调节,可很好地增加树脂的流动性,便于充满碳纤维各个角落,使制品结构坚实,机械强度提高。除了施加多大的压力有相应的控制外,对于何时对材料施加压力也是比较重要的问题。加压过早会使基体与增强体间交联反应程度低,流动性能大,融合不均匀产

生局部缺胶，纤维外露的现象；若加压过迟，基体与增强体间交联反应程度大，流动性差，不易充满纤维，同样也得不到想要的预期结果，出现质量问题。

2.3.3 热压机时间的控制

对于时间，控制热压机对材料的作用时间是靠材料本身的性质来决定的，成型工艺时间与固化时间也是需要参考树脂基体以及碳纤维增强体材料的大小和难易程度来确定。

2.4 铺层方法的设计

【0/45/90/-45/0/45/90/-45】s

为了减少固化过程中的变形，整体铺层顺序应该在层压板结构铺层中心线两侧对称，中心线一般位于层压板的中部区域。并且为确保均匀的铺层顺序，不同的铺层角度应该在铺层顺序中均匀分布。本实验将采用 16 层碳纤维结构作为增强体，使用聚苯硫醚（PPS）树脂作为基体，对此以上角度进行铺层来进行实验。

第三章 实验设计及试件制备与性能测试

3.1 田口 (Taguchi) 试验

3.1.1 设计方法介绍

田口 (Taguchi) 方法是以设计开始的源头为主要阶段, 从根本实验设计上来解决后续质量上可能会出现各种问题, 包括材料的制造偏差、材料的磨损消耗、不可抗力外界环境因素对材料的影响等。田口 (Taguchi) 方法以正交表为基础, 从设计源头上大量减少实验次数, 降低设计实验所带来的材料成本并提高实验效率。

3.1.2 实验设计

用 Taguchi 正交表的方法为基础设计实验, 本实验为热压制造碳纤维/聚苯硫醚 (CF/PPS) 复合材料, 通过控制 3 个主要工艺因素参数, 即因素 A 温度、因素 B 压力、因素 C 时间作为变量, 改变因素条件制造力学强度性能差异的碳纤维/聚苯硫醚复合材料。如表 3-1。

表 3-1 实验因素表

实验参数	水平			
	1	2	3	4
因素 A (温度/°C)	280°C	300°C	320°C	340°C
因素 B (压力/Mpa)	4.6Mpa	5Mpa	5.4Mpa	5.8Mpa
因素 C (时间/min)	2.5min	3min	3.5min	4min

通过正交法设计实验 16 组得到实验 16 种不同力学性能的碳纤维/聚苯硫醚 (CF/PPS) 复合材料层板。如表 3-2。

表 3-2 正交试验表

实验次数	因素		
	温度 A/°C	压力 B/Mpa	时间 C/min
1	280	4.6	2.5
2	280	5	3
3	280	5.4	3.5

4	280	5.8	4
5	300	4.6	3
6	300	5	2.5
7	300	5.4	4
8	300	5.8	3.5
9	320	4.6	3.5
10	320	5	4
11	320	5.4	2.5
12	320	5.8	3
13	340	4.6	4
14	340	5	3.5
15	340	5.4	3
16	340	5.8	2.5

3.2 实验材料

碳纤维预浸料、聚苯硫醚树脂（PPS）由日本东丽公司提供。

3.3 实验仪器及设备

华博/HBSCR 热压机由青岛华博机械科技有限公司制造，所制造热压机都由三维可视 CAD 设计，设计的产品节约能源消耗，高质量高效率。所选公司实验仪器设备为航空航天新材料生产的主要设备之一。如图 3-1。



