

Тарельник В.Б.,
Саржанов Б.О.
Сумський національний аграрний
університет
E-mail: tarelnik@i.ua,
arhimag0@gmail.com

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА РЕМОНТУ
ШНЕКУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИДАЛЕННЯ,
ПЕРЕРОБКИ ТА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ
УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ НА ТВАРИННИЦЬКИХ
КОМПЛЕКСАХ

УДК 621.9.048

DOI 10.37700/ts.2020.21.126-138

Тарельник В.Б., Саржанов Б.О. «Нові технології виготовлення та ремонту шнеку технічних засобів видалення, переробки та екологічно безпечної утилізації гною на тваринницьких комплексах»

Представлено аналіз особливостей формування товстошарових комбінованих електроіскрових покриттів (КЕІП), отриманих на плоских і криволінійних поверхнях деталей з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. КЕІП наносили на поверхню зразків у вигляді товстостінної циліндричної труби. Зразки піддавалися цементації методом електроіскрового легування (ЦЕІЛ) на установці «Елітрон-52А» і алітуванню методом ЕІЛ на механізованій установці «ЕІЛ-9» при енергії розряду $W_p = 3,4$ Дж. На алітовану поверхню за допомогою цієї ж установки наносили покриття електродами з твердого сплаву Т15К6 при $W_p = 0,9$ і $3,4$ Дж. Шорсткість КЕІП знижують обкаткою кулькою і нанесенням металополімерного матеріалу (МПМ), армованого порошком з твердого сплаву ВК6. Після чого від труби відрізають кільце з нанесеним покриттям. Кільце розрізають на окремі сегменти, методом пластичного деформування (ПД) розгинають на пресі до необхідних розмірів і прикріплюють механічним способом до ділянок деталі, що зношуються. Для практичного застосування запропоновано нову технологію відновлення плоских і криволінійних поверхонь деталей, що дозволяє формувати на сталі 12Х18Н10Т КЕІП в послідовності: ЦЕІЛ + ЕІЛ Al + ЕІЛ Т15К6 + ППД + МПМ (армований ВК6) + ПД, товщина до 1,3 мм, суцільність 100%, мікротвердість порядку 10500 - 11000 МПа і шорсткістю Ra ~ 1,0 мкм.

Розроблена технологія пройшла промислову апробацію при ремонті шнека центрифуги з нержавіючої сталі ОГШ-631К-02, що використовується на очисних спорудах для обробки промислових та побутових стічних вод.

Ключові слова: комбіноване електроіскрове покриття, металополімерний матеріал, структура, мікротвердість, шорсткість.

Тарельник В.Б., Саржанов Б.А. «Новые технологии изготовления и ремонта шнеков технических средств уборки, переработки и экологически безопасной утилизации навоза в животноводческих комплексах»

Представлен анализ особенностей формирования толстослойных комбинированных электроискровых покрытий (КЭИП), полученных на плоских и криволинейных поверхностях деталей из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. КЭИП наносили на поверхность образцов в виде толстостенной цилиндрической трубы. Образцы подвергались цементации методом электроискрового легирования (ЦЭИЛ) на установке «Элитрон-52А» и алитированию методом ЭИЛ на механизированной установке «ЭИЛ-9» при энергии разряда $W_p = 3,4$ Дж. На алитированную поверхность на этой же установке наносили покрытие электродами из твердого сплава Т15К6 при $W_p = 0,9$ и $3,4$ Дж. Шероховатость КЭИП снижают обкаткой шариком и нанесением металлополимерного материала (МПМ), армированного порошком из твердого сплава ВК6. После чего от трубы отрезают кольцо с нанесенным покрытием. Кольцо разрезают на отдельные сегменты, методом пластического деформирования (ПД) разгибают на прессе до необходимых размеров и прикрепляют механическим способом к изнашиваемым участкам детали. К практическому применению предложена новая технология восстановления плоских и криволинейных поверхностей деталей, позволяющая формировать на стали 12Х18Н10Т КЭИП в последовательности: ЦЭИЛ + ЭИЛ Al + ЭИЛ Т15К6 + ППД + МПМ (армированный ВК6) + ПД, толщиной до 1,3 мм, сплошностью 100%, микротвердостью порядка 10500 - 11000 МПа и шероховатостью Ra ~ 1,0 мкм.

Разработанная технология прошла промышленную апробацию при ремонте шнека центрифуги из нержавеющей стали ОГШ-631К-02, используемой на очистных сооружениях для обработки промышленных и бытовых сточных вод.

Ключевые слова: комбинированное электроискровое покрытие, металлополимерный материал, структура, микротвердость, шероховатость

V.B. Tarelnik, B.A. Sarzhanov "New technologies for the manufacture and repair of augers, which are used in technical systems for cleaning, recycling and environmentally friendly disposal of manure in livestock complexes"

Presented the analysis of the deposition features of thick-layer combined electrospark coatings (CEC), which are formed on stainless steel 12Х18Н10Т parts flat and curved surfaces. The coatings were applied to the surface of the samples in the form of a thick-walled cylindrical tube. The samples were carburized by the method of electrospark alloying (ESAC) on the Elitron-52A equipment and aluminized by the ESA method on the mechanized equipment EIL-

9 at a discharge energy of $W_p = 3.4 \text{ J}$. The aluminized surface was coated with electrodes made of T15K6 hard alloy at $W_p = 0.9$ and 3.4 J . The CEC roughness was reduced by rolling with a ball and applying a metal polymer material (MPM) reinforced with a VK6 hard alloy powder. In the next step, a ring was cut from the coated pipe, which was then cut into separate segments. Then, by surfaces plastic deformation (SPD), the segment was unbent on a press to the required size and mechanically attached to the parts subject to wear. A new technology for restoring flat and curved surfaces of parts has been proposed for practical application, which makes it possible to form a CEC on steel 12X18H10T with a thickness of up to 1.3 mm, a continuity of 100%, a microhardness of the order of 10500 - 11000 MPa and a roughness of $R_a \sim 1.0 \mu\text{m}$ in the sequence: ESAC + ESA Al + ESA T15K6 + SPD + MPM (reinforced VK6) + PD. The developed technology has passed industrial testing during the repair of the stainless steel screw of the OGSh-631K-02 centrifuge, which is used at treatment facilities for the treatment of industrial and domestic wastewater.

Keywords: combined electrospark coating, metal-polymer material, structure, microhardness, roughness

Вступ

Сільське господарство завжди було системо-утворюючою галуззю для суспільства в аспекті забезпечення його життєдіяльності. Україна як аграрно-індустріальна країна цілком залежить від перспектив сільського господарства, що зумовлено роллю і місцем цієї галузі в сучасній економіці нашої держави [1].

