

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.08.022

不饱和聚氨酯胶膜的制备及在防弹透明结构材料中的应用

马开宝,王晓立,高守臻,李大勇,于广,罗长宏,徐晓媛,黄振强

(山东非金属材料研究所,济南 250031)

摘要:采用异氰酸二异氰酸酯(IPDI)、聚醚二元醇、丙烯酸羟丙酯(HPA)合成了不饱和聚氨酯树脂,加以活性稀释剂、光敏剂安息香乙醚配制成胶液,经光固化制得胶膜。分析了 HPA、活性稀释剂用量对胶膜拉伸强度、断裂伸长率等性能的影响,发现当胶液中 HPA 质量分数为 9%、活性稀释剂质量分数为 56% 时胶膜的综合力学性能较好。对胶膜进行 1 008 h 紫外辐照老化试验,测得拉伸强度保持率为 70%,断裂伸长率保持率为 78%。将最优配方下的胶液灌注在透明陶瓷、无机玻璃、有机玻璃之间,经光固化复合成防弹透明结构材料。对防弹透明结构材料进行了 60 d 阳光曝晒试验,测得透光率保持率为 98.6%,并进行了 7.62 mm 枪弹射击试验,测得弹丸未穿透防弹透明结构材料、背板无飞溅物产生。

关键词: 不饱和聚氨酯树脂; 活性稀释剂; 光固化; 防弹透明结构材料

中图分类号: TQ323.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)08-0129-06

Preparation of Unsaturated Polyurethane Film and Its Application in Bulletproof Transparent Structural Materials

Ma Kaibao, Wang Xiaoli, Gao Shouzhen, Li Dayong, Yu Guang, Luo Changhong, Xu Xiaoyuan, Huang Zhenqiang

(Shandong Institute of Non-metallic Materials, Jinan 250031, China)

Abstract : Unsaturated polyurethane resin was synthesized by using isophorone diisocyanate (IPDI), polyether glycol and hydroxypropyl acrylate (HPA), active diluent and photosensitizer benzoin ethyl ether were added to the unsaturated polyurethane resin to obtain a glue solution, and the glue solution was cured by light to obtain a film. The influences of HPA and active diluent addition on the tensile strength and elongation at break of the film were analyzed. It is concluded that the comprehensive mechanical properties of the film are good when the mass fraction of HPA is 9% and the active diluent is 56% in the glue solution. UV irradiation aging test of 1 008 h was performed on the film, the result shows that the tensile strength retention rate is 70% and the elongation at break retention rate is 78%. The glue solution of optimum formula was poured between transparent ceramics, inorganic glass and organic glass, and then cured by light to form a bulletproof transparent structural material. Sunshine exposure test of 60 day was carried out on the bulletproof transparent structure material, and the light transmission retention rate is measured to be 98.6%. A 7.62 mm bullet shooting test was carried out. It is measured that the projectile does not penetrate the bulletproof transparent structure material, and no splashes are generated on the backplane.

Keywords : unsaturated polyurethane resin ; reactive diluent ; light curing ; bulletproof transparent structural material

随着科技进步及社会发展,防弹玻璃的防护要求越来越高,在军民两用材料方面应用越来越广泛,如装甲车辆的观察窗、武器系统观瞄镜及防弹车玻璃、银行橱窗玻璃等领域^[1-4]。相对于普通玻璃,防弹玻璃一般由面板、背板以及起粘接作用的中间层经高温高压层合而成。其防弹原理是利用硬而脆的面板受冲击后破裂来吸收一部分冲击能量,继而通

过中间层和背板的变形来吸收剩余能量^[5-9],防弹玻璃受弹体击中后,背面不能产生飞溅物。

制造防弹玻璃有干法和湿法两种工艺,干法早期直接采用玻璃和聚碳酸酯(PC)复合,中间留有 2 mm 空隙,这种材料抗弹能力差,不能抗多发弹的冲击。后来以玻璃为主体材料,中间采用以聚乙烯醇缩丁醛(PVB)为夹层的多层重叠组合,或采用

通信作者:高守臻,硕士,研究员,主要研究方向为非金属复合材料技术

收稿日期:2021-06-08

引用格式:马开宝,王晓立,高守臻,等. 不饱和聚氨酯胶膜的制备及在防弹透明结构材料中的应用[J]. 工程塑料应用,2021,49(8): 129-134.

