

*В.И. Кальченко, д-р техн. наук
В.В. Кальченко, д-р техн. наук,
А.М. Ерошенко, инженер,
Черниговский государственный технологический университет*

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ И ГАРАЖНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ШЛИФОВАНИЕМ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛИ

Предлагаются модульные 3D модели профилирования абразивного круга и формообразования винтовых поверхностей круглого профиля для ремонта и изготовления шариковых винтовых передач автомобилей и гаражного оборудования.

Постановка проблемы

Шарико-винтовая передача (ШВП) представляет собой механизм для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот. В настоящее время шариковые винтовые передачи широко применяются не только в станкостроении, но и в автомобилестроении, авиастроении, железнодорожном транспорте, производстве дорожных машин, атомной энергетике и т.п. [1]. В процессе длительной эксплуатации ШВП изнашиваются, теряют точность и требуют восстановления. Восстановления винта и гайки производится различными способами, но последним этапом, практически всегда, является шлифование. В связи с высокой точностью изготовления подобных передач, окончательная абразивная обработка является сложной задачей.

Аналитический обзор

Шарико-винтовая передача состоит из прецизионного накатного или шлифованного винта, гайки с механизмом циркуляции элементов качения и шариков. Таким образом, в отличие от обычной передачи винт-гайка, ШВП использует принцип трения качения, а не трения скольжения. Шарико-винтовые передачи характеризуются такими параметрами как диаметр винта, шаг резьбы, класс точности ШВП и предварительный натяг. Точность определяет максимально допустимое отклонение хода ШВП на единицу шага. Определяется, как правило, количеством микрон на 300 мм хода. В зависимости от классов точности ШВП можно условно разделить на шарико-винтовые передачи для транспортных применений и прецизионные шарико-винтовые передачи.

Главные преимущества передач винт-гайка качения:

- малый коэффициент трения и, как следствие, возможность использования менее мощного привода и меньшего количества смазки;
- низкие потери на трение; к.п.д. этих передач достигает значения 0,9-0,95 по сравнению с 0,2-0,4 передач винт-гайка скольжения;

- почти полная независимость силы трения от скорости и весьма малое трение покоя, что благоприятно в отношении обеспечения устойчивости (равномерности) движения;
- возможность полного устранения зазоров и создания натяга, обеспечивающего высокую осевую жесткость;
- высокая точность позиционирования;
- небольшой нагрев в процессе работы;
- значительно больший эксплуатационный ресурс.

Шариковые винтовые передачи отличаются высоким качеством изготовления поверхностей качения, повышенной плавностью работы, высокой осевой жесткостью и высокой точностью. Регулировка величины предварительного осевого натяга осуществляется относительным угловым смещением двух гаек. Существует несколько способов создания предварительного натяга в гайке с целью повышения жесткости системы и устранения зазора. Смазывание шарико-винтовых передач может осуществляться как жидкой смазкой, так и пластичной смазкой [1].

Технологии винтовых домкратов совершенствовались на протяжении 25 лет. Сегодня производители предлагают своим клиентам максимально полный набор решений в области дооснащения электромеханического привода систем линейных перемещений. На рынке присутствуют системы и компоненты для перемещений грузов массой от 0,5 до 100 т.

Существующие методы обработки винтовых поверхностей методом копирования предусматривают шлифование кругом, радиус профиля которого равен радиусу профиля винтовой поверхности. Круг ориентируется в соответствии с углом наклона винтовой поверхности [2]. Для этого метода характерны высокая эффективность и простота формообразующих движений. Но этот способ имеет ряд недостатков:

- неравномерная удельная нагрузка и толщина срезаемого слоя вдоль профиля абразивного инструмента, в результате чего происходит неравномерный износ [3];
- переменная производительность обработки в процессе врезания, максимальное значение подачи на оборот при этом определяется в момент формообразования центральной точки профиля [4];
- температура в зоне обработки крайних участков профиля детали является ограничивающим фактором, поскольку отношение толщины срезаемого слоя a_z к радиусу режущей кромки ρ не превышает 0,1, что приводит к увеличению сил трения [5];
- длина врезания $l = \delta / \cos \theta_{max}$ больше припуска δ на обработку и зависит от максимального угла подъема профиля образующей θ_{max} [5].

В работе [7] представлен способ шлифования винтовых поверхностей деталей гаражного оборудования. Использование предложенных в статье подходов для восстановления деталей

ШВП и представление их в модульном виде, позволят обрабатывать винтовые поверхности винта и гайки ШВП по эквидистантным кривым и упростят математические модели.

