

Писаренко В.Г.
КНПО "Форт" МВД Украины

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НА ПРОЦЕССЫ НАКОПЛЕНИЯ ТРИБОПОВРЕЖДЕНИЙ В СТВОЛАХ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

Вступление

Проблема повышения ресурса стволов стрелкового оружия является сложной комплексной задачей и не может быть решена без основательного исследования факторов, влияющих на процессы накопления трибоповреждений в стволе.

Стволы стрелкового оружия – трибосистемы, которые подвержены динамическому воздействию высоких давлений, температур и механическому воздействию пули, движущейся с натягом в канале ствола в условиях высокоскоростного трения.

Целью данной работы является изучение особенностей напряженно-деформированного состояния (НДС), возникающих вследствие динамического взаимодействия системы "ствол-пуля" и их влияния на протекание процессов накопления трибоповреждений в стволах спортивного и снайперского оружия.

Особенности оценки факторов определяющих процессы накопления трибоповреждений в стволах стрелкового оружия

Под факторами, влияющими на протекание процессов накопления трибоповреждений в стволах стрелкового оружия, понимают изменяющиеся во времени и по длине канала ствола характеристики процессов, воздействующих на приповерхностный слой канала ствола и протекающих в стволе в период выстрела, при горении пороха и скольжении пули по наредам.

Основные факторы, определяющие процессы повреждаемости каналов стволов, можно условно разделить на две группы: - факторы температурного воздействия; - трибомеханические факторы системы "ствол-пуля" [1].

Влияние температурного воздействия на процессы накопления повреждений в каналах стволов достаточно хорошо представлено в работах Чернова Д.К., который показал, что снижение ресурса стволов происходит по причине трещинообразования на поверхности канала, вследствие резких термических изменений в процессе выстрела [2, 3].

В то же время следует отметить, что исследований процессов изнашивания в результате трибомеханического взаимодействия ведущих элементов пуль с каналом ствола, достаточно мало [1, 4, 5].

Значительная часть исследований изнашивания стволов огнестрельного оружия посвящена артиллерийскому оружию и автоматическому стрелковому оружию, стреляющему очередями [2, 3]. Изучению особенностей процессов накопления трибоповреждений в стволах спортивного и снайперского оружия, стреляющего одиночными выстрелами, внимания было уделено явно не достаточно.

Учитывая динамический характер воздействий, результаты расчетов напряженно-деформированного состояния, используемые для прочностного анализа и проектирования стволов [3] нельзя использовать для оценки процессов накопления трибоповреждений в системе "ствол-пуля". Упрощения в расчетных моделях, которые принимаются при прочностном анализе, сводят задачу к расчету изотропной цилиндрической трубы, подверженной внутреннему статическому давлению. Допущения о том, что сила трения о поверхность ствола вызывает пренебрежимо малые осевые напряжения в стенках ствола, давление ведущего устройства на боевые грани нарезов вызывает пренебрежимо малые напряжения кручения, нагрузки, испытываемые стволом при выстреле, носят статический характер, не приемлемы для анализа влияния НДС на процессы трибоповреждаемости.

При анализе процессов изнашивания стволов следует учитывать еще одну важную особенность, а именно то, что система "ствол-пуля" является трибосистемой работающей в условиях высокоскоростного трения.

Авторы исследований, связанных с изучением процессов изнашивания в условиях высокоскоростного трения отмечают ряд особенностей протекания процессов изнашивания в зоне трения при скоростях скольжения превышающих 100 м/с. В первую очередь, отмечается явление значительного падения значений коэффициента трения для всех пар трущихся материалов. Среди работ, связанных с экспериментальными исследованиями высокоскоростного трения, следует отметить работу [6]. Авторами [6] получены значения коэффициентов трения при нагрузках до 150 МПа и скоростях скольжения достигавших 200 м/с. В докладе [7] проведены результаты экспериментальных исследований высокоскоростного трения сталь по стали, которые показывают, что коэффициент трения в данном случае может уменьшаться до значений 0,0001.

Учитывая вышесказанное, для анализа влияния НДС на процессы накопления трибоповреждений в стволах нарезного оружия, характеристики полей напряжений должны определяться с учетом динамических эффектов происходящих в условиях высоких скоростей скольжения и учитывать изменение коэффициента трения, как функции скорости скольжения.

Анализ напряженно-деформированного состояния стволов нарезного оружия

Для оценки напряженно-деформированного состояния, возникающего при движении пули в канале ствола нарезного оружия, использован хорошо апробированный пакет численного динамического анализа ANSYS Autodyn.

