

树脂含量对芳纶防弹复合材料性能的影响

方心灵 吴中伟 高虹 刘元坤 张静

(北京航天试验技术研究所,北京 100074)

文 摘 对不同树脂含量的芳纶纤维无纬布的力学性能和防弹性能进行了分析和测试,确定了最佳的树脂含量。结果表明:树脂含量在 15%~25% 时,无纬布的拉伸强度、层间剥离强度以及冲击强度三项性能均表现优异,对应的防弹性能最好,这可为今后防弹复合材料的设计研究提供参考。

关键词 树脂含量,芳纶,防弹性能,无纬布

Influence of Different Resin Content on Twaron Ballistic Material Properties

Fang Xinling Wu Zhongwei Gao Hong Liu Yuankun Zhang Jing

(Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074)

Abstract The paper studies mechanical properties and ballistic performance of different resin content of Twaron fiber no-woven cloth, the optimum resin content is determined. The results show that: the resin content is 15%~25%, the tensile strength, peeling strength and impact strength of no-woven cloth are better, ballistic performance of no-woven cloth is also better. This can provide useful information for the studies of ballistic material.

Key words Resin content, Twaron fiber, Ballistic performance, No-woven cloth

0 引言

芳纶纤维具有高强度、高模量、良好的抗冲击性以及良好的化学稳定性等特点,其防弹复合材料广泛应用于人体防弹装甲、军用车辆、直升飞机装甲等方面^[1-2]。人体防弹装甲材料用于人体防护,对其质量要求很高,而树脂含量的大小直接影响着材料是否最大程度地吸收子弹的冲击能量,是产品定型的关键因素^[3-4]。前人对复合材料的防弹性能研究很多,但对其力学性能与防弹性能的关系研究甚少。另外,对于大部分防弹材料厂家来说,材料的防弹性能测试成本巨大。

本文对芳纶防弹复合材料(主要是无纬布防弹材料)的树脂含量进行试验,研究复合材料的力学性能和防弹性能,并对测试结果进行分析,力求寻找二者之间的内在联系。

1 实验

1.1 材料

选用纤维为芳纶纤维(Twaron 2000)。

选用树脂要具有低模量、优异的弹性、韧性和较好的抗冲击性能,且与芳纶纤维的粘结性要好^[5]。

因此选择水性橡胶类,主要成分为橡胶弹性体。

1.2 复合材料的制备

无纬布材料在相同树脂含量条件下,树脂仅存于层与层之间而不渗入层内纤维内,能够得到最佳的防弹吸收能力^[6]。本文采用刮涂胶方式,通过特定的缠绕设备将芳纶纤维织造成无纬布,其面密度根据树脂含量的不同而改变。

1.3 性能测试

1.3.1 力学性能

采用电子万能拉力试验机(型号 QJ210),按照 GB/T 16491—1996《电子万能试验机》对不同树脂含量无纬布进行拉伸强度、层间剥离强度以及冲击强度测试。

1.3.2 防弹性能

防弹性能按照 GA141—2010《警用防弹衣》标准进行测试。以 3 级为例,即采用 79 式轻型冲锋枪,7.62 mm 铅芯弹,在(515±10) m/s 的弹速进行实弹测试,防弹芯片不能穿透,且凹陷数据不超过 25 mm^[5,7]。

2 结果与讨论

收稿日期:2011-10-09

作者简介:方心灵,1977 年出生,硕士,工程师,主要从事防弹复合材料研究。E-mail:chenfangxin0@126.com

2.1 树脂含量对芳纶无纬布力学性能的影响

不同树脂含量的芳纶纤维无纬布,其拉伸强度、层间剥离强度以及冲击强度的测试结果见图1。从图1看出,当树脂含量为5%~10%时,无纬布的拉伸强度、层间剥离强度以及冲击强度均偏低,主要是胶黏剂含量较低,使得层间粘结强度较低,导致树脂拉伸过程中,横向纤维消耗能量较低,因此拉伸强度、冲击强度不高;当树脂含量超过25%时,虽然层间剥离强度有所提升,但其拉伸强度和冲击强度有所降低,主要是由于随着胶含量的进一步增加,致使树脂对纤维布样束缚,使纤维“塑化”,致使纤维易发生脆性断裂;当树脂含量为15%~25%时,无纬布的拉伸强度、层间剥离强度以及冲击强度三项性能均表现优异。

