

УДК 621.757:621.7.08

doi:10.20998/2413-4295.2020.02.02

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИКІНЧУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ФОРМУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ВТУЛОК БУРОВИХ ПОМП

**Я. М. КУСИЙ**

кафедра технології машинобудування, Національний університет "Львівська політехніка", Львів, УКРАЇНА  
e-mail: jarkym@ukr.net

**АНОТАЦІЯ** Розроблення оптимального технологічного процесу виготовлення відповідальних деталей машин, зокрема циліндрових втулок бурових pomp деталей газо- та нафтовидобувного обладнання є найефективним при застосуванні системного підходу стосовно дослідження взаємозв'язків із технологічним середовищем: верстат-пристрій-інструмент-заготовка. Раціональний вибір фінішних і викінчувально-зміцнювальних операцій технологічних процесів виготовлення деталей машин забезпечує формування необхідних параметрів точності, якості поверхневого шару та експлуатаційних характеристик. Традиційні технологічні методи фінішного оброблення деталей машин - методи хіміко-термічного оброблення та нанесення покриттів є недостатньо ефективними для забезпечення експлуатаційних характеристик циліндрових втулок бурових pomp. Вібраційні технології як група методів поверхневого пластичного деформування застосовуються на викінчувально-зміцнювальних операціях виготовлення виробів у різних галузях промисловості. Мета дослідження даної статті - аналіз впливу технологічних параметрів вібраційного зміцнення, зокрема вібраційно-відцентрового зміцнення, на формування параметрів якості поверхні циліндрових втулок бурових pomp НБ32. Вибрано матеріали для проведення досліджень та приведено ескіз дослідного зразка. Приведено принципову схему вібромашини об'ємного оброблення та технологічного оснащення для реалізації вібраційної технології, описано їх будову та принцип роботи. Приведена методика реалізації експериментальних досліджень. Описано методику визначення геометричних параметрів якості поверхневого шару матеріалу виробу, приведено комплекс для вимірювання геометричних параметрів якості поверхні виробів. Подано та проаналізовано зміну параметрів рельєфу поверхні виробів після вібраційно-відцентрового оброблення. Встановлено, що вібраційно-відцентрове зміцнення внутрішніх поверхонь втулок кульками  $\varnothing 10$  і  $\varnothing 12$  мм сприяє покращенню параметрів мікрорельєфу їх профілю за рахунок зменшення висотних параметрів мікропрофілю поверхні у 9,5-36,9 разів та підвищенню крокових параметрів у 289-399 разів порівняно з поверхнею після точіння. Подальші дослідження у цьому напрямку стосуватимуться оптимізації режимів оброблення та розроблення практичних рекомендацій стосовно використанню вібраційно-відцентрових зміцнювачів з дебалансним приводом для покращання експлуатаційних характеристик деталей типу «втулка».

**Ключові слова:** технологічний процес; циліндрова втулка; якість поверхні; викінчувально-зміцнювальна операція; вібраційні технології; вібраційно-відцентрове зміцнення

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF FINISHING OPERATIONS ON THE FORMATION OF SURFACE QUALITY PARAMETERS OF BUSHINGS OF DRILLING PUMPS

**Ya. KUSYI**

Mechanical Engineering Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

**ABSTRACT** The optimal technological process planning of responsible machine parts manufacturing, in particular cylinder bushings of drilling pumps for gas and oil production equipment, is most effective using a system approach for the investigation of relationships with the technological environment: machine-fixture-tool-blank. A rational choice of finishing, finishing and strengthening operations of technological processes for the manufacturing of machine parts provides the formation of the necessary parameters of accuracy, quality of the surface layer and operational characteristics. Traditional technological methods for finishing treatment of machine parts and methods of chemical-thermal treatment and coating enough are not effective to provide the operational characteristics of the cylinder bushings of drilling pumps. Vibration technologies as a group of the surface plastic deformation methods are used for finishing and strengthening operations of technological processes of parts manufacturing in different industries. The purpose of the investigations of this paper is to analyze the influence of technological parameters of vibrations processing methods, in particular vibration-centrifugal strengthening, on the formation of surface quality parameters of cylinder bushings of NB32 drilling pumps. Materials for researches are selected. Drawings of the exploratory prototype are shown. A schematic diagram of a volumetric vibrating machine and technological equipment for the implementation of vibration technology is given. Their structure and operating principle are described. The methodology for the implementation of experimental researches is given. The methodology for determining the geometric parameters of the surface layer quality of the part material is described. A complex for measuring the geometric parameters of the part surface quality is given. The results of change the surface topography of the parts after vibration-centrifugal treatment are presented and analyzed. It has been established that vibration-centrifugal strengthening of the inner surfaces of the bushings with balls of  $\varnothing 10$  and  $\varnothing 12$  mm improves the parameters of the microrelief of their profiles by reducing the height parameters of the surface microprofile by 9.49-36.9 times and increasing the step parameters by 288.79-399, 49 times compared to the surface after lathe machining. Further researches in this field will concern the optimization of processing regimes and the development of practical recommendations for using vibration-centrifugal strengtheners with unbalance drive for improving the operational characteristics of bushings.

**Keywords:** technological process; cylinder bushing; surface quality; finishing and strengthening operation; vibration technologies; vibration-centrifugal strengthening

### Вступ

Підвищена трудомісткість виготовлення порожнистих циліндричних виробів типу «втулка»,

«гільза», «циліндр» тощо, які поширені у конструкціях машин і виконують різноманітне функціональне призначення, визначається,

переважно, специфікою їх конструктивної будови - як правило, це велика маса при незначній поперечній жорсткості та значних лінійних розмірах. Різноманітність технічних вимог стосовно таких деталей тієї чи іншої конструктивної форми, тип і організаційна форма виробництва вимагають системного підходу при розробленні раціонального технологічного процесу їх виготовлення й вибору викінчувально-зміцнювальних і фінішних операцій, які забезпечують експлуатаційні характеристики виробів [1-6].