Для раздельной оценки степени влияния каждого из факторов, расчетная модель (рис. 1) строилась без учета давления пороховых газов на стенки ствола. В модели рассматривалось лишь напряженно-деформированное состояние, которое возникает при движении пули по каналу ствола под действием давления пороховых газов на пулю. Кривая «давление пороховых газов – время» взята из несвязанного внутрибаллистического расчета.

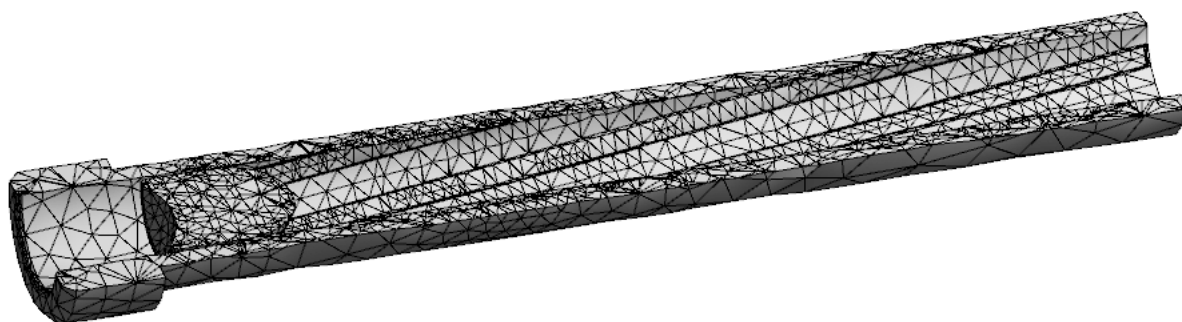


Рис. 1 – Конечно-элементная расчетная модель

Для учета особенностей процессов происходящих в условиях высокоскоростного трения, в расчетной модели учитывалось изменение коэффициента трения, как функции скорости скольжения. В качестве модели трения принято обобщенную модель Кулона-Амонтона с учетом эффекта Штрибека, которая учитывает изменения коэффициента трения от текущей скорости скольжения:

$$\mu = \mu_d + (\mu_s - \mu_d) \cdot e^{-\beta V}$$

где μ_d – динамический коэффициент трения;

μ_s – коэффициент трения покоя;

V – относительная скорость скольжения в точке контакта;

β – показатель степени;

Адекватность расчетной модели оценивалась по результатам контрольных испытаний.

Среди результатов расчетного анализа напряженно-деформированного состояния, в первую очередь следует обратить внимание на полученную мозаичную картину распределения напряжений на поверхности ствола при движении пули вдоль канала ствола в процессе выстрела (рис. 2). Результаты расчетов НДС, позволяют объяснить экспериментальные данные, приведенные в работе [4], где обращается внимание на мозаичную картину напряжений в приповерхностном слое ствола.

Однако следует отметить, что первопричиной образования мозаичного характера напряжений поверхностного слоя канала ствола, является динамический характер взаимодействия пули со стволом, а не частичное оплавление и перенос ("омеднение") материала оболочки пули на различные участки поверхности канала ствола и изменения вследствие этого коэффициента трения, как предполагали авторы [4]. Появление "омедненных" участков поверхности ствола после выстрела, является следствием мозаичной картины распределений напряжений и деформаций ствола.

Анализ эволюции распределения эквивалентных пластических деформаций канала ствола (рис. 3) показывает, что пластические деформации являются существенным фактором, который необходимо учитывать при оценке процессов накопления трибоповреждений в канале ствола. Характер распределения эквивалентных пластических деформаций (рис. 3) показывает, что максимальные пластические деформации в канале ствола возникают в период врезания пули вследствие существенных касательных напряжений, возникающих за счет сопротивления повороту пули в процессе врезания и во время выхода пули из канала ствола, вследствие больших скоростей поступательного и вращательного движения.