图 3-1 热压机照片

3.4 试样的制备

拿取一大块玻璃板放到桌面上，用洁净的白布擦拭玻璃板，使它表面干净无灰尘。把所需碳纤维预浸料称重后，按一定比例计算出所需聚苯硫醚树脂所需重量。将碳纤维预浸料平放到玻璃板上，用洁净的刷子蘸取适量聚苯硫醚树脂均匀的刷涂在碳纤维预浸料表面。涂覆后用透明塑料硬薄膜盖在以刷涂好树脂的碳纤维表面上，用刮板挤出多余的空气与树脂，使聚苯硫醚树脂完全浸润碳纤维预浸料。然后在碳纤维预浸料背面刷涂聚苯硫醚树脂，与正面方法一样。完成后会得到一大块碳纤维复合板，将板子裁剪成 16 块 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 等大的小碳纤维复合板材。在按照预设铺层角度顺序【 $0/45/90/-45/0/45/90/-45$ 】s，撕掉表面塑料硬薄膜，一层一层对齐铺好，得到上热压机前的碳纤维复合材料状态。检查热压机垫板上下是否清洁，热压机上表面是否清洁，检查电源开关接头是否松动。将铺好的碳纤维复合板放到热压机上，按照实验预设数值手动调试机器，合上开关，合上手动液压阀，置于“手动”位置，点动“合模”按键，压板下压，双手不能触碰加热板。待到温度升高到预设温度时，冷却手动开模，压板下压作用时间后得到所需要的碳纤维复合材料试样。工作结束后，将设定数值清零，关闭电源。重复以上试样制备方法 16 次，得到对应 16 次预设实验的试样材料。如图 3-2。

