(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118701296 A
(43)申请公布日 2024.09.27

(21)申请号 202410885404.7

(22)申请日 2024.07.03

(71)申请人 中国兵器装备集团西南技术工程研究所
地址 400039 重庆市九龙坡区渝州路33号

(72)发明人 聂嘉兴 程时雨 李忠盛 黄安畏 丛大龙 吴永鹏 郭峰 林禹 李鹏 罗茜 汪君杰 杨昕睿

(74)专利代理机构 重庆晶智汇知识产权代理事务所(普通合伙) 50229
专利代理师 李靖

(51)Int.Cl.
B64D 45/00(2006.01)
B64C 1/40(2006.01)
B29C 70/44(2006.01)
B29C 70/54(2006.01)
F41H 5/04(2006.01)
F41H 5/007(2006.01)
B32B 27/32(2006.01)
B32B 9/04(2006.01)
B32B 27/34(2006.01)
B32B 27/02(2006.01)
B32B 27/12(2006.01)
B32B 27/08(2006.01)

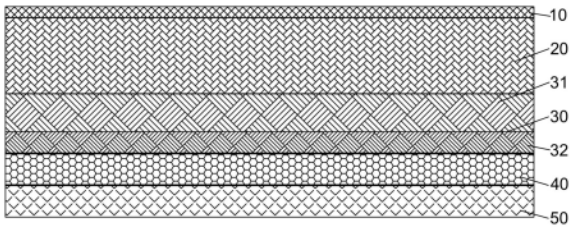
权利要求书1页 说明书11页 附图1页

(54)发明名称

一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲及制备方法

(57)摘要

本发明提供一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,涉及装甲防护领域,包括依次设置的止裂层(10)、抗弹层(20)、支撑层(30)、缓冲层(40)与吸能层(50);支撑层(30)采用多树脂体系的芳纶纤维与碳纤维混编复合层压板,包括第一复合层压板(31)与第二复合层压板(32);第一复合层压板(31)由芳纶纤维与碳纤维混编后、与酚醛树脂复合层压获得,第二复合层压板(32)由芳纶纤维与碳纤维混编后、与环氧树脂复合层压获得;缓冲层(40)采用环氧树脂与泡沫铝的复合结构且环氧树脂位于泡沫铝的上、下表面。该复合装甲能为直升机机身关键部位提供弹道与爆炸冲击波、破片等防护,还具备优异的隔声、阻燃性能。



CN 118701296 A

1.一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,其特征在于:包括依次设置的止裂层、抗弹层、支撑层、缓冲层与吸能层;支撑层采用多树脂体系的芳纶纤维与碳纤维混编复合层压板,包括第一复合层压板与第二复合层压板;第一复合层压板靠近抗弹层,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与酚醛树脂复合层压获得;第二复合层压板靠近缓冲层,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与环氧树脂复合层压获得;缓冲层采用环氧树脂与泡沫铝的复合结构且环氧树脂位于泡沫铝的上、下表面。

2.根据权利要求1所述的一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,其特征在于:所述止裂层采用面密度为200±10g/m^2、厚度0.2mm~0.4mm、经/纬向断裂强度不小于5000N/50mm的芳纶平纹布。

3.根据权利要求1或2所述的一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,其特征在于:所述抗弹层采用体积密度为2.52±0.03g/m^3、厚度9.7mm~10.3mm的碳化硼陶瓷;抗弹层的碳化硼陶瓷力学性能为:维氏硬度≥35GPa,断裂韧性大≥3.5MPa·$m^{1/2}$,弯曲强度≥300MPa,压缩强度≥2000MPa。

4.根据权利要求1~3任一项所述的一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,其特征在于:所述支撑层整体厚度为4.9mm~5.5mm,其中第一复合层压板与第二复合层压板之间的厚度比2.5~3.5:2。

5.根据权利要求1~4任一项所述的一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,其特征在于:所述第一复合层压板中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为6~8:3,单层混杂纤维的面密度为300g/m^2~400g/m^2;第一复合层压板中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为30°/60°,且酚醛树脂的含量为20%~30%。

6.根据权利要求1~4任一项所述的一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,其特征在于:所述第二复合层压板中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为4:5~7,单层混杂纤维的面密度为350 g/m^2~450g/m^2;第二复合层压板中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为0°/90°,且环氧树脂的含量为35%~45%。

7.根据权利要求6所述的一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,其特征在于:所述缓冲层厚度为2.2mm~2.8mm,缓冲层的体积密度为1.03±0.05g/cm^3;缓冲层中,环氧树脂的含量为30%~50%且环氧树脂均匀分布在泡沫铝的上、下表面。

8.根据权利要求6所述的一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,其特征在于:所述吸能层采用厚度为4.5mm~5.5mm、体积密度为0.97±0.02g/cm^3的超高分子量聚乙烯层压板。

一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲及制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及装甲防护技术领域,具体涉及一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲及制备方法。

背景技术

[0002] 在现代化武装冲突作战中,直升机具有空中悬停、近地面飞机且不需要专用起降跑道等特点,其极大地提高了陆军的机动作战能力,在现代军事行动有着不可取代的特殊作用。但是,直升机在中低空作战时,易受到来自地面的火力打击,在没有防弹防爆装置或者本身防护能力不足的情况下,直升机被击中、损毁的风险极高。目前,直升机用抗弹防爆复合装甲的防护能力往往与重量息息相关,即抗弹防爆复合装甲越重、其厚度越大,防护能力越强;但配置过重的抗弹防爆复合装甲会严重影响直升机的机动性,降低直升机战斗能力、提高直升机被火力击中的概率。