У сільськогосподарській галузі України тваринництво, яке забезпечує населення продуктами харчування і виробляє сировину для багатьох галузей народного господарства, займає одне з найважливіших місць.

Тваринництво є тією важливою галуззю, яка забезпечує зміцнення економіки країни, поставки різних дієтичних, вітамінізованих і висококалорійних продуктів харчування для населення, сировини для консервної, м'ясної, текстильної, маслосироварної, шкіряної галузей промисловості, органічних добрив для рослинництва і сприяє рівномірному використанню засобів виробництва, трудових ресурсів, постійного надходження коштів товаровиробникам тваринницької продукції [2].

Основним напрямком в механізації і автоматизації тваринництва в сільському господарстві є розробка і впровадження екологічно безпечних ресурсозберігаючих технологій і технічних засобів, що дає можливість товаровиробнику випускати більш дешево і якісне обладнання, яке дозволяє поліпшити умови утримання тварин.

У тваринницьких комплексах з великим поголів'ям свиней, великої рогатої худоби і птиці постійно існує проблема забезпечення необхідного технічного стану машин і обладнання, задіяних в технологічному циклі з переробки гною. Такий цикл включає в себе прибирання, транспортування, розподіл гною на тверду і рідку фракції з подальшим її фільтруванням та знезараженням, збереження екологічної чистоти навколишнього середовища поблизу підприємств з виробництва тваринницької продукції.

Слід зазначити, що на всіх етапах технологічного циклу одним з основних робочих органів машин, задіяних в переробці гною, є шнеки, технічний стан яких лімітує термін служби окремо використовуваних машин і таким чином забезпечує надійність і довговічність всієї потокової технологічної лінії.

Таким чином, роботи спрямовані на підвищення якості виготовлення і ремонту шнеків машин для переробки та екологічно безпечної утилізації гною, є актуальними і своєчасними, що мають велике значення для розвитку економіки України.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Згідно [3] в умовах промислових комплексів з великим поголів'ям свиней, крупної рогатої худоби та птиці утилізація й переробка гною є нагальною потребою. По-перше, витратно є складувати значну кількість відходів і зберігати її визначений час; по-друге, ця проблема зумовлена високими витратами на повну переробку; по-третє, відсутній відповідний комплекс машин і обладнання призначеного для переробки великої кількості відходів. Внаслідок цього спостерігається нагромадження їх на території ферм, розмноження і поширення патогенних

мікроорганізмів, забруднення атмосферного повітря сірководнем, аміаком, молекулярним азотом та іншими, токсикогенними неагресивними сполуками в т.ч., важкими металами.

Відновлення великомасштабного тваринництва в Україні ставить перед науковцями та практиками серйозні проблеми у галузі збереження екологічної чистоти навколишнього середовища поблизу підприємств з виробництва тваринницької продукції. Особливо гостро ця проблема постає при використанні на фермах і комплексах промислових технологій виробництва продукції. По-перше, різко зростає вихід гною у перерахунку на господарство; по-друге, змінюється характер гною; по-третє, підвищується роль умовно-патогенної мікрофлори в біоценозах ферм і виробничих будівель, що сприяє виникненню захворювань тварин і зниженню якості виробленої продукції [4,5].

Шнеки є основними робочими органами машин задіяних у видаленні гною і його транспортуванні за межі тваринницьких приміщень (шнекові транспортери і навантажувачі) [6]. Вони широко застосовуються в установках для приготування органічних добрив [7], а також в фільтруючих і осаджувальних центрифугах, які застосовуються в агропромислових комплексах з метою поділу гною на фракції [8,9].

Розвиток тваринництва на промисловій основі обумовлює різке підвищення кількості сильно забруднених стічних вод, очищення та знезараження яких є однією з найважливіших задач при вирішенні питання про їх використання в сільському господарстві як добриво або спуску у водойми чи на поля зрошення [10].

Згідно [11] утилізація тваринницьких стоків в даний час є актуальною проблемою для багатьох країн, в тому числі і для України. Моніторинг водних об'єктів виявив, що основним джерелом забруднення водотоків є недостатньо очищені тваринницькі стічні води. Проведеними дослідженнями підтверджено, що на територіях екологічного ризику має місце перевищення ГДК в кілька разів ґрунтових інгредієнтів [12], які обумовлюють порушення популяційного здоров'я великої рогатої худоби [13].

На очисних спорудах для очищення стічних вод великих міст і підприємств, м'ясокомбінатах, тваринницьких комплексах з великим поголів'ям свиней, великої рогатої худоби та птиці застосовують осаджувальні горизонтально шнекові (ОГШ) центрифуги типу ОГШ. В якості основного матеріалу для виготовлення шнеків центрифуг переважно використовується сталь 12X18H10T [14].

Відомо [15], що етапом підготовки осадів до зневоднення на центрифугах є виділення великих і абразивних включень. При наявності в зневоднених осадах великої кількості абразивних речовин відбувається знос шнеків центрифуг. Шнеки, виготовлені зі сталі X18H10T, зношуються через 1,5-3 тис. годин роботи. Оскільки вартість шнека досить значна (30% вартості центрифуги), практикується періодична заміна шнеків і їх відновлення в заводських умовах.

Технологія відновлення шнеків включає в себе видалення зношених ділянок і заміну їх окремими сегментами, виготовленими, як правило, із сталевих листів такої ж марки. Прикріплення сегментів на зношені ділянки зазвичай здійснюють різними видами зварювання.

Нерідко з метою більш ефективного захисту від абразиву поверхню деталей піддають таким видам зміцнення, як наплавка твердими і зносостійкими матеріалами [16-18], плазмового напилення [19, 20], хіміко-термічна обробка (ХТО) [21, 22] та ін.

При цьому видалення зношеної частини деталі, заміна її окремими сегментами і зміцнення поверхонь, що піддаються в процесі роботи абразивного зношування, нерідко здійснюються методами, що виявляють шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Ремонт зварюванням і наплавкою деталей машин і механізмів на сьогоднішній день є одними з основних технологічних методів відновлення експлуатаційних властивостей деталей і зміцнення їх поверхонь [23-25].

Згідно [26] газозварювальне обладнання є вибухонебезпечним і вимагає суворого дотримання заходів безпеки.

Застосування на ремонтних підприємствах зварювання MIG/MAG металевим електродом (дротом), що плавиться в середовищі інертного/активного захисного газу супроводжується рядом екологічних проблем.

