

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-52-61>

УДК 621.9.025.11

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВІБРАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ

Ніколаєнко А.П., Шумакова Т.О.

RESEARCH OF THE PROCESS OF FORMING SURFACE OF PARTS DURING VIBRATING PROCESSING

Nikolaienko A.P., Shumakova T.O.

У статті представлені результати дослідження впливу вібраційної обробки на верстатах з U-подібною формою контейнера на процес формування поверхневого шару деталей, розглянуті параметри шорсткості поверхні та їх вплив на якість виробів машинобудування. Найбільш важливі експлуатаційні властивості деталей машин, а саме зносостійкість, контактна жорсткість, щільність з'єднань та міцність посадок значною мірою залежать від їх контактної взаємодії: характеру контакту, зближення, фактичної площі контакту та динамічних характеристик стиків поверхонь. На контактну взаємодію впливають геометричні характеристики обробленої поверхні. Для вирішення завдання забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей слід знати залежності, що пов'язують характеристики якості поверхонь, що обробляються, з умовами обробки, причому залежності повинні відображати вплив технологічної спадковості. В статті представлені експериментальні дослідження, метою яких було встановлення залежності між режимами й часом вібраційної обробки та процесом формування поверхневого шару виробів. Для цього було проведено порівняння параметрів шорсткості поверхні зразків зі сталей 20, 40X та У8 після різних методів обробки, а саме: після чорнового, чистового точіння та після вібраційної обробки. Експериментальні дослідження показали покращення якісних параметрів шорсткості поверхні після застосування вібраційної обробки, збільшення опорної площі поверхні зразків, збільшення несучої здатності профілю. Такі зміни сприятливо позначаються на контактній взаємодії, збільшенні адсорбційної здатності, що важливо при підготовці поверхонь під захисні покриття та загальному поліпшенні експлуатаційних характеристик деталей машин. В результаті застосування вібраційної обробки відбувалося значне збільшення середнього радіусу заокруглення виступів в середньому у 18,3 рази, збільшення середнього кроку нерівностей в середньому у 2,24 рази, зростання опорної довжини профілю в середньому у 2,6 рази, що веде до збільшення площі контакту сполучених поверхонь та підвищенню зносостійкості до 15...20 %.

Ключові слова: вібраційна обробка, експлуатаційні властивості, шорсткість поверхні, опорна довжина профілю, радіус заокруглення нерівностей.

Вступ. Сучасний розвиток техніки супроводжується не тільки форсуванням робочих процесів та підвищенням напруженості елементів конструкції, але й одночасним посиленням вимог до якості та надійності при безперервному скороченні часу на розробку та створення нових виробів [1 – 4]. Це істотно ускладнює процес забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей машин, що випускаються.

Вироби машинобудівної промисловості характеризуються конструкторськими та технологічними властивостями. Ці властивості визначають експлуатаційні характеристики виробу, а саме: його якість та надійність. Надійність виробу (вузла, агрегату, системи) обумовлюється його безвідмовністю, ремонтпридатністю, збереженістю, довговічністю та ін. Забезпечення надійності виробів є одним з найважливіших завдань [5 – 8]. Управління конструкторськими рішеннями щодо забезпечення експлуатаційних властивостей є складним завданням, оскільки ці рішення залежать від вимог замовника, від поставлених перед конструктором завдань, проте вплинути на експлуатаційні властивості виробів можливо і потрібно за допомогою вибору технологічних методів їх забезпечення.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень [9 – 14] показують, що на експлуатаційні властивості деталей машин значно впливає якість їх робочих поверхонь. Щоб забезпечити ту чи іншу експлуатаційну властивість деталі або вузла, що виготовляється, необхідно забезпечити необхідні характеристики якості оброблюваних поверхонь.

Постановка проблеми. Для забезпечення надійності виробу крім оснащення процесів його створення сучасним обладнанням, інструментом, пристосуваннями, системами контролю слід розробляти директивні технології з виділенням процесів, що вимагають спеціальних режимів та прийомів обробки, а також досліджувати та усувати негативний спадковий вплив технології шляхом вибору раціональних методів та режимів обробки, пошуку нових методів обробки, у тому числі, застосуванням зміцнюючої обробки. Для вирішення завдання забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей слід знати залежності, що пов'язують характеристики якості поверхонь, що обробляються з умовами обробки, причому залежності повинні відображати вплив технологічної спадковості.

Аналіз досліджень і публікацій. Експлуатаційні показники роботи машин багато в чому залежать від зносостійкості матеріалів, з яких вони виготовлені. Зносостійкість характеризується здатністю поверхневих шарів деталі чинити опір руйнуванню при терті ковзання та кочення, а також при мікропереміщеннях, обумовлених впливом вібрацій [7].

Вишукування матеріалів та методів зміцнення, що забезпечують максимальну зносостійкість деталей та мінімальну інтенсивність зносу, є основним питанням у галузі тертя та зносу [15].

Найбільш важливі експлуатаційні властивості деталей машин (зносостійкість, контактна жорсткість, щільність з'єднань та міцність посадок) значною мірою залежать від їх контактної взаємодії (характери контакту, зближення, фактичної площі контакту та динамічних характеристик стиків поверхонь) [16, 17]. Особливо це стосується машин, що працюють за умов тертя. На контактну взаємодію впливають геометричні характеристики обробленої поверхні [9, 18, 19].

На зносостійкість впливають як висота нерівностей, так і їх напрямок, способи формування поверхневого шару та його фізико-механічні властивості [6, 13, 20 – 22]. Важливою геометричною характеристикою є і напрямок нерівностей після механічної обробки різанням, яка значно і по-різному впливає на зношування при тому самому значенні шорсткості поверхні. Найбільш зносостійкими виявляються поверхні з однаковою мікрогеометрією у всіх напрямках [23, 24]. Такі поверхні одержують при обробці ППД вільними абразивами. Мікрорельєф поверхонь після ППД вільними абразивами являє собою хаотичне розташування мікроступів і мікровадин різної конфігурації. Такі поверхні називають матовими. Утворення матових поверхонь обумовлено короткочасною ударно-ріжучою дією безлічі абразивних частинок, що стикаються з оброблюваною поверхнею. При масовому впливі абразивних зерен всі матеріали мають високорозвинену поверхню з великою питомою площею без будь-яких спрямованих рисок, що надає цій поверхні цінних властивостей [24 – 27]. Одним із методів

обробки ППД є вібраційна обробка деталей у U-подібних контейнерах без закріплення.

