

Писаренко В.Г.КНВО "Форт" МВС України,
м. Вінниця, Україна**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДИНАМІЧНОГО
КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ НА НАПРУЖЕНО -
ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТВОЛІВ**

УДК 621.891

На основі проведеного аналізу визначені шляхи для оцінки зносу стволів зброї, показана необхідність враховувати особливості динамічного характеру напружено-деформованого стану в умовах високошвидкісного тертя, що виникає внаслідок взаємодії систем "ствол - куля".

Ключові слова: динамічний коефіцієнт тертя, напружений стан, знос ствола

Однією з найважливіших особливостей, що суттєво впливає на перебіг процесів накопичення пошкоджень і відповідно зносу ствола є те, що трибосистема "ствол - куля" працює в умовах високошвидкісного тертя.

Автори досліджень процесів високошвидкісного тертя [1-5] показали явище значного падіння коефіцієнта тертя за швидкостей відносного ковзання понад 100 м/с. При цьому деякими авторами [6] зазначалося, що збільшення питомого тиску призводить до більш суттєвого зменшення значень коефіцієнта тертя.

Більшість досліджень, пов'язаних з аналізом процесів високошвидкісного тертя, спрямовані на вивчення впливу різних факторів, наприклад, тиску, властивостей матеріалів на зменшення коефіцієнта тертя, але практично відсутні дослідження спрямовані на вивчення впливу залежності коефіцієнта тертя від швидкості ковзання на поведінку та умови функціонування трибосистеми. Такі дослідження є дуже важливими для трибосистем, що працюють в умовах високих швидкостей і динамічного навантаження, до яких можна віднести і ствола стрілецької зброї. У зв'язку з вищезазначеним, вивчення умов функціонування вузла не буде повним без аналізу впливу коефіцієнта тертя на напружено - деформований стан ствола, який значною мірою визначає і є одним з основних факторів, що визначають знос системи "ствол - куля".

Як зазначалося раніше, як розрахункову модель тертя взято узагальнену модель Кулона-Амонтона з урахуванням ефекту Штрибека, яка дозволяє врахувати зміни коефіцієнта тертя від швидкості відносного ковзання:

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

де μ_d – динамічний коефіцієнт тертя;

μ_s – коефіцієнт тертя спокою;

V – відносна швидкість ковзання в точці контакту;

β – показник ступеня.

Для проведення аналізу впливу коефіцієнта тертя на напружено-деформований стан вузла розрахунковим шляхом отримано залежності максимальних еквівалентних (за Мізесом) напруг у середині ствола, максимальних дотичних напружень і максимальних значень інтенсивності напруг від часу для різних значень динамічного і статичного коефіцієнтів тертя, а також показника ступеня за швидкості відносного ковзання.

Для отриманих залежностей проведено апроксимацію і згладжування результатів, побудовано поліноміальні лінії трендів шостого порядку з оцінкою достовірності апроксимації.

Рівняння лінії тренду:

$$Y = k_6 x^6 + k_5 x^5 + k_4 x^4 + k_3 x^3 + k_2 x^2 + k_1 x + k_0. \quad (1)$$

Величина достовірності тренду:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (2)$$

де \bar{y} – середнє значення змінної;

\hat{y} – розрахункове значення змінної.

Параметри отриманих рівнянь ліній трендів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри рівнянь ліній трендів максимальних еквівалентних напружень

μ_s	μ_d	β	k_6	k_5	k_4	k_3	k_2	k_1	k_0	R^2
0,4	0,025	0,025	0,0012	-0,0541	0,6369	4,34	-145,11	1045,2	-975,63	0,94
		0,05	0,0026	-0,14	2,6836	-19,145	-11,667	670,63	-683,8	0,98
		0,1	0,0016	-0,0869	1,7621	-14,044	5,0074	468,53	-473,11	0,92
0,4	0,05	0,025	0,0003	-0,0118	-0,126	10,287	-162,79	1043,2	-959,84	0,95
		0,05	0,0004	-0,0167	0,0114	8,3554	-146,66	951,33	-866,33	0,97
		0,1	0,0005	-0,0326	0,7118	-5,0324	-27,516	511,5	-486,18	0,99
0,2	0,025	0,025	0,0003	-0,0109	-0,0932	8,1822	-129,99	857,47	-773,05	0,94
		0,1	0,0038	-0,2158	4,4874	-40,398	116,92	303,03	-410,33	0,98
0,1	0,025	0,025	0,0024	-0,1307	2,5434	-19,601	12,323	542,09	-570,01	0,97

Залежності максимальних еквівалентних напружень, максимальних дотичних напружень і максимальних інтенсивностей напружень носять характер згасаючого в часі коливального процесу. У момент врізання кулі в нарізи відбувається збільшення навантажень, про що свідчить значне збільшення амплітуд характеристик напружено-деформованого стану (рис. 1), а потім їх зменшення. Тренди вищевказаних залежностей мають характер швидко згасаючого коливального процесу.

