

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-355-89>

УДК 63.211.2:631.3

ПАЛАДІЙЧУК ЮРІЙ

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0003-4257-9383>e-mail: rewet@vsau.vin.ua**ТЕЛЯТНИК ІННА**

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2998-1506>e-mail: inna201098@gmail.com**ГОРОВИЙ АРТУР**<https://orcid.org/0009-0007-6177-6039>

Вінницький національний аграрний університет

e-mail: sartursukhopar5@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЗБІРНИХ ПРОТЯЖОК ПРИ ОБРОБЦІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОТВОРІВ

У роботі представлено дослідження, спрямоване на розробку та аналіз ефективності конструктивних збірних протяжок для обробки циліндричних отворів. Розглянуто переваги використання збірних конструкцій протяжок порівняно з цільними, зокрема можливість оптимізації геометрії різальних елементів та підвищення ремонтпридатності інструменту.

Ключові слова: збірні протяжки, протягування, циліндричні отвори, обробка металів різанням, точність обробки, якість поверхні, продуктивність, конструкція інструменту, різальні елементи.

PALADIYCHUK YURIY, TELYATNIK INNA, HOROVYI ARTUR

Vinnytsia National Agrarian University

RESEARCH OF STRUCTURAL PREPARATION BROCHETS IN THE MACHINING OF CYLINDRICAL HOLES

In modern mechanical engineering, machining of cylindrical holes with high precision and surface quality is a critically important stage in the production of many parts. Broaching is one of the highly effective methods of finishing such holes, which allows achieving high productivity and accuracy of geometric parameters. However, traditional solid broaches have certain limitations associated with the complexity of manufacturing, high cost, limited possibilities for optimizing the geometry of cutting elements for different materials and processing modes, as well as the complexity of repair in case of damage to individual teeth.

In this regard, the current scientific and technical task is the development and study of the effectiveness of structural prefabricated broaches for machining cylindrical holes. The proposed work is devoted to solving this problem through a comprehensive approach, which includes theoretical analysis of the broaching process using prefabricated tools, development of new designs of such broaches taking into account optimization of the geometry of cutting elements, experimental studies to assess their impact on key parameters of the machining process, namely: accuracy of geometric dimensions and shape of holes, roughness of the machined surface, process productivity and tool stability.

The study will analyze existing broaches designs and identify their advantages and disadvantages. Based on this analysis, new design solutions for prefabricated broaches will be proposed, which provide for the possibility of quick replacement of individual cutting sections or teeth, optimization of cutting angles and other geometric parameters for different stages of machining (roughing, semi-finishing and finishing), as well as the possibility of using different materials for cutting elements depending on the material being machined and surface quality requirements.

Keywords: pre-fabricated broaches, broaching, cylindrical holes, metal cutting, machining accuracy, surface quality, productivity, tool design, cutting elements.

Стаття надійшла до редакції / Received 19.05.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.06.2025

Постановка проблеми

Ефективність конструкції протяжок є багатогранним поняттям, що охоплює ряд ключових експлуатаційних характеристик. До основних показників, за якими здійснюється оцінка доцільності та переваг тієї чи іншої конструкції, належать, перш за все, досягнуті точність обробки та якість сформованої поверхні [1-3]. Ці параметри безпосередньо впливають на функціональні властивості та довговічність оброблених деталей.

Другим важливим аспектом є продуктивність процесу обробки [1,2], яка визначає кількість деталей, що можуть бути оброблені за одиницю часу, і, таким чином, впливає на загальну ефективність виробництва.

Не менш значущими є показники, пов'язані з експлуатаційними властивостями самого інструменту. До них відносяться стійкість протяжки між переточками та загальна кількість допустимих переточувань [2]. Ці характеристики визначають термін служби інструменту та частоту його обслуговування, що прямо впливає на витрати часу та ресурсів.

Економічна складова також відіграє важливу роль при виборі конструкції протяжки. Враховуються витрати швидкорізальної сталі або інших інструментальних матеріалів на її виготовлення, загальний термін служби протяжки до повного зносу, а також собівартість операції протягування в цілому [1,2]. Оцінка собівартості включає не лише вартість інструменту, але й витрати на його обслуговування, енергію та час.