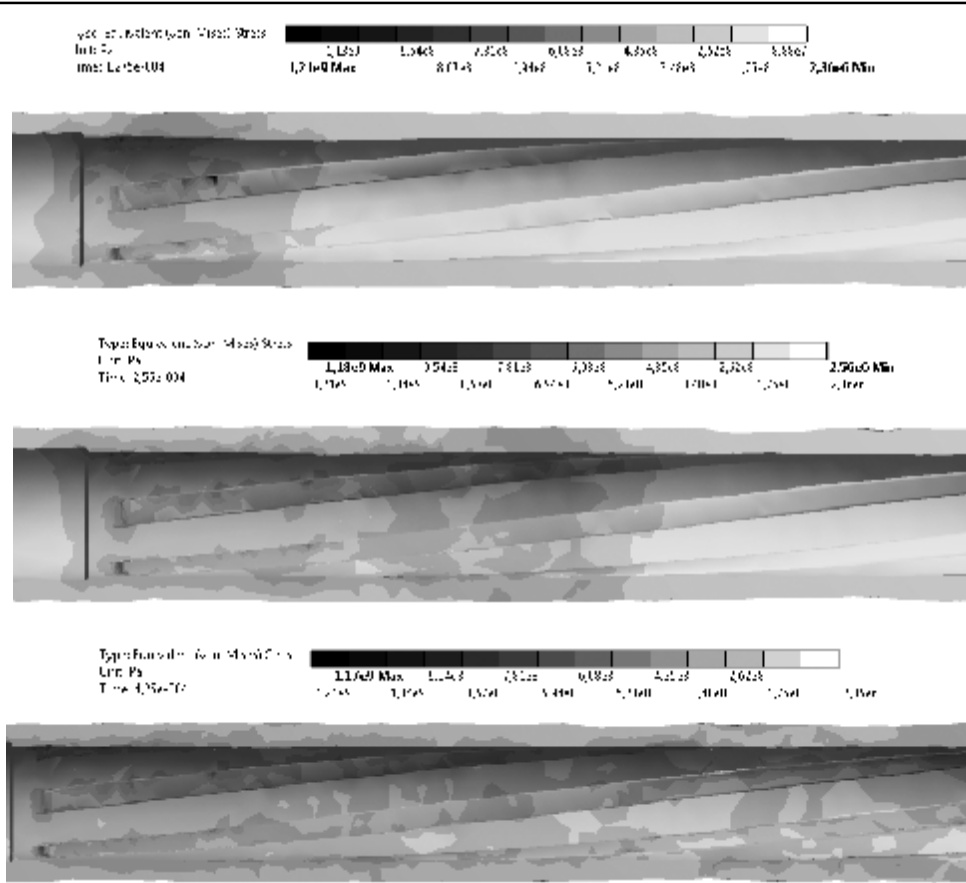


Рис. 2 – Эволюция распределения эквивалентных напряжений (по Мизесу) при движении пули по каналу ствола в различные моменты времени

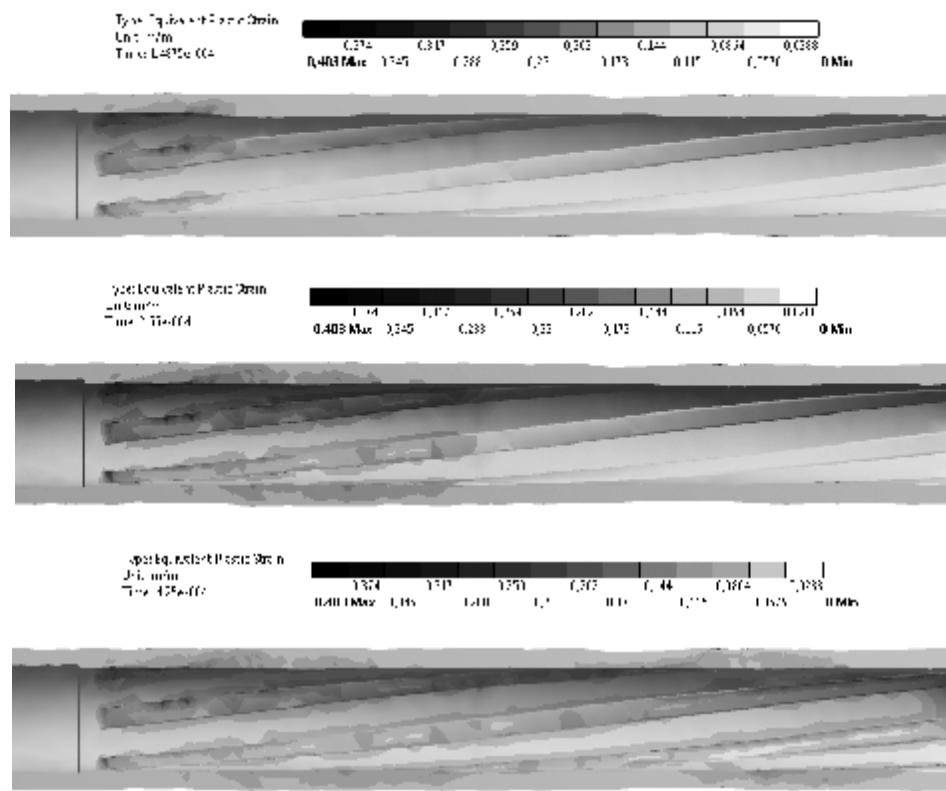


Рис. 3 – Эволюция распределения эквивалентных пластических деформаций при движении пули по каналу ствола в различные моменты времени