Це світлове випромінювання іонізованого в дузі аргону [27]. При гальмуванні короткого ультрафіолету, випромінюваного аргонном, відбуваються фотохімічні реакції з молекулярним киснем і азотом з утворенням озону та оксиду азоту. Завдяки своїй хімічній активності озон має дуже низьку гранично допустиму концентрацію в повітрі (порівняно з ГДК бойових отруйних речовин) $5 \cdot 10^{-8}\%$ або $0,1 \text{ мг/м}^3$, що в 10 разів більше нюхового порогу для людини. Отруєння озоном і оксидами азоту може привести до летального результату в результаті паралічу дихання [28].

У зону дуги при струменевому захисті сумішшю аргону і вуглекислого газу потрапляє близько 3-6% атмосферного повітря. В неї ж виділяються розчинені в металі гази. Дослідженнями [29] визначено, що в зоні дуги може бути синтез біологічно активних речовин (БАР) - CN, HCN, NO₂, N₂O, CO, які надходять в повітря робочої зони. Найменша концентрація БАР утворюється при зварюванні в чистому аргоні і при зварюванні в суміші Ag + 5% O₂. Найбільша - при зварюванні в суміші Ag + CO₂.

При зварюванні в зону дихання працівників можуть надходити зварювальні аерозолі, що містять у складі твердої фази оксиди різних матеріалів та інші сполуки, а також токсичні гази. Вплив на організм шкідливих речовин, що виділяються може стати причиною гострих і професійних хронічних захворювань і отруєнь [30].

Одним з напрямів збільшення опору тертю і зношування деталей є створення методом ХТО на їх поверхнях шарів хімічних сполук, властивості яких відрізняються від властивостей основних металів. Основними методами ХТО є: цементация, алітування, сульфідкування і ін.

Згідно [31], на процес виникнення і розвитку техногенного ризику впливає безліч факторів і умов, серед яких: відмови в роботі систем і агрегатів внаслідок їх конструктивних недоліків, низька якість виготовлення або порушення правил технічного обслуговування; відхилення від нормальних умов експлуатації; помилки персоналу; зовнішні впливи та ін. На думку професора Г.Т. Фрумїна [32], термічна обробка і ХТО деталей відносяться до найбільш поширених факторів ризику.

В останні роки для підвищення якості поверхневих шарів деталей машин все більшої значущості набуває метод електроіскрового легування (ЕІЛ). Його специфічними особливостями, що привертають технологів, є: локальність дії, малі витрати енергії, відсутність об'ємного нагріву матеріалу, міцне з'єднання нанесеного матеріалу з основою, простота автоматизації, можливість поєднання операцій та ін. [33, 34].

Незважаючи на незаперечні переваги, метод ЕІЛ має і ряд недоліків (збільшення шорсткості, виникнення в поверхневому шарі залишкових напружень, зниження втомної міцності), які нерідко обмежують його застосування для більш широкого кола деталей машин [35].

Застосовуючи різні електродні матеріали, методом ЕІЛ можна проводити процеси, альтернативні ХТО, але зі значно меншими витратами [36]. Так, використовуючи графітовий електрод і насичуючи поверхню деталі вуглецем, можна здійснювати процеси, подібні до традиційної цементацией (ЦЕІЛ), алюмінієвим електродом - алітування [37, 38]. При цьому технологія ЕІЛ менш екологічно і техногенно небезпечна.

Вирішенню проблеми підвищення товщини покриття і якості його поверхні присвячені роботи, в яких досліджені процеси нанесення багатшарових комбінованих електроіскрових покриттів (КЕП) [39] або технологія ЕІЛ поєднується з іншою ремонтною технологією, наприклад лазерною обробкою (ЛО) [40], поверхневою пластичною деформацією (ППД) [41], нанесенням металополімерних матеріалів (МПМ) [42] та ін.

В [43, 44] до практичного застосування запропоновано нову технологію відновлення і одночасного зміцнення деталей типу тіл обертання, що дозволяє формувати на поверхнях, що зношуються сталі 12X18H10T КЕП, сформовані в послідовності: цементация методом ЕІЛ → ЕІЛ Al → ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 → МПМ (армований твердим сплавом ВК6), товщиною до 1,5 мм, суцільністю 100%, мікротвердістю порядку 10100-9500 МПа і шорсткістю $R_a = 1,2 \text{ мкм}$.

В результаті проведення порівняльних випробувань на екологічну безпеку зварювальних робіт і ЕЛІ отримані наступні результати [45]:

- в зоні проведення електрозварювання при наплавленні на сталь 12X18H10T зносостійкого покриття електродом марки ОК61.30 \varnothing 2,5 мм з'являється значно більша кількість вуглекислого газу CO_2 і утворюються нестабільні іони NO, тобто виникають гази, які є отруйними навіть в малих концентраціях. Слідів озону O_3 за допомогою мас-спектрометра не виявлено;

- при ЕЛІ стали 12X18H10T на установці «Елітрон-52А» електродом-інструментом з твердого сплаву Т15К6 з енергією розряду 3,4 Дж встановлено, що мас-спектр газового середовища практично ідентичний мас-спектру чистого повітря. Незначні відмінності спостерігаються тільки в кількості водяної пари, що пов'язано, швидше за все, з різною вологістю повітря;

- дослідження освітленості при ЕЛІ стали 12X18H10T електродом з твердого сплаву Т15К6 і проведенні зварювальних робіт при наплавленні на сталь 12X18H10T зносостійкого покриття електродом марки ОК61.30 \varnothing 2,5 мм показали її збільшення відповідно з 0,465 – 0,599 Lux до 6,2 kLux.

В ПАТ "Сумське НВО" ремонт шнека включає відновлення лінії витка до номінальних розмірів. Захист витків твердосплавним зносостійким напиленням або твердосплавними пластинами з подальшим динамічним балансуванням шнеку.

Згідно [46], при ремонті шнека по його зовнішній межі наплавляють стеліт (литий сплав кобальту, хрому, вольфраму, нікелю і вуглецю) або сормайт - хромонікелевий сплав на залізній основі, за властивостями і структурою близький до стеліту, але має інший хімічний склад.

При ремонті центрифуги марки ОГШ-631К-02, що вийшла з ладу на очисних спорудах, що входять до складу ДКП "Міськводоканал" м Суми, покриття наносили на окремі сегменти, які потім приварюють по шаблону до поверхонь шнека [47]. Сегменти як і шнек виготовлені з нержавіючої корозійностійкої сталі 12X18H10T (рис. 1).



Рис. 1. Композиційний сплав типу стеліт, нанесений наплавленням в вакуумі на основу зі сталі 12X18H10T

Слід зазначити, що всі вище розглянуті методи, як нанесення покриттів на окремі сегменти, так і способи прикріплення їх до витків шнека, є енерговитратними і в тій чи іншій мірі пов'язані з підвищеною екологічною небезпекою.