При вивченні мікрорельєфу поверхонь значний інтерес представляють якісні характеристики, так як з робіт [9 – 11] відомо, що поверхні з однаковою висотою нерівностей, але отримані різними методами, можуть по-різному чинити опір дії сил, що прагнуть стиснути виступи. Такі поверхні поділяються за величинами їх опорних площ. Однак поверхні можуть мати однакові опорні площі, але їх контактна жорсткість може все-таки відрізнитися. Це пов'язано з різними геометричними характеристиками окремих мікронеровностей (кутами нахилу профілю, радіусами закруглення вершин нерівностей та інших.) та його розташуванням по висоті перерізу. Так, при гостроверхніх нерівностях несуча поверхня мала, при плосковершинних – зростає [28].

Для оцінки несучої здатності шорсткості використовують: криву опорної поверхні t_p , побудовану у відносних координатах, параметри її початкової ділянки ν та b , середні радіуси виступів Q_{cp} , локальних виступів, западин, безрозмірний комплекс Δ [11, 28].

За розташуванням опорних кривих і значенням їх параметрів проводять порівняння несучої здатності шорсткості поверхонь, оброблених різними методами і з різною величиною R_a [28]. Найчастіше, при традиційних методах обробки фактична площа контакту становить незначну частину від номінальної. Основна увага щодо опорних поверхонь має бути звернено на розгляд початкових ділянок опорних кривих [28]. У роботах авторів [28, 29] цю частину кривої є рівнянням

$$t = \varepsilon b^{\nu},$$

де b та ν – параметри, що залежать від виду обробки; ε – відносна відстань від лінії виступів,

$$\varepsilon = \frac{y}{R_{\max}},$$

де y – відстань від лінії виступів до розглянутого рівня.

Значення ν та b при певному методі механічної обробки і класі чистоти дозволяють підрахувати відносну опорну площу при заданому зближенні.

Кожному виду обробки відповідають свої значення ν та b [28]. У межах кожного виду обробки спостерігається цілком певна закономірність: що вищий клас чистоти, то менше значення ν і більше значення b .

Як відомо, втомна міцність – це здатність деталей машин чинити опір руйнуванню протягом певного проміжку часу при дії на них знакомінних навантажень. Численними дослідженнями [6, 9, 29, 31, 32] встановлено, що осередки руйнування деталей машин від втоми металу зароджуються їх по-

верхні. Виходячи з цього, міцність втоми деталей машин значною мірою повинна визначатися шорсткістю їх поверхонь і фізико-механічними характеристиками поверхневого шару [7, 19, 29].

Що менше шорсткість поверхні, то вище втомна міцність деталей [19, 29]. Нерівності, що утворюються на поверхні, є концентраторами напруг і є однією з причин зниження втомної міцності. Напруги на дні рисок у 2...2,5 рази перевищують середню величину напруг поверхневого шару. Причому концентрація напруг залежить не тільки від глибини рисок, а й від їхньої форми. Зниження шорсткості особливо позначається на збільшенні міцності втоми деталей з високоміцних легированих сталей [33].

Якщо для збільшення зносостійкості поверхонь тертя доцільно залишати систему канавок від попередньої обробки для збільшення їх маслоємності, то при роботі деталей на втомну міцність, необхідно проводити їх полірування до повного зникнення слідів попередньої обробки – це очевидне протиріччя [10 – 12, 16]. Зносостійкість, як і міцність втоми, є важливими експлуатаційними характеристиками, якими необхідно забезпечити деталям машин для підвищення їх надійності і збільшення терміну служби, отже необхідно запропонувати метод обробки, який задовольняв би вимогам одночасного забезпечення даних експлуатаційних показників. Для цього необхідно усунути з поверхні спрямовані сліди обробки, але водночас надати їй маслоутримуючу здатність.

Враховуючи специфічні особливості обробки вільними абразивами, що призводять до отримання рівномірної шорсткості поверхні, відсутності температурних дефектів та відсутності розтягуючих залишкових напруг, слід очікувати значного підвищення міцності втоми оброблених деталей.

Контактна жорсткість визначає здатність поверхневих шарів деталей, що у контакті, чинити опір дії сил, які прагнуть їх деформувати. Контактна жорсткість впливає на точність роботи приладів, на точність установки деталей у пристосуваннях, на верстатах, на точність обробки та збирання деталей, тобто якість машинобудівних виробів. Контактна жорсткість значною мірою залежить від якості поверхонь деталей, що сполучаються і, отже, від технології їх виготовлення.

Отже, експлуатаційні показники оброблених поверхонь визначаються фізичним станом поверхневого шару та його мікрорельєфом [1, 7 – 10]. Що стосується аналізу стану поверхонь, після застосування абразивної обробки без жорсткого кінематичного зв'язку оброблюваної деталі зі верстатом та інструментом – робочим середовищем, то вони мають численні переваги в порівнянні з поверхнями, обробленими лезовим інструментом.

До методів абразивної обробки деталей без жорсткого кінематичного зв'язку оброблюваної деталі з робочим середовищем-інструментом та верстатом належить досить поширений спосіб обробки – вібраційна обробка. Перевагами ВіО є простота

технологічного обладнання, низька собівартість, можливість одночасної обробки великої кількості деталей складної просторової форми, ефективність при підвищенні якості поверхневого шару виробів.

Мета досліджень. Метою експериментального дослідження було встановлення залежності між режимами й часом вібраційної обробки та процесом формування поверхневого шару виробів. Для цього було проведено порівняння параметрів шорсткості поверхні після різних методів обробки, а саме: після чорнового, чистового точіння та після вібраційної обробки. В якості зразків використовувались заготовки зі сталі 20, 40X та вуглецевої сталі У8, у кількості 40 од. кожної марки сталі. Зразки були у вигляді роликів із зовнішнім діаметром 50 мм, внутрішнім діаметром 10 мм та товщиною 10 мм.

