

文章编号: 1006-9941(2018)07-0590-06

环境温度对 Al-PTFE 准静态压缩力学性能及反应特性的影响

王怀玺, 方向, 李裕春, 吴家祥, 黄骏逸, 高振儒

(陆军工程大学野战工程学院, 江苏 南京 210007)

摘要: 为了研究环境温度对铝-聚四氟乙烯(Al-PTFE)反应材料准静态压缩力学性能及反应特性的影响,采用冷压和烧结工艺,制备了尺寸 $\Phi 10\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 的 Al-PTFE 试件(Al 与 PTFE 的质量比为: 26.5 : 73.5)。利用 CMT5105 微机控制电子万能试验机对不同温度下的试件进行了准静态压缩,得到了材料在相应温度下的应力应变曲线。结果表明,材料的力学性能及反应特性均受环境温度的影响。温度较低时($-18, 0, 16\text{ }^{\circ}\text{C}$),材料偏脆性,屈服强度高于 28.31 MPa,失效应变为 1.31~1.49,试件呈剪切破坏;随着环境温度的提高($22, 35, 80\text{ }^{\circ}\text{C}$),材料延性增强,屈服强度低于 20.26 MPa,而失效应变提升至 1.84~2.08。形变能力的提升使得试件失效时其吸收的能量沿着横向拉伸应力形成的张开型裂纹瞬间释放,引发试件剧烈反应。

关键词: 铝-聚四氟乙烯(Al-PTFE); 准静态压缩; 环境温度; 反应特性

中图分类号: TJ55; O341

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2018.07.007

1 引言

反应材料属于含能材料的一种,其通常由两种或两种以上非爆炸性固体材料组成,可在高速冲击加载下发生剧烈化学反应。相比于炸药和推进剂等传统的含能材料,反应材料具有更高的能量密度和机械强度,且足够钝感^[1]。由于其优异的性能和多样的军事应用前景,以铝-聚四氟乙烯(Al-PTFE)为代表的反应材料近年受到了广泛关注。由化学平衡比(质量比为 26.5 : 73.5)组成的 Al-PTFE 的理论热值为 $8.68\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[2],是 TNT 爆热($4.18\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)的两倍左右;另外,经冷压烧结后的 Al-PTFE 反应材料密度可达 $2.28\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,高于 TNT 的密度($1.65\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$),因此,单位体积的 Al-PTFE 反应材料热值更高。

Al-PTFE 反应材料需要有足够的机械强度,既要保证其在生产和运输过程中安全可靠,又要使其在动态加载下不发生破坏,从而有效地穿透目标。因此,了解 Al-PTFE 不同条件下的力学性能至关重要。阳世清等^[3]研究了材料的制备工艺,确定了工艺参数对材料力学性能的影响。Raftenberg 等^[4]以及徐松林等^[5]利

用万能试验机和分离式霍普金森杆测得了不同应变率下 Al-PTFE 反应材料的力学响应参数。前者基于 Johnson-Cook 和 PSDam 强度模型模拟了冲击加载过程中试件的变形状态,并与试验结果进行了对比;后者利用试验数据进行了 Al-PTFE 弹丸侵入钢板的数值模拟,其结果与实际情况较符合。2008 年, Cai 等^[6]发现钨(W)颗粒的加入能够有效提高 Al-PTFE 的强度。随后, Xu 等^[7]利用改进的摆锤式冲击试验机和万能试验机研究了不同 W 含量(质量分数 0~45%)的 Al-W-PTFE 的拉伸力学特性和反应特性; Zhang 等^[8]利用 CSS-44100 材料测试系统和分离式霍普金森压杆研究了不同 W 含量(质量分数 0~77%)的 Al-W-PTFE 的压缩力学性能;乔良等^[9]基于准静态压缩试验,获得了不同粒径尺寸和级配关系下 Al-W-PTFE 试件的应力-应变曲线; Wang 等^[10]基于准静态和动态压缩试验研究了不同 W 含量(质量分数 50%~80%)的 Al-W-PTFE 的反应能量和力学性能,但上述研究均未涉及到环境温度。Al-PTFE 反应材料在危险品分类中属于 4.1 级易燃固体^[11],在准静态加载下通常不会发生反应,然而在 2015 年, Feng 等^[12]首次发现了 Al-PTFE 在准静压下的反应现象,并在随后的研究中确定了能够发生准静态反应的 Al-PTFE 配比、粒径及工艺参数^[13],但同样未提及环境温度。