Таким чином, сучасні ремонтні технології мають достатню кількість способів захисту деталей від абразивного зносу. Кожен спосіб має, свої недоліки і переваги. Одним з основних недоліків ремонтних технологій (наплавлення, напайка, газополуменеве напилювання, зварювання та ін.) є їх негативний вплив на навколишнє середовище.

Для відновлення і зміцнення деталей типу «тіл обертання» використовуються механізовані установки ЕЛІ, що базуються на токарно-гвинторізних верстатах. В даний час науково-виробнича компанія "SCINTI" (Республіка Молдова) випускає установки, призначені для відновлення або зміцнення деталей в ручному режимі (рис. 2, а) або для відновлення або зміцнення деталей тіл обертання механізованим багатоелектродним інструментом (рис. 2, б).



а



б

Рис. 2. Установки для відновлення або зміцнення деталей: а - в ручному режимі - моделі «ALIER-52», б - механізованим багатоелектродним інструментом для деталей тіл обертання - моделі «ALIER-72»

Аналіз існуючих методів підвищення якості покриттів, сформованих методом ЕЛ, дозволив виділити, як найбільш перспективну, технологію ППД, здійснювану обкаткою кулькою (ОК). Очевидно, застосування ППД, в поєднанні з ЕЛ поверхневого шару, представляє особливий інтерес, тому, що дані технології взаємно доповнюють одна одну. Використання такої комбінованої технології дозволяє не тільки усунути всі перераховані вище недоліки ЕЛ, а й значно розширити сферу застосування обох технологій.

В [48] представлений аналіз особливостей формування КЕП на конструкційних, інструментальних сталях і нікелевих сплавах.

В [41] на підставі аналізу напружено-деформованого стану поверхневих шарів, що піддаються ЕЛ і ППД, розроблена методика розрахунку геометричних параметрів осередку деформації, що дозволяє в широких межах управляти якістю поверхневого шару деталей, що зміцнюються.

Згідно [45], при формуванні КЕП після обробки на механізованій установці «ЕЛ-9» шорсткість поверхні складає $R_a = 9,7$ мкм, а суцільність покриття поверхні 80%, а при подальшій ОК з питомим зусиллям вигладжування $P = 2500$ МПа, відповідно, 7,0 мкм і 90%.

Згідно [49], при вигладжуванні металопокриттів оптимальна величина нормальної сили (P) залежить від товщини покриття, фізико-механічних властивостей матеріалів основи і покриття, а також міцності зчеплення покриття з основою. При товщині покриття до 10 мкм домінує основа, понад 10 мкм спостерігається спільний вплив основи і покриття, а при товщині більше 80 мкм в основному проявляється вплив тільки покриття.

В [50] показано, що застосування КЕП знижує величину напруги, що розтягує і глибину їх поширення, а застосування ППД (обкатка кулькою) призводить до зміни знаку деформацій з позитивного на негативний, що визначає наявність в поверхневому шарі сприятливих напружень стиску. Обкатка кулькою збільшує межа витривалості КЕП в порівнянні з базовим варіантом - зразком без покриття.

Таким чином, екологічно безпечна технологія нанесення на сталь 12X18H10T товстошарових зносостійких КЕП, сформованих в послідовності: ЦЕЛ → ЕЛ А1 → ЕЛ Т15К6 → МПМ (армований ВК6), може бути альтернативною технологіям нанесення покриттів традиційними методами: наплавлення твердими і зносостійкими матеріалами, плазмовому напилюванню і ін.

При використанні механізованих установок ЕЛ на тілах обертання товщина отриманих поверхневих шарів значно більше, ніж на плоских і криволінійних поверхнях. Тому виникає необхідність в проведенні досліджень, спрямованих на створення товстошарових покриттів на

плоских і криволінійних поверхнях, порівнянних з покриттями, які формувались на поверхнях деталей тіл обертання, що мають більш високу якість.

Таким чином, метою роботи є підвищення екологічної безпеки та параметрів якості зносостійких покриттів (мікротвердості, суцільності, шорсткості), сформованих методом ЕІЛ на поверхнях деталей тіл обертання зі сталі 12Х18Н10Т шляхом розробки комбінованої технології, що включає нанесення КЕП, ППД і нанесення МПМ.

Методика і результати досліджень.

З метою вдосконалення технології формування на плоских і криволінійних поверхнях деталей товстошарових КЕП, запропонований новий екологічно безпечний спосіб [51,52], який полягає в нанесенні товстошарового КЕП на поверхню товстостінної циліндричної труби. Після чого від труби відрізають кільце з нанесеним покриттям і непокритою ділянкою. Потім відрізане кільце розрізають на окремі сегменти, розгинають їх до необхідних розмірів і прикріплюють механічним способом, використовуючи поверхні без покриття, до зношених ділянок деталі.

Апробацію нового способу формування КЕП, сформованого в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 → ЗОШ → МПМ, армований порошком твердого сплаву ВК6, проводили для відновлення зношених поверхонь шнека центрифуги (рис. 3, а, г), що використовується на очисних спорудах для очищення стічних вод.

Технологія відновлення включає в себе видалення зношених ділянок гвинтової поверхні шнека (рис. 3, б, д) і заміну їх окремими сегментами, виготовленими, як правило, із сталевих листів такої ж марки (рис. 3, в, е). Прикріплення сегментів на зношені ділянки як правило здійснюють різними видами зварювання.

З огляду на вищесказане, спосіб формування товстошарових зносостійких КЕП запропоновано здійснювати нанесенням на поверхню сегментів, призначених для відновлення шнеків центрифуг.

