УДК 621.793:623.4

І. В. Шепеленко, Я. Б. Немировський, Н. І. Посвятенко

ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ СТВОЛІВ ФІНІШНОЮ АНТИФРИКЦІЙНОЮ БЕЗАБРАЗИВНОЮ ОБРОБКОЮ

Анотація. *Розглянуто питання підвищення живучості артилерійських стволів поєднанням фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО) і деформуючого протягування (ДПР). На основі аналізу відомих сучасних досліджень зношування і захисту каналу ствола та власних результатів авторів щодо формування покриття при ФАБО і ДПР обґрунтовано передумови комбінованої обробки каналу.*

Ключові слова: *артилерійський ствол, живучість, фінішна антифрикційна безабразивна обробка, деформуюче протягування, антифрикційне покриття.*

Abstract. *The paper addresses the problem of increasing the service life of artillery barrels by combining finishing anti-friction non-abrasive treatment (FANT) with deforming broaching (DB). Based on an analysis of recent studies on bore wear and bore protection, together with the authors' own results on coating formation during FANT and DB, the prerequisites for the combined treatment of the barrel bore are substantiated.*

Keywords: *artillery barrel, barrel life, finishing anti-friction non-abrasive treatment, deforming broaching, anti-friction coating.*

У зв'язку із високою початковою швидкістю та великими навантаженнями живучість артилерійських стволів відносно невелика. Для артилерійських гармат головною ознакою досягнення стволом граничного терміну живучості є зрізання ведучих поясків снарядів і як наслідок – різке погіршення купчастості вогню гармати. Тому саме живучість ствола обмежує бойові можливості артилерійських систем, а кожен постріл незмінно збільшує знос каналу.

Зношування каналу знижує точність стрільби через падіння початкової швидкості снаряда, погіршення його стабілізації та зростання розсіювання. Оскільки знос накопичується з кожним пострілом, точність ствола знижується від пострілу до пострілу.

За даними [1] швидкість ерозії становить 0,1–200 мкм за постріл, допустиме збільшення діаметра каналу для танкових гармат – лише 0,5–1 %, а ресурс 105-мм танкової гармати М68 – близько 100 пострілів повним зарядом. Отже, кожен постріл такої гармати витрачає близько 1 % ресурсу ствола, а середнє збільшення діаметра каналу становить 5–10 мкм за постріл [1]. Для гармати 2А46 середній ресурс ствола становить близько 160 пострілів БПС [2].

Авторами [3-5] досліджено причини, що викликають знос гарматного ствола та розглянуті метод оцінювання зносу за акустичними полями пострілів та можливості відновлення ресурсу гарматних стволів.

До основних технологічних методів збільшення ресурсу ствола відносяться хромування, лазерна термічна обробка та ін. Зокрема, запропоновано метод магнетронного розпилення, що дозволяє отримувати високоякісні покриття [6], плазмове наплавлення з зносостійким матеріалом [3], електроконтактне припікання порошкових покриттів [7] і поверхневе пластичне деформування (ППД) каналу, яке створює стискаючі залишкові напруження [8]. Спільним обмеженням зазначених робіт є є складність обробки каналу на всю довжину і відсутність полігонних випробувань. Разом з тим, відсутні дані щодо цілеспрямованого нанесення на канал ствола антифрикційних плівок мідних сплавів.

У роботі [9] на прикладі гільз циліндрів ДВЗ доведено перспективність поєднання двох процесів: фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО), яка створює тонку антифрикційну плівку і деформуючого протягування (ДПР), що зміцнює поверхневий шар і формує в ньому стискаючі залишкові напруження.

Комбінована технологія обробки (ФАБО+ДПР) гільз циліндрів дозволила зменшити їх знос з 7,2 до 4,2 мкм [10]; при тиску, нижчому за критичний, покриття під час ДПР працює як тверде мастило. Досвід ДПР камер згоряння некерованих ракет [11] показує можливість обробки довгих отворів. Відмінності між гільзою циліндра і каналу артилерійського ствола, які слід врахувати при впровадженні комбінованої технології, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Відмінності умов ФАБО гільзи циліндра та каналу ствола

Ознака	Гільза циліндра ДВЗ	Канал артилерійського ствола
Матеріал основи	Сірий чавун СЧ20	Високоміцна легована сталь
Геометрія поверхні	Гладкий циліндр	Гладкий або нарізний канал
Контртіло, середовище	Поршневі кільця, рідинне мастило	Ведучий поясок снаряда, порохові гази
Фактори руйнування покриття	Адгезійне стирання, утома від циклічних піків осьових напружень	Тертя ведучих частин снаряда, високотемпературна дія порохових газів

Завдяки тонкому антифрикційному покриттю слід очікувати значне зниження тертя та зношування в контакті з ведучими поясками. Пропонується наступний маршрут обробки: різальне деформуюче протягування (задля створення сприятливих умов для мікрорізання), ФАБО (нанесення антифрикційного покриття), ДПР (зміцнення поверхневого шару).