Цель статьи

Целью является разработка модульных 3D моделей профилирования круга, съема припуска и формообразования поверхностей винта и гайки ШВП со скрещивающимися осями инструмента и детали и, на основе их анализа, разработка нового способа обработки винтовых поверхностей, как в процессе восстановления деталей ШВП, так и в процессе их изготовления, и разработка установки для абразивной обработки для промышленного внедрения.

Основной раздел

Решение прямой задачи теории формообразования требует математического описания профиля детали. Эта поверхность может быть описана сферическим модулем

$$\bar{r}_\delta = S_{z \cdot \theta \cdot y_\delta \cdot \varphi_\delta \cdot y_n}^\delta \cdot \bar{e}^4, \quad (1)$$

где: \bar{r}_δ – радиус-вектор точек винтовой поверхности; $S_{z \cdot \theta \cdot y_\delta \cdot \varphi_\delta \cdot y_n}^\delta$ – сферический модуль, представляющий собой матрицу перехода от начальной точки в систему координат детали; $e_4 = (0,0,0,1)^T$ – радиус-вектор начальной точки [6].

Сферический модуль, описывающий деталь, состоит из однокоординатных матриц [6]:

$$S_{z \cdot \theta \cdot y_\delta \cdot \varphi_\delta \cdot y_n}^\delta = M_3(z) M_6(\theta_\delta) \cdot M_2(y_\delta) \cdot M_4(\varphi_\delta) \cdot M_2(y_n), \quad (2)$$

где: z – осевая координата винта, θ_δ – угол поворота вокруг оси $O_\delta Z_\delta$ вращения детали; $y_\delta = R_\delta$ – расстояние от центра профиля до оси вращения детали; φ_δ – угловая координата профиля винтовой поверхности; $y_n = \rho$ – радиус профиля детали. Значение y_n может принимать положительное и отрицательное значения; положительное значение указывает на винтовую поверхность гайки, а отрицательное — винта.

Модуль (2) имеет два независимых угловых параметра θ_δ и φ_δ . Осевая координата винтовой поверхности z является функцией от угла поворота детали:

$$z = \theta_\delta \cdot p, \quad (3)$$

где: $p = \frac{S}{2\pi}$ – параметр винтового движения, S – шаг винтовой поверхности.

Исходя из формы детали, радиус-вектор инструмента в модульном виде описывается матрицей перехода

$$\bar{r}_e = M_{\delta i} \cdot \bar{r}_i, \quad (4)$$

где: $M_{\partial i}^{\partial i}$ – матрица перехода из системы координат детали в систему координат инструмента.

Матрица перехода (4) представляет собой произведение двух сферических модулей

$$M_{\partial i}^{\partial i} = S_{\theta_{\partial}, y_c}^{\partial_{\partial}} \cdot S_{\psi}^i, \quad (5)$$

где: $S_{\theta_{\partial}, y_c}^{\partial_{\partial}}$ – модуль формообразования инструмента; S_{ψ}^i – модуль угловой ориентации инструмента относительно детали.

Модуль формообразования (5) состоит из произведения двух матриц

$$S_{\theta_{\partial}, y_c}^{\partial_{\partial}} = M_6(\theta_{\partial}) \cdot M_2(y_c), \quad (6)$$

где: θ_{∂} – угол поворота системы координат детали относительно оси вращения инструмента; y_c – расстояние между осями вращения инструмента и детали.

