DOI: 10.11883/bzycj-2017-0030
文章编号: 1001-1455(2018)01-0001-08

基于气炮实验的 PTFE/Al 复合材料冲击反应阈值*

葛 超,乌布力艾散·麦麦提图尔荪,田 超,董永香,宋 卿
(北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室,北京 100081)

摘要: 基于 16 mm 口径气炮撞击实验,对铝颗粒增强的聚四氟乙烯(polytetrafluoroethylene)/Al(PTFE/Al)冲击反应复合材料的冲击反应阈值开展了研究。为研究不同撞击加载条件下应变率和碰撞应力对 PTFE/Al 冲击诱发反应的影响,实验中采用铝、钢和低密度聚乙烯(low density polyethylene, LDPE)这 3 种不同材料的靶板及不同长度的试样,进行不同加载条件下的测试分析。实验结果显示,PTFE/Al 材料的冲击诱发同时受到碰撞压力和加载应变率的影响。同时,通过对试样撞靶过程进行数值模拟,并与实验和理论结果进行对比。基于实验数据,拟合出 PTFE/Al 材料冲击反应的的预测曲线。

关键词: 冲击反应;阈值; PTFE/Al;撞击实验
中图分类号: O383.3 **国标学科代码:** 1303530 **文献标志码:** A

冲击反应复合材料(impact initiated composite materials),是一类新型的含能材料,表现出在高速碰撞或者高应变率加载的条件下,快速而剧烈地释放大量化学能的特征。同时因为这类材料足够钝感,并具有较好的力学特性,使得这类材料用于战斗部破片或者爆炸成型弹丸等军事用途时,相较于传统材料,能对目标造成动能和化学能的双重毁伤,因而近年获得了广泛关注。其中,铝颗粒增强的聚四氟乙烯(polytetrafluoroethylene)/Al(PTFE/Al)是一种典型的冲击反应复合材料,属于活性金属颗粒增强的聚合物类冲击反应复合材料。针对这种材料,国内外学者进行了广泛而深入的研究。Joshi[1]就以专利的形式提出了一种 PTFE/Al 的压制/烧结工艺流程,后被广泛应用。基于该专利提出的典型制备工艺,阳世清等[2]对其进行了改良。赵鹏铎等[3]、徐松林等[4]对该材料在 $10^{-3}\sim10^{3}$ s^{-1} 应变率范围内的静态及动态压缩力学行为及 Al 含量和粒度对其力学性能的影响进行了研究,发现了该材料的应变硬化及应变率强化特性,并在测试应变率范围内拟合出了该材料的本构方程。在冲击诱发及能量释放方面,王海福等[5],Mock 等[6]也从冲击诱发临界条件和准则,释能与撞击速度关系和 Al 颗粒增强相特征尺寸的影响方面展开了深入研究。乌布力艾散·麦麦提图尔荪等[7]则从微细观角度,采用有限元方法,对 Al 颗粒粒径及分布特征对其力学性能的影响进行了系统研究。而帅俊峰等[8]、谢长友等[9]则从应用角度,对 Al/PTFE 含能破片对钢靶的侵彻和柴油油箱的毁伤进行了实验研究,显示了该材料在高效毁伤方面独特的优越性。

尽管目前对该材料的研究已取得了长足的进展,但是这类材料的冲击反应诱发机理及反应的临界条件及预测判定仍是研究的重点,有待更深入的研究。Ames[10]、Lee 等[11]将该材料的反应归因于加载过程中的大变形、剪切带以及碎化,虽然加载过程中材料内部会出现局部高温,但是不足以诱发反应。Hunt 等[12]认为在加载过程中产生的高应变率和应力会将机械能转化成热能,以诱发材料发生反应。Zhang 等[13]、Mock 等[14]提出碰撞速度或者碰撞压力作为该材料冲击反应诱发的判据。

基于分离式霍普金森杆实验研究 PTFE/Al 材料的动态力学性能,发现该材料在某些情况下发生反应,尤其是当加载应力及应变率同时高于某个临界值时极易诱发反应。因此有理由认为这类材料的冲击反应是受加载应力和加载应变率同时影响的,仅以碰撞速度或者碰撞应力并不足以预测该材料的冲击反应。本文中针对 PTFE/Al 材料,采用 16 mm 口径气炮发射装置进行撞击实验。采用 3 种材料

* **收稿日期:** 2017-01-20; **修回日期:** 2017-02-28。 "第十一届全国爆炸力学学术会议"推荐论文。
基金项目: 国家自然科学基金项目(11202028,11472053);教育部博士点博导类基金项目(20121101110012)
第一作者: 葛 超(1990—),男,博士研究生; **通信作者:** 董永香,dongyongx@bit.edu.cn。