При выходе пули из канала ствола центробежные силы вызывают существенные тангенциальные напряжения в оболочке. Наиболее существенным пластическим деформациям подвержены грани боевых нарезов ствола, что в значительной мере определяет величины износа ствола и его ресурс.

Характер изменения касательных напряжений (рис. 4) при движении пули по каналу ствола определяет интенсивность процессов возникновения и накопления трибоповреждений на боевых гранях нарезов ствола. Многочисленное изменение направления действия касательных напряжений на боевых гранях нарезов в процессе перемещения пули по стволу, о чем свидетельствует изменение знака (рис. 4), способствует интенсификации процессов образования микроповреждений.

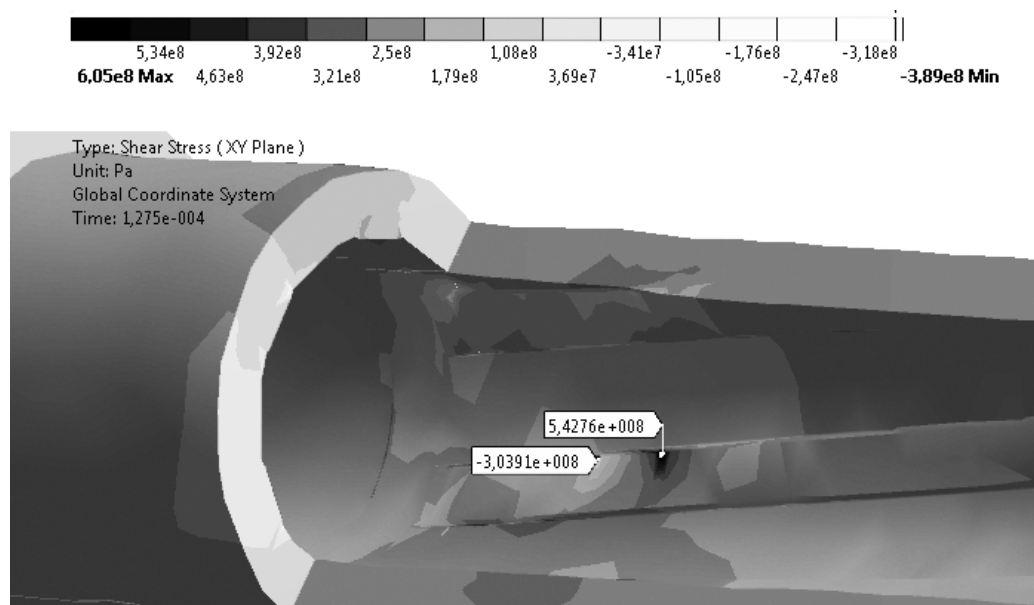


Рис. 4 – Распределение касательных напряжений по каналу ствола

Анализ эквивалентных напряжений с приложенным давлением пороховых газов на стенки ствола в запульном пространстве показал, что в период времени, непосредственно следующий за периодом врезания пули, максимальные эквивалентные напряжения незначительно увеличиваются от $1,213 \cdot 10^9$ Па до $1,235 \cdot 10^9$ Па, по сравнению с напряжениями, когда в расчетной модели учитывалось лишь давление пороховых газов на пулю (рис. 5). При этом в данный момент времени наблюдается увеличение скорости поступательного движения пули от 147 до 153 м/с. Увеличение скорости, в свою очередь, приводит к уменьшению динамического коэффициента трения скольжения и как показали результаты расчета, уменьшению максимальных эквивалентных давлений в последующие моменты времени движения пули по каналу ствола.

