

- [1] Дороднов А.И., Козлов Н.П., Помелов Я.А. // ТВТ. 1971. Т. 9. № 3. С. 483–487.
 [2] Козырев А.В., Королев Ю.Д., Месяц Г.А. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 1. С. 58–64.
 [3] Модинос А. Авто-, термо- и вторичноэлектронная эмиссионная спектроскопия. М.: Наука, 1990. 320 с.

Институт электрофизики
Екатеринбург

Поступило в Редакцию
14 мая 1992 г.

03:05
© 1993 г.

Журнал технической физики, т. 63, в. 6, 1993

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ, ЗАДАЮЩИХ ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ К ПРОЦЕССУ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

И.И.Рыкова, Ю.А.Никулин

Процесс стационарного внедрения деформируемых ударников в преграды со скоростями 10^2 – 10^3 м/с описывается уравнениями “модифицированной гидродинамической теории” [1,2], следующими из условия равенства давлений в средней точке на поверхности контакта соударяющихся тел

$$Y + \frac{1}{2}\rho_1(v-u)^2 = \frac{1}{2}\rho_2u^2 + H_d, \quad (1)$$

где ρ_1 и ρ_2 — плотности материалов ударника и преграды, v — скорость ударника в свободном полете, u — скорость его внедрения, Y — динамический предел текучести ударника, H_d — динамическая твердость материала преграды.

Как было показано в [3], скорости v и u связаны в этом случае соотношением

$$\frac{v}{u} - 1 = \frac{1}{\alpha\lambda}, \quad (2)$$

где $\lambda = \sqrt{\rho_1/\rho_2}$,

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2(H_d - Y)}{\rho_2u^2}}} \leq 1. \quad (3)$$

Глубина внедрения ударника длиной l определяется выражением

$$L = \alpha\lambda l. \quad (4)$$

В том случае, если инерционное сопротивление соударяющихся тел намного превосходит их прочностные характеристики $(\rho_1(v-u)^2 \gg Y$,

$\rho_2 u^2 \gg H_d$), процесс в целом имеет гидродинамический характер, коэффициент α стремится к 1 и выражения (2) и (4) совпадают с выражениями, следующими из гидродинамической теории [4],

$$\frac{v}{u} - 1 = \frac{1}{\lambda}, \quad (5)$$

$$L = \lambda l. \quad (6)$$

Очевидно, что в реальных экспериментах определять границу применимости гидродинамической теории будет некоторая величина $\alpha_H < 1$, задаваемая погрешностью эксперимента.

В [3], исходя из погрешности определения деформационных характеристик процесса внедрения (глубин L), значение α_H , задающее границу применимости гидродинамической модели, было взято равным 0.8. В том случае, если однократно измеренная экспериментальная глубина внедрения ударника составляет менее 0.8 от определенной из соотношения (6), это различие следует связать с влиянием физических факторов (прочности материала).

Однако при использовании кинематических характеристик процесса внедрения $\alpha_H = 0.8$ не является обоснованной границей применимости гидродинамической теории. В этом случае величина α_H должна быть выбрана исходя из погрешности определения скорости ударника v и u .

В настоящей работе для определения величины α_H по методике, описанной в [5], измерялись скорости медной кумулятивной струи в свободном полете v и соответствующие им скорости внедрения в медные пластины u . При изменении скорости v в пределах от 8 до 5 км/с процесс внедрения заведомо имеет гидродинамический характер и отношение скоростей v/u в соответствии с (5) должно быть равно двум. Среднее значение v/u в серии из 7 опытов оказалось равным 2 ± 0.18 . Это свидетельствует о том, что любое следующее измеренное значение v/u с вероятностью около 70% попадает в этот интервал [6]. В том случае, если полученное опытным путем отношение скоростей превышает v/u , следующее из (5) более чем на 0.18, то с хорошей степенью точности это отклонение можно связать не с методической ошибкой, а считать обусловленным влиянием физических факторов. Тогда из (2) и (5) следует выражение, из которого можно найти α_H , задающее границу применимости гидродинамической модели к процессу высокоскоростного внедрения

$$0.18 \leq \frac{1 - \alpha_H}{\alpha_H \lambda} \quad (7)$$

Преграда	Металлы		Хрупкие материалы			
	Сплав В-95	Сплав ВТ-6	Карбид бора	Стекло	Карбид кремния	Корунд
ρ , г/см ³	2.7	4.5	2.4	2.5	3.0	3.8
H_d , ГПа	2.7	3.6	38.6	14.4	22.0	26.0
α_H	0.75	0.80	0.74	0.75	0.76	0.78
u_H , км/с	1.5	1.7	6.3	3.8	4.5	4.6
v_H , км/с	2.7	3.2	10.7	6.5	7.9	8.5

$$\alpha_H = \frac{1}{0.18\lambda + 1}. \quad (8)$$

Как видно из (8), полученные α_H будут разными для разных пар соударяющихся тел. В таблице приведены α_H для случая внедрения медного ударника в различные материалы, исследованные в [5,7].

Следует отметить, что при определении α_H можно пользоваться не абсолютной, а относительной ошибкой в определении v/u . Однако α_H в последнем случае оказывается несколько больше, т.е. критерий перехода от модели идеальной несжимаемой жидкости к "модифицированной гидродинамической модели" менее жесткий.

Аналогично тому, как это было сделано в [3], при известных прочностных характеристиках соударяющихся тел из (3) можно найти значение скорости внедрения u_H , определяющей границы применимости гидродинамической модели к процессу высокоскоростного внедрения,

$$u_H = \sqrt{\frac{2}{\left(\frac{1}{\alpha^2 - 1}\right)}} \sqrt{\frac{H_d - Y}{\rho_2}}. \quad (9)$$

В случае использования в качестве ударников кумулятивных струй значением Y в (1), (3) и (9) можно пренебречь. Тогда выражение (9) будет отличаться от полученного для u_H в [3] лишь множителем перед $\sqrt{H_d/\rho_2}$, который в неявном виде зависит от плотностей соударяющихся тел. Соответствующие u_H значения скорости ударника в свободном полете v_H можно найти из (2).

В таблице на основании данных, полученных в [5,7], приведены значения скоростей u_H и v_H , определяющих границы применимости гидродинамической теории для случая внедрения медной кумулятивной струи в различные материалы.

Список литературы

- [1] Tate A. // J. Mech. Phys. Solid. 1967. Vol. 15. P. 387-390.
- [2] Алексеевский В.П. // ФГВ. 1966. № 2. С. 99-106.
- [3] Златин Н.А., Кожушко А.А. // ЖТФ. 1982. Т. 52. Вып. 2. С. 330-334.
- [4] Лаврентьев М.А. // УМН. 1957. Т. 12. № 4. С. 41-56.
- [5] Златин Н.А., Кожушко А.А., Рыкова И.И. // ФГВ. 1989. № 4. С. 19-22.
- [6] Митропольский А.К. // Техника статистических вычислений. М.: Физматиз, 1961. 278 с.
- [7] Kozhusko A.A., Kykova I.I., Sinani A.B. // J. de Physique. 1991. Collogue C3. P. 117-122.

Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
21 мая 1992 г.