PTFE 是一种半结晶聚合物,随着压力和环境温度的改变,PTFE 晶体呈现不同的晶相,而其力学性能受

收稿日期: 2017-10-10; 修回日期: 2017-12-11

基金项目: 国家自然科学基金(51673213)

作者简介: 王怀玺(1991-),男,博士研究生,主要从事反应材料制备及反应机理研究。e-mail: 827765479@qq.com

通信联系人: 李裕春(1974-),男,副教授,主要从事战斗部设计及冲击毁伤研究。e-mail: 65107840@qq.com

晶相的影响显著。值得注意的是,在常温常压下,PTFE 发生两次相变:当温度低于 19 °C 时,PTFE 结晶为三斜晶体;温度升至 19 °C 时,分子链轻微解螺旋,相变为六边晶体;温度超过 30 °C,分子链进一步解螺旋,PTFE 结晶相呈现假六边晶体^[14],由此可推测环境温度必然对 Al-PTFE 的性能产生影响。然而,鲜有文献关于此方面的研究。

为此,本研究对 Al-PTFE 试件在不同环境温度下进行准静态压缩试验,温度范围包含 PTFE 的两个相变温度;着重分析了相变温度附近 Al-PTFE 反应材料的力学行为及反应特性,并建立两者之间的联系。

2 实验部分

2.1 试件制备

采用冷压烧结工艺制备了质量比为 26.5 : 73.5, 尺寸 $\Phi 10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的 Al-PTFE 试件。Al 粉末平均粒径为 1~2 μm , PTFE 粉末平均粒径为 25 μm 。试件制备包含以下三个步骤:

(1) 混料:以酒精作为溶剂,利用 JJ-1 型电动搅拌机将含有两种粉末的溶液搅拌 20 min,使其充分混合。然后将溶液放入烘箱干燥并抽真空,设置烘箱温度 60 °C,干燥时间 48 h,确保酒精完全挥发。

(2) 压制:利用 FLS 油压机和模具将粉末压制成尺寸 $\Phi 10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的准静压标准件。压制压力 300 MPa,保压 60 s,以防试件回弹。

(3) 烧结:将试件放入真空烧结炉中。升温速率 90 °C · h⁻¹;烧结温度 360 °C;烧结时间 6 h;降温速率 50 °C · h⁻¹;冷压烧结后的试件如图 1 所示。

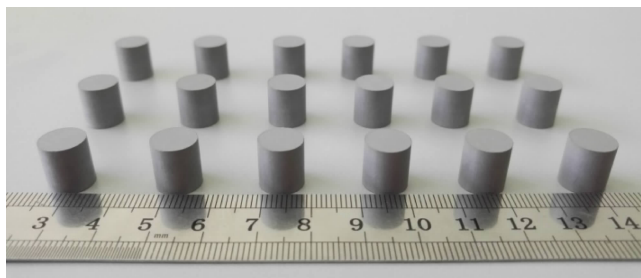


图 1 Al-PTFE 准静态压缩试件

Fig. 1 Al-PTFE specimens used for quasi-static compression

为了考察该制备工艺所得材料的均匀性,利用扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM) 观察试件的断面形貌 (图 2a); 利用能谱仪对试件断面进行面扫描,得到了断面上各元素的分布情况