Ma Kaibao, Wang Xiaoli, Gao Shouzhen, et al. Preparation of unsaturated polyurethane film and its application in bulletproof transparent structural materials[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(8): 129-134.

PVB、聚氨酯膜、PC、玻璃多层热压而成^[10-12],抗弹能力有较大提高,但需要配备一定压力的热压罐,成型工艺复杂,设备费用高投资大^[13-15]。另一个为湿法工艺,其特点为投资少工艺简单。最初采用改性环氧胶、丙烯酸类胶或改性丙烯酸酯,但由于这些材料存在本身性能差、透光率低等缺陷也不能满足透明防弹材料的要求。

笔者采用异氰酸二异氰酸酯(IPDI)、聚醚二元醇、丙烯酸羟丙酯(HPA)合成了一种新型的不饱和聚氨酯树脂,加以活性稀释剂、光敏剂安息香乙醚配制成胶液,并通过湿法工艺将其与透明陶瓷、无机玻璃、有机玻璃复合,经光固化制成防弹透明结构材料(简称透明结构材料)。相对于传统的聚氨酯膜,笔者制备的不饱和聚氨酯胶膜具有较高的耐温性、较强的粘结力和较好的力学性能。原因在于,常用的饱和聚氨酯膜属于热塑性热熔胶类,其分子为线型聚合,聚合物内极性基团相对较少,加热到一定温度后具有粘接力,但相较于不饱和聚氨酯胶膜,其粘接力偏低、耐温性偏低。不饱和聚氨酯胶液固化后分子为网状结构,分子极性基团多,耐温和力学性能好。不饱和聚氨酯胶液可通过浇注成型,提高了其与玻璃等板材界面粘结力。在不饱和聚氨酯树脂合成中加入HPA,利用HPA中的—OH对预聚物中—NCO基进行封端改性,以提高胶膜的力学性能,又避免了胶膜气泡等缺陷的产生。

胶膜的力学性能在一定程度上反映了透明结构材料的力学性能,笔者通过讨论HPA、活性稀释剂用量对胶膜拉伸强度、断裂伸长率等性能的影响,选取了胶膜的最优配方,并与一定厚度的透明氧化铝陶瓷、无机玻璃、透明有机玻璃复合,光固化后制成具有良好抗冲击性能和透光性、耐光老化性能好及抗弹性好的透明结构材料,通过自然老化试验和7.62 mm枪实弹射击试验验证了材料的透光性和抗冲击性能。

1 实验部分

1.1 主要原材料

聚醚二元醇:N220,数均分子量为2000,工业一级,上海鑫锐化工科技有限公司;

IPDI:工业一级,德国拜耳公司;

二月桂酸二丁基锡(有机锡)、2,6-二叔丁基对甲酚、乙醇:化学纯,上海化学试剂有限公司;

HPA:工业一级,广州市虎傲化工有限公司;

活性稀释剂:含甲基丙烯酸甲酯、甲基丙烯酸

和邻苯二甲酸二丁酯,三者质量比为100:43:20,自制;

安息香乙醚(光敏剂):化学纯,上海化学试剂有限公司;

定向有机玻璃板:透光率 $\geq 92\%$,厚度5 mm,河北河间市恺龙密封材料有限公司;

高强度无机玻璃板:透光率 $\geq 92\%$,厚度10 mm,洛阳浮法玻璃集团有限公司;

氧化铝陶瓷板:透光率 $\geq 86\%$,厚度6 mm,上海玻璃钢研究院有限公司;

表面处理剂:质量分数15%的硅烷偶联剂KH550乙醇溶液,自制;

201甲基硅油:工业一级,湖北远成赛创科技有限公司;

聚氨酯胶片:厚度2.0 mm,亨斯迈聚氨酯(中国)有限公司;

密封胶条:H100,江苏艾合复合材料有限公司。

1.2 主要仪器及设备

数显集热式恒温加热搅拌器:DF-101S型,郑州生化仪器有限公司;

