

·研究简报·

聚合物材料缺口冲击强度与断面粗糙度参数 R_s 的关系*

于杰** 金志浩 雷华 刘一春 罗筑

(贵州工业大学材料中心 贵阳 550003)

关键词 聚合物, 冲击, 断面粗糙度

金属材料断面粗糙度的测定描述及其与材料性能间的关系已有很多报道, 研究结果表明, 随断面粗糙度表征参量(分形维数 D_F , 表面粗糙度参数 R_s)增大, 金属材料的一些宏观力学性能(断裂韧性 K_{IC} , 冲击韧性 a_K , 疲劳门槛值 ΔK_{th} 等)增高, 但这些研究都较少涉及材料的断裂机制^[1-3]. 聚合物材料断面粗糙度的定量研究较少, 有关聚合物材料断面粗糙度与材料韧性间关系的定量结论也不一致^[4,5], 体现出聚合物材料断面粗糙度定量分析的复杂性. 本文通过对不同试验温度下几种聚合物材料冲击断面粗糙度的定量测定, 研究了聚合物材料断面粗糙度与冲击强度间的定量关系.

1 实验材料及方法

实验材料, 聚丙烯(PP), 辽阳石油化纤总厂, 4016; 聚甲醛(POM), 西德产; 高抗冲聚苯乙烯(HIPS), 兰化合成橡胶厂, 3144; 玻璃纤维增强尼龙(GFPA), 西德拜尔公司, BG30×9005/OSW; 玻璃纤维增强聚碳酸酯(GFPC), 西德拜尔公司, 8083.

Charpy 缺口冲击试样先注塑成长条形, 再铣削加工到规定形状及尺寸 $80 \times 10 \times 4\text{mm}$, 45°V 型缺口深 2mm , 缺口根部半径 $r=0.25\text{mm}$.

系列冲击试验在 3.95J 的 ZWICK 冲击试验机上进行, 冲击跨距 40mm . 不同温度下的实验, 试样均在所需温度下恒温 10min 以上, 取出迅速冲断.

冲击断面先在宏观镜下观察分析, 再喷金放入 KYKY-1000B 中放大观察.

轮廓线粗糙度参数 R_L 定义为沿某方向的断口剖面轮廓线真实长度与其在特定参考方向上投影长度的比值. R_L 的测量在 IBAS-I 图象分析仪上进行(放大 1460 倍), 测量前将试样表面用金相砂纸磨掉一层以消除表面影响, 磨削过程中断裂面朝向与磨削方向相同.

2 实验结果及分析

2.1 冲击强度同断面粗糙度的关系 断面表面粗糙度参数 R_s 定义为, 在某一确定的参考平面, 断面真实表面积与其投影面积之比. R_s 越大, 断口表面粗糙度越大.

与实际情况吻合得最好的 R_s 与 R_L 间的函数关系式为文献[6]:

$$R_s = \frac{4}{\pi}(R_L - 1) + 1$$

通过测量冲击断面的 R_L , 可获得其 R_s 值.

实验用聚合物材料缺口冲击强度 σ_i 与断面粗糙度参数 R_s 间的关系如图 1.

实验的温度范围内, 较低温度下, 聚合物材料缺口冲击强度随断面粗糙度 R_s 增大而线性增加; 较高温度下, 聚合物材料缺口冲击强度与 R_s 的关系偏离低温段的线性关系, 而根据不同材料呈现不同规

* 1997-05-13 收稿, 1999-04-22 修稿; 贵州省科学基金资助项目(基金号 960404)

** 通讯处: 贵州科学院, 贵阳, 550001

律. 较高温度范围内, PP、POM 和 GFPA 的冲击强度及 R_s 都随温度增高而增大, 冲击强度随 R_s 的增大而增大; HIPS 的 R_s 随温度变化基本不变, 但冲击强度却随温度升高而增大; GFPC 的冲击强度随温度升高而增大, 但 R_s 却随温度升高而降低, 冲击强度随 R_s 的增大而降低.