(图 2b、图 2c、图 2d),从图 2 中可以看出材料均匀性较好,表明制备工艺较为可靠。

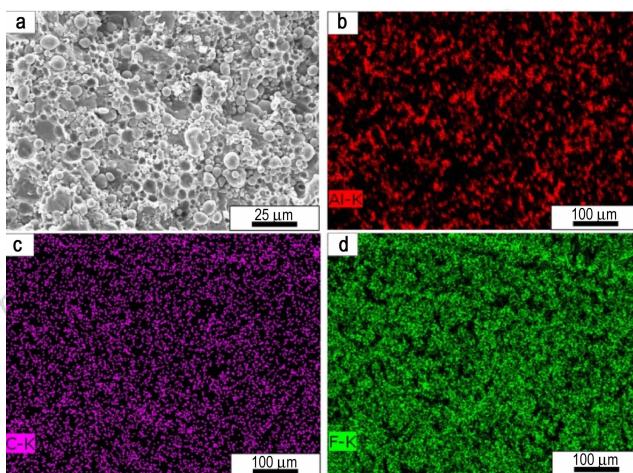


图 2 Al-PTFE 试件断面及其元素面分布

(a) 试件断面形貌; (b) Al 元素; (c) C 元素; (d) F 元素

Fig. 2 Al-PTFE specimen cross section and its element surface distribution

(a) specimen section micrograph; (b) Al element; (c) C element; (d) F element

2.2 试验过程

利用 CMT5105 万能试验机对 Al-PTFE 试件进行准静态压缩加载,试验装置如图 3 所示;利用数字化温度控制器获得试件所需温度,在试验之前将试件置于特定温度下至少 2 h,确保试件内外温度均匀;利用高速摄影记录试验过程中发生的反应现象。试验之前,每个试件的两个端面都涂有凡士林以减小摩擦。试验机压头以 60 mm · min⁻¹ 的速度向下对试件施加压缩载荷,对应试件的应变率为 0.1 s⁻¹。每个试件从

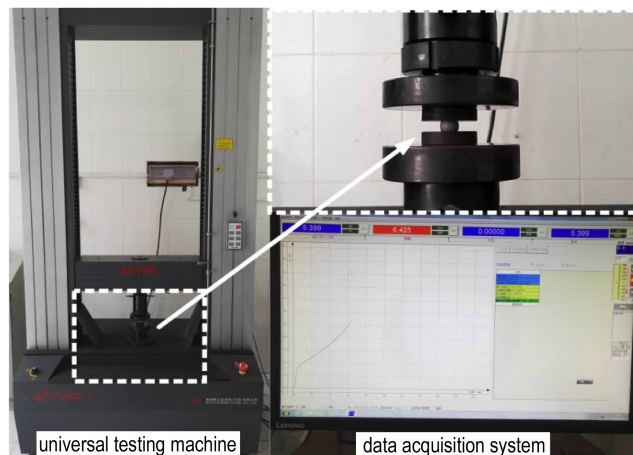


图 3 CMT5105 试验系统

Fig. 3 CMT5105 testing system

温度控制器取出到准静压试验结束的时间不足 5 s, 在每种温度下对试件进行三次重复试验, 以考察所得数据的可重复性。

根据试验机所测数据, 试件的应力应变可由(1)式给出。

$$\begin{cases} \sigma_e = \frac{p}{A_0} \\ \varepsilon_e = \frac{l_0 - l}{l_0} \end{cases} \quad (1)$$

式中, σ_e 为工程应力, MPa; ε_e 为工程应变; p 为压机施加载荷, N; l_0 为试件的初始长度, mm; A_0 为试件的初始截面积, mm^2 ; l 为试验过程中试件的瞬时长度, mm。假设试验过程中试件的体积保持不变: $A_0 l_0 = Al$, 则材料真实应力应变与工程应力应变的关系为:

$$\begin{cases} \sigma_t = \frac{p}{A} = \frac{p}{A_0} (1 - \varepsilon_e) \\ \varepsilon_t = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{1}{1 - \varepsilon_e} \end{cases} \quad (2)$$

式中, σ_t 为真实应力, MPa; ε_t 为真实应变。

3 结果与讨论

3.1 环境温度对 Al-PTFE 准静态压缩力学性能的影响

35 °C 下对 Al-PTFE 试件进行三次重复性试验所得数据对比如图 4 所示。从图 4 可看出, 三次试验测得的应力-应变曲线几乎重合, 试验结果的可重复性较好。

不同环境温度下测试得到的 Al-PTFE 试件真实应力-应变曲线如图 5 所示, 六种温度下 Al-PTFE 的力学响应参数见表 1。从图 5 可看出, 材料呈现应变硬化效应, 到达屈服强度后试件并未失效, 继续加载才能使其进一步变形, 直至破坏。在不同温度下, 材料应力应变曲线的走势差异明显: 温度较低时, 材料达到所能承受的最大应力后出现短暂的应变软化现象, 然后失效; 而当温度上升到 22 °C 以后, 应变软化现象消失, 材料的失效力即为最大应力。由表 1 可见, 温度较低时 (-18, 0, 16 °C), 材料屈服强度高于 28.31 MPa, 而失效应变仅为 1.31~1.49; 随着环境温度的提高 (22, 35, 80 °C), 屈服强度低于 20.26 MPa, 失效应变提升至 1.84~2.08。