Таким чином, комплексна оцінка ефективності конструкції протяжок вимагає врахування як технологічних (точність, якість поверхні, продуктивність), так і економічних (витрати на матеріал, термін служби, собівартість) показників, що дозволяє зробити обґрунтований вибір на користь найбільш оптимального рішення для конкретних виробничих умов.

Аналіз досліджень та публікацій

Застосування збірних конструкцій протяжок дозволяє заощадити швидкорізальну сталь, продовжити термін служби протяжок, застосувати високоефективні інструментальні матеріали, підвищити точність та якість поверхні протягнутого отвору [2,3].

Слід зазначити такі різновиди збірних протяжок: зі знімними хвостовиками, жорстко з'єднаними з основною частиною протяжки, з'єднання зазвичай різьбове з центруванням по циліндричних поясах, така конструкція застосовується насамперед для круглих і шліцевих протяжок і забезпечує економію швидкорізальної сталі [2,3]:

зі змінною (насадною) калібруючою частиною;

зі змінною (насадною) частиною, що вигладжує;

збірні, всі робочі елементи яких монтують на центральній оправці (штанзі).

Конструкція зі змінною калібруючою частиною застосовується для круглих та шліцевих протяжок [2]:

$$d - 10 \times 72H8 \times 78H12 \times 12H10. \quad (1)$$

Протяжка працює за схемою $\Phi K_{\text{оп}} \text{Ш} K_{\text{чк}}$ [3].

Зуби з 1-го по 13-й є фасочними. (Φ), з 14-го по 17-й круглими чорновими (обдирними) (K_0), з 18-го по 54-й шліцевими (Ш), з 55-го по 63-й круглими чистовими і калібруючими ($K_{\text{чк}}$).

Остання група зубів ($K_{\text{чк}}$) об'єднана в насадну змінну секцію, після якої йде задня напрямна частина з внутрішнім різьбленням і задній хвостовик, що накручується на різьблення [2,3].

Аналогічні конструкції збірних круглих протяжок дозволяють збільшити термін служби таких протяжок, за деякими даними, вдвічі [3]. Відомі конструкції збірних круглих протяжок, у яких насадна калібруюча частина виконана зі спіральним розрізом і забезпечена конічним отвором. Це дозволяє регулювати розмір отвору, що обробляється такою протяжкою, та збільшує термін її служби [2,3].

Одним із прикладів зірної конструкції на центральній штанзі (оправці) є шліцева калібрувальна прямобічна протяжка [3]:

$$d - 20 \times 92H7 \times 98 \times 7. \quad (2)$$

Штанга у цієї протяжки виготовлена як одне ціле із задньою прямою частиною [3].

Насадні ріжучі блоки та насадна передня напрямна закріплені двома гайками на штанзі. Кутове положення блоків та передньої прямої фіксується за допомогою торцевих виступів та торцевих пазів на цих елементах [2-4].

На опорному торці задньої прямої передбачено два торцевих пази. Штанга – із сталі 40Х, ріжучі блоки – із швидкорізальної сталі, передня напрямна – зі сталі ХВГ. Довжина ріжучих блоків 128-160 мм. Ріжучі блоки та передня напрямна встановлюються на штангу по посадці $\phi 60 H6/j_5$. Аналогічна конструкція застосовується для круглих збірних протяжок [2-4].

Перспективним напрямом економії швидкорізальної сталі є застосування протяжок із наплавленими зубами [3].

Поява твердосплавних кілець та блоків сприяла створенню високоефективних згладжуючих, деформуючих та комбінованих протяжок та прошивок. Вигладжуючі та комбіновані інструменти з зубцями, що згладжують, виробляють поверхневе пластичне деформування оброблюваного отвору [2-4]. Деформуючі та комбіновані протяжки з деформуючими зубцями виконують об'ємне пластичне деформування стінки заготовки, що обробляється.

Найбільшого поширення набули інструменти з твердосплавними елементами, що згладжують. Вони стабільно забезпечують високу точність обробленого отвору за 8-м квалітетом і вище, малу шорсткість поверхні ($R_a \leq 0,16 \text{ мм}$), підвищують твердість (до 30% порівняно з вихідною) та зносостійкість поверхневого шару [2-4]. Стійкість твердосплавних протяжок, що вигладжують, і прошивок вимірюється тисячами оброблених заготовок.

