

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСАД РЕІНЖИНІРИНГУ В ПРОЦЕСАХ РЕМОНТУ РЕДУКТОРІВ НА ОСНОВІ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

© Грицай І.Є., Вільшанецький В.І., 2012

Наведено опис системи зворотної інженерії, розробленої для процесів ремонту зубчастих передач і редукторів. Описано автоматизовані підсистеми, які поєднують процедури вимірювання геометричних параметрів спрацьованих зубчастих коліс, комп'ютерного відтворення їх профілів, розрахунку параметрів передачі та початкового контуру, а також вибору режимів зубонарізання. Для відновлення зубчастих пар використано гібридне синусоевольвентне зачеплення та технологію нарізання зубців дисковою фрезою обкочуванням.

A reverse engineering process system for repairing gears and gearboxes it was described. Computer automated subsystems combines measurement of a geometrical parameters, drawing cog profiles, calculating transmission parameters and initial contour and mode selection toothcutting. To renewal gear pairs used hybrid sinusoidal-evolvent engagement and new technology of teeth cutting by a thin disk cutter.

Актуальність проблеми. Процесам відновлення та ремонту машин і механізмів, які тривалий час перебували в експлуатації та частково, або повністю, використали свій ресурс, у наш час надають підвищеної уваги. У верстатному парку машинобудівних підприємств на ремонтне виробництво припадає третина працездатних металорізальних верстатів, а самі процеси відновлення та ремонту деталей машин характеризуються значною працемісткістю та енерговитратністю. З огляду на це, проблема удосконалення процесів ремонту на базі автоматизованих систем розрахунку відновлюваних параметрів та впровадження нових ефективних технологій на сьогодні є актуальною.

Постановка завдання. До механізмів, які підлягають ремонту у великих обсягах і вимагають значних матеріальних витрат, належать редуктори приводів машин. Під час ремонту цих механізмів найвитратнішими і найскладнішими є процеси ремонту та відновлення окремих зубчастих коліс і колісних пар. Якщо відновлення валів та корпусів редукторів здебільшого можливе без виготовлення нових деталей, наприклад, наплавленням з подальшою механічною обробкою, то спрацьовані зубчаті колеса у 80 % випадків передбачають їх повну заміну з виготовленням нових коліс.

Технологія ремонту зубчастих коліс, яка повинна відтворити його первинні конструктивні параметри під час виготовлення та забезпечити якість робочих поверхонь передбачає такі кроки.

1. Встановити комплекс геометричних параметрів зубчастого колеса і зубчастого зачеплення і розміри, які підлягають вимірюванню відповідно до ГОСТ 16532-70. Як ці параметри вибрано: кут нахилу зубців, міжосьова віддаль, основний крок колеса і крок зачеплення, довжина спільної нормалі по 2 і 3 зубцях, товщина зубця і його висота.

2. Виміряти дійсні значення параметрів, виходячи з фактичного стану зубців, які характеризуються значним зношуванням. Вимірювання проводити на різних ділянках колеса, кількість вимірів кожного з параметрів – 3–5, а результати вимірювань усереднити.

3. Встановити базові параметри зачеплення: модуль, кут зачеплення, стандартний початковий контур (ГОСТ 13755-68) і коефіцієнт зміщення вихідного контуру та розрахувати геометричні параметри зубчастого вінця. Перевірити якість зачеплення за геометричними показниками на відсутність підрізання зубців та наявність теплового зазору в передачі.

4. Спроекувати заготовку зубчастого колеса, вибрати матеріал, задати вимоги до поверхневої твердості зубців та технічні умови на виготовлення колеса і зубчастого вінця загалом.

5. Спроекувати технологічний процес виготовлення зубчастого колеса з врахуванням поверхневого зміцнення базових поверхонь і зубців.

6. Виготовити колесо згідно з технічними умовами.

Відповідно до перелічених задач поставлено завдання розробити автоматизовану систему зворотної інженерії, яка б охопила процедуру вимірювання, геометричних розрахунків коліс і зубчастих зачеплень та вибору і визначення раціональних технологічних параметрів на основі нового методу зубонарізання.

Одержані результати

1. Побудова віртуальної моделі замінюваного колеса. Для вимірювання параметрів зубчастого колеса використано стандартний інструмент, а також контрольно-вимірювальну машину Edge компанії FARO Laser Scan Arm. За допомогою мікрометричних зубоміра і штангенциркуля (точність вимірювання 0,05 мм) визначали основні геометричні параметри на різних ділянках деталі з подальшим осередненням отриманих результатів.

На рис. 1 наведено процес сканування зубчастого колеса редуктора за допомогою КВМ Edge з щуповою (а) та лазерною (б) вимірними головками, точність вимірювання, відповідно, становить 0,029 та 0,069 мм. Використання КВМ дає змогу повністю відтворити бокові поверхні зубців з похибками по профілю та відхиленнями по довжині зубців.