Поверхні 20 зразків були оброблені чорновим точінням, а поверхні ще 20 зразків – чистовим точінням із параметрами шорсткості, наведеними у табл. 1.

Таблиця 1

Параметри шорсткості поверхні зразків зі сталі У8, сталі 20, сталі 40X після різних способів підготовки до експерименту

Спосіб підготовки зразка	Матеріал зразка	Параметр шорсткості, мкм		
		R_a , мкм	R_p , мкм	R_{max} , мкм
Точіння чорнове	У8	7,69	8,22	45,7
	Сталь 20	7,25	13,25	61,5
	Сталь 40X	3,48	11,45	32,0
Точіння чистове	У8	0,94	3,56	8,4
	Сталь 20	2,06	8,57	26,9
	Сталь 40X	2,61	13	23,5

В ході експерименту група, що складається з 10 зразків після чорнового точіння та 10 зразків після чистового точіння, піддавалася вібраційному шліфуванню на верстаті УВІ-25 протягом 60 хв. Наступна група зразків, що також складається з 10 зразків, оброблених чорновим точінням і 10 зразків, оброблених чистовим точінням, піддавалася вібраційному шліфуванню на верстаті УВІ-25 протягом 120 хвилин.

Після чого зразки піддавалися вібраційному поліруванню на верстаті ВМІ-1003 протягом 30, 60 та 120 хвилин за наступною схемою. Зразки після вібраційного шліфування протягом 60 і 120 хвилин, у кількості по 3 зразки кожного виду полірувалися в робочому середовищі зі сталевих кульок протягом 30 хвилин. Така сама кількість зразків полірувалася протягом 60 і 120 хвилин.

Після обробки з поверхні зразків записували 3...5 профілактограм, які оброблялися в обчислювальному комплексі.

Візуально поверхні зразків відзнялися в алежності від способу отримання. У групи зразків зі сталей 20, 40X і У8, оброблених чорновим точінням,

спостерігалися на поверхні всіх зразків ризики, як сліди від різця.

Після віброшліфування поверхня набула матового відтінку, проте залишилися ризики від попередньої обробки.

Після віброполірування поверхня була повністю матовою.

Зразки тих же марок сталей, оброблених чистовим точінням, мали на поверхні спрямовані сліди інструменту.

Після віброшліфування та віброполірування поверхня мала рівномірний матовий відтінок.

На основі параметрів шорсткості поверхні, отриманих з профілактограм, була оцінена мікрогеометрія поверхневого шару зразків. Для цього на підставі аналізу факторів, що впливають на експлуатаційні властивості виробів, були обрані наступні параметри: середньоарифметичне відхилення профілю, максимальна висота нерівності, максимальна висота виступу, середній крок нерівності, відносна крива опорна профілю t_p на рівні 33 %.

Розглянемо вплив часу та способу фінішної обробки на середнє арифметичне відхилення профілю та максимальну висоту виступу (табл. 2, 3).

Як, видно, з таблиць 2 – 3 відбулося значне зменшення параметрів R_a , R_p на зразках, оброблених чорновим точінням. Це пояснюється тим, що в процесі вібраційної обробки, крім зішліфування під час операції віброшліфування, відбувалося змінання вершин мікронерівностей у процесі віброполірування.

Таблиця 2

Вплив тривалості віброшліфування та віброполірування на параметри шорсткості зразків із сталі У8, сталі 20, сталі 40Х, попередньо оброблених чорновим точінням

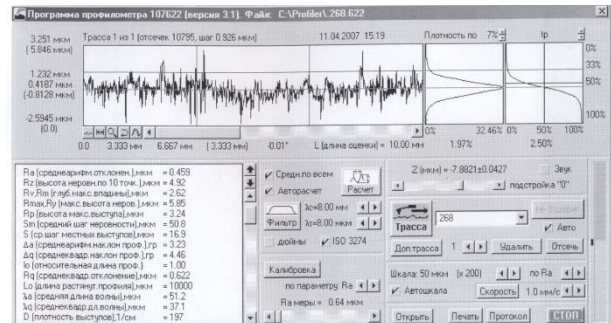
Матеріал зразка	Час віброшліфування, хв	Час віброполірування, хв	Параметри шорсткості, мкм		
			R_a	R_p	R_{max}
Сталь У8	60	30	2,3	6,54	20,45
		60	1,8	5,77	16,87
		120	1,36	3,25	10,75
	120	30	2,15	3,63	18,5
		60	1,11	3,37	15,64
		120	1,02	2,79	9,39
Сталь 20	60	30	4,00	9,6	40,35
		60	2,51	8,47	28,07
		120	2,31	5,09	20,67
	120	30	3,04	9,47	38,00
		60	2,89	7,44	20,05
		120	2,05	4,5	16,8
Сталь 40Х	60	30	2,68	7,93	20,08
		60	1,44	4,7	11,02
		120	1,39	4,37	9,25
	120	30	1,57	5,91	18,09
		60	1,25	4,34	10,52
		120	1,13	3,6	8,43

Також з аналізу профілактограм, отриманих на профілометри-профілографі з інформаційно-обчислювальним комплексом (рис. 1), проводилося порівняння середнього кроку профілю S_m , а також відносної опорної довжини профілю t_p , що є відношенням опорної довжини профілю до базової довжини. Середній крок нерівностей профілю S_m свідчить про збільшення основ окремих нерівностей, а отже, радіусів їх закруглення. Результати вимірювань залежно від способу та часу обробки представлені у табл. 4 – 6.

