Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2022. Вип. № 2(12)
ISSN 2706-7386
УДК 620.197.3:629.73 DOI: 10.37701/dndivsovt.12.2022.12

Сиза О.І., Савченко О.М. *Національний Університет "Чернігівський колегіум" імені Т.Г. Шевченка*
Корольов О.О., Гута С.С. *Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*

ЗАХИСТ ВІД КОРОЗІЙНИХ УШКОДЖЕНЬ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

У статті розглядаються питання підвищення протикорозійного захисту сталевих поверхонь шляхом введення, ефективного екологічно-безпечного інгібітора корозії МГ-ЧДТУ до складу антифрикційного мастила МЗ, що застосовується при експлуатації і зберіганні військової техніки, озброєння та боєприпасів. Введення інгібітора підвищує протикорозійні властивості мастила за рахунок утворення захисної адсорбційної плівки на поверхні сталі, яка перешкоджає доступу активаторів корозії до металу, що підтверджується результатами ОЖЕ-електронної спектрометрії.

Ключові слова*: корозія металів, інгібітори, мастильні матеріали, захист військової техніки.*

Постановка проблеми. Корозія металів є однією з ключових проблем для військової техніки, обладнання, зброї та боєприпасів. Корозія – головна причина зменшення їх терміну придатності. Її згубний вплив призводить до втрат як самого металу, так і до того, що корозійний знос деталей механізмів, вузлів і агрегатів знижує точність і надійність їх дії, тобто, в результаті і саму готовність техніки. Тому, захист від корозійних руйнувань військової техніки, озброєння і боєприпасів є актуальною задачею сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Захист від корозії проводять за трьома напрямками: підбором корозійностійких матеріалів; зміною агресивності середовища, в якому знаходиться метал; захистом металу.

Корозійностійкими називають метали і сплави, здатні чинити опір корозійному впливу навколишнього середовища [1–2]. У цьому випадку сплави легують з таким розрахунком, щоб метали, що входять до його складу, мали незначну різницю потенціалів. Це не дає можливості утворити ефективний мікрогальванічний елемент і корозійні руйнування не відбуваються. Застосовують також метали, які пасивуються. Пасивний стан металів пов'язують з утворенням на поверхні захисних плівок, що перешкоджають корозії. Найбільшу схильність до самопасивації на повітрі мають титан, алюміній, хром і їхні сплави. Сталі можуть бути леговані хромом або введенням його в сплав, або нанесенням на поверхню деталі. І тоді залізо та сталь стають пасивними. Корозійний струм різко знижується, що призводить до значного зменшення швидкості корозії. Алюміній має досить високу корозійну стійкість у вологій атмосфері. Однак, сплави алюмінію мають значно меншу корозійну стійкість у порівнянні з чистим металом. У даному випадку легуючі елементи (наприклад, залізо і мідь) погіршують корозійну стійкість за рахунок збільшення електричного потенціалу мікрогальванічного елемента. Авторами роботи [3] показано, що для деталей протимінних екранів і внутрішнього протиосколкового захисту бойових броньованих машин (ББМ) є перспективним використання алюмінієвих сплавів системи Al-Mg. Для збільшення пластичності і ударної в'язкості та вирівнювання значень фізико-механічних характеристик матеріалів, корозійної стійкості були запропоновані способи термічної обробки деталей зі сплавів системи Al-Mg, які полягають у нагріванні до температури, вищої за традиційну температуру відпалу, та прискореному охолодженні у різних середовищах. З урахуванням умов експлуатації ББМ були визначені фізико-механічні характеристики матеріалу деталей, підданих прискореному охолодженню за температур, що перевищували температуру відпалу, після нагрівання до 90^{o}C та 200^{o}C та повільного охолодження на повітрі. Після такої обробки суттєво збільшується значення

© Сиза О.І., Савченко О.М., Корольов О.О., Гута С.С., 2022

ударної в'язкості та відносного видовження зі зменшенням межі пластичності майже без зменшення межі міцності. Всі випробувані зразки показали кращі властивості та задовільну корозійну стійкість порівняно з матеріалом відпалених деталей.