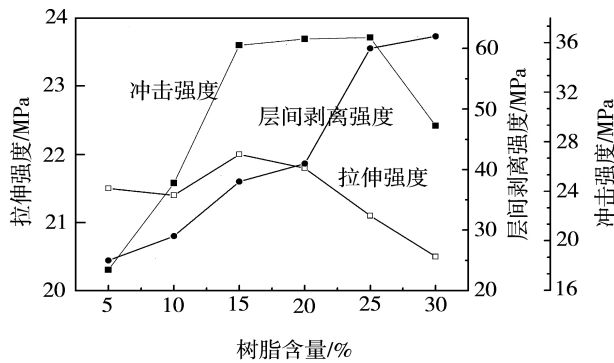
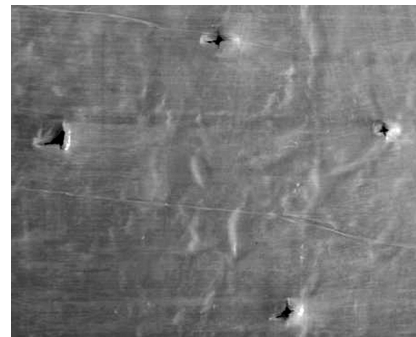


图1 不同树脂含量对芳纶无纬布力学性能的影响

Fig. 1 Influence of different resin content on mechanical properties of Twaron no-woven cloth



(a) 4号靶片



(b) 6号靶片

图2 4号和6号靶片弹击后表面示意图

Fig. 2 Diagram of 4 and 6 ballistic impacted armor panel

从表1可以看到,在标准弹速下,当树脂含量为5%~10%时,靶片的凹陷较大,穿透层数较多,另外在防弹测试过程中,由于树脂含量较少,导致纤维布产生脱粘,布样之间滑移,产生严重的分层,致使靶片表面鼓包严重;当树脂含量超过25%时,靶片被穿透,说明树脂含量太高,防弹能力降低,较高的树脂含量虽可提高层间剥离强度,但易致使纤维“塑化”,使纤维发生脆性断裂,致使复合材料的冲击强度下降,在高速应力作用下不利于子弹能量的吸收;当树脂含量

2.2 树脂含量对芳纶无纬布防弹性能的影响

对从5%~30%的不同树脂含量的无纬布进行了防弹性能测试(均采用30层无纬布),表1列出了各个靶片的打靶数据,图2列出了树脂含量分别为20%(4号靶片)和30%(6号靶片)的无纬布弹击后靶片的表面形态。从图2(a)看到,4号靶片弹击后,弹孔均很大,且弹孔处纤维有明显的分层,说明树脂没有限制弹孔周围纤维发挥防弹性能,并在防弹过程中起到了“协同作用”;从图2(b)可以看到,6号靶片弹击后,弹孔很小且周围纤维没有分层,说明树脂限制了弹孔周围纤维发挥防弹性能,在防弹过程中没有起到了应有的“协同作用”。

表1 不同树脂含量对无纬布防弹性能的影响

Tab. 1 Influence of ballistic performance of different resin content of Twaron no-woven cloth

试样	树脂含量/wt%	弹速/ $m \cdot s^{-1}$	凹陷/mm	穿透层数/层	防弹结果
1#	5	516	22.5	10	防住
2#	10	514	24.0	11	防住
3#	15	518	19.1	9	防住
4#	20	516	18.5	8	防住
5#	25	519	16.9	10	防住
6#	30	515	0	30	穿透