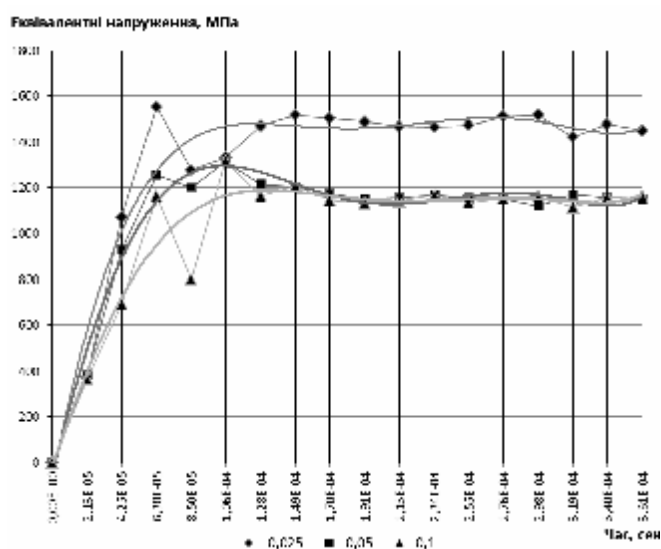


Рис. 1 – Залежності максимальних еквівалентних напружень у середині ствола від часу для:
 $\mu_s = 0,4$; $\mu_d = 0,025$;
 $\beta = 0,025; 0,05; 0,1$

Аналіз отриманих залежностей показує, що для значень показника ступеня за швидкості ковзання $\beta = 0,05; 0,1$, тренди відрізняються тільки в початковий момент часу на стадії врізання кулі в нарізи ствола (до $11E \cdot 10^{-0,4}$ с), потім, у міру руху кулі по каналу ствола, тренди характеристик напружено - деформованого стану практично зливаються.

Варто зазначити, що зі зменшенням показника ступеня β до значень 0,025 відбувається збільшення значень максимальних амплітуд в початковий період. За значень $\beta = 0,025$ всі характеристики напружено - деформованого стану мають найбільші значення, відповідно вузол є максимально навантаженим.

Важливим є те, що вищевказані закономірності зберігають для різних значень динамічного і статичного коефіцієнтів тертя.

Так, для різних значень статичного коефіцієнта тертя $\mu_s = 0,2$ і $\mu_s = 0,1$ за значень показника ступеня $\beta = 0,025$ криві трендів максимальних еквівалентних напружень, максимальних дотичних напружень і максимальних інтенсивностей напружень досить тісно зближуються в початковий момент часу і практично зливаються в період часу після повного врізання кулі в нарізи ствола. Закономірності коливального згасаючого процесу при цьому зберігаються.

Розрахунковий аналіз показав, що для стабільної роботи трибосистеми абсолютні значення динамічного коефіцієнта тертя не повинні перевищувати 0,055 ... 0,06. За значень динамічного коефіцієнта тертя, що перевищує вказані значення відбувається істотне збільшення діючих напружень, як результат цього – швидке гальмування кулі в каналі ствола і істотне падіння швидкості кулі в момент покидання каналу ствола.

Варто зазначити, що динамічний коефіцієнт тертя в досліджуваному діапазоні значень 0,05 ... 0,025 не робить істотного впливу на абсолютні значення амплітуд максимальних еквівалентних напружень, максимальних дотичних напружень і максимальних інтенсивностей напружень. Амплітудні значення максимальних еквівалентних напружень у середині ствола для значень динамічного коефіцієнта тертя $\mu_d = 0,025$ і $\mu_d = 0,05$ мало відрізняються і коливаються в межах 1200 МПа.

Аналогічні закономірності властиві і для амплітуд максимальних дотичних напружень. Встановлено, що значення максимальних дотичних напружень в період часу після врізання кулі знаходяться в діапазоні 650 ... 700 МПа.

Аналіз залежності коефіцієнта тертя від швидкості ковзання для різних значень показника ступеня β показує (рис. 2), що значення β визначають швидкість зменшення коефіцієнта тертя μ від значень статичного коефіцієнта тертя μ_s до значень динамічного μ_d . Іншими словами, величина β визначає швидкість відносного ковзання тіл пари тертя, за якої фактичний коефіцієнт тертя μ досягає значень динамічного і хто виходить на стаціонарний режим.

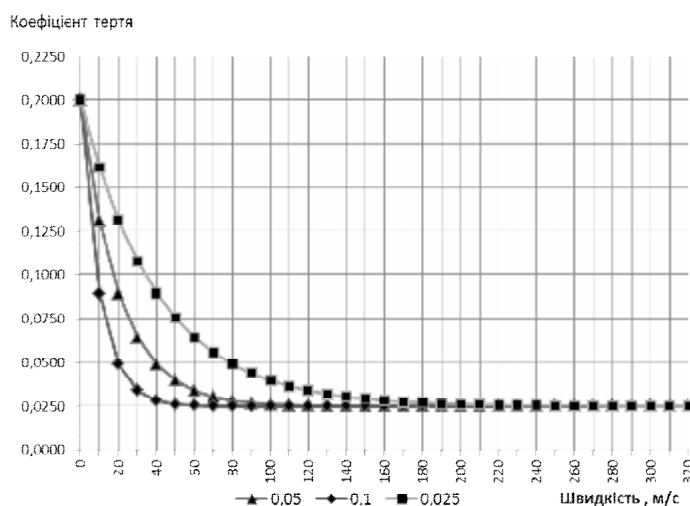


Рис. 2 – Залежності коефіцієнта тертя від швидкості ковзання для:
 $\mu_s = 0,2$; $\mu_d = 0,025$;
 $\beta = 0,025; 0,05; 0,1$

Результати розрахункового аналізу показують, що для β в діапазоні значень 0,05 ... 0,1 фактичний коефіцієнт тертя досягає мінімальних значень і виходить на стаціонарний режим за будь-яких значень статичного коефіцієнта μ_s до швидкості ковзання в 120 м/с.