的靶板和 3 种长度的材料试样，对 PTFE/Al 材料的冲击反应临界阈值及机理进行研究，以期为其他含能材料冲击反应临界条件及阈值的研究提供参考。

1 试样撞靶过程理论分析

试样撞击不同材料靶板的过程，基于 Meyers[15] 的碰撞理论进行分析。根据材料的 Hugoniot 关系来计算材料的冲击状态。试样材料撞击静止靶板的过程如图 1 所示。

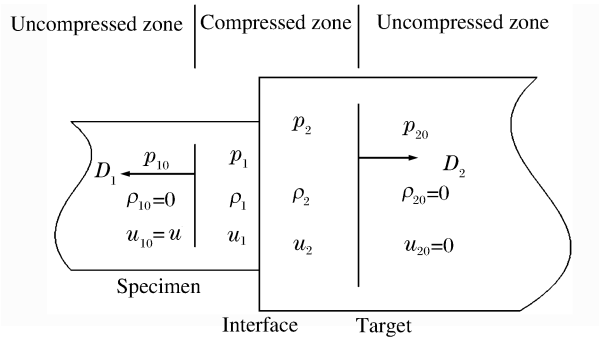


图 1 试样碰撞靶板示意图

Fig. 1 Schematic of specimen impacting target

不同于 Meyers[15] 的碰撞分析过程，在该分析中，取消对于碰撞过程中试样和靶板材料不可压的假设，将考虑试样材料和靶板材料在碰撞过程中的密度变化，以得到更准确的计算结果。

初始状态下，靶板静止，试样以速度 u 向靶板方向运动。试样和靶板中的压力、密度和粒子速度分别为 p_{10}、ρ_{10} 和 u_{10} 和 p_{20}、ρ_{20} 和 u_{20}。在试样撞击靶板后的瞬间，会在试样和靶板的碰撞界面处产生 2 道压缩波，分别传入试样（向后，波速 D_1）和靶板（向前，波速 D_2）。此时，试样和靶板的压缩区的压力、密度和粒子速度则分别变成 p_1、ρ_1、u_1 和 p_2、ρ_2、u_2。未被压缩的试样部分，将仍以初始速度 u 向靶板方向运动，同时未被压缩的靶板部分将仍然保持静止。根据质量和动量守恒原理，对于试样：

$$\rho_{10}(-D_1-u)=\rho_1(-D_1-u_1) \tag{1}$$

$$p_1=\rho_{10}(D_1+u)(u-u_1) \tag{2}$$

对于靶板：

$$\rho_{20}D_2=\rho_2(D_2-u_2) \tag{3}$$

$$p_2-p_{20}=\rho_{20}D_2u_2 \tag{4}$$

联立式(1)和式(3)，可以得到：

$$D_1=\frac{\xi_1 u-u_1}{1-\xi_1} \tag{5}$$

$$D_2=\frac{u_2}{1-\xi_2} \tag{6}$$

式中：$\xi_1=\dfrac{\rho_{10}}{\rho_1}$，$\xi_2=\dfrac{\rho_{20}}{\rho_2}$ 分别代表试样材料和靶板材料压缩前后的密度比。将 ξ_1 和 ξ_2 代入式(2)和(4)，可以得到：

$$p_1=\frac{\rho_{10}(u-u_1)^2}{1-\xi_1} \tag{7}$$

$$p_2=\frac{\rho_{20}u_2^2}{1-\xi_2} \tag{8}$$

根据在界面处，速度和应力连续的关系，可得：$p_1=p_2$ 和 $u_1=u_2$。将式(7)～(8)代入上述关系式，可以得到：

$$u_1=u_2=\frac{u}{1+\sqrt{\dfrac{\rho_{20}(1-\xi_1)}{\rho_{10}(1-\xi_2)}}} \tag{9}$$

将式(9)代入式(7)或式(8)，则可得到计算碰撞压力的表达式：

$$p_1=p_2=\frac{\dfrac{\rho_{20}u^2}{1-\xi_2}}{\left(1+\sqrt{\dfrac{\rho_{20}(1-\xi_1)}{\rho_{10}(1-\xi_2)}}\right)^2} \tag{10}$$

式(9)～(10)中，有 4 个未知参量：p_1、u_1、ξ_1、ξ_2(或 p_2、u_2、ξ_1、ξ_2)。要计算碰撞压力，则要保证上述方程封闭。因此还需补充试样和靶板材料的状态方程。

试样材料的状态方程为：

$$\begin{aligned} D_1 &= C_1 + S_1 u_1 \\ p_1 &= \frac{\rho_{10} C_1 (1-\xi_1)}{(S_1-1)^2 \left(\dfrac{S_1}{S_1-1}\xi_1 - 1\right)^2} \end{aligned} \tag{11}$$