### Огляд літературних джерел

Деталі типу «циліндр», «гільза» нафто- та газовидобувного обладнання є елементами систем для транспортування рідин, газів та сумішей із значних глибин та під високими тисками [7].

Забезпечення конструктивних технічних параметрів, формування експлуатаційних характеристик і показників надійності таких виробів визначаються, в першу чергу, фізико-механічними та технологічними властивостями матеріалу, з якого їх виготовляють (переважно, це вуглецеві, низько- та високолеговані сталі) [1,2,7].

Однак, збільшення статичної міцності масивних довгомірних стрижневих та трубчастих виробів при використанні дорогих легованих сталей не завжди рівнозначне підвищенню показників довговічності, оскільки із зростанням границі міцності підвищується імовірність появи втомного та крихкого руйнування матеріалу за рахунок масштабного фактору. Застосування високоміцних металів і сплавів обмежується їх чутливістю до концентраторів напружень і поверхневих дефектів [7].

Вичерпання чисто ресурсів статичної міцності матеріалів призводить до необхідності забезпечення експлуатаційних характеристик (і показників надійності) деталей типу «циліндр», «гільза» газо- та нафтовидобувного обладнання шляхом покращення конструкції деталі, та за рахунок вибору раціональних технологічних методів оброблення зазначених виробів [1,2,7].

Раціональний вибір викінчувально-зміцнювальних і фінішних операцій у технологічних процесах виготовлення довгомірних стрижневих і трубчастих виробів газо- та нафтовидобувного обладнання має критично важливе значення при формуванні їх параметрів якості. Забезпечення параметрів точності заданої форми деталі, якості її поверхонь, експлуатаційних характеристик і показників надійності деталей машин технологічними методами визначається рівнем технології виготовлення [7].

Традиційні технологічні методи фінішного оброблення суцільних і пустотілих циліндричних виробів забезпечують розмірну та геометричну точність форми деталей у межах 6÷7 квалітетів і шорсткість поверхні  $Ra=0,08-1,25$  мкм. Зокрема, позитивно зарекомендували себе методи хіміко-

термічного оброблення та нанесення відповідних покриттів для забезпечення експлуатаційних характеристик і показників надійності деталей в умовах статичних навантажень. Проте, оброблені таким чином деталі не завжди демонструють достатню надійність при роботі в умовах динамічних та знакозмінних навантажень. До того ж, методи хіміко-термічного оброблення та нанесення покриттів є найбільш енергоємною технологією, споживаючи від 20 до 120 кВт/год на 1 кг зміцнених виробів [1,7].

Методи поверхневого пластичного деформування (ППД), зокрема вібраційні, впродовж останніх десятиліть набули широкого розповсюдження у машинобудуванні для забезпечення підвищених експлуатаційних характеристик і показників надійності виробів. Їх характерною ознакою є, незначна, в порівнянні з іншими технологічними методами, енергоємність процесу зміцнення та висока якість поверхні. Головною відмінністю більшості методів вібраційної обробки від традиційних фінішних операцій механічного оброблення чи методів статичного ППД є можливість утворення за їх допомогою регулярних мікрорельєфів, що дозволяє загалом вирішити проблему технологічного забезпечення геометричних і фізико-механічних параметрів якості поверхневого шару деталей [1,2].

Вібраційні технології є найефективнішими серед відомих фінішних і викінчувально-зміцнювальних технологічних операцій виготовлення виробів завдяки достатньо широким технологічним можливостям і здатності якісного зміцнювального оброблення внутрішніх поверхонь довгомірних пустотілих деталей. Проте, все ще невирішеною залишається проблема створення прогресивних зміцнювальних технологій, які базуючись на використанні вібрацій, як досконалого джерела накопичення енергії деформування, забезпечували б широкий діапазон заданих конструктивних параметрів і суттєвого підвищення експлуатаційних характеристик та надійності роботи деталей типу «втулка», «циліндр», «гільза» [1,2].

### Мета дослідження

Мета дослідження полягає в аналізі впливу технологічних параметрів вібраційно-відцентрового зміцнення на формування топології поверхневого шару оброблених виробів типу «втулка», «циліндр», «гільза».

### Основна частина

#### Матеріали та експериментальні зразки

З огляду на те, що більшість деталей типу «втулка», «циліндр», «гільза» нафтогазовидобувного обладнання виготовляють з конструкційних вуглецевих сталей, у якості дослідного матеріалу вибрано сталь 45 ДСТУ 7809:2015. Креслення дослідного зразка наведено на рис. 1 [1,2,7].

