

DOI 10.32820/2079-1747-2020-25-131-136

УДК 621.757

**ТЕХНОЛОГІЯ УТИЛІЗАЦІЇ НЕПРИДАТНИХ БОЄПРИПАСІВ
ІНДУКЦІЙНО-ТЕПЛОВИМ СПОСОБОМ**

©Романов С. В.

*Українська інженерно-педагогічна академія***Інформація про автора:**

Романов Сергій Валерійович: ORCID: 0000-0003-3770-1241; svrom@rambler.ru; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Нині в Україні існує необхідність в утилізації звичайних видів боєприпасів, непридатних для подальшого використання і зберігання. Для цього передбачається створення безпечних і екологічно чистих технологій і устаткування для розпорядження артилерійських видів боєприпасів, як в місцях їх зберігання (базах і арсеналах), так і на спеціалізованих підприємствах. Це припускає створення компактного і мобільного устаткування з низьким одномоментним енергоспоживанням.

Основним етапом розпорядження непридатних артилерійських боєприпасів є витягання з корпусів снарядів вибухових речовин (ВР). Він найбільш трудомісткий, вибухо- і екологічно небезпечний.

Використовувані нині технології для витягання ВР з корпусів артилерійських снарядів ґрунтовані або на вимиванні, або на виплавці за допомогою гарячої води або пари. Ці технології можуть застосовуватися тільки на спеціалізованих підприємствах, оскільки реалізуються за допомогою складних систем водопідготовки і пароутворення.

Створення мобільного устаткування повинне ґрунтуватися на технологіях, що використовують як основний енергоресурс електричну енергію. Ефективніше виплавляти ВР, нагріваючи частину корпусу снаряда індукційним способом, за допомогою якого можна виконувати локальну і імпульсну термовпливу на об'єкт. Використання електроенергії є так само передумовою забезпечення екологічної чистоти процесів.

Таким чином, є необхідність рішення задачі, яку можна сформулювати як створення і вдосконалення технології і устаткування для витягання ВР з артилерійських снарядів в місцях їх зберігання і на спеціалізованих підприємствах.

Ключові слова: розпорядження боєприпасів, індуктор, індукційний нагрів, технологія.

Романов С.В. Технология утилизации непригодных боеприпасов индукционных-тепловым способом

В настоящее время в Украине существует необходимость в утилизации обычных видов боеприпасов, непригодных для дальнейшего использования и хранения. Для этого предусматривается создание безопасных и экологически чистых технологий и оборудования для расснаряжения артиллерийских видов боеприпасов, как в местах их хранения (базах и арсеналах), так и на специализированных предприятиях. Это предполагает создание компактного и мобильного оборудования с низким одномоментным энергопотреблением.

Основным этапом расснаряжения непригодных артиллерийских боеприпасов является извлечение из корпусов снарядов взрывчатых веществ (ВВ). Он наиболее трудоемкий, взрыво- и экологически опасный.

Используемые в настоящее время технологии для извлечения ВВ из корпусов артиллерийских снарядов основаны либо на вымывании, либо на выплавке с помощью горячей воды или пара. Эти технологии могут применяться только на специализированных предприятиях, поскольку реализуются с помощью сложных систем водоподготовки и парообразования.

Создание мобильного оборудования должно основываться на технологиях, использующих в качестве основного энергоресурса электрическую энергию. Эффективнее выплав-

лять ВВ, награвая часть корпуса снаряда индукционным способом, с помощью которого можно выполнять локальное и импульсное термовоздействие на объект. Использование электроэнергии является так же предпосылкой обеспечения экологической чистоты процессов.

Таким образом, имеется необходимость решения задачи, которую можно сформулировать как создание и совершенствование технологии и оборудования для извлечения ВВ из артиллерийских снарядов в местах их хранения и на специализированных предприятиях.

Ключевые слова: расснаряжение боеприпасов, индуктор, индукционный нагрев, технология.

Romanov S. «The technology for the disposal of unusable ammunition by induction-thermal method».

Currently in Ukraine there is a need for the disposal of conventional types of ammunition unsuitable for further use and storage. To this end, it is planned to create safe and environmentally friendly technologies and equipment for the disassembly of artillery types of ammunition, both in places of their storage (bases and arsenals), and at specialized enterprises. This involves the creation of compact and mobile equipment with low instantaneous power consumption.

The main step in disassembling unsuitable artillery ammunition is the extraction of explosives from the shells. This is a very laborious, explosive and environmentally hazardous phase.