Аналіз процесу руху кулі по каналу ствола показує, що до моменту часу $11E \cdot 10^{-0,4}$ с закінчується період повного врізання кулі в нарізи ствола, що відповідає швидкості ковзання близько 120 м/с.

Виходячи з отриманих результатів, можна стверджувати, що ствол піддається мінімальним навантаженням у тому випадку, коли до моменту повного врізання кулі в нарізи ствола коефіцієнт тертя з урахуванням фактичної швидкості ковзання досягне мінімального значення і вийде на стаціонарний режим.

Узагальнений аналіз розрахункових результатів показує, що преважаючим фактором, який впливає на напружено - деформований стан трибосистеми "ствол - куля" і відповідно на процеси накопичення пошкоджень і зносу ствола, є швидкість зменшення коефіцієнта тертя від значень статичного до значень динамічного і виходу коефіцієнта тертя на стаціонарний режим.

Основним фактором, який впливає на напружено - деформований стан трибосистеми "ствол - куля" і відповідно на процеси накопичення пошкоджень і зносу ствола, є швидкість зміни коефіцієнта тертя від значень статичного до значень динамічного і виходу коефіцієнта тертя на стаціонарний режим.

Як критерій оцінки ефективності використання матеріалів, технологічних процесів нанесення покриттів, термообробки та інших способів підвищення зносостійкості ствола стрілецької зброї можна використовувати швидкість зміни коефіцієнта тертя, беручи за кількісну оцінку критерію коефіцієнт β за інших однакових умов.

Висновок

На основі проведеного аналізу визначені шляхи для оцінки зносу стволів зброї, показана необхідність враховувати особливості динамічного характеру напружено-деформованого стану в умовах високошвидкісного тертя, що виникає внаслідок взаємодії систем "ствол - куля".

Література

1. Дроздов Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях. / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Павлов, В.Н. Пучков. – М.: Машиностроение, 1986. – 223 с.
2. Дроздов Ю.Н. Прикладная трибология (трение, износ, смазка) / Ю.Н. Дроздов, Е. Г. Юдин, А. И. Белов. – М.: Эко-Пресс, 2010. – 604 с.
3. Montgomery R. S. Friction and Wear at High Sliding Speeds // *Wear*. – 1976. – Т. 36. – Р. 275-298.
4. Lim J. Cambridge University Internal Report / Michael F. Ashby // *CUED, C.-mat.* – 1986. – Т. 123.
5. Регель Р.В. Кинетическая природа прочности твёрдых тел / Р.В. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. – М.: Наука, 1974. – 560 с.
6. Philippon S. An experimental study of friction at high sliding velocities / G. Sutter, A. Molinari // *Wear*. – 2004. – Т. 257. – Р. 777-784.

Поступила в редакцію 30.01.2013

Pisarenko V.G. **Analysis of influence of dynamic coefficient of friction on tensely is the deformed state of barrels.**

The basic factor which influences on tensely is the deformed state a tribosistemi "barrel - bullet" and accordingly on the processes of accumulation of damages and wear of barrel, there is speed of change of coefficient of friction from values static to the values dynamic and to the output of coefficient of friction on the stationary mode. On the basis of the conducted analysis certain ways are for the estimation of wear of barrels of weapon, rotined necessity to take into account the features of dynamic character tensely deformed to the state in the conditions of high-speed friction which arises up as a result of co-operation of the systems "barrel - bullet".

Key words: dynamic coefficient of friction, tense state, wear of barrel.

References

1. Drozdov J.N., Pavlov V.G., Puchkov V.N. Trenie i iznos v jekstremal'nyh uslovijah. M., Mashinostroenie, 1986, 223 p.
2. Drozdov J.N., Judin E G., Belov A I. Prikladnaja tribologija (trenie, iznos, smazka). M., Jeko-Press, 2010, 604 p.
3. Montgomery R. S. Friction and Wear at High Sliding Speeds, Wear, 1976, T. 36, pp. 275-298.
4. Lim J. Cambridge University Internal Report, Michael F. Ashby, CUED, 1986, T. 123.
5. Regel' R.V., Slucker A.I., Tomashevskij J.E. Kineticheskaja priroda prochnosti tvjordyh tel. M.: Nauka, 1974, 560 p.
6. Philippon S., Sutter G., Molinari A. An experimental study of friction at high sliding velocities. Wear, 2004, T. 257, pp. 777-784.