

3. Патент № 2112946 "Способ контроля герметичности в атмосферных условиях крупногабаритных космических аппаратов" Липняк Л. В., Олышанский В. А., Щербаков Э. В. G01M3/00, опублик. 06.10.98.

4. Патент № 2122257 "Пылеударный масс-спектрометр" Семкин Н. Д., Воронов К. Е. H01J49/40, опублик. 20.11.98, БИ №32.

УДК 629.7.017.1

Каргин Н.Т., Юмашев Л.П.

МОДЕЛЬ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ С ПЛАСТИНОЙ ПОД УГЛОМ

В основу модели высокоскоростного соударения сферической механической частицы с пластиной положено понятие сопротивления, действующего на частицу-ударник при ее проникновении в материал пластины, определяемого совместным действием сопротивления материала преграды пластическому деформированию и сопротивления, обусловленного гидродинамическим давлением на поверхность головной сферы.

Величина давления - сопротивления внедрению, действующего на поверхность взаимодействия имеет вид (рис. 1):

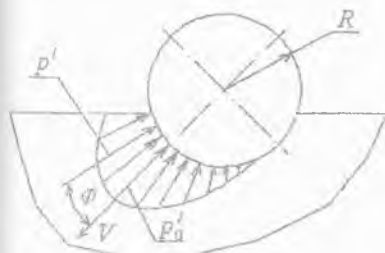


Рис. 1

$$P' = \int_{(F)} dP' = \int_R p' dF, \text{ где } p' = p'_0 \cdot \cos^2 \varphi,$$

$$p' = \left(HB \cdot K_d + \frac{\rho_n \cdot V^2}{2} \right) \cdot \cos^2 \varphi,$$

HB - твердость материала пластины по Бринеллю, ρ_n - плотность материала пластины,

V - скорость взаимодействия, $\cos^2 \varphi$ - закон распределения давления по поверхности

взаимодействия сферической частицы, K_0 - коэффициент, учитывающий динамический характер взаимодействия.

С учетом работы [1] для скоростей соударения до 10 км/сек можно задаться коэффициентом динамической твердости в виде:

$$K_0 = 1 + \sqrt{(\bar{V} \cdot \bar{\rho}_n)},$$

где $\bar{V} = \frac{V}{V_{**}}$, $\bar{\rho}_n = \frac{\rho_n}{\rho_0}$, V_{**} - скорость звука в материале пластины, ρ_0 - плотность материала механической частицы.

Связав сферическую частицу - ударник и пластину соответственно с подвижной и неподвижной системами координат и выделив элементарную площадку на поверхности взаимодействия, определим сопротивление внедрению (рис.2)

$$dP' = p' \cdot R^2 \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi \cdot d\eta,$$

где η - угловой коэффициент площади поверхности взаимодействия в плоскости сечения, параллельной осям координат Y_{III} , Z_{III} .

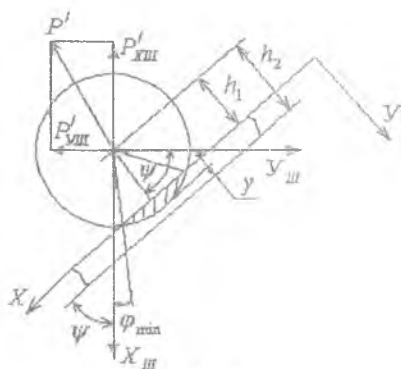


Рис.2

Тогда составляющие силы сопротивления по осям подвижной системы координат:

$$P'_{XIII} = 2 \cdot p'_0 R^2 \int_{\varphi_{\min}}^{\varphi_{\max}} \cos^3 \varphi \cdot \sin \varphi \cdot \arccos \left(\frac{1}{\sin \varphi \cdot \cos \psi} \left(\frac{h}{R} - \cos \varphi \cdot \sin \psi \right) \right) d\varphi = 2 \cdot p'_0 R^2 \cdot J_1, \quad (1)$$

$$P'_{y_{ш}} = 2 \cdot p'_0 \cdot R^2 \int_{\varphi_{\min}}^{\varphi_{\max}} \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \varphi \sqrt{1 - \left(\frac{1}{\sin \varphi \cdot \cos \psi} \left(\frac{h}{R} - \cos \varphi \cdot \sin \psi \right) \right)^2} d\varphi = 2 \cdot p'_0 \cdot R^2 \cdot J_2. \quad (2)$$

