

УДК 629.5.018.5:621.791.75

DOI 10.47049/2226-1893-2026-2-152-171

АНАЛІЗ СПЕЦИФІКИ РОБОТИ ТЕХНІЧНОГО ФЛОТУ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ СУДНОВИХ ДЕТАЛЕЙ

О.І. Стальніченко

к.т.н., професор, завідувач кафедри «Матеріалознавство і технологія матеріалів»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5801-7513>

tmkafedra@bigmir.net

Д.В. Іоргачов

к.т.н., доцент кафедри «Матеріалознавство і технологія матеріалів»

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1156-9089>

mitmonmu@gmail.com

Є.М. Козішкурт

PhD, ст. викладач кафедри «Матеріалознавство і технологія матеріалів»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7311-7395>

koziskurtevgen@gmail.com

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

Анотація: У статті розглянуто специфіку експлуатації технічного флоту, зокрема землечерпальних снарядів, для яких характерні екстремальні умови роботи механізмів ковшових ланцюгів.

Проаналізовано конструкційні особливості пальців ковшового ланцюга, що зазнають дії високих питомих тисків, абразивного зношування, корозійного середовища морської води та ударних навантажень, що призводить до інтенсивної втрати працездатності.

Встановлено, що традиційні способи відновлення, зокрема напилення, є малоефективними через високу пористість покриттів і недостатню здатність витримувати локальні навантаження.

На основі проведених у Одеському національному морському університеті досліджень запропоновано технологію відновлення пальців ковшових ланцюгів методом електродугового наплавлення порошковими дротами різного хімічного складу.

Детально розглянуто властивості матеріалів ПП-АН 170, ПП-АН 125 та ПП-АН 122, а також особливості формування наплавлених шарів, їх твердість, структурні характеристики та технологічні обмеження. Показано, що застосування комбінованого гвинтового наплавлення з використанням підшарів із пластичного дроту СВ-08А дозволяє мінімізувати утворення тріщин та забезпечити рівномірність наплавленого шару.

© Стальніченко О.І., Іоргачов Д.В., Козішкурт Є.М., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Проведені порівняльні випробування на зносостійкість із використанням спеціальної випробувальної установки підтвердили функціональну ефективність наплавлених матеріалів. Встановлено, що дроти ПП-АН 122 та ПП-АН 170 забезпечують близькі значення відносного зносу, проте ПП-АН 122 має технологічну перевагу завдяки кращій оброблюваності після наплавлення та підвищенню твердості в процесі термообробки. Показано, що збільшення частоти обертання та тривалості випробувань призводить до стабілізації зношування після етапу прироботки.

Зроблено висновок щодо доцільності використання порошкових дротів ПП-АН 170 і ПП-АН 122 для відновлення пальців ковшових ланцюгів землечерпалок, а також визначено напрями подальшого підвищення ресурсу деталей шляхом оптимізації зазорів у сполученнях та вдосконалення технологічних операцій механічної обробки.

Ключові слова: технічний флот, землечерпальна установка, ковшовий ланцюг, палець черпакового ланцюга, абразивне зношування, електродугове наплавлення, зносостійкість, відновлення суднових деталей.

UDC 629.5.018.5:621.791.75

DOI 10.47049/2226-1893-2026-2-152-171

ANALYSIS OF THE SPECIFIC OPERATING CONDITIONS OF TECHNICAL FLEET VESSELS AND THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR MARINE COMPONENT RESTORATION

Oleg Stalnichenko

Ph.D, Professor,

Head of the Department «Materials Science and Technology»

Dmitry Iorhachov

Ph.D., associate professor of the Department «Materials Science and Technology»

Evgeny Kozishkurt

Ph.D, Senior lecturer of the Department «Materials Science and Technology»

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

Abstract. *The article examines the specific operational conditions of the technical fleet, particularly dredging equipment, which is characterized by extreme working environments for bucket-chain mechanisms.*

The design features of bucket-chain pins, which are exposed to high contact pressures, abrasive wear, the corrosive action of seawater, and dynamic loads leading to intensive loss of serviceability, are analyzed. It is established that traditional restoration methods, including thermal spraying, are ineffective due to the high porosity of coatings and their insufficient ability to withstand localized loads.

Based on research conducted at the Odessa National Maritime University, a technology for restoring bucket-chain pins using electric-arc surfacing with flux-cored wires of various chemical compositions is proposed. The properties of materials PP-AN 170, PP-AN 125, and PP-AN 122, as well as the features of weld-layer formation, hardness, structural characteristics, and technological limitations, are examined in detail. It is shown that the use of combined helical surfacing with a sub-layer of ductile SV-08A wire helps minimize crack formation and ensures uniformity of the deposited layer.

Comparative wear-resistance tests carried out using a specialized experimental setup confirmed the functional effectiveness of the deposited materials. It is found that PP-AN 122 and PP-AN 170 wires provide similar levels of relative wear; however, PP-AN 122 demonstrates technological advantages due to better machinability after surfacing and increased hardness after heat treatment. It is shown that increasing the rotational speed and test duration results in stabilization of wear after the initial run-in stage.

The study concludes that PP-AN 170 and PP-AN 122 flux-cored wires are suitable for restoring bucket-chain pins of dredgers, and identifies further directions for improving component service life through optimization of clearance fits and enhancement of machining processes.

Keywords: *technical fleet, dredging equipment, bucket chain, bucket-chain pin, abrasive wear, electric-arc surfacing, wear resistance, marine component restoration.*

Вступ. Значну роль для забезпечення безперебійної роботи морських і річкових портів відіграє технічний флот, до якого входять судна, призначені для підтримки належних глибин в акваторіях морських портів і каналів (землечерпальні снаряди, землесоси), а також судна, які їх обслуговують (вантажовідвідні шаланди, мотозаводні та інші).

Призначення суден технічного флоту накладає свою специфіку на їх архітектуру, вони значно відрізняються від транспортних і пасажирських суден і своїм внутрішнім пристроєм, і наявністю спеціального обладнання.

Багаточерпаковий дноуглублювачий снаряд – найбільш продуктивне знаряддя вилучення ґрунту з дна акваторії механічним способом. Основою цього снаряду є ланцюг послідовно з'єднаних між собою ґрунтозабірних черпаків, ковшів.

В результаті складних умов роботи деякі елементи суднових дизелів і пристроїв втрачають свої функціональні властивості до такого ступеня, що подальша їх експлуатація стає неможливою або технічно-економічно не вигідно.

