

Таким образом, радиус инструмента должен определяться исходя из четырех условий:  $R \leq R_1$  (условие непересечения поверхности детали поверхностью резания);  $R \geq R_2$  (условие качественного формирования дна пазов);  $R \geq R_3$ , условие качественного формирования боковых граней пазов) и соответствия инструмента параметрам рабочей зоны технологического оборудования.

Рассмотренная схема формообразования реализована на зубофрезерном станке модели 5A308 для обработки храповой зубчатой муфты с многократным повышенным производительности по сравнению с применяемой технологией.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов В.А., Киселев Р.А. Высокопроизводительный способ обработки плоских зубчатых контуров // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения. Сборн. научн. трудов / Под ред. С.А.Астапчика, П.А. Витязя. – Мн.: Технопринт, ПГУ, 2001. – С. 681–685.

УДК 621.91.04:621.824.42

В.А. Данилов, А.И. Костюченко, С.В. Спиридонов

## КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ МОМЕНТОПЕРЕДАЮЩИХ СОЕДИНЕНИЙ В ТРАНСМИССИЯХ МАШИН

*Полоцкий государственный университет.*

*Новополоцк*

*Минский завод “Ударник”.*

*Минск Беларусь*

Совершенствование конструкций и технологии изготовления моментопередающих соединений представляет актуальную научно-техническую проблему. Одно из направлений ее решения связано с применением профильных (бесшпоночных) соединений, которые, благодаря эксплуатационным и технологическим преимуществам, все шире применяются вместо шлицевых в технологическом оборудовании, различных машинах и механизмах [1].

В отечественном машиностроении применение профильных соединений сдерживается недостаточным практическим опытом их эксплуатации, а также нерешенностью конструкторских и технологических задач, связанных с их проектированием и изготовлением. В этой связи Полоцким государственным университетом совместно с Минским заводом “Ударник” проведена научно-исследовательская и опытно-конструктор-

ская работа, задачами которой являлись: разработка конструкции профильных моментопередающих соединений исходя из возможности их изготовления на имеющемся оборудовании; модернизация одного из агрегатов серийно изготавливаемых заводом машин путем замены шлицевых соединений на профильные; разработка технологии обработки профильных соединений; изготовление и испытание модернизированных агрегатов.

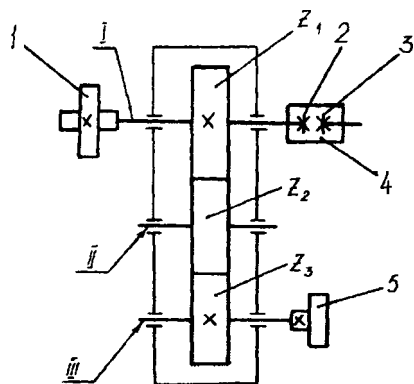


Рис. 1. Кинематическая схема редуктора отбора мощности

В качестве объекта модернизации принят основной агрегат трансмиссии погрузчика ТО-18Б – редуктор отбора мощности (рис. 1). Он имеет шлицевые соединения между ступицей 1 и валом I, шестерней Z1 и валом I, зубчатой муфтой 4 и полу муфтами 2, 3, валом-шестерней III и втулкой 5. При модернизации редуктора решены задачи выбора геометрии профильных соединений, определены их размеры, допуски и посадки, разработана технология изготовления соединений.

Форма поперечного сечения профильного соединения зависит от количества  $m$  выступов и вида контурной линии. При  $m = 1$  моментопередающее соединение представляет собой вал с лыской, сопряженный с соответствующей втулкой, или эксцентрично расположенное относительно оси вала цилиндрическое соединение. При  $m = 2$  они имеют две лыски или овальный профиль. Чаще применяются профильные соединения с 3–5 выступами.

Для модернизации редуктора применены профильные соединения с  $m = 3$  между всеми указанными деталями за исключением муфты 4, в которой полу муфты 2 и 3 выполнены овальными и повернуты относительно друг друга на  $90^\circ$ . Это обеспечивает более широкие возможности компенсации несоосности и непараллельности соединяемых валов. Форма профиля остальных соединений обусловлена тем, что при  $m=3$  обеспечивается самоцентрирование и заклинивание их деталей при действии крутящего момента, благодаря чему соединения с зазором переходят в соединения с натягом и повышается их точность [1].

Контурными линиями, ограничивающими профиль соединения, могут быть прямые, синусоидальные и циклоидальные кривые, линии равной ширины и др. Выбор вида кривой во многом зависит от имеющегося оборудования для обработки моментопередающего соединения. В настоящее время преимущественно применяются профили с равноосным контуром (РК-профиль) [1]. Аналогично синусоидальные контуры можно обозначить СК, циклоидальные – ЦК.

Для профильных соединений модернизируемого редуктора принят СК профиль. Прочность синусоидальных соединений в 2–3 раза выше, чем шпоночных и превышает прочность шлицевых соединений [2]. Преимуществом СК профиля является то, что отпадает необходимость в специальном станочном оборудовании, так как наружные и внутренние поверхности с таким профилем могут быть обработаны на токарно-заточных и модернизированных универсальных токарных станках.