[0003] 对于目前执行低空作战任务的直升机而言,其主要面对的威胁是直径12.7mm的高射机枪射击的穿甲燃烧弹;目前常见的直升机防护装甲多采用碳化硼与高性能纤维增强复合材料层压板制成,其用于防御弹丸理论终点攻击速度在488m/s左右的12.7mm穿甲燃烧弹、其面密度为44kg/m^2,能够有效防止子弹穿透。但是,对于低空作战的直升机而言,存在遭遇便携式地对空导弹袭击的概率,导弹袭击附近会产生强烈冲击波与高温燃烧,对直升机造成较大冲击力,同时会形成局部高温、甚至烧损现象,从而加速防护装甲的老化、脱落,使得防护装甲失去防护作用。若要提高防护装甲的抗烧蚀、抗冲击能力,又需要增加防护装甲的厚度与重量,降低直升机的机动性。综上,直升机的防护能力与机动性存在矛盾,现有技术无法有效平衡直升机抗弹防护能力与机动性之间的关系。

发明内容

[0004] 针对以上现有技术存在的问题,本发明的目的在于提供一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,该复合装甲为直升机机身关键部位提供轻武器弹道与爆炸冲击波、破片防护,同时还具备优异的隔声性能、阻燃性能,有效提升直升机在低空作战过程中的生存能力。

[0005] 本发明的另一个目的在于提供一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲的制备方法。

[0006] 本发明的目的通过以下技术方案实现:

一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,包括依次设置的止裂层、抗弹层、支撑层、缓冲层与吸能层;支撑层采用多树脂体系的芳纶纤维与碳纤维混编复合层压板,包括第一复合层压板与第二复合层压板;第一复合层压板靠近抗弹层,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与酚醛树脂复合层压获得;第二复合层压板靠近缓冲层,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与环氧树脂复合层压获得;缓冲层采用环氧树脂与泡沫铝的复合结构且环氧树脂位于泡沫铝的上、下表面。

[0007] 基于上述方案的进一步优化,所述止裂层采用面密度为200±10g/m^2、厚度0.2mm～0.4mm、经/纬向断裂强度不小于5000N/50mm的芳纶平纹布。

[0008] 基于上述方案的进一步优化,所述抗弹层采用体积密度为2.52±0.03g/m^3、厚度9.7mm～10.3mm的碳化硼陶瓷;抗弹层的碳化硼陶瓷力学性能为:维氏硬度≥35GPa,断裂韧性大≥3.5MPa·$m^{1/2}$,弯曲强度≥300MPa,压缩强度≥2000MPa。

[0009] 基于上述方案的进一步优化,所述支撑层整体厚度为4.9mm～5.5mm,其中第一复合层压板与第二复合层压板之间的厚度比2.5～3.5:2。

[0010] 基于上述方案的进一步优化,所述第一复合层压板中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为6～8:3,单层混杂纤维的面密度为300g/m^2～400g/m^2;第一复合层压板中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为30°/60°(即相邻两层混杂纤维之间,一层纤维丝束经纬线之间的角度为30°、另一层纤维丝束经纬线角度为60°,且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按6～8:3的比例排布),且酚醛树脂的含量为20%～30%。

[0011] 基于上述方案的进一步优化,所述第二复合层压板中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为4:5～7,单层混杂纤维的面密度为350 g/m^2～450g/m^2;第二复合层压板中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为0°/90°(即相邻两层混杂纤维之间,一层纤维丝束经纬线之间的角度为0°、另一层纤维丝束经纬线之间的角度为90°,且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按4:5～7的比例排布),且环氧树脂的含量为35%～45%。

[0012] 基于上述方案的进一步优化,所述缓冲层厚度为2.2mm～2.8mm,缓冲层的体积密度为1.03±0.05g/cm^3;缓冲层中,环氧树脂的含量为30%～50%且环氧树脂均匀分布在泡沫铝的上、下表面。

[0013] 基于上述方案的进一步优化,所述吸能层采用厚度为4.5mm～5.5mm、体积密度为0.97±0.02g/cm^3的超高分子量聚乙烯层压板。

[0014] 一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲的制备方法,包括:

步骤一、止裂层制备:将芳纶纤维编织成芳纶平纹布,经、纬向密度为9根/cm～11根/cm,获得止裂层备用;

步骤二、支撑层制备:

制备第一复合层压板:首先将芳纶纤维与碳纤维按照6～8:3的丝束比例进行排布、并按照经纬线角度30°与60°分别进行混合编织,获得多层第一混杂纤维平纹布,然后将第一混杂纤维平纹布依次浸渍在酚醛树脂中制成预浸料,最后将多层预浸料按照30°/60°的角度依次铺叠(即30°-60°-30°-60°-…的方式进行铺叠,直至满足厚度要求)、并模压成型,获得第一复合层压板;

制备第二复合层压板:首先将芳纶纤维与碳纤维按照4:5～7的丝束比例进行排布、并按照经纬线角度0°与90°分别进行混合编织,获得多层第二混杂纤维平纹布,然后将第二混杂纤维平纹布依次浸渍在环氧树脂中制成预浸料,最后将多层预浸料按照0°/90°的角度依次铺叠(即0°-90°-0°-90°-…的方式进行铺叠,直至满足厚度要求)、并模压成型,获得第二复合层压板;

第一复合层压板与第二复合层压板结合:将第一复合层压板、环氧类中温固化型热熔胶膜、第二复合层压板铺叠依次放置在真空袋中,并预抽真空至-0.1MPa,常温下保持15min～20min;之后,将带有复合层的真空袋转移至热压罐中,进行热压复合成型,获得支

