

УДК 621.91.04

**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ МОМЕНТОПЕРЕДАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН С КРУГОВЫМ КОНТУРОМ****д-р техн. наук, проф. В.А. ДАНИЛОВ, Ю.Ю. МАСАЛЬСКИЙ**
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрены разновидности профильных моментопередающих соединений с круговым контуром, рабочие поверхности которых ограничены эксцентрично расположенной окружностью или пересечением множества окружностей, даны рекомендации по их применению. Установлены параметры, определяющие геометрию профиля; предложена система условного обозначения профильного соединения, характеризующая значения этих параметров и точность их выполнения. Показана возможность формирования поверхностей с круговым контуром на универсальных металлорежущих станках геометрическим и кинематическим методами соответственно за счет вращения заготовки вокруг оси, не совпадающей с геометрической осью детали, при обработке поверхностей эксцентрикового соединения или согласованных вращательных движений резцовой головки и заготовки при обработке многогранных поверхностей. При обработке профильного вала охватывающим инструментом предпочтительнее применение попутной схемы обработки, характеризующейся меньшими ударными нагрузками и лучшими динамическими условиями резания.

Введение. В механизмах и трансмиссиях различных машин, технологической оснастке и инструментах наряду с традиционными шлицевыми и шпоночными соединениями все шире применяются профильные моментопередающие соединения. По сравнению со шлицевыми они технологичнее и дешевле в изготовлении, имеют из-за отсутствия концентраторов напряжений более высокую долговечность и несущую способность, отличаются меньшей шумностью и другими технологическими и эксплуатационными преимуществами [1].

На практике обычно используются моментопередающие поверхности со сложным профилем [2 – 4], обработка которых зачастую требует применения специальных станков и средств измерения. Это обстоятельство сдерживает широкое применение профильных соединений, особенно в условиях мелкосерийного производства машин. Поэтому актуальны исследования, конструкторские и технологические разработки, направленные на создание и освоение производства более технологичных профильных соединений.

Заслуживают внимания моментопередающие соединения, сопрягаемые рабочие поверхности которых спрофилированы по окружности, т.е. имеют круговой контур. Моментопередающая ступень детали такого соединения может быть ограничена одной эксцентрично расположенной цилиндрической поверхностью или множеством пересекающихся цилиндрических поверхностей. Их обработка не требует применения специальных станков и сложных инструментов (типа червячных фрез), что особенно важно для единичного и ремонтного производства.

По аналогии с принятыми обозначениями равноосного (РК) и синусоидального (СК) контуров круговые контуры обозначим (КК). К соединениям с круговым контуром относятся эксцентриковые и многогранные. Рассмотрим геометрию данного типа соединений и методы формообразования их моментопередающих поверхностей на универсальных станках.

Геометрия профиля с круговым контуром. Если моментопередающая ступень у охватываемой и охватывающей деталей выполнена в виде одной круговой цилиндрической поверхности (рис. 1, а), ось которой не совпадает с осью детали, то образуется эксцентриковое соединение. Такое соединение предназначено для применения при неподвижной ступице зубчатого колеса, шкива и т.п. или в торцовых муфтах для коммутации соосных валов.

Профили деталей моментопередающих соединений, ограниченные пересекающимися дугами окружностей, различаются количеством моментопередающих участков, а также наличием или отсутствием между ними дуг, принадлежащих одной окружности с центром на оси детали. В первом случае профиль имеет острые вершины (рис. 1, в), во втором случае он является срезанным (рис. 1, б, г).

К основным параметрам профиля с круговым контуром относятся: диаметры описанной D и вписанной d окружностей; количество моментопередающих участков m ; радиус R окружности, профилирующей рабочие участки контура. Для профиля с эксцентрично расположенной окружностью (см. рис. 1, а) важным параметром является также величина эксцентриситета e .

Детали соединения со срезанным профилем могут центрироваться по наружному диаметру охватываемой поверхности по аналогии со шлицевым соединением. Такая геометрия предпочтительна для

рассматриваемого типа, поскольку они ограничены незамкнутой линией. Количество граней m принимается обычно от 2 до 5. Профиль с $m = 2$ можно использовать в конструкциях муфт взамен зубчатых муфт. Профиль с $m = 3$ обеспечивает более высокую точность центрирования охватываемой и охватывающей деталей профильного соединения.