Відновлення функціональних властивостей деталей до робочого стану потребує проведення конкретних робіт. Для вирішення цієї задачі необхідне проведення науково-дослідних робіт по пошуку нових способів ремонту деталей, скорочення термінів їх проведення, підвищення якості і зниження вартості ремонту суден. Вирішувати таку важливу проблему необхідно зараз, тому що після нашої Перемоги буде значне відродження морського флоту, для якого необхідно забезпечити сучасну ремонтну базу, поповнену новими технологічними процесами та обладнанням.

Мета статті – дослідження умов роботи механізмів ковшових ланцюгів землечерпальних суден технічного флоту та обґрунтування ефективних технологій відновлення їхніх зношених деталей.

На основі аналізу конструкційних особливостей пальців ковшового ланцюга й оцінки їхнього зношування в екстремальних експлуатаційних умовах стаття спрямована на визначення оптимальних способів електродугового наплавлення порошковими дротами, порівняння їхніх зносостійких властивостей та встановлення найбільш раціональних технологічних рішень для підвищення довговічності та надійності деталей землечерпалок.

Виклад основного матеріалу. В Одеському національному морському університеті проведені наукові дослідження по розробці технологічних процесів, обладнанню і матеріалів по відновленню і зміцненню деталей ковшового ланцюга землечерпалок.

В результаті вивчення умов роботи механізму черпакового ланцюга виявилась номенклатура деталей, що підлягають відновленню. В першу чергу це пальці черпакових ланцюгів, які за умовами їх взаємодії з деталями, що сполучаються в період робочого процесу, витримують великі локальні навантаження, які визивають значні контактні напруження і зношення через потрапляння в вузли сполучення абразивних частин, які присутні у ґрунті, що виймається.

Ці деталі мають значну масу до 200 кг і виготовляються з високоміцних і дорогих сталей типу ГПЗЛ, 38ХНЗМА, 40ХН2МА, 35ХГСА та ін.

Аналіз існуючих способів відновлення геометричних розмірів деталей показав, що для цих цілей може бути застосований спосіб напилення та електродугове наплавлення [1].

Як показали дослідження, напилення зносостійких матеріалів на зношену поверхню пальця черпакового ланцюга, наприклад, плазмовим напиленням або електродуговою металізацією з застосуванням порошкових матеріалів, дротів суцільного перерізу або порошкових дротів, може забезпечити нормальну роботу деталей у вузлах, не підданих динамічним і локальним навантаженням.

Враховуючи умови роботи пальців черпакового ланцюга землечерпальців, де питомий тиск в деталях, що сполучаються, досягає $15-40 \text{ кг/мм}^2$, а зсувні зусилля перевершують сили зчеплення частинок напиленого металу між собою і з поверхнею деталі через високу пористість, до 25-30%, спосіб відновлення та зносостійкості неприйнятний (рис. 1).

Спосіб напилення є найбільш доцільним для деталей, що працюють в умовах чистого тертя та граничного змащення.

Пористе покриття, що отримується в процесі напилення, має здатність поглинати мастило і тому може успішно працювати тривалий час в умовах відсутності додаткової подачі мастила. Цю властивість досить успішно можна використовувати для втулок ґрунтових насосів, попередньо просочивши їх мастилом з добавкою дисульфиду молібдену.

Електродугове наплавлення є одним з найбільш ефективних способів відновлення геометричних розмірів деталей та підвищення їх зносостійкості.

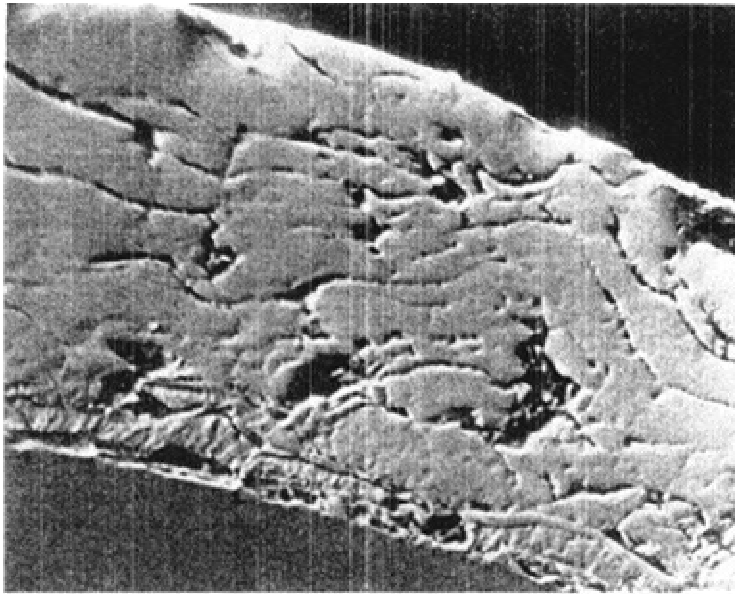


Рис. 1. Мікроструктура напленого матеріалу

Механізоване наплавлення електродуговим способом плавиться електро-дом, яким можуть бути дріт суцільного перерізу, порошковий дріт, стрічка, порошкова стрічка, яке має високу продуктивність, дозволяє отримати значну товщину наплавленого металу за один прохід, забезпечує досить високу однорідність хімічного складу металу шва [2].

Механізоване електродугове наплавлення [3] має ще й такі переваги, як безперервність процесу, одержуваного шляхом використання дроту у вигляді великих мотків, наплавленням великими струмами без перегріву електрода, застосуванням спеціальних пристроїв для переміщення електрода щодо наплавлюваної поверхні. Зазначені переваги були визначальними при виборі способу відновлення пальців ковшового ланцюга землечерпалок.

Умови роботи пальців ковшового ланцюга, що характеризуються значними питомими тисками, а також абразивним зносом, пред'являють особливі вимоги до механічних властивостей наплавленого матеріалу і в першу чергу по твердості та зносостійкості.

Аналіз матеріалів, що застосовуються для механізованого електродугового наплавлення, що дають поверхневу твердість порядку 50-60 HRC, показує, що в основному це порошкові дроти і порошкові стрічки, що мають у складі шихти легуючі елементи, що утворюють в наплавленому металі карбідні з'єднання, які мають високу твердість і зносостійкість.

За класифікацією Міжнародного інституту зварювання (МІЗ) це високолеговані високохромисті спеціальні чавуни. Найбільше поширення для високоміцних наплавок отримали порошкові дроти цього класу ПП-АН 125 і ПП-АН 170, та інші такого ж хімічного складу.

При наплавленні деталей зазначеними дротами поверхнева твердість досягає для ПП-АН 125 - 50-60 HRC, для ПП-АН 170 - 60-65 HRC.