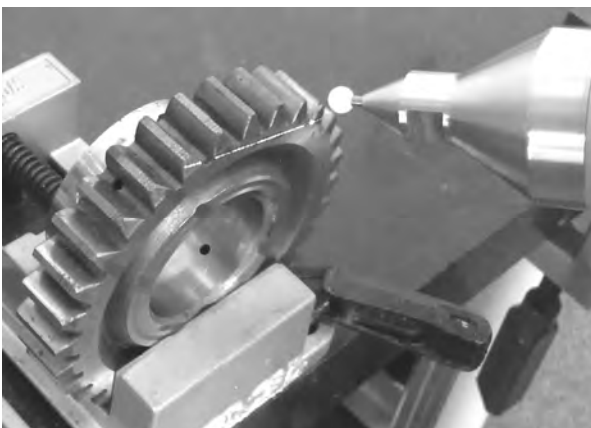


Рис. 1. Сканування зубчастого колеса за допомогою КВМ FARO Laser ScanArm

На рис. 2 наведено множину точок (“хмару”), одержану в результаті сканування, за якою з високою точністю відтворено зубці та впадини і сформовану комп’ютерну 3D-модель обмірних поверхонь.

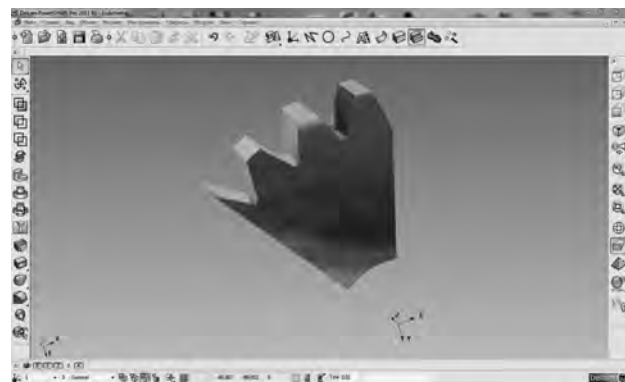
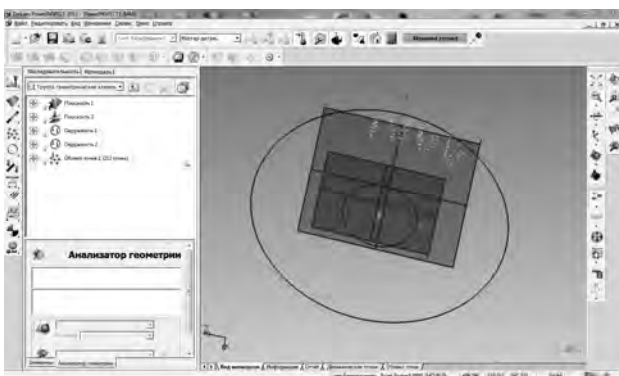


Рис. 2. Множина точок та побудова 3D-моделі на основі одержаних результатів

На основі цієї моделі можна побудувати зубчасте колесо в середовищі КОМПАС 3D з бібліотекою SHAFT 3D та визначити його геометричні параметри (рис. 3).

Геометрический расчет		
Страница 1 Страница 2 Предмет расчета		
Параметры	Ведущее колесо	Ведомое колесо
1. Число зубьев	25	50
2. Модуль, мм	2.000	
3. Угол наклона зубьев, °	0 ° 0 ' 0 "	
4. Угол профиля зубьев, °	20 ° 0 ' 0 "	
5. Коэффициент высоты головки зуба	1	
6. Коэффициент радиального зазора	0.25	
7. Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой в граничной точке профиля зуба	0.38	
8. Ширина зубчатого венца, мм	15	20
9. Межосевое расстояние, мм	75	
10. Диаметр ролика, мм	3.464	3.464
11. Вид обработки	рейка	рейка
12. Характеристика инструмента		
13. Направление спирали зуба ведущего колеса	правое	

Рис. 3. Інтерфейс бібліотеки SHAFT 3D

2. Перевірка якості передачі та технологія зубонарізання. Для виготовлення нових зубчастих коліс використано високоефективний метод зубонарізання дисковою фрезою на зубофрезерному верстаті в мовах неперервного обточування [1, 2, 5]. У разі використання стандартного верстатного набору (пристрій для виставлення ексцентриситету – одноступінчастий мультиплікатор – дискова фреза), конструкції яких розроблені на кафедрі ТМБ, цей метод дає змогу виготовляти зубчасті колеса синусоїдального профілю. Багаточисельними теоретичними та експериментальними дослідженнями, частина яких виконана на кафедрі ТМБ, доведено переваги цих коліс перед евольвентними (менший рівень шуму, вища навантажувальна здатність, більший опір згину та ін.) [1, 2].

У ремонті зубчастої передачі можливі такі варіанти: а) заміни потребують обидві спряжені деталі – колесо і шестерня; б) заміни потребує тільки одне з коліс.

