

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПОЛИКАРБОНАТА МАРКИ ПК-ЭТ-3,5 ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Мытарев М.С., Павленко А.В., Малюгина С.Н., Майорова А.С., Казаков Д.Н.,
Мокрушин С.С.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

*ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ» Челябинская обл.*

sfti@mephi.ru, dep5@vniitf.ru

Аннотация: Проведено изучение таких динамических свойств поликарбоната марки ПК-ЭТ-3,5, как откольная прочность и коэффициент вязкости при скоростях деформации в волне сжатия от 10^6 до $6,8 \cdot 10^7$ с⁻¹. Давления ударного сжатия составляли от 0,33 до 2,18 ГПа. Исследования проведены на легкогазовой пушке [1], скорость ударника варьировали от 194 до 841 м/с. Скорость соударения, его плоскостность контролировали с помощью электроконтактных датчиков (ЭКД). Данные по поведению материала при прохождении по нему ударных волн сжатия, волн разрежения, при его разрушении зарегистрированы с помощью интерферометрических комплексов VISAR [2] и PDV [3].

Ключевые слова: скорость свободной поверхности, VISAR, PDV, легкогазовая пушка, откольная прочность, вязкость

INVESTIGATION OF BEHAVIOR OF POLYCARBONATE ПК-ЭТ-3,5 DURING SHOCK IMPACT

Mytarev M.S., Pavlenko A.V., Maluygina S.N., Majorova A.S., Kazakov D.N.,
Mokrushin S.S.

*FSUE RFNC-VNIITF named after Acad. E.I.Zababakhin, Snezhinsk, Chelyabinsk Oblast
Snezhinsk Physics Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Chelyabinsk Oblast*

Abstract: Such dynamic properties of mark of polycarbonate ПК-ЭТ-3,5 as spall strength and viscosity ratio were studied at deformation rates in compression wave from 10^6 to $6,8 \cdot 10^7$ s⁻¹. The pressure in shock wave changed from 0,33 to 2,18 GPa. Investigations were carried on light gas gun [1], velocity of flyer was varied from 194 to 841 m/s. Velocity of impacting and its flatness were controlled by electrocontact sensors. Information about material's reaction, when shock compression waves, waves of depression propagate in the specimen or when it breaks, were fixed with the help of interferometric systems VISAR [2] and PDV [3].

В составе конструкций, которые потенциально могут быть подвержены ударному или взрывному воздействию, используются различные пластмассы. Для этих материалов характерна высокая пластичность. В данной работе представлены результаты исследований поликарбоната марки ПК-ЭТ-3,5. Диагностика ударно-волнового нагружения в лабораторных условиях заключается в измерении скорости свободной поверхности образца, которая содержит в себе информацию о реакции материала на воздействие. Полученные экспериментальные данные представлены на рисунке 1.