Хімічний склад порошкових дрітків ПП-АН 125 та ПП-АН 170 наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад порошкових дрітків

Марка дроту	Зміст елементів у % (середні значення)					
	C	Cr	Mn	Si	Ti	B
ПП-АН 170	0,7	20,0	0,6	0,6	0,2	3,0
ПП-АН 125	2,0	15,0	1,0	1,5	0,3	0,7

Особливістю наплавлення поверхонь деталей порошковими дротами типу ПП-АН 170 і ПП-АН 125 є утворення тріщин, запобігти які особливо на деталях, що мають значні розміри, практично неможливо. Крім цього наплавлення порошковим дротом ПП-АН 125 дає найгірше формування валиків наплавлення.

У зв'язку з цим були проведені експериментальні роботи з пошуку способу наплавлення, що запобігають утворенню тріщин. Найбільш прийнятним виявився спосіб гвинтового наплавлення по попередньому наплавленому підшару з більш пластичного матеріалу з наступним накладенням на нього валиків, що чергуються, з високоміцного матеріалу і пластичного маловуглецевого матеріалу типу СВ-08А (рис. 2).

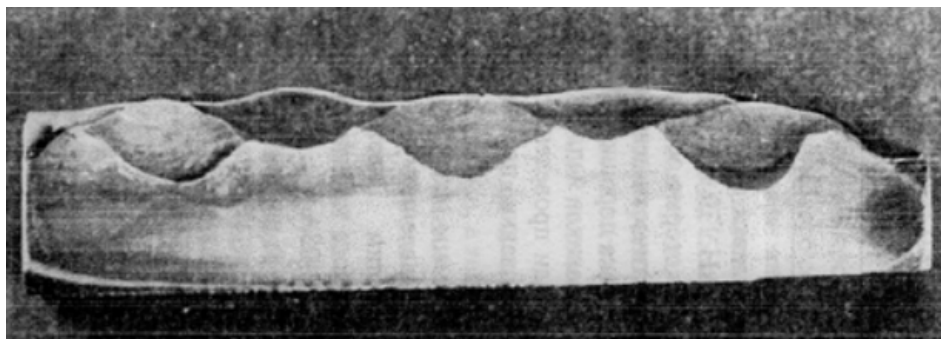


Рис. 2. Макрошліф багат шарового наплавлення порошковим дротом

Наплавлення зразків та натурних пальців ковшового ланцюга землечерпалок типу «Десна» та «Ріон» мали поверхневу твердість близько 55-60 HRC. Така висока твердість не дозволяє зробити механічну обробку наплавленої поверхні звичайним способом, тобто токарною обробкою. Необхідно обробляти наплавлену поверхню шліфувальним кругом, пристосованим на токарному верстаті або на

круглошліфувальному верстаті. Все це викликає певні труднощі в умовах реального виробництва.

З огляду на це були продовжені пошуки матеріалів, які поряд з високою твердістю наплавленого шару дозволяли провести обробку на токарному верстаті різцями.

Як показали дослідження, найбільш прийнятним є порошковий дріт ПП-АН 122, наплавлений шар якої має мартенситну структуру і твердість до 45-50 HRC, досить добре обробляється різцями на токарному верстаті. Хімічний склад порошкового дроту ПП-АН 122 наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Хімічний склад порошкового дроту ПП-АН 122

Марка дроту	Зміст елементів у % (середні значення)					
	C	Cr	Mn	Si	Mo	Ti
ПП-АН 122	0,3	4,5	1,6	0,8	0,6	0,25

Наплавлення порошковим дротом ПП-АН 122 має резерв підвищення поверхневої твердості.

Після відпалу, термообробки та відпуску поверхнева твердість наплавлення становить 50-55 HRC.

В результаті аналізу результатів дослідження можна зробити висновок: для відновлення пальців ковшового ланцюга найбільш прийнятними є порошкові дроти ПП-АН 170 та ПП-АН 122 або інші такого хімічного складу.

Проведення порівняльних випробувань на зносостійкість.

Розрахунок навантажень, що діють на пальці ковшового ланцюга. В силу специфіки кріплення пальців у ковшовому ланцюгу вони можуть здійснювати в процесі роботи обертання навколо осі, як це відбувається на землечерпалках «Десна» і «Ріон» або кут, орієнтовно рівний 90 ° на землечерпалці «Іллічівськ».

Схему черпакового ланцюга землечерпалки «Іллічівськ» показано на рис. 3.

Умови роботи пальців ковшового ланцюга характеризуються впливом високого питомого тиску на сполучувані поверхні пальців і втулок, присутністю абразивних частинок, що потрапляють у зазори разом із ґрунтом, який видаляється, а також дією хімічно активного середовища — морської води, що спричиняє корозію.

Для визначення випробувального навантаження при порівняльних випробуваннях наплавлених матеріалів на зносостійкість укрупнений розрахунок величини питомого тиску на деталі ковшового ланцюга, що сполучаються, можна прийняти для розрахунку землерийних і транспортуючих машин.

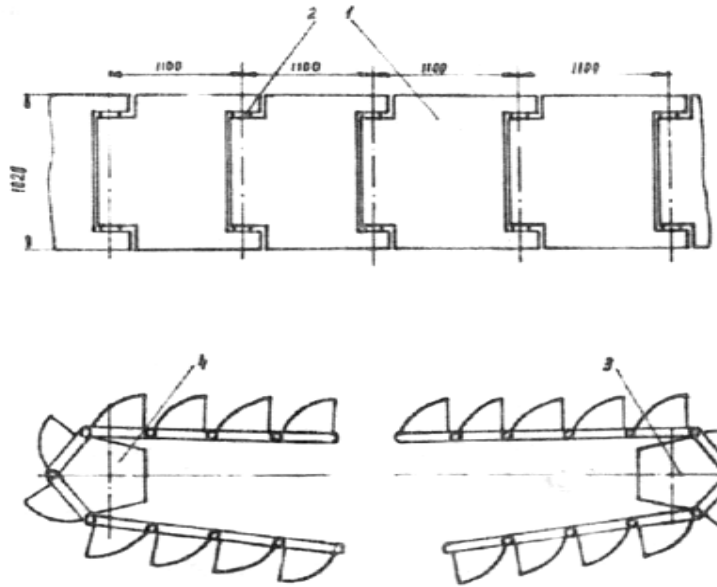


Рис. 3. Розрахункова схема ковшового ланцюга землечерпалки:
1 – черпак; 2 – палець; 3 – провідний барабан; 4 – ведений барабан

Для землечерпалок «Іллічівськ» та «Десна»:

1. Частота обертання барабана

$$n = \frac{K}{V} = \frac{78}{25} = 3,12 \text{ об/хв,}$$

де K – кількість ковшів у ланцюзі;

V – швидкість переміщення ланцюга, в черп./хв.

