

5. Максимович, Г. Г. Физико-химические процессы при плазменном напылении и разрушении материалов с покрытиями [Текст] / Г. Г. Максимович, В. О. Шашинский, В. Н. Копылов. — К.: Наукова думка, 1983. — 263 с.
6. Севернёв, М. М. Технология восстановления деталей сельскохозяйственных машин, имеющих форму тел вращения, плазменной наплавкой [Текст]: рекомендации ЦННТМЭСХ / М. М. Севернёв. — Минск, 1979. — 26 с.
7. Электронный каталог ООО «Плазма-мастер» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: http://plazma-master.kiev.ua. — 10.09.2015
8. Киселев, Г. С. Опыт применения плазменных технологий в производстве криогенной техники [Текст] / Г. С. Киселев, В. В. Лихман, Ю. В. Грачев, В. И. Астанин // Сварочное производство. — 2004. — № 12. — С. 34–35.
9. Страхова, Е. А. Физико-математическое моделирование процесса широкопальной наплавки с поперечными колебаниями пазмотрона [Текст] / Е. А. Страхова, В. А. Ерофеев, В. А. Судак // Сварка и диагностика. — 2009. — № 3. — С. 32–38.
10. Щицын, Ю. Д. Возможности плазменной обработки током обратной полярности [Текст] / Ю. Д. Щицын, О. А. Ковалов, В. Ю. Щицын // Сварка и диагностика. — 2009. — № 2. — С. 42–45.
11. Коротеев, А. С. Плазмотроны конструкции, характеристики, расчет [Текст] / А. С. Коротеев, В. М. Миронов, А. С. Свирчук. — М.: Машиностроение, 1993. — 295 с.
12. Куксенова, Л. И. Методы испытания на трение и износ [Текст] / Л. И. Куксенова, В. Г. Лаптева, А. Г. Колмаков, Л. М. Рыбакова. — М.: Интернет инженерии, 2011. — 152 с.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ШНЕКА ПУТЕМ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Для восстановления цилиндрических деталей из коррозионно-стойких сталей предложена наплавка порошковой смесью, которая обеспечивает заданные физико-механические свойства наплавленного слоя. Используются матричное планирование эксперимента и регрессионный анализ опытных данных при

определении геометрических параметров наплаваемого слоя в зависимости от заданных режимов наплавки. Результаты лабораторных исследований подтверждены производственными испытаниями.

Ключевые слова: плазменная наплавка, порошковая смесь, коррозионностойкие стали, постоянный ток обратной полярности.

Прасолов Євген Якович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності, Полтавська державна аграрна академія, Україна, e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Беловол Світлана Анатоліївна, кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра машин та обладнання агропромислового виробництва, Полтавська державна аграрна академія, Україна, e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Багмет Станіслав Олександрович, кафедра безпеки життєдіяльності, Полтавська державна аграрна академія, Україна.
Федій Богдан Сергійович, кафедра безпеки життєдіяльності, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Прасолов Євгеній Яковлевич, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Беловол Светлана Анатольевна, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра машин и оборудования агропромышленного производства, Полтавская государственная аграрная академия, Украина.

Багмет Станислав Александрович, кафедра безопасности жизнедеятельности, Полтавская государственная аграрная академия, Украина.

Федий Богдан Сергеевич, кафедра безопасности жизнедеятельности, Полтавская государственная аграрная академия, Украина.

Prasolov Evgen, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine, e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Bielovol Svitlana, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine, e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Bagmet Stanislav, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine.
Fediy Bohdan, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine

УДК 621.82

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51518

**Чалий В. Д.,
Мороз С. А.,
Пташенчук В. В.**

МОДЕЛЮВАННЯ УТВОРЕННЯ ХВИЛЯСТОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ НА ОПЕРАЦІЯХ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ

В статті досліджено утворення хвилястості робочих поверхонь кілець роликотідшипників, яка спричиняє виникнення шуму та вібрації в підшипникових вузлах машин та механізмів. З метою аналізу складено блок-схему моделі безцентрового врізного шліфування на жорстких опорах та виведено передаточну функцію. Розв'язок характеристичного рівняння системи дозволив виявити вплив хвилястості поверхні, що шліфується та процесу регенерації цієї хвилястості на годограф вектора переміщення центру деталі.