靶板材料的状态方程为：

$$\begin{aligned} D_2 &= C_2 + S_2 u_2 \\ p_2 &= \frac{\rho_{20} C_2 (1-\xi_2)}{(S_2-1)^2 \left(\dfrac{S_2}{S_2-1}\xi_2 - 1\right)^2} \end{aligned} \tag{12}$$

式中：S_1、S_2为经验系数，C_1、C_2为试样和靶板材料内在压力为零的情况下的声速。

联立式(9)～(12)，p_2、u_2、ξ_1、ξ_2 可以通过逐次逼近和迭代的方法来求解。将 u_2 和 ξ_2 代入式(6)，可求得靶板中冲击波的速度 D_2。将 u_2、ξ_1 代入式(5)，可求得试样中冲击波的速度。

当假设试样和靶板材料均为不可压的时候，$\xi_1=1$，$\xi_2=1$，上述计算冲击过程各参量的方程可退化成和 Meyers[15] 提出的相同的形式。

试样碰撞时的应变率通过对撞击近区的测试或数值模拟获得，当试样厚度较小时，可由下式计算：

$$\dot{\varepsilon} = \frac{u}{L} \tag{13}$$

式中：L 为试样的长度。

根据上述分析，想改变试样碰撞靶板产生的压力和试样材料的应变率，除了改变试样材料撞击靶板的速度，还可以通过改变靶板的材料和试样的长度来调整。在实验中，也将采用 3 种材料的靶板和 4 种长度的试样来达到控制及改变碰撞压力和加载应变率的目的，材料的相关参数可参见文献[15-16]。

2　气炮撞击实验

2.1　试样制备

试样通过对 PTFE 粉和铝粉混合压制/烧结而成，PTFE 粉和铝 Al 粉的质量分数分别为 73.5%和 26.5%。铝粉和 PTFE 粉经历了混合、预压成型、烧结的过程。最终采用车削的方式从该材料方块上，车出直径为 8 mm，长度分别为 40、30、20 和 10 mm 的试样若干。4 种长度的试样如图 2 所示。

2.2　实验方案

PTFE/Al 材料撞击实验的基本实验布局如图 3 所示。实验通过 16 mm 口径的气炮来完成。因为试样的直径都是 8 mm，小于气炮的内径，设计了 A、B 这 2 种不同的尼龙分离式弹托，如图 2 所示。2 种弹托都是两瓣式设计，在弹托面向靶板的一端包含 1 个迎风面，这样就保证了弹托在出枪口后、撞击靶板前能够与试样分离。

试样的实际飞行速度通过测速仪来测量。设计与水平面垂直的靶架，用来测试材料在正冲击情况下的冲击诱发反应情况。高速摄影仪拍摄的同时，采用高亮度闪光灯以保证拍摄画面有足够的亮度。闪光灯通过测速仪触发。测试中，曝光时间设为 3 μs，拍摄频率为 60 017 s^{-1}。

实验中采用 3 种材料靶板：2024 铝，45 钢和低密度聚乙烯(low density polyethylene，LDPE)。靶板尺寸为 140 mm×140 mm。铝靶和钢靶厚度均为 15 mm，LDPE 靶板厚度为10 mm。如理论部分所讨论，当需要试样在相同的加载应变率下承受不同的加载应力时，可以针对同一长度的试样，在加载速度相同的时候，通过更换 2024 铝、45 钢和 LDPE 这 3 种靶板靶板材料来实现。类似地，当需要试样在相同的加载应力条件下，受到不同的加载应变率，可以在保持靶板材料和加载速度不变的条件下，通过改变试样的长度来完成。依此方法能够很好地将碰撞过程中应力和应变率影响进行解耦，分开讨论。