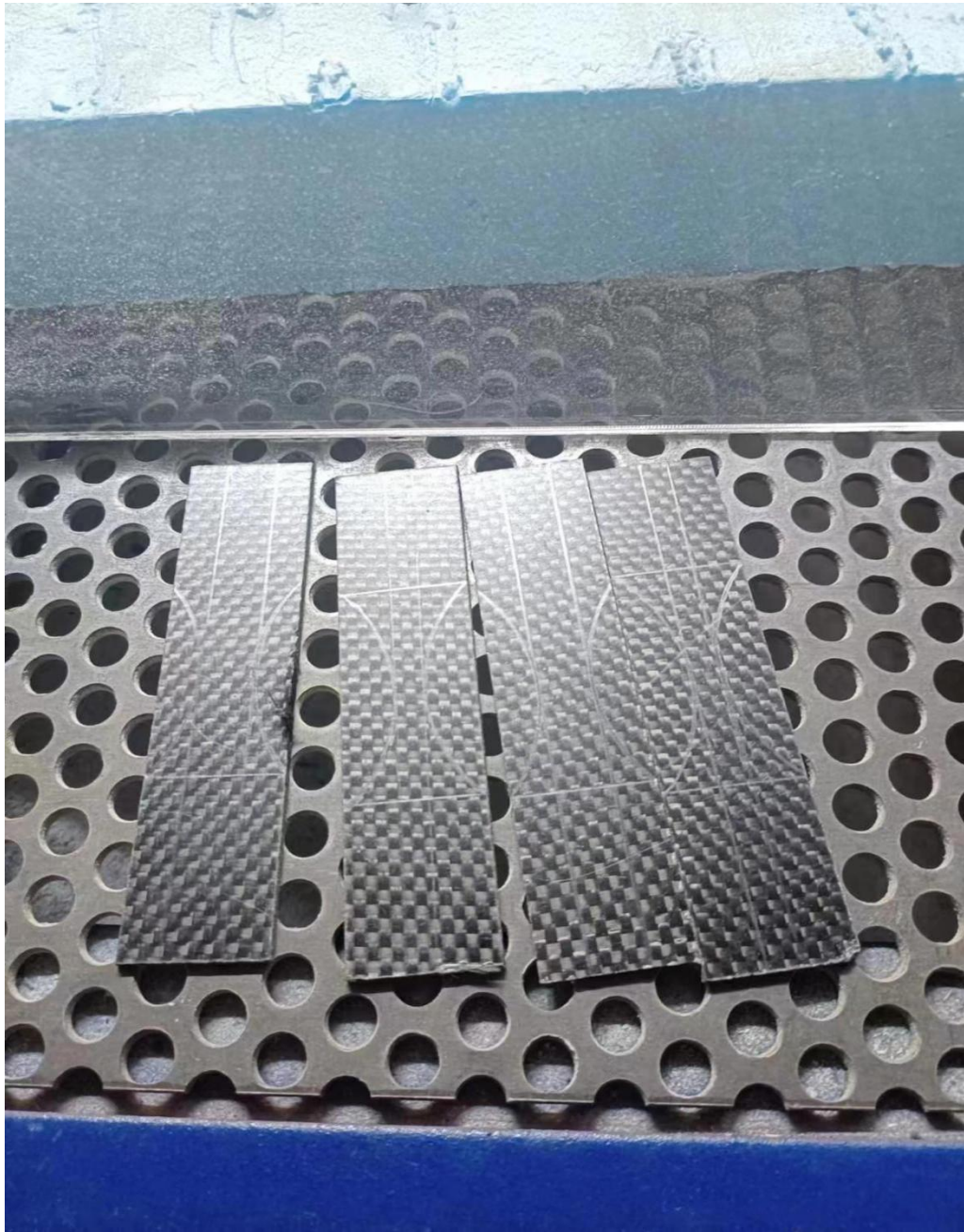


图 3-2 试样材料

3.5 拉伸性能试验

3.5.1 拉伸试验仪器

微机控制电子万能试验机 WDW-030。如图 3-3, 3-4。



图 3-3 微机控制电子万能试验机 1



图 3-4 微机控制电子万能试验机 2

3.5.2 试件尺寸

试件整体长 100mm，宽 25mm。打磨截面处长 10mm，宽 2mm。如图 3-5。



图 3-5 试件尺寸图

3.5.3 拉伸试验结果分析

在通过制备正交试验的碳纤维复合材料后，用拉伸机拉断试件，得到以下 16 组拉伸强度数据。如表 3-3。

表 3-3 正交试验拉伸强度表

实验次数	因素			拉伸强度/Mpa
	温度 A/°C	压力 B/Mpa	时间 C/min	

1	280	4.6	2.5	280
2	280	5	3	306
3	280	5.4	3.5	290
4	280	5.8	4	295
5	300	4.6	3	392
6	300	5	2.5	370
7	300	5.4	4	380
8	300	5.8	3.5	390
9	320	4.6	3.5	460
10	320	5	4	465
11	320	5.4	2.5	465
12	320	5.8	3	475
13	340	4.6	4	418
14	340	5	3.5	425
15	340	5.4	3	435
16	340	5.8	2.5	430

3.5.4 最佳工艺参数

通过对田口(Taguchi)正交试验设计的 16 组实验试件进行力学拉伸试验后, 得出结论: 在热压机设定参数 320℃、5.8Mpa、3min 这组实验中, 所制备的试件在拉伸机上断裂时, 达到的数值为 475Mpa, 和其他组实验比较后, 为力学性能最好的一组。如图 3-6。

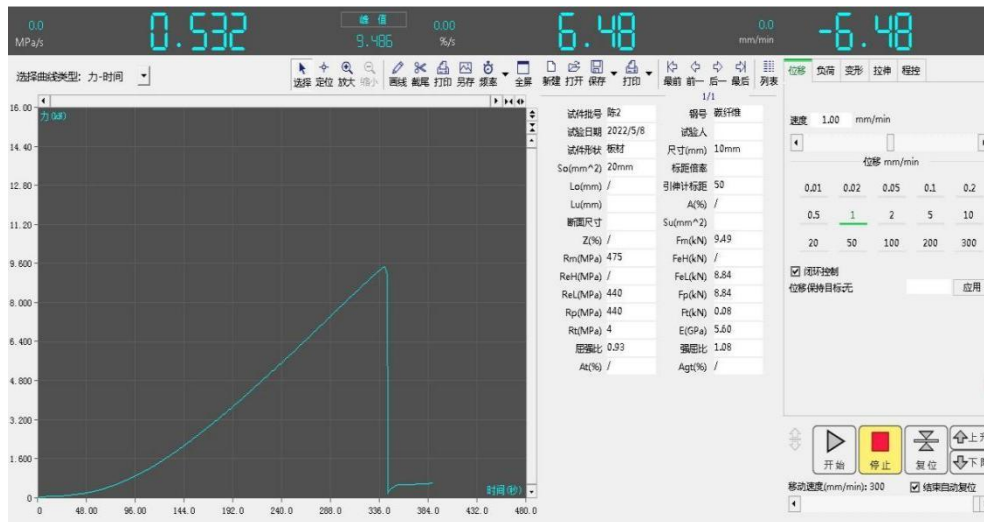


图 3-6 拉伸强度结果

第四章 工艺参数对试件的影响

4.1 设计工艺参数变量试件实验

4.1.1 温度变量试件实验设计

在田口 (Taguchi) 正交试验所得到碳纤维/聚苯硫醚复合材料最佳工艺参数为 320℃、5.8Mpa、3min。为探究温度参数对复合材料力学性能的影响,设计 5 种实验方案,围绕最佳温度参数上下浮动 20℃,制作温度变量力学性能试验试件。如表 4-1。