Застосування інструменту, що вигладжує замість хонінгування або розкочування дозволяє в 4 рази підвищити продуктивність обробки. Для елементів, що працюють з натягами до 0,5 мм (при відношенні зовнішнього діаметра заготовки до внутрішнього до 2,6), універсальним виходячи із заводського досвіду виявився твердий сплав ВК8 [2-4].

Тільки вигладжують (без ріжучих зубів) найчастіше виконуються прошивки. Однозубі прошивки використовуються для обробки глухих отворів [2-4]. Наприклад, прошивка для обробки глухого отвору діаметром 6 мм має твердосплавне кільце з робочим радіусним профілем. Кільце встановлено на кінець оправлення діаметром 2,5 мм і припаяне до оправлення. Про ефективність цієї прошивки можна судити з того, що її застосування дозволило замінити операцію хонінгування [3,4].

Для обробки наскрізних отворів малого діаметра (до 12-20 мм) можуть застосовуватися монолітні твердосплавні багатокрокові прошивки. Іноді вони виконуються із припаяними сталевими хвостовиками [3,4]. Починаючи з діаметра 16 мм успішно застосовуються збірні прошивки, що вигладжують, з багатозубими твердосплавними блоками [3,4].

Збірні прошивки діаметром до 25 мм з напресованими передніми напрямними забезпечують точність обробки за 6-7-м квалітетом, параметр шорсткості поверхні $R_a = 0,16 \div 0,63$ мкм.

Прошивання отвору проводиться після розточування, розгортання або протягування. Число зубців, що вигладжують, — від трьох до шести. Сумарний натяг, зазвичай, трохи більше 0,2 мм. Збірні прошивки зі знімними передніми напрямними, закріпленими гайками, що навертаються на оправку, виготовляються зазвичай діаметром 25- 40 мм.

За допомогою цих прошивок можна отримати точність обробленого отвору за 7-м квалітетом; параметр шорсткості поверхні отвору $R_a \leq 0,32 \div 1,25$ мкм. Такі прошивки широко використовуються для калібрування отвору після термообробки [3,4].

Твердосплавні протяжки, що вигладжують, виконуються збіркою конструкції або з відокремленим переднім хвостовиком, або з відокремленим заднім хвостовиком. Прикладом ефективного застосування витяжних протяжок може бути обробка отворів $\varnothing 10^{+0,033}$ у сталевій заготовці [3,4]. Застосування протяжки, що вигладжує, після ріжучої дозволило скасувати операцію доведення і забезпечити параметр шорсткості поверхні $R_a = 0,63$ мкм [3,4]. Протяжка, що вигладжує з п'ятизубим твердосплавним блоком має стійкість 14 тис. заготовель.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: вдосконалення процесу протягування циліндричних отворів шляхом розробки та експериментального дослідження нових конструкцій збірних протяжок, які забезпечують підвищення точності геометричних параметрів оброблених отворів, покращення якості поверхні та збільшення продуктивності процесу обробки.

Виклад основного матеріалу

Вигладжувальна частина комбінованих протяжок може бути виконана або у вигляді набору кілець [5,6], або у вигляді монолітного багатозубого (зазвичай трьох - п'ятизубого) твердосплавного блоку [5]. Елементи, що вигладжують, розміщуються після калібрувальних зубів різальної частини і встановлюються по посадці [5]. Можуть бути два варіанти конструктивного виконання таких протяжок: з жорстким кріпленням і з пружним кріпленням елементів, що вигладжують.

При конструюванні ріжучо-вигладжувальних протяжок із заднім хвостовиком елементи, що вигладжують, жорстко затискаються на кінцевій частині протяжки хвостовиком з внутрішнім різьбленням і напрямною циліндричною виточкою [5]. Посадка при центруванні хвостовика циліндричному ділянці відповідає $H7/h7$ (або $H7/h6$) [5-7]. Різьбове з'єднання виконується з полями допусків $4H5H$ у хвостовику та $4h6h$ на тілі протяжки. Хвостовик має лиски для затягування різьбового з'єднання. Напружена циліндрична ділянка заднього хвостовика остаточно шліфується в зборі і служить задньою напрямною протяжки [5-7].

