

УДК 621.001.4

М.Пилипець, канд.техн.наук; І.Шевчук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗУБЧАСТИХ КОЛІС, ВИГОТОВЛЕНИХ З ВИТИХ ЗАГОТОВОК

Подано графічну модель і опис конструкції стенда для дослідження характеристик зубчастих коліс з витих заготовок. Поставлено деякі задачі для дослідження зубчастого зачеплення: шестерня з витой заготовки – звичайне зубчасте колесо. Розглянуто фактори впливу на досліджувані параметри.

Зубчасті передачі є найпоширенішими механічними передачами у сучасному машино- та приладобудуванні. Вони застосовуються як у механізмах найточніших приладів, де розміри коліс вимірюються кількома міліметрами, так і в найпотужніших машинах із розмірами коліс до 10 м. Зрозуміло, що для виготовлення такої широко розмірної номенклатури зубчастих коліс використовують різні методи одержання заготовок, ґрунтуючись на економічній доцільності їх виготовлення: штампування, кування, литво, висаджування, метод порошкової металургії та ін. Однак для певних типів виробництв і типорозмірів зубчастих коліс, точності і умов експлуатації запропоновано метод формоутворення заготовок шляхом навивання смуги на оправку. Із одержаної заготовки за допомогою операцій механічної обробки можна отримати зубчасте колесо, яке дозволить уникнути багатьох негативних явищ під час роботи в зубчастому зачепленні. Для виявлення оптимальних умов роботи таких зубчастих коліс необхідно дослідити дане зачеплення з основних показників, що характеризують якість зубчастої передачі.

Враховуючи специфіку конструкції досліджуваного зубчастого колеса, поставлено за мету шляхом експериментальних досліджень визначити величини допустимих навантажень на зуб у межах його працездатного стану, вимірювання плями контакту зубчастого зачеплення і бічної щілини, оцінку рівня шуму працюючої передачі.

Під сумарною плямою контакту розуміють частину активної бічної поверхні зуба зубчастого колеса, на якій розміщені сліди її прилягання до зубів парного зубчастого колеса після обертання зібраної передачі при легкому гальмуванні, що забезпечує неперервне контактування зубів обох зубчастих коліс. Норми на пляму контакту встановлюються для умов перевірки в передачі. Розміри плями контакту встановлюються у процентах щодо довжини і висоти робочої поверхні зуба і визначаються методом фарбування. При правильному нашаруванні фарби і підборі кольору цей спосіб дозволяє одержати достовірні результати. Перед перевіркою робочі поверхні зубів треба знежирити, оскільки наявність мастила на поверхні змінює в'язкість фарби, а відповідно, і її взаємне проникнення. Товщина шару фарби повинна бути не більшою за 4-6 мкм залежно від допуску на параметри, що нормують вимоги до контакту.

Під бічною щілиною розуміють відстань за нормаллю між неробочими профілями зубів коліс, що безпосередньо зачеплені на робочих профілях. Безпосереднє вимірювання бічної щілини між неробочими боковими поверхнями зубів коліс виконується в зібраній передачі при регульованій міжосьовій відстані. Перевіряти бічну щілину можна різними способами, найпростішим з них - визначення щілини з допомогою щупа.

Іноді для визначення бічної щілини використовується свинцевий дріт. При оберті коліс дріт закладається з боку неробочих поверхонь пар зубів. У момент проходження цими зубами зони зачеплення дріт обтискається і його товщина дорівнює бічній щілині. Товщина дроту в найвужчому місці вимірюється будь-яким вимірювальним засобом.

