DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2020.05.012

2.5维机织复合材料冲击剩余强度试验研究

王柱成,温卫东

(南京航空航天大学 能源与动力学院,江苏 南京 210016)

摘　要:开展2.5维复合材料冲击后拉伸剩余强度的试验研究,获得了各种工况下的载荷位移曲线和经向拉伸剩余强度,通过试验结果分析温度和冲击能量对2.5维机织复合材料经向剩余强度的影响。研究发现温度一定时,冲击能量越大,经向拉伸剩余强度越小;冲击能量一定时,经向拉伸剩余强度随着温度上升而降低。

关键词:复合材料;温度;冲击;剩余强度试验

中图分类号:TB334　　**文献标志码**:B　　**文章编号**:1671-5276(2020)05-0047-03

Test of Wrap Residual Strength of 2.5D Woven Composites with Initial Impact Damage

WANG Zhucheng, WEN Weidong

(College of Energy and Power Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In this paper, the tensile residual strength of 2.5D composites after impact is tested, load-displacement curves and wrap tensile residual strength under various working conditions are obtained. The effects of temperature and impact energy on the warp residual strength of 2.5D woven composites are analyzed through the test results. It is found that the greater the impact energy is, the smaller the warp residual strength is. When the impact energy is constant, the warp residual strength decreases with the increase of temperature.

Keywords: woven composite; temperature; impact; residual strength test

0　引言

为有效地减轻飞机质量和降低燃料成本,复合材料已广泛应用于现代飞机的高科技部件。2.5维机织复合材料是一种新型碳纤维增强树脂基复合材料,在制造、搬运、使用、维修过程中不可避免地会受到各种低速冲击,复合材料内部会出现损伤。虽然冲击损伤面积小,但是复合材料冲击后的承载能力却大不如前。同时随着温度的提升,树脂的力学性能下降,导致了树脂基复合材料的力学性能随着温度的提高而下降[1-3]。在温度环境下受到冲击后,2.5维机织复合材料力学性能的衰退更加显著。因此,开展温度环境下2.5维机织复合材料冲击后剩余强度的试验研究具有重要的工程意义。

对2.5维机织复合材料的试验研究主要集中在室温下静载力学试验。郑君[4]通过对2.5维机织复合材料进行拉伸试验,研究其力学性能及失效模式。试验结果显示:经向静拉伸时2.5维编织复合材料的失效模式主要是经纱断裂和纬纱基体开裂,应力应变曲线呈非线性趋势。纬向拉伸时应力应变曲线呈线性,纬纱断裂和经纱基体开裂是主要的失效模式。宋健[5]在温度环境下对2.5维机织复合材料进行无损静拉伸试验。试验结果表明2.5维机织复合材料经向拉伸时主要由经纱束承载,断口在经纱和纬纱的交汇处,纬向拉伸时主要由平直的纬纱承载。

本文在20℃、140℃下分别对受到3 J、5 J能量冲击后的2.5维机织复合材料进行经向拉伸试验。通过分析试验获得的经向拉伸剩余强度,研究温度和冲击能量对2.5维机织复合材料力学性能的影响。

1　试验材料及方法

本文2.5维机织复合材料采用T300碳纤维为增强体,双马来酰亚胺QY8911-IV为树脂基体。材料为浅交弯联结构,见图1。经纱排列密度为10根/cm,纬纱排列密度为3.5根/cm,纬纱层数为6层。委托天津工业大学织造,并由北京航空制造工程研究所经高温RTM成型,试件尺寸如图1所示。

本文的试验在MTS809液压伺服试验机(力传感器最大量程为250 kN)上完成。该设备自带高温加热炉和水冷系统。试验仪器如图2所示。

由于目前尚没有为T300/QY8911-IV树脂基复合材料静拉伸试验及疲劳试验制定统一标准,所以本文参考试验标准ASTM D3039(《聚合物基复合材料拉伸性能试验方法》)[6]对试验作如下规定:

对于室温静态拉伸试验,按1 mm/min加载速率拉伸至试验件断裂;对于高温环境下静态试验,将试验件一端置于试验机上夹头夹紧(下端悬空以保证试件在升温过程中可自由膨胀)后按10℃/min温升速率,将加热炉温