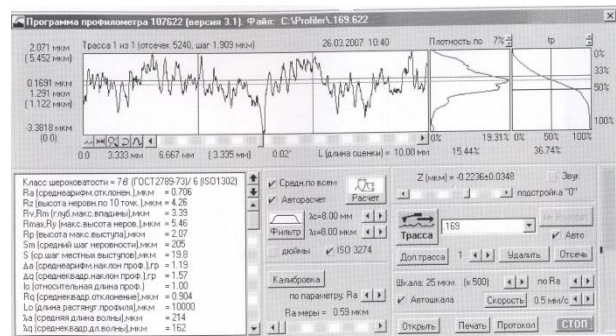
Таблиця 3

Вплив тривалості віброшліфування та віброполірування на параметри шорсткості зразків зі сталі У8, сталі 20, сталі 40Х, попередньо оброблених чистовим точінням

Матеріал зразка	Час віброшліфування, хв	Час віброполірування, хв	Параметри шорсткості, мкм		
			R_a	R_p	R_{max}
У8	60	120	0,8	2,71	6,5
	120		0,6	2,25	5,37
Сталь 20	60	120	1,8	5,83	7,31
	120		1,12	3,30	8,27
Сталь 40Х	60	120	1,18	3,98	7,93
	120		1,11	3,9	7,67



а



б

Рис. 1. Приклад профілограми поверхні зразку зі сталі У8 після різних методів обробки: а – після точіння; б – після вібраційної обробки

Таблиця 4

Параметри шорсткості поверхні зразків зі сталі У8, сталі 20, сталі 40X після різних способів підготовки до експерименту

Спосіб підготовки зразка	Матеріал зразка	Параметр шорсткості, мкм	
		Крок нерівностей, S_m , мкм	Відносна опорна довжина профілю, t_p , мкм
Точіння чорнове	У8	96,2	15,36
	Сталь 20	311	21,79
	Сталь 40X	178,5	38,11
Точіння чистове	У8	50,8	9,48
	Сталь 20	137,5	24,62
	Сталь 40X	130	7,51

Таблиця 5

Вплив тривалості віброшліфування та віброполірування на параметри шорсткості зразків із сталі У8, сталі 20, сталі 40X, попередньо оброблених чорним точінням

Матеріал зразка	Час віброшліфування, хв	Час віброполірування, хв	Параметри шорсткості, мкм	
			S_m	t_p
Сталь У8	60	30	187	27,49
		60	293	34,40
		120	384	57,18
	120	30	266	16,46
		60	271	32,06
		120	281	43,33
Сталь 20	60	30	400	53,68
		60	531,5	58,89
		120	684,5	75,77
	120	30	409	30,93
		60	611	41,75
		120	698	88,48
Сталь 40X	60	30	209,5	37,01
		60	324	45,49
		120	460	68,14
	120	30	265	32,20
		60	292	32,44
		120	314	40,78

За даними порівняльного аналізу видно зростання крокових параметрів шорсткості та відносної опорної кривої профілю залежно від виду та часу віброобробки, що свідчить про позитивний вплив на геометричні показники обробленої поверхні.

Разом з тим, оцінка по опорній довжині профілю не дає достатньо повного уявлення про опорну площу. Тому для повнішої оцінки зміни опорних площ зразків після застосування вібраційної обробки були додатково розраховані наступні показники: параметри початкової ділянки кривої опорної поверхні ν та b , середній радіус ви-

ступів шорсткості Q_{cp} . Визначення середнього радіусу мікронерівностей проводилося за формулою [18]:

$$Q_{cp} = \frac{9Ra^2 Sm^2}{128(Rp - 0,5Ra)^3},$$

Таблиця 6

Вплив тривалості віброшліфування та віброполірування на параметри шорсткості зразків із сталі У8, сталі 20, сталі 40X, попередньо оброблених чистовим точінням

Матеріал зразка	Час віброшліфування, хв	Час віброполірування, хв	Параметри шорсткості, мкм	
			S_m	t_p
У8	60	120	230	21,3
	120		244	36,74
Сталь 20	60	120	292,5	31,72
	120		308	41,41
Сталь 40X	60	120	291	19,59
	120		316,5	27,35

Що стосується параметра опорної кривої ν , то експериментальні дослідження підтвердили висновки, зроблені авторами [18, 28] про те, що зі зменшенням шорсткості та збільшенням опорної площі зменшується даний показник. А саме: для зразків із сталі У8 після попередньої обробки значення становило 1,4...1,9, а після вібраційної обробки знаходилося в межах 0,6...0,8.

Параметр ν для зразків із сталі 20 до вібраційної обробки приймав середнє значення 1,5, а після вібраційного шліфування та полірування змінився до 0,9.

Аналогічно спостерігалось зміна ν і для зразків зі сталі 40X з 1,7 ... 1,4 після попередньої обробки до 0,4 ... 0,9 після вібраційної залежно від часу обробки.

Середній радіус виступів шорсткості Q_{cp} є однією з найважливіших характеристик при розрахунку контактної жорсткості, яка визначає здатність поверхневих шарів деталей, що знаходяться в контактї, чинити опір дії сил, які прагнуть їх деформувати [20]. Контактна жорсткість впливає на точність роботи приладів, на точність установки деталей у пристосуваннях, на верстатах, на точність обробки та збирання деталей, тобто якість машинобудівних виробів. Значення контактної жорсткості важливо і при виготовленні відповідальних деталей з мікронною точністю, а також при визначенні фактичної площі торкання, знання якої необхідно для ро-

зрахунку сил тертя, оцінки впливу способу обробки поверхонь на зношування деталей, підбору зносостійких пар тертя, розрахунку міцності сполучень з нерухомими посадками, розрахунку густини з'єднань.

Математична обробка результатів досліджень [20] з використанням множинного кореляційного аналізу показує, що між параметрами контактної жорсткості і характеристиками якості поверхонь, що сполучаються, є тісний зв'язок. Контактна жорсткість переважно визначається значенням поверхневої мікротвердості і геометричними характеристиками – R_a , R_z , радіусами закруглення вершин нерівностей, параметрами хвилястості.

Контактна жорсткість також залежить від середнього кроку нерівностей S_m , шорсткості R_a та відносної опорної довжини профілю. Результати обчислень радіусів кривизни вершин нерівностей представлені таблицях 7 – 9.

