



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114163775 A

(43) 申请公布日 2022.03.11

(21) 申请号 202210046885.3

(22) 申请日 2022.01.14

(71) 申请人 安徽工程大学

地址 241000 安徽省芜湖市北京中路8号

(72) 发明人 杨莉 王玮 马翔 徐珍珍

席玉松 丁峰

(74) 专利代理机构 北京东方盛凡知识产权代理

事务所(普通合伙) 11562

代理人 程小芳

(51) Int. Cl.

C08L 63/00 (2006.01)

C08L 77/10 (2006.01)

C08J 5/06 (2006.01)

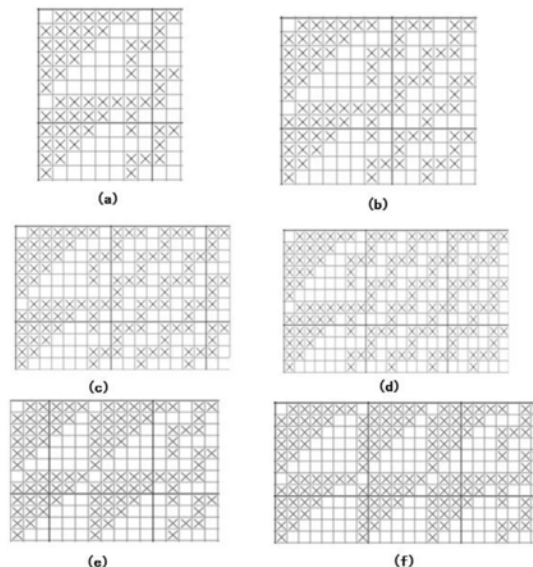
权利要求书1页 说明书11页 附图5页

(54) 发明名称

一种具有复合增强体结构的复合材料及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种具有复合增强体结构的复合材料及其制备方法,涉及复合材料制备技术领域。复合材料以凯夫拉纤维为复合增强体原料,环氧树脂为基体;复合增强体以多层组织结构单元与平纹组织结构单元为配比单元。该复合材料通过树脂固化剂混合溶液浸渍复合增强体制备得到。本发明具有复合增强体结构的复合材料具有优异的力学性能,可满足工程领域对多层机织物增强复合材料较高的性能需求,同时,也为复合结构对所制备的复合材料的力学性能影响提供了理论与设计依据。



1. 一种具有复合增强体结构的复合材料,其特征在于,所述复合材料以凯夫拉纤维为复合增强体原料,环氧树脂为基体;所述复合增强体以多层组织结构单元与平纹组织结构单元为配比单元。

2. 如权利要求1所述的复合材料的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 将所述凯夫拉纤维进行上浆处理;

(2) 按照设定好的结构织造复合增强体;

(3) 对所述复合增强体进行脱浆处理并干燥;

(4) 以树脂固化剂混合溶液浸渍所述复合增强体,静置,得到所述复合材料。

3. 根据权利要求2所述的制备方法,其特征在于,步骤(1)上浆处理的温度为100℃。

4. 根据权利要求2所述的制备方法,其特征在于,步骤(1)上浆处理所用浆料原料包括PVA、变性淀粉和水;所述PVA、变性淀粉和水的质量比为48:112:1840。

5. 根据权利要求4所述的制备方法,其特征在于,所述浆料的制备方法包括以下步骤:将所述PVA、变性淀粉和水混合溶解后,于90℃下煮浆2.5h。

6. 根据权利要求2所述的制备方法,其特征在于,步骤(3)脱浆处理采用NaOH溶液,处理时间为3h。

7. 根据权利要求2所述的制备方法,其特征在于,所述树脂固化剂混合溶液由JL-235树脂与固化剂按照质量比100:27混合得到。

## 一种具有复合增强体结构的复合材料及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及复合材料制备技术领域,特别是涉及一种具有复合增强体结构的复合材料及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 复合材料一般是由两种或两种以上的材料,通过化学或物理的方法,在宏观上组成的新性能的材料,其中组分根据其在实践中的不同应用可分为基体和增强体。它们在保持自身固有基本特性的基础上,通过界面之间的相互作用,来实现材料性能的叠加与互补和产生协同效应,使复合材料获得优异的新的综合性能,满足其在不同领域的性能要求。

[0003] 随着纺织技术的飞速发展,以纤维为主要原料的针织物、机织物及非织造布被广泛用作复合材料的增强体材料。纺织复合材料由于其低密度、高模量、高强度等优点,在安全防护和交通建设及航空航天等领域也得到了广泛的应用。

[0004] 多层织物增强复合材料具有较高的整体性和仿形性,层压复合材料有着优异的抗拉伸性能,但是层压复合材料的层间强度较低,易出现分层现象。而多层织物复合材料不仅可以拥有层压复合材料高比刚度、高比强度、抗疲劳等优点的同时,还可以克服层压复合材料的层间强度低的缺点,并且可以提高复合材料层间性能和损伤容限,且这种织物可以在普通织机上织造或改造,生产效率高,适于批量生产。因此多层织物复合材料在各个领域得到了广泛的运用。多层织物组织结构多样化,多层织物增强体结构对复合材料力学性能具有重要影响,对纺织复合材料的发展具有重要意义。多层结构的织物复合材料是三维机织复合材料的一种特殊形式,其最大特点是粘合经纱沿厚度方向以一定角度交织成型,从而提高复合材料的层间性能。多层结构机织复合材料具有多种增强结构,通过匹配不同的纤维类型、机织密度和其他设计参数,可以形成具有不同性能的复合材料,结构材料领域有很大的发展空间。

[0005] 多层织物和平纹层压复合材料与三维织物结构对复合材料的力学性能影响方面,引起了学者们的关注及探讨。其中郭洪伟通过对多层织物结构的分析表明,纬纱密度对多层织物复合材料的力学性能有着显著的影响,而提高纬纱密度也可以提高材料的整体性能,尤其是厚度方向的性能。胡靖元通过对层压复合材料的研究分析表明,复合材料受冲击损伤机理包括裂纹的稳定性,传播性和渗透性,以及材料结构对能量的吸收和纤维断裂的影响。阮芳涛采取小样织机制备了经纬密度不同的芳纶/碳纤维混杂平纹织物,利用真空辅助树脂传递模塑成型工艺制备了芳纶/碳混杂织物增强复合材料并测试材料的力学性能。研究表明,当经纱的密度增大时,复合材料的弯曲模量、拉伸模量呈下降趋势,而材料的拉伸强度和断裂伸长率呈上升趋势;李思辉对聚乙烯层压复合材料进行冲击性能的试验测试,同时把降解过程分为拉伸,剪切和分层三个阶段,研究表明复合材料中纤维和基体材料的叠加是对能量吸收最多的。黄故对多维织物的结构进行不同设计制备复合材料进行拉伸试验,对此提出多维机织物的组织结构对复合材料的拉伸强度和断裂伸长率等起着决定性作用,伸直状态的长丝束有利于提高三维机织物复合材料性能。顾龙鑫通过设计并织造了