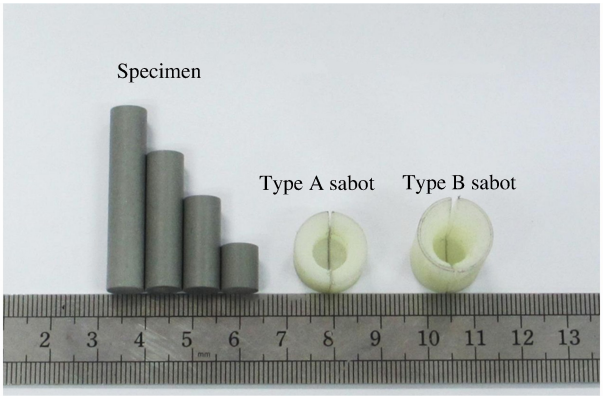


图 2 试样和 2 种类型的弹托

Fig. 2 Samples and two types of sabot

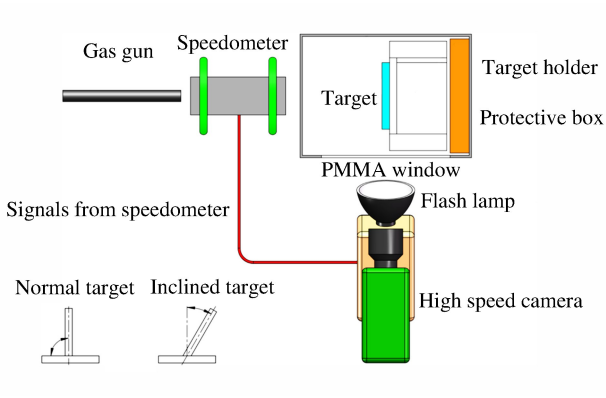


图 3 实验装置示意图

Fig. 3 Schematic of experiment

3 结果和讨论

3.1 冲击诱发反应实验现象

图 4 所示为 2 组∅8 mm×40 mm 试样撞击钢靶的高速摄影图像。图 4(a)和图 4(b)所示分别为试样以 291 和 254 m/s 的速度撞击靶板。

图 4 所示为试样撞靶并且发生反应的情况。试样材料经历了从脆性破碎到冲击诱发的过程。该过程包含试样与靶板的碰撞、试样的破碎飞散、诱发、后续的破碎飞散及最终的剧烈反应。该过程与 Lee 等[11]描述的过程类似。在着靶的瞬间,试样首先因碰撞的作用而破碎,而并非一着靶碰撞材料就发生反应。在着靶之后的一段时间,如图 4(a)中所示为 16.6～33.2 μs 之间,试样才会被诱发而发生反应。未发生反应的剩余材料则会继续以一定的速度向靶板的方向运动并撞击靶板,产生的试样破片则会参与到并支持已经在进行中的反应,使反应更剧烈,如图 4(a)中在 t=66.4 μs 时的图像所示。图 4(a)中在 t=166 μs 和 t=199.2 μs 时的图像则是随后飞过来的弹托撞击到试样碎片后,使反应变得更剧烈。图 4(b)中试样以较低速度撞靶,试样同样经历了碰撞、破碎的过程,未破碎飞散的试样继续以剩余速度向靶板运动,但是并未发生诱发反应。这说明该试样处于被诱发反应的阈值之下。

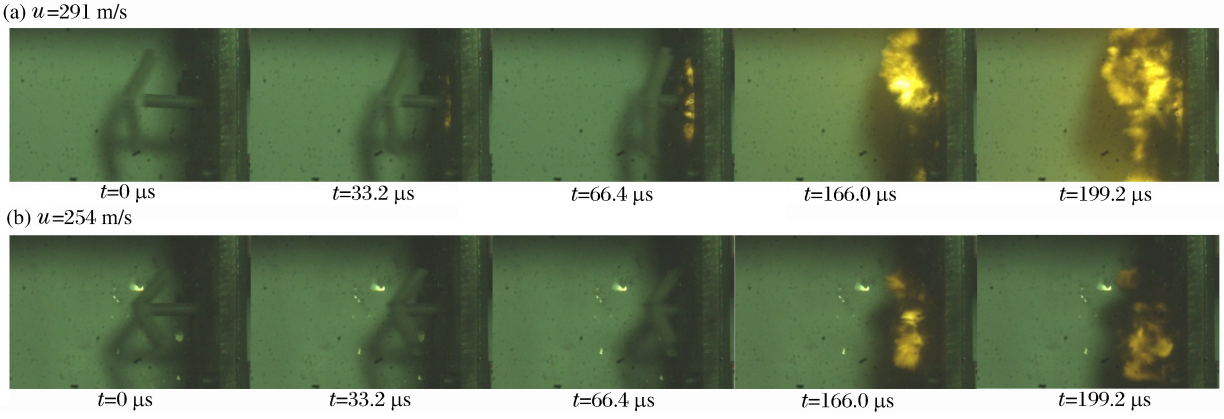


图 4 试样正撞击钢靶的高速摄影结果

Fig. 4 High-speed video sequences of samples normally impacting steel targets

3.2 冲击诱发阈值分析

图 5 所示为在分别假设材料可压和不可压情况下,PTFE/Al 材料碰撞不同材料靶板时碰撞速度和碰撞压力之间的关系。通过对比可知,在 2 种假设下,对于 45 钢靶,2 种假设条件下,计算得到的碰撞压力之间的差异会随着碰撞速度的增加而增加。通过对比说明,将材料假设为不可压时,计算得到的碰撞压力偏小也说明在可压的假设下,才能计算得到准确的碰撞压力。

