

应变率对乙烯基酯树脂压缩力学行为影响的研究

王绪财 彭 刚 冯家臣 刘原栋 曲英章 李茂东

(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要 为研究应变率对乙烯基酯树脂压缩性能的影响,在准静态与动态试验条件下,比较分析了不同加载速率时乙烯基酯树脂的压缩力学行为。研究发现,乙烯基酯树脂的压缩性能受加载速率影响显著,具有明显的应变率效应。动态试验条件下的屈服应力比准静态下提高 57.0%~85.2%,而屈服应变略有降低,其屈服形貌和破坏特征也明显不同。

关键词 应变率 乙烯基酯树脂 压缩性能 屈服 断裂

乙烯基酯树脂具有密度低、耐腐蚀性好、力学性能及加工性能优异等特点,是继环氧树脂之后的又一类被广泛研究和应用的树脂^[1]。乙烯基酯树脂分子链两端含有不饱和双键交联点,在受力状态下整个分子链可以伸长,利于吸收机械能及热的冲击,表现出很好的抗冲击性能。同时,分子链中的羟基对抗弹纤维如玻璃纤维、芳纶纤维、超高分子量聚乙烯纤维等有良好的浸润性,因此乙烯基酯树脂被越来越广泛地应用到抗冲击纤维增强复合材料的研制及生产中^[2]。

不同冲击速度下抗冲击复合材料的应变率不同,表现出不同的力学性能^[3]。树脂基体的性能直接关系到纤维增强树脂基复合材料的性能,如其横向压缩破坏是因基体破坏所致,大致沿 45°斜面剪切,伴随有界面破坏和纤维压碎。为更充分认识乙烯基酯树脂在不同应变率下的压缩力学行为,笔者对其在不同应变率下的破坏形貌及压缩性能进行了分析研究。

1 实验部分

1.1 原材料

乙烯基酯树脂: SW905-2, 上海昭和化学制品有限公司。

1.2 仪器及设备

万能材料试验机: Instron 8032 型, 英国 Instron 公司;

分离式霍普金森压杆系统: 压杆直径为 14.5 mm, 结构如图 1 所示, 中国兵器工业集团第五三研究所。

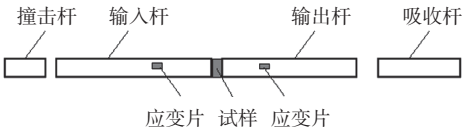


图 1 分离式霍普金森压杆

1.3 试样制备

将乙烯基酯树脂通过浇注工艺制成薄板, 然后机械加工成直径 10 mm、长度 8 mm 的圆柱体试样。

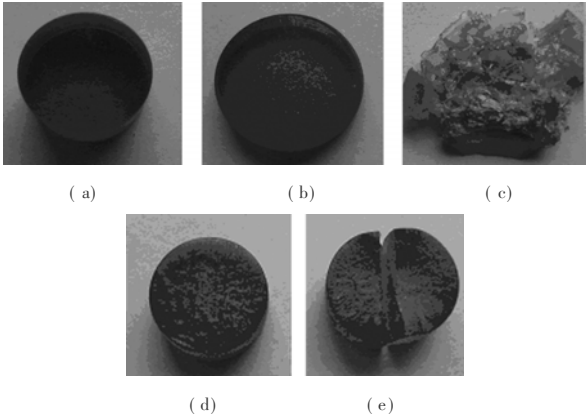
1.4 性能测试

为比较应变率对乙烯基酯树脂压缩性能的影响, 共进行了 6 个应变率组的压缩试验, 每个应变率组下的试验进行多次, 取重复性较好的试验结果的平均值作为试验分析样本。低应变率下的准静态压缩试验在万能材料试验机上完成, 压缩加载速度分别为 2、50、200 mm/min。高应变率下的动态压缩试验在分离式霍普金森压杆上完成, 通过调节气室压力获得不同加载速度。实验环境温度为 16℃, 相对湿度为 45%。

2 结果与讨论

2.1 不同应变率下的压缩失稳及破坏形貌

图 2 为乙烯基酯树脂试样在不同应变率下的压缩失稳及破坏形貌照片。



a—原试样; b—准静态压缩屈服; c—准静态压缩破坏;
d—动态压缩屈服; e—动态压缩破坏

图 2 乙烯基酯树脂试样的压缩失稳及破坏形貌照片

从图 2 可以看出, 准静态压缩屈服后试样表面形貌与压缩前变化不大, 基本没有可见裂纹, 而动态屈服及破坏后试样表面密布裂纹, 说明动态压缩时试样的屈服和破坏与裂纹的形成和发展密切相关。试验中还观察到, 准静态压缩时试样屈服后形成腰鼓型, 直到发出“砰”的声音, 试样才完全破坏, 而动态压缩时屈服后的试样没有出现腰鼓型。