Currently used technologies for extracting explosives from artillery shells are based either on leaching or smelting using hot water or steam. These technologies can be applied only at specialized enterprises, as they are implemented using complex water treatment and steam generation systems.

The creation of mobile equipment should be based on technologies that use electric energy as the main energy source. It is more efficient to melt explosives by heating part of the projectile by induction, with which you can perform local and pulsed thermal effects on the object. The use of electricity is also a prerequisite for ensuring the environmental cleanliness of processes.

Thus, there is a need to solve the problem, which can be formulated as the creation and improvement of technology and equipment for extracting explosives from artillery shells in places of their storage and at specialized enterprises.

Keywords: ammunition disassembly, inductor, induction heating, technology.

Постановка проблеми. Непридатні боеприпаси (НБ) це боеприпаси, у яких збіг термін зберігання і експлуатації. Такі боеприпаси необхідно утилізувати і в загальному вигляді технологія утилізації НБ включає наступні етапи: - розділення НБ на елементи; - витягання вибухо- і пожежонебезпечних складових; - отримання напівфабрикатів. Найкращих економічних результатів можна досягти, якщо устаткування для утилізації забезпечує рішення усього комплексу технологічних завдань, і мобільно. Тобто має бути мобільний комплекс, який швидко монтується на відкритих і напіввідкритих майданчиках. Найвідповідальнішим етапом розпорядження непридатних артилерійських боеприпасів є витягання з корпусів снарядів вибухових речовин (ВР). Він найбільш трудомісткий, вибухо- і екологічно небезпечний. Підвищити продуктивність і понизити витрати на цьому етапі - означає прискорити увесь процес розбирання снарядів в цілому і здешевити його.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні технології витягання вибухо- і пожежонебезпечних складових ґрунтуються на вимиванні або термовпливу інертним теплоносієм (пара, гаряча вода). Використання на базах і арсеналах технології вимивання з корпусів снарядів вибухових речовин (ВР) струменем води (чистою або з абразивом) під тиском скрутно з очевидної причини - складність фільтрації великої кількості води. Тому створення мобільних комплексів на їх основі не представляється можливим. Технологія виплавки ВР за допомогою інертного теплоносія прийнятніша. Проте це низько продуктивний процес. Крім того, високі

енергетичні витрати. А вони складають значну частину в собівартості отриманого продукту. Комплекс, складений з такого устаткування, хоча і буде мобільним, представить громіздку систему, яка важко монтується. Ефективніше виплавляти ВР, нагріваючи частину корпусу ОФС індукційним способом декількома, розташованими уздовж корпусу і послідовно включеними індукційними котушками [1]. Такий спосіб виплавки має високі показники енергоспоживання і на його основі можливе створення мобільного устаткування для баз і арсеналів.

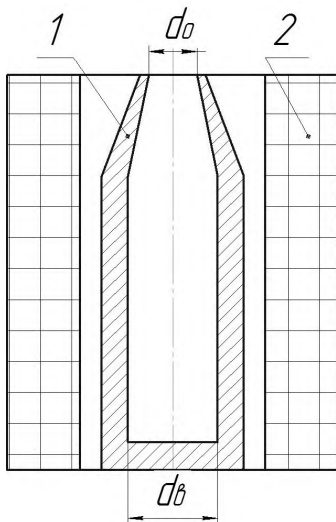


Рис. 1

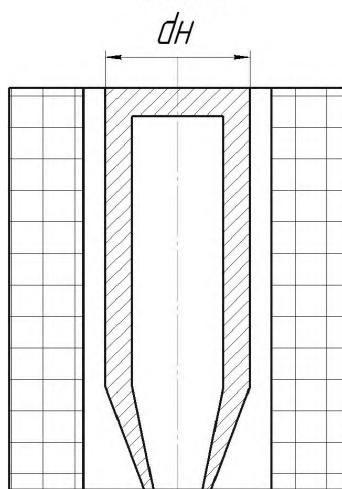


Рис. 2

Основна частина. Осколкові і осколково-фугасні снаряди (ОФС) складають основну частину НБ, що зберігаються на складах і арсеналах. Найбільш трудомісткою операцією процесу розпорядження снарядами є витягання з корпусу вибухової речовини (ВР).