Ключові слова: роликотідшипник, хвилястість, жорсткі опори, годограф.

1. Вступ

При шліфуванні доріжок кочення кілець роликотідшипників необхідно забезпечити швидке зняття припуску та продуктивність обробки [1–3], кінцеву макро- та

мікрогеометричну точність обробленої поверхні [4, 5]. Величина зрізаного шару при шліфуванні пропорційна нормальній силі шліфування [3, 6], а утворення хвилястості деталі викликано відхиленнями величини зрізаного шару або змінами в силі шліфування [7, 8].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В даній роботі запропонована модель, яка враховує миттєві сили, задіяні в безцентровому шліфуванні, включаючи: зміну хвилястості деталі в часі, розповсюдження тимчасових нерівностей, шліфувальну силу та вібрацію верстата (рис. 1).

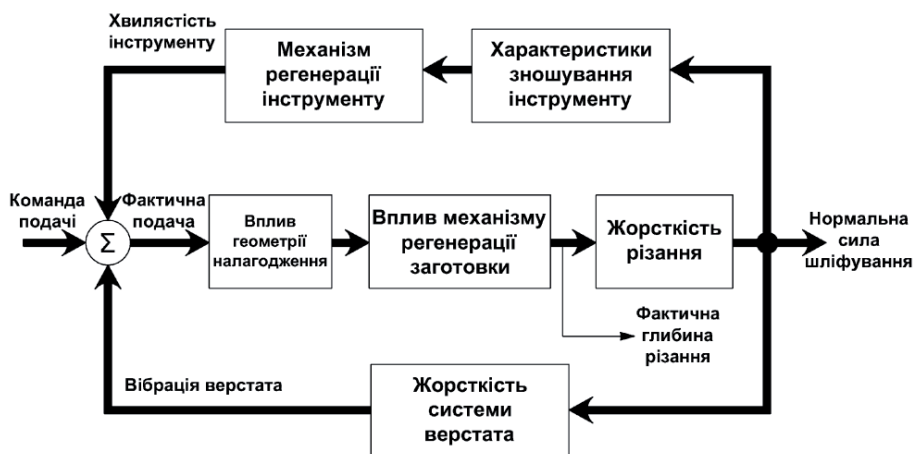


Рис. 1. Блок-схема моделі безцентрового врізного шліфування на жорстких опорах

Тимчасові впливи складових хвилястості в моделі мають досить просте походження [9, 10]. Якщо на деталі присутня одна западина або виступ, то внаслідок цього виникає тимчасова затримка (кутова швидкість деталі на прилягаючий кут φ_1) переміщення виступу від шліфувального круга до передньої опори. Коли виступ зустрічається з передньою опорою, деталь рухається вгору (паралельно задній торцевій опорі) і віддаляється від шліфувального круга (рис. 2).

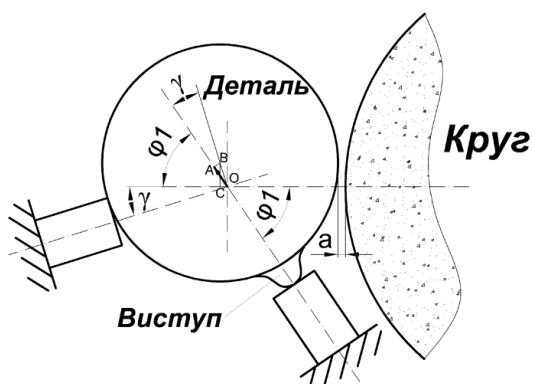


Рис. 2. Схема впливу виступу на глибину шліфування

Прийемо виступ на поверхні деталі рівним умовній одиниці: $OA=1$. Тоді, горизонтальне зміщення центру деталі a через умовну одиницю виступу ϵ рівним:

$$\overline{OC} = a = \frac{\sin(\varphi_2)}{\sin(\varphi_2 - \varphi_1)} \quad (1)$$