撑层备用;

步骤三、缓冲层制备:首先,在硅橡胶形成的凹槽内放置聚四氟乙烯隔离膜,并将环氧树脂铺在凹槽内的聚四氟乙烯隔离膜表面;然后,将预先准备的泡沫铝放置在凹槽内的环氧树脂表面、再在泡沫铝的表面倾倒环氧树脂,并在倾倒后的环氧树脂表面铺叠一层聚四氟乙烯隔离膜;之后,在凹槽上放置一块硅橡胶平板、对硅橡胶凹槽形成封闭,并将整个容器放置在真空袋中,进行抽真空封装、热压复合,获得缓冲层备用;

步骤四、吸能层制备:将超高分子量聚乙烯无纬布按照0°/90°的角度依次铺叠、并模压成型,获得吸能层备用;

步骤五、复合装甲制备:首先,将制备得到的止裂层、抗弹层、支撑层、缓冲层与吸能层按尺寸进行裁剪、加工,并通过酒精擦拭;然后,按顺序进行铺层,铺层过程中,各层连接表面采用聚乙烯类快速固化型热熔胶膜进行粘接;然后,将铺叠完成的复合层放置在真空袋中,并预抽真空至-0.1MPa,常温下保持15min～20min;之后,将带有复合层的真空袋转移至热压罐中,进行热压复合成型,获得复合装甲。

[0015] 基于上述方案的进一步优化,所述步骤二中第一复合层压板的模压温度为170℃～190℃、压力为15MPa～25 MPa、保温保压时间为90min～120min,第二复合层压板的模压温度为160℃～170℃、压力为15MPa～25 MPa、保温保压时间为60min～90min;第一复合层压板与第二复合层压板复合温度为120℃～140℃、压力为2.5MPa～4 MPa、保温保压时间为60min～100min。

[0016] 基于上述方案的进一步优化,所述步骤三中环氧树脂采用黏度为6000MPa·s～10000MPa·s的高强韧环氧树脂;步骤三中真空袋于160℃～180℃条件下保温90min～110min。

[0017] 基于上述方案的进一步优化,所述步骤四中模压温度为120℃～130℃、压力为15MPa～25MPa、保温保压时间为90min～120min。

[0018] 基于上述方案的进一步优化,所述步骤五中热压罐固化温度为1.8MPa～2.2MPa、温度为110℃～120℃,保温保压时间70min～80min。

[0019] 本发明具有如下技术效果:

本申请复合装甲通过第一复合层压板、第二复合层压板的支撑层与环氧树脂、泡沫铝的缓冲层的结构组合,利用酚醛树脂、环氧树脂的多树脂体系,一是提高各层之间的结合强度、避免出现明显的分层问题,确保复合装甲整体的防护性能;二是通过酚醛树脂、环氧树脂与碳纤维、芳纶纤维的体系组合,在保证支撑层阻燃性与抗烧蚀性能的同时、由能确保支撑层具备高抗弯强度,提升了支撑层与其相邻两层的协同匹配效果(既配合抗弹层进行抵抗弹丸、阻隔燃烧破坏,又配合缓冲层进行能量的分散消耗、提升整体坍缩吸能效果)、大幅提高了抗弹层吸能比,从而实现对高速弹丸冲击的有效防护与冲击波能量高效耗散,避免复合装甲在高温高冲击波下加速损坏等问题;此外,利用环氧树脂与泡沫铝的配合,通过环氧树脂提升铝泡沫的表面平整度,形成表面平整无孔洞、内部多孔的结构层,一是有效提高缓冲层与相邻结构层之间的结合强度,避免冲击过程中结构层主动脱落、影响防护效果,二是提升缓冲层整体的结构强度、确保冲击下支撑吸能,三是利用多孔结构进行吸能缓冲、配合支撑层的纤维-树脂体系,有效抵消打击过程中的冲击波等能量。

[0020] 本申请直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲能够在确保面低密度、整体面密度不大

于41.5kg/m^2,厚度薄、厚度不超过25mm的条件下,有效防御速度488m/s的12.7mm穿甲燃烧弹与速度2000m/s的1.1g模拟破片弹,防护效果佳;同时,本申请复合装甲还具备优异的隔声性能、隔声量超过35dB以及阻燃性能,能够有效避免打击过程中的声波与高温燃烧造成的结构层加速老化、剥落等问题,整体性能优异,能够有效提升直升机在低空作战过程中的生存能力与机动性,降低驾乘人员及关键设备被攻击后损毁的概率。

附图说明

[0021] 图1为本发明实施例中复合装甲的结构示意图。

[0022] 其中,10、止裂层;20、抗弹层;30、支撑层;31、第一复合层压板;32、第二复合层压板;40、缓冲层;50、吸能层。

具体实施方式

[0023] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将对本发明实施例中的技术方案进行清楚地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。

[0024] 实施例1:

一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,包括依次设置的止裂层10、抗弹层20、支撑层30、缓冲层40与吸能层50;

其中:止裂层10采用面密度为200±10g/m^2、厚度0.2mm、经/纬向断裂强度不小于5000N/50mm的芳纶平纹布。

[0025] 抗弹层20采用体积密度为2.52±0.03g/m^3、厚度9.7mm的碳化硼陶瓷;抗弹层20的碳化硼陶瓷力学性能为:维氏硬度≥35GPa,断裂韧性大≥3.5MPa·m$^{1/2}$,弯曲强度≥300MPa,压缩强度≥2000MPa。