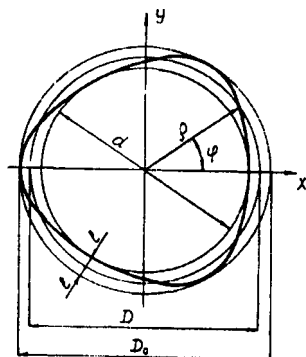


Рис. 2. Форма некруглого профиля

Некруглый профиль определяют следующие геометрические параметры (рис. 2): диаметр (радиус) вписанной окружности –  $d(r)$ , средний диаметр (радиус) профиля –  $D(R)$ , диаметр (радиус) описанной окружности –  $D_0(R_0)$ , эксцентриситет профиля  $e$ , радиус-вектор профиля  $\rho$ , угловой параметр профиля  $\varphi$ , количество выступов  $m$ . Зависимость  $\rho$  от других параметров синусоидального профиля определяется уравнением

$$\rho = R - e \cos m\varphi \quad (1)$$

Форма профиля зависит от параметров  $R$ ,  $e$ ,  $m$ . Для заданного числа выступов  $m$  в зависимости от отношения  $e/R$  она может быть выпуклой или вогнутой. В любой точке профиля кривизна  $K$  выражается

известной зависимостью

$$K = \frac{\rho^2 + 2\rho'^2 + \rho\rho''}{(\rho^2 + \rho'^2)^{3/2}}, \quad (2)$$

где  $\rho$  определяется уравнением (1).

Из технологических соображений желательно, чтобы профиль не имел вогнутых участков, что возможно, если в каждой точке  $K \geq 0$ . Из (1) и (2) следует, что в этом случае

$$\frac{e}{R} \leq \frac{1}{m^2 + 1}, \quad (3)$$

поэтому величина эксцентриситета профиля должна задаваться из условия

$$e \leq R / (m^2 + 1) \quad (4)$$

Размер профильного соединения определяется параметрами  $D$  и  $e$ . Для них используется та же система посадок, что и для круглых цилиндрических соединений, при этом точность изготовления профильного вала на один квалитет выше, чем сопряженной с ним втулки и задается по 6–10 квалитетам [1]. В настоящее время не существует единого подхода к нормированию допусков отдельных параметров профиля, за ис-

ключением среднего диаметра  $D$ . Рекомендуется [1] диаметры вписанной и описанной окружностей, а также величину двойного эксцентриситета выполнять по тому же качеству, что и параметр  $D$ . Из технологических соображений предпочтителен иной подход, когда допуск на параметры  $d$ ,  $D_0$  и величину  $2e$  устанавливается равным допуску на параметр  $D$  [3]. В этом случае параметры  $D$  и  $2e$  имеют разную точность, большую для  $D$  и меньшую на  $2e$ , что упрощает настройку станка.

Требования к точности выполнения параметров профильного соединения указываются в его условном обозначении, которое должно содержать данные о виде контурной кривой, количестве граней, среднем диаметре, двойном эксцентриситете профиля и точности выполнения параметров. Например, запись

$$CK-3-50H7/g6/3.6H8/f7$$

обозначает трехгранное профильное соединение с синусоидальным профилем, средний диаметр которого  $D=50$  мм, а двойной эксцентриситет  $2e=3,6$  мм,  $H7/g6$  и  $H8/f7$  определяют допуски соответственно на  $D$  и  $2e$ .

Значения  $D$  для профильных соединений должны соответствовать рядам диаметров круглых цилиндрических соединений. Величина же  $e$  существующими нормативными документами однозначно не регламентируется. Например, в нормальном ряде соединений с РК – профилем, применяемом в ФРГ и Австрии [4], принято  $e=(0,031-0,045)D$ , причем отношение  $e/D$  возрастает при увеличении  $D$ . Согласно же [5] нормальный ряд размеров основан на постоянстве величины  $e = D/32$ . В обоих случаях каждому значению  $D$  соответствует определенная величина  $e$ , что с технологической точки зрения неудобно из-за необходимости переналадки станка при любом изменении  $D$ . Поэтому из технологических соображений более предпочтителен принцип нормирования величины  $e$  [6], когда она постоянна при изменении параметра  $D$  в определенном диапазоне. Благодаря этому сокращается количество перенастроек станка и имеется возможность применения групповой технологии для обработки профильных деталей. Исходя из этого данный принцип задания  $e$  принят в конструкции профильных соединений модернизируемого редуктора. Размер  $D$  профильных соединений установлен на основе прочностных расчетов и условий сборки редуктора.

С учетом изложенного выше все шлицевые соединения редуктора заменены на профильные, параметры которых указаны в табл. 1.