Корпус ОФС - металева деталь циліндричної форми з конічним закінченням, в якому є глухий отвір. Відношення діаметру внутрішньої порожнини d_e до діаметру отвору d_o лежить в межах 1,5-2 (рис. 1). Дно масивне, а товщина стінок однакова зі зменшенням до конічної частини. ВР займає усю внутрішню порожнину корпусу, і його температура плавлення зазвичай складає 80-120⁰С.

Для витягання ВР з порожнини корпусу необхідно нагрівати або безпосередньо ВР, або корпус. Нагрівати безпосередньо самому ВР можна через отвір за допомогою нагрітого до його температури плавлення рідкого або газоподібного теплоносія. Очевидно, що теплоносій повинен подаватися під тиском. Процес плавлення при цьому відбуватиметься пошарово, але частина тепла піде на нагрів металу корпусу. Якщо нагрівати корпус те температура має бути дещо більше температури плавлення ВР, щоб компенсувати втрати тепла в докільля від зовнішньої поверхні корпусу.

Для корпусів з феромагнітного матеріалу найбільш ефективний електронагрів, а саме індукційний струмами промислової частоти. Його перевага в тому, що тепло з високою швидкістю генерується безпосередньо в самому матеріалі корпусу.

Реалізується такий спосіб конструктивно простим устаткуванням [2]. При виплавці корпус 1 поміщається в індукційну котушку 2 (соленоїд) вертикально конічною горловиною вгору (рисунок 1) або вниз (рис. 2). Якщо горловина вгорі, то щоб витягнути ВР його необхідно повністю розплавити, а потім перевернути корпус і вилити рідину в приймальну ємність. Якщо горловина внизу, то процеси плавлення речовини і його витягання поєднуються. При цьому плавиться не уся маса ВР. Розплавляється тільки частина об'єму - $V_{разн}$, приблизно рівна різниці повного його об'єму і об'єму циліндричного стержня завдовжки l і діаметром d_o , який виходить нерозплавленим через отвір. Очевидно, що чим ближче до 1 співвідношення d_e/d_o тим менше кількості ВР треба розплавити, і, значить, менше енерговитрати і швидше процес. Виплавку ВР при верхньому положенні горловини слід застосовувати, якщо потрібне

повне його розплавлення, оскільки окрім збільшеного енергоспоживання і циклу ускладнюється конструкція установки із-за наявності перевертаючого пристрою. У усіх інших випадках краще витягати ВР при нижньому розташуванні горловини.

Загальна кількість теплоти, що витрачається на витягання ВР визначається сумою:

$$Q_o = Q_m + Q_{пл} + Q_в,$$

де Q_m – тепло для нагріву внутрішніх стінок корпусу до температури плавлення ВР; $Q_{пл}$ – тепло для розплавлення речовини; $Q_в$ – тепло, яке віддається в навколишнє середовище.

Очевидно, що на тепловий ККД індукційної установки, що визначається як $\eta_m = Q_{пл} / Q_o$ в значній мірі буде впливати конструкція корпусу що нагрівається, - точніше ставлення $d_в/d_o$.

Найбільша частина в загальних витратах теплоти - це Q_m . Розглянемо можливості її скорочення. Для витягання ВР необхідно утворити розплав по усій його межі з корпусом, для чого температура внутрішньої поверхні корпусу має бути не менше температури плавлення речовини. Найкращий варіант - температура стає рівній температурі плавлення в усіх точках поверхні одночасно. В цьому випадку відбувається проплавлення речовини по його зовнішній поверхні і ВР зміщується вниз, до отвору. Надалі можна буде обмежитися нагрівом тільки конічного закінчення корпусу - горловина, щоб частина ВР у вигляді стержня діаметром d_o вийшла нерозплавленою. Після того, як вийде стержень, виливається утримуваний ним розплав речовини, об'ємом $V_{рavn}$. Якщо ж, внаслідок масивності, донна частина корпусу повільніше прогріватиметься, то спостерігається наступне явище. Основна частина речовини утримується на ній. Станеться це тому, що розплавлена по бічній поверхні речовина витече через конічну горловину і утвориться повітряний проміжок між внутрішньою поверхнею корпусу і нерозплавленим наповнювачем, який виявиться як би прикріпленим до дна. Внаслідок проміжку, що утворився, теплопередача від металу до наповнювача погіршає, і цикл виплавки подовжиться. Збільшиться і витрата енергії, яка піде на перегрівання циліндричної і конічної частин. Перегрівання триватиме до тих пір, поки температура металу дна не досягне температури плавлення ВР. Одночасного проплавлення можна досягти, якщо забезпечити генерування енергії в металі зовнішньої поверхні корпусу відповідно до його профілю, тобто нерівномірно.