相同层数,结构不同的织物进行复合材料的制备,并对其材料进行力学性能的测试,从而证明了多维织物结构设计中,厚度一定时,应提高织物的面密度,从而可以提高复合材料的拉伸断裂强度。从目前的整体研究方向来看,主要是基于单一织物结构和材料的选择应用的变化来研究复合材料性能的影响,探索单一织物结构以及空间和平面结构和材料的应用对复合材料性能的影响。

[0006] 而工程领域日益严格的要求对多层机织物增强复合材料提出了更高的要求。目前的工业上所制备的复合材料的力学性能还没有完全满足实际需要。例如,作为异型构件的基本结构,复合加固需要结合良好的整体结构和柔性结构变形能力,克服异型构件在织造过程中的变形、弯曲等变形行为还不能完全符合条件需求。多层织物改变了经纱和纬纱的排列规律以及每层经纱和纬纱的交织规律,从而获得良好的结构变形和力学性能,有望成为异形结构件的基本结构材料。实际应用过程中,多层复合材料在拉伸、压缩等外部环境下,会导致材料损伤,严重影响材料的可继续使用性,因此有必要对其力学性能做深入研究,对多层机织复合材料的结构进行设计织造以及工艺优化。

## 发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种具有复合增强体结构的复合材料及其制备方法,以解决上述现有技术存在的问题,使复合材料具有优异的力学性能,以满足工程领域对多层机织物增强复合材料较高的性能需求,同时,为复合结构对所制备的复合材料的力学性能影响提供理论与设计依据。

[0008] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0009] 本发明提供一种具有复合增强体结构的复合材料,所述复合材料以凯夫拉纤维为复合增强体原料,环氧树脂为基体;所述复合增强体以多层组织结构单元与平纹组织结构单元为配比单元。其中多层组织以机织组织结构中的角联锁组织为基础组织单元,平纹组织为二维机织组织中平纹组织结构。在进行组织结构单元配置时,根据材料要求进行组织结构设计。在进行结构设计时,首先确定复合组织配置比,再根据两种组织单元的完全循环纱线数,确定两种组织结构单元的一个组织循环完全纱线数,当两种组织结构单元完全循环纱线数不同时,根据两种组织结构单元的最小公倍数进行循环纱线数的设置。织造时,采用分区穿综法进行穿综。

[0010] 本发明还提供上述复合材料的制备方法,包括以下步骤:

[0011] (1) 将所述凯夫拉纤维进行上浆处理;

[0012] (2) 按照设计好的结构织造复合增强体;

[0013] (3) 对所述复合增强体进行脱浆处理并干燥;

[0014] (4) 以树脂固化剂混合溶液浸渍所述复合增强体,静置,得到所述复合材料。

[0015] 进一步地,步骤(1)上浆处理的温度为100℃。

[0016] 进一步地,步骤(1)上浆处理所用浆料原料包括PVA、变性淀粉和水;所述PVA、变性淀粉和水的质量比为48:112:1840。

[0017] 进一步地,所述浆料的制备方法包括以下步骤:将所述PVA、变性淀粉和水混合溶解后,于90℃下煮浆2.5h。

[0018] 进一步地,步骤(3)脱浆处理采用NaOH溶液,处理时间为3h。

[0019] 进一步地,所述树脂固化剂混合溶液由JL-235树脂与固化剂按照质量比100:27混合得到。

[0020] 本发明公开了以下技术效果:

[0021] 本发明以平纹组织结构单元与多层组织结构单元为配比单元,设计具有复合组织结构的多层组织结构,以凯夫拉纤维为增强体原料,环氧树脂为基体,通过真空辅助成型工艺制备芳纶环氧树脂基复合材料,并对复合材料进行力学性能测试,同时对比平纹层压复合材料和多层结构复合材料的力学性能,分析多层组织结构单元与平纹组织结构单元的复合比例对制备的复合材料力学性能的影响。结果表明,复合多层组织结构有利于多层芳纶环氧树脂基复合材料力学性能的影响,与传统多层复合材料相比,组织结构设计为3+1的复合多层复合材料的抗拉强度提高最多,为81.67%;组织结构设计为1+3的复合多层复合材料的抗弯强度改善最大,提高了近2倍;组织结构设计为2+1的复合多层复合材料的抗冲击性能最多增加了42.56%。

[0022] 本发明在多维增强体结构的复合材料力学性能研究的基础上,结合三维结构增强体、二维结构增强体,探究其结构的不同对复合材料力学性能的影响,为复合结构对复合材料力学性能的影响提供了理论与设计依据,有助于在减轻复合材料质量的情况下保证复合材料的力学性能,以达到节约燃料和成本的目的,同时能够改善现有纺织复合材料层间强度低等各方面应用的缺点和不足。

## 附图说明

[0023] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0024] 图1为本发明纺织结构复合材料配置结构图;图a为1+1配置结构,图b为1+2配置结构,图c为1+3配置结构,图d为1+4配置结构,图e为2+1配置结构,图f为3+1配置结构;

[0025] 图2为实施例1中单层平纹织物组织结构和多层织物组织结构;图a为平纹组织图,图b为多层组织图;

[0026] 图3为树脂传递模塑工艺装置图;其中:1-增强体,2-导流网,3-导流管,4-黑胶,5-垫板,6-真空膜,7-树脂灌注出口,8-真空管,9-树脂灌注入口;

[0027] 图4为复合材料的拉伸强度柱状图;

[0028] 图5为复合材料的应力应变曲线;

[0029] 图6为复合材料的抗弯强度柱状图;

[0030] 图7为复合材料的弯曲应力应变曲线;

[0031] 图8为复合材料的冲击强度柱状图;

[0032] 图9为复合材料的结构模拟图。

## 具体实施方式

[0033] 现详细说明本发明的多种示例性实施方式,该详细说明不应认为是对本发明的限制,而应理解为是对本发明的某些方面、特性和实施方案的更详细的描述。

[0034] 应理解本发明中所述的术语仅仅是为描述特别的实施方式,并非用于限制本发明。另外,对于本发明中的数值范围,应理解为还具体公开了该范围的上限和下限之间的每个中间值。在任何陈述值或陈述范围内的中间值以及任何其他陈述值或在所述范围内的中间值之间的每个较小的范围也包括在本发明内。这些较小范围的上限和下限可独立地包括或排除在范围内。