环境温度对 Al-PTFE 试件准静压力学响应参数的影响规律如图 6 所示。由图 6 中可知, Al-PTFE 试件在加载过程中所能承受的最大应力受环境的影响较小, 维持在 90 MPa 左右(图 6b)。随着环境温度的增

加, 材料由脆性向延性过渡, 屈服强度和弹性模量(应力应变曲线弹性段斜率)降低(图 6a), 失效应变增加(图 6b), 并且变化趋势相似: 在低温区 (-18, 0, 16 °C), 三条曲线随温度变化都较为显著, 但在较高温度时 (22, 35, 80 °C), 变化趋于平缓; 当环境温度从 16 °C 过渡到 22 °C 时, 此三个力学参数同时存在突跃变化。

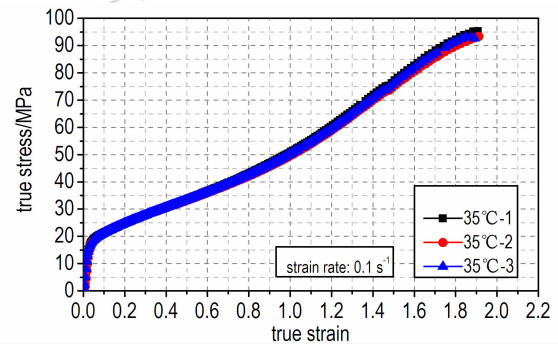


图 4 35 °C 下三次重复试验数据比较

Fig. 4 Comparison of data in three repeated test at 35 °C

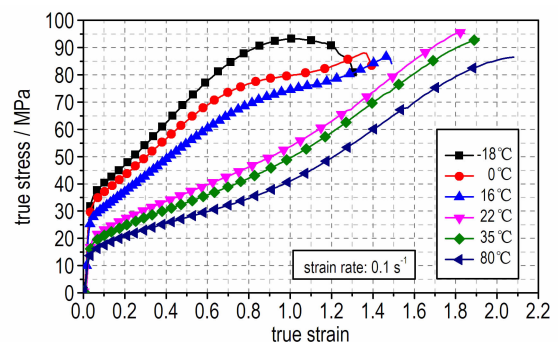


图 5 不同环境温度下 Al-PTFE 应力-应变曲线

Fig. 5 Stress-strain curves of Al-PTFE at different environmental temperatures

表 1 不同环境温度下 Al-PTFE 试件准静态压缩力学响应参数

Table 1 Mechanical response parameters of Al-PTFE specimens under quasi-static compression at different environmental temperatures

environmental temperature / °C	elastic modulus / MPa	yield strength / MPa	hardening modulus / MPa	maximum stress / MPa	failure strain
-18	723.06	35.43	59.27	93.22	1.31
0	676.12	33.13	42.08	88.05	1.39
16	602.34	28.31	41.58	86.82	1.49
22	413.47	20.26	42.45	95.52	1.84
35	388.09	18.24	39.12	93.24	1.91
80	309.59	15.17	35.12	86.49	2.08

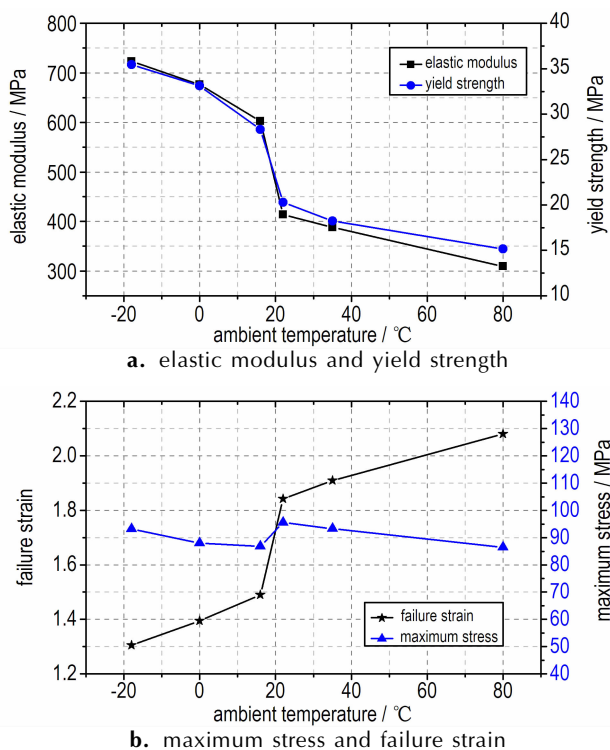


图 6 环境温度对 Al-PTFE 试件准静压力学响应参数的影响
 Fig. 6 Effect of environmental temperature on the mechanical response parameters of Al-PTFE specimens under the quasi-static compression