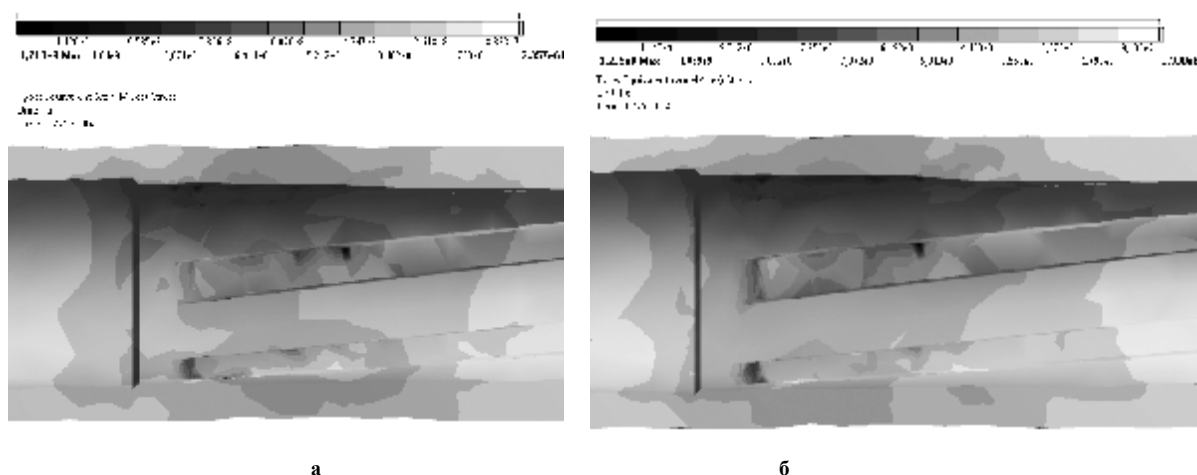


Рис. 5 – Распределение эквивалентных напряжений по каналу ствола в момент времени $1,275 \cdot 10^{-4}$ сек:
а – без приложенного давления пороховых газов на стенки ствола в запульном пространстве;
б – с приложенным давлением пороховых газов на стенки ствола в запульном пространстве

Таким образом, для оценки процессов накопления повреждаемости в канале ствола в процессе выстрела, учет в расчетной модели влияния давления пороховых газов в запульном пространстве на стенки ствола не оказывает существенного влияния на протекание процессов накопления трибоповреждений. Как показал расчетный анализ, без давления на стенки ствола в запульном пространстве, процесс взаимодействия пули и канала ствола происходит в более жестких условиях.

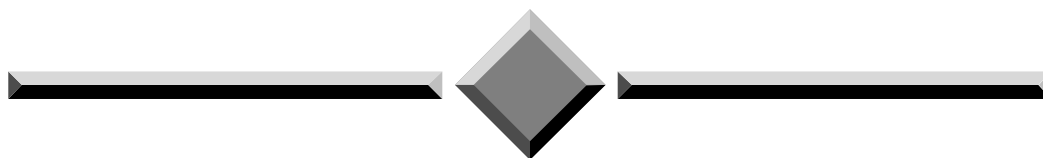
Выводы

На основании проведенного анализа намечены пути для оценки процессов накопления трибоповреждений стволов спортивного и снайперского оружия, показана необходимость учитывать особенности динамического характера напряженно-деформированного состояния в условиях высокоскоростного трения, возникающего вследствие взаимодействия системы "ствол-пуля".

Литература

1. Дроздов Ю. Н. Прикладная трибология (трение, износ, смазка) / Ю.Н. Дроздов, Е.Г. Юдин, А.И. Белов. – М.: Эко-Пресс, 2010. – 604 с.
2. Благодравов А.А. Основы проектирования автоматического оружия / А.А. Благодравов. – М.: Оборонгиз, 1940. – 484 с.
3. Кириллов В.М. Основания устройства и проектирования стрелкового оружия / В.М. Кириллов. – Пенза.: ПВАИУ, 1963. – 342 с.
4. Зеленко В.К. Взаимосвязь износа каналов стволов снайперского вооружения с конструкцией пули / В.К. Зеленко, В.М. Королев, Ю.Н. Дроздов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010, №3. – С. 83-87.
5. Дроздов Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Павлов, В.Н. Пучков. – М.: Машиностроение, 1986. – 223 с.
6. Montgomery R. S. Friction and Wear at High Sliding Speeds // Wear. – 1976. – Т. 36. – Р. 275-298.
7. Lim J. Cambridge University Internal Report / Michael F. Ashby // CUED, C.-mat. – 1986. – Т. 123.

Надійшла 04.11.2011



ЧИТАЙТЕ

журнал

“Problems of Tribology”

во всемирной сети

INTERNET !

<http://www.tup.km.ua/science/journals/tribology/>