[0035] 除非另有说明,否则本文使用的所有技术和科学术语具有本发明所述领域的常规技术人员通常理解的含义。虽然本发明仅描述了优选的方法和材料,但是在本发明的实施或测试中也可以使用与本文所述相似或等同的任何方法和材料。本说明书中提到的所有文献通过引用并入,用以公开和描述与所述文献相关的方法和/或材料。在与任何并入的文献冲突时,以本说明书的内容为准。

[0036] 在不背离本发明的范围或精神的情况下,可对本发明说明书的具体实施方式做多种改进和变化,这对本领域技术人员而言是显而易见的。由本发明的说明书得到的其他实施方式对技术人员而言是显而易见的。本申请说明书和实施例仅是示例性的。

[0037] 关于本文中所使用的“包含”、“包括”、“具有”、“含有”等等,均为开放性的用语,即意指包含但不限于。

[0038] 本发明实施例所用原料如表1所示:

[0039] 表1

	原材料	厂家
	杜邦 Kevlar 长丝纤维 1580Dtex	东莞索维特特殊线带有限公司
[0040]	JL-235 高强度环氧树脂	常熟佳发化学有限责任公司
	JH-242 高强度固化剂	常熟佳发化学有限责任公司
	应变片 BFH120-3AA-D-D150	益阳广测电子有限公司

[0041] 实施例1增强体的制备

[0042] 1. 增强体结构设计

[0043] 在纺织结构复合材料的增强体中,机织材料是较常用做增强体的一种纺织结构,其主要分为平面双轴向、平面多轴向、空间三维三种结构。机织织物可以被任意设计,从而得到良好的结构性能和稳定性,且是经纬纱在平面内覆盖系数较大的织物。

[0044] 本发明把多层组织结构与平纹组织结构分别为一个结构单元,并对两个组织结构单元进行复合配置(多层结构组织单元是四层,平纹组织结构单元是双层),其配置结构如图1所示,其中图a为1+1配置结构,图b为1+2配置结构,图c为1+3配置结构,图d为1+4配置结构,图e为2+1配置结构,图f为3+1配置结构。

[0045] 采用相同符号进行织造,经密增相同,为124根/10cm,四层角联锁多层织物的纬密是98根/10cm,1+1的纬密是65,1+2的纬密是60,1+3的纬密是54,2+1的纬密是62,1+4的纬密是46,3+1的纬密是48,平纹织物的纬密是35。

[0046] 为了增加复合结构芳纶复合材料的性能研究,本发明还对比了平面双轴向层压结构和多层组织结构复合材料力学性能的影响,同时也可观察断裂处树脂与增强体的结合情况。故选取了4层、6层平纹层压结构和多层结构织物(四层角联锁)进行后续对比实验。单层

平纹织物组织结构和多层织物组织结构如图2所示,图a为平纹组织图,图b为多层组织图。

#### [0047] 2. 原料上浆

[0048] 凯夫拉纤维虽然强度和比模量都很高,但是出于实际织造的考虑,因为织造增强体不允许纤维有捻度,而凯夫拉纤维耐摩擦性极差,故导致织造比较困难,所以本发明织造前对凯夫拉纤维进行上浆处理。

[0049] 为了提高纱线可织性,且不改变纱线本身固有的物理性能,在不加捻的前提下,上浆是通过浆料将松散的凯夫拉尔纤维浸渍贴合,以增强集束效果并提高其耐磨性。

[0050] 浆料配方为:含固率8%、PVA 48g、变性淀粉(磷酸酯淀粉)112g、水1840g。

[0051] 将配方原料称重后全部置于调浆桶中,加入要求的水,用玻璃棒充分搅拌,使得在煮浆之前固体粉末能够充分溶解。接着将调浆桶置于煮浆皿中,升温加热到90℃,开启自动搅拌器,同时为防止水分蒸发,含固率上升现象,在煮浆过程中加硬纸板封住调浆桶口,保温搅拌煮浆两个半小时。待时间达到时,将浆料倒入烧杯中,在水浴锅中保温,防止浆料粘结变稠。接着采用GA391B型单纱浆机进行上浆,烘房温度调至100℃,开启风箱,用准备好的浆料配方进行上浆,以供织造经纱的需要。

#### [0052] 3. 准备工作

[0053] 开始穿综前需要调整综框的高度和平齐度,以保证综框运转正常,使控制机构能够正常控制所对应的综框。为了便于满足织造多层织物的需求,故织造所有多层织物全部使用飞穿法穿箱。采用英制箱号=60,修正60#箱的钢箱,所有的纱线都采用一入一箱的方法。

#### [0054] 4. 上机织造

[0055] 采用1580dtex无捻的凯夫拉(Kevlar)纤维,在SGA598型小样织机上织造各增强体织物。

#### [0056] 5. 打纬工艺

[0057] 多层试样要求每层相同位置的纬纱重合,因此织造时应加大打纬力度,使相同位置不同层数的纱线重合,进而增加厚度出现三维效果。

#### [0058] 6. 织造环境

[0059] 芳纶纤维1414不耐光,特别是紫外线,为了防止光照引起的实验误差,织造过程需要在无直接光照条件下完成。

#### [0060] 7. 织物后处理

[0061] 为了更好的让树脂浸透增强体中的纤维,对织造的织物进行脱浆处理,处理工艺采用质量浓度10%的NaOH溶液,对其水浴加热(80℃)从而对增强体织物进行脱浆处理,处理时间为3h,而后利用烘箱对处理后的织造的织物进行烘干,烘箱温度设定为85℃。

#### [0062] 实施例2复合材料的制备

[0063] 复合材料的制备包括八个步骤:准备阶段、封装过程、抽气、树脂的配制、注胶、固化、脱模、后处理。

[0064] 1. 准备规格为40cm×40cm×0.8cm的玻璃板,在玻璃板上铺上一层相应规格的隔离膜。实验开始前将玻璃板用蒸馏水洗净静置晾干,并且保证薄膜平整无褶皱。

[0065] 2. 以塑料薄膜为底板,居中放置机织物,并在织物的四周用AT-199胶带定位,其具体位置为胶带距离织物左右两侧各1-2mm,上下3-4mm。在定位时要注意胶带连接点的密封