Горизонтальне переміщення b схоже за формою на фактор передньої опори a та для умовної одиниці величини виступу становить:

$$b = \frac{\sin(\varphi_1)}{\sin(\varphi_2 - \varphi_1)} \quad (2)$$

Шліфувальна сила залежить від глибини різання; опуклість або виступ призведуть до збільшення шліфувальної сили, в той час як увігнутість або западина викличе пропорційне зменшення в силі. Для аналізу моделі жорсткість різання при шліфуванні для постійних величин зняття припуску, можна прийняти постійною.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — технологічний процес та обладнання безцентрового врізного шліфування внутрішніх кілець роликотідшипників з базуванням на жорстких опорах.

Мета дослідження — встановлення закономірності утворення хвилястості в залежності від геометрії налагодження

жорстких опор на операції безцентрового шліфування. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі задачі:

1. Розробити блок-схему моделі системи безцентрового шліфування в символічній формі та знайти передаточну функцію системи.
2. Розв'язати характеристичне рівняння системи та знайти стійкі та нестійкі розв'язки.
3. Сформувати діаграму, яка покаже загальну картину геометричної нестійкості хвилястості за звичайних умов геометрії налагодження безцентрового шліфування на основі кутів асимптот.

4. Результати досліджень механізму формування хвилястості на поверхні деталі в процесі безцентрового врізного шліфування

У роботі подано спрощену модель системи безцентрового шліфування в символічній формі [11, 12], яка показана у вигляді рівнянь Лапласа, де вхідні змінні керуються інтенсивністю подачі, кутами двох опор (φ_1 та φ_2) й початковою хвилястістю деталі. Стратегія для аналізу в даному дослідженні полягає в розкладанні моделі на секції та аналіз кожної секції окремо із наступним їх об'єднанням, для формування висновків. Запропонована модель використовує оператори Лапласа з метою аналізу безцентрово-шліфувальної системи (рис. 3).

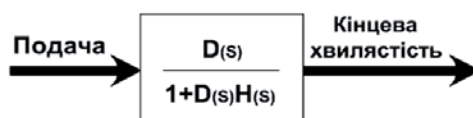


Рис. 3. Блок-схема моделі врізного шліфування на жорстких опорах

Щоб розв'язати характеристичне рівняння системи:

$$1 + D(s) \cdot H(s) = 0, \quad (3)$$

і знайти стійкі та нестійкі розв'язки, для відокремлення впливу геометрії налагодження жорстких опор та характеристик самого верстата, здійснимо математичні перетворення та застосуємо перетворення Лапласа. Отримаємо рівняння:

$$1 - a \cdot e^{-\varphi_1 s} + b \cdot e^{-\varphi_2 s} = 0. \quad (4)$$

Для графічного розв'язку розділимо поліном з рівняння (4) на дійсну та уявну частини:

$$\text{Дій} = 1 - a \cdot e^{-\sigma\varphi_1} \cos(n\varphi_1) + b \cdot e^{-\sigma\varphi_2} \cos(n\varphi_2), \quad (5)$$

$$\text{Уяв} = a \cdot e^{-\sigma\varphi_1} \sin(n\varphi_1) + b \cdot e^{-\sigma\varphi_2} \sin(n\varphi_2). \quad (6)$$

Аналіз стійкості є простішим, коли система знаходиться на межі стійкості, тобто при умові $\sigma = 0$. Таким чином після перетворення рівнянь (5) та (6) маємо:

$$\text{Дій} = 1 - a \cdot \cos(n\varphi_1) + b \cdot \cos(n\varphi_2), \quad (7)$$

$$\text{Уяв} = a \cdot \sin(n\varphi_1) + b \cdot \sin(n\varphi_2). \quad (8)$$

Для будь-якої заданої умови налагодження, кути φ_1 та φ_2 будуть не змінними, тому рівняння (7) та (8) нанесені на комплексній площині, як прості функції частоти n (рис. 4).