[0026] 支撑层30采用多树脂体系的芳纶纤维与碳纤维混编复合层压板,包括第一复合层压板31与第二复合层压板32;第一复合层压板31靠近抗弹层20,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与酚醛树脂复合层压获得;第一复合层压板31中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为6:3,单层混杂纤维的面密度为300g/m^2;第一复合层压板31中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为30°/60°(即相邻两层混杂纤维之间,一层纤维丝束经纬线之间的角度为30°、另一层纤维丝束经纬线角度为60°,且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按6~3的比例排布),且酚醛树脂的含量为20%。第二复合层压板32靠近缓冲层40,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与环氧树脂复合层压获得;第二复合层压板32中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为4:5,单层混杂纤维的面密度为350 g/m^2;第二复合层压板32中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为0°/90°(即相邻两层混杂纤维之间,一层纤维丝束经纬线之间的角度为0°、另一层纤维丝束经纬线之间的角度为90°,且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按4:5的比例排布),且环氧树脂的含量为35%。支撑层30整体厚度为4.9mm,第一复合层压板31与第二复合层压板32之间的厚度比2.9:2(即第一复合层压板31的厚度为2.9mm、第二复合层压板32的厚度为2mm)。

[0027] 缓冲层40采用环氧树脂与泡沫铝的复合结构且环氧树脂位于泡沫铝的上、下表面。缓冲层40厚度为2.2mm,缓冲层40的体积密度为1.03±0.05g/cm^3;缓冲层40中,环氧树

脂的含量为20%且环氧树脂均匀分布在泡沫铝的上、下表面。

[0028] 吸能层50采用厚度为4.5mm、体积密度为0.97±0.02g/cm^{3}的超高分子量聚乙烯层压板。

[0029] 该复合装甲的制备方法,包括:

步骤一、止裂层10制备:将芳纶纤维编织成芳纶平纹布,经、纬向密度为9根/cm,获得止裂层10备用。

[0030] 步骤二、支撑层30制备:

制备第一复合层压板31:首先将芳纶纤维与碳纤维按照6:3的丝束比例进行排布、并按照经纬线角度30°与60°分别进行混合编织(即采用经纬线角度30°的方式编织多层备用、采用经纬线角度60°的方式编织多层备用),获得多层第一混杂纤维平纹布,然后将第一混杂纤维平纹布依次浸渍在酚醛树脂中制成预浸料,最后将多层预浸料按照30°/60°的角度依次铺叠(即30°-60°-30°-60°-…的方式进行铺叠,直至满足厚度要求)、并模压成型,获得第一复合层压板31;其中,第一复合层压板31的模压温度为170℃、压力为15MPa、保温保压时间为90min;

制备第二复合层压板32:首先将芳纶纤维与碳纤维按照4:5的丝束比例进行排布、并按照经纬线角度0°与90°分别进行混合编织(即采用经纬线角度0°的方式编织多层备用、采用经纬线角度90°的方式编织多层备用),获得多层第二混杂纤维平纹布,然后将第二混杂纤维平纹布依次浸渍在环氧树脂中制成预浸料,最后将多层预浸料按照0°/90°的角度依次铺叠(即0°-90°-0°-90°-…的方式进行铺叠,直至满足厚度要求)、并模压成型,获得第二复合层压板32;其中,第二复合层压板32的模压温度为160℃、压力为15MPa、保温保压时间为60min;

第一复合层压板31与第二复合层压板32结合:将第一复合层压板31、环氧类中温固化型热熔胶膜、第二复合层压板32铺叠依次放置在真空袋中,并预抽真空至-0.1MPa,常温下保持15min;之后,将带有复合层的真空袋转移至热压罐中,进行热压复合成型,获得支撑层30备用;第一复合层压板31与第二复合层压板32复合温度为120℃、压力为2.5MPa、保温保压时间为60min。

[0031] 步骤三、缓冲层40制备:首先,在硅橡胶形成的凹槽内放置聚四氟乙烯隔离膜,并将环氧树脂铺在凹槽内的聚四氟乙烯隔离膜表面,环氧树脂采用黏度为6000MPa·s的高强韧环氧树脂;然后,将预先准备的泡沫铝放置在凹槽内的环氧树脂表面、再在泡沫铝的表面倾倒环氧树脂,并在倾倒后的环氧树脂表面铺叠一层聚四氟乙烯隔离膜;之后,在凹槽上放置一块硅橡胶平板、对硅橡胶凹槽形成封闭,并将整个容器放置在真空袋中,进行抽真空封装、于160℃条件下进行热压复合,并保温90min,获得缓冲层40备用。

[0032] 步骤四、吸能层50制备:将超高分子量聚乙烯无纬布按照0°/90°的角度依次铺叠、并模压成型,获得吸能层50备用;其中,模压温度为120℃、压力为15MPa、保温保压时间为90min。

[0033] 步骤五、复合装甲制备:首先,将制备得到的止裂层10、抗弹层20(抗弹层20直接采用现有碳化硼陶瓷原材料即可,即选择特定厚度的碳化硼陶瓷作为抗弹层20)、支撑层30、缓冲层40与吸能层50按尺寸进行裁剪、加工,并通过酒精擦拭;然后,按顺序进行铺层,铺层过程中,各层连接表面采用聚乙烯类快速固化型热熔胶膜进行粘接;然后,将铺叠完成的复

合层放置在真空袋中,并预抽真空至-0.1MPa,常温下保持15min;之后,将带有复合层的真空袋转移至热压罐中,进行热压复合成型,热压罐固化温度为1.8MPa、温度为110℃,保温保压时间70min,获得复合装甲。