Обработка профильных деталей осуществлена по схеме (рис. 3), реализованной на токарно-заточном станке 1Б811. Синусоидальный профиль образуется при помощи круглого кулачка 5, который установлен с эксцентриситетом  $e$  относительно оси  $L_2$  его вращения. При повороте кулачка на угол  $\psi = m\phi$  где  $\phi$ -угол поворота заготовки 1, толкатель 4 с резцом 2 перемещается в радиальном направлении на величину

$$\delta = e(1 - \cos \psi)$$

поэтому образуется синусоидальный профиль (1).

Таблица 1

Параметры моментопередающих соединений редуктора отбора мощности

Соединяемые детали	Параметры до модернизации	Параметры после модернизации
I-1	Эв. 60×3,5 11Н/10d	СК-3-56 Н9/е8 14,0 Н10/е9
I-Z <sub>1</sub>	D8×62×72 Js10/е8 ×12 F10/d10	СК-3-70 Н9/е8 14,8 Н10/е9
I(2)-4	Эв. 60×3,5 11Н/10d	СК-2-55 Н9/е8 16,0 Н10/е9
4-3	Эв. 60×3,5 11Н/10d	СК-2-55 Н9/е8 16,0 Н10/е9
III-5	D8×46×54 Js10/е8 ×9 F10/d10	СК-3-50 Н9/е8 14,0 Н10/е9

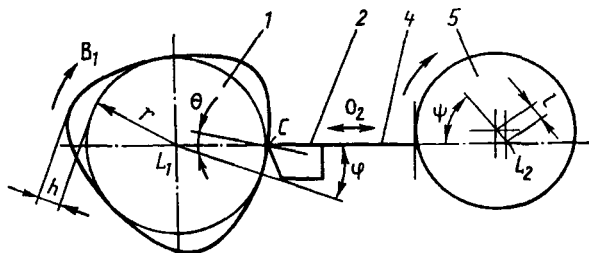


Рис. 3. Схема обработки профильных деталей

При точении некруглого профиля передний и задний рабочие углы резца изменяются в диапазоне, равном удвоенному максимальному значению угла  $\theta$  между направлением радиуса-вектора и нормалью к формируемому профилю. Для кривой, заданной в полярных координатах, величина этого угла

$$\theta = \left| \operatorname{arctg} \frac{(d\rho/d\varphi)}{\rho} \right| \quad (6)$$

Для синусоидального профиля

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{em \sin m\varphi}{R + e \cos m\varphi} \quad (7)$$

Из (7) следует, что максимальное значение  $\theta_{\max}$  имеет место при

$$\varphi = \frac{1}{m} \arccos \frac{e}{R} \quad (8)$$

С учетом  $0_{\text{max}}$  задается задний угол реза для исключения возможности затирания по задней поверхности.

Наличие возвратно-поступательного движения ограничивает производительность обработки из-за переменных инерционных нагрузок в суппортной группе станка. Поэтому при серийном изготовлении некруглых валов синусоидального профиля целесообразно использовать ротационное точение эксцентрично установленным круглым резцом [7]. Для этого могут использоваться зубошлицефрезерные станки, например, широкоуниверсальный станок модели ВС-50, производства Витебского станкостроительного завода им. Коминтерна. При соответствующем инструментальном оснащении эти станки обеспечивают также высокопроизводительную обработку некруглых поверхностей с циклоидальным и другими типами контуров [8].

По описанной схеме модернизированы два редуктора отбора мощности, которые после их стендовых испытаний были установлены на серийные погрузчики модели ТО-18Б. При испытаниях установлено снижение уровня шума, создаваемого редуктором при обеспечении всех требуемых характеристик. Длительная эксплуатация обоих погрузчиков показала нормальную работоспособность профильных моментопередающих соединений и правильность принятых при модернизации технических решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тимченко А.И. Профильные бесшпоночные соединения с равноосным контуром, их достоинства, недостатки, область применения и этапы внедрения// Вестник машиностроения. – 1990. – № 11. – С. 43–50.
2. Синкевич В.М., Микитюк Е.П. Новый вид профильных соединений в узлах судовых механизмов// Вестник машиностроения. – 1990. – № 11. – С. 60–63.
3. Аликулов Д.Е., Луидор Н.И. Применение РК-профильных соединений в сельскохозяйственном машиностроении// Вестник машиностроения. – 1990. – № 11. – С. 56–60.
4. Детали машин. Расчет и конструирование. Справочник в 3-х т. Том 1/Под ред. Н.С. Ачеркана. – М.: Машиностроение – 1968. – 440 с.
5. ОСТ 92-4742-86. Соединения профильные. Типы и основные размеры.
6. Детали машин. Атлас конструкций /Под ред. Д.Н. Решетова. М.: Машиностроение, 1970. – 360 с.
7. Данилов В.А. Механическая обработка некруглых валов ротационным инструментом// Машинист-строитель. – 1993. – № 7-8. – С. 20–21.
8. Данилов В.А., Бажин М.В., Костюченко А.И. Расширение технологических возможностей шлицефрезерных станков//СТИН. – 1996. – С. 24–29.