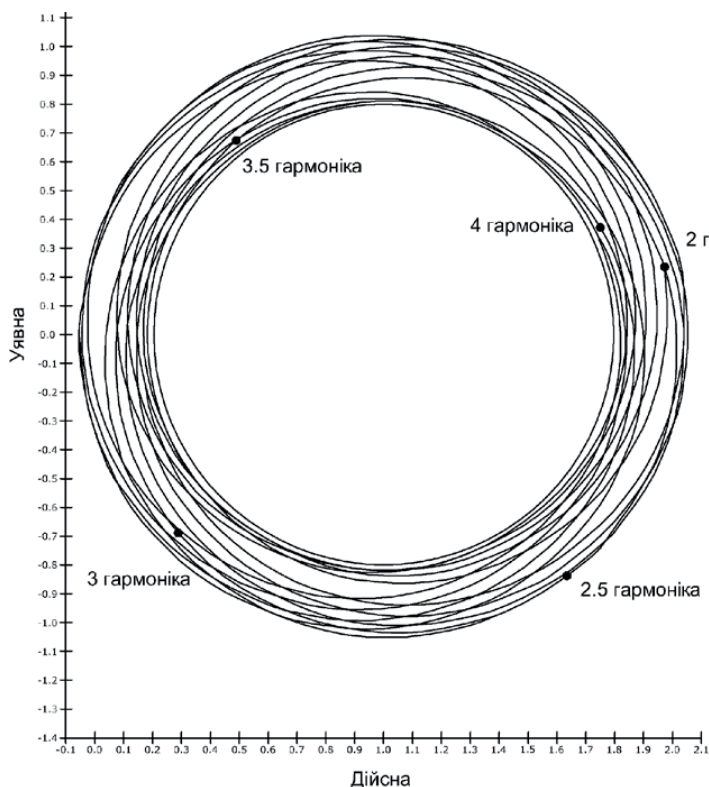


Рис. 4. Годограф переміщення вектора центру деталі для заданої умови налагодження та гармонік від 2 до 4

Оскільки рівняння (3) описує тільки механізм хвилястості, то він повинен бути об'єднаний з механізмом регенерації для змістовного, всебічного аналізу динамічної системи.

Подальші дослідження рівнянь (5) та (6) показали, що незначні зміни в σ від межі стабільності $\sigma = 0$ викликають зміну величини діаметру годографа переміщення центру деталі. Зазначена особливість використана для оцінки стабільності геометрії налагодження жорстких опор.

Окрім того, встановлено важливість і тенденції факторів a та b (1), (2). Зокрема, a та b в рівнянні (4) представляють вплив виступу на глибину різання при його проходженні через передню та задню опори, відповідно. Завдяки чому, визначено, як φ_1 або φ_2 впливають на нормальну складову сили шліфування, глибину різання, стабільність в зоні різання та, як наслідок, на гармоніки новоутвореної хвилястості.

Обертання деталі на 360° зумовлює механізм регенерації, що є дуже важливий, оскільки миттєва глибина різання буде залежати від величини припуску на деталі для шліфувального круга, який буде обумовлений перетворенням обертовим різанням:

$$\frac{-1}{1 - e^{-2\pi s}}. \quad (9)$$

Оскільки комплексний оператор Лапласа $s = \sigma + jn$ знаходиться в знаменнику, то рівняння (9) варто помножити на величину комплексно-спряжену до знаменника для поділу на дійсну та уявну частини. Виділимо дійсну та уявну частини рівняння (9):

$$\text{Дій} = \frac{-1 + e^{-2\pi\sigma} \cos(2\pi n)}{1 + e^{-4\pi\sigma} - 2e^{-2\pi\sigma} \cos(2\pi n)}, \quad (10)$$

$$\text{Уяв} = \frac{e^{-2\pi\sigma} \sin(2\pi n)}{1 + e^{-4\pi\sigma} - 2e^{-2\pi\sigma} \cos(2\pi n)}. \quad (11)$$

Для геометричного аналізу на межі стійкості $\sigma = 0$, рівняння (10) та (11) зводяться до простішого:

$$\text{Дій} = \frac{-1}{2}, \quad (12)$$

$$\text{Уяв} = \frac{\sin(2\pi n)}{2 - 2\cos(2\pi n)}. \quad (13)$$

Дослідженнями встановлено, що гіперболи хвилястості та регенерації годографа переміщення центра деталі прогнозовано змінюються в їхніх асимптотичних кутах.