研究表明^[15-16], PTFE 的断裂机理与结晶区的晶相密切相关,若晶相表现为六边晶体或假六边晶体,即环境温度高于 19 °C 时,在 PTFE 受力裂纹扩展的过程中,裂纹尖端形成纤维网络。一方面,纤维网络的形成过程会消耗一部分加载的机械能;另一方面,纤维网络能够连接裂纹面,钝化裂纹尖端,减缓裂纹的扩展。因此当环境温度高于 19 °C 时,PTFE 延性明显增强,进而影响 Al-PTFE 的力学行为,这也是环境温度从 16 °C 过渡到 22 °C 时(跨过 19 °C 这一相变温度),Al-PTFE 的力学响应参数发生突变变化的原因。

3.2 环境温度对 Al-PTFE 准静压反应特性的影响

在六种不同环境温度下对 Al-PTFE 试件进行准静态加载时,处于低温区的试件剪切失效,而较高温度的试件在失效的瞬间全部发生剧烈反应,产生明亮的火光并伴有爆炸声。在不同环境温度下对试件加载后的状态如图 7 所示。

当环境温度为 -18 °C 时,Al-PTFE 试件表现为沿环向的剪切失效,而试件内部完好,没有出现裂纹(图 7a);当温度升至 0 °C 和 16 °C 时,剪切裂纹向试件中心偏移(图 7b 和图 7c);随着温度的进一步升高

(22, 35, 80 °C),试件发生剧烈反应,燃烧成为一堆黑色粉末(图 7d)。

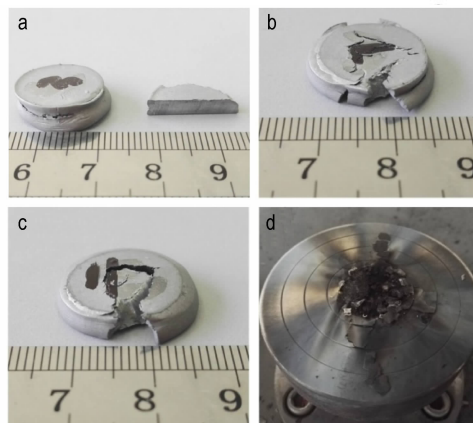


图 7 不同环境温度加载后试件状态: (a) -18 °C; (b) 0 °C; (c) 16 °C; (d) 22 °C; 35 °C; 80 °C
 Fig. 7 Specimens states after loading different environmental temperatures: (a) -18 °C; (b) 0 °C; (c) 16 °C; (d) 22 °C; 35 °C; 80 °C

图 8 为 Al-PTFE 试件准静压反应现象及其过程,记 $t=0$ ms 为初次观察到火光的时刻(图 8a)。通过对 9 个试件反应过程的观察发现,在初始阶段,试件的反应往往伴有张开型裂纹的生成(图 8b),随后反应迅速向整个试件传播(图 8c),在 $t=2360$ ms 左右反应结束,产生大量黑烟(图 8d)。

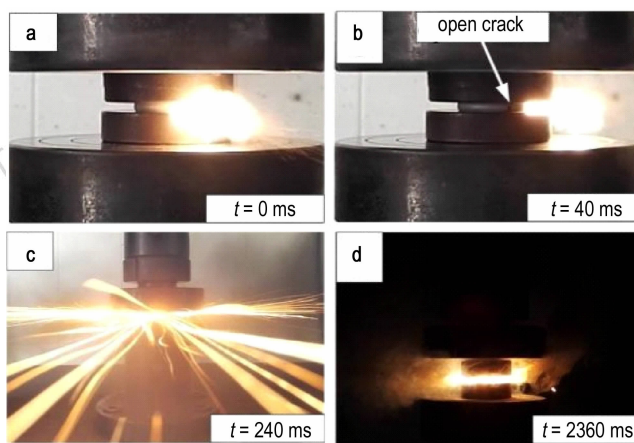


图 8 Al-PTFE 试件准静压反应过程
 Fig. 8 Reaction process of Al-PTFE specimen under quasi-static compression

