

·研究简报·

聚氯乙烯断面特征区及粗糙度与断裂能的关系*

罗筑 徐涛 于杰 刘一春

(贵州工业大学材料与结构测试中心 贵阳 550003)

关键词 断面特征区, 断面粗糙度, 断裂能, PVC

以往对聚合物材料的断面粗糙度与力学性能关系的研究主要是针对断面总体粗糙度进行的, 忽略了断裂的不同阶段及不同的断裂机制在断面上产生的相应的特征区对力学性能参数的影响, 导致如文献[1]、[2]中得出的粗糙度参数与断裂能耗间的数据关系存在较大的分散性. 本文通过对“V”形缺口的聚氯乙烯(PVC)试样进行三点弯曲试验, 考察了断面粗糙度与断裂能的对应关系, 从数据关系的分散性中, 在摒除断面粗糙度的影响后, 用优化计算线性组合的方法确定出由于断裂机制的不同, 而在断面上形成的不同特征区对断裂能的不同影响作用, 并在此基础上仍以优化计算线性组合的方法, 确定特征区和粗糙度与断裂能间的综合定量关系.

1 三点弯曲试验

沿同一块市售PVC硬板纵向取样, 机加工成尺寸为 $110 \times 5.4 \times 12\text{mm}$ 的条状试样, 在试样一侧的中部开出一深 1.2mm 的“V”形缺口, 再用锋利的刀片在缺口根部划出一尖锐切口, 室温下在INSTRON 8501材料试验机上进行三点弯曲试验, 跨距为 70mm , 加载速度为 2.5mm/min .

2 宏观和微观形态观察

用OLYMPUS PMG3光学显微镜对断面呈现的特征区进行观察和摄像; 对试样喷金处理后, 用扫描电镜对特征区微观形态进行观察和摄像.

3 粗糙度参数测量和计算

断面轮廓线粗糙度参数 R_L 定义为断口剖面轮廓线真实长度与其在特定方向上投影长度的比值, 断面表面粗糙度参数 R_s (断面真实面积与其投影面积之比)可根据 $R_s = 4(R_L - 1)/\pi + 1$ 得到^[3](π 为圆周率). 由于用缺口试样断面外轮廓线粗糙度参数表征 R_s , 与用在断面宽向上不同部位, 将试样沿高向剖开得到的断面剖面轮廓线粗糙度参数表征 R_s , 存在着相同的规律性^[4], 因此采用断裂面外轮廓线的粗糙度参数对 R_s 进行计算. 外轮廓线真实长度的测量在IAS4图象分析系统上进行(放大1000倍).

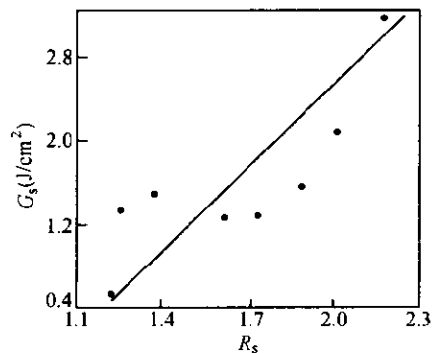


Fig. 1 Parameter of fracture surface roughness versus break energy per unit area

对断面呈现的各特征区对应的外轮廓线真实长度和断面表面粗糙度参数分别进行测量和计算, 将各特征区真实面积(特征区断面表面粗糙度参数与其投影面积的乘积)与整个断面真实面积之比作为各特征区所

* 1998-05-17 收稿, 1998-11-01 修稿; 贵州省科学基金资助

占的真实面积比例。

4 断面表面粗糙度参数与断裂能的关系

断面粗糙度在一定程度上反映出材料的断裂韧性及表面能对断裂能的贡献,由试验得出的断面表面粗糙度参数 R_a 与表观单位面积断裂能 G_s (断裂能除以断面投影面积) 的对应关系如图 1 所示,随断面粗糙度增加断裂能呈上升趋势,相关显著性水平为 $P < 0.01$,但可看出数据点具有较大的分散性,其线性回归系数为 0.69,表明断面粗糙度虽然是一个主要的影响因素,但其它因素的影响亦不容忽视。

5 断面不同特征区对断裂能的影响作用

对 PVC 试样断面进行观察,可清楚地看到断面由几个有明显特征的区域组成,如图 2,可将其划分为白化区、粗糙区和最后断裂区,按前述方法测出的白化区真实面积比例 I_w 、粗糙区真实面积比例 I_c 、最后断裂区真实面积比例 I_L 的范围分别为 0.09 ~ 0.46、0.29 ~ 0.48、0.24 ~ 0.53。

