

PA6/CaCO₃ 复合材料的单边缺口拉伸断裂研究^{*}

熊玉竹^{1,2} 田瑶珠¹ 郝 智¹

(1. 贵州大学材料与冶金学院, 贵阳 550003; 2. 国家复合改性聚合物材料工程研究中心, 贵阳 550009)

摘要 研究了尼龙 6 (PA6) /CaCO₃ 复合材料的单边缺口拉伸断裂。结果表明, PA6/CaCO₃ 复合材料在拉伸速率为 0.1 ~ 300 mm/min 的缺口拉伸实验中, 裂纹扩展均为脆性断裂。断口主要分为塑性屈服变形区和弹性变形区两部分。塑性屈服变形区形貌是以缺口根部为底边的圆弧型, 弹性变形区将塑性屈服变形区包围在里面。塑性屈服变形区面积到达临界尺寸后, 材料瞬间断裂。断裂后观察到的塑性屈服变形区面积即为在该实验条件下的裂纹源面积。随着拉伸速率增加, 其裂纹源面积减小, 而弹性变形区域增加, 弹性储存能的储存速度增加, 在其裂纹源面积较小的情况下即可发生瞬间脆断。

关键词 尼龙 6 /CaCO₃ 复合材料 单边缺口拉伸 塑性屈服变形区 弹性变形区

由于结构设计的需要, 机械和工程结构的零部件总含有几何不连续性, 广义上称之为切口。切口的存在易引起应力集中。而且, 随着切口几何形状的变化, 切口根部的应力分布及三轴拉伸应力在很大范围内的变化有可能导致切口件宏观脆性断裂^[1-2]。因此, 有必要研究切口件的断裂力学, 寻求切口件断裂和强度的一般规律, 以防止机械和工程结构的零部件在低于屈服强度下发生脆性断裂(简称低应力脆断)。

在切口件断裂力学或切口力学的研究报道中, 对切口根部局部应力场的分析^[3]是切口件断裂力学的重要组成部分。相关学者用解析方法、有限元法和实验测定方法对切口根部局部应力和局部应变进行研究^[4-8]。笔者通过尼龙 6 (PA6) /CaCO₃ 复合材料的单边缺口拉伸实验, 研究了缺口根部前沿的局部塑性变形分布状态, 以及塑性变形与裂纹萌生过程之间的关系。

1 实验部分

1.1 原材料

PA6: 33400, 广东新会美达尼龙切片股份有限公司;

微米级重质 CaCO₃: Pd-90, 用硅烷偶联剂进行表面处理, 大字生化有限公司。

1.2 设备及仪器

同向双螺杆挤出机: TSE-40A 型, 南京瑞亚高聚物装备有限公司;

注塑机: CJ80MZ-NC II 型, 震德塑料机械厂有限公司;

微机控制电子万能试验机: WDW-10C 型, 上海华龙测试仪器公司;

扫描电子显微镜 (SEM): KY-2800B 型, 北京中科科仪技术发展有限责任公司。

1.3 试样制备

先用双螺杆挤出机将质量比为 65:35 的 PA6、微米级 CaCO₃ 混合物挤出造粒, 烘干后注塑成哑铃状的拉伸试样, 哑铃状拉伸试样中间部分的宽、厚与冲击试样相同。在哑铃状拉伸试样的中部同样开出深度为 2 mm、根部曲率半径为 0.25 mm 的缺口。

1.4 性能测试与表征

缺口拉伸实验: 拉伸速率分别为 0.1、0.5、2、100、300 mm/min, 拉伸间距为 50 mm。所有试样均在 23℃ 干燥皿中干燥 48 h 后进行。

SEM 测试: 利用 SEM 观察试样的断面形貌并拍照。

2 结果与讨论

2.1 PA6/CaCO₃ 单边缺口拉伸断裂的裂纹萌生及裂纹扩展

在单边缺口拉伸实验中, 当缺口根部的局部应力低于材料的屈服强度时, 则整个切口件处于弹性状态; 当缺口根部的局部应力高于屈服强度, 而名义应力(净断面平均应力)低于屈服强度时, 切口件整体上处于弹性状态, 但切口根部附近的材料发生塑性变形, 并在切口根部形成塑性屈服变形区^[9]。对于理想塑性材料的切口件, 其缺口及远离缺口区域的应力状态分布区别不大, 而对于脆性材料的切口件, 其缺口处的应力明显高于远离缺口区域的应力。

笔者用单边缺口拉伸实验研究 PA6/CaCO₃ 复

^{*} 贵州省自然科学基金资助项目 [2009(2053)]

收稿日期: 2009-07-17

合材料单边缺口拉伸的断裂过程,进一步认识缺口前沿的局部塑性变形分布状态。结果表明,PA6/CaCO₃ 缺口拉伸断面形貌可直观反映缺口拉伸过程的弹性变性区和塑性变形区的形状和位置分布。图1示出 PA6/CaCO₃ 缺口拉伸断面的塑性屈服变形区和弹性变形区连接部位的形貌。