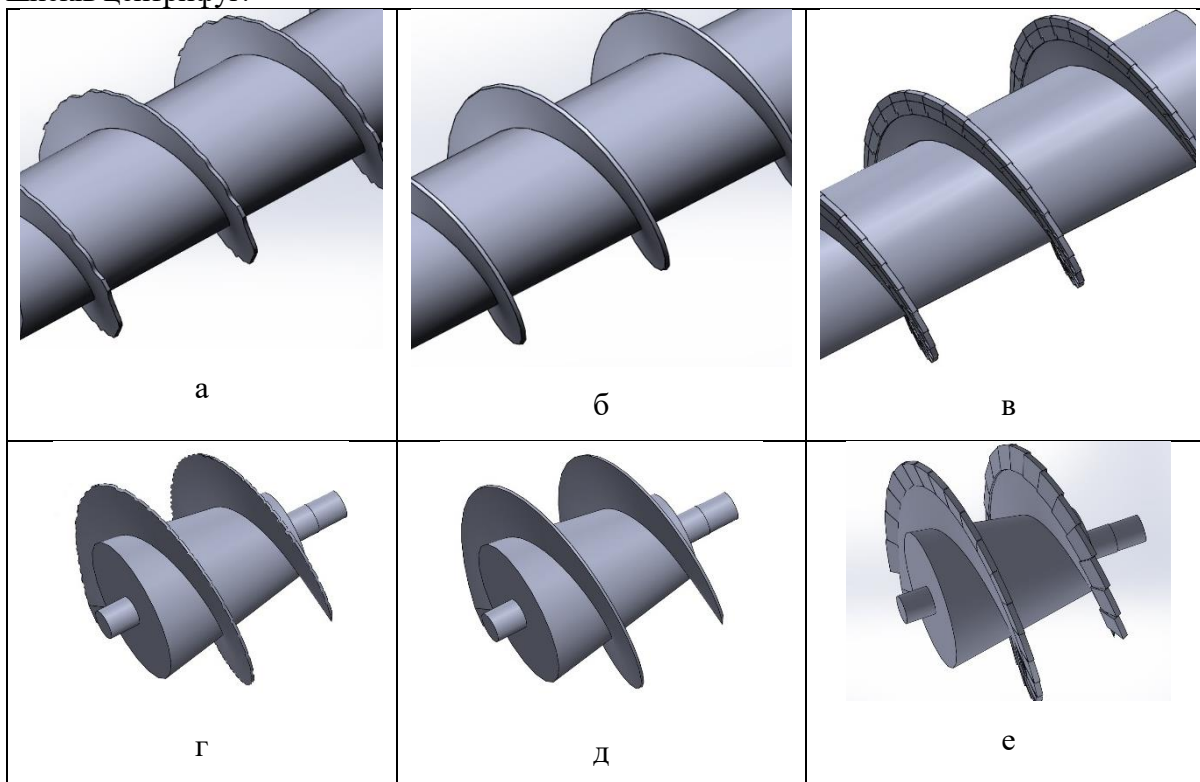


Рис. 3. Циліндрична (а, б, в) і конусна (г, д, е) зони шнека:

а, г - з зношеними ділянками; б, д - проточені «як чисто»; в, е – з відновленими ділянками витка шнека

Технологію відновлення здійснюють наступним чином. Зношену поверхню витків шнека проточують «як чисто» і в залежності від їх товщини виготовляють два види сегментів (рис. 4).

У сегментах, які прикріплюються до витків на конусній ділянці шнека, де знос найбільш значний, виготовляють наскрізний паз (рис. 4, а), а для сегментів на циліндричній ділянці шнека виготовляють виточку (рис. 4, б). При цьому висота сегмента становить ~ 50 мм, глибина паза і виточки знаходяться в межах 30-35 мм, а ширина дорівнює товщині витка шнека. Для витків шнека центрифуги ОГШ-631К-02 з товщиною витка шнека 4,0 мм в разі виготовлення сегмента з наскрізним пазом потрібна заготовка з листа стали 12Х18Н10Т товщиною близько 9-10 мм, а для сегмента з виточкою 7-8 мм.

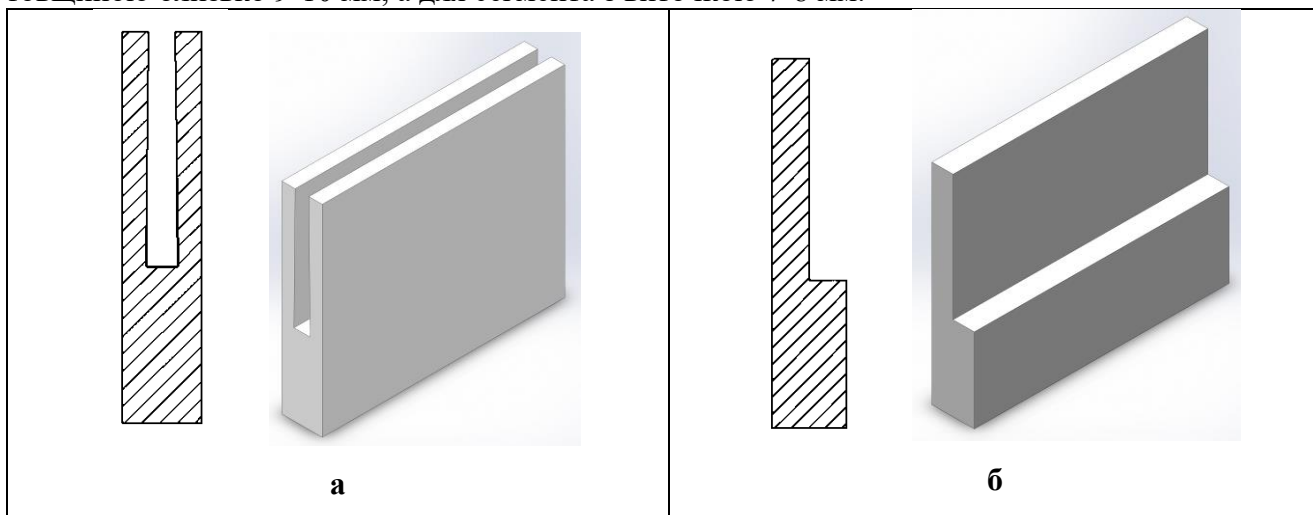


Рис. 4. Типи сегментів: а - з наскрізним пазом, б - з виточкою

Сегменти з КЕІП виготовляють у такій послідовності:

- частина труби зовнішнім діаметром 100 мм і мікротвердістю ~ 2300 МПа зі сталі 12Х18Н10Т з товщиною стінки для виготовляється сегмента з пазом близько 9-10 мм, а для сегмента з виточкою 7-8 мм затискають в патроні токарного верстата;
- в залежності від типу сегмента:
- для сегмента з виточкою розточують трубу до 4,0 мм на глибину 30-35 мм (рис. 5, а);
- для сегмента з пазом проточують паз в торці труби на глибину 30-35 мм, зберігаючи товщину стінок 2,5-3,0 мм (рис. 5, б);
- використовуючи установку «Елітрон-52А», проводять ЦЕЛ поверхні труби з енергією розряду (W_p) = 3,4 Дж, починаючи на відстані 30 і закінчуючи 60 мм від торця. При цьому, ділянки поверхні, що не зміцнюються, необхідно захистити від торкання легуючим електродом-інструменту будь-яким ізоляційним матеріалом (рис. 5, в);
- використовуючи механізовану установку «ЕІЛ-9», по цементованій поверхні виконують ЕІЛ алюмінієвими електродами (рис. 5, г), а потім наносять покриття з твердого сплаву Т15К6 (рис. 5, д);
- проводять ОК сформованого КЕІП (рис. 5, ж);
- на покриття з твердого сплаву Т15К6, ретельно втираючи, наносять МПМ, попередньо армований порошком у вигляді твердосплавних суміші ВК6, доданої в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену ферросиліконом марки Loctite 3478 при концентрації армуючої речовини ~ 60% (рис. 5, з);
- після полімеризації шар МПМ проточують до виступів шорсткостей покриття з твердого сплаву Т15К6 (рис. 5, і) і відрізають ділянку труби на відстані 50 мм від торця;
- втулку, з нанесеним КЕІП, розрізають на окремі сегменти необхідних розмірів (рис. 5, к);
- за допомогою преса сегменти розгинають (рис. 5, л) до необхідного радіуса викривлення витка шнека. У нашому випадку, для шнека центрифуги марки ОГШ-631К-02, витки мають плоску поверхню, тому сегменти необхідно розгинати повністю (рис. 5, м).