2.2 不同应变率下乙烯基酯树脂的压缩力学行为

工程应力-应变曲线对材料在工程中的应用非常重要, 根据该曲线可以获得材料的力学性能指标, 可提供给工程设计或选材应用时参考。而在材料科学研究中, 工程应力-应变曲线不能反映试验过程的真实情况, 因为在试样的压缩过程中, 试样的截面积和长度会不断变化。如果以瞬时截面积 A 除其相应的压缩力 F , 则可以得到瞬时的真应力 S 。当压缩力有一增量 dF 时, 试样瞬时长度 L 的应变为 $L-dL$, 于是应变的微分增量为 $de = dL/L$, 所以试样自 L_0 变为 L 后, 总的应变变量, 即真应变 e 可表示为:

$$e = \int_0^e de = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0} = \ln(1 - \epsilon) \quad (1)$$

假定试样的压缩过程为等体积变化过程, 则真应力 S 与工程应力 σ 之间的关系为:

$$S = \sigma(1 - \epsilon) \quad (2)$$

图 3 和图 4 分别给出了乙烯基酯树脂在准静态条件和动态条件下的典型工程应力-应变曲线和真应力-应变曲线。从图 3、图 4 可以看出, 在弹性变

形阶段, 由于试样的长度和截面变化很小, 工程应力-应变曲线和真应力-应变曲线基本重合, 而在塑性变形阶段, 两者之间出现了显著的差异, 变形越大, 差异越明显。因此, 在材料科学研究中, 特别是材料会发生大变形时, 研究材料的真应力-应变关系具有重要意义。

从图 3 还可以看出, 准静态压缩条件下, 材料经历了弹性形变、屈服、发展大变形及应变硬化等阶段。起始阶段 (OA) 试样逐渐被“压实”, 继而发生弹性变形 (AB 段), 到达弹性极限 σ_e , 然后逐渐屈服到屈服极限 σ_s , 之后经过大的塑性变形区域, 即应力平台, 材料进入应变强化阶段直到破坏。从微观角度看, 弹性阶段的普弹性行为主要是由高分子的键长和键角发生微小变化引起的, 而屈服之后产生的大变形要归因于高分子链段的运动, 即在大应力的作用下, 本来被冻结的链段开始运动, 高分子链逐渐舒展, 提供了材料的大变形。如果继续施加力, 伸展后的分子链逐渐取向排列, 使材料强度进一步提高, 所以应力又逐渐上升, 直到发生破坏。

从图 4 还可看出, 动态压缩条件下, 乙烯基酯树脂除起始阶段的非线性弹性变形外, 应力-应变曲线与准静态压缩曲线类似, 同样出现发展大变形和应变硬化现象。

2.3 乙烯基酯树脂的应变率效应

图 5 示出乙烯基酯树脂在不同应变率下的真应力-应变曲线。表 1 给出了不同应变率下乙烯基酯树脂的屈服应力和屈服应变。

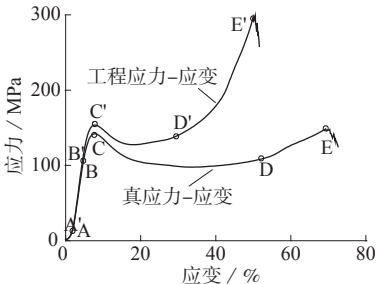


图 3 准静态条件下乙烯基酯树脂的典型应力-应变曲线

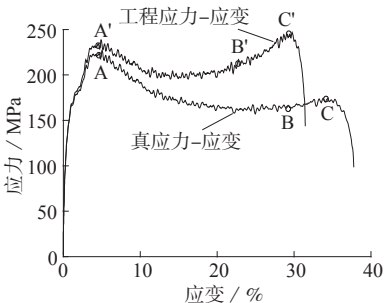


图 4 动态条件下乙烯基酯树脂的典型应力-应变曲线

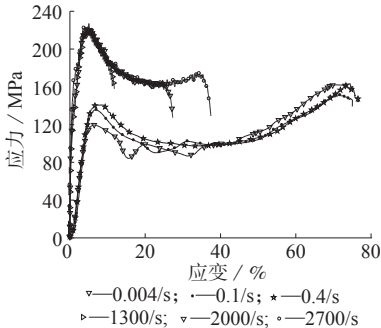


图 5 不同应变率下乙烯基酯树脂的真应力-应变曲线

表 1 不同应变率下乙烯基酯树脂的屈服应力和屈服应变

应变率 / s ⁻¹	屈服应力 / MPa	屈服应变 / %
0.004	119.6	6.5
0.1	135.6	7.1
0.4	141.1	6.6
1300	220.0	4.5
2000	222.4	4.9
2700	223.4	4.7