[0034] 实施例2:

一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,包括依次设置的止裂层10、抗弹层20、支撑层30、缓冲层40与吸能层50;

其中:止裂层10采用面密度为200±10g/m^2、厚度0.3mm、经/纬向断裂强度不小于5000N/50mm的芳纶平纹布。

[0035] 抗弹层20采用体积密度为2.52±0.03g/m^3、厚度10mm的碳化硼陶瓷;抗弹层20的碳化硼陶瓷力学性能为:维氏硬度≥35GPa,断裂韧性大≥3.5MPa·$m^{1/2}$,弯曲强度≥300MPa,压缩强度≥2000MPa。

[0036] 支撑层30采用多树脂体系的芳纶纤维与碳纤维混编复合层压板,包括第一复合层压板31与第二复合层压板32;第一复合层压板31靠近抗弹层20,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与酚醛树脂复合层压获得;第一复合层压板31中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为7:3,单层混杂纤维的面密度为350g/m^2;第一复合层压板31中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为30°/60°(即相邻两层混杂纤维之间,一层纤维丝束经纬线之间的角度为30°、另一层纤维丝束经纬线角度为60°,且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按7:3的比例排布),且酚醛树脂的含量为25%。第二复合层压板32靠近缓冲层40,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与环氧树脂复合层压获得;第二复合层压板32中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为4:6,单层混杂纤维的面密度为400g/m^2;第二复合层压板32中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为0°/90°(即相邻两层混杂纤维之间,一层纤维丝束经纬线之间的角度为0°、另一层纤维丝束经纬线之间的角度为90°,且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按4:6的比例排布),且环氧树脂的含量为40%。支撑层30整体厚度为5mm,第一复合层压板31与第二复合层压板32之间的厚度比3:2(即第一复合层压板31的厚度为3mm、第二复合层压板32的厚度为2mm)。

[0037] 缓冲层40采用环氧树脂与泡沫铝的复合结构且环氧树脂位于泡沫铝的上、下表面。缓冲层40厚度为2.5mm,缓冲层40的体积密度为1.03±0.05g/cm^3;缓冲层40中,环氧树脂的含量为30%且环氧树脂均匀分布在泡沫铝的上、下表面。

[0038] 吸能层50采用厚度为5mm、体积密度为0.97±0.02g/cm^3的超高分子量聚乙烯层压板。

[0039] 该复合装甲的制备方法,包括:

步骤一、止裂层10制备:将芳纶纤维编织成芳纶平纹布,经、纬向密度为10根/cm,获得止裂层10备用。

[0040] 步骤二、支撑层30制备:

制备第一复合层压板31:首先将芳纶纤维与碳纤维按照7:3的丝束比例进行排布、并按照经纬线角度30°与60°分别进行混合编织(即采用经纬线角度30°的方式编织多层备用、采用经纬线角度60°的方式编织多层备用),获得多层第一混杂纤维平纹布,然后将第一混杂纤维平纹布依次浸渍在酚醛树脂中制成预浸料,最后将多层预浸料按照30°/60°的角度依次铺叠(即30°-60°-30°-60°-…的方式进行铺叠,直至满足厚度要求)、并模压成型,获

得第一复合层压板31;其中,第一复合层压板31的模压温度为180℃、压力为20MPa、保温保压时间为115min;

制备第二复合层压板32:首先将芳纶纤维与碳纤维按照4:6的丝束比例进行排布、并按照经纬线角度0°与90°分别进行混合编织(即采用经纬线角度0°的方式编织多层备用、采用经纬线角度90°的方式编织多层备用),获得多层第二混杂纤维平纹布,然后将第二混杂纤维平纹布依次浸渍在环氧树脂中制成预浸料,最后将多层预浸料按照0°/90°的角度依次铺叠(即0°-90°-0°-90°-…的方式进行铺叠,直至满足厚度要求)、并模压成型,获得第二复合层压板32;其中,第二复合层压板32的模压温度为165℃、压力为20 MPa、保温保压时间为75min;

第一复合层压板31与第二复合层压板32结合:将第一复合层压板31、环氧类中温固化型热熔胶膜、第二复合层压板32铺叠依次放置在真空袋中,并预抽真空至-0.1MPa,常温下保持17min;之后,将带有复合层的真空袋转移至热压罐中,进行热压复合成型,获得支撑层30备用;第一复合层压板31与第二复合层压板32复合温度为130℃、压力为3MPa、保温保压时间为80min。

[0041] 步骤三、缓冲层40制备:首先,在硅橡胶形成的凹槽内放置聚四氟乙烯隔离膜,并将环氧树脂铺在凹槽内的聚四氟乙烯隔离膜表面,环氧树脂采用黏度为8000MPa·s的高强韧环氧树脂;然后,将预先准备的泡沫铝放置在凹槽内的环氧树脂表面、再在泡沫铝的表面倾倒环氧树脂,并在倾倒后的环氧树脂表面铺叠一层聚四氟乙烯隔离膜;之后,在凹槽上放置一块硅橡胶平板、对硅橡胶凹槽形成封闭,并将整个容器放置在真空袋中,进行抽真空封装、于170℃条件下进行热压复合,并保温100min,获得缓冲层40备用。

[0042] 步骤四、吸能层50制备:将超高分子量聚乙烯无纬布按照0°/90°的角度依次铺叠、并模压成型,获得吸能层50备用;其中,模压温度为125℃、压力为20MPa、保温保压时间为115min。