Шумові характеристики зубчастих коліс перевіряються за методикою, поданою у ГОСТ 8.055-73. У даний час є спеціальні прилади, що дозволяють вимірювати й аналізувати шум працюючих механізмів. Для вимірювання звукового тиску в межах від 25 до 130 дБ при діапазоні частот від 50 до 8000 Гц існують шумоміри, виготовлені за ГОСТ 17187-71. Шумомір Ш-3М складається з мікрофона, підсилювача, коректних фільтрів, детектора і стрілкового прилада. Шум, що сприймається мікрофоном, перетворюється в електричні коливання, які, пройшовши через ламповий підсилювач і випрямляч, потрапляють на стрілковий прилад, проградуєований у децибелах. Для оцінки рівня шуму користуватимемося універсальним шумоміром при умові максимальної локалізації впливу зовнішніх шумових факторів.

Допускове навантаження на зуб можна визначити при закріпленому веденому колесі, поступово збільшуючи навантаження на досліджуване колесо і вимірюючи силові показники за допомогою динамометрів до руйнування зуба.

Для дослідження характеристик зубчастого колеса з витої заготовки використаємо один з найпоширеніших і найточніших методів математичного планування – повний факторний експеримент, що дозволяє одночасно вивчати вплив ряду факторів. Це система дослідів з усіма можливими комбінаціями вибраних факторів, які не повторюються у заданих рівнях їх варіювання. Цей метод дозволяє одночасно вивчати вплив багатьох факторів на досліджуваний процес і одержати поліном n -ого степеня (функція відклику) для математичного опису досліджуваного об'єкта в області багатофакторного простору, якому належать змінні варіювання:

$$y = \Phi(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де U_i - параметр, за яким виконується оптимізація;

x_i - незалежні параметри чи фактори, що варіюються при експерименті.

Позначимо досліджувані параметри:

- u_1 – величина плями контакту;
- u_2 - розмір бічної щілини;
- u_3 - рівень шуму працюючої зубчастої передачі;
- u_4 - величина навантаження на зуб.

Для одержання достовірних відомостей потрібно виявити фактори, що впливатимуть на досліджувані параметри. Таких факторів може бути дуже багато і їх врахування при виконанні експериментів є фізично неможливим. Тому в даному випадку обмежимося тими із них, що чинитимуть найбільший вплив на досліджувані параметри:

- x_1 - кількість обертів на вхідному валі;
- x_2 - навантаження на вихідному валі;
- x_3 - час роботи зубчастого зачеплення, від якого залежатиме величина припрацювання;
- x_4 - розміри досліджуваного зубчастого колеса (ділительний діаметр, кількість зубів, модуль, ширина);
- x_5 - матеріал вінця зубчастого колеса;
- x_6 - товщина навитої стрічки, що утворює зубчастий вінець.

Найповніші умови функціонування зубчастих передач можна створити в експлуатаційній стадії випробування, з врахуванням впливу навколишнього середовища і нормального робочого процесу. Але на ранніх стадіях розробки цього середовища немає: можуть бути відсутні спряжувані елементи даного механізму, нема самого технологічного процесу, для якого створюється виріб та ін.

Тому потрібно створити таку систему досліджень і сконструювати такий дослідний стенд, що найкраще відповідають реальним умовам роботи досліджуваного об'єкта.

Систему досліджень можна подати за допомогою блок-схеми (рис.1), яку розглянемо поелементно знизу догори.