性,在胶带四个顶角处和织物上下侧多粘一些胶带,要求胶带条与条之间无缝隙,且织物上下侧多粘的胶带区长6-7cm,宽5cm。

[0066] 3.取下织物,在薄膜上刷上外用脱模剂。脱模剂则是为了方便复合材料卸下,保护其结构的完整性。

[0067] 4.重新放置织物,并将另一块塑料薄膜放置在织物上;为了增强成型复合材料板可卸的便易性,还可以在织物与上、下薄膜之间放置脱模布。

[0068] 5.依次粘结外直径16mm、内直径12mm的导流粗管和外直径6mm、内直径4mm的导流细管。粘结过程为:先取细管的一端,在5cm长处上下左右缠绕一层长达5cm的胶带区,然后粘结在下层板上表面下侧居中的5cm宽的胶带区,覆盖胶带,增强其密封性;再取粗管的一端,同样在5cm长处,上下缠绕一层长达5cm的胶带区,然后粘结在下层板织物上表面上侧居中的5cm宽的胶带区,覆盖胶带,增强其密封性。

[0069] 6.粘好脱模布,用玻璃棒反复按压胶带粘结的地方,防止空气进入模具内。

[0070] 7.将2XZ-2型旋片式真空泵抽气口与导流粗管相连接,用大力钳封住树脂进出端导流粗管,打开真空泵抽取模具内气体,待表上大气压达到700Pa时,将导流粗管打折并夹上大力钳,持续放置15分钟,观察否漏气。如不漏气则可导入树脂,若漏气则找到漏气点粘好并重新检查。尤其注意在胶带接口处易出现漏气现象,用玻璃棒将各个拐角夹紧即可。

[0071] 8.配备127g树脂固化剂混合溶液,JL-235树脂与固化剂质量比为100:27,充分搅拌2min后,静置10分钟进行消泡。再打开真空泵,打开导流粗管上的封口并迅速将导管插入带有树脂的烧杯中(减少空气进入密封空间),直至混合溶液充分浸渍织物后,再封好两端导流管,关闭真空泵,并用重物压紧,保证材料硬化后平整,放置24小时。待上述复合材料放置24小时后,将其从玻璃板上剥离下来。剥离下的材料标号不能混淆。

[0072] 9.使用切割机将大的复合材料板进行裁制制备试样样品;因芳纶纤维的物理性质所决定,切割后的材料,宽度方向的两边会有纤维漏出材料板面,长度方向上会有多余的树脂等杂质,因此需要打磨材料至均匀。

[0073] 图3为树脂传递模塑工艺装置图。

[0074] 实施例3复合材料的力学性能测试

[0075] 1.拉伸性能

[0076] 根据ASTM D3039/D3039M-08《聚合物基复合材料拉伸性能标准试验方法》测试标准制备试样,具体如表1所示。

[0077] 表1

	名称	规格参数
[0078]	测试试样尺寸	160 mm×25 mm×2.5 mm (长×宽×厚度)
	试样夹持距离	70 mm
	测试速度	2 mm/min

[0079] 拉伸断裂应力由公式计算得出,具体计算公式如下所示:

$$[0080] \quad \sigma = \frac{P}{b \times h} \quad \text{式(1)}$$

[0081] 式中: $\sigma$ —为拉伸断裂强度,MPa;

[0082] P—为拉伸断裂强力,N;



[0083] b—试样宽度,mm;

[0084] h—为试样厚度,mm;

[0085] 表2为复合材料的拉伸性能测试结果。可知,增强体为四层的层压复合材料所需拉伸断裂强度最大,约为509.74MPa,多层复合材料所需拉伸断裂强度最小,约为144.05MPa。这是因为对于多层织物,纬纱密度增大,增加了经纱与纬纱的交织次数,间接增加了纬纱与经纱的结合力,使经纱在承受经纱张力时受阻,不能自由拉伸。因此多层结构复合材料拉伸强度不如平纹层压材料。

[0086] 表2

编号	试样名称	平均宽度	平均厚度 (mm)	最大拉力 (N)
1	1+1	18.30	2.00	7799.90
2	1+2	17.70	1.70	6483.49
3	1+3	18.20	1.80	6622.34
4	1+4	17.90	1.70	6928.95
5	2+1	18.80	1.80	7671.60
6	3+1	19.30	1.80	9095.94
7	多层	21.20	1.70	5194.24
8	四层	18.70	1.10	10521.00
9	六层	18.60	1.80	10921.64

[0087] 图4为复合材料的拉伸强度柱状图。通过各试样的抗拉伸强度的数据大小可看出复合结构的抗拉伸性能都有着不错的表现。对比多层结构复合材料的拉伸强度为144.05MPa,在复合结构中加入平纹组织结构单元后的复合材料的拉伸强度得到提高。其中编号1(1+1)试样拉伸强度为212.78MPa,提高了材料的拉伸强度47.71%。编号2(2+1)试样拉伸强度为230.52MPa,提高了材料的拉伸强度60%。编号3(1+3)试样拉伸强度为202.18MPa,提高了材料的拉伸强度40.35%。编号4(4+1)试样拉伸强度为227.70MPa,提高了材料的拉伸强度57.70%,编号5(2+1)试样拉伸强度为227.03MPa,提高了材料的拉伸强度57.60%,编号6(3+1)试样拉伸强度为261.71MPa,提高了材料的拉伸强度81.67%。从以上数据可知,复合的增强体结构复合材料中的平纹单元可以提高材料的抗拉伸能力。这是因为对于平纹织物来说经纱与纬纱配比一致,其纤维的整体趋向于伸直状态,使得经纱在承担经向拉伸载荷时直接受力,因此经向拉伸强度优于多层结构的复合材料。

[0088] 图5为复合材料的应力应变曲线。通过各试样的拉伸应力应变曲线所围成的面积,可知各复合材料试样断裂功的大小,其中六层层压复合材料断裂功最大,多层结构复合材料断裂功最小。这是因为对于多层织物来说经纱的增加提高了经纱对纬纱的束缚,从而间接地提高了纬纱为经纱的束缚,使得经纱在承担经向拉伸载荷时受阻碍,不能自由的伸展,因此多层结构复合材料的断裂功小于平纹层压材料断裂功。

[0089] 在实验中通过增强体材料与复合材料质量分析可知,六层的层压复合材料浸透的树脂只有16g,而多层结构的复合材料树脂浸的树脂为32g,二者经过对比可知,六层的层压复合材料在受到拉伸作用力时纤维受力为主体,而多层结构的复合材料受拉伸力时复合材料中的树脂也受较为均匀拉伸力的作用。六层的层压复合材料在受到拉伸力时,由于增强

体与树脂间受力不均匀,故出现当拉伸强度达到材料所能承受的极限时,其试样出现分层现象。而多层结构复合材料在受拉伸力时使织物与树脂受力较为均匀,所以当力到材料承受最大拉伸力时发生的是试样的直接出现断裂现象。