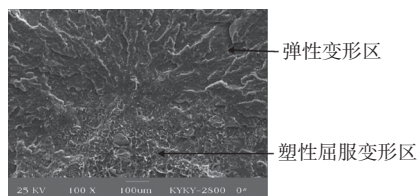
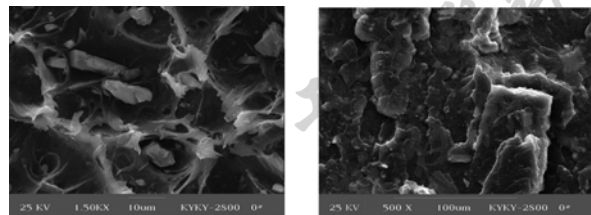


图1 PA6/CaCO₃ 缺口拉伸的塑性屈服变形区与弹性变形区(0.1 mm/min)

由图1可以看出,塑性屈服变形区形貌是以缺口根部为底边的圆弧型,弹性变性区将塑性屈服变形区包围在里面。塑性屈服变形区生长到一定尺寸后,裂纹迅速在弹性变形区扩展,材料瞬间断裂。

图2示出 PA6/CaCO₃ 缺口拉伸裂纹萌生区和裂纹扩展区的断面形貌。



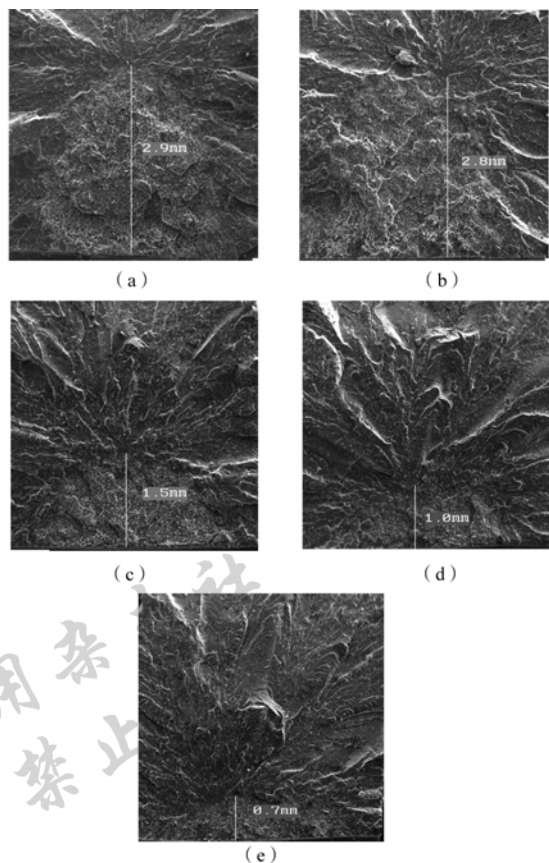
(a) 裂纹萌生区; (b) 裂纹扩展区

图2 PA6/CaCO₃ 缺口拉伸的断面形貌(0.1 mm/min)

由图2可以看到,塑性屈服变形区基体剧烈的塑性变形以及弹性变形区基体的岩石状脆断形貌。当缺口根部局部应力高于屈服强度时,缺口根部材料屈服并在切口根部形成塑性区。PA6/CaCO₃ 缺口拉伸断裂过程中,当其塑性屈服变形区达到临界尺寸后,裂纹在弹性变形区迅速扩展,材料瞬间断裂。所以认为 PA6/CaCO₃ 缺口拉伸时形成的塑性屈服变形区即为其裂纹萌生区。断裂后观察到的塑性变形区面积即为在该实验条件下的裂纹源面积。

2.2 拉伸速率对 PA6/CaCO₃ 单边缺口拉伸裂纹萌生的影响

图3示出拉伸速率对 PA6/CaCO₃ 缺口拉伸断面形貌的影响。由图3可知,随着拉伸速率增加,塑性变形区的面积减小,而弹性变形区的面积增大。由前述分析可知,当缺口根部局部应力超过屈服强度时,缺口根部材料屈服并在切口根部形成塑性变



a—0.1 mm/min; b—0.5 mm/min; c—2 mm/min; d—100 mm/min; e—300 mm/min

图3 拉伸速率对 PA6/CaCO₃ 缺口拉伸断面形貌的影响

形区。分析认为,拉伸速率较低时,PA6 基体的链段屈服响应运动进行得比较充分,主要承载位置有充分的时间向里层移动,导致塑性屈服变形区面积较大,相应的弹性区的面积减小,并且弹性储存能增加较慢;随着拉伸速率增加,PA6 基体链段屈服响应运动逐渐跟不上外力的作用速度,导致塑性变形区面积减小,而弹性变形区面积增加,并且弹性储存能的储存速度增加。因此,随着拉伸速率增加,其裂纹源面积减小,弹性区面积增加,弹性储存能的储存速度增加,在其裂纹源面积较小的情况下即可发生瞬间脆断。