量为15%~25%时,靶片的凹陷均在20 mm以内,且穿透层数较少,防弹性能优异。

2.3 芳纶纤维材料防弹机理分析

一般而言,纤维集合体防弹材料的能量吸收机制主要包括以下几个方面:面内和面外的能量吸收、弹体变形吸能、摩擦和发热吸能、应变率效应以及微观破坏模式^[6]。

就本文来说,根据试验数据,对树脂含量不同靶片的防弹机理进行了如下的分析:当树脂含量低于

15%时,层间树脂较少,致使纤维无法正常排列,在受到子弹冲击时,一方面纤维间束缚力过小,冲击点纤维易被子弹挤向两边,子弹从纤维孔隙穿过;另一方面层间力小会使靶片容易分层,因此,靶片整体的防弹能力较低;当树脂含量为15%~25%时,纤维可以按照预定的形式进行排列,在受到子弹冲击时,树脂可发挥协同作用,使冲击能量能够传递给更多的纱线,吸收更多的能量,另外合适的层间力也能够充分发挥纤维的拉伸断裂能力,非常有利于能量的吸收,从而使靶片的整体防弹能力较高;当树脂含量超过25%时,纤维虽然能够有序排列,但较高的树脂含量使层间剥离强度过大,一方面束缚了纤维拉伸性能的发挥,一方面使纤维脆化,当受到子弹冲击时,导致纤维剪切断裂,从而降低了靶片应有的防弹性能。

结合2.1的分析结果,通过测试不同树脂含量无纬布的力学性能和防弹性能,可以得出最佳的树脂含量为15%~25%。

3 结论

树脂含量在15%~25%时,无纬布的拉伸强度、层间剥离强度以及冲击强度三项性能均表现优异,且

无纬布的防弹性能最好,可为今后防弹材料的研究提供一定的参考。

参考文献

- [1] 刘善晖. GJB—军用防弹衣安全技术性能要求简介[S]. 中国个体防护装备,2001:37-38
- [2] 沈峰,钟蔚华,金子明,等. 芳纶防弹板的研制[J]. 工程塑料应用,1998,26(5):1-3
- [3] 方心灵,张艳朋. 树脂对芳纶无纬布防弹防刺性能的影响[J]. 高科技纤维与应用,2009(3):21-23
- [4] 王杨,李鹏,于运花,等. 芳纶纤维的磷酸表面处理及其树脂基复合材料界面性能[J]. 复合材料学报,2007,24(3):7-12
- [5] GA141-2010,警用防弹衣[S]. 中华人民共和国公安部,2010
- [6] 张建春,张华鹏. 军用盔甲[M]. 北京:长城出版社,2003:164-166
- [7] National Institute of Justice Standard -0101.06, Ballistic Resistance of Body Armor[S]. United States,2008

(编辑 李洪泉)

欢迎订阅 2013 年《宇航材料工艺》

《宇航材料工艺》(双月刊)创刊于1971年,是经国家科委和国家新闻出版署批准出版的国家级技术类期刊,中国科技论文统计用刊,中国中文核心期刊,已被国际宇航文摘《IAA》、美国化学文摘《CA》、金属文摘《METADDEX》、《中国期刊网》、万方数据资源系统(ChinaInfo)数字化期刊群、《中国学术期刊(光盘版)》、《中国学术期刊综合评价数据库》、《中国科学引文数据库》等多种文摘和数据库收录。2002年在第二届国家期刊奖评比活动中,《宇航材料工艺》获百种重点期刊奖。

《宇航材料工艺》主要报道我国材料及工艺的科技进展、科研成果和工程实践,内容丰富,信息量大。除大量刊登学术类技术论文、研究报告、综述和专论外,还刊登新材料、新工艺、新产品及技术改造、技术革新、生产经验、国外科技、科技见闻、成果简介及会议信息等。

刊号 $\frac{\text{ISSN1007-2330}}{\text{CN11-1824/V}}$

国内订价:90元/年

国外订价:120美元/年

帐户名称:航天材料及工艺研究所

开户银行:北京市工商银行东高地支行

帐号:0200006509008800374

邮汇:北京9200信箱73分箱《宇航材料工艺》编辑部

邮编:100076

联系电话:(010)68383269

(未收到订单的读者可直接邮汇至编辑部,留言务必注明开发票单位名称及订阅期次)