[0091] 2. 弯曲性能

[0092] 弯曲性能测试标准则需根据实验采用方法及试样厚度进行选择,实验室内仪器测试方法为三点弯曲法,故选取ASTM D790为测试标准。试样的尺寸与厚度相关具体标准如表3所示。

[0093] 表3

	名称	规格参数
[0094]	跨距: 厚度	16:1
	长度	1.2*跨距
	测试速度	2 mm/min

[0095] 抗弯强度,是指材料发生弯曲时的最大应力与弯曲横截面积的比值,具体计算公式如下所示。

$$[0096] \quad \sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \text{式(2)}$$

[0097] 式中: $\sigma$ —抗弯强度,MPa;

[0098] P—作用力,N;

[0099] L—支持跨距,mm;

[0100] b—试样宽度,mm;

[0101] h—试样厚度,mm;

[0102] 表4为复合材料的弯曲性能测试结果。可知,多层结构的复合材料所需弯曲断裂强度是110.42MPa,四层结构的复合材料所需弯曲断裂强度166.75MPa。从层压复合材料和多层结构复合材料角度分析,层压复合材料的抗弯曲性能优于多层结构复合材料的抗弯曲性能。这是因为弯曲受力为纱线的垂直方向,受到弯曲作用力时,平纹组织经纬纱交织点最多,经纬密度相对较大,受弯曲力时承受弯曲力的纱线多,所以抗弯强度要优于多层织物。

[0103] 表4

	编号	试样名称	支持 (mm)	平均宽 (mm)	平均厚 (mm)	作用力 (N)
	1	1+1	58	18.9	2.0	263
	2	1+2	58	18.4	1.6	110
	3	1+3	58	19.0	1.7	210
[0104]	4	1+4	58	18.6	1.7	136
	5	2+1	58	17.8	1.7	163
	6	3+1	58	18.9	1.9	190
	7	多层	58	21.5	1.7	79
	8	四层	58	18.5	1.1	43
	9	六层	58	18.4	1.8	77

[0105] 图6为复合材料的抗弯强度柱状图,从图中可看出,对比多层结构复合材料的抗弯

曲性能,在配入平纹组织结构单元的复合多层结构复合材料的弯曲性能得到了提高,其中编号1(1+1)试样的抗弯曲强度为282.53MPa,材料的抗弯曲强度提高了156%。编号2(1+2)试样的抗弯曲强度为187.08MPa,材料的抗弯曲强度提高了70%。编号3(1+3)试样的抗弯曲强度为310.16MPa,材料的抗弯曲强度提高了181.81%。编号4(1+4)试样的抗弯曲强度为221.41MPa,材料的抗弯曲强度提高了100%。其中编号3(1+3)试样的抗弯曲性能表现最好。在配入多层组织结构单元的多层结构复合材料的试样抗弯曲性能数据进行分析,编号5(2+1)试样的抗弯曲强度为256.31MPa,材料的抗弯曲强度提高了132.72%。编号6(3+1)试样的抗弯曲强度为242.54MPa,材料的抗弯曲强度提高了120%。

[0106] 经数据对比可知,多层结构单元的增加,降低了复合材料材料抗弯曲性能。这是因为弯曲受力为纱线的垂直方向,复合材料受到弯曲作用力时,经纱与纬纱受力情况不同,这是因为对于多层织物来说经向纱的增加提高了经向纱对纬纱的束缚,从而间接地提高了纬经纱之间的相互束缚,使得纬纱在承担弯曲载荷时受阻碍,故表现出其弯曲性能较差。

[0107] 图7为各复合材料弯曲应力应变曲线。可以看出,曲线下降的坡度随着平纹组织结构单元的增加而逐渐变缓,曲线上升阶段斜率即是材料的弯曲模量,其代表在弹性极限内抵抗弯曲变形的能力。编号2(1+2)、编号3(1+3)、编号4(1+4)三种复合结构试样的模量相差不大,编号1(1+1)的略大一些。四层层压复合材料和六层层压复合材料及多层复合材料试样的模量普遍小于复合结构的复合材料试样,主要是因为随着平纹组织结构单元和多层组织结构单元进行复合后材料整体性能发生很大变化,对弯曲性能发生明显的影响。从图中还可看出,试样1(1+1)的应力峰值最大,但其应变也是最小的,曲线下面积在一定程度上表征试样破坏所需能量,很明显能看出复合结构试样被破坏所需要的能量大于单纯的多层复合材料试样和四层层压、六层层压复合材料试样。

### [0108] 3. 抗冲击性能

[0109] 冲击性能测试标准常见的有落锤冲击试验(ASTM D7136)、摆锤式(ASTM D6110)等,本发明由于采用的是XJJ-50S数显简支梁冲击试验机,本次测试采用实验室通用标准进行测试,其要求试样测试具体如表5所示。

[0110] 表5

	名称	规格参数
[0111]	试样尺寸	75 mm×12 mm (长×宽)
	冲击速度	3.8 m/s
	摆锤能量	7.5 J

[0112] 冲击强度,是指材料单位面积吸收能力,表示材料的抗冲击能力。具体计算公式如下所示。

$$[0113] \quad \alpha_k = \frac{E_c}{h \times b} \quad \text{式(4)}$$

[0114] 式中: $\alpha_k$ —冲击强度,  $\text{KJ/m}^2$ ;

[0115]  $E_c$ —试样吸收能量, J;

[0116]  $h$ —试样厚度, mm;

[0117]  $b$ —试样宽度, mm;

[0118] 表6为复合材料的冲击性能测试结果。由表6数据中可知,多层结构复合材料的抗

冲击强度为 $0.0242\text{KJ}/\text{m}^2$ ,四层层压复合材料的抗冲击强度为 $0.0545\text{KJ}/\text{m}^2$ ,六层层压复合材料的抗弯曲强度为 $0.0589\text{KJ}/\text{m}^2$ 。由以上三组数据对比可知,层压复合材料的抗冲击性能要明显优于多层结构复合材料。这是由于平纹组织经纬纱交织点最多,纱线之间的摩擦约束力最强,多层织物经纬浮长线较平纹长,组织循环中经纬纱交织次数较平纹少,最终导致复合材料冲击强度比平纹层合材料小。

[0119] 表6

编号	试样名称	平均宽度 (mm)	平均厚 (mm)	吸收能量 (J)
1	1+1	15.2	2.0	0.777
2	1+2	14.8	1.7	0.629
3	1+3	15.2	1.8	0.640
[0120] 4	1+4	14.3	1.7	0.557
5	2+1	14.6	1.8	0.907
6	3+1	14.6	1.9	0.901
7	多层	12.8	1.7	0.528
8	四层	13.4	1.1	0.806
9	六层	12.8	1.8	1.355

