

## Морфологическая матрица автоматки с использованием отдачи всего оружия

Признак	Параметры	
Компоновка затворной группы $P_1$	Компоновка с выносом инерционного тела и рабочей пружины на переднюю часть подствольного магазина под ствольным блоком $P_1^1$	
Конструкция запорных элементов $P_2$	Единое целое с затвором $P_2^1$	
Характер движения запорных элементов $P_3$	Вращение относительно продольной оси $P_3^1$	Вращение относительно оси, перпендикулярной каналу ствола $P_3^2$
Компоновка пружинного двигателя $P_4$	Одна пружина $P_4^1$	
Сечение витка пружины $P_5$	Круглые $P_5^1$	
		Инерционное тело с рабочей пружиной за затвором $P_1^2$
		Подвижные относительно затвора $P_2^2$
		Поперечное поступательное перемещение $P_3^3$
		Две пружины, расположенные телескопически $P_4^2$
		Прямоугольные $P_5^2$

Но в связи с тем что на скорость отдачи, следовательно, и энергии влияет множество факторов – импульс патрона, масса-инерционные характеристики оружия и самого стрелка, способ и условия удержания оружия, направление стрельбы – обеспечение надежного функционирования автоматки этого типа требует большого объема экспериментальной обработки. Можно со всей определенностью сказать, что на сегодня отсутствует теория проектирования автоматического оружия с использованием энергии отдачи всего оружия. Это позволяет считать исследования в этом направлении актуальными.

Получено 12.10.2015

## Библиографические ссылки

1. *Норейка Р.* Эволюция «инерционников» // Калашников. – 2011. – № 4. – С. 20–27.
2. *Дегтярев М.* Превзойти самого себя. Самозарядное ружье Breda Xanthos // Калашников. 2008. – № 9. – С. 14–21.
3. *Норейка Р.* По инерции. Новое самозарядное ружье Franchi Inertia // Калашников. – 2006. – № 2. – С. 32–36.
4. Схема работы автоматки ружьем Guerini. – URL: <http://www.caesarguerini.it/rus/Oruzhie/Poluavtomaticheskie/Tehniki/Zaryazhanie-i-razryazhanie> (дата обращения: 19.11.2014).

УДК 623.526

А. А. Вершинин, Пермский военный институт внутренних войск МВД РФ

А. М. Пушкарёв, кандидат технических наук, профессор, Пермский военный институт внутренних войск МВД РФ

## РАСЧЕТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗНОСА АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СТВОЛОВ

**В** артиллерийской практике при исследовании живучести артиллерийских стволов особый интерес представляют термоэрозионные разрушения. С позиции механики разрушения термоэрозионные разрушения артиллерийских стволов представляют собой результат термической усталости металла ствола, а также химического воздействия пороховых газов.

В настоящее время термическую усталость описывают как процесс деформации, а также образования и увеличения структурных повреждений конструктивных элементов под влиянием многократных изменений температуры. При малоцикловом нагружении оценочные расчеты накопления повреждений проводят на основе критериальных зависимостей долговечности (числа циклов или времени до разрушения) от величины деформаций, напряжений, температуры и истории нагружения. В условиях неизотермического нагружения материала его долговечность обычно определяется на основании

феноменологических гипотез суммирования повреждений [1, 2].

В тех случаях, когда происходит одновременное накопление квазистатических и усталостных повреждений, суммарное повреждение определяется суммой двух членов, один из которых описывает квазистатическое, а другой – усталостное повреждение. При этом предполагается, что разрушение имеет место, когда сумма этих членов равна единице. Условие разрушения материала при неизотермическом циклическом нагружении по аналогии с изотермической малоцикловой усталостью [3] можно записать в виде

$$\int_0^N \left( \frac{\Delta \varepsilon}{\frac{1}{2} D(\tau)} \right)^m dN + \int_0^N \frac{\varepsilon_{\text{нак}}}{D(\tau)} dN = 1, \quad (1)$$

где  $N$  – число циклов нагружения;  $\Delta \varepsilon$  – размах упругопластических деформаций в цикле;  $\varepsilon_{\text{нак}}$  – накоп-

ленная остаточная деформация (для случая мягкого нагружения);  $D(\tau)$  – истинная пластичность с учетом длительности нагружения;  $\tau$  – время;  $m$  – эмпирический коэффициент.

Здесь первый интеграл характеризует величину односторонне накопленной деформации (вследствие термоциклической анизотропии или действия дополнительной статической нагрузки), а второй – величину циклически накопленной пластической деформации за  $N$  циклов. Если рассматривать жесткое нагружение, которое в той или иной степени реализуется обычно в деталях, разрушающихся от термоусталости, то уравнение (1) преобразуется в уравнение Коффина для случая неизотермического циклического нагружения [4]:

$$\int_0^N \left( \frac{\Delta \varepsilon}{\frac{1}{2} D(\tau)} \right)^m dN = 1. \quad (2)$$

В формировании предельного малоциклового повреждения при неизотермическом нагружении значима роль характеристик длительной пластичности  $D$ , которая коррелирует с сопротивлением малоциклового усталости, поэтому одним из главных вопросов при использовании деформационных критериев, как при неизотермическом, так и при изотермическом нагружении, является выбор предельной пластичности. При этом необходимо учитывать зависимость пластичности от времени деформирования.