У зразків зі сталі У8 після чорнового точіння і подальшої вібраційної обробки протягом двох годин серед АН-2 і двох годин полірування у середовищі сталевих кульок спостерігалось зниження шорсткості поверхні R_a на 87 %, максимальної висоти нерівностей профілю R_{max} – на 80 %. У зразків після чистового точіння та подальшої вібраційної обробки протягом 4 годин параметр R_a знизився на 20%, а R_{max} на 36%. Відбувалося зниження висоти максимального виступу R_p в 2,9 рази для зразків після попереднього чорнового точіння, що пройшли операції вібраційного шліфування та полірування, та в 1,58 рази для зразків після попереднього чистового точіння. Середній крок нерівностей S_m для зразків після чистового та чорнового точіння та подальшої вібраційної обробки збільшився відповідно у 4,8 та у 2,93 рази. Відбувалося збільшення відносної опорної довжини профілю t_p для зразків після чистового та чорнового точіння та подальшої вібраційної обробки відповідно у 3,87 та у 2,63 рази.

Таблиця 7

Параметри шорсткості поверхні зразків після різних способів підготовки до експерименту

Спосіб підготовки	Матеріал зразка	Середній радіус мікронерівностей Q_{cp} , мкм
Точіння чорнове	У8	34,85
	Сталь 20	248,923
	Сталь 40Х	32,044
Точіння чистове	У8	30,74
	Сталь 20	13,366
	Сталь 40Х	7,71

Таблиця 8

Вплив тривалості віброшліфування та віброполірування на параметри шорсткості зразків зі сталі У8, сталі 20, сталі 40Х, попередньо оброблених чорним точінням

Матеріал зразка	Час віброшліфування, хв	Час віброполірування, хв	Середній радіус мікронерівностей Q_{cp} , мкм
Сталь У8	60	30	196,661
		60	264,990
		120	440,987
	120	30	183,258
		60	483,888
		120	789,475
Сталь 20	60	30	705,900
		60	1099,046
		120	1029,535
	120	30	279,476
		60	1060,453
		120	1432,773
Сталь 40Х	60	30	37,743
		60	217,281
		120	248,001
	120	30	123,193
		60	328,156
		120	332,724

Таблиця 9

Вплив тривалості віброшліфування та віброполірування на параметри шорсткості зразків зі сталі У8, сталі 20, сталі 40Х, попередньо оброблених чистим точінням

Матеріал зразка	Час віброшліфування, хв	Час віброполірування, хв	Середній радіус мікронерівностей Q_{cp} , мкм
У8	60	120	168,221
	120		428,919
Сталь 20	60	120	184,08
	120		249,278
Сталь 40Х	60	120	222,696
	120		296,220

Спостерігалось значне збільшення середнього радіусу заокруглення виступів шорсткості, а саме для групи зразків після чорнового точіння та вібраційної обробки цей показник збільшується у 22,65 рази, у групи зразків після чистового точіння – у 13,92 рази після застосування операцій вібраційного шліфування та полірування. У зразків зі сталі 20 після чорнового точіння, і наступної вібраційної обробки протягом двох годин серед АН-2 і двох годин полірування серед сталевих кульок спостерігалось зниження шорсткості поверхні R_a в

3,5 разу, максимальної висоти нерівностей профілю R_{\max} – на 73 %. У зразків після чистового точіння та подальшої вібраційної обробки протягом 4 годин параметр R_a знизився в 1,8 разів, а R_{\max} – на 70 %. Відбувалося зниження висоти максимального виступу R_p для зразків після чорнового та чистового точіння, що пройшли операції вібраційного шліфування та полірування, відповідно у 2,89 та у 2,59 рази.

Середній крок нерівностей S_m для зразків після чистового та чорнового точіння, і подальшої вібраційної обробки збільшився відповідно у 2,24 та у 2,24 рази. Відбувалося збільшення відносної опорної довжини профілю t_p для зразків після чорнового і чистового точіння після подальшої вібраційної обробки відповідно у 4,06 та у 1,68 рази.

Також спостерігається значне збільшення радіусу скруглення виступів шорсткості поверхні, а саме для групи зразків після чорнового точіння та вібраційної обробки – у 5,76 разів, а для групи зразків після чистового точіння та вібраційної обробки – у 18,65 разів.

У зразків із сталі 40X після чорнового точіння та подальшої вібраційної обробки протягом двох годин у середовищі АН-2 та двох годин полірування у середовищі сталевих кульок спостерігалось зниження шорсткості поверхні R_a у 3,52 рази, найбільшої висоти нерівностей профілю R_{\max} – на 74 %. У зразків після чистового точіння та подальшої вібраційної обробки протягом 4 годин параметр R_a знизився в 2,35 разів, а R_{\max} – на 67 %.

Відбувалося зниження висоти максимального виступу R_p для зразків після чорнового та чистового точіння, що пройшли операції вібраційного шліфування та полірування відповідно у 3,18 та у 2,43 рази.

Середній крок нерівностей S_m для зразків після чистового та чорнового точіння після вібраційної обробки збільшився відповідно у 2,43 рази та у 2,57 рази. Відбувалося збільшення відносної опорної довжини профілю t_p для зразків після чорнового і чистового точіння після подальшої вібраційної обробки відповідно в 364 і в 178 рази. Спостерігалось значне збільшення радіусу заокруглення виступів шорсткості поверхні, а саме для групи зразків після попереднього чорнового точіння – у 10,38 рази, а для групи зразків після попереднього чистового точіння – у 38,42 рази. Проведені експериментальні дослідження свідчать про зменшення параметра опорної кривої ν після вібраційної обробки, що свідчить про збільшення опорної площі поверхні зразків, що пройшли вібраційне шліфуван-

ня та полірування. Також це свідчить про збільшення радіусу заокруглення вершин нерівностей біля поверхонь після вібраційної обробки.

Висновки.

1. Вібраційна обробка забезпечує суттєве зниження шорсткості поверхні залежно від часу обробки та незалежно від початкового стану обробленої поверхні, не менш ніж на 2 класи, без зміни верстату, його амплітудно-частотних характеристик та робочого середовища.

2. При вібраційній обробці відбувається змінання вершин шорсткості, зростає опорна довжина профілю на рівні 10 ... 40 % в середньому в 2,6 рази, збільшуються радіуси вершин виступів в середньому в 18,3 рази, що веде до збільшення площі контакту сполучених поверхонь та підвищенню зносостійкості до 15...20 %.