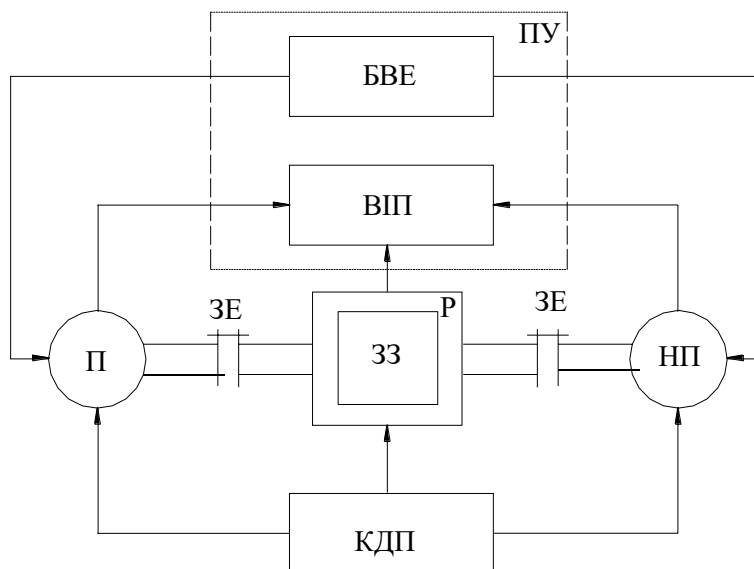


Рис.1. Графічна модель дослідного стенда.

Досліджуване зубчасте зачеплення 33 розміщене в корпусі відповідного редуктора Р. Функціонування редуктора у стендових умовах забезпечує комплекс допоміжних пристроїв КДП. Сюди належать пристрої забезпечення змащувальними і охолоджувальними матеріалами, пристрої установки і кріплення на стенді та інші елементи, без яких робота редуктора неможлива чи ускладнена.

Редуктор урухомлюється за допомогою привода П, що забезпечує обертання вхідного вала редуктора, причому передбачена можливість змінювати кількість обертів ведучого колеса в широкому діапазоні для більш повного дослідження характеристик зубчастої передачі.

До вхідного вала редуктора приєднаний навантажувальний пристрій НП, що створює статичне і динамічне навантаження, що відповідає робочим і аварійним режимам роботи механізму.

Привід і навантажувальний пристрій з'єднані з редуктором за допомогою з'єднувальних елементів ЗЕ, що мають виконувати функції компенсування похибок з'єднувальних валів, захисту від надмірних навантажень, зменшення вібрацій та ін. Неправильне впровадження таких додаткових функцій може негативно впливати на динамічні властивості процесів навантаження аж до втрати всією системою працездатності.

Блок виконавчих елементів БВЕ за командами людини впливає на привід і навантажувальний пристрій і цим створює потрібні режими роботи редуктора. Вимірювально-інформаційний пристрій ВІП є комплектом датчиків, перетворювачів, каналів та ін., що подають дані про хід експерименту.

Блок виконавчих елементів і вимірювально-інформаційний пристрій зручно встановити на одному пульті управління оператора ПУ, через який можна впливати на експеримент і наглядати за ним. Живлення від пульта подається від електромережі і через блок виконавчих елементів - до привідного і навантажувального пристроїв.

Суть практичного втілення вищесказаного полягає у виготовленні одноступінчастого циліндричного редуктора з передачею: шестерня з витої заготовки -

класичне суцільне колесо. Надавши вхідному валові редуктора обертання від приводу і створивши навантаження на вихідному валі, за допомогою вимірювальних приладів можна оцінювати параметри зубчастої передачі. Для цього за основу було взято існуючий стенд, що використовувався для досліджень карданних передач і запобіжних муфт [1,2]. Після певної модернізації і під'єднання до стенда редуктора із досліджуваною передачею, з'являється можливість з потрібною точністю і повнотою виконати необхідні експерименти.

Стенд (рис.2) складається із зварної рами 2, що є конструкцією коробчастої форми і виконана із прямокутної труби перерізом 50x100 мм. У ній встановлені привідний електродвигун 10, з'єднаний з гідропомпою 6 гідростатичної передачі, масляний бак 20 з радіатором, фільтр 19, гідростанція 21, з'єднана з гідроциліндрами 11 і 12 за допомогою регуляторів швидкостей 13, 14.

Гідропомпа гідростатичної передачі складається з корпусу циліндричного барабана з поршнями і коливної плити, що урухомлюється двома сервоциліндрами. Барабан обертається безпосередньо від вхідного вала, а продуктивність регулюється зміною кута нахилу коливної плити відносно його вісі. Сервоциліндри керуються за допомогою золотника сервоклапана, що перерозподілює потік мастила від помпи підживлення до одного з сервоциліндрів з одночасним зливом з іншого. При цьому золотник сервоклапана зв'язаний через з'єднувальну систему з валом редуктора механізму управління.