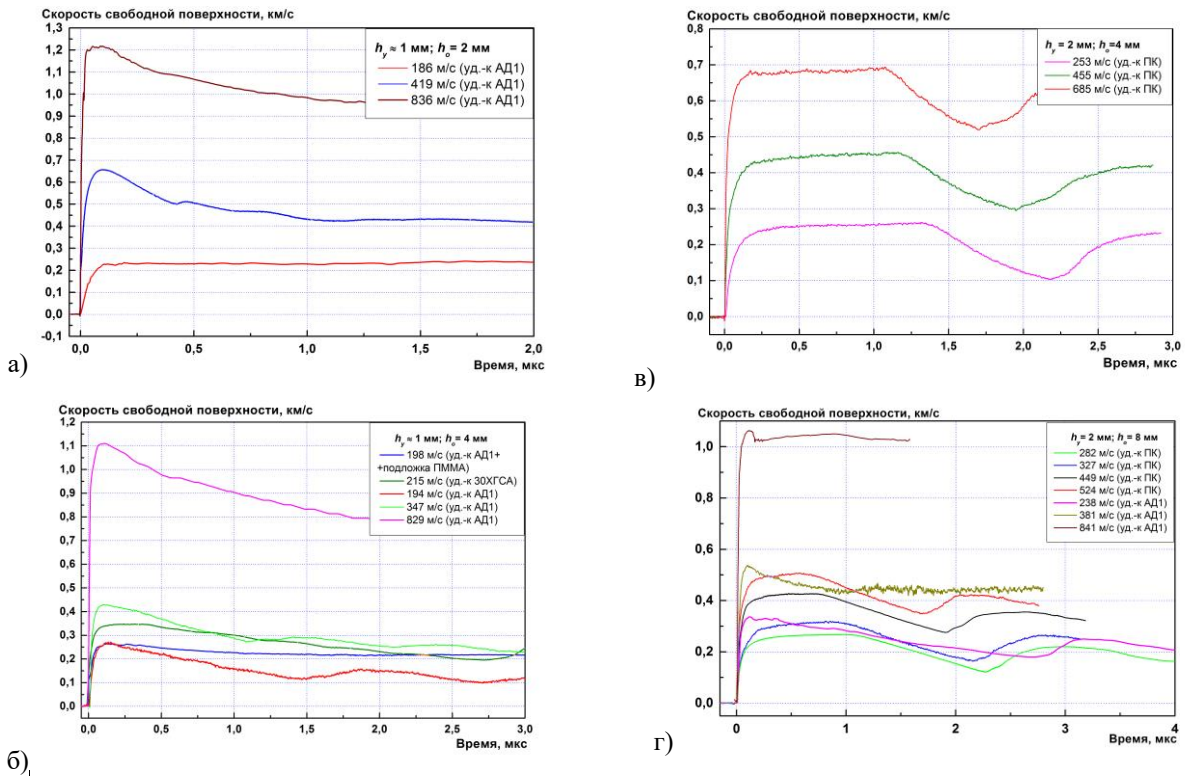


Рис. 1 – Профили скорости свободной поверхности образцов из поликарбоната марки ПК-ЭТ-3,5 с толщами ударник/образец: а) 1/2 мм, б) 1/4 мм, в) 2/4 мм, г) 2/8 мм

При исследовании свойств поликарбоната марки ПК-ЭТ-3,5 были зафиксированы признаки изменения скоростей звука под воздействием ударных волн. Наличие упругих волн в начале откольного импульса говорит о сохранении некоторой упругости поликарбоната в процессе ударного сжатия и последующего растяжения.

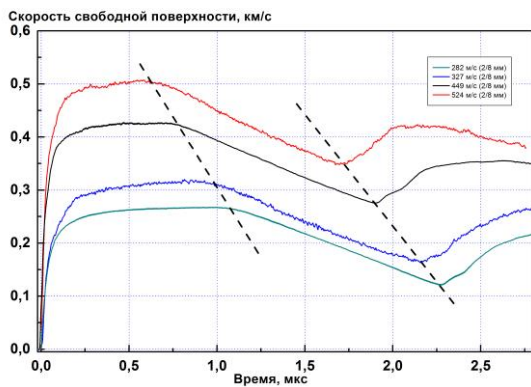


Рис. 2 – Зависимость времени выхода волн растяжения и откольных импульсов на свободную поверхность от интенсивности нагружения

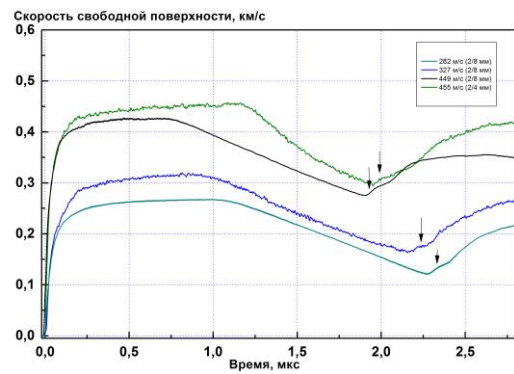


Рис. 3 – Наличие упругих предвестников откольного импульса

Зависимость откольной прочности поликарбоната от скорости деформирования описывается формулой (1):

$$\sigma^* = 0,06 \cdot \dot{\epsilon}^{0,113} \quad (1)$$

Среднее значение откольной прочности $\langle \sigma^* \rangle$ во всех экспериментах с поликарбонатом составило 0,195 ГПа.