3. Позитивна зміна якісних параметрів шорсткості поверхні після застосування вібраційної обробки свідчить про створення нового мікрорельєфу поверхні деталі, який характеризується збільшенням несучої здатності профілю, що сприятливо позначається на контактній взаємодії, збільшенням адсорбційної здатності, що важливо при підготовці деталей під захисні покриття та загальним поліпшенням експлуатаційних характеристик.

Література

1. Krol O.S., Osipov V.I. Modeling of construction spindle's node machining centre SVM1F4/Commission of Motorization and Power Industry of Agriculture. OL PAN, 2013, Vol.13, is.3, Lublin, Poland. P. 108–113
2. Krol O., Juravlev V. Modeling of spindle for turret of the specialized tool type SF16MF3 // *TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture*. OL PAN, 2013, Vol.13, № 4, Lublin, Poland. P. 141–147.
3. Krol O., Sukhorutchenko I. 3D-modeling and optimization spindle's node machining centre SVM1F4 // *TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture*. Vol.13. № 3. 2013. Lublin, Poland. P. 114–119.
4. Ніколаєнко А.П. Методи підвищення експлуатаційних властивостей виробів / А.П. Ніколаєнко, Ю.Ю. Дегтярьова, М.О. Калмиков, Л.М. Лубенська // *Машинознавство*. 2007. Вип. №4. С.33 – 43.
5. Krol O., Sokolov V., Tsankov P. Modeling of vertical spindle head for machining center. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, No. 1553. 012012. – VSPID-2019. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1553/1/012012>
6. Кроль О.С., Кроль А.А., Бурлаков Е.И. Твердотельное моделирование и исследование шпиндельного узла обрабатывающего центра. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХПІ», 2013. № 16 (989). С. 14–18.
7. Кроль О.С. Параметрическое моделирование металлорежущих станков и инструментов. Монография. Луганськ: ЧУУ ім. В. Даля, 2012. 116 с.
8. Sokolov, V.: Transfer functions for shearing stress in non-stationary fluid friction. In: Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019).

- ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 1, pp. 707-715. Springer, Cham (2020).
9. Sokolov, V.: Hydrodynamics of Flow in a Flat Slot with Boundary Change of Viscosity. In: Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 2, pp. 1172-1181. Springer, Cham (2021).
 10. Nikolaienko A.P. Increasing of details surface quality by vibrating processing. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*, вип. 2 (226), с. 60 – 69, 2016.
 11. Міцик А.В. Розвиток процесів обробки вільним абразивним середовищем в коливних резервуарах і формування їх фізико-технологічних можливостей. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*, вип. 4 (260), с. 55 – 65, (2020). DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-260-4-55-65>
 12. Суслов А.Г. Технология машиностроения: учебник. — М.: КНОРУС, 2013. — 336 с.
 13. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора вентилятора. Часть I / Богуслаев В.А., Муравченко Ф.И., Жеманюк П.Д. и др. Запорожье: ООО «Мотор Сич», 2003. 396 с.
 14. Mitsyk A.V., Fedorovich V.A., Grabchenko A.I. Interaction of the abrasive medium with the treated surface and the process of metal removal during vibration treatment in the presence of a chemically active solution. *Cutting & Tools in Technological System*. Kharkiv, NTU "KhPI", 2021. № 94. С. 42 – 48. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2021.94.05>
 15. Технологические возможности вибрационной обработки деталей на станках с U-образной формой контейнера / И.В. Волков, Ю.Ю. Дегтярева, М.А. Калмыков, А.П. Николаенко // *Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства ім. П. Василенко «Технологічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні»*. 2006. Вип. 42. С. 167 – 173.
 16. Барандич К.С. Технологічне забезпечення циклічної довговічності деталей при їх токарному обробленні: автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Барандич Катерина Сергіївна; МОН України, Нац. техн. ун-т України "КПІ імені І. Сікорського". Київ, 2018. 22 с.
 17. Качество машин: справочник в 2 т. / Под ред. Сусл. А.Г. М.: Машиностроение, 1995. Т.2. / А.Г. Суслов, Ю.В. Гуляев, А.М. Дальский и др. 1995. 430 с.
 18. Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин / Рыжов Э.В. М."Машиностроение", 1966. 193 с.
 19. Бабичев А.П. Физико-технологические основы методов обработки: учебное пособие для вузов / Бабичев А.П. Ростов н/Д: «Феникс», 2006. 410 с.
 20. Харламов Ю.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин / Харламов Ю.А., Будагьянц Н.А. Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2003. 496 с.
 21. Mitsyk A.V., Fedorovich V.A., Grabchenko A.I. Main technological factors determining the efficiency and quality of the vibration process. *Cutting & Tools in Technological System*. Kharkiv, NTU "KhPI", 2022. № 96. С. 131 – 137. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2022.96.14>
 22. Дахнюк О.П. Технологічне забезпечення зносостійкості робочих поверхонь спряжених деталей машин на операціях механічного оброблення: автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Дахнюк Олександр Петрович; МОН України, Луцький нац. техн. ун-т. Луцьк, 2017. 21 с.
 23. Проволоцкий А.Е. Формирование развитых микрорельефов поверхностей / А.Е. Проволоцкий, С.П. Лапшин, С.Л. Негруб, В.М. Ласкин // *Резание и инструмент в технологических системах*. 2004. Вып.66. С. 153 – 162.
 24. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / Бабичев А.П. – Ростов н/Д: ДГТУ, 1999. 624 с.
 25. Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, И.А. Бабичев и др. Ростов н/Д: ДГТУ, 2003. 192 с.
 26. Подольский М.А. Оценка эффективности упрочнения деталей динамическими методами ППД на основе энергетического критерия: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Подольский Максим Александрович. Ростов н/Д, 2005. 146 с.
 27. Mamalis, A.G., Grabchenko, A.I., Mitsyk, A.V., Fedorovich, V.A., Kundrák, J. Mathematical simulation of motion of working medium at finishing – grinding treatment in the oscillating reservoir. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 70, p. 263 – 276 (2014). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5257-6>
 28. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений / Суслов А.Г., Федоров В.П., Горленко О.А. и др. М.: Машиностроение, 2006. 448 с.
 29. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Рыжов Э.В. Киев: Наук. думка, 1984. 271 с.
 30. Mamalis A.G., Mitsyk A.V., Fedorovich V.A. Kundrák J. Development of modular machine design and technologies of dynamic action for finishing-grinding treatment by an oscillating abrasive medium. *Journal of Machining and Forming Technologies*, Vol. 7 (1-2), p. 1 – 10, (2015).
 31. Харламов Ю.А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела: учебное пособие / Харламов Ю.А., Будагьянц Н.А. Луганск: ВУГУ, 2000. 624 с.
 32. Опальчук А.С. Теоретичні та технологічні основи підвищення контактної втомлювальної міцності сталей / А.С. Опальчук // *Вібрації в техніці та технологіях*. 2004. №3. С. 31 – 34.
 33. Копылов Ю.Р. Виброударное упрочнение / Ю.Р. Копылов. – Воронеж: ВИМВД, 1999. 384 с.