Механізм управління служить для регулювання частоти обертання вала гідродвигуна. Він виконаний в вигляді пустотілого вала з жорстко встановленою всередині нього втулкою, насадженою на вал важеля. Вал має коловий паз, в який встановлений штифт, жорстко з'єднаний з втулкою. З допомогою цього штифта крутний момент передається від пустотілого вала на втулку і далі на вал важеля. Вільний хід визначається довжиною паза і дорівнює 10-12 мм.

Другим кінцем пустотілий вал з'єднаний через двоступінчастий черв'ячний редуктор з двигуном постійного струму, керованого з пульта дистанційного керування (на рисунку не показано). При фіксуванні важеля в одному з крайніх положень спрацьовує один з мікровимикачів від натискання штифтом, при цьому відключається двигун постійного струму і блокується гудзик "стоп" привідного електродвигуна. Увімкнути можна лише напруженням зворотної полярності, відповідно важіль повертається через нейтральне положення.

Як помпа підживлення використовується шестерна гідропомпа продуктивністю $12,3 \text{ см}^3$ за оберт, із вмонтованим запобіжним клапаном, який відрегульований на тиск $15 \times 10^5 \text{ Па}$.

Вгорі на рамі закріплені напрямні, на яких встановлена рухома у вісьовому напрямку плита 3. На ній кріпиться плита 4, що має можливість фіксованого відносного рами кутового переміщення, з розміщеною на ній ведучою гідросистемою. Ведуча гідросистема складається із гідродвигуна 5, з'єднаного з помпою гідростатичної передачі 6, і перетворювача крутного моменту 7.

Гідродвигун складається з корпусу з вмонтованим циліндричним барабаном з поршнями, опорної плити і вихідного вала. Крутний момент передається вихідним валом за допомогою шліців на перетворювач крутного моменту 7.

На напрямних стенда розміщені плити 17 і 18, що мають відповідно можливість вісьового і кутового переміщення. На поворотній плиті 18 розміщується ведена система, що складається з перетворювача крутного моменту 16, з'єднаного з гальмівним пристроєм 15. Гальмівний пристрій складається з двох послідовно встановлених порошкових гальм ПТ-40М.

Рухома у вісьовому напрямку плита 17 з допомогою кронштейна з'єднується зі штоком гідроциліндра 11, що надає їй вісьового зміщення на напрямних відносно зварної рами 2. Кутове переміщення ведучої системи забезпечується гідроциліндром

12, а поворот відбувається відносно пальця, одним кінцем жорстко з'єднаного з плитою 18, а іншим, на ковзаній посадці, встановленого в отворі, виконаному в плиті 17.