В ходе наших исследований была рассмотрена вязкость материалов. Параметр вязкости играет существенную роль при высокоскоростной деформации. Полученные результаты указывают на значительное отклонение в соотношении Свегла-Грейди, которое выполняется для большого спектра материалов, как металлов, так и неметаллов. Данное соотношение

устанавливает биквадратную связь между скоростью сжатия и ударным давлением [4]. Для поликарбоната ПК-ЭТ-3,5 это оказалось не справедливо.

В ходе изучения вязкости была построена зависимость максимальной скорости деформирования в пластической волне от пикового реализованного давления в поликарбонате ПК-ЭТ-3,5, приведённая на рисунке 5.

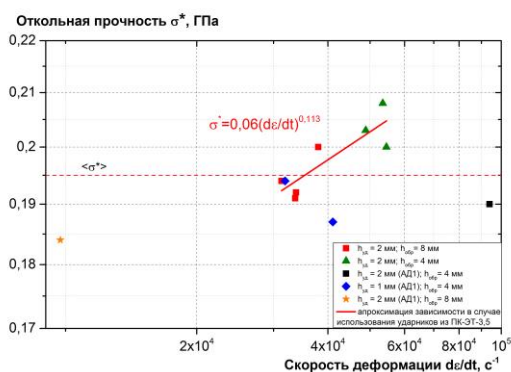


Рис. 4 – Зависимость откольной прочности от скорости деформирования для различных серий экспериментов с поликарбонатом ПК-ЭТ-3,5

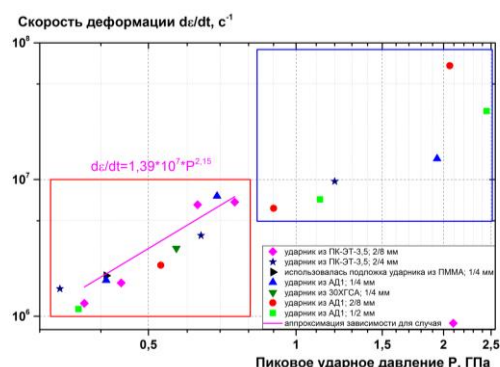


Рис. 5 – Зависимость скорости деформации от пикового ударного давления. Красным квадратом обозначен участок степенной зависимости. Синим – участок с высокой погрешностью вычисления скорости деформирования

Зависимость аппроксимируется вплоть до скоростей деформации $\approx 10^7 \text{ c}^{-1}$ степенной функцией:

$$\dot{\epsilon} = 1,39 \cdot 10^7 P^{2,15} \quad (2)$$

Для сравнения, в работе [4] были получены следующие зависимости:

$$\dot{\epsilon} = 2,7 \cdot 10^3 P^{3,43} \text{ (титан)} [4] \quad (3)$$

$$\dot{\epsilon} = 4,6 \cdot 10^7 P^{2,1} \text{ (глицерин)} [4]$$

Степень в формуле (2) говорит о поведении коэффициента вязкости в поликарбонате ПК-ЭТ-3,5, отличающемся от поведения в металле (титане) и близкому к поведению в жидкости (глицерине).

Использованные источники:

1. Павленко А.В. Одноступенчатая газовая пушка для изучения динамических свойств конструкционных материалов в диапазоне до 40 ГПа / А.В. Павленко, С.И. Балабин, О.Е. Козелков, Д.Н. Казаков // Приборы и техника эксперимента. – №4, – 2013. – с. 122-124.
2. Патент № 2638582 Российская Федерация, МПК G01В 9/02 (2006.01). Двухканальная интерферометрическая система для исследования ударно-волновых процессов: № 2016139954: заявл. 10.10.2016: опубл. 14.12.2017 / Малюгина С.Н., Павленко А.В.; заявитель РФЯЦ-ВНИИТФ. – 2 с.; ил. – Текст непосредственный.
3. Мокрушин С.С. Интерферометр с частотно-временным уплотнением для исследования свойств материалов в ударно-волновых экспериментах / С.С. Мокрушин, Н.Б. Аникин, С.Н. Малюгина [и др.] // Приборы и техника эксперимента. – 2014. – №4. – с. 107.
4. Kanel, G.I. Shock wave rise time and the viscosity of liquids and solids / G.I. Kanel, A.S. Savinykh, G.V. Garkushin [et al.] // In: Altenbach H., Goldstein R., Murashkin E. Mechanics for materials and Technologies. Advanced Structured Materials, vol. 46, Springer, Cham.