12,5  
▽(M)

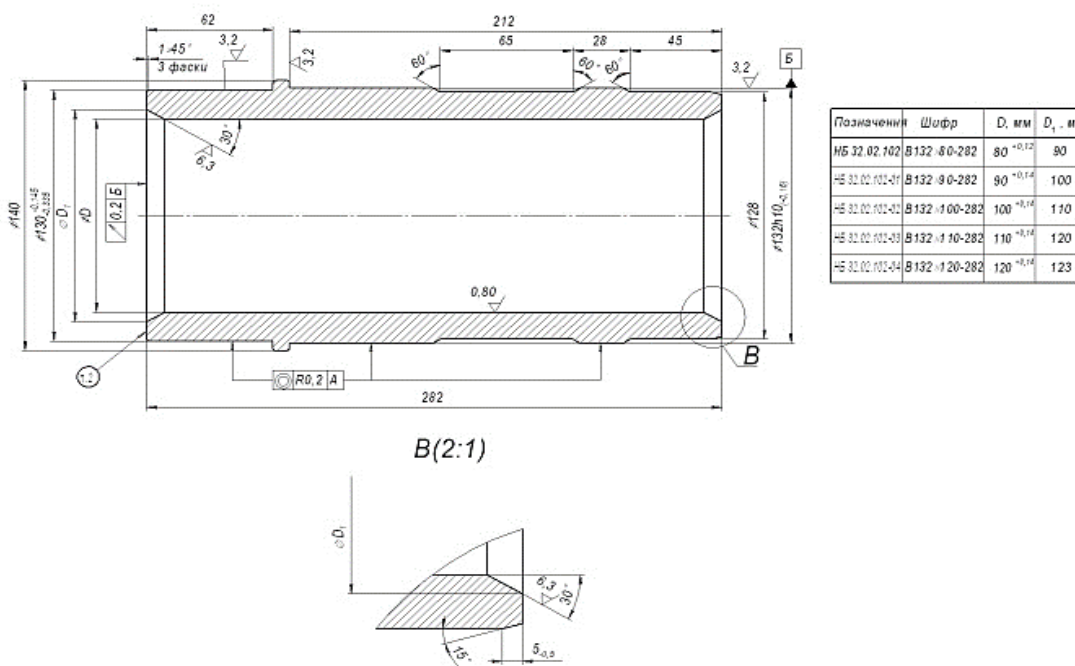


Рис. 1– Ескіз дослідного зразка

### Технологічне оснащення для реалізації вібраційно-відцентрового зміцнення при використанні пристроїв з дебалансним приводом

У Національному університеті «Львівська політехніка» адаптовано обладнання об'ємного вібраційного оброблення (вібромашини об'ємного оброблення) для вібраційно-відцентрового зміцнення внутрішніх поверхонь циліндричних виробів, зокрема циліндрових втулок бурової помпи НБ32 діаметром 100 мм, довжиною 282 мм. Для цього спроектовано та виготовлено лабораторно-дослідний зразок технологічного оснащення (рис. 2) та технологічного обладнання (рис. 3) для реалізації вібраційно-відцентрового зміцнення та дослідження впливу його основних технологічних параметрів на формування топологічних та фізико-механічних параметрів якості поверхневого шару оброблених виробів і їх експлуатаційних характеристик [1,2].



Рис. 2 – Технологічне оснащення для вібраційно-відцентрового зміцнення внутрішніх поверхонь циліндричних виробів із застосуванням вібромашини об'ємного оброблення

У порожнину оброблюваної втулки 6 (рис. 3) вільно встановлюють армований поліуретаном обкатник 7 і засипають деформівні тіла 8. Деформівними елементами служать сталеві загартовані кульки, як елементи, що забезпечують найбільші контактні напруження завдяки точковому контакту із оброблюваною поверхнею. Об'єм (діаметр) деформівних тіл встановлюють експериментально або на підставі відомих практичних результатів. З обох торців втулку закривають кришками 10, 11 із компенсаційними втулками 12, 13 та скріплюють гвинтами 24, шайбами 26 і гайками 25 (рис. 3). На посадні шийки обкатника 7 з обох сторін встановлюють фланці 16, 17. Гайки 18, 19 із шайбами 20, 21 обмежують осьове переміщення фланців 16, 17. Масу обкатників розраховують, виходячи з умови забезпечення зусилля оброблення поверхонь виробу, необхідного для якісного поверхневого пластичного деформування. Після цього оброблювану втулку 6 із описаним вище технологічним оснащенням розміщують по зовнішній циліндричній поверхні на опорі 9. Опора 9 представляє собою приварений до плити швелера, який встановлюється за допомогою фаски на внутрішній обгумованій поверхні віброконтейнера 4. Закріплення втулки 6 здійснюється прихватом 10 у вигляді привареного до плити швелера та планки 14. Прихват 10 та планка 14 розпираються двома під'ятниками 15. Планка 14 опирається фаскою на внутрішню обгумовану поверхню віброконтейнера 4. Для запобігання пошкодження різи під час вібрацій контейнера і для надійного закріплення технологічного оснащення (рис.2) служать гайки 22 [1,2].

