

Я.М. Кусий, В.Г. Топільницький\*  
 Національний університет "Львівська політехніка",  
 кафедра технології машинобудування,  
 \*кафедра електронного машинобудування

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ВІБРОЗМІЩЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

© Кусий Я.М., Топільницький В.Г., 2013

Проаналізовано причини відмов деталей машин, зокрема відповідальних деталей бурового інструменту. Проведено аналіз останніх досліджень і публікацій. Викладено методику досліджень, наведено результати експериментальних досліджень. Проаналізовано отримані результати, намічено шляхи подальших досліджень.

**Ключові слова:** надійність, буровий інструмент, зношування, мікрорельєф, шорсткість, вібраційно-відцентрове зміцнення.

**In this article, the causes of failures of machine parts analyzed. Analysis of recent research and publications held. Research methodology is presented. The experimental results of the study are suggested. The results are analyzed. Ways of further research are suggested.**

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Довговічність бурового інструменту, зокрема шарошкового типу, залежить від своєчасного нагнітання промивної рідини (води, глинистого розчину) буровими помпами (НБ32, НБ50 тощо) у свердловину під час геологорозвідувального та структурно-пошукового буріння на нафту і газ. До найнавантажених частин помпи належать деталі гідравлічної частини: поршні, циліндрові втулки, штоки поршнів і повзунів, клапани і сідла клапанів. Забезпечення безвідмовності та підвищення довговічності відповідальних деталей pomp, зокрема циліндрових втулок, технологічними методами підвищить конкурентоспроможність та ефективність бурового обладнання [1].

Одним із пріоритетних завдань машинобудування промислово розвинених країн є підвищення якості продукції. Якість виробу визначається властивостями поверхневого шару матеріалу, що протидіють зношуванню, втомі, корозії, тепловому впливу під час експлуатації [2].

Найхарактернішим видом пошкодження більшості машин і їх механізмів, зокрема елементів бурових pomp нафтовидобувного обладнання, є зношування, що виникає під час тертя спряжених поверхонь. У процесі зношування відправний (технологічний) мікрорельєф, що залежить від структурно-фазового стану матеріалу, параметрів навантаження, швидкості переміщення поверхонь, середовища тощо, перетворюється в експлуатаційний (рис. 1) [3].

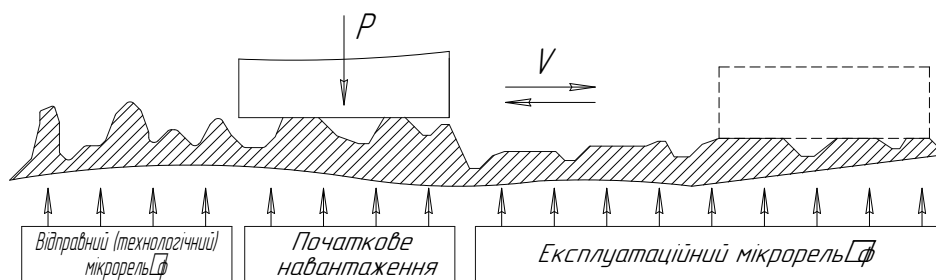


Рис. 1. Схема перетворення технологічного мікрорельєфу в експлуатаційний

Багаточисленними дослідженнями встановлено, що для довготривалої експлуатації виробів і забезпечення якісного виконання ними призначення, необхідно на стадії створення конструкцій технологічний рельєф наближати до експлуатаційного, а на стадії експлуатації своєчасно виявляти або не допускати роботу машини в період катастрофічного зношування.

Вирішення проблеми забезпечення надійності та підвищення довговічності деталей машин, коли вичерпані ресурси матеріалів, з яких вони виготовлені, на нашу думку, може бути здійснене за рахунок комплексного вирішення як з погляду покращення конструктивної будови, так і за рахунок вибору оптимальних технологічних методів оброблення виробів і, що особливо важливо, розроблення конкурентоспроможного технологічного оснащення для їх реалізації [1].

Роль технології у забезпеченні якості деталей машин є визначальною [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На жаль, складні проблеми забезпечення надійності вітчизняної техніки у сфері виробництва вирішуються емпірично, без належного теоретичного обґрунтування математиків, металофізиків, механіків. Тільки у деяких ВНЗ у назвах кафедр і в навчальних програмах інженерних факультетів в обмежених обсягах фігурує термін “надійність”, що може означати одне з двох: усі теоретичні та прикладні проблеми надійності повністю вирішені, або навпаки, – знаходяться лише на початковій стадії вирішення.