Застосування набірної частини, що вигладжує складається з окремих твердосплавних елементів, не виключає такі похибки інструменту, як перекис окремих кілець щодо осі, пов'язаний з відхиленням від перпендикулярності торців цих кілець, взаємне зміщення окремих кілець в радіальному напрямку. Крім того, при різьбовому кріпленні вигладжує можливий перекис її через перекис опорних торців різьбового з'єднання. Це не лише знижує точність оброблених отворів, а й призводить до руйнування твердого сплаву. У зв'язку з цим все більш широке застосування в промисловості знаходять комбіновані протяжки з частиною, що вигладжує, у вигляді монолітного багатозубого твердосплавного блоку з замковим кріпленням вигладжувальної частини [5].

Прикладом ефективного застосування комбінованих протяжок з монолітними блоками, що вигладжують, є обробка отворів $\varnothing 120_{-0,059}^{+0,024}$ у роликах трактора [5]. Використання таких протяжок дозволило замінити дворазове протягування та хонінгування одноразовим протягуванням зі стабільним забезпеченням заданої точності розмірів та форми та параметра шорсткості поверхні $R_a = 2,5$ мкм [5]

Ще одним прикладом може бути обробка отвору діаметром 50 мм у корпусі гідророзподільника трактора. Матеріал корпусу – чавун СЧ20. Отвір, що простягається, має переривчасту поверхню (шість шийок різної довжини) [5].

Відхилення форми отвору не повинно перевищувати 0,01 мм при параметрі шорсткості поверхні $R_a = 0,63$ мкм . [5].

Обробка проводиться комбінованою ріжучо-вигладжувальною протяжкою. Протяжка має тризубий монолітний вигладжувальний блок, який безпосередньо стикається із замком із двох напівкілець. Втулка, що закриває замок, фіксується ззаду нарізним хвостовиком. Обробка отворів такою протяжкою проводиться після зенкерування та заміною розгортання та алмазне хонінгування [5]. При цьому діапазон розсіювання відхилень форми 0,01 мм тоді як при алмазному хонінгуванні він становить 0,02 мм. Використання зазначених протяжок дозволило поліпшити якість деталей і знизити їх трудомісткість виготовлення. Комбінування ріжучих протяжок з інструментальних сталей з твердосплавними елементами, що вигладжують, значно підвищує стійкість протяжок [6-8].

При протягуванні заготовок з чавуну та важкообробних матеріалів ріжуча частина комбінованих ріжучо-вигладжувальних протяжок може виконуватися з твердого сплаву. Такі конструкції протяжок створені, зокрема, у СКБ протяжних станків [6].

Збірна твердосплавна протяжка при обробці центрального відвернення в картері амортизатора автомобіля забезпечує отримання поля допуску $H7$ та параметр шорсткості поверхні $R_a = 0,63$ мкм. При

використанні ріжучої частини твердого сплаву ВК10М стійкість протяжки між повторними заточуваннями становить 5000-6000 м довжини протягнутої поверхні [6-8]. Використання цих протяжок дозволило замінити дві операції: чистове розточування та хонінгування. Стійкість протяжок в середньому в 400 разів перевищує стійкість протяжок із швидкорізальної сталі. Створення конструкцій твердосплавних ріжучо-вигладжуючих протяжок відкриває можливості для протягування на підвищених швидкостях різання [6,7].

Деформуючі протяжні інструменти відрізняються від великих натиґами, що вигладжують, на кожне кільце (до 1 мм і більше). При цьому твердосплавні деформуючі елементи виконуються однозубими і поділяються дистанційними втулками, довжина яких залежить від розмірів заготовки, що обробляється [6-8].

При невисоких вимогах до точності (10-11-й квалітет) та шорсткості поверхні (от $R_z = 40$ до $= 2,5$ мкм) деталі типу втулок виготовляють із необроблених заготовок у вигляді труб. При цьому відхилення геометричної форми отвору вихідної чорної трубної заготовки зменшуються в 10-20 разів.

Наприклад, при деформуванні протягування отвору $\varnothing 72$ мм у втулці балансира трактора дев'ятизубим інструментом забезпечується параметр шорсткості поверхні $R_a = 1,25$ мкм (вихідна заготовка - гарячекатана труба).

При підвищених вимогах до точності (9-й кваліфікація і вище) та високих вимогах до шорсткості ($R_a = 0,16 \div 1,25$ мкм) деталі типу гільз зі значним ставленням довжини до діаметру отвору обробляються деформуючими протяжками після механічної обробки отвору. Великий досвід ефективного застосування деформуючих протяжок накопичений в Інституті надтвердих матеріалів та сплавів (м. Київ) [7].