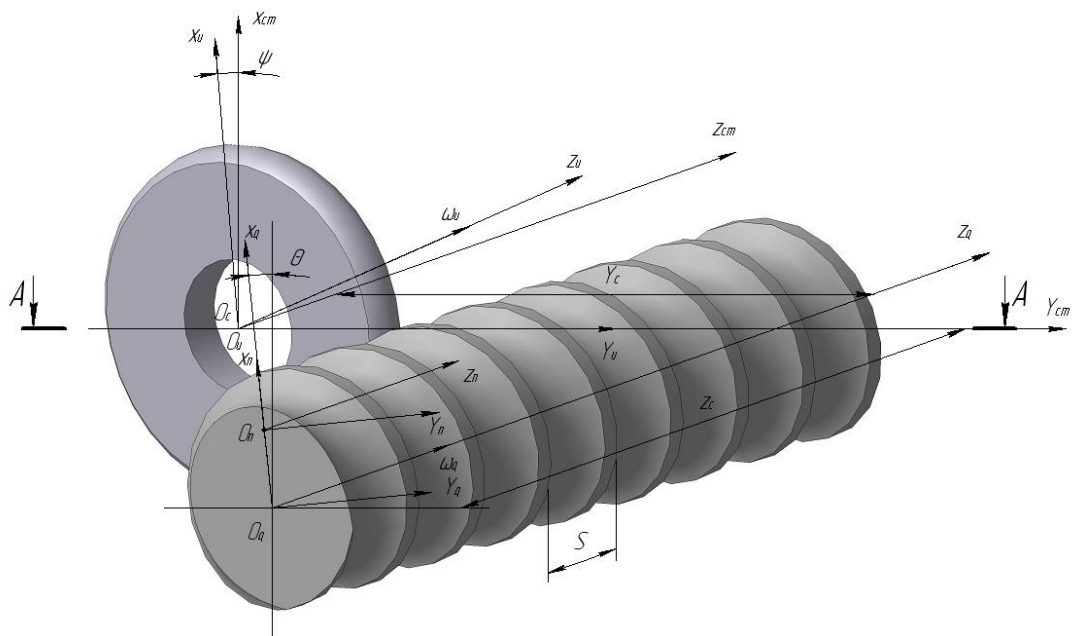


Рисунок 1 — Схема обработки поверхности винта ШВП

Модуль ориентации (5) представлен матрицей относительных поворотов

$$S_{\psi}^i = M_5(\psi), \quad (7)$$

где: ψ – угол наклона круга.

Нами предлагается осуществлять поворот круга в направлении, противоположном углу наклона винтовой поверхности, таким образом, увеличивается ход инструмента, так как оправка, на которой закреплен круг, не касается торца детали (рис. 2).

Для профилирования инструмента необходимо составить уравнение, которое определяет линию контакта

$$\bar{V}_{ид} \cdot \bar{n}_{\partial} = 0, \quad (8)$$

При однопараметрическом огибании [5] связь между параметрами $\varphi_{\dot{a}}$ и $\theta_{\dot{o}}$ имеет вид равенства нулю смешанного произведения трёх векторов частных производных вектора $\bar{r}_{\dot{e}}$.

$$\left(\frac{\partial \bar{r}_u}{\partial \varphi_{\dot{o}}} \times \frac{\partial \bar{r}_u}{\partial \theta_{\dot{o}}} \right) \cdot \frac{\partial \bar{r}_u}{\partial \tau_{\dot{o}}} = 0, \quad (9)$$

где: $\frac{\partial \bar{r}_u}{\partial \varphi_{\dot{o}}} \times \frac{\partial \bar{r}_u}{\partial \theta_{\dot{o}}} = \bar{N}_{\dot{o}}$ – вектор нормали к поверхности детали в точке с криволинейными координатами $\varphi_{\dot{o}}$, $\theta_{\dot{o}}$; $\frac{\partial \bar{r}_{\dot{e}}}{\partial \dot{a}} = \bar{V}_{\dot{a}}$ – вектор скорости относительного движения детали относительно круга; $\tau_{\dot{o}}$ – время перемещения детали, при повороте её на угол θ_u в инверсионном движении относительно оси $O_u Z_u$ круга.

Скорость движения детали (9) относительно круга определяется через матрицу перехода из системы координат детали в систему координат инструмента

$$\frac{\partial \bar{r}_u}{\partial \tau_{\dot{o}}} = \frac{\partial M_6(\theta_u)}{\partial \theta_u} \cdot \frac{\partial \theta_u}{\partial \tau_{\dot{o}}} \cdot M_{u\dot{o}}, \quad (10)$$

где: $\frac{\partial \theta_u}{\partial \tau_{\dot{o}}} = \varpi_{u\dot{o}}$ – угловая скорость поворота детали относительно оси круга.

Скалярное произведение векторов $\bar{N}_{\dot{a}}$ и $\bar{V}_{\dot{a}}$ находим, вычислив определитель

$$\bar{N}_{\dot{o}} \cdot \bar{V}_{\dot{o}} = \begin{vmatrix} X_{V_{\dot{o}}} & Y_{V_{\dot{o}}} & Z_{V_{\dot{o}}} \\ X_{\psi_{\dot{o}}} & Y_{\psi_{\dot{o}}} & Z_{\psi_{\dot{o}}} \\ X_{\theta} & Y_{\theta} & Z_{\theta} \end{vmatrix} = 0, \quad (11)$$

где: $X_{V_{\dot{o}}} Y_{V_{\dot{o}}} Z_{V_{\dot{o}}}$ – координаты вектора $\bar{V}_{\dot{o}}$; $X_{\psi_{\dot{o}}} Y_{\psi_{\dot{o}}} Z_{\psi_{\dot{o}}}$ – координаты вектора касательной $\bar{A}_{\dot{o}} = \frac{\partial \bar{r}_u}{\partial \varphi_{\dot{o}}}$; $X_{\theta} Y_{\theta} Z_{\theta}$ – координаты вектора касательной $B_{\dot{o}} = \frac{\partial \bar{r}_u}{\partial \theta_{\dot{o}}}$.