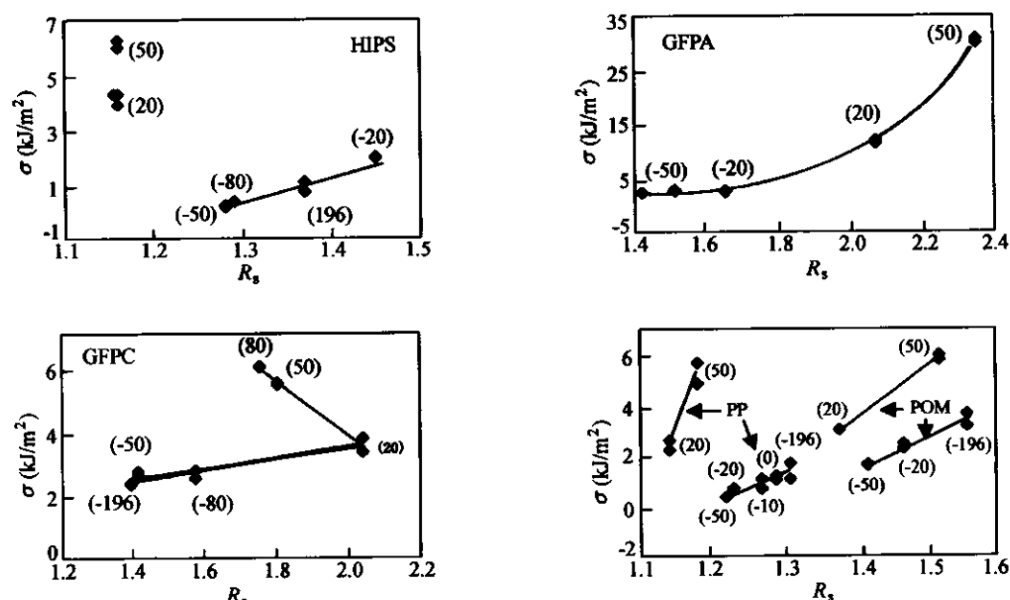


Fig. 1 The relation between notched impact strength σ , and fractured surface roughness parameter R_s of polymer materials (the value in brackets is testing temperature)

2.2 断口形貌分析 五种材料不同试验温度下的断口形态特征变化可归结为以下两种情况: 实验温度条件下, POM、PP 和 HIPS 在 20°C, 50°C 实验温度下的冲击断面宏观上较平整, 且在断面周围存在应力白化区, 微观形态主要为岩石层状花样, 其上放大可观察到纤维等塑性变形特征(图 2a~c), 表明基体材料在断裂过程中经历了一定的塑性变形; 而低温冲击断面(<20°C)宏观上起伏较大, 断面附近观察不到白化区, 微观形态亦为岩石层状花样, 其上放大很难观察到塑性变形特征(图 2d~f), 表明基体材料在低温冲击下的断裂以脆断为主.

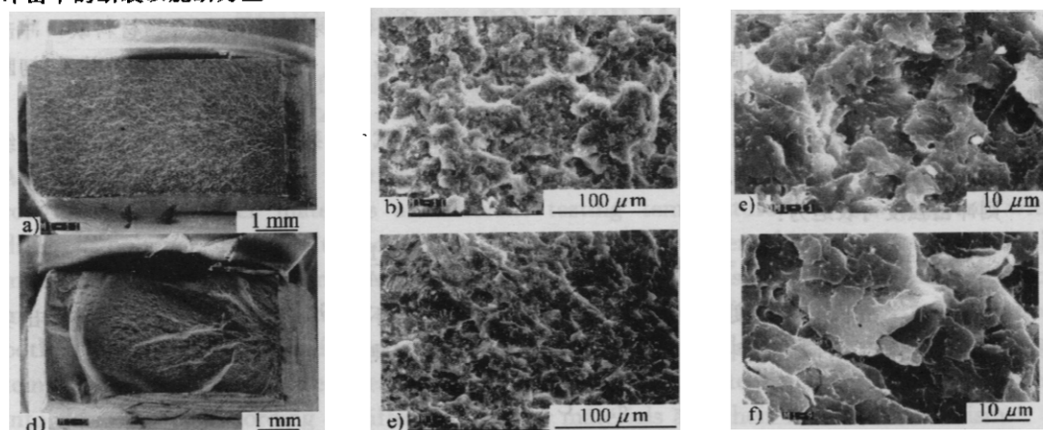


Fig. 2 The morphology of impact fractured surface of POM at different testing temperature 2a~c, 50°C; 2d~f, -196°C