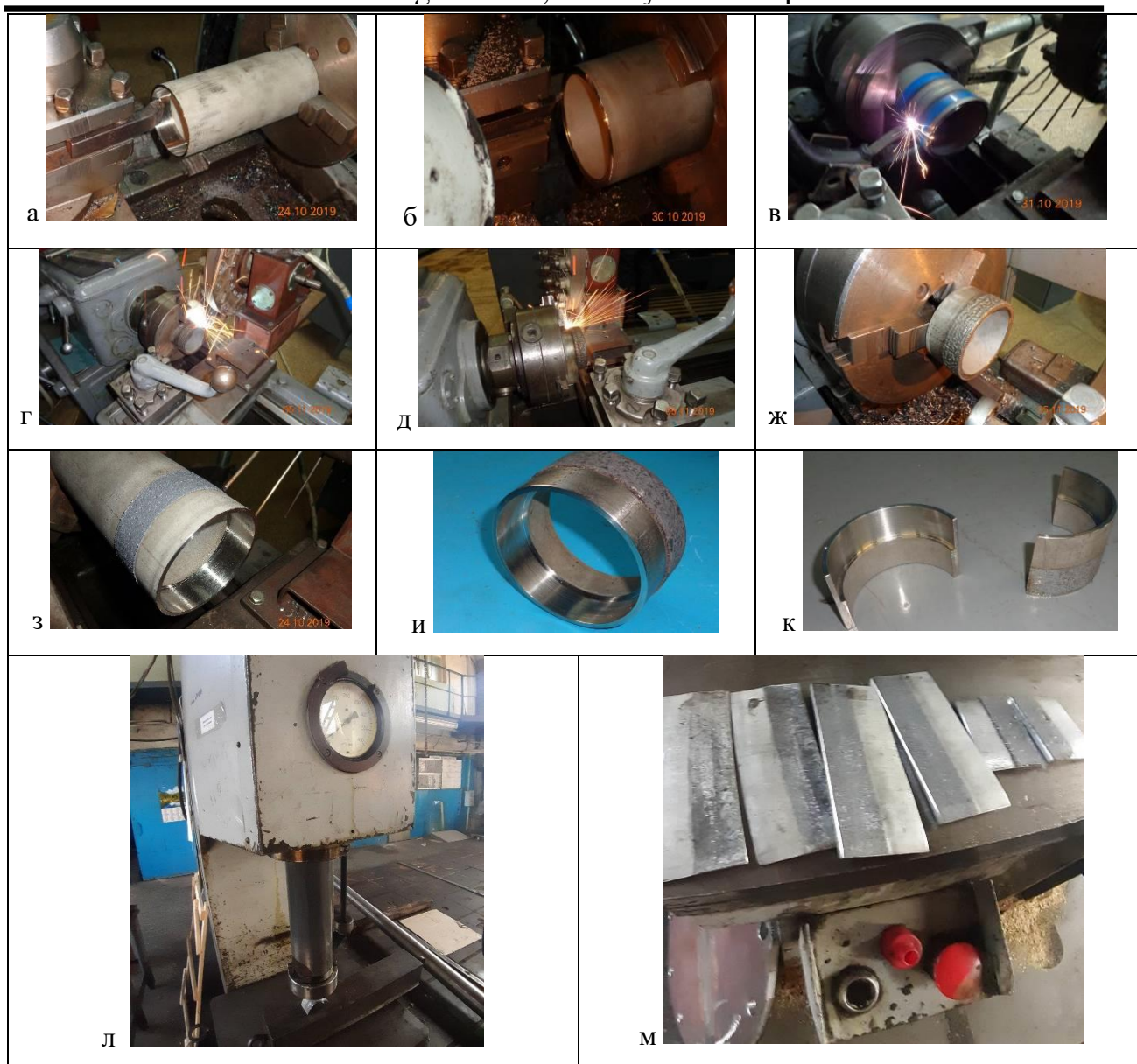


Рис. 5. Спосіб формування товстошарових зносостійких КЕП поверхонь сегментів, призначених для відновлення шнеків центрифуг

При розгинанні сегмента, щоб уникнути зминання, металеву смужку товщиною 4 мм вставляють в паз або підкладають під виточку.

Виготовлений таким чином сегмент прикріплюють до зношеної поверхні витка шнека і фіксують заклепками, гвинтами або іншими кріпильними елементами. При цьому поверхні сегмента і витка шнека, що контактують, покривають МПМ.

На рис. 6 показана мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості по глибині шару зразка сталі 12Х18Н10Т з КЕП після пластичної деформації (ПД).

Мікроструктурний аналіз показав, що ПД не змінює характер і будову покриття, а впливає на його властивості. Так, мікротвердість верхньої ділянки становить 10500 - 11000 МПа, світлого шару - 9500-7500 МПа, а мікротвердість підкладки зростає з 2150 до 2450 МПа.