Спроектировав значения $P'_{x_{ш}}$, $P'_{y_{ш}}$ на оси неподвижной системы координат получим,

$$\begin{cases} P'_x = 2 \cdot p'_0 \cdot R^2 \cdot j_1, \\ P'_y = 2 \cdot p'_0 \cdot R^2 \cdot j_2, \end{cases}$$

где $j_1 = J_1 \cos \psi - J_2 \sin \psi$, $j_2 = J_1 \sin \psi + J_2 \cos \psi$. (3)

В общем виде модель взаимодействия сферического ударника с преградой можно представить системой дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dV_x}{dt} &= P'_x, \\ m \frac{dV_y}{dt} &= P'_y, \\ \frac{dx}{dt} &= V_x, \\ \frac{dy}{dt} &= V_y. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Для случаев взаимодействия сферической частицы - ударника с пластиной со сквозным прбоом (рис.3) выражения (3) примут вид:

$$j_1 = j'_1 - j''_1, \quad j_2 = j'_2 - j''_2,$$

где j'_1 и j'_2 - значения выражений (3) при $h = h_1$

j''_1 и j''_2 - значение выражений (3) при $h = h_2$

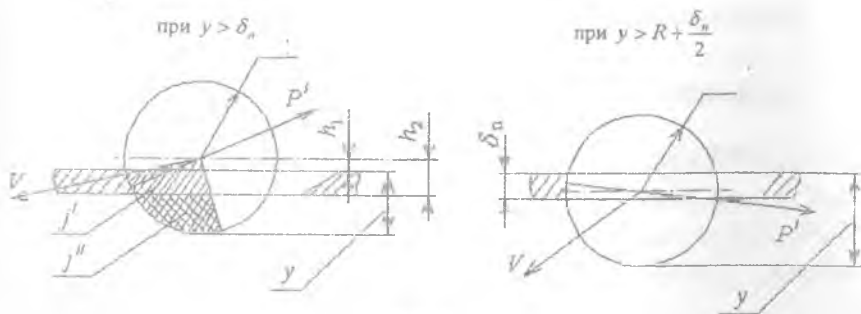


Рис. 3

Тогда систему (4) можно представить в виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dV_x}{dt} &= \frac{3 \cdot p_0'}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \rho_0} \cdot J_1, \\ \frac{dV_y}{dt} &= \frac{3 \cdot p_0'}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \rho_0} \cdot J_2, \\ \frac{dx}{dt} &= V_x, \\ \frac{dy}{dt} &= V_y. \end{aligned} \right\}$$

Результатом взаимодействия частицы с пластиной может быть либо сквозной пробой, либо рикошет на лицевой поверхности со сквозным повреждением или без сквозного повреждения пластины.

Полученная модель при входных параметрах:

$$V_{x0} = V_0 \cdot \cos \psi_0 \quad \text{и} \quad V_{y0} = V_0 \cdot \sin \psi_0,$$

где V_0 , ψ_0 - соответственно скорость и угол соударения в начальный момент взаимодействия ($t = 0$; $y = 0$), позволяет найти для случая сквозного пробоя скорость $V_{\text{вых}}$ и угол $\psi_{\text{вых}}$ выхода сферической частицы. При этом:

$$V_{x\text{вых}} = V_{\text{вых}} \cdot \cos \psi_{\text{вых}}, \quad V_{y\text{вых}} = V_{\text{вых}} \cdot \sin \psi_{\text{вых}}.$$

Для случая взаимодействия с рикошетом можно получить:

скорость рикошета

$$V_P = \sqrt{V_{x\text{вых}}^2 + V_{y\text{вых}}^2};$$

длину повреждения пластины

$$L_P = L;$$

угол рикошета частицы

$$\psi_P = \arctg \frac{V_{y\text{вых}}}{V_{x\text{вых}}}.$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. И.П. Спирихин "О природе прочности материалов при высокоскоростном нагружении", ДАН.- 1989.- № 6.