2. Швидкість руху ланцюга

$$V = \frac{nzt}{60 \cdot 1000} = \frac{3,12 \cdot 5 \cdot 1100}{60 \cdot 1000} = 0,286 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

де n – частота обертання барабана, про/хв;

z – число граней барабана;

t – відстань між зчленуванням ковшів.

3. Навантаження на шарніри ланцюга від окружного поділу на провідному барабані

$$P_o = \frac{102 N \eta K_H}{V} = \frac{102 \cdot 500 \cdot 0,95 \cdot 1,5}{0,286} = 254108 \text{ кг,}$$

де N – потужність головного приводу, кВт;

η – коефіцієнт корисної дії (0,94 – 0,06);

K_H – коефіцієнт нерівномірності 1,5.

4. Навантаження на шарніри ковшового ланцюга з урахуванням маси ланцюга та вантажу у ковшах. Маса вантажу приймається, що знаходиться в половині ковшового ланцюга

$$P = P_o + P_u + P_{zp} = 492\,788 \text{ кг},$$

де P_u – натяг ланцюга від маси ковшового ланцюга, кг;

P_{zp} – маса вантажу у ковшах, кг.

Інерційне навантаження має незначну величину, яку можна знехтувати.

5. Площа поверхні пальця, що сприймає навантаження від окружного зусилля визначається, виходячи з припущення, що через наявність зазору між пальцем і втулкою в роботі буде знаходитися половина довжини кола пальця на всій його довжині, що в принципі відповідає реальним умовам експлуатації

$$S = \pi \frac{D}{2} l = 3,14 \cdot \frac{180}{2} \cdot 1000 = 282600 \text{ мм}^2$$

де D – діаметр пальця, мм;

l – активна довжина робочої поверхні пальця, мм.

Припускаючи рівномірний розподіл навантаження на пальці від дії окружного зусилля, отримаємо

$$P_1 = \frac{\sum P}{K} = \frac{492\,788}{78} = 6\,317,79 \text{ кг}.$$

6. Питомий тиск від окружного зусилля на активну поверхню пальця

$$p = \frac{P_1}{S} = \frac{6\,317,79}{282\,600} = 0,022 \text{ кг/мм}^2$$

При швидкостях руху ковшового ланцюга менше 0,5 м/сек. (з повним використанням потужності приводу) основну частину навантаження в місцях зчленування ковшів становить окружне зусилля та вплив ударних навантажень незначно при нормальній роботі землечерпалки.

8. Шлях, пройдений ланцюгом за 8 годин роботи землечерпалки, складе

$$L = T \cdot V = 28800 \cdot 0,286 = 8236,8 \text{ м,}$$

де T – час роботи, с;

V – швидкість переміщення ланцюга, м/с.

Таблиця 3

Основні параметри черпакового ланцюга землечерпалок
«Іллічівськ» та «Десна»

Найменування параметра	Розмірність	Тип землечерпалки	
		Іллічівськ	Десна
Ширина черпака	мм	1020	1000
Довжина пальця	мм	1000	400
Відстань між черпаками	мм	1100	1050
Кількість граней привідного барабана	—	5	5
Довжина барабана	мм	1360	1200
Діаметр описаного коло барабану	мм	1530	1850
Потужність приводу	кВт	500	380
Маса одного ковша	кг	1870	1260
Швидкість переміщення ланцюга		25-37,5 черп./хв	27,3 черп./хв
Маса пальця	кг	190	40
Кількість ковшів у ланцюзі	—	—	64
Діаметр пальця	мм	180	120
Кількість пальців у ланцюгу		78	130

За аналогією з розрахунком навантажень для землечерпалки «Іллічівськ» зробимо розрахунок для землечерпалки «Десна»:

1. Частота обертання барабана

$$n = \frac{K}{V} = \frac{64}{27,3} = 2,34 \text{ об./хв},$$

2. Швидкість руху ланцюга

$$V = \frac{nzt}{60 \cdot 1000} = \frac{2,34 \cdot 5 \cdot 1050}{60 \cdot 1000} = 0,204 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

3. Навантаження на шарніри ланцюга від окружного зусилля на ведучому барабані

$$P_o = \frac{102 N \eta K_H}{V} = \frac{102 \cdot 380 \cdot 0,95 \cdot 1,5}{0,204} = 270750 \text{ кг}.$$

4. Навантаження на шарніри ланцюга з урахуванням маси ланцюга та маси вантажу

$$\sum P = P_o + P_u + P_{zp} = 420510 \text{ кг}.$$

5. Площа поверхні пальця, що сприймає навантаження

$$S = \pi \frac{D}{2} l = 170816 \text{ мм}^2.$$

6. Навантаження, що припадає на однозчленування ковшів

$$P_1 = \frac{\sum P}{K} = \frac{420510}{64} = 6570,4 \text{ кг}.$$

7. Питомий тиск від навантаження на активну поверхню пальця

$$p = \frac{P_1}{S} = \frac{6570,4}{170816} = 0,038 \text{ кг/мм}^2$$

8. Шлях, пройдений ланцюгом за 8 годин роботи

$$L = T \cdot V = 28800 \cdot 0,204 = 5875,2 \text{ м}.$$

Зміною геометричної форми, що виникає внаслідок корозії, хоча й супроводжується втратою маси, у даному випадку можна знехтувати.

Дослідження показали, що в присутності абразиву, яким у нашому випадку є частинки ґрунту, лінійне зношування прямо пропорційне питомому навантаженню, не залежить від швидкості відносного переміщення поверхонь, що сполучаються, і збільшується прямо пропорційно пройденому шляху.

Виходячи з цього, для проведення випробувань на порівняльну зносостійкість приймаються два параметри, питомий тиск і пройдений шлях крапкою на поверхні тертя.

Випробування на порівняльну зносостійкість проводилися на установці, показаній на рис. 4.

