Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. И. Сафронов, Повышение скоростей метания элементов для изучения поведения материалов при импульсных воздействиях, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2004, выпуск 27, 169–172

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu297>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.92.164.108

26 апреля 2023 г., 10:28:36

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. R.Z.Valiev, R.K. Islamgaliev, I.V. Alexandrov // Progr. Mater. Sci. 2000. 45. P.103-189.
2. R.Z.Valiev, V.V. Stolyarov, V.V. Latish, G.I.Raab, T. C. Lowe, Y.T. Zhu // 9th Int.Conf. Titanium-99. V3 (2000). P. 1569-1572.
3. V.V. Stolyarov, Y.T. Zhu, T. C. Lowe, R.Z. Valiev // Mater.Sci. A303 (2001). P. 82-89.
4. Колачев Б.А. Физическое металловедение титана. М.: Металлургия, 1976. 184 с.
5. Металловедение титана и его сплавов / Под редакцией С.Г. Глазунова, Б.А. Колачева. М.: Металлургия, 1992. 357 с.

УДК 662.2

А.И. Сафронов

ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТЕЙ МЕТАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Обоснована перспективность использования новой схемы метания с присоединенным зарядом для проведения экспериментальных исследований. Приведена математическая модель процесса и схема ее численного решения. Даны результаты модельных расчетов.

Важнейшей проблемой при проведении исследований поведения материалов и прочности элементов конструкций, работающих в условиях интенсивных импульсных воздействий, является проблема получения высоких начальных скоростей ударников.

Классическая схема выстрела исчерпала свои возможности повышения начальных скоростей метания при неизменном максимальном давлении на дно канала ствола метательной установки. Решение проблемы повышения начальных скоростей метания возможно при использовании новых нетрадиционных схем метания, позволяющих управлять индикаторной диаграммой давления на метаемом элементе.

В работе моделируется функционирование схемы с присоединённым зарядом (рис.1) на основе модели двухфазной двухскоростной среды с учётом постепенного зажигания иницируемого состава. Постепенное воспламенение присоединённого заряда рассчитывается с учётом твёрдофазной локальной модели зажигания.

Систему уравнений газовой динамики для расчёта течения в области дополнительного заряда с учётом межфазного взаимодействия, постепенного иницирования и горения конденсированной фазы запишем на основе допущений [1] в неинерциальной системе координат ($O' - x'$), связанной с поршнем (рис. 1):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho s \varphi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u s \varphi) = Me(t - t_3); \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho s \varphi u) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho s \varphi u^2 + p s \varphi) = -\tau_{TP} + p \frac{\partial s \varphi}{\partial x} - \rho S \varphi \frac{dU_{II}}{dt}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho S \varphi E) + \frac{\partial}{\partial x}(S \varphi u (\rho E + p)) = MQe(t - t_3) - q_T e(t - t_3) - \rho S \varphi u \frac{dU_{II}}{dt}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{a_1 p^v}{e_B} e(t - t_3); \quad (4)$$

$$p \left(\frac{1}{\rho} - \alpha \right) = RT; \quad (5)$$

$$E = \varepsilon + \frac{u^2}{2};$$

$$\varphi = 1 - n\Lambda_0(1 - \Psi(z));$$

$$\psi(z) = \kappa_1 z(1 + \lambda_1 z);$$

$$M = SnS_{O_2} \rho_2 \sigma(\Psi) a_1 p; \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
\sigma(\Psi) &= \sqrt{1 + 4 \frac{\lambda_1}{\kappa_1} \Psi} ; \\
\tau_{TP} &= \begin{cases} C_x \rho S_{02} n \frac{|u|u}{2\varphi} S , & t < t_3, \\ C_x \rho \frac{\pi d_{0P}^2}{4} u (1-\varphi)^{2/3} \frac{|u|u}{2} S , & t \geq t_3; \end{cases} \\
Cx &= \begin{cases} \frac{24}{Re} + 0.48, & 0 < Re < 3 \cdot 10^5, \\ 0.1, & Re \geq 3 \cdot 10^5; \end{cases} \\
Re &= \frac{\rho |u| \varphi \sqrt{S_{02}}}{\mu}; \\
q_T &= \alpha_T (T_I - T_{II}) \frac{6(1-\varphi)S}{d_{0P}}; \\
\alpha_T &= \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma_S (T_I^2 + T_{II}^2)(T_I + T_{II}) + \frac{0,61 Re^{0,67} \lambda}{\sqrt{S_{02}}}. \quad (7)
\end{aligned}$$