三口烧瓶:规格5000 mL,上海玻璃仪器有限公司;

真空泵:2X-70型,无锡四方真空设备有限公司;

高压紫外线汞灯:450W型,上海亚明照明有限公司;

透光率雾度测定仪:WGT-S型,深圳市伟峰仪器仪表有限公司;

电子拉力试验机:INSTRON5969型,美国英斯特公司;

电热鼓风干燥箱:SI-4型,上海树立仪器仪表有限公司;

不饱和聚氨酯胶液浇注机:自制;

人工紫外线加速老化实验仪:KWUV3型,广东科文试验设备有限公司;

邵氏A硬度计:LX-A型,江都市天发试验机械厂。

1.3 不饱和聚氨酯树脂合成及胶膜制备

(1) 不饱和聚氨酯树脂合成。

第一步:IPDI与聚醚二元醇N220反应,分子链型增长,生成预聚物,其两端为—NCO基封端,预聚物引入柔性好的醚键,使得不饱和聚氨酯树脂具有好的韧性。IPDI与聚醚二元醇N220反应式

为: $(n+1) \text{OCN}-\text{R}-\text{NCO} (\text{IPDI}) + n \text{HO}-\text{R}'-\text{OH} (\text{N220}) \rightarrow \text{OCN}-(\text{RNHCOOR}'\text{OCONH})_n\text{R}-\text{NCO} (\text{OCN}\sim\text{NCO})$ 。

第二步: 预聚物在有机锡催化下与 HPA 反应, 为防止 HPA 中的不饱和双键发生自聚需加入 2,6-二叔丁基对甲酚, 生成不饱和聚氨酯树脂, 预聚物与 HPA 反应式为: $\text{OCN}\sim\text{NCO} + 2\text{CH}_2=\text{CHCOOCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{OH} (\text{HPA}) \rightarrow \text{CH}_2=\text{CHCOOCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{OCONH}\sim\text{NHOCOCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{OCOCH}=\text{CH}_2$ 。

具体步骤为, 将 100 份 (质量份, 下同) 聚醚二元醇 N220 加入接有真空泵的三口烧瓶中, 加热至 110°C , 启动真空泵, 在相对真空度 $-0.09 \sim -0.1 \text{ MPa}$ 下脱水 2 h, 降温至 $90 \sim 100^\circ\text{C}$, 加入 20 份 IPDI、少量有机锡, 反应 3 h。加入 0.015 份的 2,6-二叔丁基对甲酚及一定量的 HPA, 继续反应 3 h 后降温至 40°C 以下得到不饱和聚氨酯树脂。

(2) 不饱和聚氨酯胶液配制。

由于不饱和聚氨酯树脂分子量大, 故其常温下黏度大, 不便使用, 需要进行稀释。向不饱和聚氨酯树脂中加入一定量的活性稀释剂和光敏剂搅拌 20 min, 然后分装于密闭不见光的容器中常温储存。

(3) 不饱和聚氨酯胶膜制备。

采用两块平整度较高的玻璃作为模具, 浇注面涂 201 甲基硅油作为脱模剂, 2.0 mm 厚度聚氨酯胶片封边, 将配制好的不饱和聚氨酯胶液倒入模具中间上部, 注满后用密封胶条密封, 置于 450 W 紫外线汞灯下方 30 cm 处, 光照固化 25 min, 关闭紫外灯, 去掉玻璃板脱模得到不饱和聚氨酯胶膜。

1.4 透明结构材料的制备

(1) 板面清洗及表面处理。

将陶瓷板、无机玻璃板、有机玻璃板加工成尺寸为 $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 的板材, 其夹胶面用酒精清洗 3 遍, 晾干, 再用表面处理剂均匀擦拭夹胶面, 凉置 10 min 待用。

(2) 板面装配。

将处理好的陶瓷板、无机玻璃板及有机玻璃板夹胶面沿边缘贴 2 mm 厚聚氨酯密封条, 排列顺序为陶瓷-无机玻璃-有机玻璃, 每两层之间用于夹胶液。两层之间上部开有长 50 mm 的注胶口, 用专用工装夹紧、固定。