[0121] 图8为复合材料的冲击强度柱状图。由图8可以看出,对比多层复合材料的抗冲击性能,在配入平纹组织结构单元的复合结构复合材料的抗冲击性能得到了提高。编号5(2+1)试样的抗冲击强度为 $0.0345\text{KJ}/\text{m}^2$ ,试样的抗冲击性能提高了42.56%。编号6(3+1)试样的抗冲击强度为 $0.0324\text{KJ}/\text{m}^2$ ,试样的抗冲击性能提高了33.88%。经数据对比可知,多层结构单元的增加,提高了复合材料材料抗冲击性能。这是因为平纹结构给予了复合材料的吸收能量的有效面积更大,故表现出优良的抗冲击性能。

[0122] 本发明通过设计不同比例的多层单元组织结构、平纹单元组织结构制备复合结构增强体复合材料,并与多层增强体复合材料、四层平纹增强体层压复合材料、六层平纹增强体复合材料进行拉伸性能、弯曲性能、冲击性能对比,结果显示:

[0123] 对于拉伸性能;复合多层增强体结构中的平纹组织结构单元可以提高复合材料的抗拉强度,配入平纹的多层结构复合材料相对于多层结构复合材料的拉伸性能提高了40.35%~81.67%。配入平纹结构的多层结构复合材料之所以可以提高材料拉伸性能,是因为对于平纹织物来说,经纱与纬纱配比一致,其纤维的整体趋向于伸直状态,使得经纱在承担经向拉伸载荷时直接受力,因此经向拉伸强度优于多层结构的复合材料。

[0124] 对于弯曲性能;复合的增强体结构复合材料中的平纹单元可以提高材料的抗弯曲能力,配入平纹的复合结构复合材料相对于多层结构复合材料的弯曲性能提高100%~181.81%。配入平纹结构的多层结构复合材料之所以可以提高材料的弯曲性能,是因为弯曲受力为纱线的垂直方向,受到弯曲作用力时,平纹组织经纬纱交织点最多,经纬密度相对较大,受弯曲力时承受弯曲力的纱线多,所以抗弯强度要优于多层织物。

[0125] 对于冲击性能;复合的增强体结构复合材料中的平纹组织结构单元可以提高材料的抗冲击能力,配入平纹组织结构单元的复合结构复合材料试样相对于多层复合材料的试样抗冲击性能提高33.88%~42.56%。配入多层组织结构单元的复合结构复合材料之所以可以提高材料拉伸性能,是因为多层组织结构给予了复合材料的吸收能量的有效面积更大,故表现出优良的抗冲击性能。

[0126] 总的来看,通过多层组织结构单元和平纹组织结构单元搭配的增强体制备的复合

材料,对比原有的层压复合材料及多层复合材料的力学性能都有改善,可提高材料的力学性能。其中,在拉伸测试中,平纹组织结构增强了复合结构复合材料的抗拉伸强度;在弯曲测试中,平纹组织结构提高了复合结构复合材料的抗弯曲性能;冲击测试中,平纹组织结构也提高了复合结构复合材料的抗冲击性能。故此,对复合组织结构的多层增强体制备复合材料进行研究,可以一定的改善多层复合材料的综合性能,让多层复合材料的应用领域进一步拓展。

[0127] 本发明复合多层增强体结构的复合材料具有优异的力学性能,可满足工程领域对多层机织物增强复合材料较高的性能需求,同时,也为复合结构对所制备的复合材料的力学性能影响提供了理论与设计依据。

[0128] 以上所述的实施例仅是对本发明的优选方式进行描述,并非对本发明的范围进行限定,在不脱离本发明设计精神的前提下,本领域普通技术人员对本发明的技术方案做出的各种变形和改进,均应落入本发明权利要求书确定的保护范围内。