图 9 为反应生成的黑色粉末在不同放大倍数下的微观图像。利用 X 射线衍射(X-ray diffraction, XRD)对反应产物进行物相分析,如图 10 所示。从 XRD 图

谱中可知产物中含有 AlF_3 以及少量未反应 Al ; 另外, 从 Al 和 PTFE 的反应方程式可推测黑色反应产物中有炭黑的存在, 而炭黑是一种无定形碳, 在 XRD 图谱中没有与之相对应的峰。为了对产物进一步分析, 采用能谱仪测得反应产物中元素的种类以及含量, 如图 11 和表 2 所示。为了减小基底对测试结果的影响, 测试中使用硅片基底, 因此能谱图中有硅元素 (图 11)。从表 2 可以看出, 反应产物中主要含有 C 、 F 、 Al 。另外, 由于反应发生在空气中, 少量氧气和 Al 发生反应, 生成 Al_2O_3 。

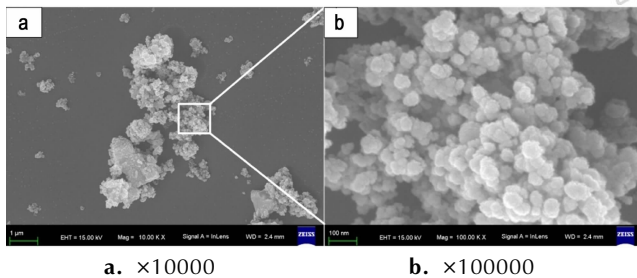


图 9 反应产物在不同放大倍数下的微观图像

Fig. 9 Microscopic images of reaction products under different magnification

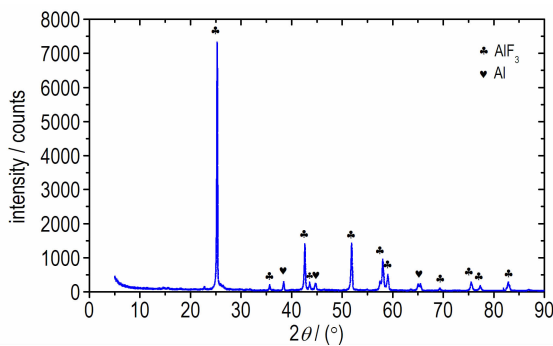


图 10 Al-PTFE 试件准静压反应产物的 XRD 图谱

Fig. 10 XRD pattern of reaction product for Al-PTFE specimen under quasi-static compression

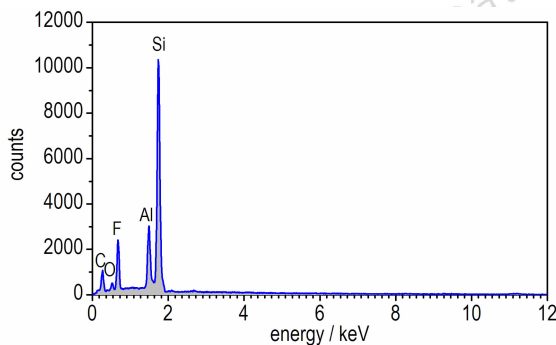


图 11 Al-PTFE 试件准静压反应产物能谱图

Fig. 11 Energy spectrum of reaction product for Al-PTFE specimen under quasi-static compression

表 2 反应产物中各元素含量

Table 2 Content of each element in reaction product

element	relative mass percent / %	relative atomic percent / %
C	35.43	48.82
O	6.11	6.32
F	34.93	30.43
Al	23.53	14.43

Feng 等^[12]认为 Al-PTFE 试件的准静压反应是由加载过程中材料吸收能量的突然释放引发, 即材料韧性越强, 越容易发生反应。韧性定义为材料断裂前吸收的能量与体积的比值, 可由应力应变曲线下方的面积表示, $16\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $22\text{ }^\circ\text{C}$ 两个环境温度下 Al-PTFE 试件的力学响应结果如图 12 所示。