(3) 注胶。

将装配好的板面材料开口向上, 与水平方向呈 70° 左右夹角, 固定在浇注机台架上, 沿玻璃壁缓慢

注胶, 注满胶液为止, 观察浇注液为均匀透明的液体, 无气泡无杂质后用密封胶条将浇注口密封。此操作应在阴凉干燥处进行, 避免强光直射。

(4) 固化。

将注胶的试样置于 450 W 紫外线汞灯下方 30 cm 处, 光照固化 60 min, 得到透明结构材料。

1.5 老化试验方法

(1) 胶膜人工加速老化试验。

针对胶膜对紫外线吸收特点, 采用波长为 340 nm 的短波紫外线进行人工加速老化试验。试验时采用老化灯管, 为保持紫外光强度, 定期更换灯管, 灯管与试样距离始终保持在 10 cm。试验条件为: 辐照度 $(0.8 \pm 0.2) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$ 、温度 $(50 \pm 3)^\circ\text{C}$, 并在 0, 168, 336, 504, 672, 840, 1 008 h 时取出试样用于拉伸强度、断裂伸长率测试。

(2) 透明结构材料自然老化试验。

将透明结构材料试样置于离地面垂直距离 30 m 左右阳光照射的位置, 进行阳光曝晒, 时间点选择在 6, 7 月份, 共曝晒 60 d, 每隔 10 d 取出试样, 对试样进行透光率测试。

1.6 透明结构材料实弹射击试验

采用 7.62 mm 口径靶道枪进行射击试验, 将透明结构材料固定于靶台上, 面板 (迎弹面) 为氮氧化铝陶瓷板, 背板为定向有机玻璃板, 试验参数见表 1, 射击时, 移动靶板使 3 发子弹入射点成 100 mm 等边三角形排列, 然后观察射击效果并拍照。

表 1 透明结构材料实弹射击试验参数

参 数	数 值
枪支口径/mm	7.62
弹丸质量/g	7.80 ~ 7.90
初速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	710 ~ 730
射击角度/度	0
射击距离/m	15
射击发数	3
着弹点距离/mm	100

1.7 性能测试

透光率按 GB/T 2410-2008 测试;

防弹性能按 GB 17840-2008 测试;

拉伸强度、断裂伸长率按 GB/T 2567-2008 测试, 测试速率 $20 \text{ mm}/\text{min}$;

邵氏 A 硬度按 GB/T 531-1992 测试。

2 结果与讨论

2.1 安息香乙醚用量对胶液固化时间和胶膜外观的影响

安息香乙醚是光敏引发剂, 在紫外光作用下产

生自由基,自由基引发胶液中的不饱和键开链聚合形成网状结构。安息香乙醚加入量过大,化学反应加快,易爆聚,固化过程中胶膜易出现皱褶等缺陷。安息香乙醚加入量过少,固化时间长,交联密度低,胶液难以完全固化,胶膜性能差。改变胶液中安息香乙醚的质量分数,将胶液固化成胶膜,测试胶膜邵氏 A 硬度,邵氏 A 硬度达到 62 时视为胶液完全固化,记录此时的固化时间及胶膜外观,见表 2。由表 2 知,随安息香乙醚用量增加,胶液的固化时间逐渐缩短,但胶膜外观逐渐变差,综合固化时间和胶膜外观,安息香乙醚质量分数为 0.1% 时最佳。

表 2 安息香乙醚用量与固化时间和胶膜外观的关系

安息香乙醚质量分数 / %	固化时间 / min	胶膜外观
0.06	50	表面光滑无皱褶
0.08	35	表面光滑无皱褶
0.10	25	表面光滑无皱褶
0.12	20	表面有微量皱褶
0.14	13	表面有少量皱褶
0.16	8	表面有皱褶
0.18	5	表面有较多皱褶