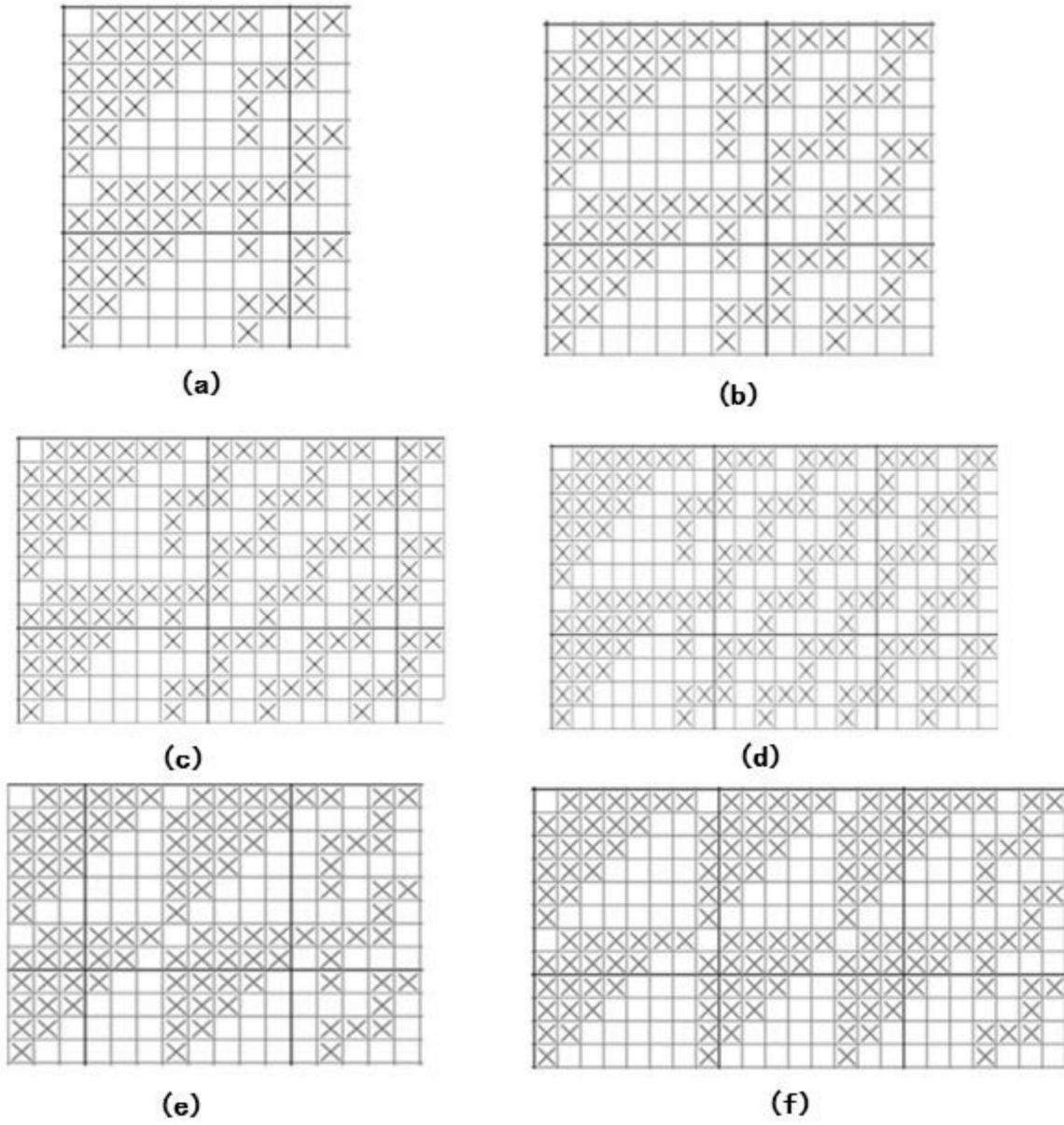


图1

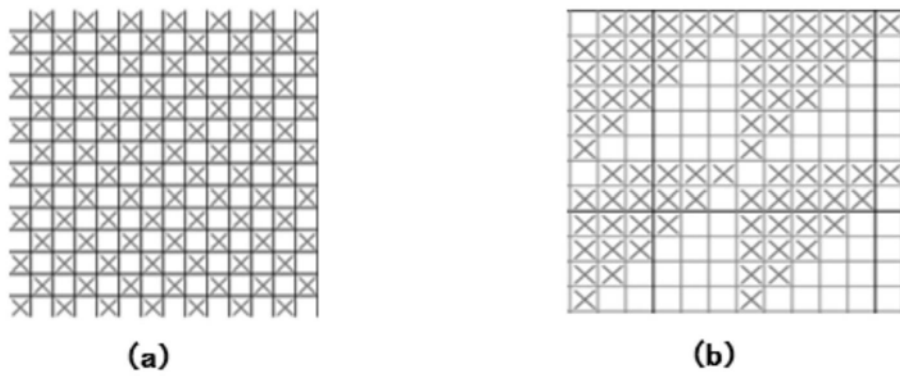


图2

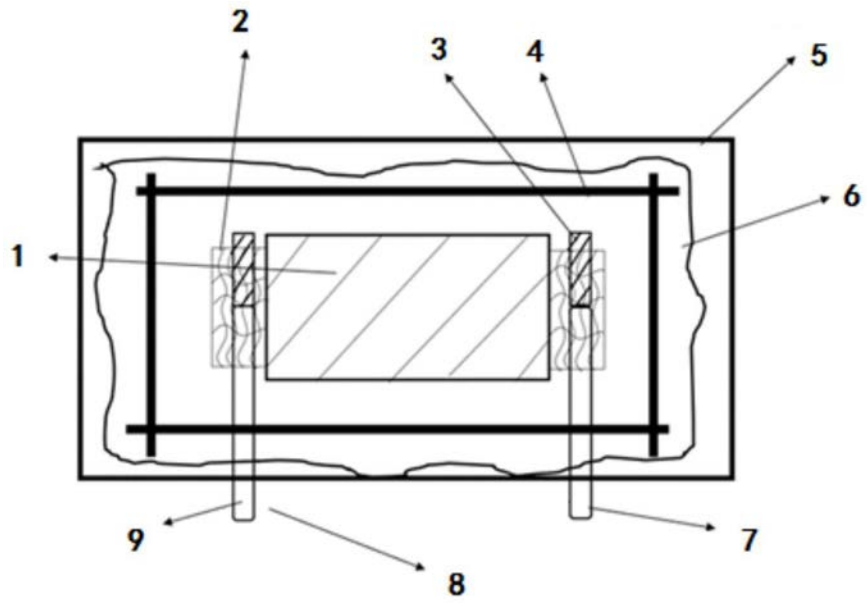


图3

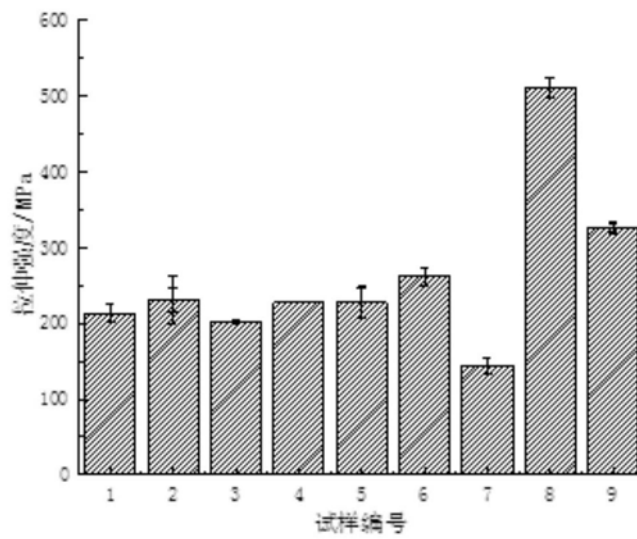


图4

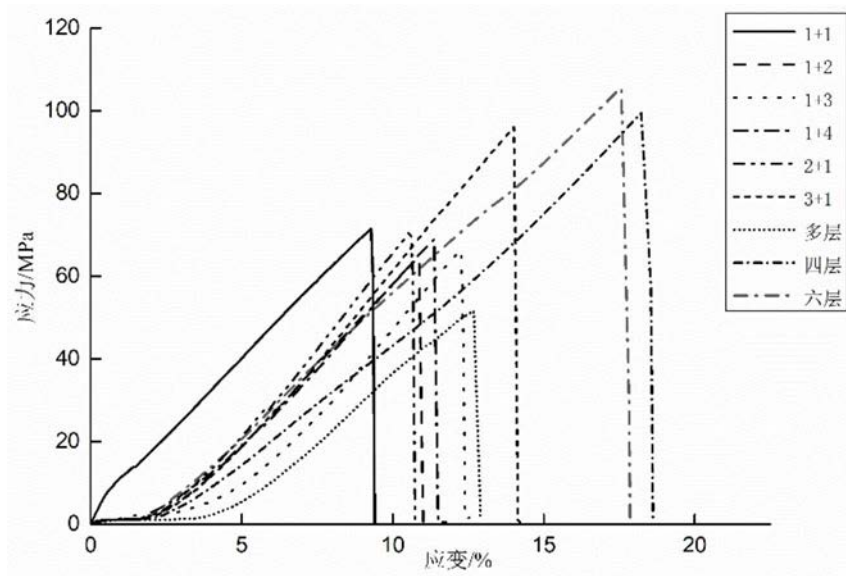