白化区的典型形貌为大量的微坑,如图 3a 所示。这些微坑的形成是 PVC 中加入的碳酸钙粒子产生应力集中导致基体的塑性变形,最后剥离的结果^[5],在此区内裂纹较缓慢扩展,所产生的强迫弹塑性变形消耗大量能量^[6],同时,在垂直于试样断面白化区的侧表面上也可观察到白化现象(如图 3b 所示),表明白化区是一个具有一定体积的三维区域,其在断裂表面下具有一定的深度,因此该区域内的能量消耗存在三维效应。

如图 4a,粗糙区由许多小台阶组成,是裂纹分叉扩展所致。随试样裂纹长度增加,裂纹扩展阻力提高,当裂纹扩展阻力与裂纹扩展速度的乘积超过某一临界值时,裂纹开始分叉^[7],裂纹以相对较快的速度扩展,并在扩展过程中又进行新的分叉,由于裂纹分叉和扩展中的能量消耗,裂纹扩展速度产生跳跃式波动^[8]。如图 4b 所示,试样断裂后,在垂直于试样断面粗糙区的侧表面上,仍可观察到尚未闭合的微裂纹及其分叉现象,因此粗糙区能量的消耗也不局限于断裂表面,而是同样存在一个三维效应。随后在外力持续作用下,试样中弹性储能很大,一旦裂纹扩展就导致试样断裂,此时跳跃式的分叉扩展转变为主裂纹沿少数几个平面的高速扩展,形成了 PVC 试样较为平坦的最后断裂区。由于白化区、粗糙区消耗的能量存在三维效应及各特征区断裂机制不同,使得白化区和粗糙区对断裂能的影响远大于最后断裂区,且白化区与粗糙区的影响效果也存在一定差异。

White Coarse Last break

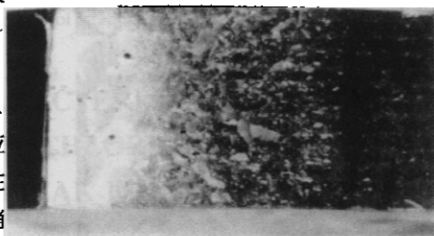


Fig. 2 Optical macroscopic morphology of PVC fracture surface $\times 12$

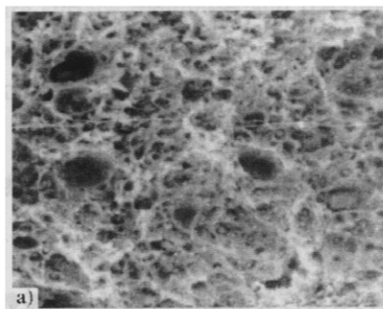


Fig. 3a Microscopic morphology of white zone SEM $\times 300$

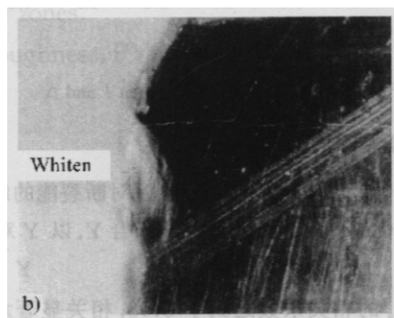


Fig. 3b Whiteness on lateral surface corresponding white zone Optics $\times 12$

为证明以上推断,计算出图 1 中各数据点与回归直线的偏差 Δ_i ,以对 Δ_i 最大相关性为目标建立各特征区真实面积比例线性组合 l ,优化计算结果为

$$l = 1.25l_w + 1.00l_c + 0.25l_L \quad (1)$$

进一步得出 l 与 Δ_i 的相关系数为 0.83,相关显著性水平 $P < 0.01$,且 l 与数据点偏差 Δ_i 的关系如图 5 所示.由式(1)中可看出,在摒除断面表面粗糙度的影响后,白化区、粗糙区对断裂能的贡献远大于最后断裂区,且白化区对断裂能的影响最大.由于不同特征区对断裂能的贡献存在明显差异,导致断面粗糙度与断裂能关系存在较大分散性.