2.2 HPA 用量对胶膜力学性能的影响

HPA 分子中含有不饱和双键和羟基,羟基与预聚物中的异氰酸根反应,预聚物分子链加长,分子量加大,生成不饱和聚氨酯树脂。树脂中含不饱和双键和醚键,可使不饱和聚氨酯树脂兼具聚氨酯及不饱和树脂的优良性能,如高强度、高韧性和较好的耐温性,但不饱和双键的数量即 HPA 的用量对不饱和聚氨酯胶膜力学性能的影响情况需要进行分析研究。图 1 是 HPA 用量(占胶液质量的百分数)与胶膜力学性能的关系曲线。由图 1 可知,HPA 用量低(质量分数 < 9%) 时,反应多为直链聚合,交联密度低,胶膜中不饱和双键较少,拉伸强度低,相应预聚物含量增大,聚醚柔性链段增多,柔韧性好,断裂伸长率高。HPA 用量高(质量分数 > 9%) 时,反应多为网状交联,分子量大,胶膜拉伸强度增大,柔性链段含量降低,断裂伸长率降低,柔韧性差。综合考虑胶膜强度和柔韧性,选择 HPA 质量分数为 9%。

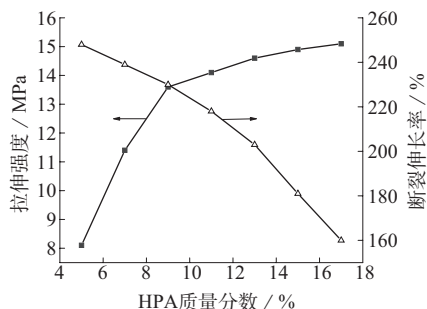


图 1 HPA 用量与胶膜力学性能的关系曲线

2.3 活性稀释剂用量对胶膜力学性能的影响

活性稀释剂是由含多种不饱和键的单体材料及少量增塑剂组成的混合液,图 2 是胶液中活性稀释剂质量分数与胶膜力学性能关系曲线。由图 2 可以看出,随着活性稀释剂用量的增加,胶膜拉伸强度增加,断裂伸长率降低。综合考虑胶膜的强度和柔韧性,选择拉伸强度和断裂伸长率性能变化曲线的交点所对应的活性稀释剂用量,即选择活性稀释剂的质量分数为 56%。活性稀释剂能够降低不饱和聚氨酯树脂黏度,同时在安息香乙醚作用下与不饱和聚氨酯树脂发生交联反应,提高了胶膜的力学性能。活性稀释剂应具有与不饱和聚氨酯树脂较好的相容性、相近的固化速率。如果两者相容性差或固化速率相差大,不饱和聚氨酯树脂及活性稀释剂各自发生均聚反应或与安息香乙醚发生加成聚合反应,使得活性稀释剂与不饱和聚氨酯树脂发生交联反应的几率减少,聚合物分子量偏小,两种聚合物部分形成了“物理混合”,胶膜力学性能下降。

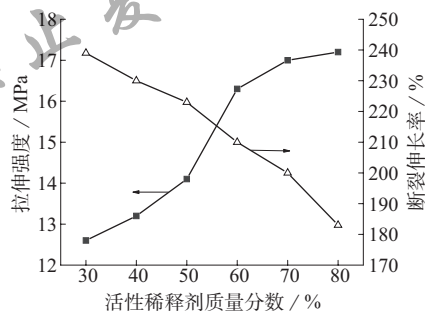


图 2 活性稀释剂用量与胶膜力学性能关系曲线

2.4 紫外辐照对胶膜力学性能的影响

通过上述讨论,选取胶液中 HPA 质量分数为 9%,活性稀释剂质量分数为 56%,安息香乙醚质量分数为 0.1% 为最佳配方。

图 3 为最佳配方下胶膜拉伸强度、断裂伸长率与辐照时间的关系曲线。从图 3 可以看出,试样在老化初期 168 h 时拉伸强度及断裂伸长率有一定的提高,拉伸强度升高了 8.0%,断裂伸长率升高了