Годограф переміщення нескінченно жорсткого верстата є точкою на початку координат у комплексній площині. Таким чином, годограф переміщення хвилястості та регенерації зосереджений навколо точки $(-0,5; 0)$, будь-які конкретні годографи

переміщення, які мають асимптоту близько 0° , швидше за все, перетинаються з годографом переміщення верстата. Графічне співпадання результатів в системі механізму відповідного впливу для цієї конкретної частоти хвилястості допускає ріст цієї гармоніки внаслідок нестабільності в зоні різання. Ця інтерпретація використовує нескінченно жорсткий верстат і тому, має на увазі геометричну нестабільність частоти хвилястості, базуючись на векторному співпаданні в комплексній площині.

Оскільки, кути асимптот залежать від кількості виступів (гармоніки) та геометрії налагодження, можна передбачити, враховуючи аналіз зазначений вище, які гармоніки будуть нестійкі в діапазоні умов налагодження. Якщо кут асимптоти однієї гармоніки дослідити протягом всього комплексу геометрії налагодження, то теоретична геометрична нестабільність цього номера гармоніки буде спостерігатись, коли кут асимптоти кратний 2π радіанам.

Для аналізу сформована контурна діаграма кутів асимптот в радіанах для 14 гармоніки у межах звичайної геометрії налагодження безцентрового шліфування (рис. 5).

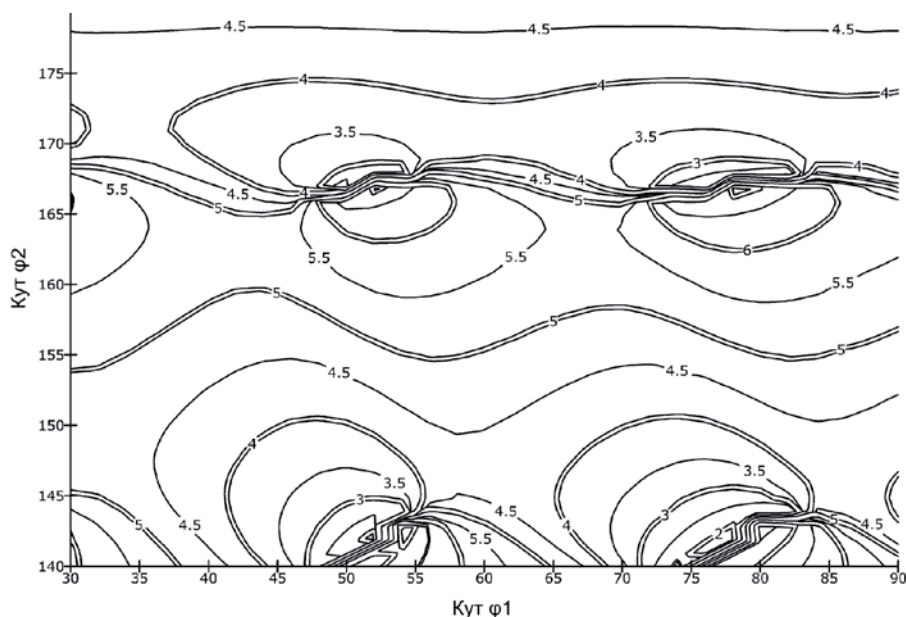


Рис. 5. Контурна діаграма кутів асимптот в радіанах для 14 гармоніки у межах звичайної геометрії налагодження безцентрового шліфування

В результаті дослідження було сформовано діаграму (рис. 6), яка показує загальну картину геометричної нестійкості хвилястості від 2 по 22 гармоніки за звичайних умов геометрії налагодження безцентрового шліфування на основі кутів асимптот. З діаграми зрозуміло, що більшість комбінацій налагодження кутів

жорстких опор має якусь геометричну нестабільність і що нестабільність гармонік відповідає масиву. Наприклад: 12 гармоніка геометрично нестійка в районі $\phi_1 = 60^\circ$ і $\phi_2 = 165^\circ$, 14 гармоніка є нестійкою вище та зліва близько 52° і 168° , 16 гармоніка вгору й ліворуч від 14, і так далі.