Як середовище розглядаються різні його види: фюзеляжний конденсат від атмосферних впливів, випадковий вплив агресивного середовища від перевезення рідких вантажів, результат впливу акумуляторних батарей (технічні відсіки), побутові джерела забруднення, такі як засоби для чищення, результати життєдіяльності людини. Проблема полягає в тому, що найчастіше іржа видаляється механічно або не призначеними для цього засобами, в результаті чого метал може пошкоджуватися ще більше, а осередки корозії видаляються неповно. Існує також практика фарбування вже пошкоджених корозією металевих частин, але це не є довговічним і не дозволяє також визначити реальний ступінь зносу виробу та зробити прогноз, наскільки цей знос може вплинути на довговічність та експлуатаційні характеристики [1–4].

З метою запобігання корозійним пошкодженням проводиться огляд і чистка, а потім протикорозійні заходи обробки поверхні зброї та техніки. Як відомо, при експлуатації артилерійського озброєння застосовуються такі групи матеріалів: мастила, оливи, робочі рідини, очисні сполуки, матеріали для герметизації та пакування, лакофарбові матеріали [4–7].

Мастила – це мазеподібні матеріали, що призначені для забезпечення нормальної роботи деталей, вузлів і агрегатів артилерійського озброєння та техніки, запобігання їх передчасному зношуванню та тимчасовому захисту від корозії. Але змащувальні матеріали самі можуть викликати корозію через наявність у них органічних кислот, сірчаних з'єднань і водорозчинних та органічних кислот і лугів. Органічні кислоти викликають корозію кольорових металів при підвищених температурах, за наявності вологи і кисню. Сірка виявляє корозійну дію стосовно міді. Чим вище температурні умови, тим більше її агресивність. Водорозчинні кислоти і луги агресивні стосовно металів за будь-яких умов експлуатації. Тому, довговічність кожного зразка озброєння та військової техніки, наприклад, танка, гармати, автомобіля залежить від якості мастильних матеріалів та від того, наскільки правильно вони застосовуються. Відомі випадки, коли через низьку якість мастильних матеріалів та невмілого їх застосування відбувались аварії та катастрофи, виходило із ладу обладнання, відмовляли в роботі прилади, скорочувався термін служби вузлів, агрегатів та деталей [4]. Мастила з недостатньо високою хімічною стабільністю окиснюються киснем повітря з утворенням вуглеводневих оксидів, що викликають корозію металу.

Для гальмування процесів корозії раціональним методом захисту є використання інгібіторів, які при невеликих капітальних витратах перешкоджають деградації металів, руйнуванню обладнання, конструкцій та механізмів. Інгібітори вводять в систему "навколишнє середовище-метал" – в результаті корозійні процеси уповільнюються або навіть припиняються за рахунок утворення захисних плівок на поверхні металу, перешкоджаючи тим самим доступу агресивного середовища до поверхні. Інгібітори також знижують або зводять до нуля електричний потенціал мікрогальванічної пари, що знижує корозію. Деякі інгібітори зменшують у навколишньому середовищі вміст кисню, що гальмує інтенсивність процесів окиснення. Тому, до складу ряду мастил, що мають тривалі контакти з металами і сплавами, додають інгібітори, і знос деталей за рахунок корозії різко знижується. Такі мастила можна застосовувати як захисний засіб від корозії, наносячи їх на металеву поверхню. Інгібітори також можна додавати в воду і миючі засоби для промивання від забруднень різних поверхонь військової техніки та обладнання. Актуальнім питанням є розробка нових екологічно безпечних інгібіторів корозії з високим захисним ефектом дії, які мають широку сировинну базу. Викликають інтерес інгібітори МГ-ЧДТУ та МГС на основі продуктів переробки гірчиці та гірчичної олії, розроблені для захисту поверхонь сталевого обладнання і комунікацій, що працюють у кислих і нейтральних робочих середовищах [8–11]. Інгібітори мають високий захисний ефект – (95–99,5)%.

ISSN 2706-7386

Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми. Зважаючи на те, що інгібітор МГ-ЧДТУ є продуктом модифікації гірчичної олії і буде гарно поєднуватися з матеріалами на основі нафтової олії, актуальними є дослідження можливості застосування саме цього інгібітора у складі мастильних матеріалів.