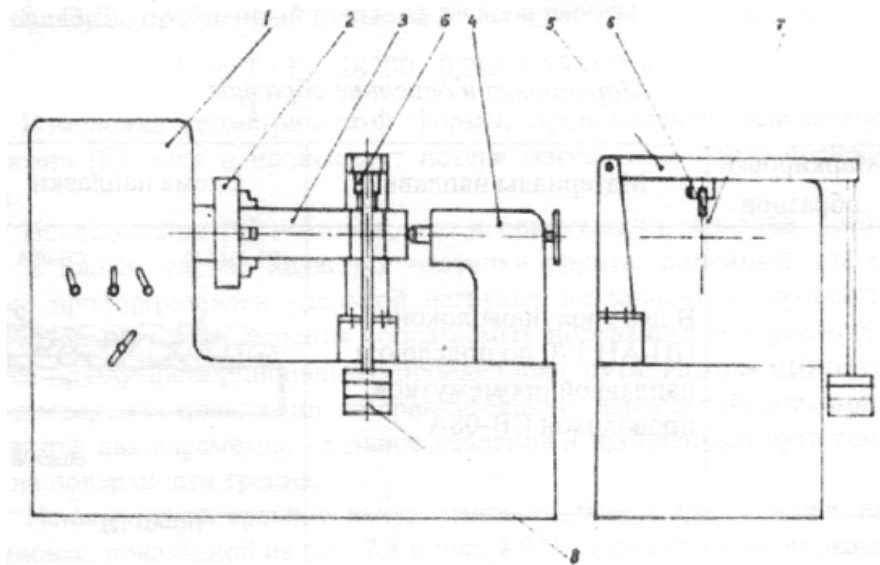


Рис. 4. Схема випробувальної установки на порівняльну зносостійкість

Установка змонтована на базі токарного верстата 1, у патроні 2 якого і центрі задньої бабки 4 встановлена державка з контртілом, а в різцетримачі стійка з прикріпленим до неї шарнірно натискним важелем 5.

Натискний важіль має затискач для кріплення зразка 6. На консольному кінці натискного важеля на підвісці встановлено вантаж 8, що забезпечує створення експериментального тиску на зразок та контртіло.

Зразки для випробувань (рис. 5) вирізалися із пластин (рис. 6), на які були наплавлені різні зносостійкі матеріали.

Для випробувань використовувалися по два зразки кожного наплавлення. Розміри всіх зразків мали однакову поверхню тертя розміром 50х5 мм та однакову шорсткість поверхні.

Як контртіло застосовувалися кільця 85 мм з підшипникової сталі шириною 60 мм, що має найбільш стабільні фізико-механічні властивості.

Навантаження на контртіло створювалося вантажем масою 25 кг. На плечі 330 мм, що відповідало реакції на контролі з урахуванням маси важеля 80 кг і створювало питомий тиск на поверхнях, що труться, 0,98 кг/мм. Для випробувань була прийнята частота обертання контртіла 100 об/хв і 450 об/хв та час випробувань 10 і 30 хв.

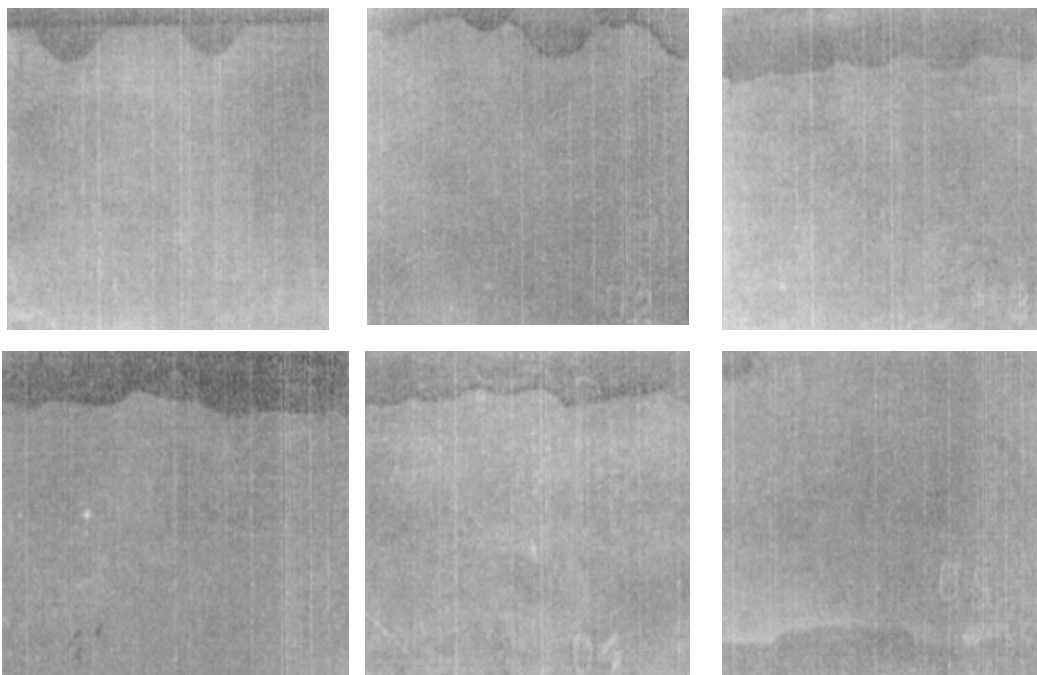


Рис. 5. Вид зразків для проведення порівняльних випробувань на зносостійкість

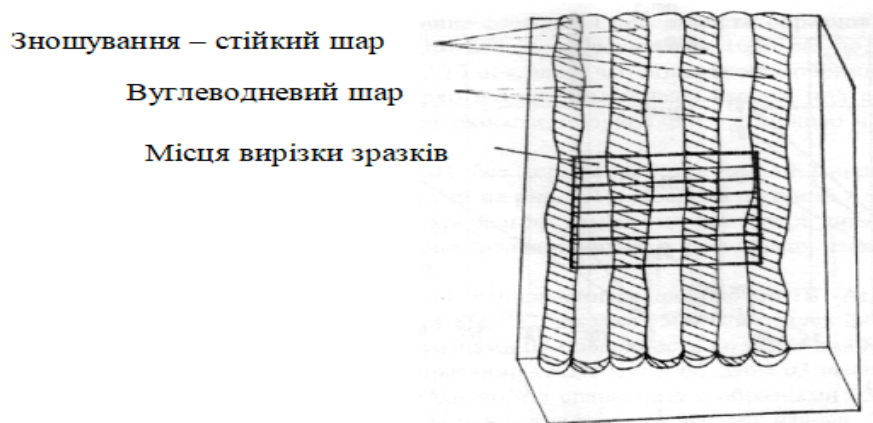
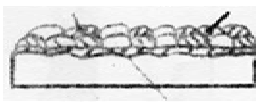
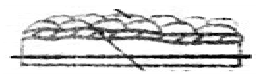
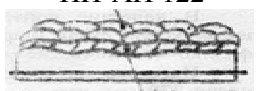


Рис. 6. Схема вирізки зразків із пластин для порівняльних випробувань на зносостійкість