[0043] 步骤五、复合装甲制备:首先,将制备得到的止裂层10、抗弹层20(抗弹层20直接采用现有碳化硼陶瓷原材料即可,即选择特定厚度的碳化硼陶瓷作为抗弹层20)、支撑层30、缓冲层40与吸能层50按尺寸进行裁剪、加工,并通过酒精擦拭;然后,按顺序进行铺层,铺层过程中,各层连接表面采用聚乙烯类快速固化型热熔胶膜进行粘接;然后,将铺叠完成的复合层放置在真空袋中,并预抽真空至-0.1MPa,常温下保持17min;之后,将带有复合层的真空袋转移至热压罐中,进行热压复合成型,热压罐固化温度为2MPa、温度为115℃,保温保压时间75min,获得复合装甲。

[0044] 实施例3:

一种直升机用轻量化抗弹防爆复合装甲,包括依次设置的止裂层10、抗弹层20、支撑层30、缓冲层40与吸能层50;

其中:止裂层10采用面密度为200±10g/m^2、厚度0.4mm、经/纬向断裂强度不小于5000N/50mm的芳纶平纹布。

[0045] 抗弹层20采用体积密度为2.52±0.03g/m^3、厚度10.3mm的碳化硼陶瓷;抗弹层20的碳化硼陶瓷力学性能为:维氏硬度≥35GPa,断裂韧性大≥3.5MPa·$m^{1/2}$,弯曲强度≥300MPa,压缩强度≥2000MPa。

[0046] 支撑层30采用多树脂体系的芳纶纤维与碳纤维混编复合层压板,包括第一复合层

压板31与第二复合层压板32;第一复合层压板31靠近抗弹层20,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与酚醛树脂复合层压获得;第一复合层压板31中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为8:3,单层混杂纤维的面密度为400g/m^2;第一复合层压板31中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为30°/60°(即相邻两层混杂纤维之间,一层纤维丝束经纬线之间的角度为30°、另一层纤维丝束经纬线角度为60°,且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按8:3的比例排布),且酚醛树脂的含量为30%。第二复合层压板32靠近缓冲层40,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与环氧树脂复合层压获得;第二复合层压板32中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为4:7,单层混杂纤维的面密度为450g/m^2;第二复合层压板32中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为0°/90°(即相邻两层混杂纤维之间,一层纤维丝束经纬线之间的角度为0°、另一层纤维丝束经纬线之间的角度为90°,且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按4:7的比例排布),且环氧树脂的含量为45%。支撑层30整体厚度为5.5mm,第一复合层压板31与第二复合层压板32之间的厚度比3.5:2(即第一复合层压板31的厚度为3.5mm、第二复合层压板32的厚度为2mm)。

[0047] 缓冲层40采用环氧树脂与泡沫铝的复合结构且环氧树脂位于泡沫铝的上、下表面。缓冲层40厚度为2.8mm,缓冲层40的体积密度为1.03±0.05g/cm^3;缓冲层40中,环氧树脂的含量为40%且环氧树脂均匀分布在泡沫铝的上、下表面。

[0048] 吸能层50采用厚度为5.5mm、体积密度为0.97±0.02g/cm^3的超高分子量聚乙烯层压板。

[0049] 该复合装甲的制备方法,包括:

步骤一、止裂层10制备:将芳纶纤维编织成芳纶平纹布,经、纬向密度为11根/cm,获得止裂层10备用。

[0050] 步骤二、支撑层30制备:

制备第一复合层压板31:首先将芳纶纤维与碳纤维按照8:3的丝束比例进行排布、并按照经纬线角度30°与60°分别进行混合编织(即采用经纬线角度30°的方式编织多层备用、采用经纬线角度60°的方式编织多层备用),获得多层第一混杂纤维平纹布,然后将第一混杂纤维平纹布依次浸渍在酚醛树脂中制成预浸料,最后将多层预浸料按照30°/60°的角度依次铺叠(即30°-60°-30°-60°-…的方式进行铺叠,直至满足厚度要求)、并模压成型,获得第一复合层压板31;其中,第一复合层压板31的模压温度为190℃、压力为25 MPa、保温保压时间为120min;

制备第二复合层压板32:首先将芳纶纤维与碳纤维按照4:7的丝束比例进行排布、并按照经纬线角度0°与90°分别进行混合编织(即采用经纬线角度0°的方式编织多层备用、采用经纬线角度90°的方式编织多层备用),获得多层第二混杂纤维平纹布,然后将第二混杂纤维平纹布依次浸渍在环氧树脂中制成预浸料,最后将多层预浸料按照0°/90°的角度依次铺叠(即0°-90°-0°-90°-…的方式进行铺叠,直至满足厚度要求)、并模压成型,获得第二复合层压板32;其中,第二复合层压板32的模压温度为170℃、压力为25 MPa、保温保压时间为90min;

第一复合层压板31与第二复合层压板32结合:将第一复合层压板31、环氧类中温固化型热熔胶膜、第二复合层压板32铺叠依次放置在真空袋中,并预抽真空至-0.1MPa,常温下保持20min;之后,将带有复合层的真空袋转移至热压罐中,进行热压复合成型,获得支

撑层30备用;第一复合层压板31与第二复合层压板32复合温度为140℃、压力为4 MPa、保温保压时间为100min。

[0051] 步骤三、缓冲层40制备:首先,在硅橡胶形成的凹槽内放置聚四氟乙烯隔离膜,并将环氧树脂铺在凹槽内的聚四氟乙烯隔离膜表面,环氧树脂采用黏度为10000MPa·s的高强韧环氧树脂;然后,将预先准备的泡沫铝放置在凹槽内的环氧树脂表面、再在泡沫铝的表面倾倒环氧树脂,并在倾倒后的环氧树脂表面铺叠一层聚四氟乙烯隔离膜;之后,在凹槽上放置一块硅橡胶平板、对硅橡胶凹槽形成封闭,并将整个容器放置在真空袋中,进行抽真空封装、于180℃条件下进行热压复合,并保温110min,获得缓冲层40备用。