表 4-1 温度变量实验表

实验次数	实验参数		
	温度/℃	压力/Mpa	时间/min
1	280	5.8	3
2	300	5.8	3
3	320	5.8	3
4	340	5.8	3
5	360	5.8	3

4.1.2 压力变量试件实验设计

在田口 (Taguchi) 正交试验所得到碳纤维/聚苯硫醚复合材料最佳工艺参数为 320℃、5.8Mpa、3min。为探究压力参数对复合材料力学性能的影响,设计 5 种实验方案,围绕最佳压力参数上下浮动 0.4Mpa,制作压力变量力学性能试验试件。如表 4-2。

实验次数	实验参数		
	温度/℃	压力/Mpa	时间/min
1	320	5.0	3
2	320	5.4	3
3	320	5.8	3

4	320	6.2	3
5	320	6.6	3

表 4-2 压力变量实验表

4.1.3 时间变量试件实验设计

在田口 (Taguchi) 正交试验所得到碳纤维/聚苯硫醚复合材料最佳工艺参数为 320℃、5.8Mpa、3min。为探究时间参数对复合材料力学性能的影响, 设计 5 种实验方案, 围绕最佳时间参数上下浮动 0.5min, 制作时间变量力学性能试验试件。如表 4-3。

表 4-3 时间变量实验表

实验次数	实验参数		
	温度/℃	压力/Mpa	时间/min
1	320	5.8	2
2	320	5.8	2.5
3	320	5.8	3
4	320	5.8	3.5
5	320	5.8	4

4.2 拉伸性能分析

4.2.1 温度变量试件的拉伸试验结果

在通过制备单一变量的碳纤维复合材料后, 用拉伸机拉断试件, 得到以下 5 组温度变量拉伸强度数据。如表 4-4。

表 4-4 温度变量拉伸强度结果表

实验次数	温度/℃	压力/Mpa	时间/min	拉伸强度/Mpa
1	280	5.8	3	310
2	300	5.8	3	310
3	320	5.8	3	475
4	340	5.8	3	392
5	360	5.8	3	356

4.2.2 压力变量试件的拉伸试验结果

在通过制备单一变量的碳纤维复合材料后, 用拉伸机拉断试件, 得到以下 5 组压力变量拉伸强度数据。如表 4-5。

表 4-5 压力变量拉伸强度结果表

实验次数	温度/°C	压力/Mpa	时间/min	拉伸强度/Mpa
1	320	5.0	3	448
2	320	5.4	3	458
3	320	5.8	3	475
4	320	6.2	3	466
5	320	6.6	3	443

4.2.3 时间变量试件的拉伸试验结果

在通过制备单一变量的碳纤维复合材料后，用拉伸机拉断试件，得到以下 5 组时间变量拉伸强度数据。如表 4-6。

表 4-6 时间变量拉伸强度结果表

实验次数	温度/°C	压力/Mpa	时间/min	拉伸强度/MPa
1	320	5.8	2	443
2	320	5.8	2.5	458
3	320	5.8	3	475
4	320	5.8	3.5	480
5	320	5.8	4	465

4.3 数据分析

在对上述不同工艺参数进行单一变量实验设计并制备试件，通过拉伸机拉断得到的拉伸强度进行整理，得到各单一变量折线图。由折线图可知，对照实验结果，得出力学性能实验结论。如图 4-1, 4-2, 4-3。