Мета статті. Дослідити вплив інгібітора МГ-ЧДТУ на протикорозійні властивості мастильних матеріалів, що застосовуються при експлуатації і зберіганні військової техніки, озброєння та боєприпасів.

Виклад основного матеріалу.

Об'єкти досліджень. Для дослідження було вибране антифрикційне мастило МЗ (ТУ 38001263-16), що широко застосовується при експлуатації артилерійського озброєння, використовується одночасно як робоче і консерваційне (табл.1). Являє собою однорідну мазеподібну масу коричневого кольору і призначене для змащування артилерійського озброєння та агрегатів наземного обладнання. Мастило забезпечує нормальну роботу механізмів у діапазоні температур від мінус 50 ^{o}C до +80^{o}C.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники якості мастила МЗ (ТУ 38001263-16)

Найменування показника	Значення показника
Зовнішній вигляд	Однорідна мазь від світло-коричневого до темно-коричневого кольору
Температура краплепадіння, °С	100
Колоїдна стабільність, % виділеної оливи, не більше	8
Межа міцності при 50°С, г/см^2, не нижче	2,0
В'язкість ефективна при -30°С і середньому градієнті швидкості деформації 10 с$^{-1}$, пуаз, не вище	20000
Температура сповзання, °С, не нижче	80
Кородуюча дія на Сталі 54, латуні Л-63, бронзі БрОФ 10-1НО	Витримує
Вміст води	Відсутня
Вміст механічних домішок	Відсутні

Для отримання екологічно-безпечного інгібітору МГ-ЧДТУ [9, 11] використана сировина рослинного походження – гірчична олія. Модифікацію рослинної олії, з метою отримання поверхнево-активних речовин, здійснювали шляхом сульфатування та додавання похідних бензімідазолу (**R-БІ**) – гетероциклічні сполуки з декількома реакційними центрами (рис.1).

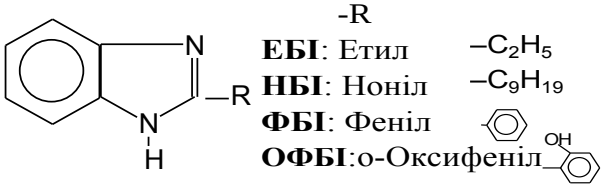


Рис.1. Похідні бензімідазолу

Жирні карбонові кислоти гірчичної олії мають від одного до трьох подвійних зв'язків, завдяки чому можливі процеси сульфатування та нейтралізації. В результаті утворюється поверхнево-активна речовина аніонного типу (рис.2), яка має гідрофобні (неполярна вуглеводнева частина) та гідрофільні (полярна частина, що представлена реакційно-активними групами >C=O; -O-; -OSO_3H) ділянки.

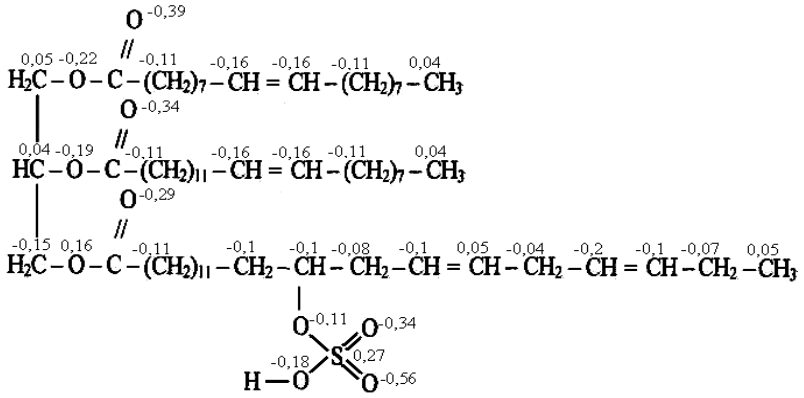


Рис.2. Електронні заряди на реакційних центрах молекули модифікованої гірчичної олії (метод MNDO/d) [8]

Крім того нейтралізація сульфатованої гірчичної олії по гідрофільній частині здійснювалась діетиламіном, тобто до складу інгібітору МГ-ЧДТУ входять також протоновані катіони диетиламіну та похідних бензімідазолу.

