

## О КОЛИЧЕСТВЕ РАДИАЛЬНЫХ ТРЕЩИН В ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТЕ ПРИ ВЗРЫВЕ СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА

УДК 624.131.5

Ю. И. Войтенко

Институт геофизики АН Украины,  
252054 Киев

*Обобщены известные данные о количестве магистральных радиальных трещин, образующихся в твердой крупноразрушающейся среде (ПММА) при слабых и сильных взрывах скважинных зарядов. Получена зависимость количества радиальных трещин от скорости нагружения стенок скважины.*

Известно, что с увеличением скорости нагружения  $\dot{p}$  при горении или взрыве заряда в скважине количество радиальных трещин, образующихся в твердой среде, растет [1–3]. При импульсном гидроразрыве сухого и водонасыщенного песчаника в диапазоне скоростей нагружения  $1 \leq \dot{p} \leq 10^2$  ГПа/с количество трещин  $N = 2–12$  [3]. В настоящей работе имеющиеся в литературе данные по разрушению объемных моделей полиметилметакрилата (ПММА) сильным [4, 5] и слабым [1, 2] взрывами объединены в единую зависимость  $N(\dot{p})$ . Имеющиеся данные дополнены результатами специально поставленных опытов, которые описаны ниже.

Опыты проводились в цилиндрических образцах диаметром 0,220, высотой 0,080 и 0,140 м. В качестве взрывчатого вещества применяли удлиненные заряды гексогена в медной оболочке радиусом  $r_0 = 10^{-3}$  м, плотностью  $1,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> при скорости детонации  $D = 7500$  м/с.

Разрушение образцов ПММА взрывами удлиненных зарядов радиусом  $(0,4–1)r_c$  ( $r_c$  — радиус скважины) исследовано достаточно полно в [3, 4]. Поэтому в описанных ниже опытах соотношение  $r_0/r_c$  бралось меньшим (0,05–0,055). Эксперименты проводились с тремя веществами, которые заполняли скважину: воздухом, песком и водой. Это позволяло регулировать скорость нагружения на стенки скважины при одном и том же соотношении  $r_0/r_c$ .

На рис. 1,а показаны схема экспериментов и расположение датчиков  $D_1, D_2$  на образце 3 при взрыве заряда 2 в водонаполненной скважине 1, на рис. 1,б — при взрыве заряда 2 в скважине 1, заполненной песком или воздухом. Направление развития трещин в опытах по схеме, показанной на рис. 1,б, задавалось водонаполненными промежутками 4 в оболочках из бронзовой фольги.

В опытах, проводимых по схеме рис. 1,а, образовывалось 8–9 радиальных трещин глубиной 22–50 мм, а по схеме рис. 1,б — 2–3 трещины глубиной 35–45 мм. Для оценки среднего давления  $p_c$  на стенки скважины к моменту разрушения образца использовались законы затухания взрывных волн в воде [6] и песке [7], известная формула для расчета параметров волн на границе раздела сред, а также изоэнтропа расширения продуктов детонации.

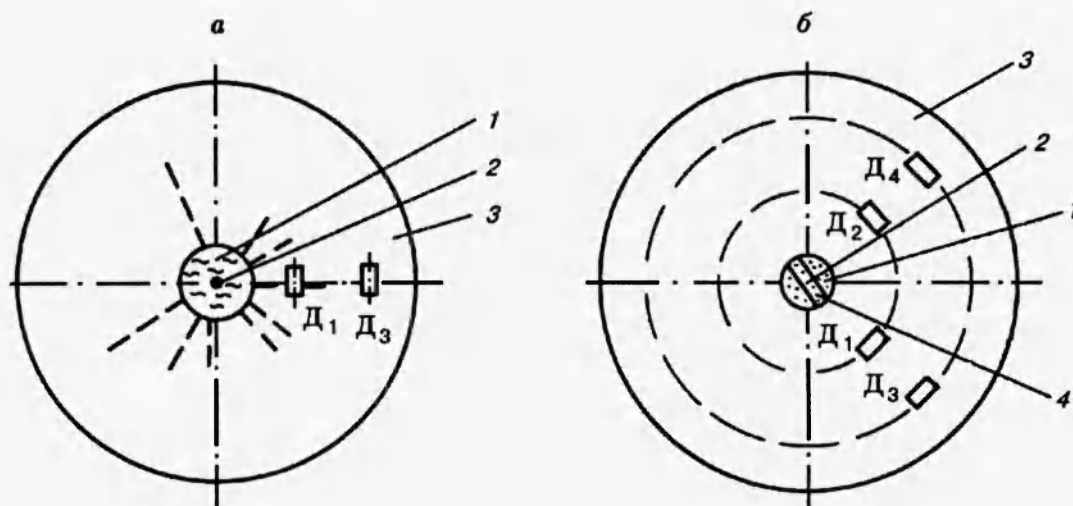
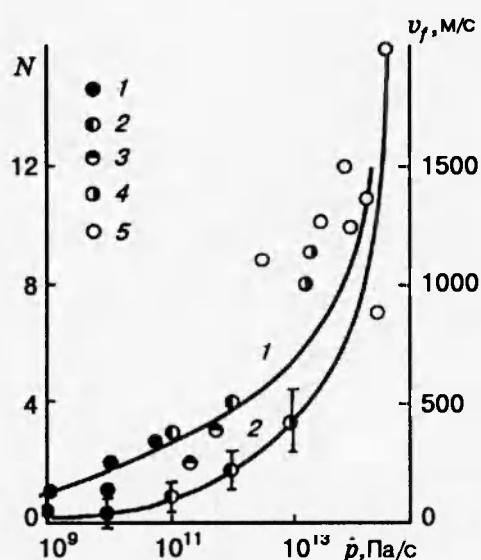