由图3还可知,在缺口拉伸实验条件下,裂纹源区(塑性屈服变形区)从缺口根部向材料内部拓展,裂纹源前沿呈圆弧形。距缺口根部距离越远,发生屈服塑性变形的宽度越窄。分析认为这与沿侧面外表向中间位置的微观单元体的应力束缚程度有关。越靠近中心位置,微观单元体所受的束缚程度越强,越容易成为主要承载位置,导致局部应力超过屈服

强度而发生塑性变形。

3 结论

(1) PA6/CaCO₃ 复合材料单边缺口拉伸断口主要分为塑性屈服变形区和弹性变形区两部分。塑性屈服变形区形貌是以缺口根部为底边的圆弧型, 弹性变形区将塑性变形区包围在里面。塑性屈服变形区面积到达临界尺寸后, 材料瞬间断裂。故认为 PA6/CaCO₃ 复合材料单边缺口拉伸的塑性屈服变形区即为其裂纹萌生区。断裂后观察到的塑性屈服变形区面积即为在该实验条件下的裂纹源面积。

(2) 随着拉伸速率增加, 其裂纹源面积减小, 而弹性变形区增加, 弹性储能能的储存速度增加, 在其裂纹源面积较小的情况下即可发生瞬间脆断。

参考文献

- [1] 肖纪美. 金属的韧性与韧化[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- [2] Dieter G E J. Mechanical Metallurgy[M]. New York: McGraw-Hill

Company, 1963.

- [3] Nisitani H. Computational and experimental fracture mechanics [M]. Southampton: Computational Mechanics Publication, 1994: 187 - 211.
- [4] Zheng M, Niemi E. Theoretical expressions for stress distributions near notch tip in work-hardening materials[J]. Int J Fracture, 1996, 80: 13 - 17.
- [5] Sorbo S, Harkegard G. Evaluation of approximate methods for elastic-plastic analysis of notched bodies[M] // Aliabadi M H. Localized damage III: Computer Aided Assessment and Control. Southampton: Computational Mechanics Publications, 1994. 471 - 478.
- [6] Clarin P G. Wedge notch sensitivity of linearly softening materials [J]. Engineering Fracture Mechanics, 1988, 29(5): 527 - 533.
- [7] Filippini M. Stress gradient calculations at notch[J]. Int J Fatigue, 2000, 22: 397 - 409.
- [8] Visvanatta S K, Straznisk P V, Hewitt R V. Influence of strain estimation methods on life prediction using local strain approach[J]. Int J Fatigue, 2000, 22(8): 675 - 682.
- [9] Peterson R E. Stress concentration design factors[M]. New York: John Wiley, 1962.

SINGLE NOTCHED TENSILE FRACTURE OF PA6/CaCO₃ COMPOSITE

Xiong Yuzhu^{1,2}, Tian Yaozhu¹, Hao Zhi¹

(1. Department of Materials and Metallurgy, Guizhou University, Guiyang 550003, China;

2. National Engineering Research Center for Compounding and Modification of Polymeric Materials, Guiyang 550009, China)

ABSTRACT The single notched tensile fracture of PA6/CaCO₃ composite is studied. In tensile velocity range (0.1 - 300 mm/min), crack propagation is brittle fracture. Fracture surface consists of plastic yield deformation area and elastic deformation area. Plastic yield area is arc-type based on the root bottom, while the plastic zone is surrounded by elastic deformation area. As soon as plastic deformation zone reaches critical size, the sample fractures quickly. So the plastic yield area is the crack initiation origin. With tensile speed increasing, the area of crack origin reduces and elastic area increases, and the storing speed of elastic storage energy increases, which can result in brittle fracture with smaller crack origin.

KEYWORDS PA6/CaCO₃ composite, single notched tensile, plastic yield deformation area, elastic deformation area

鞍山君利工程塑料有限公司

鞍山君利工程塑料有限公司是股份制企业, 生产以工程塑料为主的改性材料。由教授级高级工程师、中国塑料加工工业协会专家委员会专家赵文聘负责生产技术。可为用户提供增强、增韧、复合、阻燃、环保阻燃、抗静电、耐磨、塑料合金类系列改性工程塑料。公司竭诚为用户“量身订做个性化需求的产品, 为客户创造价值”。公司通过 ISO9001: 2000 国际质量管理体系认证。公司宗旨: 信誉第一; 质量第一。

欢迎新老客户前来指导、合作!

- 改性品种: PA66、PA6、PP、PE、ABS、AS、HIPS、POM、PC、PC/ABS、PBT、PET、PVC 等系列改性塑料。
- 适用行业: 家电、汽车、机械、铁路、纺织、石油化工、煤矿、农业等。

经理: 徐长旭 13604228259, xuchangxu315@163.com

总工: 赵文聘 13804910274, zhaowenpin315@163.com

地址: 辽宁省鞍山市腾鳌镇黄县 邮编: 114225

电话: 0412 - 8935903 传真: 0412 - 8935803