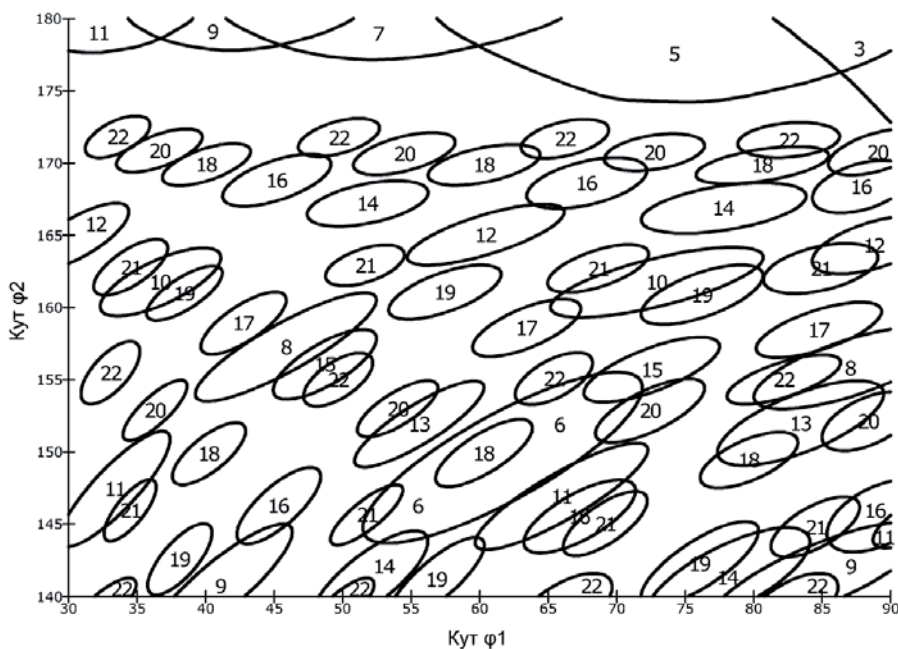


Рис. 6. Діаграма хвилястості геометричної нестабільності, основана на кутовому аналізі об'єднаного годографа переміщення на межі стійкості у межах звичайної геометрії налагодження безцентрового шліфування

Ця діаграма дозволяє вибрати таку геометрію налагодження шліфування на жорстких опорах, яка збільшує або зменшує параметри певної гармоніки.

5. Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Виявлено та досліджено механізм впливу геометрії налагодження жорстких опор та наявної хвилястості на стабільність нормальної сили шліфування та величину гармонік новоствореної хвилястості.

2. Як результат, на рис. 5 подано контурну діаграму кута асимптоти для 14-ї гармоніки у межах звичайної геометрії налагодження безцентрового шліфування на жорстких опорах. Відповідно до діаграми,

14-а гармоніка є теоретично нестійкою біля $\phi_1 = 52^\circ$, 78° та $\phi_2 = 143^\circ$, 168° . Взятиши за основу поданий алгоритм дослідження знайдено загальну картину геометричної нестійкості різних гармонік хвилястості за звичайних умов геометрії налагодження безцентрового шліфування.

3. Отримано можливість прогнозування геометричної нестабільності в зоні різання при шліфуванні. Діаграма хвилястості геометричної нестабільності (рис. 6) дозволяє вибрати таку геометрію налагодження шліфування на жорстких опорах, яка прогнозовано збільшує або зменшує параметри певної гармоніки хвилястості.