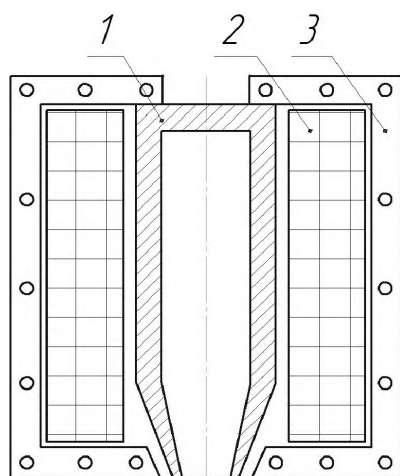


Рис. 3

Це обумовлено тим, що глибина проникнення струму в метал - шар в якому виділяється основна частина енергії, на частоті 50 Гц складає 5-7 мм, а товщина металу по перерізу корпусу, як відзначалося, не однакова. Нерівномірність генерування досягається перерозподілом магнітного потоку в просторі, або в

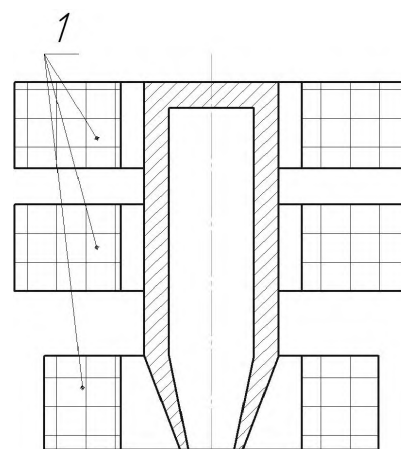


Рис. 4

просторі і часі [3]. Магнітний потік можна перерозподілити в просторі за допомогою магнітопроводящої системи 3 (рис. 3) або секційної котушкою. Індукційна котушка 1 ділиться на кілька секцій з різною кількістю витків (рис. 4). Секції з'єднуються послідовно і працюють як один нагрівач. Магнітопроводи не тільки створюють нерівномірне по висоті корпусу електромагнітне поле, а й підвищують електричний ККД нагрівача. Однак, вони обтяжують і ускладнюють конструкцію індукційної установки, ускладнюючи завантаження і вивантаження деталей.

Найбільшою мірою економиться енергія, якщо виконується не повний, а частковий нагрів корпусу снаряда. Досягається це за допомогою багатокотушкового нагрівача (рис. 5). Декілька соленоїдних котушок (1, 2) розташовують уздовж корпусу. Працюють вони незалежно, як окремі нагрівачі - кожен від свого регулятора напруги. Це дає можливість перерозподіляти магнітний потік не лише по висоті корпусу (у просторі) але і в часі. Зробивши верхню котушку переміщуваною уздовж корпусу можна забезпечити на одній установці нагрів снарядів декількох калібрів, задавши відповідний алгоритм включення

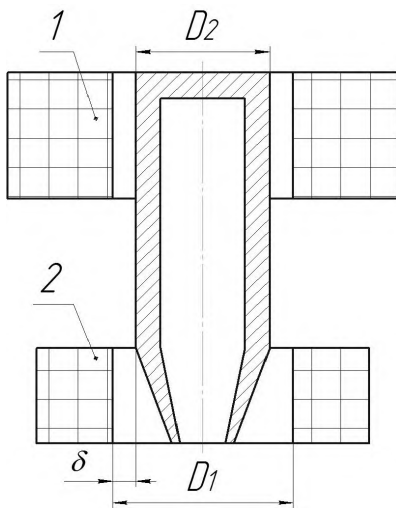


Рис. 5

котушок і регулювання струму і напруги. Наприклад, легко створюється швидкий нагрів верхньої масивнішої частини корпусу, при повільному нагріві нижньої - тонкого конуса. В результаті речовина рівномірно подплавляється по усій внутрішній поверхні, відривається від дна і опускається вниз, до конуса. Потім зниженням потужності верхньої котушки (чи повним її відключенням) і переключенням нижньої котушки в режим повторно-короткочасного включення, підтримується температура, достатня для упевненого плавлення речовини тільки внизу. Ні індуктор з магнітопроводами ні індуктор секційний таких можливостей не мають, хоча вони простіші в управлінні.