Методика та обладнання. Корозійні дослідження проводили відповідно ГОСТ 9.080–77. Пластинки металеві товщиною 3–4 мм, розміром 50×50 мм. Кожна пластинка має отвір діаметром 5 мм для підвішування на скляному гачку; отвір знаходиться на відстані 5 мм від граней в одному з кутів пластинки. Металеві пластинки, включаючи бічні поверхні та стінки отворів, зачищають шліфувальною шкіркою вздовж оброблюваної поверхні та у зворотному напрямку. Шорсткість поверхні сталевих пластинок за ГОСТ 2789 становить: 0,63–0,32 мкм. Шліфовані пластинки поміщають у фарфорову чашку з бензином і ретельно промивають, після чого протирають фільтрувальним папером, змоченим спиртом, і просушують. Підготовлені пластинки тримають щипцями і розглядають у лупу. На поверхні пластинок не повинно бути слідів корозії. З поверхні проби мастила шпателем знімають і відкидають верхній шар. У кількох місцях (щонайменше трьох) беруть мастило в кількості 250 г, вносять у фарфорову або скляну ємність, ретельно перемішують. Склянку заповнюють так, щоб після занурення в мастило металевих пластинок над ними був шар мастила близько 10 мм.

Контроль за вмістом і розподілом хімічних елементів у приповерхневому шарі металу здійснювався методом Оже-електронної спектрометрії (мікрозондування та мікропрофіліювання) на Оже-спектрометрі AES-2000 приладового комбайну-лабораторії LAS-2000 (RIBER, Франція).

Основні результати**.** Підготовлені сталеві зразки підвішували на скляну паличку за скляні гачки і повністю занурювали у мастило так, щоб вони не торкалися дна та стінок склянки (по три пластини у склянку). Паралельно проводили дослід з додаванням у мастило інгібітора МГ-ЧДТУ у кількості 1% від маси мастила. Відстань між пластинками не менше 10 мм. Склянки з мастильним матеріалом і пластинками поміщали у термостат, нагрітий до (70±2)°С, і витримували при цій температурі впродовж 5 годин. Іншу групу зразків, після витримки у термостаті, законсервували: герметично закрили і залишили при кімнатній температурі зануреними в мастилі (без інгібітора і з інгібітором) впродовж 30 діб. Крім того, для порівняння, у кліматичній камері (що імітує жорсткі природні умови експлуатації техніки) з вологістю 80–90%, температурою 25±5^{o}С витримували сталеві пластинку на повітрі, без занурення у мастильні матеріали.

Після закінчення часу випробування пластинки вийняли зі склянок і зняли фільтрувальним папером шар мастила, що прилип до їх поверхні. Потім пластинки помістили у фарфорову чашку з бензином і відмили від залишків мастила, додатково промили чистим бензином. Промиті пластинки висушували, притискаючи до поверхонь сухі листи фільтрувального паперу.

Обстеження поверхні пластин після експозиції показало, що зразки з інгібітором і без інгібітора мають відмінності. В присутності МГ-ЧДТУ поверхня сталевих зразків чиста, без ознак корозії для обох режимів дослідження. Тоді як без застосування інгібітору на поверхні металу, спостерігаються неозброєним оком, незначні корозійні вкраплення – поодинокі після витримки в термостаті та дещо більші після консервації зразків.

Дія інгібіторів полягає у тому, що вони адсорбуються на металевих поверхнях, утворюють захисні плівки, які не піддаються корозії; а також зменшують окиснення мастил. Введення інгібіторів в робоче середовище впливає на процеси, які відбуваються лише на поверхні металу. Співставлення Оже-спектрів приповерхневих шарів сталі на повітрі (без занурення в досліджуване середовище) та після їх експозиції в мастилах підтверджує наявність захисної плівки на поверхні зразків, що витримані в мастилі з добавкою інгібітора МГ-ЧДТУ (рис.3–4). Так, отримані результати показують, що вміст Оксигену у зразках, які знаходились на вологому повітрі, поступово зменшується і стабілізується на глибині 50–52 нм від поверхні. Після витримки в мастилі вміст Оксигену стабілізується у зразках на глибині 40 нм (3–4%, атом.). За наявності інгібітору – вміст Оксигену найменший і стабілізується на глибині травлення 15 нм. Це свідчить про утворення захисної плівки, яка ефективно перешкоджає доступу Оксигену до поверхні металу.