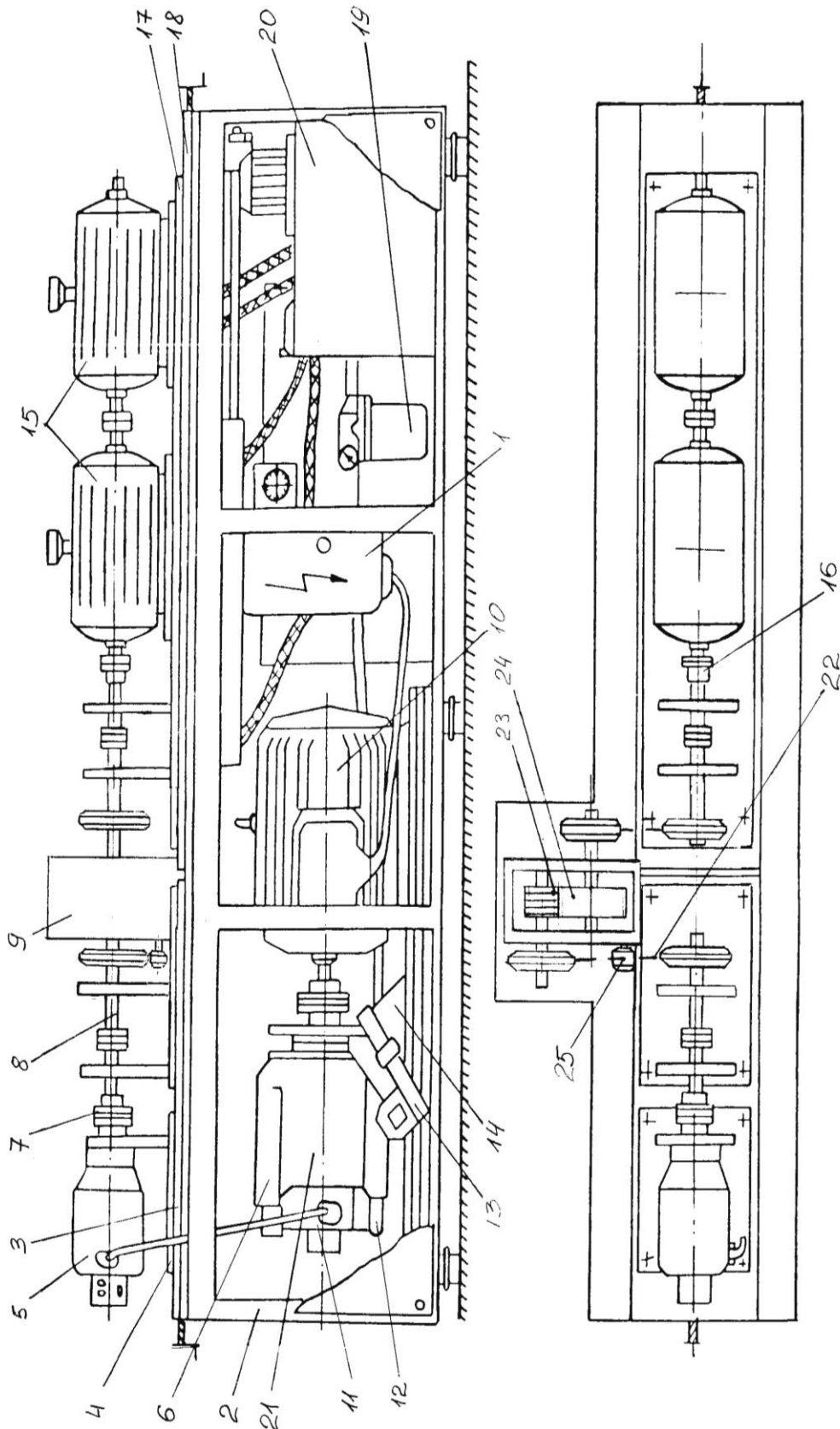


Рис.2. Конструкція стенда для дослідження характеристик зубчастих коліс, виготовлених з витих заготовок.

Рух передається від привідного електродвигуна 10 на гідропомпу 6 гідростатичної передачі, яка підживлюється від масляного бака 20 через фільтр 19. Ведуча система, що

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

складається з гідродвигуна 5 і перетворювача крутного моменту 7, кріпиться на поворотній плиті 4, яка в свою чергу кріпиться на плиті 3, що має обмежене фіксоване вісьове переміщення.

Ведена система складається з перетворювача крутного моменту 16 і гальмівного пристрою 15. Вона розміщується на поворотній плиті 17, що урухомлюється гідроциліндром 12. Плита 17 і гідроциліндр розміщуються на плиті 18, з вісьовим переміщенням відносно зварної рами станда. Вісьове переміщення веденої системи виконується гідроциліндром 11, при цьому гідроциліндри 11 і 12 з'єднані з гідростанцією 21 через регулятори швидкостей 13, 14.