Здесь t – время; x – координата; p – давление; ρ – плотность; ρ_2 – плотность вещества пороха; T – температура; T_0 – температура продуктов горения пороха; u – скорость газа; φ – пористость; E, ε – полная и внутренняя энергия единицы объёма газа; S – площадь поперечного сечения канала; Z – относительная толщина сгоревшего свода; M – скорость массоприхода от горения пороха; τ_{TP} – сила взаимодействия между фазами; du_I/dt – ускорение поршня; Q – тепловой эффект горения пороха; R – универсальная газовая постоянная; α – коволюм; e_B – толщина горящего свода зерна пороха; a_I, v – коэффициенты в законе скорости горения; n – концентрация; Λ_0 – начальный объём частицы пороха; $\Psi(z)$ – относительный сгоревший объём частицы пороха; κ_1, λ_1 – коэффициенты формы частиц пороха; S_{02} – начальная площадь частиц пороха; $\sigma(\psi)$ – относительная горящая поверхность частицы пороха; C_x – коэффициент сопротивления; d_{0P} – диаметр шара эквивалентного по объёму частице пороха; π – число π ; Re – число Рейнольдса; μ – вязкость газа; q_T – поток из газовой фазы в конденсированную; α_T – коэффициент теплоотдачи; T_I – температура газа; T_{II} – температура поверхности зерна пороха; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – степени черноты газа и конденсированной фазы; σ_S – постоянная Стефана -Больцмана; t_3 – момент зажигания частицы пороха; $e(x)$ – функция Хевисайда; λ – коэффициент теплопроводности газа.

Начальные условия:

$$\begin{aligned}
T(x, t_P) &= T_H, \quad P(x, t_P) = 1 \text{ атм}, \quad U(x, t_P) = 0, \\
\varphi(x, t_P) &= \varphi_H, \quad z(x, t_P) = 0,
\end{aligned} \quad (8)$$

где t_P – время открытия отверстия в поршне при достижении заданного инерциального усилия.

На правой границе ставится условие

$$U(l^I, t) = 0,$$

где l^I – длина области, занятой присоединенным зарядом.

Расчёт постепенного инициирования присоединенного заряда проводится на основе локальной твёрдофазной модели зажигания [2]:

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} + Q k_0 e^{-E/RT_2}; \quad (9)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2(x, 0, t)}{\partial y} = \alpha_T (T_{II} - T_I), \quad \frac{\partial T_2(x, \infty, t)}{\partial y} = 0, \quad T_2(x, y, t_P) = T_H, \quad (10)$$

где y – координата вглубь порохового зерна; c_2 – удельная теплоёмкость вещества пороха; T_2 – температура пороха; λ_2 – коэффициент теплопроводности пороха; α_T – коэффициент теплоотда-

чи; E - энергия активации химической реакции; Qk_0 – предэкспонент; α_T определяется по формуле (7).

Записанная система уравнений (1)-(5) с заданными соотношениями для правых частей (6), (7), начальными условиями (8) и краевыми условиями решается совместно с задачей зажигания зерна заряда (9), (10) в каждой точке расчётной области и позволяет определить картину постепенного инициирования присоединенного заряда. После определения полей температуры, скорости и давления газа, относительной части сгоревшей толщины свода зерна эта информация используется в качестве начальных условий для системы уравнений двухфазной двухскоростной среды при последующем расчёте в области II.

Записанная на основе принятых допущений система уравнений газовой динамики в канале переменного сечения (втек газа через малое отверстие, рис.2) в неинерциальной системе координат, связанной с поршнем, решается численно. После открытия отверстия в область присоединенного заряда II (за счёт отрыва шарика, перекрывающего отверстие инерционной силой) при $x_0 = 0$ (рис 2) [3] начинает поступать газ. Параметры поступающего газа определяются после расчёта распада произвольного разрыва параметров газа на скачке сечения.

На правой границе задано условие $U_0(l_0, t) = 0$, где l_0 – длина области присоединенного заряда.

Р и с. 1. Схема с присоединённым зарядом:
I - область основного заряда; II - область присоединённого заряда

Р и с. 2. Схема обеспечения задержки зажигания:
1 - поршень; 2 - запирающий элемент; 3 – центральное отверстие

Расчёт течения газа в области присоединенного заряда проводится совместно с учётом постепенного воспламенения присоединенного заряда.

Система уравнений (1)–(5) решается численно методом С.К.Годунова. Расчётные области I и II покрываются разностной сеткой с шагами h и h' соответственно. После вскрытия входного отверстия в области присоединенного заряда проводится расчёт параметров перетекающего газа и постепенного воспламенения присоединенного заряда в области II на основе решения системы уравнений (1) – (5), (9). Уравнение зажигания (9) с краевыми условиями (10) аппроксимируется по неявной схеме на неравномерной, сгущающейся к поверхности зерна, сетке и решается методом прогонки. Граничные условия аппроксимируются со вторым порядком точности по пространству.