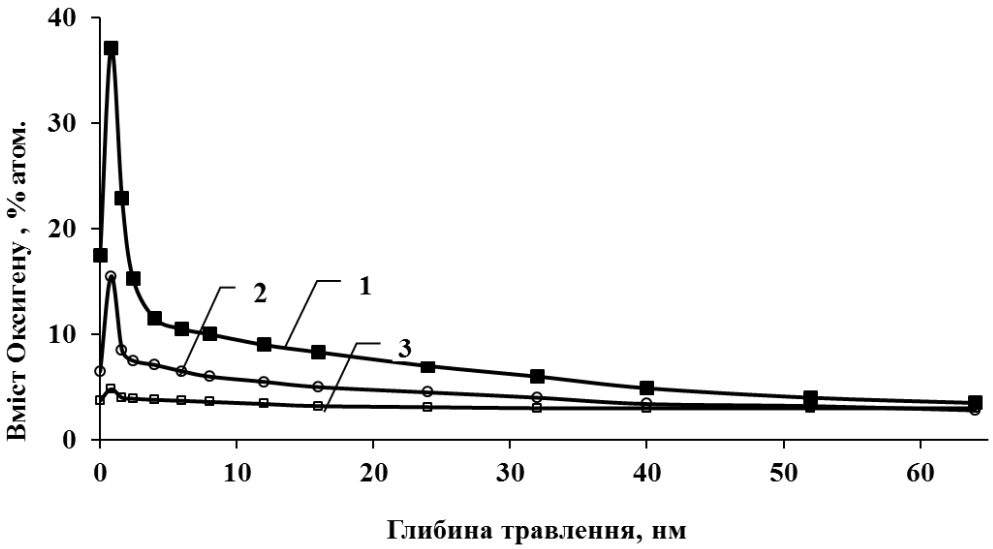


Рис.3. Залежність вмісту Оксигену від глибини травлення зразків Сталь 45 після витримки: 1 – на вологому повітрі; 2, 3 – у мастилі МЗ: 2 – без інгібітору, 3 – з інгібітором МГ-ЧДТУ

Найбільший вміст Феруму у приповерхневому шарі (98%, атом) спостерігається на зразках, які пройшли обробку в інгібованому мастилі (рис.4, крива 4). Стабілізація вмісту Феруму спостерігається вже з глибини 30–40 нм. Пояснюється це тим, що поверхня сталі вкривається захисною плівкою, яка складається з феруму оксидів та комплексних сполук Феруму з інгібітором. Адсорбція інгібітору може відбуватися як на атомах Феруму, так і на його оксидах за рахунок наявності вакантних електронних орбіталей, які здатні приймати електрони. В результаті утворюється щільний шар, що ускладнює дифузію йонів-активаторів до поверхні металу.

При застосуванні мастила МЗ, яке використовують як тимчасовий засіб захисту, утворюється адсорбційний шар поверхнево і хімічноактивних речовин, які присутні у оливах. Вміст Феруму у приповерхневому шарі становить 88% (атом.) (рис.4, крива 3).