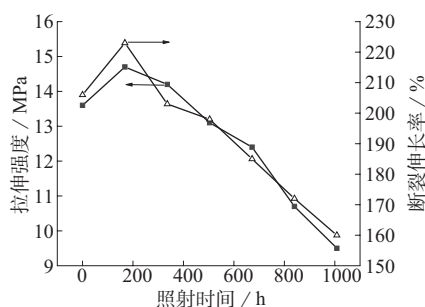


图 3 胶膜拉伸强度、断裂伸长率与辐照时间的关系曲线

8.2%,随后逐渐下降,呈现出先升高后下降的趋势。紫外辐照前期试样拉伸强度有一定的提高是因为紫外线照射和温度可以促使胶膜基体继续进行后固化反应,从而提高了胶膜的拉伸强度及断裂伸长率;然而对试样进行紫外辐照也会造成大分子链的断裂,胶膜发生老化分解,使胶膜的拉伸强度和断裂伸长率降低。由于这两种机理的共同作用,造成胶膜的力学性能随时间变化出现先升高后下降的现象。经过 1 008 h 的紫外辐照实验,胶膜拉伸强度为 9.5 MPa,保持率为 70%,断裂伸长率为 160%,保持率为 78%,具有较好的抗紫外光性能,满足使用要求。

2.5 透明结构材料性能分析

根据胶膜最佳配方制得了透明结构材料,主要测试了制备的透明结构材料的自然光老化性能和防弹性能。

(1) 日光自然老化对透明结构材料透光率的影响。

对透明结构材料进行日光自然老化,测得时间与透光率的关系曲线,如图 4 所示。由图 4 可知,随着日照时间的增长,透明结构材料的透光率呈下降趋势,但下降幅度很小,经过 60 d 烈日曝晒,透光率降低 1.4%,透光率保持率为 98.6%,透明结构材料没有出现开胶、气泡和泛黄现象,耐自然光老化性能较好。

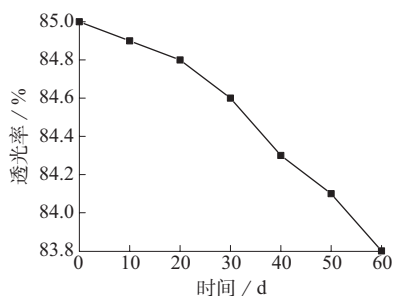


图 4 日光自然老化时间与透明结构材料透光率的关系曲线

(2) 7.62 mm 枪弹射击对透明结构材料防弹性能的影响。

7.62 mm 枪弹射击试验后透明结构材料面板、背板的照片见图 5。由图 5a 看出,透明结构材料面板的三角区域裂纹十分密集,透明结构材料未被子弹击穿,3 发子弹击中处均形成 11 ~ 12 mm 深的弹坑,说明透明结构材料具有明显的吸能效果和好的防弹性能;由图 5b 看出,背板有机玻璃无缺失,无飞溅物飞出,说明透明结构材料对人体具有好的保护作用。

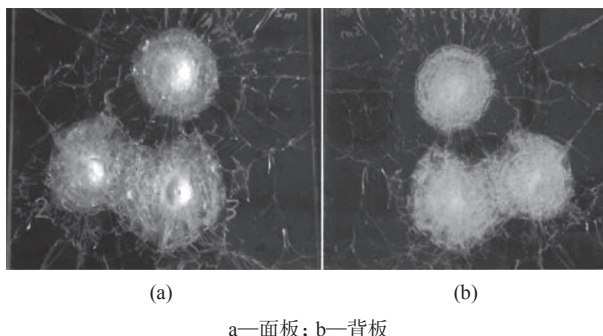


图 5 枪弹射击试验后透明结构材料面板和背板照片

3 结论

(1) 采用 IPDI、聚醚二元醇和 HPA 制得不饱和聚氨酯树脂,然后加入活性稀释剂、光敏剂安息香乙醚制得不饱和聚氨酯胶液,经光固化后制成的胶膜满足透明结构材料要求,制备工艺简单、设备投资少。