Література

1. Кудинов, А. В. Качественная идентификация вибраций и форм потери виброустойчивости в станках [Текст] / А. В. Кудинов // Станки и инструмент. — 1999. — № 7. — С. 15–21.
2. Дунин-Барковский, И. В. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности [Текст] / И. В. Дунин-Барковский, А. Н. Карташова. — М.: Машиностроение, 1978. — 232 с.
3. Якимов, А. В. Теоретические основы резания и шлифования материалов [Текст]: учеб. пос. / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, Б. С. Серов, А. А. Якимов. — Одесса: ОНУ, 1999. — 450 с.
4. Чалий, В. Д. Вплив вібрацій верстата та характеристики шліфувального круга на хвилястість зовнішніх кілець роликопідшипників при внутрішньому шліфуванні [Текст] / В. Д. Чалий // Вісник СевНТУ. Серія «Машинобудування та транспорт». — Севастополь, 2010. — Вип. 107. — С. 231–233.
5. Albizuri, J. An active system of reduction of vibrations in a centerless grinding machine using piezoelectric actuators [Text] / J. Albizuri, M. N. Fernandes, I. Garitaonandia, X. Sabalza, R. Uribe-Etxeberria, J. M. Hernández // International Journal of Machine Tools and Manufacture. — 2007. — Vol. 47, № 10. — P. 1607–1614. doi:10.1016/j.ijmachtools.2006.11.004
6. Колтунов, И. Б. Теоретическое исследование процесса формообразования при бесцентровом круглом шлифовании подшипниковых колец на жестких опорах [Текст] / И. Б. Колтунов // Труды ВНИИП. — М., 1965. — № 3. — С. 24–32.
7. Balance your grinding machine in 1 minute [Text] // Cuff. Tool Eng. — 1994. — Vol. 46, № 4. — 118 p.
8. Бальмонт, В. Б. Вибрации и шум подшипников качения [Текст] / В. Б. Бальмонт, О. Н. Самохин, Е. Б. Варламов, А. М. Авдеев. — М.: ЦНИИТЭИАвтопром, 1987. — 125 с.
9. Крылов, И. В. Синтез динамической модели операции шлифования [Текст]: сб. тр. Межд. конф. / И. В. Крылов, Д. А. Каинов // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. — Волжский, 1999. — С. 230–233.
10. Новоселов, Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке [Текст] / Ю. К. Новоселов. — Саратов: Саратов. ун-т, 1979. — 124 с.
11. Пальчевський, Б. О. Дослідження технологічних систем: моделювання, проектування, оптимізація [Текст]: навч. посіб. для студ. ВНЗ / Б. О. Пальчевський. — Львів: СВІТ, 2001. — 231 с.
12. Струтинський, В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки [Текст]: підручник / В. Б. Струтинський. — Житомир: ТІТІ, 2001. — 612 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЛНИСТОСТИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОЛЕЦ РОЛИКОПОДШИПНИКОВ НА ОПЕРАЦИЯХ БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

В статье исследовано образование волнистости рабочих поверхностей колец роликоподшипников, которая приводит к возникновению шума и вибрации в подшипниковых узлах машин и механизмов. С целью анализа составлено блок-схему модели бесцентрового врезного шлифования на жестких опорах и выведено передаточную функцию. Решение характеристического уравнения системы позволило выявить влияние волнистости шлифуемой поверхности и процесса регенерации этой волнистости на годограф вектора перемещения центра детали.

Ключевые слова: роликоподшипник, волнистость, жесткие опоры, годограф.

Чалий Василь Дмитрович, кандидат технічних наук, інженер, АТ «СКФ Україна» (публічне), Луцьк, Україна.

Мороз Сергій Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра приладобудування, Луцький національний технічний університет, Україна, e-mail: serg_moroz@i.ua.

Пташенчук Віталій Віталійович, кандидат технічних наук, кафедра приладобудування, Луцький національний технічний університет, Україна.

Чалый Василий Дмитриевич, кандидат технических наук, инженер, АО «СКФ Украина» (публичное), Луцк, Украина.

Мороз Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра приборостроения, Луцкий национальный технический университет, Украина.

Пташенчук Виталий Витальевич, кандидат технических наук, кафедра приборостроения, Луцкий национальный технический университет, Украина.

Chalyi Vasil, SKF Ukraine, Lutsk, Ukraine.

Moroz Sergiy, Lutsk National Technical University, Ukraine, e-mail: serg_moroz@i.ua.

Ptashenchuk Vitalii, Lutsk National Technical University, Ukraine