Висновки. Кожен постріл незворотно зношує канал ствола і знижує точність стрільби, а ресурс стволів танкових гармат становить лише 100–160 пострілів. Відомі способи захисту каналу не поєднують технології нанесення антифрикційних покриттів та зміцнення поверхневого шару зі зниженням тертя в зоні контакту з ведучим пояском. Запропоновано комбіновану обробку каналу ФАБО і ДПР, у якій визначальними є мікрорельєф, сформований попередньою обробкою, склад антифрикційного покриття і режими пластичного деформування.

Список використаних джерел:

1. Johnston I. A. Understanding and Predicting Gun Barrel Erosion : DSTO-TR-1757. Australia: DSTO, 2005.

2. Анипко О. Б., Борисюк М. Д., Бусяк Ю. М., Гончаренко П. Д. Експериментальні дослідження живочості ствола гладкоствольної гармати // Інтегровані технології та енергозбереження. 2011. № 1. С. 28–31.

3. Каховський М. Ю., Іщенко М. П., Лукомник А. Л. Технологія відновлення стволів танкових та артилерійських гармат. Озброєння та військова техніка. 2017. № 1(13). С. 78–80.

4. Цибуляк Б. З. Деградація параметрів стволів артилерійського озброєння в процесі експлуатації. Військово-технічний збірник. 2016. № 14. С. 121–126. DOI: 10.33577/2312-4458.14.2016.121-126.

5. Dobrynin Ye., Maksymov M., Boltenkov V. Development of a method for determining the wear of artillery barrels by acoustic fields of shots. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3, No. 5(105). P. 6–18. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.206114.

6. Шкурат О. І., Батурін В. А., Бугайов С. І. та ін. Розробка технології процесу обробки каналу ствола гармати для підвищення його ресурсу. Озброєння та військова техніка. 2019. № 1(21). С. 35–40. DOI: 10.34169/2414-0651.2019.1(21).35-40.

7. Ляшенко Б. А., Лопата Л. А., Лопата В. Н., Забойкіна Н. П. Альтернативна технологія поверхневого зміцнення внутрішніх поверхонь довгомірних деталей. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 9(40), ч. 2. С. 13–22. DOI: 10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.13-22.

8. Афтаназів І. С., Шевчук Л. І., Строган О. І., Струтинська Л. Р. Підвищення довговічності гарматних стволів зміцненням ППД їх внутрішніх поверхонь. Mechanics and Advanced Technologies. 2021. Vol. 5, No. 3. P. 314–324. DOI: 10.20535/2521-1943.2021.5.3.250163.

9. Шепеленко І. В., Немировський Я. Б., Посвятенко Е. К. Підвищення якості антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування. Mechanics and Advanced Technologies. 2022. Т. 6, № 1. С.24–30. DOI: 10.20535/2521-1943.2022.6.1.255655.

10. Shepelenko I., Nemyrovskyi Ya., Chernovol M., Shumliakivsky V., Kolodnytska R., Krasota M. Increasing the wear resistance of internal combustion engine cylinder liners by applying antifriction coatings. BALTTRIB'2024 : proceedings of 12th International Conference (Kaunas, 21–23 November 2024). Kaunas, 2024. P. 19–24. DOI: 10.15544/balttrib.2024.4.

11. Немировський Я. Б., Шепеленко І. В., Посвятенко Н. І. Застосування деформуючого протягування при виробництві камер згоряння твердопаливних некерованих ракет. Актуальні

проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки : матеріали тез міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. Вінниця : ВНТУ, 2024. С. 1–3.

Шепеленко Ігор Віталійович *– доктор технічних наук, професор, професор кафедри експлуатації та ремонту машин, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, e-mail: kntucpfzk@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0003-1251-1687*

Немировський Яків Борисович *– доктор технічних наук, професор, професор кафедри механічної інженерії, Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, e-mail: nemirovskijakov@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-8005-8584*

Посвятенко Наталія Іванівна *– кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: natali1963@ukr.net, ORCID https://orcid.org /0000-0002-2217-4170*

Ihor Vitaliiovych Shepelenko *– Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor Department of Exploitation and Repairing Machines, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytsky, e-mail: kntucpfzk@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0003-1251-1687.*

Yakiv Borysovych Nemyrovskyi *– Doctor of Technical Science, Professor of the Department of Mechanical Engineering, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, e-mail: nemirovskijakov@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-8005-8584*

Nataliia Ivanivna Posviatenko – Ph.D., associate professor, Associate Professor of the Department of Transport Construction Machinery Engineering, National Transport University, *Kyiv, e-mail: natali1963@ukr.net, ORCID https://orcid.org /0000-0002-2217-4170*