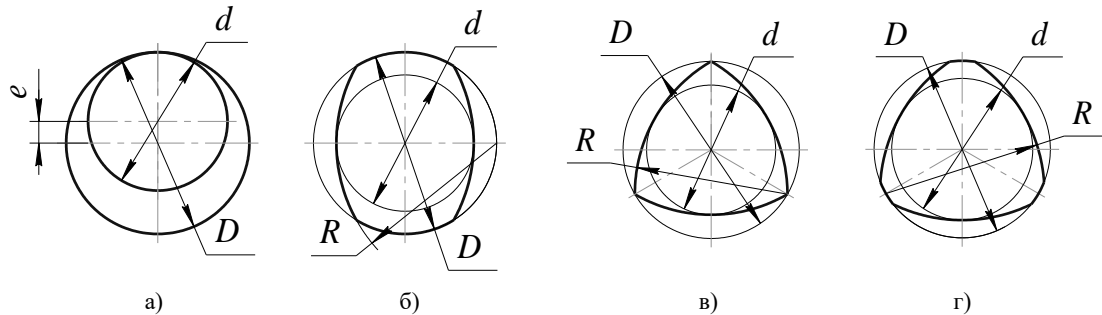


Рис. 1. Геометрия кругового профиля:

- а – профиль в виде эксцентрично расположенной окружности;
- б, г – многогранный профиль со срезанными по окружности вершинами;
- в – острровершинный профиль

Применение эксцентриковых моментопередающих соединений в случае осевой подвижности на валу охватываемой детали невозможно. Для этого предназначены многогранные соединения (см. рис. 1, б – г). На рисунке 2 схематично показано формирование такого профиля с двумя гранями, ограниченного окружностью (L) диаметром (D) и двумя пересекающимися окружностями (L_1 и L_2) одинакового радиуса (R), по которому профилируются оба моментопередающих участка профиля.

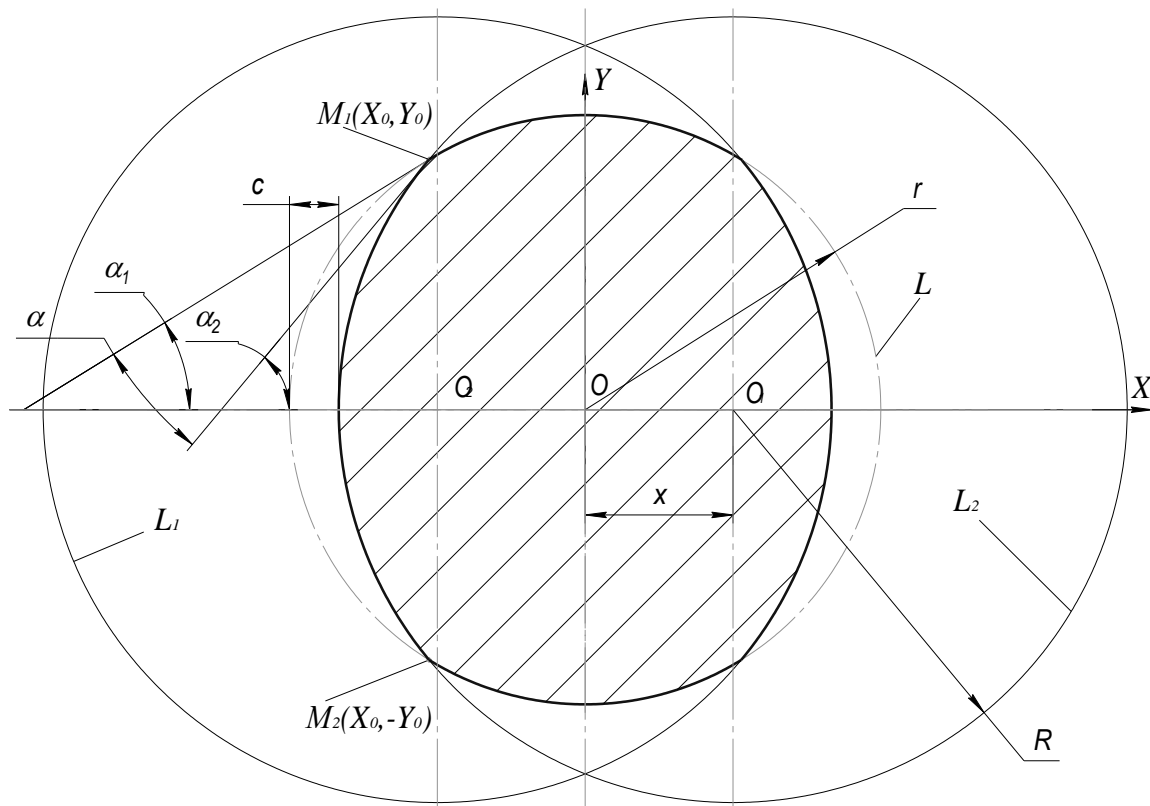


Рис. 2. Схема получения профильного вала с двумя круговыми моментопередающими участками

Уравнения окружности L радиусом $r = D/2$ с центром $O(0, 0)$, ограничивающей исходный контур, и окружности L_2 радиусом R с центром в точке $O_1(x, 0)$, ограничивающей моментопередающие участки (границы) контура, имеют соответственно вид:

$$\text{для } L: X^2 + Y^2 = r^2; \quad (1)$$

$$\text{для } L_2: (X - x)^2 + Y^2 = R^2 = (r - c + x)^2, \quad (2)$$

где $x = d/2$ – расстояние между центрами O и O_1 (эксцентриситет контура); c – максимальное отклонение профиля грани от исходного контура.