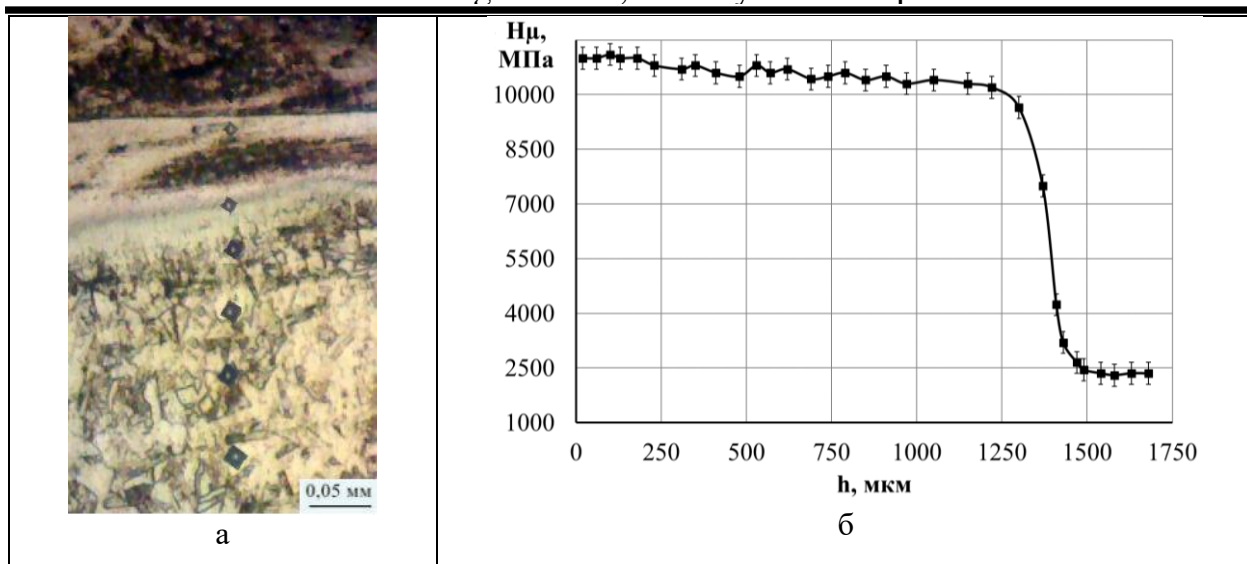


Рис. 6. Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості по глибині шару зразка сталі 12Х18Н10Т з КЕШ, складу ЦЕЛІ + ЕЛІ АІ + ЕЛІ Т15К6 + МПМ (армований ВК6) + ПД (б)

Висновки

1. Розроблено нову інтегровану технологію формування зносостійких товстошарових КЕШ на плоских і криволінійних поверхнях деталей з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, сформованих в послідовності: ЦЕЛІ + ЕЛІ АІ + ЕЛІ Т15К6 + ППД + МПМ (армований ВК6) + ПД, що включає екологічно безпечні методи ЕЛІ, ППД, нанесення МПМ і ПД.

2. В результаті металографічних і дюрOMETричних досліджень встановлено, що товщина сформованого покриття становить ~ 1,3 мм, мікротвердість верхньої ділянки становить 10500 - 11000 МПа, світлого шару 9500-7500 МПа, а мікротвердість підкладки зростає з 2150 до 2450 МПа. При цьому суцільність покриття становить 100%, а шорсткість, $R_a \sim 1,0$ мкм.

3. Розроблена технологія пройшла промислову апробацію при ремонті шнека центрифуги з нержавіючої сталі ОГШ-631К-02, що використовується на очисних спорудах для обробки промислових та побутових стічних вод.

Список використаних джерел

1. Саблук П.Т. Роль и место сельского хозяйства в экономике современной Украины. *АВУ*. 2010. №4 (70). С.439-443.
2. Лаврук А., Лаврук В. Проблемы возрождения и развития отрасли животноводства в Украине: *Przegląd Wschodnioeuropejski*. 2019. Т.10: Выпуск 1. С. 201-213.
3. Демчук М.В., Решетник А.О., Лайтер-Москалюк С.В. Проблеми утилізації гною в сучасному тваринництві. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького*. 2010. Т.12. № 3(45) Частина 4. С. 188-195.
4. Вербицький П.І. Пріоритетні напрямки розвитку тваринництва в Україні. *Ефективне тваринництво*. 2007. № 4. С. 14-17.
5. Дубін О.М. Утилізація трупів тварин та знезаражування гною. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2010. Випуск 71. С. 210-216.
6. Мишуров Н.П. Рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. *Вестник ВНИИМЖ*. 2018. №4(32). С. 44-56.
7. Гаджиев Ф.Г. Энергетическая оценка экспериментального смесителя кормов. *Техника в сельском хозяйстве*. 1994. № 3. С.23-24.

8. Коваленко В. П. Анализ технологий и технических средств обработки бесподстилочного свиного навоза. *Научный журнал КубГАУ*. 2014. №101(07). С.1-15.
9. Коваленко В.П. Механизация обработки навоза: монография. Краснодар: КубГАУ, 2007. 217с.
10. Афанасьев В.Н., Шалавина Е.В. Технологические и технические решения проблемы переработки навоза свиноводческих комплексов. *Вестник ВНИИМЖ*. 2013. № 4 (12). С.146-153.
11. Неверова О.П., Ильясов О.Р., Зуева Г.В., Шаравьев П.В. Современные методы утилизации навозосодержащих и сточных вод. *АВУ*. 2015. №1 (131). С.86-90.
12. Донник И. М., Шкуратова И. А., Верещак Н. А. Методологические подходы к оценке влияния окружающей среды на состояние здоровья животных. *Аграрная наука евро-северо-востока*. 2006. № 8. С. 169–173.
13. Донник И. М., Шкуратова И. А. Окружающая среда и здоровье животных. *Ветеринария Кубани*. 2011. № 2. С. 12–13.
14. Лукьяненко В.М., Таранец А.В. Центрифуги: Справ. изд. М.: Химия, 1988.
15. Бетин А.В., Бондарева Н.В., Клименко Т.С., Мурын М.Н., Нечипорук Н.В. Теория и конструкция систем экологической безопасности: Учеб. пособие. Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. 144 с.
16. Паркин А.А., Жаткин С.С., Минаков Е.А., Семин А.Б. *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2014. №4(22). С.34–43.
17. Umanskyi O., Storozhenko M., Antonov M., Terentjev O. et al. *Key Eng. Mater.* 2019, №604, P.16–19. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.799.37
18. Storozhenko M.S., Umanskii A.P., Terentiev A.E., Zakiev I.M. *Powder Metall Met Ceram.* 2017, №56(1–2), P.60–69. DOI: 10.1007/s11106-017-9847-y
19. Maksakova O., Simoëš S., Pogrebnyak A., Bondar O. et al. *Mater Charact.* 2018, №140, P.189–196.
20. Pogrebnyak A.D., Beresnev V.M., Smyrnova K.V., Kravchenko Ya.O. et al. *Mater Lett.* 2018, №211, P.316–318.
21. Крашенинникова Н.Г., Капранова В.И., Алибеков С.Я., Сальманов Р.С. *Вестник технологического университета*. 2015. №18(8), С.125–127.
22. Ben Slima S. *Mater Sci Appl.* 2012, №9(3), P.640–644.
23. Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М. Восстановление деталей машин: справочник. / под ред. В.П. Иванова. М.: Машиностроение, 2003. 672 с.
24. Есенберлин Р.Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой. М.: Транспорт, 1994. 256 с.
25. Коротков В.А., Михайлов И.Д., Веснин А.М., Зотов А.С. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. №10. С.33–36.
26. Елин А.М. Охрана и экономика труда. 2017. №2(27). С.24–30.
27. Другов Ю.С., Березкин В.Г. Газохроматографический анализ загрязнённого воздуха. М.: Химия, 1981. 256 с.
28. Левченко О.Г., Лукьяненко А.О., Полукаров Ю.О. Автоматическая сварка. 2011, №1(693). С.37–40.
29. Лупачева Е.А. *Труды 1-й Международной научно-практической конференции. Защита окружающей среды, здоровье. Безопасность в сварочном производстве*. 11–14 сентября 2002 г. Одесса. С. 456–466.
30. Лук'яненко Г.О. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2015. №30. С.81–90.
31. Гражданкин А.И., Белов П.Г. *Безопасность труда в промышленности*. 2000. №11. С.6–10.
32. Фрумин Г.Т. Техногенные системы и экологический риск. Санкт-Петербург: СпецЛит. 2018. 136 с.
33. Tarelynyk V.B., Gaponova O.P., Konoplianchenko I.V., Herasymenko V.A. et al. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2018. №40(2), P.235–254. <https://doi.org/10.15407/mfint.40.02.0235>