Вітчизняні учені вважають, що домінантою розвитку провідних галузей промисловості (машинобудування, автомобілебудування, верстатобудування, сільського господарства тощо) повинно бути підвищення технічного рівня машин і обладнання. На підставі аналізу досліджень машиновипробувальних станцій виявлено, що 95–97 % зразків машин виготовлено з відхиленням від технічних вимог, 80–85 % – не відповідають вимогам безпеки та ергономіки, кожний четвертий зразок має коефіцієнт готовності, нижчий від технічних вимог на виготовлення. Наприклад, питома вага відмов з вини заводів-виробників сільськогосподарської техніки становить 60 %, зокрема тракторів, – 67 %, зернозбиральних комбайнів – 84 %, обладнання тваринницьких ферм – 61 %. Вироблена техніка має низькі показники надійності та ремонтоздатності, потребує проведення великої кількості змащувальних, регулювальних і налагоджувальних робіт. До 60 % відмов машин настають через виробничі дефекти і на їх усунення витрачається від 2 до 30 днів [1].

Як свідчить аналіз літературних джерел, завдання підвищення надійності лежить в основі розробок, пов'язаних із створенням високоякісних машин, устаткування і приладів.

Проблема надійності характерна нерозривним зв'язком із стадіями та етапами життєвого циклу машини.

Під час розроблення конструкції машини на етапі конструкторської підготовки виробництва закладається її надійність шляхом проектування раціональних конструкцій деталей і вузлів, вибором зносостійких матеріалів. На етапі технологічної підготовки виробництва машини втілюється її надійність з розробленням сучасних енергоощадних технологій із пристосованістю до технічного обслуговування та ремонту. Під час виготовлення (виробництва) машини забезпечується її надійність, а під час експлуатації машини реалізується її надійність.

Інженери-практики констатують, що наразі в Україні обмаль надійних конструкцій власного виробництва, а машини провідних світових компаній надзвичайно дорогі. Тому попри усі негаразди треба розширювати та вдосконалювати власне виробництво різноманітних машин, механізмів і деталей, які за ціною були б доступні вітчизняним споживачам, мали б достатній запас надійності та конкурентоспроможності. З іншого боку, застосування теоретичних та практичних основ теорії надійності для підвищення ресурсу широкої номенклатури виробів, зокрема і деталей типу “гільза”, “циліндр” нафтогазовидобувного обладнання, сприятиме проектуванню та впровадженню у виробництво ефективних енергоощадних машин.

**Аналіз критеріїв експлуатаційної надійності виробів.** В умовах ринкових відносин технологічні процеси механічного оброблення деталей та складання машин проектують з мінімальною технологічною собівартістю, що забезпечує досягнення показників якості згідно з технічними вимогами, та максимальною продуктивністю технологічного обладнання. При цьому не рідко ігноруються показники довговічності та безвідмовності, які проявляються лише під час експлуатації машин, хоча саме безвідмовність і довговічність забезпечують бажаний ресурс роботи деталей машин, зокрема нафтовидобувного обладнання [1, 2].

Експериментально встановлено, що для кожних конкретних умов експлуатації потрібна своя раціональна шорсткість [4, 5].

Здатність поверхні сприймати навантаження та об'єм її оливомісних кишень залежать від форми нерівностей. Поверхні загостреної форми контактують із спряженою поверхнею лише по малих площинках, внаслідок чого питомі тиски і, отже, зминання або зношування нерівностей велике (особливо в період припрацювання спряжених деталей). Поверхня з такими самими по висоті, але плоскими нерівностями контактує із спряженою поверхнею по великих площинках, питомий тиск виявляється значно меншим. Зворотна залежність для оливомісткості: вона велика на поверхні із загостреними нерівностями і надзвичайно мала на поверхні з притупленими нерівностями за однакової їх висоти. Розмір і форма нерівностей — взаємопов'язані характеристики поверхні. Тому за покращання експлуатаційних властивостей тієї чи іншої деталі потрібно враховувати обидва ці параметри поверхонь [4].