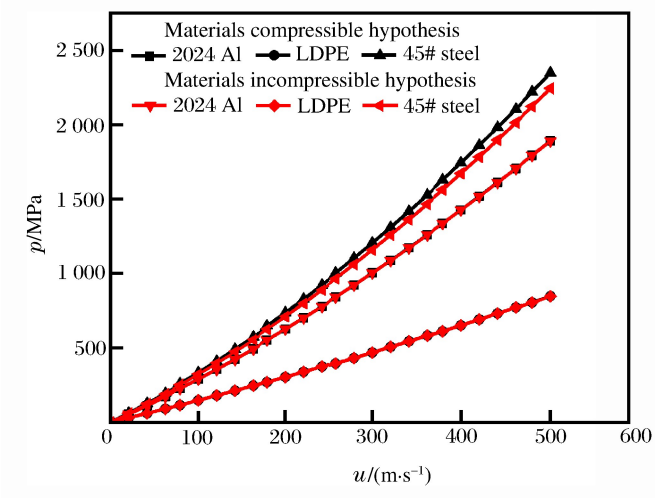


图 5 试样撞击不同材料靶板时撞击速度与碰撞压力关系

Fig. 5 Relation between impact velocities and impact pressures during samples impacting different targets

根据实验中每组试样的碰撞速度及长度，采用前文中理论计算出的试样撞击压力和加载应变率，得到不同长度的试样以不同速度撞击 3 种材料的靶板的实验结果，如图 6 所示。需要强调的是，试样的加载应变率根据式(13)计算，计算得到的是试样材料在初始碰撞时刻的平均应变率。这种计算方法对于长度较短的试样适用，但是，对于较长的试样，用来预测材料碰撞反应的临界应变率则存在一定误差。而这种平均化的处理方法是由于试样碰撞瞬间的应变率很难通过实验获得。在图 6 中，沿着直线 $L_1 \sim L_3$ 的数据点体现了在加载应变率保持恒定的情况下，碰撞压力对冲击反应的影响。沿着直线 L_3，也有类似的情况出现。沿着直线 L_4 的数据点对比了碰撞压力保持不变，而加载应变率通过改变试样长度来改变的情况。因此，可以看出只用碰撞速度或者碰撞压力是不足以预测 PTFE/Al 的反应的。同时在图 6 中，还可以看到 2 个由反应的和不反应的数据点组成的混合区。在这 2 个混合区中，反应是概率出现的。在反应区之上和反应区之下，则全部为反应的和不反应的数据点。因此，混合区的出现预示着临界应力和应变率的出现。理论上，在图 6 中的每条曲线上都应该出现混合区，但是在本文中，由于实验数据点数量的限制，只能观察到 2 个混合区。

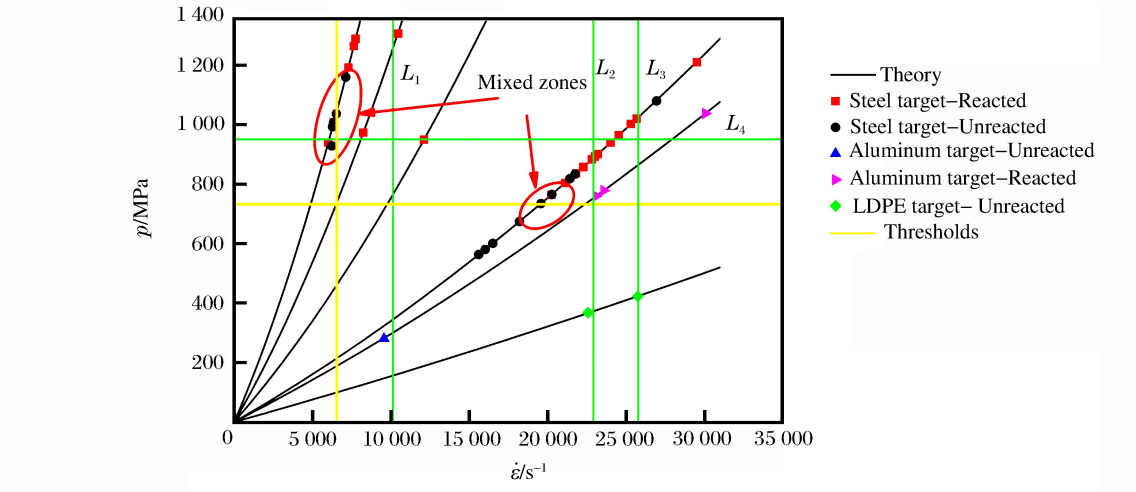


图 6 试样撞击不同靶板时碰撞压力和加载应变率关系

Fig. 6 Relation between impact pressure and loading strain rate during samples' impacting different targets