第一作者简介:王柱成(1992—),男,江苏盐城人,硕士研究生,研究方向为复合材料结构设计。

度从室温升至目标温度,保温30 min,使试验件温度均匀。在此状态下开始采集数据并按1 mm/min加载速率拉伸至试验件断裂。

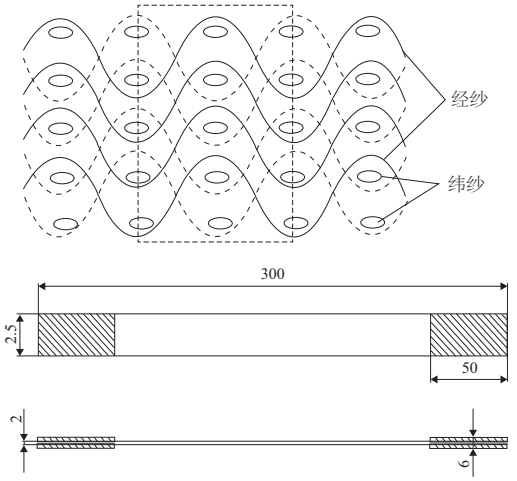


图1　2.5维机织复合材料结构示意图及试件尺寸图

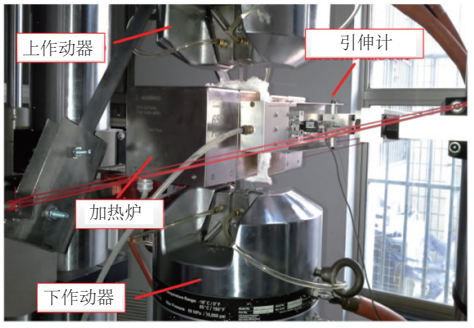
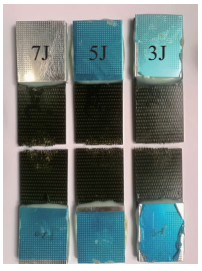


图2　MTS809液压伺服试验机

2　试验结果与分析

2.1　20 ℃下经向剩余强度试验结果

图3为20 ℃下不同能量冲击后试验件的经向拉伸断口正面照片。从照片中可以看出,试验件在冲击凹坑的垂直方向断裂,没有发现明显的颈缩现象。断口集中在经、纬纱交汇处,大面积经纱束出现纵向断裂,断口比较齐整。图4为20 ℃下受到不同冲击能量的试验件在静拉伸过程中的载荷-位移曲线。从图中可以看出,不同的冲击能量冲击后2.5维机织复合材料的拉伸载荷-位移曲线呈现拟线性变化。

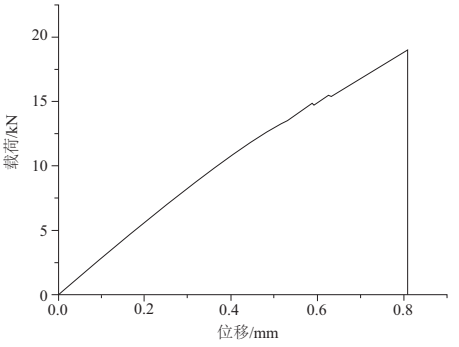


(a) 20 ℃拉伸试验件

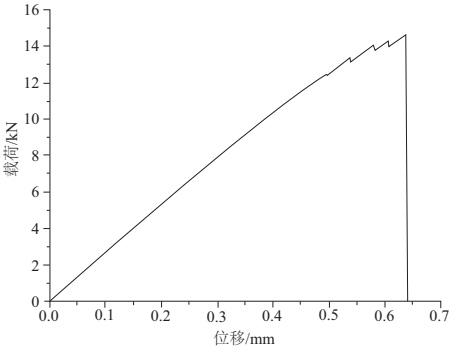
(b) J-20-7-1拉伸试验件断口

图3　20 ℃不同冲击能量冲击后剩余强度试验件

表1为20 ℃时,在不同冲击能量冲击后的2.5维机织复合材料经向拉伸平均剩余强度。2.5维机织复合材料受到3 J能量冲击后的平均经向剩余强度为220.04 MPa,受到5 J能量冲击后剩余强度为181.55 MPa。20 ℃时试验件的经向拉伸剩余强度随着冲击能量的增加而不断降低。



(a) J-20-3-1试件静拉伸载荷位移曲线



(b) J-20-5-1试件静拉伸载荷位移曲线

图4　试件受不同能量冲击、20 ℃下的经向拉伸载荷-位移曲线

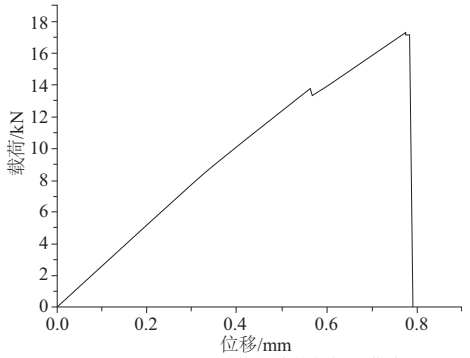
表1　不同冲击能量冲击、20 ℃下经向拉伸平均剩余强度

编号	冲击能量/J	拉伸强度/MPa	平均强度/MPa
J-20-3-1		237.88	
J-20-3-2	3	199.52	220.04
J-20-3-3		222.72	
J-20-5-1		177.21	
J-20-5-2	5	182.80	181.55
J-20-5-3		184.63	

