

Таблица 3

Добавка	$\alpha$ , %	$d_{-}$ , мм	$d_{+}$ , мм	$D$ , м/с	Добавка	$\alpha$ , %	$d_{-}$ , мм	$d_{+}$ , мм	$D$ , м/с	Добавка	$\alpha$ , %	$d_{-}$ , мм	$d_{+}$ , мм	$D$ , м/с
Перхлорат аммония	0	8	9	4300	Перхлорат калия	5	6	7	4000	Хлористый калий	5	8	9	4000
	5	6	7			10	6	7	3900		10	9	10	3700
	10	6	7			15	6	7	3900		15	11	12	3500
	15	6	7			20	5	6	3600		20	13	15	3300
	20	6	7			25	4	5	3300		30	16	18	2500
	30	6	7			30	4	5	3300		40	18	20	2100
	40	5	6			35	5	6	3400		50	25	30	2000
	50	5	6			40	5	6	3200					
	60	4	5			45	5	6	3100					
	70	5	6			50	5	6	2900					
	80	5	6			55	4	5	2300					
	90	6	8			60	4	5	2200					
	95	9	10			65	5	6	2000					
						70	6	7	2400					
			75	8	10	2000								
			80	15	—									

онноспособными. Различие между перхлоратами аммония и калия в смесях с тротилом наблюдается лишь при большом содержании окислителя (70%). В этом случае смеси с невзрывчатым окислителем имеют более высокий критический диаметр. Обращает на себя внимание и тот факт, что смесь с ПХА, содержащая всего 5% тротила, по реакционной способности сравнима с чистым тротилом. Для сравнения на рис. 3 приведены опытные данные смеси тротила с хлористым калием той же дисперсности и плотности, что и смеси с окислителем. Добавление KCl к тротилу приводит к увеличению критического диаметра (см. рис. 3, 1).

Таким образом, в результате проведенных исследований получены два вида зависимости критического диаметра от состава смеси. По-видимому, увеличение детонационной чувствительности, т. е. уменьшение критического диаметра смеси по сравнению с критическими диаметрами составляющих компонентов, можно объяснить существенной ролью химического взаимодействия продуктов разложения компонентов в критических условиях. Это подтверждается и опытными данными по смеси тротила с перхлоратом калия.

Поступила в редакцию  
12/II 1979

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Н. Акимова, Л. И. Стесик. ФГВ, 1976, 12, 3, 247.
2. D. Pricl, A. R. Clairmont, J. O. Erkman. Comb. und Flame, 1974, 17, 3, 323.

### К ТЕОРИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТОНКИЙ ПЛАСТИЧЕСКИЙ СЛОЙ УДАРОМ

А. П. Амосов, В. А. Мишина  
(Куйбышев)

В работе [1] предложена приближенная теория воздействия на тонкий пластический слой (диск) ВВ ударом в условиях копровых испытаний в приборе № 2 (Н. А. Холевао) [2]. Эта теория названа теорией

«квазихолостого» удара, так как она основывается на теории «холостого» удара Ю. Б. Харитона [3]. На ее основе можно рассчитывать параметры ударного воздействия (давление, продолжительность, конечную толщину слоя) и разогрев диска как за счет внутреннего пластического тепловыделения, так и за счет внешнего контактного трения об ограничивающие твердые поверхности ударника. В настоящей работе более детально исследуется контактный разогрев слоя при ударе и теория «квазихолостого» удара проверяется путем численного решения задачи на ЭВМ.