Рис. 1. Схемы экспериментов

Рис. 2. Зависимости  $N(\dot{p})$  (кривая 1) и  $v_f(\dot{p})$  (кривая 2) по результатам опытов из таблицы (номер точки соответствует серии опытов)

По осциллограммам деформаций определяли время подхода трещины к датчику  $D_1$   $t_f = \Delta r_1 / v_f$ , где  $\Delta r_1$  — расстояние до ближнего датчика деформации,  $v_f = 300\text{--}500$  м/с [8] — скорость движения трещины. Время задержки (начала разрушения) оценивали по формуле  $t_c = \tau + t_1 - t_f$ , где  $t_1$  — время распространения упругой волны на участке  $\Delta r_1$ ,  $\tau$  — длительность волны деформации. Средняя скорость нагружения  $\dot{p}$  определялась как отношение  $p_c / t_c$ . Аналогично оценивалась средняя скорость нагружения для условий опытов, описанных в [4], где время задержки разрушения определено по данным скоростной фотосъемки.

Перечисленные данные, в том числе по импульсному газо- и гидроразрыву ПММА [1, 2], сведены в таблицу. На рис. 2 показана зависимость количества радиальных трещин  $N$ , образующихся при камуфлетных и полукамуфлетных взрывах, от скорости нагружения стенок скважины, построенная с учетом всех перечисленных источников и ре-

**Результаты экспериментального исследования разрушения ПММА  
при различных условиях нагружения**

Серия опытов	Условия проведения экспериментов	$p_c$ , МПа	$t_c$ , мкс	$\dot{p}$ , Па/с	$N$	$v_f$ , м/с
1	Копровое нагружение жидкости в скважине	20–28	$(2-7) \cdot 10^3$	$10^8-10^{10}$	1–2	4–50
2	Камуфлетный взрыв газовой смеси	25–120	40–300	$10^{10}-10^{12}$	1–5	100–250
3	Взрыв заряда в песчаной оболочке	23–45	60–70	$3 \cdot 10^{11}-8 \cdot 10^{11}$	2–3	—
4	Взрыв заряда в водо-наполненной скважине	600–750	20–21	$(3-3,7) \cdot 10^{13}$	8–9	300–500 [8]
5	Взрыв заряда с воздушным радиальным зазором*	100–10 <sup>4</sup>	12–21,6 [4]	$0,5(10^{13}-10^{15})$	7–12	2000 [5]

\*При  $\dot{p} \approx 10^{15}$  Па/с,  $v_f = 2000$  м/с воздушный зазор отсутствует.

зультатов исследований. Ее форма близка к параболической, так же как и форма зависимости  $v_f(\dot{p})$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Войтенко Ю. И., Михалюк А. В. Трецинообразование в призабойных зонах скважин при взрывах газовых смесей // Докл. АН Украины. 1994. № 12. С. 103–106.
2. Вовк А. А., Войтенко Ю. И., Михалюк А. В. Импульсный гидроразрыв полиметилметакрилата // ПМТФ. 1986. № 5. С. 135–141.
3. Реутов В. А. Гидравлический разрыв пласта // Итоги науки и техники. Сер. Механика деформируемого твердого тела. М.: ВИНТИ, 1989. Т. 20. С. 169–177.
4. Разрушение горных пород энергией взрыва / Под ред. Э. И. Ефремова. Киев: Наук. думка, 1987.
5. Адушкин В. В., Сухотин Н. П. О разрушении твердой среды взрывом // ПМТФ. 1961. № 4. С. 94–101.
6. Стебновский С. В., Чернобаев Н. Н. Начальная стадия подводного взрыва цилиндрических зарядов со слоеными оболочками // Физика горения и взрыва. 1982. Т. 18, № 3. С. 108–112.
7. Бойван В. С. Закономерности деформирования однородных и слоистых водонасыщенных грунтов при камуфлетных взрывах: Дис... канд. техн. наук. Киев, 1990.
8. Степанов Г. В., Бедий И. Н., Маковой В. А. Некоторые особенности кинетики быстрых трещин в ПММА // Пробл. прочности. 1988. № 8. С. 32–36.

Поступила в редакцию 10/V 1995 г.