实验温度条件下, GFPA, GFPC 冲击试验温度 $\geq 20^\circ\text{C}$ 的断面由发黑粗糙区和光亮区组成, 随试验温度升高, 发黑区尺寸增大. 发黑区宏观上平齐, 光亮区存在裂纹扩展起伏; 低温冲击断面 ($< 20^\circ\text{C}$) 全由光亮区组成, 整个宏观断面起伏较大. 放大观察指出, 发黑粗糙区基体材料存在明显的塑性变形特征, 而光亮区则为脆性断裂特征, 如图 3.

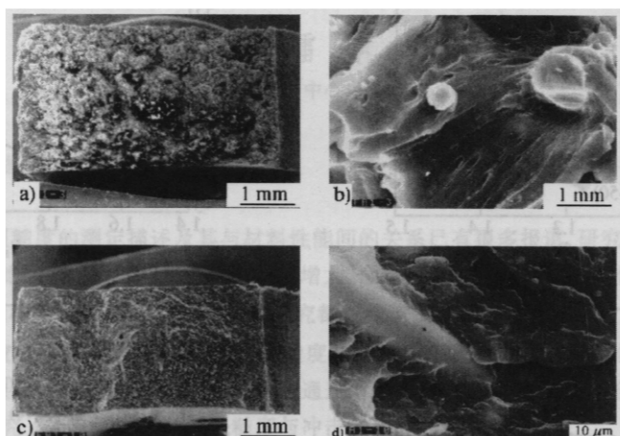


Fig. 3 The morphology of impact fractured surface of GFPA at different testing temperature: 3a), b), 50°C , 3c), d), -196°C

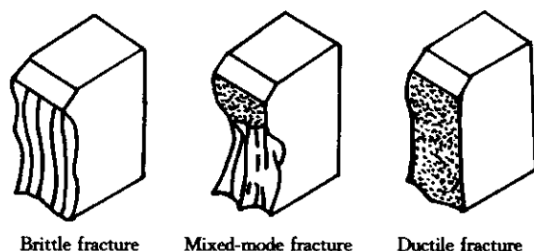


Fig. 4 The morphology of brittle and ductile fractured surface of polymer materials

断口形态特征分析表明, 聚合物材料较高温度下的冲击断面存在塑变特征, 微观不平度较大, 但宏观断面较平齐; 而较低温度下的冲击断面以脆性断裂特征为主, 微观不平度较小, 但因材料脆断时裂纹快速扩展可能诱发裂纹分叉扩展^[7], 导致宏观断面起伏较大. 聚合物材料的韧、脆断面宏微观特征示意图如图 4.

结合聚合物材料不同温度下的断口形貌观察分析结果可得出, 聚合物材料缺口冲击

强度和 R_S 的关系变化与其不同温度下的断裂机制变化有关. 脆断时 σ_i 与 R_S 呈线性正相关关系; 韧断时 σ_i 与 R_S 的关系偏离线性关系.

聚合物材料 Charpy 冲击能耗中存在以下几种能量消耗: (1) 试样断裂后飞出所需能量 E_k ; (2) 裂纹萌生所需能量 E_i ; (3) 裂纹扩展所需能量 E_g .

则冲击强度可表达为:

$$\sigma_i = \frac{1}{A}(E_k + E_i + E_g) = \frac{1}{A}(E_k + E_i + \gamma \cdot s + \bar{\gamma}_p \cdot v) = \frac{1}{A}(E_k + E_i + \gamma \cdot AR_S + \bar{\gamma}_p \cdot v)$$

相同缺口半径下, 试验温度对聚合物材料裂纹萌生能的影响不大^[8], E_i 可视作常数; 而试样飞出功所占总能耗比例较小, 同一材料的试样飞出功 E_k 也可视为常数, 则:

$$\sigma_i = C + \gamma R_S + \frac{\bar{\gamma}_p}{A} v$$

式中 C 为常数项, γ 为表面断裂能, R_S 为表面粗糙度参数, $\bar{\gamma}_p$ 为单位体积材料平均塑变能, A 为表观断面面积, v 为塑性变形区体积.