Радиус-вектор $\bar{r}_{\dot{e}}$ описывает множество инструментальных поверхностей. Выбор рациональной осуществляют на основании анализа геометрических параметров наружной поверхности детали, заготовки и снимаемого припуска δ .

Определив радиус-вектор, находим, что он описывается сферическим модулем, который подобен аналогичному модулю детали (1), но со своими параметрами

$$\bar{r}_u = S_{z \cdot \theta_u \cdot y_u \cdot \varphi_u \cdot y_n}^u \cdot \bar{e}^4, \quad (12)$$

$$S_{z \cdot \theta_u \cdot y_u \cdot \varphi_u \cdot y_n}^u = M_3(z) M_6(\theta_u) \cdot M_2(y_u) \cdot M_4(\varphi_u) \cdot M_2(y_n), \quad (13)$$

где: \bar{r}_ε – радиус-вектор точек поверхности инструмента; $S_{z \cdot \theta_u \cdot y_u \cdot \varphi_u \cdot y_n}^\delta$ – сферический модуль, представляющий собой матрицу перехода от начальной точки в систему координат инструмента; θ_ε – угол поворота вокруг оси $O_u Z_u$ вращения инструмента; $y_\varepsilon = R_\varepsilon$ – расстояние от центра профиля инструмента до его оси вращения; φ_ε – угол поворота вокруг оси $O_u Y_u$; $y_i = \rho_\varepsilon$ – радиус профиля круга.

Таким образом радиус-вектор винтовой поверхности детали описывается тремя сферическими модулями:

$$\bar{r}_{ou} = S_{\theta_\delta \cdot y}^\phi \cdot S_{\psi \cdot x}^o \cdot \bar{r}_u, \quad (14)$$

где: $S_{\theta_\delta \cdot y}^\phi = M_6(\theta_\delta) \cdot M_2(-y_c - t \cdot k)$ – модуль формообразования детали; θ_δ – угол поворота системы координат инструмента относительно оси вращения детали; $y = -y_c - t \cdot k$ – текущая координата межосевого расстояния инструмента и детали; y_c – расстояние между осями круга и детали в положении окончательного формирования поверхности детали, $a = \frac{t}{2\pi}$ – постоянная спирали Архимеда, которой в относительном движении перемещается круг при съеме припуска δ , t – величина поперечной подачи круга в направлении, перпендикулярном оси $O_\delta Z_\delta$ вращения детали, на один ее оборот; k – количество рабочих ходов, необходимых для съема припуска δ ; $S_{\psi \cdot x}^o = M_5(\pm\psi) \cdot M_1(x)$ – модуль угловой ориентации инструмента относительно детали.

Когда припуск снят, $\delta=0$ и $y=y_c$, линия контакта, которая вращается вокруг оси детали без поперечного перемещения, описывает форму обработанной поверхности с радиусом ρ_δ . На рисунке 4 представлен процесс снятия припуска. При врезании круга в деталь 2 и одновременном его наклоне будут появляться погрешности Δ_{kj} , величина которых будет уменьшаться в процессе снятия припуска. Окончательный же профиль винтовой канавки будет формироваться без погрешности, поскольку, круг правится при максимальном угле наклона, радиус проекции линии контакта круга и детали будет равен радиусу профиля канавки ρ_δ . Величина погрешностей Δ_{kj} определяется по методу наименьших квадратов и не должна превышать допусков на форму профиля канавки.

Модель (14) описывает множество поверхностей. Для определения реальной винтовой поверхности детали, необходимо составить уравнение которое описывает линию контакта.

$$\bar{V}_{ou} \cdot \bar{n}_u = 0, \quad (15)$$

где: \bar{n}_u – единичный вектор нормали к поверхности инструмента; \bar{V}_{ou} – вектор скорости относительного движения этой поверхности в системе координат детали.