Другими подходами по оценке долговечности при малоциклового термической усталости являются подходы, основанные на использовании деформационно-кинетического критерия [1, 5], в которых показано, что линейное суммирование долей статической и циклической повреждаемости справедливо, если их представить в выражении

$$2^m \int_0^N \left( \frac{\Delta \varepsilon}{\frac{1}{2} D(\tau)} \right)^m dN + \int_0^N \frac{(\varepsilon_{\text{нак}}) R}{D(\tau)} dN = 1. \quad (3)$$

Здесь первый интеграл характеризует долю усталостного повреждения ( $\Pi_1$ ), а второй – долю квазистатического повреждения ( $\Pi_2$ ). При этом в общем случае нагружения, когда в материале возникают все виды неупругих деформаций, суммарное повреждение  $\Pi$  следует определять как сумму относительных долей повреждений, вызываемых каждым из видов деформаций:

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 + \dots + \Pi_n, \quad (4)$$

где  $n$  – количество всех видов неупругих деформаций.

Известно, что изменение температуры во время стрельбы происходит по треугольному циклу. При этом происходит накопление только усталостного

повреждения. Следовательно, одностороннего накопления пластических деформаций не происходит, и уравнение (3), теряя второе слагаемое, превращается в уравнение Коффина (2). При этом в уравнении (3) не учтена специфика влияния разрушения поверхности канала ствола за счет химического воздействия пороховых газов.

Если следовать гипотезе, основанной на предположении, что интенсивность эрозийного износа ствола определяется энергией пороховых газов, расходуемой на разрушение поверхностного слоя металла ствола, то износ ствола при стрельбе предлагается считать пропорциональным отношению удельной энергии, теряемой потоком пороховых газов, к характеристике износоустойчивости металла ствола при максимальной температуре нагрева его поверхности. Поэтому для оценки доли накопления повреждений, вносимой химическим воздействием пороховых газов, на основании выражений (4) представляется целесообразным дополнить уравнение (3) членом, который характеризует это накопление. Его можно представить в виде отношения между циклической плотностью энергии пороховых газов, расходуемой на разрушение поверхностного слоя металла ствола  $h_{xi}$  (радиальный износ в сечении  $x$ ), и суммарной плотности энергии  $h_x$  за предполагаемый ресурс  $N$ , то есть при оценке термоэрозийного износа целесообразно деформационно-кинетический критерий (3) трансформировать следующим образом:

$$\frac{2^m \Delta \varepsilon^m}{[D(\tau)]^m} N + \sum_{i=1}^N \frac{h_{xi}}{h_x} = 1, \quad (5)$$

где  $\sum_{i=1}^N \frac{h_{xi}}{h_x}$  – доля повреждения, вносимая хемосорбцией и адсорбцией.

Таким образом, уравнение (5) для расчета термоэрозийного износа можно преобразовать к виду

$$h_x = \frac{h_{xi} N}{1 - \left[ \frac{2^m \Delta \varepsilon}{(D(\tau))^m} N \right]}. \quad (6)$$

Приведенная зависимость (6) дает принципиально новую возможность вычисления характеристик повреждаемости и термоэрозийного износа поверхности канала артиллерийского ствола, определения энергетических затрат на повреждение поверхности в конкретном сечении ствола. Для реализации такого расчета необходимо многократное решение задачи внутренней баллистики и тепловой задачи для ствола разной степени износа.

Таким образом, критерий (6) может использоваться для косвенной оценки и прогнозирования скорости изнашивания стволов с различными конструктивно-технологическими параметрами и решения комплексной задачи о температурном напряженно-деформированном состоянии ствола.

**Библиографические ссылки**

1. Гусенков А. П., Котов П. И. Малоцикловая усталость при неизотермическом нагружении. – М. : Машиностроение, 1983.
2. Дульнев Р. А. Суммирование повреждений и условие прочности при термоциклическом нагружении // Проблемы прочности. – 1971. – № 10. – С. 101–104.
3. Прочность при малоцикловом нагружении / С. В. Серенсен, Р. М. Шнейдерович [и др.]. – М. : Наука, 1975.
4. Coffin L. F. Thermal stress and thermal stress fatigue // SESA Proceedings. – 1958. – Vol. IV. – No. 2.
5. Гусенков А. П., Котов П. И. Указ. соч.
6. Шнейдерович Р. М., Гусенков А. П. Деформационно-кинетические подходы к оценке длительной циклической прочности // Материалы Всес. симпозиума по малоцикло-вой усталости при повышенных температурах. – Челябинск : ЧПИ, 1974. – Вып. 3. – С. 140–165.

Получено 28.10.2015