[0052] 步骤四、吸能层50制备:将超高分子量聚乙烯无纬布按照0°/90°的角度依次铺叠、并模压成型,获得吸能层50备用;其中,模压温度为130℃、压力为25MPa、保温保压时间为120min。

[0053] 步骤五、复合装甲制备:首先,将制备得到的止裂层10、抗弹层20(抗弹层20直接采用现有碳化硼陶瓷原材料即可,即选择特定厚度的碳化硼陶瓷作为抗弹层20)、支撑层30、缓冲层40与吸能层50按尺寸进行裁剪、加工,并通过酒精擦拭;然后,按顺序进行铺层,铺层过程中,各层连接表面采用聚乙烯类快速固化型热熔胶膜进行粘接;然后,将铺叠完成的复合层放置在真空袋中,并预抽真空至-0.1MPa,常温下保持20min;之后,将带有复合层的真空袋转移至热压罐中,进行热压复合成型,热压罐固化温度为2.2MPa、温度为120℃,保温保压时间80min,获得复合装甲。

[0054] 对比例1:

一种直升机用复合层,包括依次设置的止裂层、抗弹层、支撑层、缓冲层与吸能层;

其中:止裂层与实施例2中的止裂层一致。

[0055] 抗弹层与实施例2中的抗弹层一致。

[0056] 支撑层30采用多树脂体系的芳纶纤维与碳纤维混编复合层压板,包括第一复合层压板31与第二复合层压板32;第一复合层压板31靠近抗弹层20,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与环氧树脂复合层压获得;第一复合层压板31中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为7:3,单层混杂纤维的面密度为350g/m^2;第一复合层压板31中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为30°/60°(即相邻两层混杂纤维之间,一层纤维丝束经纬线之间的角度为30°、另一层纤维丝束经纬线角度为60°,且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按7:3的比例排布),且环氧树脂的含量为40%。第二复合层压板32靠近缓冲层40,由芳纶纤维与碳纤维混编后、与酚醛树脂复合层压获得;第二复合层压板32中,单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为4:6,单层混杂纤维的面密度为400g/m^2;第二复合层压板32中,相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为0°/90°(即相邻两层混杂纤维之间,一层纤维丝束经纬线之间的角度为0°、另一层纤维丝束经纬线之间的角度为90°,且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按4:6的比例排布),且酚醛树脂的含量为25%。支撑层30整体厚度为5mm,第一复合层压板31与第二复合层压板32之间的厚度比3:2(即第一复合层压板31的厚度为3mm、第二复合层压板32的厚度为2mm)。

[0057] 缓冲层与实施例2中的缓冲层一致。

[0058] 吸能层与实施例2中的吸能层一致。

[0059] 该复合层采用与实施例2中类似的制备方法进行制备。

[0060] 对比例2：

一种直升机用复合层，包括依次设置的止裂层、抗弹层、支撑层、缓冲层与吸能层；其中：止裂层与实施例2中的止裂层一致。

[0061] 抗弹层与实施例2中的抗弹层一致。

[0062] 支撑层采用环氧树脂体系下的芳纶纤维与碳纤维混编复合层压板，其中，单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为7:3，单层混杂纤维的面密度为350g/m^2；相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为30°/60°(即相邻两层混杂纤维之间，一层纤维丝束经纬线之间的角度为30°、另一层纤维丝束经纬线角度为60°，且单层径向或纬向的芳纶纤维与碳纤维按7:3的比例排布)，且环氧树脂的含量为40%；支撑层整体厚度为5mm。

[0063] 缓冲层与实施例2中的缓冲层一致。

[0064] 吸能层与实施例2中的吸能层一致。

[0065] 该复合层采用与实施例2中类似的制备方法进行制备。

[0066] 对比例3：

一种直升机用复合层，包括依次设置的止裂层、抗弹层、支撑层、缓冲层与吸能层；其中：止裂层与实施例2中的止裂层一致。

[0067] 抗弹层与实施例2中的抗弹层一致。

[0068] 支撑层采用酚醛树脂体系下的芳纶纤维与碳纤维混编复合层压板，其中，单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为4:6，单层混杂纤维的面密度为400g/m^2；相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为0°/90°(即相邻两层混杂纤维之间，一层纤维丝束经纬线之间的角度为0°、另一层纤维丝束经纬线之间的角度为90°，且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按4:6的比例排布)，且酚醛树脂的含量为25%；支撑层整体厚度为5mm。