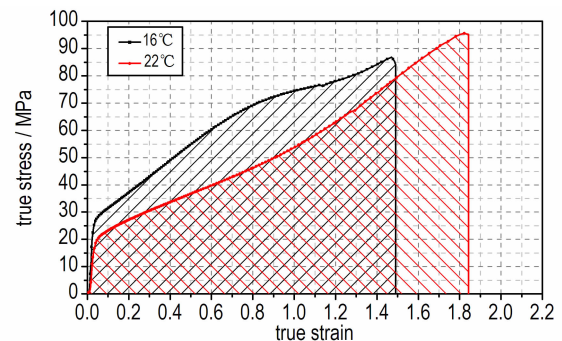


图 12 $16\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $22\text{ }^\circ\text{C}$ 下材料韧性的比较

Fig. 12 Comparison of the toughness of material at $16\text{ }^\circ\text{C}$ and $22\text{ }^\circ\text{C}$

由图 12 可知, $16\text{ }^\circ\text{C}$ 时材料的韧性为 $90.68\text{ J}\cdot\text{cm}^{-3}$, 试件剪切失效; 当温度升至 $22\text{ }^\circ\text{C}$ 时, PTFE 基体中的晶相发生改变, 材料塑性增强, 韧性增至 $99.31\text{ J}\cdot\text{cm}^{-3}$, 提高了 10%。另外, 从图 6b 中可知, 试件的失效应变从 $16\text{ }^\circ\text{C}$ 时的 1.49 增至 $22\text{ }^\circ\text{C}$ 时的 1.84。由于试件变形能力的提升, 在受压过程中试件内的横向拉伸应力逐渐增强。失效时试件内的能量沿着横向拉伸应力形成的张开型裂纹瞬间释放, 引发试件剧烈反应^[17]。由此可推断, Al-PTFE 试件的准静压反应特性与其力学特性密切相关, 环境温度通过影响材料的力学响应, 从而影响其反应特性。

4 结论

(1) 环境温度对 Al-PTFE 力学性能的影响显著, 随着温度的升高, 材料由脆性向延性过渡; 材料的弹性模量、屈服强度降低, 失效应变增加; 当温度从 $16\text{ }^\circ\text{C}$ 过渡到 $22\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 上述三个力学参数同时发生跃变化。

(2) 环境温度较低时 ($-18, 0, 16\text{ }^{\circ}\text{C}$), Al-PTFE 试件剪切失效; 而处于较高温度 ($22, 35, 80\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的试件在失效瞬间全部发生剧烈反应, 产物中主要有 AlF_3 和 C, 以及少量 Al_2O_3 和 Al 单质。

(3) 环境温度通过影响 Al-PTFE 试件的力学响应和失效模式, 进而影响其反应特性。Al-PTFE 试件反应的临界温度为 $16\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, 当 Al-PTFE 运输或加工过程中的环境温度在此温度区间或者更高时, 其安全性应引起足够的重视。

参考文献:

- [1] Wang H, Zheng Y, Yu Q, et al. Impact-induced initiation and energy release behavior of reactive materials[J]. *Journal of Applied Physics*, 2011, 110(7): 074904-1-074904-6.
- [2] Wang L, Liu J, Li S, et al. Investigation on reaction energy, mechanical behavior and impact insensitivity of W-PTFE-Al composites with different W percentage[J]. *Materials & Design*, 2016, 92(5): 397-404.
- [3] 阳世清, 徐松林, 张彤. PTFE/Al 反应材料制备工艺及性能[J]. 国防科技大学学报, 2008, 30(6): 39-42.
YANG Shi-qing, XU Song-lin, ZHANG Tong. Preparation and performance of PTFE/Al reactive materials[J]. *Journal of National University of Defense Technology*, 2008, 30(6): 39-42.
- [4] Raftenberg M N, Jr W M, Kirby G C. Modeling the impact deformation of rods of a pressed PTFE/Al composite mixture[J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2008, 35(12): 1735-1744.
- [5] 徐松林, 阳世清, 张炜, 等. PTFE/Al 含能复合物的本构关系[J]. 爆炸与冲击, 2010, 30(4): 439-444.
XU Song-lin, YANG Shi-qing, ZHANG Wei, et al. A constitutive relation for a pressed PTFE/Al energetic composite material[J]. *Explosion and Shockwaves*, 2010, 30(4): 439-444.
- [6] Cai J, Nesterenko V F, Vecchio K S, et al. The influence of metallic particle size on the mechanical properties of polytetrafluoroethylene-Al-W powder composites[J]. *Applied Physics Letters*, 2008, 92(3): 1007.
- [7] Xu S, Yang S, Zhang W. The mechanical behaviors of polytetrafluoroethylene/Al/W energetic composites[J]. *Journal of Physics Condensed Matter An Institute of Physics Journal*, 2009, 21(28): 285401.
- [8] Zhang X F, Zhang J, Qiao L, et al. Experimental study of the compression properties of Al/W/PTFE granular composites under elevated strain rates[J]. *Materials Science & Engineering A*, 2013, 581(10): 48-55.
- [9] 乔良, 涂建, 赵利军, 等. Al/W/PTFE 粒径级配关系对材料强度影响的实验研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2014(6): 17-21.
QIAO Liang, TU Jian, ZHAO Li-jun, et al. Influence of particle size grading on strength of Al/W/PTFE composite[J]. *Ordnance Material Science and Engineering*, 2014(6): 17-21.
- [10] Wang L, Liu J, Li S, et al. Investigation on reaction energy, mechanical behavior and impact insensitivity of W-PTFE-Al composites with different W percentage[J]. *Materials & Design*, 2016, 92(5): 397-404.
- [11] Ames R G. Vented chamber calorimetry for impact-initiated energetic materials [C]//43rd AIAA Aerospace Science Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, 2005.
- [12] Feng B, Fang X, Li Y C, et al. An initiation phenomenon of Al-PTFE under quasi-static compression[J]. *Chemical Physics Letters*, 2015, 637: 38-41.
- [13] 冯彬, 方向, 李裕春, 等. 烧结温度、配比及粒径对 Al-Teflon 准静态反应的影响[J]. 含能材料, 2016, 24(12): 1209-1213.
FENG Bin, FANG Xiang, LI Yu-chun, et al. Effect of sintering temperature, ratio and particle size on the reaction of Al-Teflon under quasi-static compression[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2016, 24(12): 1209-1213.
- [14] Sperati C A, Starkweather H W. Fluorine-containing polymers. II. Polytetrafluoroethylene[J]. *Advances in Polymer Science*, 1961, 2: 465-495.
- [15] Brown E N, Dattelbaum D M. The role of crystalline phase on fracture and microstructure evolution of polytetrafluoroethylene (PTFE)[J]. *Polymer*, 2005, 46(9): 3056-3068.
- [16] Rae P J, Dattelbaum D M. The properties of poly(tetrafluoroethylene) (PTFE) in compression[J]. *Polymer*, 2004, 45(22): 7615-7625.
- [17] Feng B, Li Y C, Hao hong, et al. A mechanism of hot-spots formation at the crack tip of Al-PTFE under quasi-static compression[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2017, 42: 1-8.

Effect of Environmental Temperature on the Mechanical Properties and Reaction Characteristics of Al-PTFE Under Quasi-static Compression

WANG Huai-xi, FANG Xiang, LI Yu-chun, WU Jia-xiang, HUANG Jun-yi, GAO Zhen-ru

(College of Field Engineering, PLA Army Engineering University, Nanjing 210007, China)

Abstract: To investigate the effect of environmental temperature on the mechanical response and reaction characteristic of reaction material aluminum-polytetrafluoroethylene (Al-PTFE) under the quasi-static compression. Al-PTFE specimens with a size of $\Phi 10\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ (the mass ratio of Al and PTFE was 26.5 : 73.5) were fabricated by cold pressing and sintering process. The quasi-static compression of specimens at different temperatures were conducted by a CMT5105 microcomputer controlled electronic universal testing machine and the stress-strain curves of materials at corresponding temperature were obtained. Results show that the mechanical properties and reaction characteristic of the material are affected by environmental temperature. When the temperature is low ($-18, 0, 16\text{ }^{\circ}\text{C}$), the material shows a brittleness, and its yield strength is higher than 28.3 MPa, the failure strain is 1.31-1.49, the specimen is shear failure. With the rise of environmental temperature ($22, 35, 80\text{ }^{\circ}\text{C}$) the ductility of the material increases, the yield strength is lower than 20.26 MPa, while the failure strain increases to 1.84-2.08. When the specimen is failed, the increase of deformation capacity makes the energy absorbed by the specimen release instantly along the opening crack formed by transverse tensile stress, causing the severe reaction of the specimen.

Key words: Al-PTFE; quasi-static compression; environmental temperature; reaction characteristic

CLC number: TJ55; O341

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2018.07.007