Определенный в [1] контактный разогрев диска является фактически оценкой разогрева снизу. Действительно, контактный разогрев находился бы точно по формулам, приведенным в [1], если бы радиальная скорость движения частиц слоя  $u$  изменялась во времени одинаково для всех частиц, контактирующих с ограничивающими поверхностями, т. е. величина  $u$  не зависела от радиальной координаты слоя  $r$ . Но данная скорость нарастает при увеличении координаты  $r$ , так как она определяется выражением  $u = -vr/2h$ , где  $v$  — скорость ударника,  $h$  — толщина диска [1]. В силу этого в один и тот же момент времени контактный разогрев частиц различен, он тем больше, чем ближе частица к периферии ударника, и частица при своем движении вступает в контакт с более нагретыми участками ограничивающей поверхности. Поэтому, оценивая по формулам [1] контактный разогрев частиц диска с начальной координатой  $r_1$ , получаем оценку разогрева снизу. Обозначим эту величину разогрева  $\Delta T_n = T_n - T_0$ , где  $T_0$  — начальная температура диска.

Для нахождения оценки сверху положим  $r = R$  в формуле контактного разогрева [1], где  $R$  — радиус ударника. При этом фактически рассматривается разогрев на периферии ударника, где скорость скольжения максимальная. Этот разогрев определяется в безразмерном виде следующей формулой:

$$\vartheta_b = \int_0^{\tau} \operatorname{ctg} [\pi(\gamma + \tau - \psi)] \frac{d\psi}{\sqrt{\psi}}.$$

Здесь безразмерные переменные и параметры:  $\vartheta_b = 4(T_b - T_0) \sqrt{\lambda c \rho t_{\max}}$ ;  $\alpha_{\tau} \tau_s \sqrt{2\pi}$ ;  $\tau = (t - t_1)/2t_{\max}$ ;  $\gamma = 1/\pi \cdot \arcsin(p_1/p_{\max})$ ; размерные величины:  $\Delta T_b = T_b - T_0$  — оценка контактного разогрева сверху;  $t$  — время;  $t_1$  и  $p_1$  — соответственно время и давление перехода диска из упругого состояния в пластическое;  $t_{\max}$  — время достижения максимального давления  $p_{\max}$ ;  $\tau_s$  — предел текучести материала диска на сдвиг;  $\sqrt{\lambda c \rho}$  и  $\sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1}$  — коэффициенты системы теплового насыщения материала диска и материала ударника;  $\alpha_{\tau} = (1 + \sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1 / \lambda c \rho})^{-1}$  — коэффициент распределения тепловых потоков.

Величина  $\vartheta_b$  легко определяется численно. Максимальный контактный разогрев  $\vartheta_{b \max}$  достигается в промежуточный момент  $\tau_{b \max}$  стадии сжатия диска. Зависимость этих величин от параметра  $\gamma$  в области  $0,025 \leq \gamma \leq 0,4$  можно аппроксимировать формулами.

$$\vartheta_{b \max} = 1,67(0,5 - \gamma)^{1,4} \gamma^{-0,4}, \quad \tau_{b \max} = 2,07(0,5 - \gamma)^{1,37} \gamma^{0,71}.$$

Для оценки сверху размерного контактного разогрева получим следующее выражение:

$$\Delta T_{b \max} = T_b - T_0 = 1,05 \alpha_{\tau} \tau_s R \sqrt{\lambda c \rho t_{\max}} (0,5 - \gamma)^{1,4} \gamma^{-0,4}.$$

Действительное значение максимального контактного разогрева заключено между величинами  $\Delta T_{n \max}$  и  $\Delta T_{b \max}$ , где  $\Delta T_{n \max}$  определяется формулой (11) работы [1].