На сучасному етапі розвитку технології виготовлення відповідальних деталей бурового обладнання, зокрема втулок бурових pomp, отримання оптимального технологічно-експлуатаційного мікрорельєфу, на нашу думку, можливе за допомогою вдосконалення відомих і створення нових технологій, які, органічно поєднуючи в собі високий рівень енергії деформування із значною продуктивністю, спроможні виконувати завдання якісного зміцнення внутрішніх поверхонь циліндричних виробів із забезпеченням бажаних експлуатаційних показників.

Зокрема, розроблений у Національному університеті “Львівська політехніка” метод вібраційно-відцентрового зміцнення (ВВЗ) деталей форми тіл обертання завдяки контактній взаємодії зміцнювального інструмента із оброблюваною поверхнею деталі зараховують до групи методів динамічного зміцнення. Переваги цього методу полягають у забезпеченні високого рівня енергії деформування, високої продуктивності, простоти, надійності, компактності та універсальності зміцнювальних пристроїв, можливості якісного оброблення внутрішніх поверхонь циліндричних деталей. Процес нагартування ВВЗ не змінює геометричної форми деталі і не вимагає спеціального припуску під оброблення. Метод ВВЗ може бути використаний для зміцнення деталей форми тіл обертання, виготовлених як із кольорових металів та сплавів, так і з різноманітних марок сталі, які піддаються деформуванню у холодному стані; при цьому необхідно лише підібрати оптимальні режими зміцнювального оброблення. Особливо ефективно ВВЗ для зміцнення деталей, які піддаються в процесі експлуатації знакозмінним циклічним навантаженням [1, 2].

**Постановка завдання.** Аналіз причин і характеру руйнування деталей машин свідчить, що здебільшого руйнування розпочинається у поверхневому шарі, а опір руйнуванню визначається сукупністю характеристик якості поверхневого шару деталей машин: макрогеометрією (точністю розташування стосовно базових поверхонь), хвилястістю, мікрогеометрією (шорсткістю поверхні), зміцненням, структурою та залишковими напруженнями. На практиці, як правило, аналізують та досліджують основні параметри якості поверхні у взаємозв'язку із експлуатаційними властивостями деталей машин і приладів, які вони визначають. Тому актуальним завданням є дослідження впливу методів фінішного та оздоблювально-викінчувального оброблення на формування

параметрів якості, зокрема геометричних, поверхневого шару під час виготовлення та ремонту деталей машин, наприклад, нафтогазовидобувного обладнання, оскільки вони безпосередньо пов'язані із експлуатаційними характеристиками виробів (зносостійкістю, втомною міцністю, корозійною стійкістю тощо).

**Дослідження мікрорельєфу віброзміцнених втулок бурових pomp.** Експериментальні дослідження стосовно покращення експлуатаційних характеристик втулок бурових pomp проводили на вібромашині об'ємного оброблення, адаптованій для реалізації методу ВВЗ деталей машин форми тіл обертання [1].

Оброблення ВВЗ здійснювали у такій послідовності:

- 1) оброблення деформівними тілами – сталевими загартованими кульками  $\varnothing 10$  мм;
- 2) зміцнення внутрішньої поверхні виробів кульками  $\varnothing 8,5$  мм;
- 3) очищення обробленої поверхні від бруду після попереднього оброблення за допомогою ураліту (“морських камінців”);
- 4) нанесення твёрдосплавного покриття ВК8 для підвищення зносостійкості.

Під час дослідження мікрогеометрії поверхні застосовували контактну-щуповий метод контролю з використанням “голчастого” давача-перетворювача, контактний рух якого по шорсткій поверхні дає інформативний сигнал про її характеристики (форму та величину шорсткості).

Вимірювання геометричних параметрів якості поверхні, зокрема шорсткості, проводили за допомогою вимірної комплексу, що складається з профілографа-профілометра мод. “Калибр С-265”, пристрою узгодження, аналогово-цифрового перетворювача та відповідного прикладного програмного забезпечення.

Для підвищення точності та зменшення трудомісткості розрахунку топографічних характеристик мікрогеометрії поверхневого шару на основі профілограм розроблено комп'ютерну програму Roughness Plot Analyzer, блок-схему якої показано на рис. 2 [6].