穿过 2 个混合区的中心，可以得到图 6 中所示的代表反应的临界应力和应变率的直线。临界应力值 $\sigma_T = 735$ MPa，临界应变率值 $\dot{\varepsilon} = 6\,500\ s^{-1}$。只有在碰撞的应力大于 735 MPa 同时加载应变率大于 $6\,500\ s^{-1}$ 时，在正冲击条件下，PTFE/Al 材料才可能被冲击诱发，但这仅为冲击反应的必要条件。

3.3 PTFE/Al 冲击诱发机理及预测曲线拟合

图 7 所示为 PTFE/Al 材料 Taylor 碰撞实验的高速摄影图像[17]，从该图可以观察到在接近接触面的位置与试样纵轴约成 45°的剪切作用聚集的区域。图 8 所示为 PTFE/Al 材料的 Taylor 碰撞数值模拟结果，也可观察到类似的剪切应力集中分布于接近接触面并与纵轴呈近似 45°角的情况。同时从图 7 中还能观察到反应初始出现的位置接近剪切作用集中分布的位置。以上所有现象都说明了 PTFE/Al

材料剪切作用诱发的机理。在试样与靶板碰撞的初始阶段,试样开始发生破碎,尽管这对于材料的冲击诱发很重要,但是并不足以导致材料发生反应。于是另外一部分关键的能量,来自于剪切作用引起材料失效破坏而释放的能量。材料破碎及剪切作用的强度由碰撞作用的激烈程度决定。而破碎及剪切作用的产生及输入能量的速率则由加载速率决定。尽管在碰撞过程中在材料内部会产生局部温升,但是这并不足以导致材料发生反应。综上所述,PTFE/Al 的冲击诱发反应是由碰撞过程中材料剪切和破碎导致的高速率能量释放引起的。

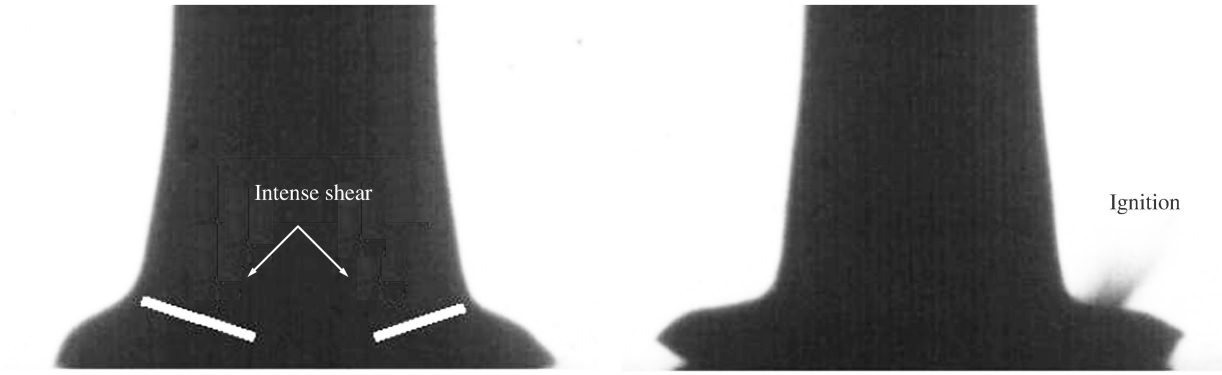


图 7 PTFE/Al 材料在 Taylor 撞击实验中的剪切作用聚集区和冲击反应的出现位置

Fig. 7 Intense shear region and first sign of ignition during Taylor anvil-on-rod impact test for PTFE/Al

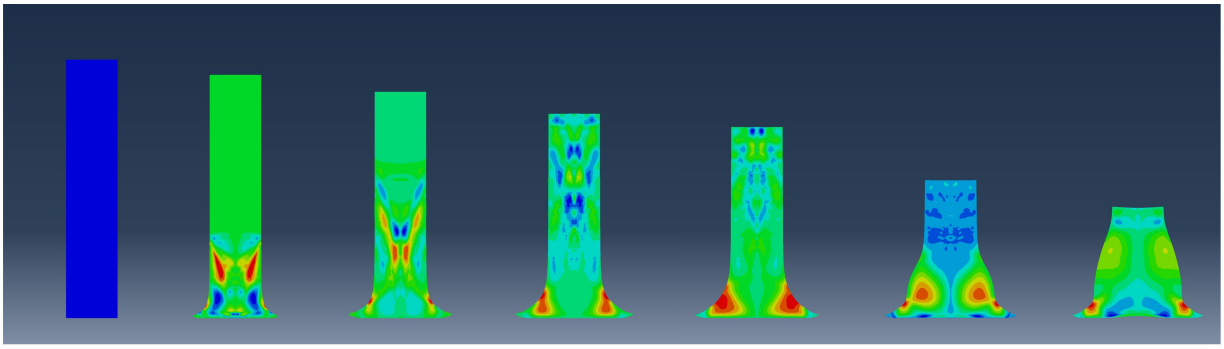


图 8 数值模拟下 PTFE/Al 材料 Taylor 撞击中剪切应力分布

Fig. 8 Shear stress distribution during Taylor anvil-on-rod impact test for PTFE/Al in simulation