Маркування та опис зразків наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Маркування та опис зразків

Маркування зразків	Матеріали наплавлення	Схема наплавлення
01	У два шари дротом ПП-АН 170 по підшару та наплавленням проміжків дротом СВ-08А	ПП-АН170 СВ-08А  підшар
03	В один шар по підшару із СВ-08А дротом ПП-АН 122	ПП-АН 122  підшар
03*	В один шар по підшару з дроту СВ-08А дротом ПП-АН 122 з термообробкою	— " —
04	У два шари по підшару дротом ПП-АН 122 без термообробки	ПП-АН 122  підшар
04*	У два шари по підшару дротом ПП-АН 122 з термообробкою	— " —

Враховуючи високу швидкість ковзання, що спричиняє значний розігрів тертьових поверхонь під час випробувань, у зону тертя під тиском подавалася вода з водопровідної магістралі, температура якої становила близько 15 °С. Крім того, присутність води формувала граничні умови тертя, що відповідають реальним умовам роботи сполучуваних поверхонь пальця.

Зразки піддавалися випробуванням за трьома режимами: при постійному навантаженні 80 кг: перший режим – 100 об/хв і 30 хв, другий – 100 об/хв і 10 хв, третій режим – 450 об/хв і 30 хв.

Як контртіло застосовувалися кільця 85 мм з підшипникової сталі шириною 60 мм, що має найбільш стабільні фізико-механічні властивості.

Навантаження на контртіло створювалося вантажем масою 25 кг, встановленим на плечі 330 мм, що разом із масою важеля (80 кг) забезпечувало реакцію, еквівалентну питомому тиску 0,98 кг/мм² на тертьових поверхнях. Для випробувань було прийнято частоту обертання контртіла 100 та 450 об/хв і тривалість 10 та 30 хв відповідно.

Результати порівняльних випробувань на зносостійкість.

Величину відносного зносу можна подати як відношення маси зразка до випробувань і після випробувань.

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{Q_1},$$

де Q_1 – маса зразка до випробувань, г;

Q_2 – маса зразка після випробувань, г.

Зважування зразків до і після випробувань проводилося на аналітичних терезах з точністю до четвертого знака (десяткові частки грама).

При випробуваннях зразків з наплавленням порошковим дротом ПП-АН 122 з термообробкою (відпал 860 °С, загартування 950 °С і відпуск 200 °С), з маркуванням 03 і 04 і без термообробки 03 і 04 втрата маси при режимі 100 об/хв і часом випробування 10 хв була вище у зразків 03 і 04, що мають поверхневу твердість нижче (рис. 7, а).

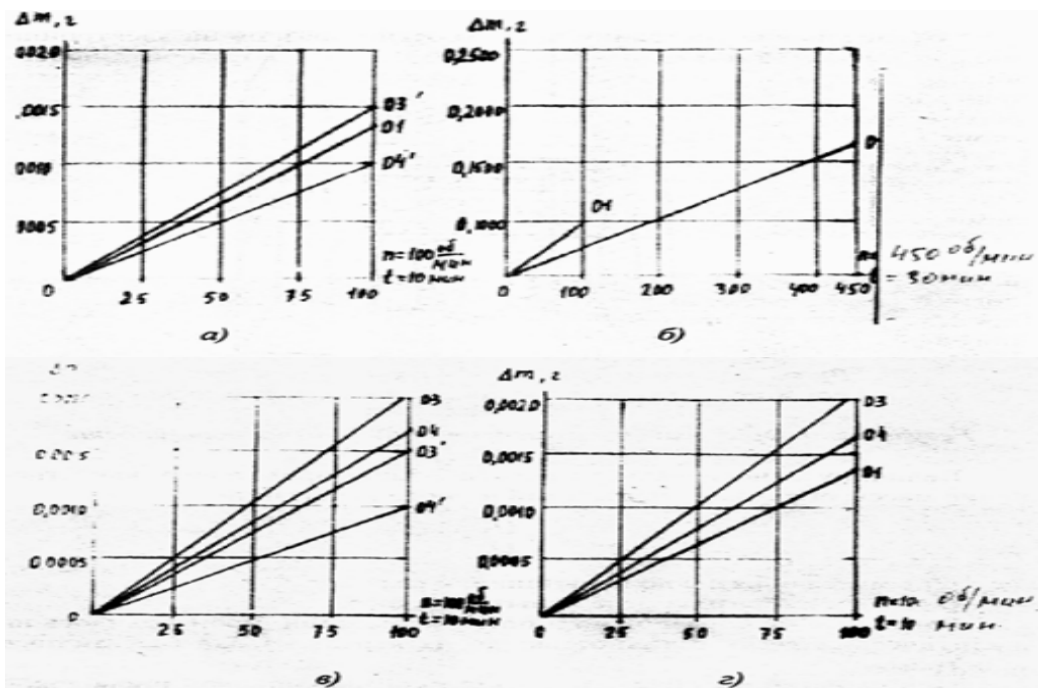


Рис. 7. Графіки втрати маси зразків за різних режимів випробувань

Дослідження стану поверхні зразків на електронному мікроскопі РЕМ-200, при збільшенні 1640 разів до і після випробувань, рис 8 і 9 показало, що поверхня зразка 03 після випробувань має яскраво виражені сліди зносу, що підтверджуються мікрорельєфом поверхні, отриманим за допомогою модуляції мікроскопа.

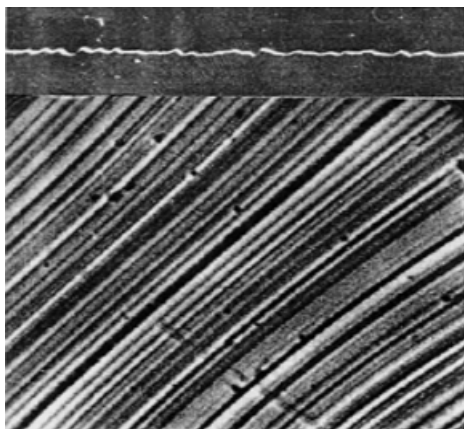


Рис. 8

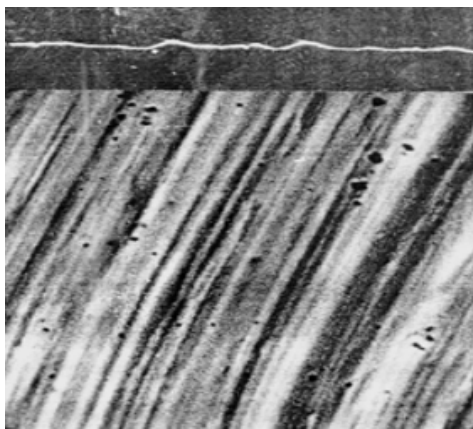


Рис. 9

Зразки 04 без термообробки мали мікрорельєф поверхні, показаний на рис. 10. Після випробувань протягом 10 хв і 100 об/хв мікрорельєф мав вигляд притертої поверхні зі слідами впроваджених частинок матеріалу, що відокремилися в результаті зносу, рис. 11.