图5

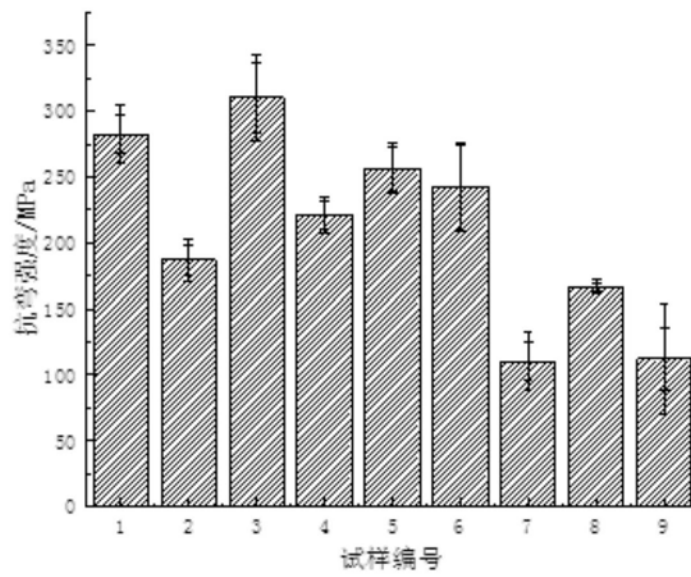


图6



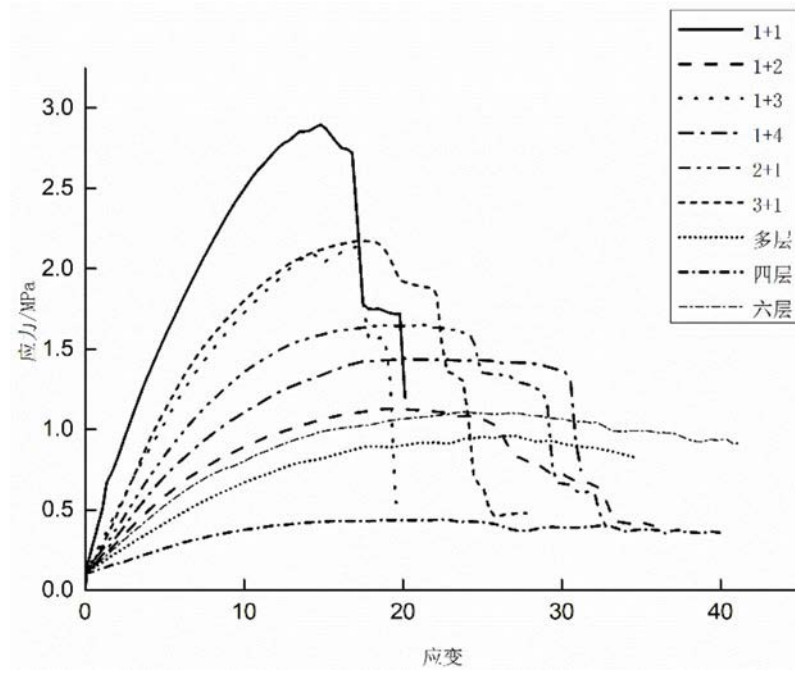


图7

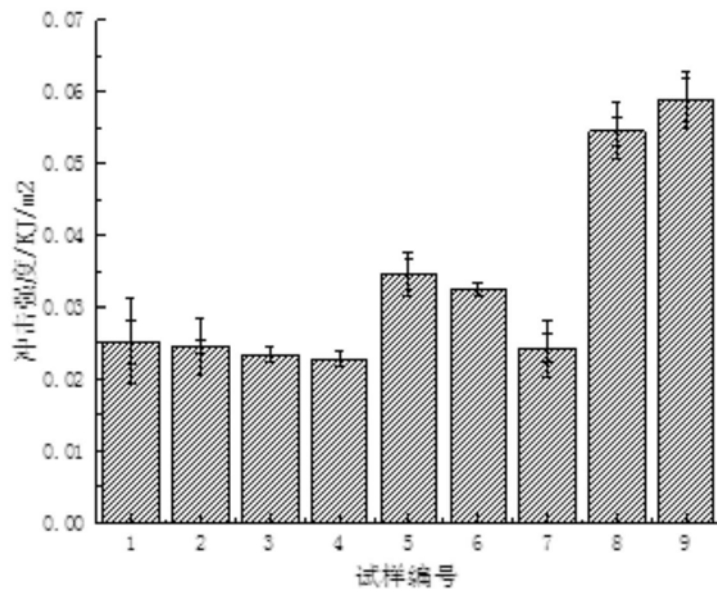


图8

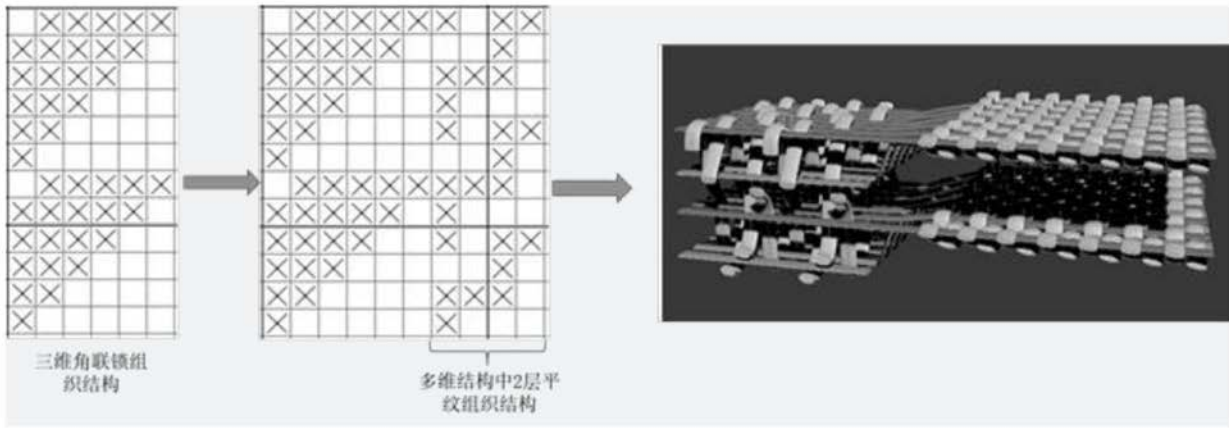


图9