[0069] 缓冲层与实施例2中的缓冲层一致。

[0070] 吸能层与实施例2中的吸能层一致。

[0071] 该复合层采用与实施例2中类似的制备方法进行制备。

[0072] 对比例4：

一种直升机用复合层，包括依次设置的止裂层、抗弹层、支撑层、缓冲层与吸能层；其中：止裂层与实施例2中的止裂层一致。

[0073] 抗弹层与实施例2中的抗弹层一致。

[0074] 支撑层采用多树脂体系的芳纶纤维与碳纤维混编复合层压板，包括第一复合层压板与第二复合层压板；第一复合层压板靠近抗弹层，由芳纶纤维与碳纤维混编后、与酚醛树脂复合层压获得；第一复合层压板中，单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为4:6，单层混杂纤维的面密度为400g/m^2；第一复合层压板中，相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为0°/90°(即相邻两层混杂纤维之间，一层纤维丝束经纬线之间的角度为0°、另一层纤维丝束经纬线之间的角度为90°，且单层径向、纬向的芳纶纤维与碳纤维均按4:6的比例排布)，且酚醛树脂的含量为25%。第二复合层压板靠近缓冲层，由芳纶纤维与碳纤维混编后、与环氧树脂复合层压获得；第二复合层压板中，单层混杂纤维的芳纶纤维与碳纤维的丝束比为7:3，单层混杂纤维的面密度为350g/m^2；第二复合层压板中，相邻两层混杂纤维之间的纤维丝束的角度为30°/60°(即相邻两层混杂纤维之间，一层纤维丝束经纬线之间的角度为30°、另一层纤维丝束经纬线角度为60°，且单层径向或纬向的芳纶纤维与碳纤维按7:3的

比例排布),且环氧树脂的含量为40%。支撑层整体厚度为5mm,第一复合层压板与第二复合层压板之间的厚度比3:2(即第一复合层压板的厚度为3mm、第二复合层压板的厚度为2mm)。

[0075] 缓冲层与实施例2中的缓冲层一致。

[0076] 吸能层与实施例2中的吸能层一致。

[0077] 该复合层采用与实施例2中类似的制备方法进行制备。

[0078] 对比例5:

一种直升机用复合层,包括依次设置的止裂层、抗弹层、支撑层、缓冲层与吸能层;其中:止裂层与实施例2中的止裂层一致。

[0079] 抗弹层与实施例2中的抗弹层一致。

[0080] 支撑层与实施例2中的支撑层一致。

[0081] 缓冲层采用环氧树脂与蜂窝铝的复合结构;缓冲层厚度为2.5mm,缓冲层的体积密度为1.03±0.05g/cm^3;缓冲层中,环氧树脂的含量为30%且环氧树脂均匀涂覆在蜂窝铝的上、下表面。

[0082] 吸能层与实施例2中的吸能层一致。

[0083] 该复合层采用与实施例2中类似的制备方法进行制备。

[0084] 分别对实施例1~3中的抗弹防爆复合装甲与对比例1~5中的复合层进行12.7mm、速度大于等于488m/s的穿燃弹测试与隔声量测试,测试结果如下表:

测试项目	实施例1	实施例3	实施例2	对比例1	对比例2	对比例3	对比例4	对比例5
厚度(mm)	22.8	25.92	24.12	24.20	24.23	24.15	24.19	24.46
面密度(kg/m^2)	41.37	41.47	41.41	41.44	41.42	41.45	41.44	41.5
防12.7mm(速度≥488m/s)穿燃弹	未穿透,复合装甲背面变形量13mm	未穿透,复合装甲背面变形量9mm	未穿透,复合装甲背面变形量12mm	未穿透,复合层背面变形量36mm	穿透	穿透	未穿透,复合层背面变形量41mm	未穿透,复合层背面变形量52mm
隔声量(dB)	37.5	37.7	37.6	36.2	36.5	36.4	36.1	30.1

[0085] 由上表能够明确看出:当支撑层中的丝束比例、单层铺叠角度以及树脂体系发生变化时,均会明显影响复合层的防护能力。由实施例2与对比例1的结果看出:树脂体系发生变化时,隔声量不会出现明显下降且复合层未被穿透,但复合层的背面变形量明显增加;由实施例2与对比例2、对比例3的结果看出:当支撑层采用单一树脂体系时,虽然隔声量不会出现显著下降,但复合层直接被穿透,说明单一树脂体系的防护效果极差;由实施例2与对比例4的结果看出:当芳纶纤维与碳纤维之间的丝束比与铺叠角度发生变化时,即使采用相同的树脂体系、仍会出现复合层背面变形量明显增加的问题。此外,由实施例2与对比例5看出,缓冲层中采用环氧树脂与泡沫铝的组合,在防护效果与隔声量上、相较于环氧树脂与蜂窝铝的组合具备明显优势。

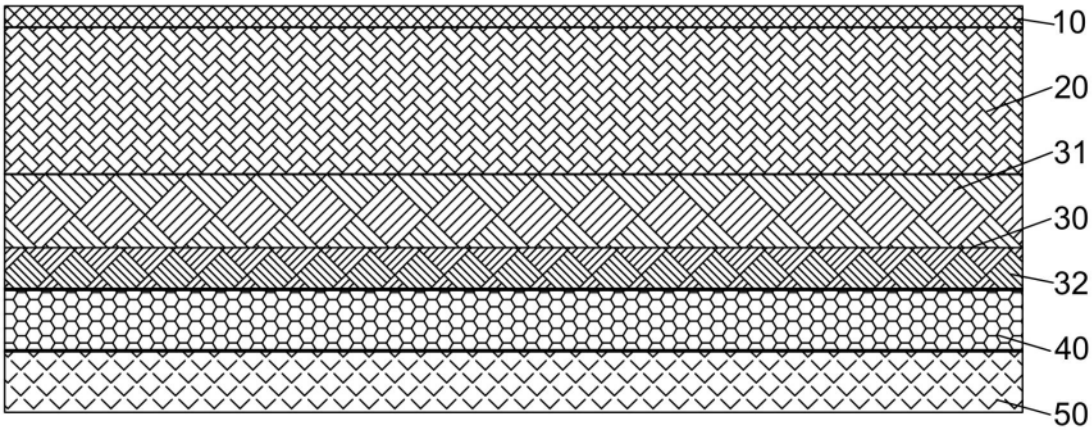


图1