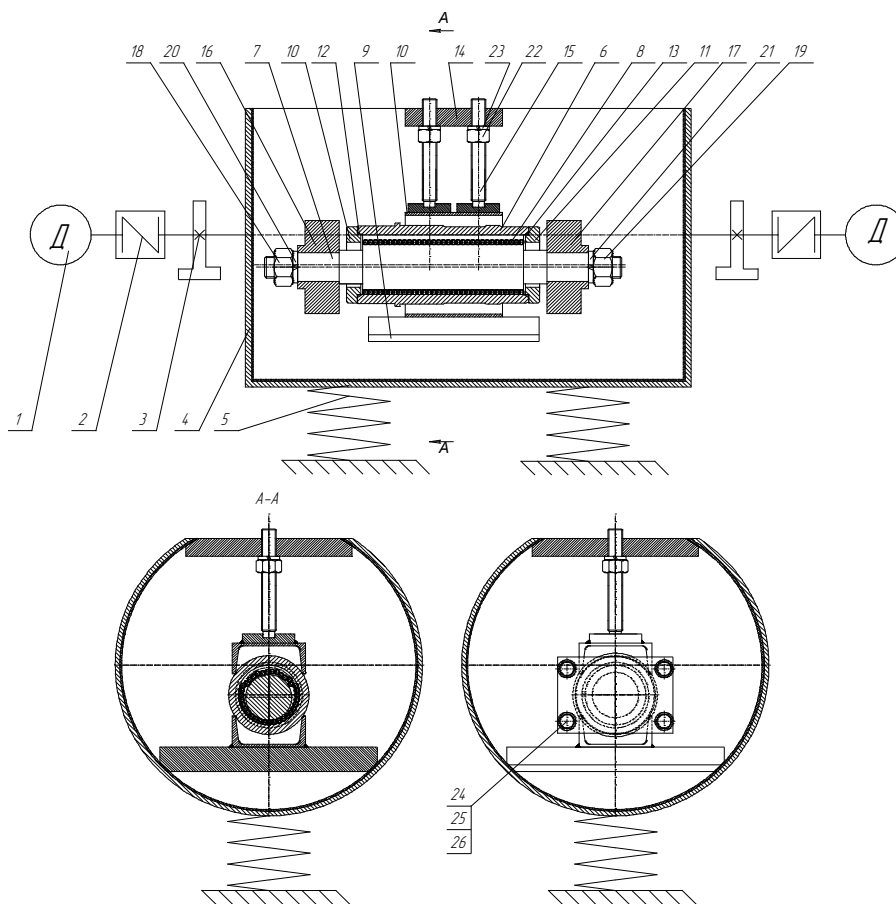


Рис. 3 – Принципова схема технологічного обладнання для вібраційного оброблення

Особливістю роботи зміцнювальних пристроїв дебалансних типів, що реалізують метод вібраційно-відцентрового зміцнення, є використання явища вібраційного підтримання обертання обкатного елемента при наданні гармонічних коливань його осі. У даному випадку відбувається процес перетворення енергії: електрична енергія електродвигунів перетворюється в енергію обертання дебалансів, яка переходить у колісні рухи приводного елемента - оброблюваної деталі. Коливання приводного елемента забезпечують поштовх до необхідного переміщення робочого органу – рух обкочування обкатника. При подачі живлення на обмотки обох двигунів 1 обертний рух через пелюсткові муфти 2 передається дебалансам 3. Обертання дебалансів 3 спричиняє коливання із заданою амплітудою віброконтейнера 4, за рахунок чого вільно встановлений у втулці 6 обкатник 7 самовтягується у режим вібраційного підтримання обертання. Обертання обкатника 7 супроводжується обкочуванням по внутрішній поверхні циліндрової втулки 6. Обкочування обкатника 7 відбувається по вільно розміщених між ним і оброблюваною внутрішньою поверхнею деформівних тілах 8. Протягом малого проміжку часу контактування оброблюваної поверхні циліндрової втулки 6 із обкатником 7 відбувається через незначну кількість деформівних тіл 8, розташованих вздовж твірних оброблюваної поверхні деталі. Контакт

втулки 6 з черговою групою деформівних тіл 8 відбувається з ударом, причому контактуючими через кульки 8 виробами є масивні обкатник 7 і втулка 6. Наявність співударянь обкатника 7 із втулкою 6 при їх локальному контакті через незначну кількість деформівних тіл 8 приводить до розвитку значних контактних напружень у матеріалі оброблюваної деталі в місцях контакту. У результаті оброблюваний матеріал пластично деформується та зміцнюється. Товщину зміцненого шару, ступінь наклепу та рівномірність зміцнення регулюють за допомогою зміни часу оброблення, типорозмірів деформівних тіл, маси обкатника тощо [1,2].

#### Методика реалізації експериментальних досліджень

Оброблення внутрішніх поверхонь циліндрових втулок бурових pomp  $\varnothing 100$  мм складається із попереднього точіння та віброоброблення кульками  $\varnothing 12$  мм і  $\varnothing 10$  мм. Експерименти виконано на машині об'ємного вібраційного оброблення (рис. 3); до проведення віброзміцнення визначено шорсткість поверхні дослідного зразка після токарної обробки. Перед обробленням деформівні тіла були змочені водою для зменшення тертя і покращання умов обкочування. Поза зоною оброблення склали вузол із

оброблюваною деталлю, деформівними тілами і обкатником, після чого закріплювали його на установці.

Основними технологічними параметрами вібраційної обробки є: - діаметр обкатника  $d_{обк.}$ ; - діаметр деформівних тіл  $d_{д.т.}$ ; - осьовий проміжок між торцем обкатника і кришками, які закривають робочий об'єм  $\Delta V_{oc.}$ ; - заповнення робочого об'єму кульками  $\Delta V/V$ , (де  $V$  повний об'єм простору між зовнішньою поверхнею обкатника і внутрішньою поверхнею втулки обмежений кришками з боків а  $\Delta V$  об'єм деформівних тіл між зовнішньою поверхнею обкатника і внутрішньою поверхнею втулки); амплітуда віброобточування  $A=(D_{вт.}-d_{обк.}-2d_{д.т.})/2$ , ( $D_{вт.}$  – внутрішній діаметр оброблюваної втулки); тривалість оброблення  $T$ .

Однією з особливостей вібраційно-відцентрового зміцнення виробів є можливість оброблення виробів з використанням двох діапазонів  $\Delta V/V$ . При реалізації технології зміцнення з  $\Delta V/V=0,30\dots 0,35$  різко зростає частота обертання обкатника, що забезпечує ефективність обробки при відносно незначній кількості деформівних елементів. Використання діапазону  $\Delta V/V=0,8\dots 0,9$  приводить до невеликої частоти обертання обкатника а ефективність обробки забезпечується збільшенням кількості деформівних тіл.