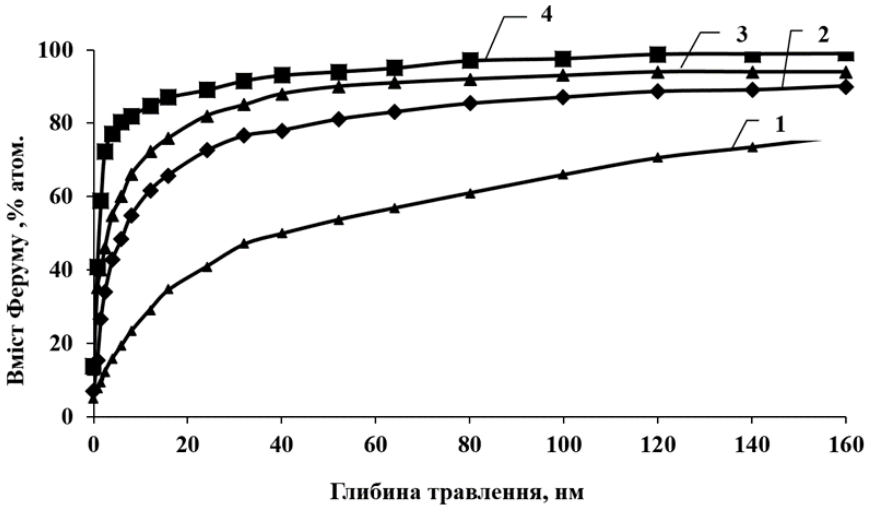


Рис.4. Залежність вмісту Феруму від глибини травлення сталевих зразків Сталі 45 після витримки: 1 – у 3%-ному розчині NaCl; 2 – на вологому повітрі; 3, 4 – у мастилі МЗ: 3 – без інгібітору, 4 – з інгібітором МГ-ЧДТУ

Тоді як вмісту Феруму на зразках, які витримувались у вологому середовищі без обробки мастилом, складає лише 80% (атом.) і стабілізується тільки з глибини 100–120 нм, що пояснюється утворенням пухких приповерхневих шарів з продуктів корозії. Найбільші корозійні руйнування спостерігаються на зразку сталі, витриманому у водному розчині 3%-ного NaCl (агресивне середовище приморських районів) – навіть на глибині травлення 160 нм не відбулася стабілізація вмісту Феруму.

Висновки.

Проведені дослідження показали перспективність застосування екологічно безпечного інгібітора корозії МГ-ЧДТУ у складі антифрикційного мастила МЗ. Введення інгібітора підвищує протикорозійні властивості мастила за рахунок утворення захисної адсорбційної плівки на поверхні сталі, яка перешкоджає доступу активаторів корозії до поверхні металу, що підтверджується результатами ОЖЕ-електронної спектрометрії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дурягіна З.А. Сплави з особливими властивостями: навч. посібник / З.А. Дурягіна, О.Я. Лизун, В.Л. Пілюшенко. – Львів: Вид-во Національного ун-ту “Львівська політехніка”, 2007. – 236 с.

2. Борисенко Ю.В. Матеріали сучасної техніки та захист від руйнування: навчальний посібник. – К.: КНУТД, 2016. – 111 с.

3. Кузмицька А.І. Корозійна стійкість матеріалів протимінних екранів та внутрішнього протиосколкового захисту бойових броньованих машин. / А.І. Кузмицька, С.П. Бісик, О.В. Бондаренко // Тези доповідей на VII науково-технічній конференції “Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки”, 09–10 жовтня 2019 року. – Київ: МОУ, 2019. – С. 178–179.

4. Дерев’янчук А.Й. Експлуатація артилерійського озброєння: навч. посібник / А.Й. Дерев’янчук, А.О. Вакал. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 132 с.

5. Сафронов О.І. Використання амідамінів олій в якості присадок до мастильних матеріалів / О.І. Сафронов, О.О. Папейкін, І.О. Венгер, Л.Ю. Бодачівська // Вісник ОНУ. Хімія. – 2018. – Том 23. – Вип. 3(67). – С. 29–39. – DOI: 10.18524/2304-0947.2018.3(67). 134804.

6. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали : навч. посіб. для дистанц. вивч. / А.М. Антипенко, В.А. Войтов, П.М. Клімов, А.І. Окоча, В.М. Романченко, С.Ю. Ярохно. – Харків, 2011. – 233 с.

7. Окоча А.І. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали : Навч. посіб / А.І. Окоча, Я.Ю. Білоконь. – К.: Укр. центр духовн. культури, 2004. – 445 с.

8. Савченко О.Н. Использование модифицированных растительных масел в противокоррозионной защите стали / О.Н. Савченко, О.И. Сизая // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – Вып. № 4. – С. 14–18.