References

1. Krol O.S., Osipov V.I. Modeling of construction spindle's node machining centre SVM1F4/Commission of Motorization and Power Industry of Agriculture. OL PAN, 2013, Vol.13, is.3, Lublin, Poland. P. 108–113
2. Krol O., Juravlev V. Modeling of spindle for turret of the specialized tool type SF16MF3 // *TEKA Com. Mot. and Energ. in Agriculture*. OL PAN, 2013, Vol.13, № 4, Lublin, Poland. P. 141–147.
3. Krol O., Sukhorutchenko I. 3D-modeling and optimization spindle's node machining centre SVM1F4 // *TEKA Com. Mot. and Energetic in Agriculture*. Vol.13. № 3. 2013. – Lublin, Poland. P. 114–119.
4. Nikolaienko A.P. Metody pidvyshchennya ekspluatatsiynykh vlastyvostey vyrobiv/A.P. Nikolaienko, Yu.Yu. Dehtyar'ova, M.O. Kalmikov, L.M. Lubens'ka // *Mashynoznavstvo*. 2007. Vip. №4. S.33 – 43.
5. Krol O., Sokolov V., Tsankov P. Modeling of vertical spindle head for machining center. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, No. 1553. 012012. VSPID-2019. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1553/1/012012>

6. Krol O.S., Krol A.A., Burlakov E.I. Tverdotelnoe modelirovanie i issledovanie shpindel'nogo uzla obrabatyvayushego tsentra. *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu «HPI»*. Seriya: Novi rishennya v suchasniyeh tekhnologiyah. Harkiv: NTU «HPI», 2013. # 16(989). S. 14–18.
7. Krol O.S. Parametricheskoe modelirovanie metalorezhuschih stankov i instrumentov. Monografiya. Lugansk: SNU im. V. Dalya, 2012. 116 s.
8. Sokolov, V.: Transfer functions for shearing stress in non-stationary fluid friction. In: Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 1, pp. 707-715. Springer, Cham (2020).
9. Sokolov, V.: Hydrodynamics of Flow in a Flat Slot with Boundary Change of Viscosity. In: Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 2, pp. 1172-1181. Springer, Cham (2021).
10. Nikolaienko A.P. Increasing of details surface quality by vibrating processing. *Visnyk Shidnoukrai'ns'kogo natsional'nogo universytetu imeni Volodymyra Dalja*, vyp. 2 (226), s. 60 – 69, 2016.
11. Mitsyk A.V. Rozvytok procesiv obrobky vil'nym abrazyvnym seredovysshem v kolyvnyh rezervuarah i formuvannja i'h fizyko-tehnologichnyh mozhlyvostej. *Visnyk Shidnoukrai'ns'kogo natsional'nogo universytetu imeni Volodymyra Dalja*, vyp. 4 (260), c. 55 – 65, (2020). DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-260-4-55-65>
12. Suslov A.H. Tekhnologiya mashynobuduvannya: pidruchnyk - M.: KNORUS, 2013. – 336 s.
13. Tekhnologichne zabezpechennya ekspluatatsiynykh kharakterystyk detaley VMD. Lopatky kompresora ventyl'yatora. Chastyna I / Bohuslayev V.A., Muravchenko F.I., Zhemanyuk P.D. ta in. - Zaporizhzhya: TOV «Motor Sich», 2003. – 396 s.
14. Mitsyk A.V., Fedorovich V.A., Grabchenko A.I. Interaction of the abrasive medium with the treated surface and the process of metal removal during vibration treatment in the presence of a chemically active solution. *Cutting & Tools in Technological System*. Kharkiv, NTU "KhPI", 2021. № 94. C. 42 – 48. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2021.94.05>
15. Tekhnologichni mozhlyvosti vibratsiynoyi obrobky detaley na verstatakh iz U-podibnoyu formoyu konteynera / I.V. Volkov, Yu.Yu. Dehtyar'ova, M.A. Kalmykov, A.P. Nikolayenko // *Visnyk Kharkivs'koho natsional'nogo tekhnichnogo universytetu sil's'koho hospodarstva im. P. Vasylenko "Tekhnologichnyy servis APK, tekhnika ta tekhnologiyi v sil's'kohospodars'komu mashynobuduvanni"*. - 2006. - Vip. 42. - S. 167 - 173.
16. Barandych K.S. Tekhnologichne zabezpechennya tsyklichnoyi dovhovichnosti detaley pry yikh tokarniy obrobtsi: avtoref. dys. na zdob. nauk. stupenya kand. tekhn. nauk / Barandych Kateryna Serhiyivna; MON Ukrainy, Nats. tekhn. un-t Ukrainy "KPI imeni I. Sikors'koho". – Kyiv, 2018. – 22 s.
17. Yakist' mashyn: dovidnyk u 2 t. / [Pid red. Suslov A.H.]. M.: Mashynobuduvannya, 1995. T.2. / A.H. Suslov, Yu.V. Hulyayev, A.M. Dal's'kyy ta in. – 1995. – 430 s.
18. Ryzhov E.V. Kontaktna zhorstkist' detaley mashyn/Ryzhov E.V. M. "Mashynobuduvannya", 1966. 193 s.
19. Babichov A.P. Fizyko-tehnologichni osnovy metodiv obrobky: navchal'nyy posibnyk dlya vuziv / Babichov O.P. - Rostov n / D: "Feniks", 2006. – 410 s.
20. Kharlamov Yu.A. Osnovy tekhnologiyi vidnovlennya ta zmitsnennya detaley mashyn / Kharlamov Yu.A., Budah'yants N.A. Luhans'k: SNU im. V. Dalya, 2003. 496 s.
21. Mitsyk A.V., Fedorovich V.A., Grabchenko A.I. Main technological factors determining the efficiency and quality of the vibration process. *Cutting & Tools in Technological System*. Kharkiv, NTU "KhPI", 2022. № 96. C. 131 – 137. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-7405.2022.96.14>
22. Dakhnyuk O.P. Tekhnologichne zabezpechennya znosostiynosti robochykh poverkhon' spryazhenykh detaley mashyn na operatsiyakh mekhanichnoho obroblennya: avtoref. dys. na zdob. nauk. stupenya kand. tekhn. nauk / Dakhnyuk Oleksandr Petrovych; MON Ukrainy, Luts'kyy nats. tekhn. un-t. Luts'k, 2017. 21 s.