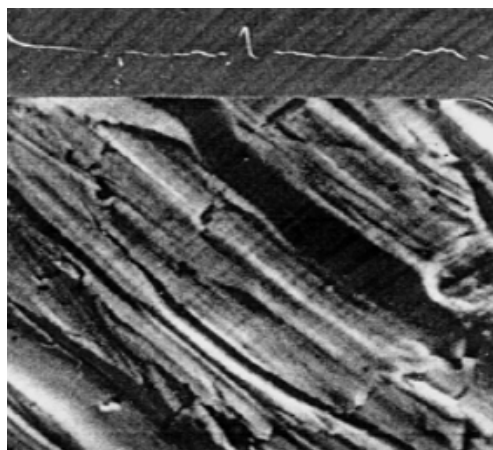


Рис. 10



Рис. 11

Зразки 04, наплавлені дротом ПП-АН 122 з термообробкою (відпал 860 °С, загартування 950 °С і відпуск 200 °С) мали аналогічну зі зразками 03 поверхню до випробувань (рис. 12). Після проведення випробувань як і зразки 03 мали вигляд притертої поверхні. Однак, порівняно із зразками 03 на поверхні тертя у них менше запроваджених частинок зносу. У цих зразків менше втрати маси порівняно зі зразками 03, що видно з рис. 13.

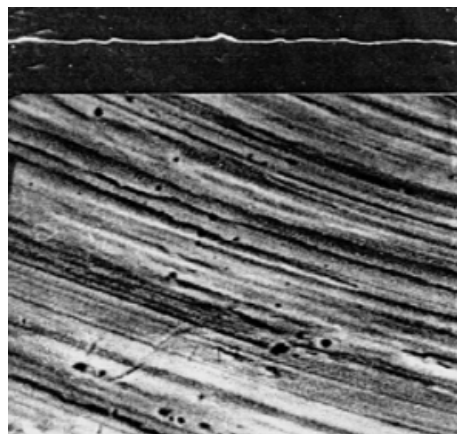


Рис. 12

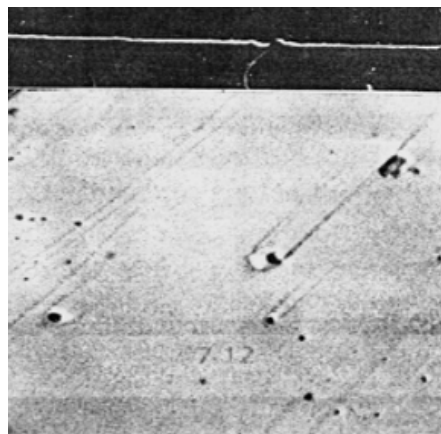


Рис. 13

Зразки 01 з наплавленням порошковим дротом ПП-АН 170 за схемою, показаною в таблиці 4, на всіх режимах випробувань мали між собою порівняльний знос за втраченою масою. Зважаючи на високу твердість поверхні у цих зразків період притирання більш тривалий, ніж у зразків 03 і 03, 04 і 04. Так при режимі 100 об/хв і 30 хв випробувань стан мікрорельєфу (рис. 14 та 15) змінюється незначно порівняно із зразками 03 та 04, як із термообробкою, так і без термообробки.

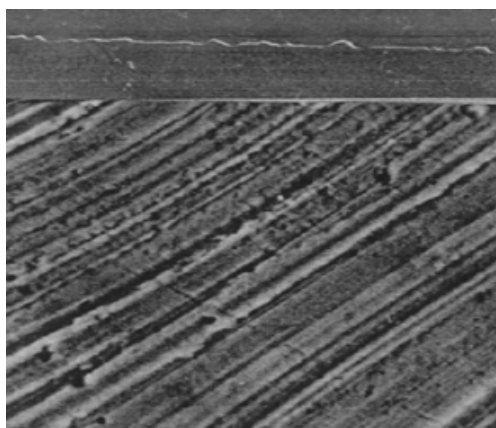


Рис. 14

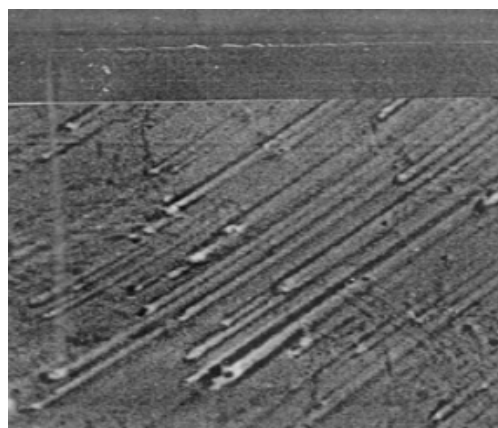


Рис. 15

На поверхні тертя після випробувань видно сліди великої кількості частинок окремого матеріалу. При режимі 100 об/хв і часу випробувань 10 хв втрати маси зразків 01 менше, ніж зразків 03 і 04, (рис. 8, б). Втрати маси зразків 01 порівняно із зразками 03 і 04 при 100 об/хв і 10 хв дещо вище, ніж у зразків 04, але нижче, ніж у зразків 03, що можна пояснити незакінченим притиранням поверхні зразків (рис. 7, в).

З подальшим збільшенням числа обертів контртіла до 450 об/хв стан поверхні зразків 01 змінюється (рис. 16 та 17). Відбувається притирання поверхні. Зменшується кількість окремих частинок матеріалу.