Після обробки деталі технологічне оснащення розбирали та вимірювали параметри шорсткості за допомогою вимірювального комплексу.

**Методика визначення топологічних параметрів якості поверхневого шару матеріалу виробу**

Як свідчать результати теоретичних і експериментальних досліджень [8-11], значний вплив на формування експлуатаційних властивостей виробів (міцності з'єднання, зносостійкості, втомної міцності, опірності корозії) має шорсткість поверхні – сукупність мікронерівностей з відносно малими кроками (рис. 4). Основними характеристиками шорсткості поверхні згідно ISQ 4287 є середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$ , середнє квадратичне відхилення профілю  $R_q$ , висота нерівностей профілю по десяти точках  $R_z$ , висота згладжування  $R_p$ , найбільша висота нерівностей профілю  $R_{max}$ , середній крок нерівностей профілю  $S_m$ , середній крок нерівностей по вершинах  $S$ , радіус кривизни виступу профілю  $r$  тощо (рис. 4).

Розподіл матеріалу в шорсткому шарі твердого тіла характеризує опорна крива профілю поверхні, яку будують в безрозмірних величинах [8].

Вимірювання геометричних параметрів якості поверхні, зокрема шорсткості проводили за допомогою вимірного комплексу, принципова схема якого приведена на рис. 5, а фотографія - на рис. 6.

Опрацювання отриманих профілограм та розрахунки топографічних характеристик мікрогеометрії поверхні виконували за допомогою середовища *Roughness Plot Analyzer* (рис. 7, 8) [1,2].

Оброблення результатів експериментальних досліджень проводили згідно методики [1,2].

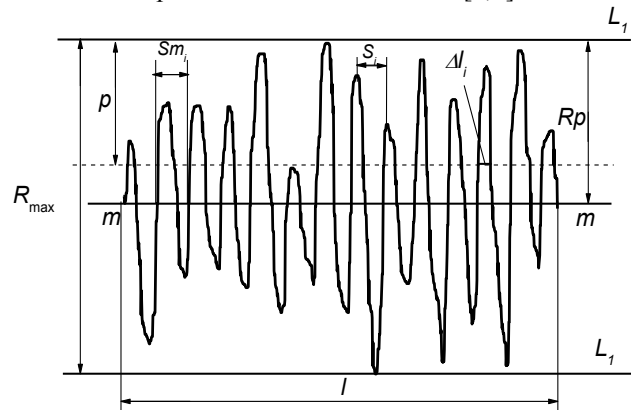


Рис. 4 – Основні характеристики профілю поверхні

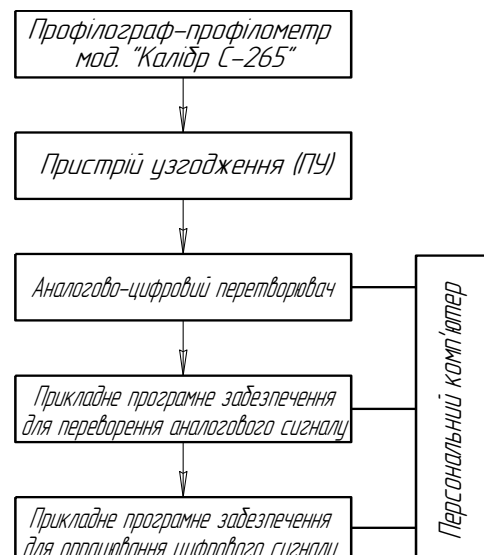


Рис. 5 – Принципова схема вимірного комплексу для проведення експериментальних досліджень



Рис. 6 – Комплекс для вимірювання геометричних параметрів якості поверхні виробів

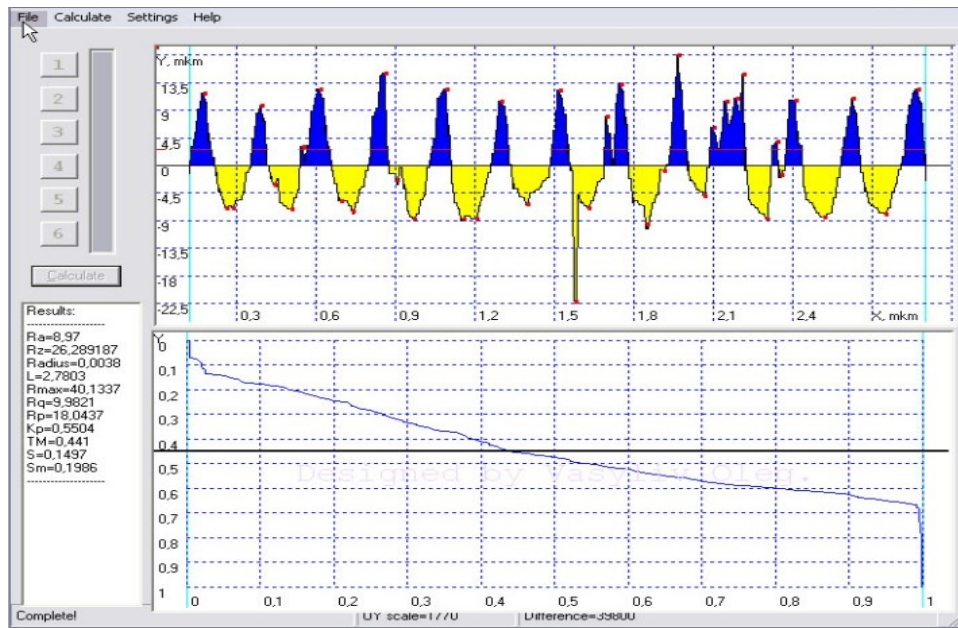


Рис. 7 – Отримані результати розрахунку топографічних характеристик мікрогеометрії відправної поверхні (після точіння) для верхньої твірної