У першому випадку заміна пари спряжених евольвентних коліс синусоїдальними без порушення передавального співвідношення і швидкостей обертання на цій ступені редуктора є цілком виправданим кроком, який покращує експлуатаційні властивості редуктора. Розрахунки еквівалентних параметрів синусоїдальної передачі на основі евольвентного модуля і кута зачеплення виконуються в системі автоматично, на основі відомих залежностей з теорії синусоїдальних передач і зачеплень. Ексцентриситет дискової фрези як функція евольвентного модуля, кут і напрямок нахилу зубців є основними параметрами налагодження зубофрезерного верстата. Інші параметри налагодження – робочі режими процесу (подача на зуб фрези і осьова подача, частота обертання і швидкість різання, кількість проходів та глибина на кожному з проходів) теж розраховуються в автоматичному режимі на основі методики, розробленої на кафедрі ТМБ.

У другому випадку цим методом нарізується одне з коліс, зубці якого будуть мати синусоїдальний профіль. З досліджень кафедри ТМБ встановлено, що у широкому діапазоні конструктивних параметрів евольвентних передач можна підібрати параметри синусоїди так, що їх профілі будуть практично збігатися (рис. 4). Це створює основу для використання та утворення в редукторі нової передачі – синусоевольвентної (гібридної) [3, 4].

Після розрахунків параметрів парного синусоїдального колеса необхідно перевірити якість зачеплення. Для цього за допомогою віртуальної передачі з відтворенням робочих рухів перевіряється відсутність інтерференції профілів (рис. 5).

Висновки. Використання переваг нового методу зубонарізання є особливо ефективним для ремонтних виробництв. Зокрема, універсальність методу, що полягає в його можливості:

а) простою зміною ексцентриситету дискової фрези змінювати величину модуля в широких межах;

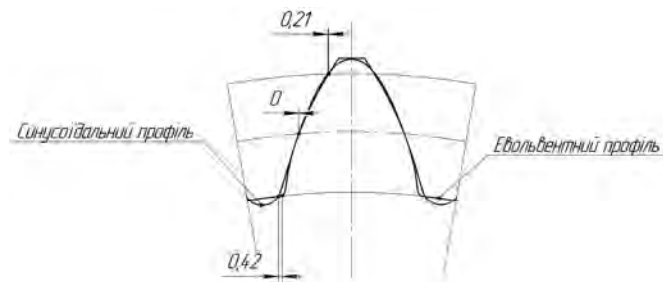
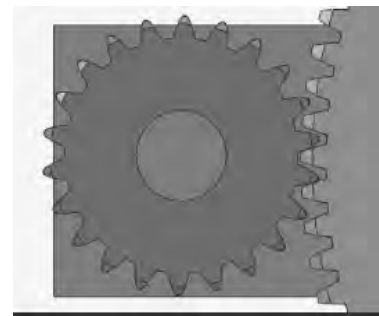


Рис. 4. Підбір параметрів синусоїдального профіля, еквівалентних евольвентному $m=5, z=22, \alpha_o=20^\circ, \beta=0^\circ$



а



б

Рис. 5. Перевірка якості передачі:

а – підрізання зубців; б – передача після відпрацювання параметрів зачеплення

б) одним інструментом на одному верстаті нарізати різні типи зубчастих коліс: циліндричні і конічні, прямо- та косозубі, черв'ячні (зокрема глобоїдальні), шевронні, колеса з будь-яким кутом зачеплення та будь-якої модифікації – дає змогу економити на дорогих і різноманітних за назвою та номенклатурою зубонарізних інструментах (насамперед – модульних черв'ячних фрезах), а також на зубонарізних верстатах, розширяє технологічні можливості ремонтних цехів, підвищує продуктивність, здешевлює вартість робіт з ремонту і відновлення дорогих машин та механізмів.

Заміна в редукторах евольвентних коліс і колісних пар, що мають невисоку навантажувальну здатність і обмежену працездатність, синусоїдальними, що покращує експлуатаційні властивості редукторів, зокрема, підвищує їх ресурс та безвідмовність роботи.

1. Грицай І.Е., Благут Е.Н. Зубчасті передачі і технології їх виготовлення: нове в традиціях // *Оборудование и инструмент: Международный информационно-технический журнал*. – 2005. – № 2 (61). – С. 36–39. 2. Грицай І.Є. Зубчасті передачі синусоїдального зачеплення і новітня технологія їх виготовлення. – В кн.: *Машиностроение и техносфера XXI века. Сбор. трудов XII международ. науч.-техничес. конференции*. – Севастополь, 12–17 сентября, 2005. – С. 230–234. 3. Грицай І.Є., Благут Е.М., Вільшанецький В.І. Гібридні зачеплення як засіб підвищення ефективності процесів відновлення зубчастих коліс // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Оптимізація виробничих процесів і техн. контроль у машинобудуванні та приладобудуванні"*. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2010. – № 679. – С. 5–9. 4. Грицай І.Е., Вільшанецький В.І. Повышение эффективности процессов восстановления и ремонта редукторов на основе новой технологии зубонарезания. – *Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня: Материалы 13-й международной научно-практической конференции. 12–15 апреля 2011 г. Санкт-Петербург, 2011.* – С. 316–322. 5. Грицай І.Є. Стан і перспективи в галузі зубчастих передач і технології зубообробки. – *Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XIX международ. науч.-техн. конф.* – Севастополь, 17–22 сентября 2012 г. – В 3-х т.: Т. 1. – С. 202–209.