Использование рассмотренной нетрадиционной схемы метания позволяет улучшать внутрибаллистические характеристики систем при обеспечении относительно большой задержки воспламенения присоединённого заряда.

Проведённые расчёты показали, что регулирование задержки зажигания за счёт уменьшения диаметра отверстия для перетока горячих инициирующих газов необходимого эффекта не даёт.

Результаты расчётов для модельной установки с относительной длиной канала, равной 8, при реализации заданных значений задержек зажигания приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Баллистические возможности системы с присоединённым зарядом

q , г	V , м/с	P_0 , МПа	P_1 , МПа	P_2 , МПа	$P_{эл}$, МПа	$I_{кб}$, МПа*с	$I_{кпб}$, МПа*с	T_3 , мс	F , кг*дм/кг
66	4887	1518	1243	1517	1534	0.561	0.100	1,823	$1,02 \cdot 10^6$
45	5393	1548	1287	1448	1098	0.545	0.097	1,774	$1,02 \cdot 10^6$

Здесь q - масса метаемого элемента ($C_q=1\text{г/см}^3$ для первой строки данных); P_0 - давление на дно канала; P_1 - давление на поршень слева; P_2 - давление на поршень справа; $P_{эл}$ - давление на элемент; $I_{кл}$, $I_{кп}$ - импульсы составов в I и II областях; T_3 - время задержки зажигания; F - сила состава.

В табл. 2 приведены результаты расчёта системы с относительно коротким каналом ($C_q=3\text{г/см}^3$).

Т а б л и ц а 2

Параметры системы с относительно тяжёлым элементом

q , г	V , м/с	P_0 , МПа	P_1 , МПа	P_2 , МПа	$P_{эл}$, МПа	$I_{кл}$, МПа*с	$I_{кп}$, МПа*с	T_3 , мс	F , кг*дм/кг
71	2455	458	402	833	1033	0,407	0,146	2,107	$1,02 \cdot 10^6$

По сравнению с классической схемой метания выигрыш в начальной скорости по данным табл. 2 составляет 29%, что говорит о перспективности использования присоединенного заряда для обеспечения повышенных скоростей метания элементов. Проведенные ранее исследования показали, что использование присоединенного заряда обеспечивает достижение повышенных скоростей метания без увеличения максимального давления в камере метательной системы по сравнению с классической схемой.

Таким образом, в работе обоснована перспективность использования схемы метания с присоединённым зарядом для проведения экспериментальных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. И.Г.Русяк, В.М.Ушаков. Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах. Екатеринбург: УрО РАН, 2001, 259 с.
2. В.Н.Вилонев. Теория зажигания конденсированных веществ. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1984. 189с.
3. А.И.Сафронов. Патент 9061. Патрон многосекционный. 95115246/20. 16.01.99. Бюлл. №1. МКИ F42B7/00.

УДК 669.018.569.12.765

А.П. Семин, А.М. Глезер, В.Е. Громов, С.В. Коновалов

ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ СПЛАВОВ

Исследовано положительное влияние микролегирувания небольших добавок (0,5-2,0 ат.%) алюминия и меди на механические свойства и технологичность сплавов системы Fe-Ni-Cr-P-Si-B. Методом оже-спектроскопии показано, что влияние алюминия связано с поверхностно-активным поведением: обогащением (на порядок и более) поверхностных слоев алюминием и соответствующим перераспределением в этих слоях основных металлических компонентов сплава.

Аморфные сплавы, полученные для ряда металлических систем, обладают механическими свойствами, существенно превосходящими свойства кристаллических материалов. Характерной отличительной чертой для аморфных сплавов является высокая прочность, близкая к теоретически возможному пределу, а также достаточно высокие пластичность и вязкость разрушения [1]. В настоящее время одним из наиболее эффективных методов получения аморфных сплавов в виде ленты толщиной 30-40 мкм с высокими механическими свойствами является закалка из жидкого состояния [2]. Метод заключается в осуществлении резкой закалки расплава со скоростью $\approx 10^6$ град/сек.

Данная работа ставила своей целью исследование влияния микролегирувания алюминием и медью на механические свойства аморфных сплавов системы Fe-Ni-Cr-P-Si-B с уровнем прочности выше 2000 МПа и достаточным сцеплением с пластмассой при изготовлении композитов типа металл-пластмасса. Металлический компонент такого композита должен сочетать высокую прочность, достаточную пластичность, хорошую адгезионную прочность, определенную коррозионную стойкость и содержать минимальное количество дефицитных и дорогостоящих компонентов.

Анализ литературных данных показал, что повышенную прочность, температурную стабильность и пластичность в исходном (быстрозакаленном) состоянии проявляют аморфные