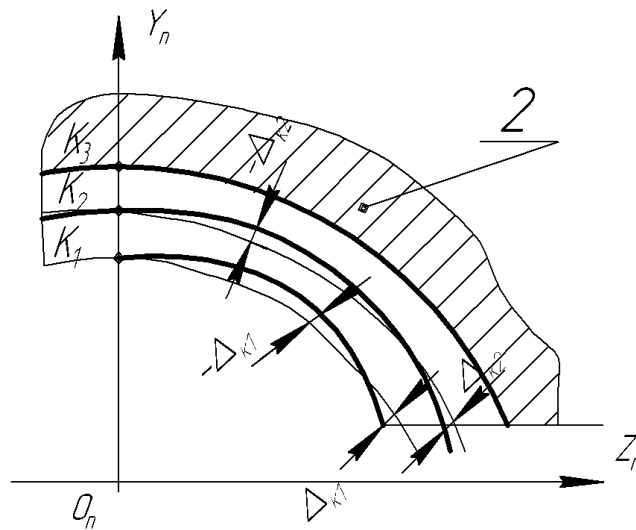


Рисунок 4 — Процесс съема припуска при обработке винта ШВП

Вращая линию контакта вокруг оси детали с осевым перемещением z , мы получим реальный контур поверхности детали.

Предложенный способ обработки реализован на кафедре интегрированных технологий и автомобилей Черниговского государственного технологического университета. Установка создана на базе универсального станка с ЧПУ мод. В3208Ф3. Впервые подобная установка позволяет обрабатывать винт и гайку ШВП. Производилась окончательная обработка восстановленного винта ШВП. Чистовая обработка винта из стали 12Х2Н4А производилась кругом 24А16СМ26К5 с режимами $V_{и}=35$ м/с, $V_{д}=2,5$ м/мин и глубиной резания 15 мкм по всему радиусному профилю.

Выводы

1. Предложенный новый способ на базе анализа моделей позволяет обрабатывать винтовые поверхности ШВП как в процессе ремонта, так и в процессе изготовления, по эквидистантным кривым с одинаковой глубиной резания по радиусному профилю, что увеличивает точность и производительность ремонта передач. Обработка всей винтовой поверхности производится при постоянном угле наклона круга, что обеспечивает одинаковые условия резания по всей длине детали и таким образом обеспечивает стабильность физико-механических свойств винтовой поверхности. Поперечная подача и поворот круга осуществляется в начале каждого рабочего хода.

2. Предложенный способ обработки наиболее рационально использовать для окончательной обработки винта и гайки ШВП, поскольку постепенное уточнение профиля детали позволяет обеспечить высокую точность обработки.

3. Разработана экспериментальная установка на базе универсального станка мод. В3208Ф3 для шлифования винтов и гаек ШВП. Использование в качестве базы для установки станка с ЧПУ, позволяет использовать ее не только на автомобилестроительных заводах, но и на автомобилеремонтных предприятиях для ремонта и восстановления деталей ШВП. В дальнейшем планируется разработать пакет прикладных программ, который позволит программировать процесс обработки без специальной подготовки технологов-программистов

Литература

1. Техника линейно-точных перемещений | Шариковые винтовые передачи SVC в автомобилестроении [Электронный ресурс]. — Электрон. текстовые данные (19216 bytes). — М: КИПиА, 2008. — Режим доступа: <http://www.itrostov.ru/3865055/> Monday, 10 November 2008 17:05:34

2. Петраков Ю.В., Субін А.А. Математична модель шліфування внутрішньої гвинтової канавки пари кочення // Вестник НТУУ «КПІ». Машиностроение, - №37, 1999, - с.63-68.

3. Эльянов Э.Д. Шлифование в автоматическом цикле. - М.: Машиностроение, 1980. - 101 с.

4. Григорьян Г.Д, Мухортов В.Н. Обеспечение стабильности профиля резьбы ходовых винтов качения // Станки и инструмент.- 1986, N12, с. 23-24.

5. Кальченко В.И. Научные основы шлифования криволинейных поверхностей с управляемой ориентацией абразивного инструмента// Диссертация докт.техн.наук. Харьков: ХГПУ.- 1994.- 329 с.

6. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. — М.: Машиностроение, 1986. — 336 с.

7. Кальченко В.І., Кальченко В.В. Проектування, виробництво та обслуговування гвинтових передач гаражного обладнання // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Збірник — Чернігів: ЧДТУ, 2008 — №34. — с.50-55.

Пропонуються модульні 3D моделі профілювання абразивного круга і формотворення гвинтових поверхонь з профілем у вигляді дуги кола для ремонту і виготовлення кулькових гвинтових передач автомобілів і гаражного устаткування.

Modules 3D models of profiling of abrasive circle and shaping of spiral surfaces of round type are offered for repair and making of ball-shaped helical gears of cars and garage equipment.