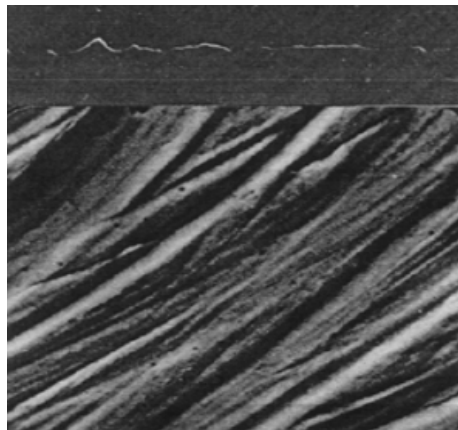


Рис. 16

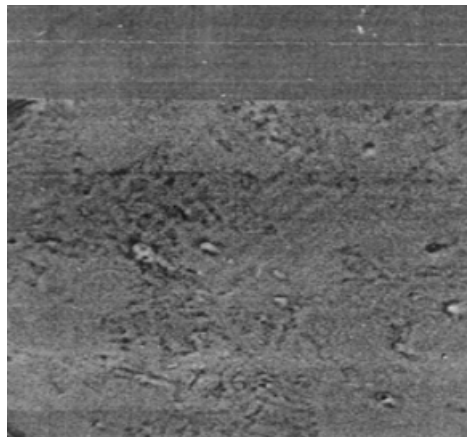


Рис. 17

Відбувається тим часом і помітна втрата маси. При збільшенні часу випробувань до 30 хв та частоти обертання контртіла 450 об/хв відбувається помітна зміна стану поверхні (рис. 18 та 19).

Поверхня зразка притирається, зменшується відокремлення частинок матеріалу. Як зазначалося вище, зносостійкість різних матеріалів можна оцінити за параметром ϵ , що характеризує величину відносного зносу. Результати розрахунку параметра наведені в табл. 5.

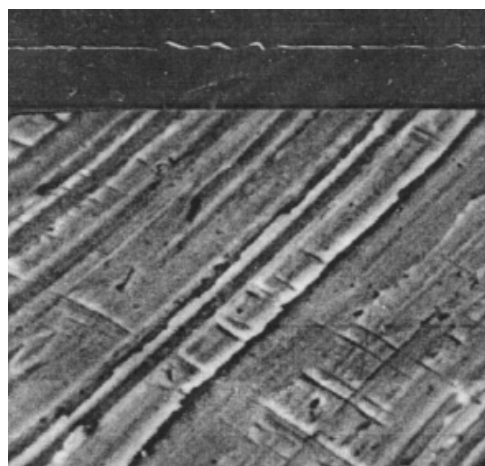


Рис. 18



Рис. 19

З розрахункових даних таблиці 5 видно, що в початковий період (період опрацювання) відносний знос, оцінений за параметром ε однаковий для всіх матеріалів, що розглядаються.

При подальшому збільшенні часу випробувань, що відповідає і збільшенню шляху, пройденому точкою на поверхні контртіла параметр ε збільшується у зразків, наплавлених порошковим дротом ПП-АН 122.

Подальше збільшення частоти обертання, що також збільшує шлях, пройдений точкою на поверхні контртіла величина відносного зносу, стає практично рівною, хоча для зразків 01 вона дещо менша.

У зв'язку з цим для відновлення пальців ковшового ланцюга землечерпалок можна рекомендувати застосування дротів ПП-АН 170 та ПП-АН 122 або іншими з таким хімічним складом.

При цьому необхідно зазначити, що термообробка після наплавлення дротом ПП-АН 122 не дає істотного збільшення зносостійкості. А у разі відновлення пальців ковшового ланцюга, виготовлених зі сталі Г113Л, навряд чи доцільна, оскільки може викликати появу значних внутрішніх напруг в основному металі, що неприпустимо при високих питомих тисках та питомих навантаженнях.

Таблиця 5

Розрахункові значення параметра ε

Маркування зразка	Значення параметра ε при режимі випробувань		
	$n = 100$ об/хв. $t = 10$ хв	$n = 100$ об/хв $t = 30$ хв	$n = 450$ об/хв $t = 30$ хв
01	0,9999	0,9997	0,9958
03	0,9999	0,9969	0,9953
03*	0,9999	0,9971	0,9955
04	0,9999	0,9972	0,9956
04*	0,9999	0,9974	0,9957

Необхідно також зазначити, що підвищення довговічності пальця шляхом застосування під час відновлення або зміцнення високоміцних матеріалів не можна вважати остаточним рішенням, оскільки потрібно узгодити механічні властивості відновлюваної деталі з властивостями втулки пальця. Крім того, істотним резервом підвищення довговічності пальця є зменшення первинних зазорів між пальцем і втулкою, чого можна досягти шляхом механічної обробки сполучуваних поверхонь. Виходячи з цих позицій, наплавлення порошковим дротом ПП-АН 122 має перевагу перед наплавленням дротом ПП-АН 170, що володіє високою поверхневою твердістю і вимагає обробки наждачними колами на шліфувальному верстаті або на токарному верстаті, але із застосуванням спеціальних пристроїв для кріплення.

Висновки. Запропонований технологічний процес застосовується для відновлення пальців ковшових ланцюгів землечерпалок типу «Ріон», «Десна» та «Іллічівськ» як вітчизняного, так і іноземного виробництва. Техпроцес розроблений на підставі дослідницьких та експериментальних робіт. Відновлення пальців ковшового ланцюга проводиться за допомогою електродугового наплавлення порошковими дротами і дротами суцільного перерізу. Можливе застосування цих цілей порошкових стрічок.

1. Відносна зносостійкість наплавлення порошковими дротами ПП-АН 122 і ПП-АН 170 майже однакова.

2. Для підвищення довговічності пальця необхідно зменшення зазорів у поєднанні з втулкою до мінімуму.

3. Застосування термообробки при напавленні пальців дротом ПП-АН 122 не обов'язково, а у разі відновлення пальців із сталі Г113Л небажано.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стальниченко О.И. Установка для наплавки цилиндрических деталей. – Одесса: ОНМУ, 2009. – С. 24.
2. Razmyshlyayev, A.D. Automatic Electric Arc Surfacing with Tape Electrode under Flux: Monograph. – Mariupol: SHEI «PSTU». – 2013. – P. 180.
3. Лебедев В.А. Голобородько Ж.Г., Драган С.В., Симутенков І.В., Ярослав Ю.А. Удосконалення техніки автоматичного наплавлення під флюсом при ремонті гребних валів суден. «Наукоємні технології в машинобудуванні», № 9, 2016.

REFERENCES

1. Stalnychenko, O.I. (2009). Equipment for Surfacing Cylindrical Parts. Odessa: ONMU, p. 24.
2. Razmyshlyayev, A.D. Automatic Electric Arc Surfacing with Tape Electrode under Flux: Monograph. – Mariupol: SHEI «PSTU». – 2013. – P. 180.
3. Lebedev, V.A. Goloborodko, Zh.G, Dragan, S.V., Simutenkov, I.V., Yaros Yu.A. Improvement of automatic surfacing technique under flux at ship propeller shaft repair. «Science intensive technologies in mechanical engineering», № 9, 2016.

Дата надходження статті: 12.06.2026

Дата прийняття статті: 15.06.2026

Дата публікації статті: 16.06.2026