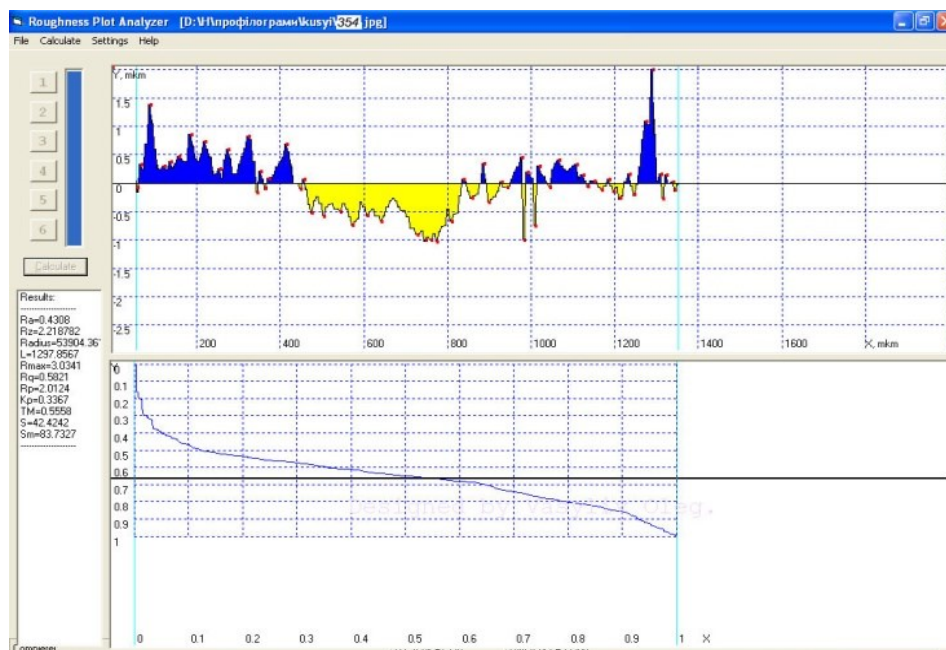


Рис. 8 – Отримані результати розрахунку топографічних характеристик мікрогеометрії відправної поверхні (після вібраційно-відцентрового зміцнення кульками  $\varnothing 10$  мм) для нижньої твірної

### Статистичне опрацювання та обговорення результатів досліджень

Технологічні параметри вібраційно-відцентрового зміцнення приведено у табл. 1. Контроль геометричних параметрів якості віброоброблених втулок бурових pomp здійснювався по верхній і нижній кривій для аналізу ефективності вібраційно-відцентрового зміцнення на викінчувально-зміцнювальних технологічних операціях.

Таблиця 1 – Технологічні параметри вібраційно-відцентрового зміцнення

Маршрут вібро-обробки	$d_{обк.}$ , мм	$d_{д.т.}$ , мм	$\Delta_{ос.}$ , мм	$\Delta V/V$	A, мм	T, хв
обробка кульками $\varnothing 12$ мм	70	12	5,5	0,8	3,0	15,0
обробка кульками $\varnothing 10$ мм	70	10	4,5	0,8	5,0	15,0

Вібраційно-відцентрове зміцнення проводили при  $\Delta V/V=0,8$ . Результати експериментальних досліджень приведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Зміна параметрів рельєфу поверхні у процесі оброблення ВВЗ

Маршрут віброобробки	Параметри рельєфу поверхні, мкм					
	$R_a$	$R_z$	$R_{max}$	$S$	$S_m$	$r$
відправна поверхня						
верхня твірна	8,970	26,2891	40,1337	0,1497	0,1986	0,0038
нижня твірна	9,518	25,4244	28,7805	0,2134	0,2096	0,0016
обробка кульками $\varnothing 12$ мм						
верхня твірна	1,820	6,7246	8,6396	0,1463	0,4768	0,1879
нижня твірна	2,178	7,7495	16,0749	0,1557	0,4827	0,1014
обробка кульками $\varnothing 10$ мм						
верхня твірна	0,243	0,9127	1,6409	34,7376	57,3540	14300,96
нижня твірна	0,431	2,2187	3,0341	42,4242	83,7327	53904,37

Результати експериментальних досліджень показали покращення параметрів якості поверхні після вібраційно-відцентрового зміцнення. Вже після першого оброблення деталі ВВЗ кульками  $\varnothing 12$  мм зменшуються параметри  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  від 1,8 до 4,9 разів. Наступна обробка кульками  $\varnothing 10$  мм забезпечує зменшення  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  поверхні втулки порівняно з попередньою зміцнювальною обробкою у 5,1-7,5 разів, а по відношенню до відправної поверхні у 9,5-36,9 разів. Стосовно крокових параметрів - після першого оброблення деталі ВВЗ кульками  $\varnothing 12$  мм крок нерівностей по вершинах  $S$  зменшується в 1,02-1,4 рази, а середній крок нерівностей профілю  $S_m$  збільшується 2,3-2,4 рази. Однак після оброблення кульками  $\varnothing 10$  мм крокові параметри суттєво підвищуються: крок нерівностей по вершинах  $S$  – у 198,8-232,1 разів а середній крок нерівностей профілю  $S_m$  – у 288,8-399,5 разів порівняно із аналогічними параметрами для відправної поверхні. Крім цього слід відмітити збільшення радіусу кривизни виступу профілю  $r$  - з 0,0016-0,0038 мкм для поверхні після токарного оброблення до 0,1014-0,1879 для поверхні після оброблення кульками  $\varnothing 12$  мм та 14301-53904 мкм – після оброблення кульками  $\varnothing 10$  мм. Збільшення радіусу кривизни сприяє формуванню раціональних «оливних» кишень, що призводить до підвищення тримкої здатності та інших експлуатаційних характеристик оброблених втулок.