Ведуча і ведена система з'єднуються для дослідження зубчастих коліс одноступінчастим циліндричним зубчастим редуктором 9. В ньому одне з коліс (шестерня 23) виготовлене з витої заготовки, а інше – звичайне суцільне колесо 24. Через ланцюгові передачі 22 за допомогою натяжного ролика 25 з редуктором з'єднуються ведуча і ведена системи.

Конструктивно перетворювачі крутного моменту виконуються як тензовал, закріплені в стійці. Підготовка перетворювача до роботи полягає у наклеюванні тензодатчиків, з'єднаних за напівмостовою схемою, на тензометричну ділянку валопроводу. Перед встановленням відрізають основу робочої партії тензорезисторів на відстань 1...2 мм від решітки на граничних краях, і не більше як 2...3 мм від кінця решітки, відповідно для петлевих і безпетлевих тензорезисторів. Для підвищення стабільності тензорезистори перед наклеюванням піддають штучному старінню в термостаті шляхом повторних нагрівань до температури 325...355 °С. Після цих підготовчих операцій вимірюють опір тензорезисторів з точністю до 0,1% від мінімального значення з наступним сортуванням їх груп залежно від його величини. При цьому розсіювання опору в групі не має перевищувати 0,25% від омінального.

Шорсткість після обробки тензометричних ділянок має відповідати $Rz=20-60$ мкм, нерівності поверхні не повинні перевищувати 15...25 мкм, оскільки вони значно знижують точність вимірювання. Після зачищення поверхонь, ґрунтуються місця наклеювання розведеним монтажним клеєм і наклеюються датчики під кутом 45° до вісі обертання вала. Виводи датчиків розпаюють на контактну колодку струмознімачів, а струмознімачі з'єднують екранованим кабелем з входом тензометричного підсилювача.

Технічна характеристика станда

1. Потужність привідного електродвигуна, кВт.	40
2. Діапазон регулювання частоти обертання ведучого вала, хв.	0-1500
3. Максимальний крутний момент на ведучому валі, Нм.	500
4. Найбільший гальмівний крутний момент, Нм.	800
5. Метод створення навантаження.	розімкнутий за допомогою порошкових гальм
6. Кількість порошкових гальм.	2
7. Тип порошкових гальм.	ПТ-40М
8. Метод вимірювання крутного моменту.	
тензометричний	9. Гідростанція.
ГМ8-22Н	
10. Охолодження.	водяне
11. Видаток води, л/хв.	12
12. Управління режиму роботи станда.	дистанційне з пульта
13. Габаритні розміри, мм.	2800x800x1500

На основі аналізу експериментальних досліджень можна визначити оптимальні параметри зубчастої передачі, сформулювати рекомендації щодо поліпшення конструкцій досліджуваних коліс і визначення оптимальних умов їх роботи, а отже, обґрунтувати умови використання зубчастих коліс з витих заготовок у народному господарстві взагалі і машинобудуванні зокрема.

There is described construction of installation for research of cog-wheels which made from twisted storage. The grafical model of stend was given. There are put some task for research of toothed touching : cog-wheel from twisted storage – usual gear-wheel. Considered the factors will influence on research parameters.

Література

1. Гевко Б.М., Матвийчук А.В. Стенд для приработки предохранительных муфт//Технология и организация производства. 1983.-№4.-С.49-49.
2. Гевко Б.М., Флик К.П., Матвийчук А.В. и др. Стенд для исследования характеристик приводных устройств сельскохозяйственных машин//Технология и организация производства. 1984.- №2.- С.56-66.
3. Тайц Б.А., Марков Н.Н. Точность и контроль зубчатых передач.-Л.:Машиностроение,1978.-137с.
4. Кочубиевский И.Д. Системы нагружения для исследований и испытаний машин и механизмов. М., Машиностроение, 1985. –224 с.

Одержано 16.11.2000 р.