(2) 胶液中 HPA 质量分数为 9%、活性稀释剂质量分数为 56%、安息香乙醚质量分数为 0.1% 时,不饱和聚氨酯胶膜的综合力学性能最好。

(3) 采用不饱和聚氨酯胶膜制备的透明结构材料具有透光率高、耐光(热)老化性好、抗子弹冲击能力强等优点。

参考文献

- [1] 魏化震,钟蔚华,于广. 高分子复合材料在装甲防护领域的研究与应用进展[J]. 材料工程,2020,48(8):25-32.
Wei Huazhen, Zhong Weihua, Yu Guang. Research and application progress of polymer composites in armor protection[J]. Journal of Materials Engineering, 2020, 48(8):25-32.
- [2] 李汶蔚,梅杰,黄威. 碳纤维增强复合材料层合板的抗冲击性能[J]. 高压物理学报,2020,34(2):57-64.
Li Wenwei, Mei Jie, Huang Wei. Impulsive resistance of the CFRP / epoxy laminate[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2020, 34(2):57-64.
- [3] 秦溶蔓,朱波,乔琨,等. 陶瓷 / 纤维复合材料层间混杂结构对装甲板抗侵彻性能的影响[J]. 材料导报,2020,34(18):18 183-18 187.
Qin Rongman, Zhu Bo, Qiao Kun, et al. Effect of hybrid structure of ceramic / fiber composite material on penetration resistance of armor plate[J]. Materials Review, 2020, 34(18):18 183-18 187.
- [4] 梅晶,袁新强,王丹,等. 聚甲基丙烯酸甲酯 / 聚磷酸酯透明复合材料制备与性能[J]. 塑料科技,2020,48(8):1-5.
Mei Jing, Yuan Xinqiang, Wang Dan, et al. Preparation and properties of polymethyl methacrylate / polyphosphate transparent composites[J]. Plastics Science and Technology, 2020, 48(8):1-5.
- [5] 董彬,魏汝斌,宗昊,等. 陶瓷 / 纤维复合装甲抗弹吸能机理及影响因素[J]. 兵器材料科学与工程,2020,43(5):128-136.
Dong Bin, Wei Rubin, Zong Hao, et al. The energy absorption mechanism and influential factors of ceramic / fiber reinforced