## Висновки та перспектива подальших досліджень

Формування параметрів якості оброблення виробів, їх експлуатаційних характеристик і показників надійності виробів у значній мірі здійснюється на фінішних і викінчувально-зміцнювальних операціях технологічних процесів виготовлення деталей машин. Викінчувально-зміцнювальні технологічні операції мають перевагу щодо одночасного підвищення точності та забезпечення необхідних значень геометричних і фізико-механічних параметрів поверхневого шару. Вибір методу викінчувально-зміцнювального оброблення обґрунтовується, окрім забезпечення параметрів якості виробу, також технологічною собівартістю, продуктивністю та універсальністю використовуюваного обладнання. Розроблений у Національному університеті «Львівська політехніка» метод вібраційно-відцентрового зміцнення є ефективним для викінчувально-зміцнювальної обробки внутрішніх поверхонь трубчастих виробів, зокрема циліндрових втулок бурових pomp. Основними технологічними параметрами методу ВВЗ служать діаметр обкатника  $d_{обк}$ , діаметр деформівних тіл  $d_{д.т.}$ , осьовий проміжок між торцем обкатника і кришками  $\Delta_{ос.}$ , заповнення робочого об'єму кульками  $\Delta V/V$ , амплітуда віброобкочування  $A$ , тривалість оброблення  $T$ . Експериментальні дослідження впливу обробки методом вібраційно-відцентрового зміцнення на параметри якості поверхонь втулок показали суттєве покращення параметрів мікрорельєфу профілю зміцнених втулок, зокрема зменшення висотних параметрів мікропрофілю поверхні ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ ) у 9,5-36,9 разів та підвищення крокових параметрів ( $S$ ,  $S_m$ ) у 288,8-399,5 разів порівняно з відправною поверхнею після токарного оброблення. Подальші дослідження у цьому напрямку здійснюватимуться для оптимізації режимів оброблення та розроблення практичних рекомендацій по використанню вібраційно-відцентрових зміцнювачів з дебалансним приводом для покращення експлуатаційних характеристик поверхонь деталей типу «втулка».

## Список літератури

1. Кусий Я. М., Кук А. М. Розроблення методу вібраційно-відцентрового зміцнення для технологічного забезпечення безвідмовності деталей машин. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. Т. 1, № 7 (73). С. 41-51. doi: 10.15587/1729-4061.2015.36336.
2. Kusyj J., Kuk A., Topilnytskyy V. Vibratory-centrifugal strengthening's influence on failure-free parameters of drilling pumps bushings. *Technology audit and production reserves*. 2018. Vol. 1, № 1 (39). P. 4-12. doi: 10.15587/2312-8372.2018.123838.
3. Blumenstein V., Rakhimyanov K., Heifetz M., Kleptsov A. Problem of technological inheritance in machine engineering. *AIP Conference Proceedings*. 2016. V. 1698 (1). P. 2-7.

- Denkena B., Mörke T., Krüger M., Schmidt J., Boujnah H., Meyer J., Gottwald P., Spitschan B., Winkens M. Development and first Applications of Gentelligent Components over their Life-Cycle. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2014. Vol. 7(2). P. 139-150.
- Gubaydulina R. H., Gruby S. V. and Davlatov G. D. Analysis of the Lifecycle of Mechanical Engineering Products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 142 (1), P. 012060.
- Winkens M., Goerke M., Nyhuis P. Use of Life Cycle Data for Condition-Oriented Maintenance. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering*. 2015. V. 9 (4). P. 1178-1181.
- Aftanaziv I. S., Shevchuk L. I., Strutynska L. R., Strogan O. I. Vibrational-centrifugal surface strengthening of drill and casing pipes. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018. Issue 5. P. 88-97.
- Григорьев А. Я. *Физика и микрогеометрия технических поверхностей*. Беларуская наука. Минск, 2016. 247 с.
- Gontarz A. M., Hampl D., Weiss L., Wegener K. Resource Consumption Monitoring in Manufacturing Environments. *Procedia CIRP*. 2014. V. 26(1). P. 264-269.
- Skoog A., Pereva T., Johansson B. Input data management in simulation-industrial practices and future trends. *Simulation Modelling Practices and Theory*. 2012. V. 29. P. 181-192. doi:10.1016/j.simpat.2012.07.009.
- Wang L. *Data representation of machine models. Dynamic thermal analysis of machines in running state*. London: Springer-Verlag. 2014. P. 11-29. doi: 10.1007/978-1-4471-5273-6\_2.
- Kusy J., Kuk A., Topilnytsky V. Vibratory-centrifugal strengthening's influence on failure-free parameters of drilling pumps bushings. *Technology audit and production reserves*, 2018, 1/1 (39), 4-12, doi: 10.15587/2312-8372.2018.123838.
- Blumenstein V., Rakhimyanov K., Heifetz M., Kleptzov A. Problem of technological inheritance in machine engineering. *AIP Conference Proceedings*, 2016, 1698 (1), 2-7.
- Denkena B., Mörke T., Krüger M., Schmidt J., Boujnah H., Meyer J., Gottwald P., Spitschan B., Winkens M. Development and first Applications of Gentelligent Components over their Life-Cycle. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2014, 7(2), 139-150.
- Gubaydulina R. H., Gruby S. V., Davlatov G. D. Analysis of the Lifecycle of Mechanical Engineering. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, 142 (1), 012060.
- Winkens M., Goerke M., Nyhuis P. Use of Life Cycle Data for Condition-Oriented Maintenance. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering*, 2015, 9 (4), 1178-1181.
- Aftanaziv I. S., Shevchuk L. I., Strutynska L. R., Strogan O. I. Vibrational-centrifugal surface strengthening of drill and casing pipes. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2018, 5, 88-97.
- Григорьев А. Я. *Физика и микрогеометрия технических поверхностей* [The technical surfaces physics and microgeometry]. Беларуская наука. Минск, 2016. 247.
- Gontarz A. M., Hampl D., Weiss L., Wegener K. Resource Consumption Monitoring in Manufacturing Environments. *Procedia CIRP*, 2014, 26(1), 264-269.
- Skoogh A., Perera T., Johansson B. Input data management in simulation-industrial practices and future trends. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2012, 29, 181-192, doi:10.1016/j.simpat.2012.07.009.
- Wang L. *Data Representation of Machine Models. Dynamic Thermal Analysis of Machines in Running Stat.* London: Springer-Verlag, 2014. 11-29, doi:10.1007/978-1-4471-5273-6\_2.