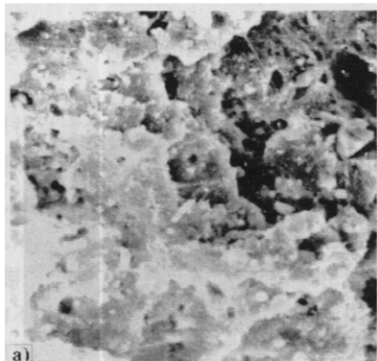


Fig. 4a Microscopic morphology of coarse zone SEM $\times 300$

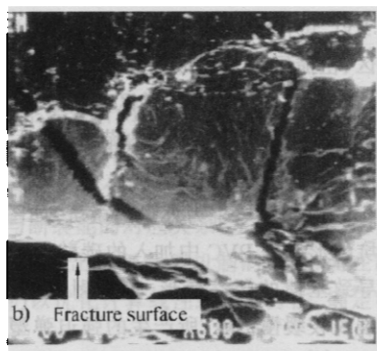


Fig. 4b Branch cracks on latera surface corresponding coarse zone SEM $\times 600$

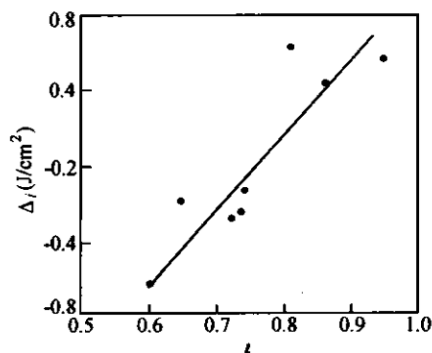


Fig. 5 The relationship between l and Δ_i

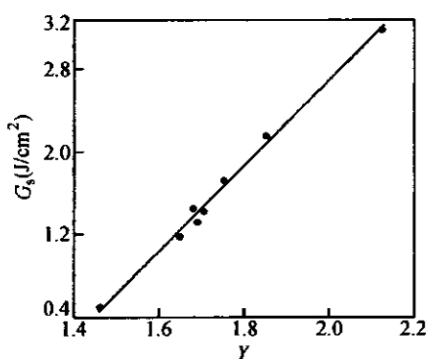


Fig. 6 The relationship between Y and G_s

6 对断裂能的综合定量的关系

为确定断面粗糙度和特征区对断裂能的综合影响,建立断面表面粗糙度参数 R_s 和特征区对断裂能影响的优化计算结果 l 的线性组合 Y ,以 Y 对 G_s 最大相关性为目标,计算得到下式:

$$Y = 0.6R_s + 1.0l \quad (2)$$

Y 与 G_s 的相关系数达到了 0.98,相关显著水平 $P < 0.005$,两者对应关系见图 6,线性回归系数达到 0.97.在引入 PVC 试样断面各特征区对断裂能影响的差异性后,与图 1 相比,数据点分散性大为减小,表明综合特征区和粗糙度的影响,可定量表征材料断裂的能耗.

REFERENCES

- 1 Zhu Weidong, Yu Jie, Luo Zhu. In: Proceedings of Asian Pacific Conference for Fracture and Strength '96, Kyongju, Korea, 1996. 265~267
- 2 Huang Z H, Tian J F, Wang Z G. Materials Science and Engineering, 1989, A118: 19~24
- 3 Feng Kai(冯凯), Li Bingde(李秉德). Physical Measurement(物理测试), 1991, (5): 50~54
- 4 Yu Jie(于杰), Jin Zhihao(金志浩), Zhang Xiaoyan(张晓燕), Zhou Huihui(周惠久). Chinese Journal of Materials Research(材料研究学报), 1994, 8(2): 177~182
- 5 Yu Jie(于杰), Polymer Materials Science & Engineering(高分子材料科学与工程), 1992, 8(4): 111~115
- 6 Tse A, Shie E, Hiltner A. Journal of Materials Science, 1991, 26: 5374~5382
- 7 Arakawa K, Takahashi K. International Journal of Fracture, 1991, 48: 103~114
- 8 Barquins M, Petit J P, Murgis D, Ghalaynik. International Journal of Fracture, 1992, 54: 139~163

THE RELATIONSHIP OF CHARACTERISTIC ZONES AND ROUGHNESS OF POLYVINYL CHLORIDE FRACTURE SURFACE WITH BREAK ENERGY

LUO Zhu, XU Tao, YU Jie, LIU Yichun

(Materials and Structure Test Center, Guizhou University of Technology, Guiyang 550003)

Abstract Polyvinyl chloride(PVC) specimens were subjected to three-point bending. The results of test and measurement show that there is a relationship of positive correlation between roughness of fracture surface and break energy per unit area. On the other hand, a certain degree of data deviation can be seen in the relationship. The deviation is principally affected by the ratios of real area of the characteristic zones on fracture surface because the effects of every characteristic zone on break energy are different. By using the synthetic effect of roughness and the characteristic zones on break energy, the degree of deviation can be sharply reduced. So, break energy can be quantitatively analysed by combining the effects of fracture surface roughness and fracture characteristic zones.

Key words Fracture characteristic zones, Surface roughness, PVC, Break energy