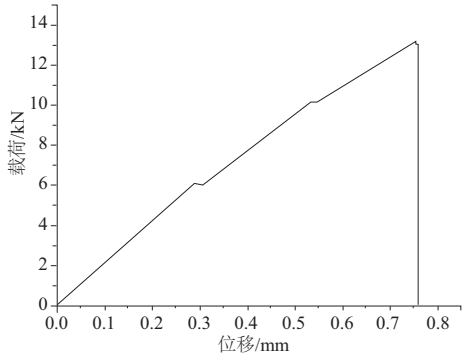
2.2　140 ℃下经向剩余强度试验结果

图5给出了140 ℃下受到3种冲击能量后的2.5维机织复合材料试验件的拉伸载荷-位移曲线。受到2种冲击能量试件的载荷-位移曲线都大致呈弱线性趋势,与常温时含初始损伤的2.5维机织复合材料的拉伸破坏过程相似。

140 ℃时,在不同冲击能量冲击后的2.5维机织复合材料试验件的经向拉伸剩余强度见表2。2.5维机织复合材料受到3J能量冲击后的平均经向剩余强度为213.74 MPa,受到5 J能量冲击后剩余强度为167.89 MPa。经向拉伸剩余强度随着冲击能量的增加而不断降低,这个规律与环境温度为20 ℃时的结果一致。



(a) J-140-3-1试件拉伸载荷位移曲线



(b) J-140-5-1试件拉伸载荷位移曲线

图5　试件受不同能量冲击、140 ℃下的经向拉伸载荷–位移曲线

表2　不同冲击能量冲击、140 ℃下经向拉伸剩余强度

编号	冲击能量/J	拉伸强度/MPa	平均强度/MPa
J-140-3-1		214.38	
J-140-3-2	3	195.63	213.74
J-140-3-3		231.22	
J-140-5-1		162.53	
J-140-5-2	5	181.42	167.89
J-140-5-3		159.71	

以同样温度下3 J能量冲击后经向拉伸剩余强度为基准,表3给出了20 ℃、140 ℃下5 J能量冲击后2.5维复合材料经向拉伸剩余强度降低率。20 ℃时,与3 J能量对比,5 J能量冲击后拉伸剩余强度下降了17.50%;140 ℃时,与3 J能量对比,5 J能量冲击后拉伸剩余强度分别下降了21.45%。由此可见同样温度下,冲击损伤对材料经向拉伸剩余强度的影响较大。表4给出了140 ℃下不同冲击能量冲击后材料经向拉伸剩余强度降低率。相对20 ℃,受3 J能量后140 ℃环境下拉伸剩余强度下降了2.86%。所以温度的上升使拉伸剩余强度下降。

表3　不同能量冲击后经向拉伸剩余强度降低率

冲击能量/J	20 ℃		140 ℃	
	剩余强度/MPa	降低率/%	剩余强度/MPa	降低率/%
3	220.04		213.74	
5	181.55	17.50	167.89	21.45

表4　不同温度下经向拉伸剩余强度降低率

环境温度/℃	3 J		5 J	
	剩余强度/MPa	降低率/%	剩余强度/MPa	降低率/%
20	220.04		181.55	
140	213.74	2.86	167.89	7.52

3　结语

本文试验方法研究冲击能量、环境温度对2.5维机织复合材料冲击后剩余强度的影响规律,得到如下结论:

1)温度一定时,冲击能量越大,经向拉伸剩余强度越小;

2)冲击能量一定时,经向拉伸剩余强度随着温度上升而降低;

3)经向拉伸断口集中在经、纬纱交汇处,大面积经纱束出现纵向断裂,断口比较齐整;由于冲击凹坑的存在,使材料产生应力集中,所以断口位置处于冲击凹坑的垂直方向。

参考文献:

[1] 邱睿. 2.5维机织复合材料疲劳寿命预测模型与分析方法研究[D].南京:南京航空航天大学,2014.

[2] M. Di Ludovico, F. Piscitelli, A. Prota, et al. Improved mechanical properties of CFRP laminates at elevated temperatures and freeze-thaw cycling[J]. Construction and Building Materials, 2012, 31(2): 273-283.

[3] Y. Bai, T. Keller, T. Vallée. Modeling of stiffness of FRP composites under elevated and high temperatures[J]. Composites Science and Technology, 2008, 68(15): 3099-3106.

[4] 郑君. 2.5维机织复合材料刚度预测及失效准则研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.

[5] 宋健. 2.5维机织复合材料力学行为及寿命预测模型研究[D].南京:南京航空航天大学,2016.

[6] ASTM. ASTM D3039. Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials[S]. USA:2007.

收稿日期:2019-06-05