#### References (transliterated)

- Kusy J., Kuk A. Rozroblennya metodu vibracijno-vidcentrovogo zmicznennya dlya tehnologichnogo zabezpechennya bezvidmovnosti detalej mashyn [Method devised to improve technological reliability of machine parts]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2015, 1/7(73), 41-51, doi:10.15587/1729-4061.2015.36336.

#### About authors (відомості про авторів)

**Кусий Ярослав Маркіянович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», кафедра технології машинобудування, м. Львів, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5741-486X>; e-mail: [jarkym@ukr.net](mailto:jarkym@ukr.net); [biodarkym@ukr.net](mailto:biodarkym@ukr.net).

**Yaroslav Kusyi** – PhD, Docent, Lviv Polytechnic National University, Docent of Mechanical Engineering Department, Lviv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5741-486X>; e-mail: [jarkym@ukr.net](mailto:jarkym@ukr.net); [biodarkym@ukr.net](mailto:biodarkym@ukr.net).

*Будь-ласка, робіть посилання на цю статтю таким чином*

Кусий Я. М. Дослідження впливу вікінчувальних операцій на формування параметрів якості поверхні втулок бурових помп. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 2 (4). С. - . doi:10.20998/2413-4295.2020.02.02.

*Please cite this article as:*

Kusy Ya. Investigation of the influence of finishing operations on the formation of surface quality parameters of bushings of drilling pumps. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 2 (4), pp. - , doi:10.20998/2413-4295.2020.02.02.



*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

Кусый Я. М. Исследование влияния отделочных операций на формирование параметров качества поверхности втулок буровых насосов. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 2 (4). С. - . doi:10.20998/2413-4295.2020.02.02.

**АННОТАЦИЯ** Разработка оптимального технологического процесса изготовления ответственных деталей машин, в частности цилиндрических втулок буровых насосов деталей газо- и нефтедобывающего оборудования, является самым эффективным при применении системного подхода применительно к исследованию взаимосвязей с технологической средой: станок-приспособление-инструмент-заготовка. Рациональный выбор финишных и отделочно-упрочняющих операций технологических процессов изготовления деталей машин обеспечивает формирование необходимых параметров точности, качества поверхностного слоя и эксплуатационных характеристик. Традиционные технологические методы финишной обработки деталей машин, методы химико-термической обработки и нанесения покрытий являются недостаточно эффективными для обеспечения эксплуатационных характеристик цилиндрических втулок буровых насосов. Вибрационные технологии как группа методов поверхностного пластического деформирования применяются на отделочно-упрочняющих операциях изготовления изделий в различных отраслях промышленности. Цель исследования данной статьи – анализ влияния технологических параметров вибрационного упрочнения, в частности вибрационно-центробежного упрочнения, на формирование параметров качества поверхности цилиндрических втулок буровых насосов НБ32. Выбраны материалы для проведения исследований и приведен эскиз опытного образца. Приведены принципиальная схема вибромашины объемной обработки и технологического оснащения для реализации вибрационной технологии, описано их строение и принцип работы. Приведена методика реализации экспериментальных исследований. Описана методика определения геометрических параметров качества поверхностного слоя материала изделия, приведен комплекс для измерения геометрических параметров качества поверхности изделий. Представлено и проанализировано изменение параметров рельефа поверхности изделий после вибрационно-центробежной обработки. Установлено, что вибрационно-центробежная упрочнения внутренних поверхностей втулок шариками  $\varnothing 10$  и  $\varnothing 12$  мм способствует улучшению параметров микрорельефа их профиля за счет уменьшения высотных параметров микропрофиля поверхности в 9,5-36,9 раз и повышению шаговых параметров в 289-399 раз по сравнению с поверхностью после токарной обработки. Дальнейшие исследования в этом направлении будут касаться оптимизации режимов обработки и разработке практических рекомендаций по использованию вибрационно-центробежных упрочнителей с дебалансным приводом для улучшения эксплуатационных характеристик деталей типа «втулка».

**Ключевые слова:** технологический процесс; цилиндрическая втулка; качество поверхности; отделочно-упрочняющая операция; вибрационные технологии; вибрационно-центробежное упрочнение

Надійшла (received) 02.05.2020