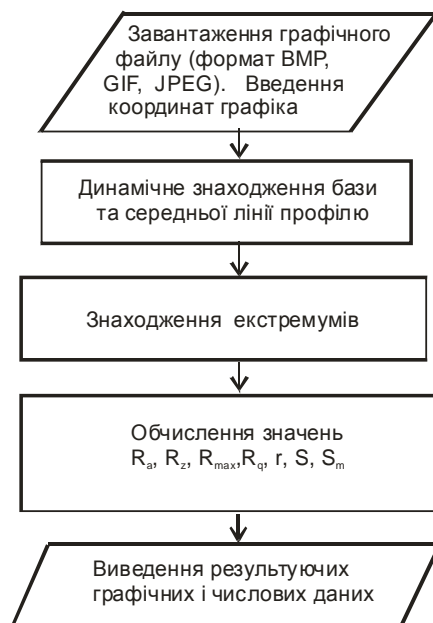


Рис. 2. Блок-схема програми Roughness Plot Analyzer для опрацювання профілограм поверхні твердих тіл

Результати експериментальних досліджень параметрів мікрорельєфу поверхні наведено у таблиці.

### Зміна параметрів рельєфу поверхні у процесі оброблення ВВЗ

Послідовність віброоброблення	Параметри рельєфу поверхні, мкм				
	$R_a$	$R_z$	$R_{max}$	$S$	$S_m$
відправна поверхня	4,0093	12,7439	15,7520	72,2194	79,4332
оброблення кульками $\varnothing$ 10 мм	0,5487	2,1325	3,0464	50,654	288,00
оброблення кульками $\varnothing$ 8,5 мм мм	0,8774	1,1734	6,8524	128,737	358,33
очищення уралітом	1,0470	4,1642	4,9040	45,6760	112,90
нанесення покриття ВК8	0,6915	1,3829	3,1914	29,7087	85,3398

Результати статистичного опрацювання експериментальних досліджень показано на рис. 3, 4.



Рис. 3. Зміна висотних параметрів ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_p$ ,  $R_{max}$ ) після оброблення деталі ВВЗ

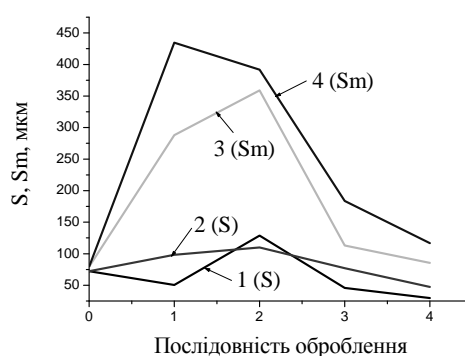


Рис. 4. Зміна крокових параметрів ( $S$ ,  $S_m$ ) після оброблення деталі ВВЗ

**Висновки за результатами досліджень.** На підставі аналізу статистичного опрацювання результатів досліджень можна зробити такі висновки. Оброблення деталі ВВЗ дає змогу зменшити висотні параметри її поверхні ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_p$ ,  $R_{max}$ ) у 3–5,8 рази. Стосовно зміни крокових параметрів, то після нанесення твёрдосплавного покриття середній крок нерівностей по вершинах  $S$  зменшується у

1,5–2,4 раза, а середній крок нерівностей профілю  $S_m$  фактично не змінюється порівняно із відправною поверхнею. Це свідчить про зрізання чи деформування вершин мікроставів рельєфу поверхні у процесі віброзміцнення.

1. Широков В.В., Кусий Я.М., Афтаназів І.С., Боровець В.М., Кук А.М. Розроблення технологічного оснащення для покращення експлуатаційних характеристик деталей нафтогазовидобувного обладнання // Зб. “Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях”: матер. 10-й юбилейной Международ. пром. конф. – 18–22 февраля 2010 г., п. Славское. – К.: УИЦ “Наука. Техника. Технология”, 2010. – С. 243 – 246. 2. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин: учеб. пособ. / И.М. Жарский и др. – Мн.: Высшая школа, 2005. – 299 с. 3. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. – К.: Техніка, 1970. – 396 с. 4. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с. 5. Кусий Я.М., Василів Х.Б., Широков О.В., Литвиняк Я.М., Топільницький В.Г. Вплив вібраційно-відцентрового зміцнення на формування мікрорельєфу втулок бурових помп // Зб. “Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях”: матер. 10-й юбилейной Международ. пром. конф. – 18–22 февраля 2010 г., п. Славское. – К.: УИЦ “Наука. Техника. Технология”, 2010. – С. 246 – 249. 6. Широков В.В., Арендар Л.А., Ковальчик Ю.І., Василів Х.Б., Василів О.М. Комп’ютерний обробіток профілограм фрикційних поверхонь // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2005. – № 1. – С. 93–96.