Комбіновані протяжки з деформуючими елементами найчастіше виконуються деформуюче-ріжучо-вигладжуючими. Перший вид протяжок застосовується за порівняно невисоких вимог до якості протягнутого отвору; поверхня заготовки – необроблена [6-8]. Деформуючі елементи виправляють відхилення форми отвору вихідної заготовки і завдяки цьому знижують припуск на обробку. Сумарний натяг на деформуючу частину повинен перевищувати відхилення від округлості круглості вихідної заготовки [6-8].

Ріжуча частина виготовляється із інструментальної сталі. До переднього торця різальної частини приварюється встик базова оправка, що закінчується різбленням. На оправлення встановлюються деформуючі елементи зі сплаву ВК15М та дистанційні втулки між елементами (посадка $H7/h6$). Передній хвостовик з'єднаний з оправкою різбленням [6-8]. Ріжучу частину протяжки схемою змінного різання. При обробці такої протяжки отвори $\varnothing 70_{+0,4}^{+0,2}$ мм в гарячекатаній трубі (сталь 45) сумарний натяг на чотири зуби, що деформують, склав 5,6 мм (усадка отвору після проходу деформуючої частини 0,2 мм). Загальний припуск на ріжучу частину (набік) 0,5 мм. Крок деформуючих зубів 78 мм (при довжині заготовки, що дорівнює діаметру отвору) [6-8].

Деформуючо-ріжучо-вигладжувальні протяжки, застосовуються для необроблених отворів. До точності та якості протяжних отворів пред'являються підвищені вимоги. Частина, що вигладжує, здійснює поверхнєве деформування, що сприяє отриманню точності за 7—6-м квалітетом і параметром шорсткості поверхні.

$R_a = 0,8 \div 0,16$ мкм. При цьому досягається зміцнення поверхневого шару, і в ньому створюються стискаючі напруги [6-8].

При центруванні шліцевих з'єднань за внутрішнім діаметром необхідно забезпечити мале відхилення співвісності підготовленого під протягування отвору та шліцевої поверхні отвору [6,7]. Одним з рішень цієї проблеми є створення конструкцій протяжок з круглими і шліцевими зубами, що чергуються.

Прикладом може бути шліцева прямобічна протяжка другого робочого ходу для обробки отвору:

$$d - 10 \times 85H7 \times 92H12 \times 12D10 \quad (3)$$

Отвір до протягування зазначеної протяжкою має такі розміри: внутрішній діаметр 84,45 мм, ширина паза шліцевого 11,5 мм, зовнішній діаметр 92 мм. Перші вісім зубів протяжки – шліцеві. Зуби з 9-го по 40-й чергуються (круглі та шліцеві). Зуби з 41-го по 44-й - фаскові. Круглі зуби з 9-го по 39-й (непарні номери) умовно можна розділити на три частини: обдирну, чистову та калібруючу. На обдирних і чистових круглих зубцях (з 9-го по 29-й) виконують стружко розділювальні канавки на відстані 2,5 мм від осі западини в шаховому порядку [6-8].

Іншим прикладом може бути шліцева евольвентна протяжка другого робочого ходу з шліцевими і круглими зубами, що чергуються. Протяжкою остаточно обробляють отвір з числом шліців 16, модулем 3,5 мм, діаметром з'єднання 62 мм (профільний кут вихідного контуру 15°) [7]. Перші два зуби - шліцеві; далі круглий, потім два шліцевих, круглий і т. д. Круглі зуби, які мають номери, кратні трьом, можна також розділити на три види: обдирні, чистові та калібрують.

При обробці шліцевих отворів евольвентними протяжками несприятливі умови різання створюються при роботі шліцевих, особливо шліцевих обдирних зубів. Зрізання стружки П-подібного вигляду ускладнює її розміщення в стружковій впадині, збільшує шорсткість протягнутої поверхні [7].

Тому в промисловості застосовують протяжки, у яких на шліцевих евольвентних зубцях передбачено поділ зрізання стружки бічними (профільними) кромками і діаметральними кромками, що формують поверхню западин отвору, що простягається.

Прикладом такого рішення є комбінована шліцева евольвентна протяжка для обробки отворів $\varnothing 75 \times H8 \times 2,5$ (ГОСТ 6033-80) [7].