34. Михайлов В.В., Гитлевич А.Е., Верхотуров А.Д., Михайлюк А.И. и др. *ЭОМ*. 2013, №49(5). С.21–44.
35. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. *Электроискровое легирование металлических поверхностей*. Кишинев: Штиинца. 1985. 196 с.
36. Tarelynyk V., Martsynkovskyy V., Gaponova O., Konoplianchenko Ie. et al. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 2017. 233. 012048 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/233/1/012048>
37. Tarel'nik V.B., Paustovskii A.V., Tkachenko Yu.G., Martsinkovskii V.S. et al. *Surf Eng Appl Electrochem*. 2018. №54(2). P.147–156. DOI: 10.3103/S106837551802014X.
38. Kirik G.V., Gaponova O.P., Tarelynyk V.B., Myslyvchenko O.M. et al. *Powder Metall Met Ceram*. 2018. №56. P.688–696. <https://doi.org/10.1007/s11106-018-9944-6>
39. Tarel'nik V.B., Martsynkovskii V.S., Zhukov A.N. *Chem Pet Eng*. 2017. №53. P.114–120. <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0305-y>
40. Antoszewski B., Tarelynyk V., Antoszewski. *Appl Mechan Mater*. 2014. №630. P.301–307. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.301>
41. Tarelynyk V.B., Gaponova O.P., Konoplianchenko Ye.V., Martsynkovskyy V.S. et al. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2019. №41(2). P.173–192. DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint.41.02.0173>
42. Tarelynyk V., Martsynkovskyy V., Sarzhanov A., Pavlov A., et al. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 2017. №233, 012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/233/1/012050>.
43. Патент України на корисну модель UA 141920 U, МПК (2020.01) В23Н 5/00 В23Н 9/00. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей/ Тарельник В.Б., Марцинковський В. С., Гапонова О.П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н.В., Саржанов Б.О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Гапон О. О. – № у 201912307; заявл. 27.12.2019; опубл. 27.04.2020 – Бюл. № 08/2020.
44. Патент України на корисну модель UA 141919 U, МПК (2020.01) В23Н 5/00 В23Н 9/00. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей/Тарельник В.Б., Марцинковський В. С., Гапонова О.П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н.В., Саржанов Б.О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Гапон О. О. – № у 201912304; заявл. 27.12.2019; опубл. 27.04.2020 – Бюл. № 08/2020.
45. Тарельник В.Б., Гапонова О.П., Лобода В.Б., Коноплянченко Е.В., Марцинковский В.С., и др. *ЭОМ*. 2020. №56(5), 1-13 (статья в печати)
46. Миловидова, Л.А. Промывка и отбелка целлюлозы: учебное пособие / Г.В. Комарова, Т.А. Королёва, Ю.В. Севастьянова, Я.В. Казаков, В.И. Белоглазов, Л.А. Миловидова. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2013. 212 с.
47. Саржанов О.А., Саржанов Б.О. Аналіз методів ремонту відповідальних деталей центрифуг для стічних вод. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*, випуск 10/3 (31). 2016. С. 58-62.
48. V. B. Tarelynyk, O. P. Gaponova, Ye. V. Konoplianchenko, V. S. Martsynkovskyy, N. V. Tarelynyk, and O. O. Vasylenko, Improvement of Quality of the Surface Electroerosive Alloyed Layers by the Combined Coatings and the Surface Plastic Deformation. I. Features of Formation of the Combined Electroerosive Coatings on Special Steels and Alloys, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 41, No. 1. P.47–69 (2019) (in Russian), DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint.41.01.0047>
49. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением / Л.А. Хворостухин, С.В. Шишкин, А.П. Ковалев, Р.А. Ишмаков. М.: Машиностроение, 1988. 144 с.
50. V. B. Tarelynyk, O. P. Gaponova, Ye. V. Konoplianchenko, V. S. Martsynkovskyy, N. V. Tarelynyk, and O. O. Vasylenko, Improvement of Quality of the Surface Electroerosive Alloyed Layers by the Combined Coatings and the Surface Plastic Deformation. III. The Influence of the Main Technological Parameters on Microgeometry, Structure and Properties of Electrolytic Erosion Coatings, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 41, No. 3: P.313–335 (2019), DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint.41.03.0313>

51. Патент України на корисну модель UA 142338 U, МПК (2020.01) В23Н 5/00 В23Н 9/00. Спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі з комбінованим електроіскровим покриттям на зношувальних плоских і криволінійних поверхнях/Тарельник В.Б., Марцинковський В. С., Гапонова О.П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н.В., Саржанов Б.О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Гапон О. О. – № у 202000190; заявл. 11.01.2020; опубл. 25.05.2020 – Бюл. № 10/2020.

52. Патент України на корисну модель UA 140467 U, МПК (2006), В23Р 6/00, В23К, 9/04 (2006.01), В23Н 5/00, В23Н 5/02 (2006.01). Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зносу в процесі експлуатації /Тарельник В.Б., Марцинковський В. С., Белоус А.В., Саржанов О.А., Гапон О.О., Саржанов Б.О., Прокопенко А.О.– № у 201909103; заявл. 02.08.2019; опубл. 25.02.2020 – Бюл. № 4/2020.

53. Патент України на корисну модель UA 140468 U, МПК (2006), В23Р 6/00, В23К 9/04 (2006.01), В23Н 5/00, В23Н 5/02 (2006.01). Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зносу в процесі експлуатації /Тарельник В.Б., Марцинковський В. С., Белоус А.В., Саржанов О.А., Гапон О.О., Саржанов Б.О., Прокопенко А.О.– № у 201909105; заявл. 02.08.2019; опубл. 25.02.2020 – Бюл. № 4/2020.