23. Provolots'kyy A.Ye. Formuvannya rozvynenykh mikrorel'yefiv poverkhon' / A.Ye. Provolots'kyy, S.P. Lapshyn, S.L. Nehrub, V.M. Laskin // Rizannya ta instrument u tekhnologichnykh systemakh. 2004. Vyp. 66. S. 153 - 162.
24. Babichov A.P. Osnovy vibratsiynoyi tekhnologiyi / Babichev A.P. Rostov n / D: DDTU, 1999. – 624 s.
25. Ozdoblyval'no-zmitsnyuyucha obrobka detaley bahatokontaktnym vibroudarnym instrumentom / [A.P. Babychiv, P.D. Motrenko, I.A. Babychev ta in.]. - Rostov n / D: DDTU, 2003. - 192 s.
26. Podil's'kyy M.A. Otsinka efektyvnosti zmitsnennya detaley dynamichnymi metodamy PPD na osnovi enerhetychnoho kryteriyu: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.02.08 / Podil's'kyy Maksym Oleksandrovych. Rostov n / D, 2005. 146 s.
27. Mamalis, A.G., Grabchenko, A.I., Mitsyk, A.V., Fedorovich, V.A., Kundrák, J. Mathematical simulation of motion of working medium at finishing – grinding treatment in the oscillating reservoir. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 70, p. 263 – 276 (2014). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5257-6>
28. Tekhnologichne zabezpechennya ta pidvyschennya ekspluatatsiynykh vlastyvostry detaley mashyn ta yikh z'yednan' / Suslov A.H., Fedorov V.P., Horlenko O.O. ta in M.: Mashynobuduvannya, 2006. 448 s.
29. Ryzhov E.V. Tekhnologichni metody pidvyschennya znosostiynosti detaley mashyn/Ryzhov E.V. Kyiv: Nauk. dumka, 1984, 271 s.
30. Mamalis A.G., Mitsyk A.V., Fedorovich V.A. Kundrák J. Development of modular machine design and technologies of dynamic action for finishing-grinding treatment by an oscillating abrasive medium. *Journal of Machining and Forming Technologies*, Vol. 7 (1-2), p. 1 – 10, (2015).
31. Kharlamov Yu.A. Fizyka, khimiya ta mekhanika poverkhni tverdoho tila: navchal'nyy posibnyk / Kharlamov Yu.A., Budah'yants N.A. Luhans'k: VUHU, 2000. 624 s.
32. Opal'chuk O.S. Teoretychni ta tekhnologichni zasady pidvyschennya kontaktnoyi vtomlyval'noyi mitsnosti staley / O.S. Opal'chuk // *Vibratsiyi u tekhnitsi ta tekhnologiyakh*. - 2004. - №3. - S. 31 - 34.
33. Kopylov Yu.R. Vibroudarne zmitsnennya / Yu.R. Kopyliv. Voronezh: VIMVS, 1999. 384 s.

Nikolaienko A., Shumakova T. Research of the process of forming surface of parts during vibrating processing
The research of vibrating processing in machine-tools with U-shaped container and its influence on the forming of parts surface layer were held and its results are presented in the article. It was considered the parameters of surface roughness and their effect on the quality of the surface layer of

machine parts. The most important performance properties of machine parts (wear resistance, contact stiffness, joint density and landing strength) largely depend on their contact interaction (contact characteristics, convergence, actual contact area and dynamic characteristics of surface joints). To solve the problem of ensuring the required performance properties, it is necessary to know the dependencies that link the quality characteristics of the surfaces being treated with the processing conditions, and the dependencies should reflect the impact of technological heredity. The aim of the experimental researchers was to establish the relationship between the modes and time of vibrating processing and the process of forming the surface layer of machine parts. During the experimental researchers we compared the parameters of surface roughness of samples of steels 20, 40X and U8 after different processing methods, namely: after roughing, finishing and after vibrating processing. An improvement of the qualitative parameters of surface roughness after the application of vibrating processing was shown as the result of experimental researches. The reference surface area and the bearing capacity of the profile of samples were increased. Such changes have a positive effect on the contact interaction, increase the adsorption capacity, which is important in the preparation of surfaces for protective coatings and the overall improvement of the performance of machine parts. As a result of the application of vibrating processing there were a significant increase in the

average radius of curvature by an average of 18.3 times, an increase in the average step of irregularities by an average of 2.24 times, an increase in the reference length of the profile by an average of 2.6 times and increase wear resistance to 15 ... 20 %.

Keywords: vibrating processing; performance properties; surface roughness; reference length of the profile; radius of rounding of irregularities.

Ніколаєнко Анна Павлівна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк)

apnikolaienko@gmail.com

Шумакова Тетяна Олександрівна – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк)

shumakovatania@gmail.com

Стаття подана 12.01.2022.