Протяжка складається з наступних груп зубів: фаскові (з 1-го по 13-й), круглі (з 14-го по 26-й), шліцеві попередні з поділом стружки (з 27-го по 57-й), шліцеві чистові (з 58-го по 74-й) 80-й). У шліцевих попередніх зубів (з 27-го по 52-й) безперервна ріжуча кромка одного шліцевого виступу розділена на три ділянки: дві профільні ділянки у вигляді дуг кола і периферійна кромка шириною 2,92 мм, відокремлена від профільних ділянок двома короткими прямо бічними сторонами [7]. Шлицеві попередні зуби з 53-го по 57-й забезпечені вусяками, які поділяють периметр шліцевої западини для полегшення роботи чистових шліцевих і калібрують зубів.

Для полегшення роботи периферійних кромок при ширині 4 мм і більше попередні шліцеві зубці виконуються секційними (з груповою схемою різання).

Прикладом може бути евольвентна шліцева протяжка другого робочого ходу для обробки шліцевого отвору $\varnothing 75 \times H8 \times 3,5$ (ГОСТ 6033-80) [7,8]. Протяжка має групу шліцевих зубів (з 1-го по 21-й) звичайного профілю. Ці зуби розширюють шліцеві западини, отримані протяжкою першого робочого ходу.

Зуби з 22-го по 49-й мають шліцеві виступи з описаним вище поділом ріжучих кромок, що обробляють бічний профіль шліцевого паза і поверхню западини шліцевого отвору. Для полегшення умов стружкообразовання під час роботи ріжучих кромок, формують поверхню западин, ці кромки забезпечені викружками, які у шаховому порядку. При цьому зубці з 22-го по 43-й виконані у вигляді двозубих секцій. Кожна пара зубів (одна секція) має однаковий діаметр, а підйоми виконані на секцію [8].

Для протягування шліцевих отворів у матеріалах, що важко обробляються застосовують збірні протяжки з насадними твердосплавними різальними зубами. При цьому всі ріжучі блоки виконані однозубими.

Висновки

У роботі було **розглянуто та проаналізовано** різні конструкції протяжок, особливу увагу приділено збірним та комбінованим типам інструментів. Було **визначено** ключові фактори, що впливають на ефективність процесу протягування, включаючи точність обробки, якість поверхні, продуктивність, стійкість інструменту та економічну доцільність.

Результати аналізу показали, що застосування збірних конструкцій протяжок дозволяє досягти значної економії інструментальних матеріалів, збільшити термін служби інструменту та використовувати високоефективні твердосплавні матеріали для покращення точності та якості оброблених поверхонь. Розглянуто різні варіанти збірних протяжок, такі як інструменти зі змінними хвостовиками, змінними калібруючими та вигладжувальними частинами, а також конструкції з робочими елементами, що монтуються на центральній оправці.

Окрему увагу було приділено комбінованим протяжкам, які поєднують ріжучі та вигладжувальні або деформуючі елементи. Застосування твердосплавних вигладжувальних елементів дозволяє значно підвищити точність обробки (до 8-го квалітету і вище), зменшити шорсткість поверхні та збільшити твердість і зносостійкість поверхневого шару. Ефективність таких інструментів підтверджується прикладами їх використання для обробки різноманітних деталей, де досягається підвищення продуктивності та покращення якості порівняно з традиційними методами обробки.

Крім того, було проаналізовано конструкції деформуючих та деформуючо-ріжучо-вигладжувальних протяжок, які застосовуються для обробки деталей зі значними вимогами до точності та якості поверхні, а також для обробки необроблених заготовок. Розглянуто особливості конструкцій протяжок для обробки шліцевих отворів, включаючи інструменти зі змінним кроком зубів та спеціальними елементами для поділу стружки.

Метою подальших досліджень, як зазначено в роботі, є вдосконалення процесу протягування циліндричних отворів шляхом розробки та експериментального дослідження нових конструкцій збірних протяжок, що забезпечують підвищення точності, якості поверхні та продуктивності.