图 9 所示包含了正冲击所有实验数据点,其中代表反应的数据点用红色表示,未反应的用黑色表示。如前文中所讨论的一样,在每条理论曲线上均出现混合区是最理想的情况,这样,反应则可以通过一条连接所有混合区中心点并包络所有反应点的曲线来预测。但是由于实验数量所限,本文中的分析则依据现得到的实验数据点进行分析。

对正冲击实验条件下反应情况的预测是基于反应的应力阈值 $\sigma_T = 735$ MPa 和应变率阈值 $\dot{\varepsilon} = 6\,500\ s^{-1}$ 以及代表反应的数据点进行的曲线拟合。拟合得到的预测曲线是应力和应变率阈值线的渐近线,包含了所有在正冲击条件下发生反应的数据点,该曲线呈双曲函数的形式:

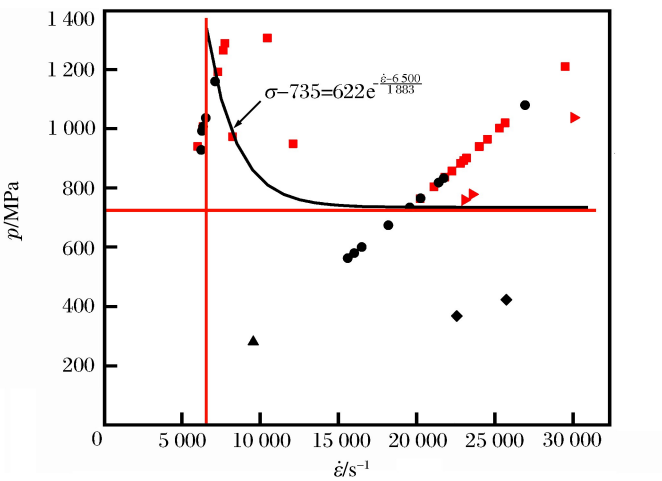


图 9 PTFE/Al 材料在正冲击条件下反应曲线的拟合

Fig. 9 Fitted curve for impact initiation under normal impacting condition

$$\sigma-\sigma_{\mathrm{T}}=A\exp\left(-\frac{\dot{\varepsilon}-\dot{\varepsilon}_{\mathrm{T}}}{B}\right) \tag{14}$$

式中：A、B 为待定参数，σ 和 $\dot{\varepsilon}$ 为测试条件下的碰撞应力和加载应变率。结合实验数据点和相应阈值线，容易确定参数 A 和 B：

$$\sigma-735=622\exp\left(-\frac{\dot{\varepsilon}-\dot{\varepsilon}_{\mathrm{T}}}{1\,883}\right) \tag{15}$$

在正冲击撞击条件下，位于这条预测曲线上方的点，则代表高于反应的临界应力和应变率并满足反应的条件。

4　结　论

采用 16 mm 口径气炮，对 PTFE/Al 材料开展撞击实验，研究不同材料的靶板和不同长度的试样在不同碰撞条件下的冲击反应临界阈值，并结合理论分析和数值模拟探讨 PTFE/Al 撞击靶板的过程，得到以下主要结论：

(1)PTFE/Al 材料的冲击反应过程包括碰撞、破碎及飞散、诱发、后续碰撞碎化及剧烈反应等阶段。

(2)碰撞速度或碰撞压力并不足以作为阈值来预测 PTFE/Al 材料的冲击诱发。该材料的冲击诱发会同时受到加载应力和加载应变率的影响。只有在加载应力和加载应变率同时高于某个临界值时，才能被冲击诱发。在正冲击条件下，其反应的临界应力和临界应变率分别为 735 MPa 和 6 500 s^{-1}。

(3)针对正冲击加载条件，拟合获得了冲击诱发反应的双曲形预测曲线。

参考文献：

[1] JOSHI V S. Process for making polytetrafluoroethylene-aluminium composite and product made: US6547993[P]. 2003.

[2] 阳世清，徐松林，张彤. Al/PTFE 反应材料制备工艺及性能[J]. 国防科技大学学报，2008，30(6)：40-42.
YANG Shiqing, XU Songlin, ZHANG Tong. Preparation and performance of PTEF/Al reactive materials[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2008,30(6):40-42.