低温脆性断裂时, 塑变区尺寸趋近于零, 冲击强度可表达为:

$$\sigma_i = C + \gamma R_s$$

脆断时,冲击强度的变化取决于材料断面真实表面积的变化,随断面粗糙度参数 R_s 的增大而线性增高。高温韧断时,邻近断面的局部区域内,材料产生了塑性变形,存在应力发白区(塑变区)。冲击强度的变化不仅与表面粗糙度参数 R_s 的变化有关,而且主要与塑变区大小有关。HIPS 的破坏以银纹机制为主^[9],高温韧断时,裂纹沿一个或少数几个银纹扩展破裂,断面粗糙度参数变化不大,但随温度升高,塑变区范围增大,因而体现出高温试验条件下温度升高时, R_s 基本不变而 σ_i 增大。PP、POM 和玻纤增强 GFPA 同为结晶型聚合物,高温韧断时,随试验温度的升高,球晶的变形破裂导致断裂面微观粗糙度增大,且塑变区尺寸大大增加,因而体现出高温试验条件下,随温度升高, R_s 和 σ_i 都增大,且 σ_i 随 R_s 增大的趋势较低温段大。GFPC 高温韧断时,随温度升高,塑变范围增大,虽然基体产生了塑变,但因玻璃纤维的加入,基体的塑变程度并不大^[10],微观塑变对表面粗糙度的贡献不大,而随温度的升高,脆断区尺寸减小,脆断区宏观起伏对断面粗糙度的贡献下降,因而体现出随温度升高, R_s 降低而冲击强度增加。

REFERENCES

- 1 Su Hui(苏辉), Zhang Yugui(张玉贵), Yan Zhenqi(阎振策). Acta Metallurgica Sinica(金属学报), 1989, 25(6): A466 ~ A505
- 2 Ni Yushan(倪玉山), Cheng Guangxu(程光旭), Kuang Zhenbang(匡震邦). Acta Metallurgica Sinica(金属学报), 1992, 28(11): A498 ~ A505
- 3 Jiang Laizhu(江来珠), Cui Kun(崔昆). Acta Metallurgica Sinica(金属学报), 1992, 28(1): A27 ~ A32
- 4 Xu Xianqiu(许晓秋). Applications of Engineering Plastics(工程塑料应用), 1989, (4): 3 ~ 6
- 5 Zhang Bailan(张伯兰). Journal of Chinese Electron Microscopy Society(电子显微学报), 1990, 9(3): 225
- 6 Yu Jie(于杰), Jin Zhihao(金志浩), Zhou Huijiu(周惠久). Proc of Asian-Pacific Conf on Fract and Strength '93, 1993, 309 ~ 312
- 7 Kaiser T. Progress in polymer Science, 1989, 14(3): 428 ~ 436
- 8 Yu Jie(于杰), Jin Zhihao(金志浩), Zhou Huijiu(周惠久). Plastics Industry(塑料工业), 1994, (4): 47 ~ 49
- 9 Shun Zaijian(孙载坚). Toughened Plastics(塑料增韧). Beijing: Chemical Industry Press(化学工业出版社), 1982. 196 ~ 230
- 10 Yu Jie(于杰), Jin Zhihao(金志浩), Zhou Huijiu(周惠久). Proc of the Inter Symp on Impact Eng, 1992, 2: 600 ~ 604

THE QUANTITATIVE RELATION BETWEEN NOTCHED IMPACT STRENGTH AND FRACTURED SURFACE ROUGHNESS OF POLYMER MATHRIALS

YU Jie, JIN Zhihao, LEI Hua, LIU Yichun, LUO Zhu
(Materials Center, Guizhou University of Technology, Guiyang 550003)

Abstract The quantitative relation between notched impact strength and fractured surface roughness of polymer materials at different testing temperature was investigated with different polymer. The results show that the notched impact strength σ_i of polymer materials increased linearly with the increase of fractured surface roughness parameter R_s in the case of brittle fracture at lower testing temperature. But the variation of impact strength depends on both R_s and the plastic deformation area in the case of ductile fracture at higher testing temperature. The relation between σ_i and R_s at higher testing temperature could be divided into three models according to different polymer materials and their fracture mechanism.

Key words Polymer, Impact, Fractured surface roughness