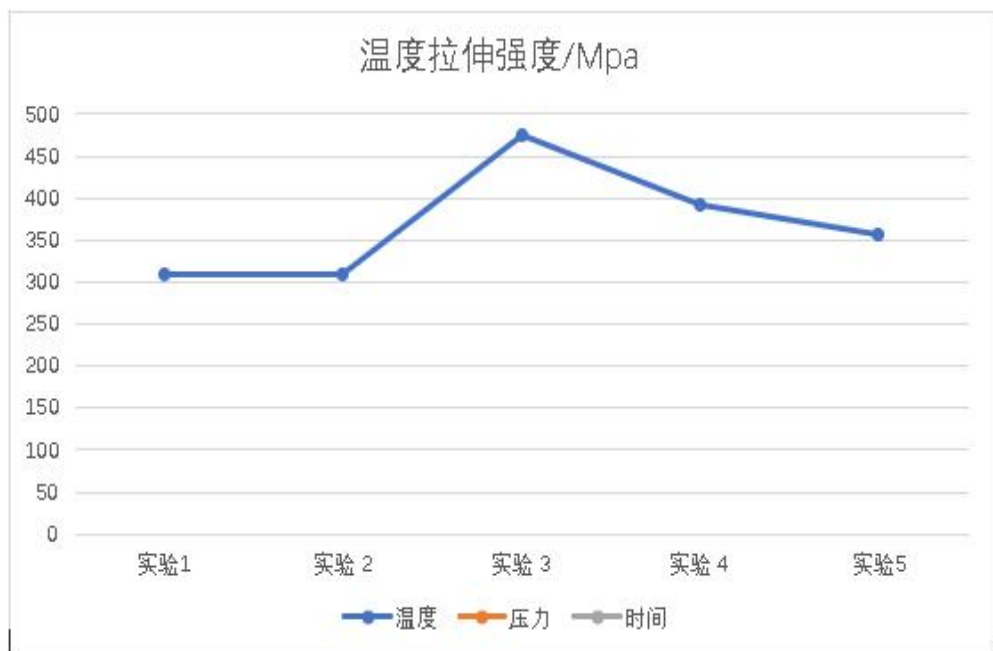


图 4-1 温度变量拉伸结果折线图



图 4-2 压力变量拉伸结果折线图

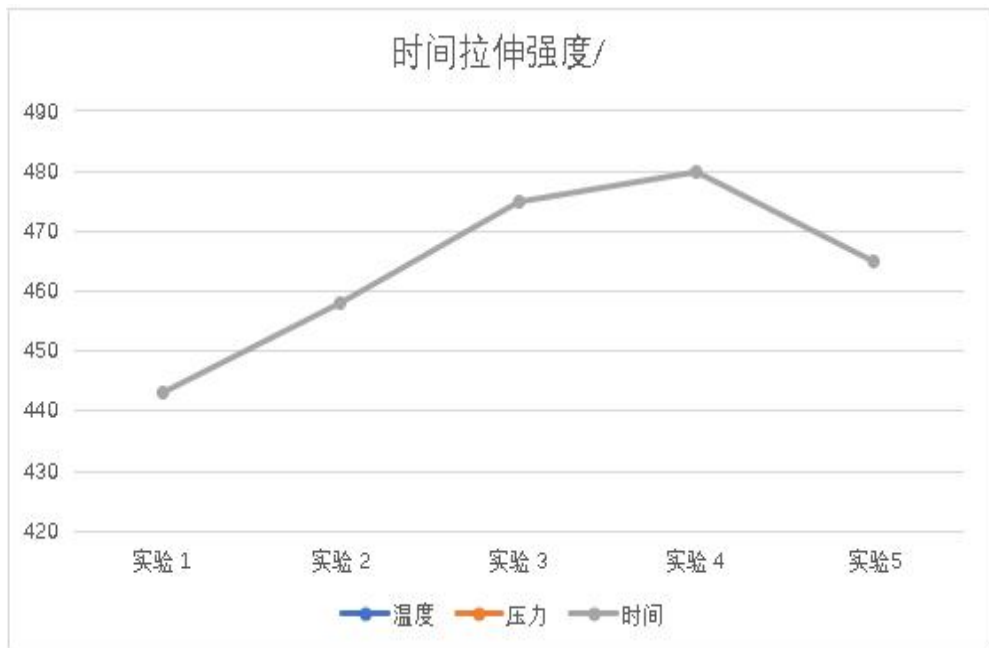


图 4-3 时间变量拉伸结果折线图

4.4 规律性总结

碳纤维/聚苯硫醚复合材料在随温度参数逐渐升高，力学性能逐渐变好；在温度达到最佳工艺参数 320℃后，随着温度参数升高，力学性能逐渐变差。

碳纤维/聚苯硫醚复合材料在随压力参数逐渐升高，力学性能逐渐变好；在压力达到最佳工艺参数 5.8Mpa 后，随着压力参数升高，力学性能逐渐变差。

碳纤维/聚苯硫醚复合材料在随时间参数逐渐升高，力学性能逐渐变好；在时间达到最佳工艺参数 3min 后，随着时间参数升高，力学性能逐渐变差。

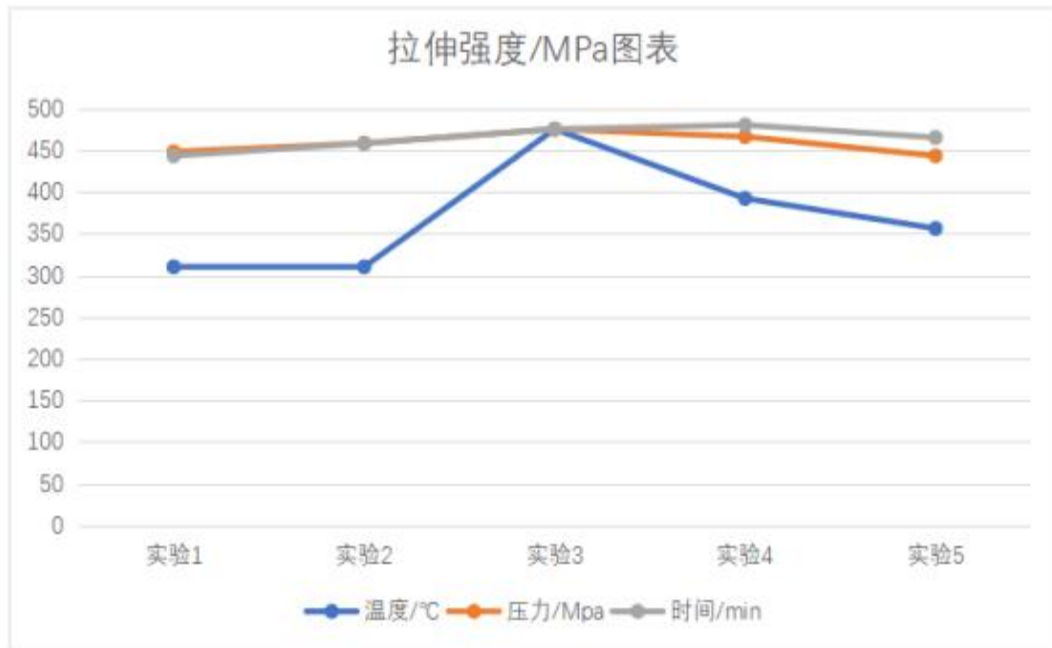


图 4-4 各变量拉伸强度结果表

根据实验数据分析，如图 4-4，温度参数对实验力学性能结果影响最大。

第五章 结论与展望

5.1 全文总结

本文采用热压机热压成型法,对碳纤维预浸料与聚苯硫醚树脂进行层压实验,第一步通过田口(Taguchi)正交实验法,通过少量的实验次数制备复合材料试件,在力学拉伸性能测试后,得到碳纤维/聚苯硫醚复合材料力学性能最好时的工艺参数:320℃、5.8Mpa、3min。第二步通过围绕最佳参数上下浮动单一变量实验,探究工艺参数变化对试件力学性能的影响,得到结论温度、压力、时间工艺参数,都随着各自参数的提高,力学拉伸性能逐渐变大;到达最佳工艺参数时,力学性能最佳;过最佳工艺参数后,随各自参数的提高,力学拉伸性能逐渐变小。本实验通过对热塑性碳纤维复合材料的制备工艺以及工艺参数变化对复合材料性能的影响进行研究,得出相对稳定的实验结论。对其他不同种类碳纤维复合材料的制备以及选取力学性能最佳的试件提供了实验和研究思路。