Література

1. Paladiichuk Y. Study of characteristics of growth formation after deformation strength during deforming strength. *Architecture Medical sciences Technical science Physics and mathematics*. 2021. №2 (89). P. 30-35. ISSN 2520-6990. DOI: 10.24412/2520-2480-2021-289-30-36.
2. Шейкін С.Є., Студенець С.Ф., Мельниченко В.В., Мельниченко Я.В. Технологія відновлення карданних валів з застосуванням градієнтного деформаційного зміцнення. *Високі технології в машинобудуванні*. 2016. Вип. 1 (26). С. 118-125.
3. E. Posviatenko, N. Posviatenko, R. Budyak, L. Shvets, Y. Paladiichuk, P. Aksom, I. Rybak, B. Sabadach, V. Hryhorychen. Influence of a material the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/12 (95). P. 48-56. ISSN 1729-3774.
4. Паладійчук Ю. Б., Кордонський В.А. Обґрунтування механіки руйнування стружки при протягуванні циліндричних поверхонь з припуском. *Вібрації в техніці та технології*. 2020. Вип 4 (99). С. 73–84.

5. Paladiichuk Y. Forming of makrorelief is at reaching of internal surfaces of cylinder purveyance of power hydrocylinders. *Modern engineering and innovative technologies*. 2019. Issue 10. Part 1. P. 74–79. ISSN 2567-5273. DOI: 10.30890/2567-5273.2019-10-01-012.
6. Скоркін А. О., Кондратюк О. Л., Шелковий О. М., Пермяков О. А. Підвищення ефективності протягування за рахунок косокутного різання в зоні деформування. *Машинобудування*. 2017. 20. С. 41-47.
7. Ya.Nemyrovskiy, I.Shepelenko, E.Posviatenko, Yu.Tsekhanov, S.Polotnyak, S.Sardak, Y. Paladiichuk. Desining the structures of solid-alloy elements for broaching the holes of significant diameter based on the assessment of their strength *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 3.(7-105), P. 57-65.
8. Веселовська Н.Р., Паладійчук Ю.Б., Телятник І.А. Дослідження мікротвердості поверхні циліндричної деталі при деформаційному протягуванні. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 3 (118). С.31-42.

References

1. Paladiichuk Y. Study of characteristics of growth formation after deformation strength during deforming strength. *Architecture Medical sciences Technical science Physics and mathematics*. 2021. №2 (89). R. 30-35. ISSN 2520-6990. DOI: 10. 24412/2520-2480-2021-289-30-36.
2. Shejkin S.Ye., Studenec S.F., Melnichenko V.V., Melnichenko Ya.V. Tehnologiya vidnovlennya kardannih valiv z zastosuvannyam gradiyentnogo deformacijnogo zmichennya. *Visoki tehnologiyi v mashinobuduvanni*. 2016. Vip. 1 (26). S. 118-125.
3. E. Posviatenko, N. Posviatenko, R. Budyak, L. Shvets, Y. Paladiichuk, P. Aksom, I. Rybak, B. Sabadach, V. Hryhorychen. Influence of a material the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/12 (95). P. 48-56. ISSN 1729-3774.
4. Paladijchuk Yu. B., Kordonskij V.A. Obgruntuvannya mehaniki rujnuvannya struzhki pri protyaguvanni cilindrichnih poverhon z pripuskom. *Vibraciyi v tehnicі ta tehnologiyi*. 2020. Vip 4 (99). S. 73–84.
5. Paladiichuk Y. Forming of makrorelief is at reaching of internal surfaces of cylinder purveyance of power hydrocylinders. *Modern engineering and innovative technologies*. 2019. Issue 10. Part 1. P. 74–79. ISSN 2567-5273. DOI: 10.30890/2567-5273.2019-10-01-012.
6. Skorkin A. O., Kondratyuk O. L., Shelkovij O. M., Permyakov O. A. Pidvishennya efektyvnosti protyaguvannya za rahunok kosokutnogo rizannya v zoni deformuvannya. *Mashinobuduvannya*. 2017. 20. S. 41-47.
7. Ya.Nemyrovskiy, I.Shepelenko, E.Posviatenko, Yu.Tsekhanov, S.Polotnyak, S.Sardak, Y. Paladiichuk. Desining the structures of solid-alloy elements for broaching the holes of significant diameter based on the assessment of their strength *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 3.(7-105), P. 57-65.
8. Veselovska N.R., Paladijchuk Yu.B., Telyatnik I.A. (2022). [Doslidzhennya mikrotverdosti poverhni cilindrichnoyi detali pri deformacijnomu protyaguvanni]. *Tehnika, energetika, transport APK*. vol. 3 no. 118. pp. 31-42. [in Ukrainian].