从图5、表1可以看出,准静态条件下(0.004、0.1、0.4/s)乙烯基酯树脂的屈服应力随应变率增大而增大,但屈服应变基本不变。高应变率(1300、2000、2700/s)下的屈服应力比准静态下提高57.0%~85.2%,而屈服应变略有降低。分析认为,由于高聚物是粘弹性材料,它的破坏过程是一种松弛过程,因此外力作用速度对高聚物的强度有显著影响。如果链段运动的时间与加载速度相适应,则材料在破坏前发生屈服,出现强迫高弹性。当外力作用速度提高时,链段的运动跟不上外力的作用,为使材料屈服,需要更大的外力,即材料的屈服强度提高了。反之当加载速度减慢时,屈服强度和破坏强度都将降低。同样,在高的冲击作用速度下,链段的伸展和运动不充分,因此应变率越高,其屈服应变和破坏应变都会降低。

3 结论

- (1) 不同应变率(0.004 ~2700/s)下,乙烯基酯树脂都要经历弹性形变、屈服、发展大形变及应变硬化等阶段,低应变率下乙烯基酯树脂表现出线性弹性,而高应变率下的弹性段呈现非线性。
- (2) 在试验应变率范围内,乙烯基酯树脂具有明显的应变率效应。高应变率下的屈服应力比低应变率下有明显提高,而屈服应变却略有降低。

参考文献

[1] 何洋,梁国正,黄艳,等. 乙烯基酯树脂的研究进展[J]. 绝缘材料,2003(6):41-46.

[2] 潘玉琴. 玻璃钢复合材料基体树脂的发展现状[J]. 纤维复合材料,2006,5(4):55-59.

[3] 彭刚,冯家臣,刘原栋,等. 纤维增强复合材料抗弹吸能特性研究[J]. 弹道学报,2007,19(3):10-14.

EFFECT OF STRAIN RATE ON COMPRESSIVE BEHAVIOR OF VINYL ESTER RESIN

Wang Xucai, Peng Gang, Feng Jiachen, Liu Yuandong, Qu Yingzhang, Li Maodong
(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

ABSTRACT By the comparison of compressive behaviors for vinyl ester resin under quasi-static and dynamic compressive experiments, the effects of strain rate on the compressive properties were studied. It was founded that the strain rate had visible influence on the mechanical performance of vinyl ester resin. The yield stress was about 157.0% - 185.2% higher under dynamic compression than quasi-static compression. However, the yield strain was lower slightly. At the same time, the samples showed different yield figures and rupture characters under different conditions.

KEYWORDS strain rate, vinyl ester resin, compressive properties, yield, rupture

宜兴市东山新材料有限公司

碳化硅微粉

我公司生产的碳化硅微粉采用气流粉碎,细度<2μm,具有纳米材料的性能,而价格只有其1%,它具有分散性好,和塑料相容性好,耐酸、耐碱、耐磨,强度达九级,明显改善塑料的耐磨性、强度、耐候性、耐高温性。

硅微粉

本品是石英经2800℃电熔气化冷却的硅微粉,具有不饱和硅酮,和塑料的亲性好,性能好,但价格便宜,只有3元/公斤。

陶瓷釉粉

各种熔点、各种细度陶瓷釉粉,由于力学性能好,耐酸、耐碱,可提高塑料的耐磨性及力学性能。

东山公司以自主创新为立厂之本,具有超强的自主开发能力,欢迎各界朋友合作,共同开发新材料、新工艺取代进口,欢迎您提出特种需求。公司可供无机材料200多种,可供各种规格玻璃粉末。

厂址:江苏省宜兴市大浦镇宜浦路工业园区 邮编:214226
电话:0510-87457988(传真),87457669,13906152806 E-mail: web@188X.com
http://www.188X.com 开户:工行东山办 账号:1103028909000039117