

ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМЕРОВ КРАТЕРА ОТ ТВЕРДОСТИ МИШЕНИ

Ю. И. Фадеев (Новосибирск)

Литература по высокоскоростному удару изобилует попытками связать размеры кратера в полубесконечной пластической мишени с механическими параметрами мишени и ударяющего бойка. При этом прочность материала мишени обычно характеризуется твердостью H , измеренной в статических условиях по методу Бриггса. Так, Эйхельбергер и Геринг [1] предложили для определения объема кратера V формулу

$$V = \frac{E \cos \alpha}{2.62H} \quad (1)$$

Здесь E — кинетическая энергия бойка, α — угол падения бойка на мишень. Фукс [2], основываясь на упрощенных представлениях о механизме течения после удара, вывел формулу для глубины кратера h . В случае, когда боек — шар радиуса r с плотностью ρ_0 , она принимает вид

$$h = 4r \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right) \left[\ln \left(1 + v \sqrt{\frac{\rho}{3H}} \right) - \frac{v}{v + \sqrt{\frac{\rho}{3H}}} \right] \quad (2)$$

Здесь v — скорость бойка, ρ — плотность мишени. Еще один вариант логарифмической формулы был предложен Германом и Джонсом, которые произвели наиболее полную обработку накопленных экспериментальных данных по высокоскоростному удару. Формула Германа — Джонса для шарообразного бойка принимает вид

$$h = 1.2 \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{2/3} r \ln \left[1 + \frac{\rho_0^{2/3} \rho^{1/3} v^2}{4H} \right] \quad (3)$$

Результаты Германа и Джонса, как наиболее надежные из имеющихся, были использованы Уипплом в его последней попытке [3] пересмотра оценок метеорной опасности.

Таблица

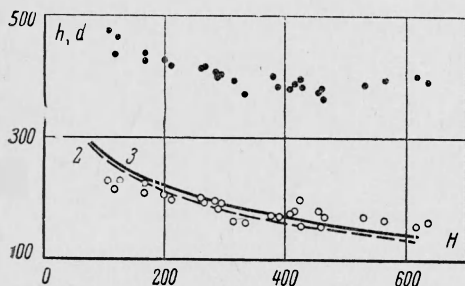
	$H \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$	$r, \text{мм}$	$d, \text{мм}$		$H \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$	$r, \text{мм}$	$d, \text{мм}$	
Ст. 3	407	228	474	У 10	261	201	413	
	127	228	463		268	193	415	
	38ХА	167	224		425	284	194	408
		168	211		438	288	186	397
		211	199		418	292	182	400
		407	176		384	381	173	401
425	197	396	635	159	391			
Ст. 45	200	208	426	АД 1	21	625	654	
	316	162	392	АМГ 3	43	555	558	
		333	159	370	Д 16	68	539	548
	414	181	388		76	504	541	
	456	178	375		81	520	539	
	460	156	381		82	526	558	
	463	171	362		84	529	514	
	564	165	394		100	525	526	
У 8	117	214	434		108	501	515	
	387	171	383		116	491	502	
	428	155	382		130	479	484	
	530	170	385					
	617	154	400					

Время формирования кратера обычно на несколько порядков меньше времени испытания материала на твердость по Бриггсу, поэтому необоснованное использование статической величины H для характеристики динамических свойств материала может привести к существенным ошибкам.

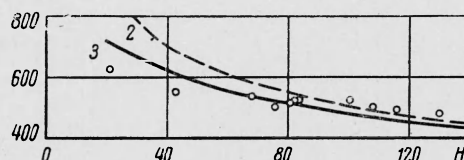
Авторы приведенных формул в качестве обоснования ссылаются на результаты экспериментов, утверждая, что «расчеты хорошо коррелируются с экспериментом». Представлялось интересным проверить эти утверждения и оценить степень надеж-

ности соответствующих расчетов. Настоящая работа имела в виду эту цель наряду с прямым определением влияния H на размеры кратера.

Проведена серия опытов, в каждом из которых некоторое количество нихромовых шариков диаметром 160 ± 5 мк разгонялось продуктами взрыва до скорости 4050 ± 180 м/сек и попадало в мишень из исследуемого материала. Опыты проводились в вакууме, чтобы избежать торможения частиц воздухом. Размеры мишеней позволяли считать их бесконечно большими. Условия разгона выдерживались постоянными, так что скорость и размеры частиц не менялись от опыта к опыту. На каждой мишени выбирался для измерений участок, содержащий 20—25 кратеров; измерялись глубина h и диаметр d кратеров по отношению к уровню начальной поверхности, затем находились усредненные значения h и d для данного образца. Наличием в кратере остатков бойка можно было пренебречь, так как, сог-



Фиг. 1



Фиг. 2

ласно [4], в кратере остается 3—8% материала бойка, что меняет объем кратера не более чем на 1.5%.

Исследовались несколько алюминиевых сплавов и сталей. Изменение твердости в широких пределах достигалось термообработкой (закалка с последующим отпуском). Результаты опытов для различных материалов мишени приведены в таблице и изображены на фиг. 1, 2.

На фиг. 1 нанесены глубины h (светлые точки) и диаметры d (темные точки) кратеров в стальных мишенях; на фиг. 2 — глубины кратеров в мишенях из алюминиевых сплавов.

Расчеты по формулам (2), (3) дали явно завышенные значения глубин. Оказалось, однако, что, если рассчитанные по (2) значения глубин умножить на поправочный множитель $2/3$, а по (3) — на $3/4$, то получается неплохое согласие с опытом. Исправленные таким образом расчетные графики нанесены на фиг. 1, 2 с обозначениями 2 (Фукс) и 3 (Герман — Джонс).

Для сопоставления полученных данных с (1) предполагалось, что объем кратера равен

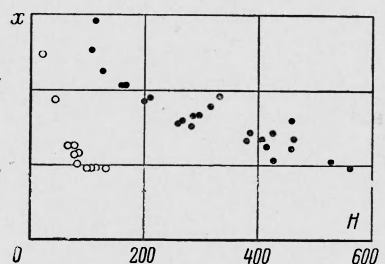
$$V = 1/6 \pi d^2 h$$

Далее, из опыта определялась величина

$$x = E / VH$$

которая, согласно [1], при нормальном ударе должна быть постоянной и равной 2.62. На фиг. 3 изображены экспериментальные зависимости $x(H)$ для стали (темные точки) и алюминиевых сплавов (светлые точки).

Причины расхождения полученных данных с расчетом по (2) и (3) неясны. Здесь могли сказаться, например, масштабный эффект (различие в размерах частиц на 1—2 порядка) и возможное уменьшение массы частиц при разгоне.



Фиг. 3

Поступила 13 V 1964

ЛИТЕРАТУРА

1. Эйхельбергер, Геринг. Влияние столкновений с метеорными телами на космические аппараты. Ракетная техника, 1962, № 10.
2. Фукс. Явления при ударе. Ракетная техника и космонавтика, 1963, т. 1, № 9.
3. Whipple F. L. On Meteoroids and Penetration. J. O. Astronaut. Sci., 1963, vol. 10, No. 3.
4. Rolsten R. F., Schmitt R. A. Hypervelocity Impact of Radioactive Projectiles into Stainless Steel and Aluminum. J. Appl. Phys., 1963, vol. 34, No. 10.