Обмеженням універсальності таких установок є зазор δ між внутрішньою поверхнею котушок індуктора і корпусом снаряда, оскільки його збільшення різко погіршує умови нагріву через ослаблення змінного магнітного поля, що генерує тепло в корпусі. Наслідком є зростання реактивної складової потужності індукторів при зменшенні активної і, отже, падіння електричного ККД - η_u [2]. Це відображає залежність:

$$\eta_u = \frac{1}{1 + \frac{D_1}{D_2} \sqrt{\frac{\rho_1}{\mu \rho_2}}}, \quad (1)$$

де D_1 і D_2 – внутрішній діаметр котушки індуктора (по провідникам) і калібр нагрівача корпусу снаряда; ρ_1 і ρ_2 – питомий опір матеріалів провідника індукційної котушки і корпусу; μ - відносна магнітна проникність матеріалу корпусу. Як видно, довжина корпусу на η_u вплив не надає.

При нагріві, проводимом с малими удельними мощностями ($2,5 \text{ Вт/см}^3$) и в течение сравнительно длительного времени, существенны тепловые потери в окружающую среду,

как от индуктора, так и от нагреваемого объекта. Эти потери характеризуют тепловой КПД - η_m , который также падает при увеличении зазора δ .

Загальний ККД індуктора - $\eta = \eta_u * \eta_m$. Його найбільше значення досягається, якщо D_1 / D_2 не більше 1,8. Зі збільшенням цього відношення η починає різко падати. Таким чином, обмеженням універсальності установок для виплавки з соленоїдними індукторами є ставлення D_1 / D_2 . Секційним індуктором так само можна швидко нагріти верх корпусу і більш повільно його нижню частину. Але після того, як це станеться і немає необхідності нагріву верхньої частині корпусу тому ВР внизу, індуктор буде продовжувати прогрів дна, марно генеруючи енергію.

Доцільність використання того чи іншого типу індукційного нагрівача залежить від розмірів корпусів. Найбільш універсальний - багато котушковий тип. Однак, при коротких корпусах його гідності не можуть проявитися. Це саме можна сказати і до секційного типу нагрівача. Розрахунки теплових процесів - генерування тепла в металі корпусу, теплопередачі і теплопровідності в їх взаємозв'язку, а так само лабораторні випробування з виплавки ВР зі сталевих корпусів розмірів $d_n = 60-150$ мм., і довжиною $L = 200-650$ мм. показали: індукційні установки з магнітопроводами найбільш вигідні для виплавки ВР з корпусів з L не більше 300 мм. При довгих корпусах вони стають громіздкими. Якщо магнітопроводи виконати розсувними, то можна досягти універсальності в межах $L = 200 - 400$ мм, при $d_n = 60 - 120$ мм Вони дають найбільший ефект, якщо потрібний потужний локальний нагрів тільки частини корпусу, наприклад його дна. Секційні нагрівачі краще всього використати як спеціальні установки для одного типорозміру корпусу. Багатокотушкові установки - для $d_n = 100 - 150$ мм і $L \geq 400 - 650$ мм

Список використаних джерел

1. Куцын А. Н. Экономичный и качественный нагрев деталей в универсальных индукционных установках / А. Н. Куцын, С. В. Романов // Сб. научных трудов ХИСП. – 1998. – № 3. – С. 119–122.
2. Зенкин А. С. Сборка неподвижных соединений термическим методом / А. С. Зенкин, Б. М. Арпентьев. – М. : Машиностроение, 1987. – 128 с.
3. Куцын А. Н. Разборка соединений с натягом в распределенном магнитном поле / А. Н. Куцын, С. В. Романов. – Донецк : ДонГТУ, 1996. – 408 с.

References

1. Kucyn, AN & Romanov, SV 1998, 'Jekonomichnyj i kachestvennyj nagrev detalej v universalnyh indukcijnyh ustanovkah', *Sbornik nauchnyh trudov Harkovskogo instituta socialnogo progressa*, no. 3, pp. 119-122.
2. Zenkin, AS & Arpentev, BM 1987, *Sbornik nepodviznyh soedinenij termicheskim metodom*, Mashinostroenie, Moskva.
3. Kucyn, AN & Romanov, SV 1998, *Razborka soedinenij s natjagom v raspredeleennom magnitnom pole*, Donbasskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, Doneck.

Стаття надійшла до редакції 11 лютого 2020 р.