9. Деклараційний патент України на корисну модель № 8626. Інгібітор корозії / Сиза О.І., Савченко О.М., Гаценко С.В. Заявл. 24.01.2005. Опубл. 15.08.2005. Бюл. № 8, МПК 7 С23 F11/10. – С. 5.112.

10. Сизая О.И. Исследование защитного действия противокоррозионных материалов на основе продуктов растительного происхождения / О.И. Сизая, О.Н. Савченко, А.А. Королев // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – Вып. № 5. – С. 34–39.

11. Савченко О.Н., Сизая О.И., Гуменюк О.Л. Использование модифицированного горчичного масла в противокоррозионной защите стали / О.Н. Савченко, О.И. Сизая, О.Л. Гуменюк // Защита металлов. – 2005.– Т. 41. – Вып. № 6. – С. 620–627.

Сиза Ольга Іллівна
доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімії, технологій та фармації Національного університету "Чернігівський колегіум" імені Т.Г. Шевченка, Чернігів, Україна
https://orcid.org/ 0000-0003-4624-9656
ResearcherID: H-1156-2016
Scopus Author ID**:** 660239862
+38-050-465-61-97

Савченко Олеся Миколаївна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімії, технологій та фармації Національного університету "Чернігівський колегіум" імені Т.Г. Шевченка, Чернігів, Україна
http://orcid.org/0000-0002-0385-7232
ResearcherID: H-1217-2016
Scopus Author ID: 7006763332
+38 (063)-337-03-39

Корольов Олександр Олександрович
кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння і військової техніки, Чернігів, Україна
https://orcid.org/0000-0002-1098-2007
Scopus Author ID 24331876400
+38-095-275-47-15

Olga Syza
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department Chemistry, Technology and Pharmacy of the T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium", Chernihiv, Ukraine
https://orcid.org/ 0000-0003-4624-9656
ResearcherID: H-1156-2016
Scopus Author ID**:** 660239862
+38-050-465-61-97

Olesya Savchenko
Ph Din Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department Chemistry, Technology and Pharmacy of the T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium", Chernihiv, Ukraine
http://orcid.org/0000-0002-0385-7232
ResearcherID: H-1217-2016
Scopus Author ID: 7006763332
+38 (063)-337-03-39

Alexander Korolev
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Lead Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-1098-2007
Scopus Author ID 24331876400
+38-095-275-47-15

ISSN 2706-7386

Гута Степан Степанович
молодший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
https://orcid.org/0000-0002-6387-4122
+38-093-286-03-44

Huta Stepan
Junior Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-6387-4122
+38-093-286-03-44

ANTI-CORROSION PROTECTION OF MILITARY EQUIPMENT
O Syza, O Savchenko, O Korolev and S Huta

Corrosion of metals is a key problem for military equipment, weapons and ammunition. Its pernicious impact leads to losses of both the metal itself and the fact that corrosion wear of parts of mechanisms, assemblies reduce the accuracy and reliability of their action, as a result, and the readiness of the equipment. Therefore, protection against corrosive destruction of military equipment, weapons and ammunition is an urgent aim of today.

To prevent corrosion processes, a rational method of protection is the use of inhibitors, which, at low capital costs, prevent the destruction of equipment, structures and mechanisms. Therefore, inhibitors are added to some lubricating oils that have long-term contact with metals and alloys, and wear of parts as a result, corrosion is reduced. Such lubricants can be used as corrosion protection by applying them on a metal surface. Inhibitors based on mustard oil are designed to protect the surfaces of steel equipment and communications operated in acidic and neutral working environments and have a high protective effect – 95-99.5%.

The article considers the issues of anticorrosion protection increase of steel surfaces by introducing an effective environmentally-safe corrosion inhibitor into the composition of anti-friction lubricant used in the operation and storage of military equipment, weapons and ammunition. The introduction of the inhibitor increases the anti-corrosion properties of the lubricant by forming a protective adsorption film on the steel surface that prevents the corrosion activators from accessing the metal, which is confirmed by the results of the electronic spectrometry.

Keywords: *corrosion of metals, inhibitors, lubricants, anti-corrosion protection of military equipment.*