[3] 赵鹏铎，卢芳云，李俊玲，等. 活性材料 Al/PTFE 动态压缩性能[J]. 含能材料，2009，17(4)：459-462.
ZHAO Pengduo, LU Fangyun, LI Junling, et al. The dynamic compressive properties of Al/PTFE reactive materials[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2009,17(4):459-462.

[4] 徐松林，阳世清，赵鹏铎，等. Al/PTFE 含能复合材料的压缩力学行为研究[J]. 力学学报，2009，41(5)：708-712.
XU Songlin, YANG Shiqing, ZHAO Pengduo, et al. The study on the compressive behavior of Al/PTFE energetic composite[J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics,2009,41(5):708-712.

[5] 王海福，刘宗伟，俞为民，等. 活性破片能量输出特性试验研究[J]. 北京理工大学学报，2009，29(8)：663-666.
WANG Haifu, LIU Zongwei, YU Weimin, et al. Experimental investigation of energy release characteristics of reactive fragments[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2009,29(8):663-666.

[6] MOCK J W, DROTAR J T. Effect of Al particle size on the impact initiation of pressed Al/PTFE composite rods [J]. Shock Compression of Condensed Matter, 2007(6):971-974.

[7] 乌布力艾散·麦麦提图尔荪，董永香，葛超，等. 基于 Al/PTFE 真实细观特性统计模型的宏观力学性能模拟[J]. 复合材料学报，2016，33(11)：2528-2536.
MAIMAITITUERSUN Wubuliaisan, DONG Yongxiang, GE Chao, et al. Simulation on mechanical properties of Al/PTFE based on mesoscopic statistical model[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2016,33(11):2528-2536.

[8] 帅俊峰，蒋建伟，王树有，等. 复合反应破片对钢靶侵彻的实验研究[J]. 含能材料，2009，17(6)：722-725.
SHUAI Junfeng, JIANG Jianwei, WANG Shuyou, et al. Compound reactive fragment penetrating steel target[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2009,17(6):722-725.

[9] 谢长友，蒋建伟，帅俊峰，等. 复合反应破片对柴油油箱的毁伤效应实验研究[J]. 高压物理学报，2009，23(6)：447-452.
XIE Changyou, JIANG Jianwei, SHUAI Junfeng, et al. Experimental study on the damage effect of compound re-

active fragment penetrating diesel oil tank[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2009,23(6):447-452.

[10] AMES R G. Vented chamber calorimetry for impact-nitiated energetic materials[C]// The 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. Reno, Nevada, United States, 2005:275-279.

[11] LEE R, MOCK J W, CARNEY J, et al. Reactive materials studies[C]// Shock Compression of Condensed Matter 2005: Proceedings of the Conference of the American Physical Society Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter. Baltimore, Maryland, United States, 2005:169-174

[12] HUNT E M, MALCOLM S, PANTOYA M L, DAVIS F. Impact ignition of nano and micron composite energetic materials[J]. International Journal of Impact Engineering, 2009,36(6):842-846.

[13] ZHANG X, SHI A, QIAO L, et al. Experimental study on impact-initiated characters of multifunctional energetic structural materials[J]. Journal of Applied Physics, 2013,113(8):2129-1156.

[14] MOCK J W, HOLT W H. Impact initiation of rods of pressed polytetrafluoroethylene (PTFE) and aluminum powders[C]// Shock Compression of Condensed Matter 2005: Proceedings of the Conference of the American Physical Society Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter. Baltimore, Maryland, United States, 2005:1097-1100.

[15] MEYERS M A. Dynamic behavior of materials[M]. John Wiley & Sons, Inc. 1994.

[16] RAFTENBERG M N, MOCK J W, 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.

[17] AMES R G. Energy release characteristics of impact-initiated energetic materials[J]. Materials Research Society Symposium Proceedings, 2005,896(3):321-333.

Impact-induced initiation thresholds of polytetrafluoroethylene/Al composite by gas gun

GE Chao, Wubuliaisan MAIMAITITUERSUN,
TIAN Chao, DONG Yongxiang, SONG Qing
(*State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: Impact experiments by a gas gun were conducted to investigate the impact-induced initiation thresholds of a PTFE (polytetrafluoroethylene)/Al composite using targets of steel, aluminum and low-density polyethylene (LDPE) materials and sample rods of four different lengths. By subjecting the samples under different loading conditions, it is shown that the impact-induced initiation of PTFE/Al is determined by both the impact pressure and the loading strain rate. The impact pressure and the strain rate thresholds for initiation were arrested by the experiments and the impacting process of the samples was modeled to compare the experimental and theoretical data. Based on all the experimental results, a theoretical curve was proposed to predict the impact-induced initiation of PTFE/Al under normal impact. The method proposed in this research can also be used in the study of other energetic materials.

Keywords: impact-induced initiation; thresholds; PTFE/Al; impact experiments

(责任编辑 王易难)