- polymer composite hybrid armour[J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2020, 43(5):128-136.
- [6] 肖文莹,郭万涛,李想. 超高分子量聚乙烯纤维增强防弹复合材料研究进展[J]. 材料开发与应用, 2019, 34(2):131-138.
- Xiao Wenying, Guo Wantao, Li Xiang. The progress of UHMWPE fiber-reinforced ballistic composites[J]. Development and Application of Materials, 2019, 34(2):131-138.
- [7] 肖文莹,李想,郭万涛,等. Kevlar/UHMWPE 混杂纤维复合材料抗弹性能[J]. 玻璃钢/复合材料, 2019(9):79-84.
- Xiao Wenying, Li Xiang, Guo Wantao, et al. Resistance performance of Kevlar/UHMWPE fiber hybrid composites[J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2019(9):79-84.
- [8] 陈鑫,马士东,刘升辉. 基于 ABAQUS 碳纤维树脂基复合材料抗冲击性能研究[J]. 科技风, 2019(2):194-195.
- Chen Xin, Ma Shidong, Liu Shenghui. Research on the impact resistance of carbon fiber reinforced resin matrix composites based on ABAQUS[J]. Technology Wind, 2019(2):194-195.
- [9] 杨莹雪,张秀芹,杨丹,等. 纤维增强复合材料防弹头盔壳体的研究进展[J]. 北京服装学院学报:自然科学版, 2019, 39(3):93-100.
- Yang Yingxue, Zhang Xiuqin, Yang Dan, et al. Review on the development of fiber reinforced composites for military helmet shells[J]. Journal of Beijing Institute of Clothing Technology: Natural Science Edition, 2019, 39(3):93-100.
- [10] 杨杰,邱日祥,胡志昂. 防弹玻璃动态力学响应规律及抗弹性能研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2013, 36(3):60-62, 63.
- Yang Jie, Qiu Rixiang, Hu Zhi'ang. Dynamic mechanical response and anti-bullet property of bulletproof glass[J]. Ordnance Material Science and Engineering, 2013, 36(03):60-62, 63.
-
- (上接第 122 页)
- Zhu Zhenhua, Shao Yu, Wang Jun, et al. Electrical conductivity of PP/SSFs composites under alternate loading[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(7):8-12.
- [13] 蒋永敏. 浅析汽车的吸音隔音材料[J]. 中国包装工业, 2014(2):9-10.
- Jiang Yongmin. Analysis of the sound-absorbing and sound-proof materials in automobile[J]. China Packaging Industry, 2014(2):9-10.
- [14] 仇文波. 一款微型轿车前门玻璃升降器异响问题的改善[J]. 汽车工艺与材料, 2015(11):10-16.
- Qiu Wenbo. An improvement for noisy issue of front regulator of mini passenger vehicle[J]. Automobile Technology & Material, 2015(11):10-16.
- [15] 蒋雄,邱德平. 汽车内饰塑料件 NVH 异响改善[J]. 汽车工程师, 2018(4):31-34, 37.
- Jiang Xiong, Qiu Deping. Improvement of the acoustic performance of vehicle plastic interior parts[J]. Auto Engineer, 2018(4):31-34, 37.
- [16] 江文杰,孙成武. 某车型汽车座椅异响问题的研究与解决[J]. [11] 陈宇宏,厉蕾. 轻型防弹玻璃的结构研究[J]. 材料工程, 2002, 30(6):7-9, 36.
- Chen Yuhong, Li Lei. Study on the structure of lightweight bulletproof glass[J]. Journal of Materials Engineering, 2002, 30(6):7-9, 36.
- [12] 刘正. 不同聚碳酸酯(PC)层合结构对防弹玻璃性能影响的研究[J]. 玻璃与搪瓷, 2016, 44(1):14-19, 36.
- Liu Zheng. Effects of polycarbonate laminated structure on the performance of bulletproof glass[J]. Glass & Enamel, 2016, 44(1):14-19, 36.
- [13] 周庆,何业茂,刘婷. 对位芳香族聚酰胺纤维/环氧树脂复合材料防弹性能及其破坏机制[J]. 复合材料学报, 2019, 36(10):2235-2246.
- Zhou Qing, He Yemao, Liu Ting. Bulletproof properties and failure mechanism of para-aromatic polyamide fiber/epoxy resin composite[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2019, 36(10):2235-2246.
- [14] 周庆,何业茂,刘婷. 层间混杂复合材料装甲板防弹性能及其防弹机制[J]. 复合材料学报, 2019, 36(4):837-847.
- Zhou Qing, He Yemao, Liu Ting. Bulletproof performance and bulletproof mechanism of interlaminar hybrid composite armor plate[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2019, 36(4):837-847.
- [15] 吕文敏,王光华,金永喜,等. 枪弹穿甲后效破片对典型防弹衣侵彻毁伤特性试验研究[J]. 兵工学报, 2019, 40(11):2378-2384.
- Yan Wenmin, Wang Guanghua, Jin Yongxi, et al. Experimental investigation on the damage characteristics of typical body armor by the after-effect fragments of bullet[J]. Acta Armamentarii, 2019, 40(11):2378-2384.
-
- 机械制造, 2016(4):44-46.
- Jiang Wenjie, Sun Chengwu. Research and solution of abnormal sound of a car seat[J]. Machinery, 2016(4):44-46.
- [17] 李俊杰,王金,周霆. ABS 材料粘滑现象改善[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(8):41-45.
- Li Junjie, Wang Jin, Zhou Ting. Improvement of stick-slip phenomenon of ABS materials[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(8):41-45.
- [18] 余滕山,李文龙,孙付宇,等. 一种高阻尼降噪 ABS 树脂组合物:CN107177156A[P]. 2017-09-19.
- Yu Mengshan, Li Wenlong, Sun Fuyu, et al. A high damping noise reduction ABS resin composition:CN107177156A[P]. 2017-09-19.
- [19] Rojsatean J, Larpsuriyakul P, Prakymoramas N, et al. Friction characteristics of self-lubricating ABS under different surface roughnesses and temperatures[J]. Tribology International, 2017, 109:229-237.
- [20] 卢焕青. 热塑性弹性体制备及声音阻隔材料研究[D]. 杭州:浙江工业大学, 2017.
- Lu Huanqing. Study on the thermoplastic elastomer and sound barrier[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2017.