5.2 展望

碳纤维复合材料在当今使用量逐渐成为主流,主要解决结构轻量化问题,在这同时所带来的的问题是使用碳纤维复合材料让结构重量变轻是否会影响原来的力学强度。越来越多的问题层出不穷,对复合材料的力学性能有更严格的要求。所以本文研究的内容是碳纤维预浸料与聚苯硫醚树脂两种材料在热压机的工作下,结合成复合材料。制备方法被广泛使用,但工艺参数的优化值得研究。本实验采用 Taguchi 方法,设计不同参数下制备出的碳纤维复合材料,在拉伸机作用下的力学强度,通过得出的数据图曲线,找到最佳的工艺参数。该研究对制备不同高强度碳纤维复合材料提供了良好的思路。

参考文献

- [1] 郭丹丹. 聚丙烯腈基碳纤维改性、预氧化工艺及其机理的探讨[D]. 武汉纺织大学, 2013.
- [2] 张均. 聚丙烯腈原丝表面结构形态的形成与演变[D]. 北京化工大学. 2007.
- [3] 王东. 舱段用碳纤维环氧树脂复合材料及其整体成型工艺[D]. 哈尔滨工业大学, 2010.
- [4] 黎小平, 张小平, 王红伟. 碳纤维的发展及其应用现状[J]. 高科技纤维与应用, 2005, (05): 28-34.
- [5] 贾巍. C f i M g 复合材料力学与热膨胀性能研究及纤维排布设计[D]. 哈尔滨工业大学. 2009.
- [6] 龙志强, 长碳纤维热塑性复合材料制备及力学性能研究[D], 大连理工大学, 2020.
- [7] 罗金亮, 热塑性树脂基碳纤维复合材料的制备及力学性能的研究[D], 安徽工程大学, 2019.
- [8] 汪愿, GF/PP 铆钉制备及热塑性复合材料铆接头性能研究[D], 南京航空航天大学, 2019.
- [9] 姚远., 中间相沥青基碳纤维及其在飞机上的应用[J]. 纤维复合材料, 2018, 第 36 卷(3):73-76.
- [10] 杨建军. 连续纤维增强热塑性复合材料浸渍模拟及优化研究[D]. 北京化工大学, 2016.
- [11] 刘红兵,李川.基于 PLC 的热压机管式加热系统优化控制[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2003(02):62-63+67.
- [12] 路鹏程,陈栋,王志平.碳纤维/聚苯硫醚热塑性复合材料电阻焊接工艺[J].复合材料学报,2020,37(05):1041-1048.
- [13] 石冠鑫. CFRP 层合板紫外线辐照后性能演变与抗冲击性能研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2013.
- [14] 汪赫男,张佐光,顾轶卓,李敏.环氧树脂材料层板热压成型孔隙缺陷影响因素[J].复合材料学报,2007(05):55-60.
- [15] 于天淼,高华兵,王宝铭,果春焕,姜风春.碳纤维增强热塑性复合材料成型工艺的研究进展[J].工程塑料应用,2018,46(04):139-144.
- [16] 季光明,殷跃洪,郑正.民用飞机用热塑性复合材料的研究进展[J].中国胶粘剂,2016,25(03):52-55.
- [17] 戴春莲. 热塑性玻纤增强聚丙烯模压成形性研究及仿真分析[D]. 湖南大学, 2018.

致 谢

大学四年的生活已经接近尾声，在这四年里我经历了很多事情，有太多的感动瞬间，也由很多那么不如人意的地方。还记起四年前那个懵懂少年刚刚进入大学，对一切新鲜事物，新鲜知识充满好奇，再到如今充满知识将要步入社会的我来说，要感谢的人有很多。感谢我的亲朋好友、老师同学以及那些帮助过我的陌生人们，是你们的关照与帮助让我一步一步稳扎稳打，不断丰满羽翼。

感谢张健导师细心的指导，本课题张健导师付出了太多的心血，不管是从选题到开题报告，再到后来的中期检查与论文最终定稿，张健导师每时每刻都在跟进我的完成进度，不仅在学业论文上细心指导，在生活中也关心疫情防控影响。在此向张健导师致上最高的敬意！还要感谢宋长健老师在我人生规划中所提出的意见，感谢王军老师、荆楠老师、李月英老师对我学习上的帮助。感谢赵晗、刘泽朗、陈云飞、韩华龙、何佳诚我的舍友们对我日常生活中的照顾与帮助。最后感谢在大学期间所有在学业和生活中帮助过我的老师朋友们，感谢我的父母在背后一直支持我，默默做我最坚强的后盾，愿你们永远健康幸福。