Более точно сжатие тонкого вязкопластичного диска при ударе описывается системой дифференциальных уравнений (10), приведенной в

$v_0$ , м/с	$\frac{h_0 \cdot 10^{-6}}{H/M}$	$p_{max}$ , МПа	$t_{max}$ , мс	$\ln x_K$	$T_{II max}^*$ , К	$T_{H max}^*$ , К	$T_{в max}$ , К
1,0	130	171/205	0,89/0,74	0,57/0,477	20/17	66/63	74/67
1,5	150	321/339	0,877/0,833	1,2/1,064	42/37	142/126	163/145
2,0	150	568/568	0,82/0,79	1,76/1,676	62/59	223/195	258/242
3,0	160	1160/1194	0,691/0,673	2,48/2,472	87/87	363/305	419/401

работе [4]. Воспользуемся этой системой в частном случае  $\mu = 0$  ( $\mu$  — вязкость материала диска) для проверки теории «квазихолостого» удара по идеально пластическому диску. Контактный разогрев диска в [4] не рассматривается, поэтому запишем формулы, по которым следует находить соответственно нижнюю и верхнюю оценку контактного разогрева диска при решении этой системы:

$$\Delta T_H = T_H - T_0 = \frac{\alpha_T \tau_s \xi_1 v_0 R}{2h_0 \sqrt{\pi \lambda c \rho}} \int_0^{\tau} f_3(\tau - \psi) \frac{d\psi}{\sqrt{\psi}},$$

$$\Delta T_B = T_B - T_0 = \frac{\alpha_T \tau_s v_0 R}{2h_0 \sqrt{\pi \lambda c \rho}} \int_0^{\tau} f_4(\tau - \psi) \frac{d\psi}{\sqrt{\psi}}, \quad \xi_1 = \frac{r_1}{R},$$

$$f_3(\tau) = xy \exp\left(\frac{1}{2} \int_0^{\tau} xy d\tau\right), \quad f_4(\tau) = xy, \quad \tau = \frac{v_0 t}{h_0}, \quad x = \frac{h_0}{h}, \quad j = \frac{v}{v_0},$$

где  $h_0$  — начальная толщина диска;  $v_0$  — начальная скорость ударника. Обозначения величин аналогичны принятым в работе [4].

Сравнение параметров выдавливания и разогрева пластического слоя при ударе, рассчитанных по приближенной теории «квазихолостого» удара и найденных путем численного решения более точной задачи на ЭВМ, показывает, что результаты расчета параметров в обоих случаях находятся в хорошем соответствии. Некоторые из этих результатов приведены в таблице, где первые числа соответствуют расчету по приближенной теории, а вторые — результаты численного решения более точной задачи. (Отметим, что при численном решении задачи величина  $t_{max}$  определяется как время от начала пластической деформации диска до достижения максимального давления  $p_{max}$ , поэтому в качестве величины  $t_{max}$  в строке приближенной теории приводится не величина  $t_{max} = h_0/v + t_x/2$  [1], в которую входит и длительность упругой стадии  $t_1$ , а разность  $t_{max} - t_1$ ). В расчетах принимались следующие значения исходных параметров, соответствующие воздействию ударом на копре по свинцовому диску [4]:  $M = 10$  кг,  $R = 0,05$  м,  $h_0 = 0,001$  м,  $c_p = 126$  кДж/(кг·К),  $\rho = 11,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $\alpha_T = 0,35$ ,  $\sqrt{\lambda c \rho} = 70$  Дж/(м·с<sup>1/2</sup>·К),  $\tau_s = 29$  МПа.

Как видно из таблицы, для всех рассмотренных случаев значение контактного разогрева значительно больше пластического. Отсюда следует, что учет контактного трения и разогрева является обязательным при исследовании деформации и разогрева пластических материалов при ударе и что контактное трение может играть решающую роль в инициировании пластических ВВ ударом.

Поступила в редакцию  
28/II 1979

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Амосов, С. М. Муратов. Докл. АН СССР, 1977, 234, 5.
2. Г. Т. Афанасьев, В. К. Боболев. Иницирование твердых ВВ ударом. М., Наука, 1968.
3. Ю. Б. Харитон. — В сб. статей по теории ВВ под ред. К. К. Андреева, Ю. Б. Харитона. М., Оборонгиз, 1940.
4. В. К. Боболев, В. Л. Боднева, А. В. Дубовик. ПМТФ, 1975, 5.