При обработке резанием профилирующая окружность может быть получена геометрическим или кинематическим методами. В первом случае это достигается, например, переустановкой заготовки путем ее поворота в четырехкулачковом несамодцентрирующем патроне или с помощью центровместителя.

Кинематическое профилирование граней по окружности достигается путем сообщения производящему элементу инструмента сложного движения, траекторией которого является окружность. При токарной обработке данное движение может быть образовано согласованным вращением заготовки и возвратно-поступательным движением резца или согласованными вращательными движениями заготовки и резцовой головки.

Геометрия многогранного контура при заданных параметрах r , R и c характеризуется координатами точек пересечения производящих окружностей L_1 и L_2 с исходной окружностью L (вершин контура). Для формирования профиля с конгруэнтными моментопередающими участками центры O_1 и O_2 окружностей L_1 и L_2 должны располагаться симметрично относительно центра O (см. рис. 2).

Координаты X , Y вершин контура находятся путем совместного решения уравнений соответствующих окружностей, например, уравнений:

$$\begin{cases} X^2 + Y^2 = r^2; \\ X^2 + Y^2 - 2Xx + x^2 = r^2 + c^2 - 2rc - 2cx + 2rx + x^2, \end{cases} \quad (3)$$

откуда

$$Y = \pm \sqrt{r^2 - \frac{(2rc + 2cx - c^2 - 2xr)^2}{4x^2}}, \quad (4)$$

где знак «плюс» относится к точке M_1 , знак «минус» – к точке M_2 .

$$X = \sqrt{r^2 - Y^2}. \quad (5)$$

Эксцентриситет x контура выбирается из условия: $0 < x < r$.

Важным параметром кругового контура является угол α , который согласно рисунку 2 определяется зависимостью: $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$, где α_2 (α_1) – угол между абсциссой и касательной к окружности L_2 (L_1) в точке M_1 .

Дифференцируя (1) и (2), соответственно имеем:

$$2X + 2YY' = 0; \quad (6)$$

$$2(X - x) + 2YY' = 0, \quad (7)$$

откуда для касательной к окружности L из (6)

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = -\frac{X}{Y}, \quad (8)$$

а для касательной к окружности L_2 из (7)

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = -\frac{X - x}{Y}. \quad (9)$$

Тогда

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1}{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} \alpha_1}. \quad (10)$$

Например, при $x = c/2$; $c = r/6$ $X = -\frac{19}{36}r$; $Y = 0,849r$; $\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\frac{19}{36}r}{0,849r} = 0,62$; $\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\frac{19}{36}r + x}{0,849r} = 1,21$;
 $\alpha = \operatorname{arctg} 0,3365 \approx 18,6^\circ$.

Таким образом, угол α находится в зависимости от параметров профиля r , x и c , которые определяют несущую способность соединения. Для нахождения предпочтительных значений угла α необходимы соответствующие теоретические и экспериментальные исследования влияния этого угла на величину передаваемого соединением крутящего момента.

В обозначении профильного соединения с круговым контуром последовательно указываются: тип профиля (КК); количество граней m ; диаметр вписанной окружности d ; наружный диаметр D ; радиус граней R и точность выполнения размерных параметров. Например, запись $КК-3-30\frac{H8}{g7}36\frac{H7}{g6}60\frac{H8}{g7}$ обозначает: соединение имеет круговой контур; трехгранное; диаметр вписанной в профиль окружности 30 мм; наружный диаметр – 36 мм; грани спрофилированы по окружности радиусом 60 мм; $\frac{H8}{g7}$, $\frac{H7}{g6}$ и $\frac{H8}{g7}$ определяют допуски по параметрам, соответственно по d , D и R .

Формообразование поверхностей эксцентриковых соединений. Образец эксцентрикового соединения, моментопередающая ступень которого выполнена в виде одной круговой цилиндрической поверхности, расположенной с эксцентриситетом относительно оси детали, изображен на рисунке 3.



Рис. 3. Образец эксцентрикового моментопередающего соединения:
а – детали соединения; б – соединение в сборе

Обработка охватываемой и охватывающей деталей эксцентрикового соединения осуществляется на токарном станке за одну установку заготовки, что является существенным преимуществом этого вида соединений. Эксцентричное расположение заготовки 1 (рис. 4) относительно оси вращения шпинделя может быть обеспечено с помощью центросместителя, при ее установке в токарном патроне с независимо перемещающимися кулачками 2 (рис. 4, а) или за счет пластины-центросместителя 3 толщиной t , устанавливаемой под один из кулачков 2 самоцентрирующего патрона (рис. 4, б) при начальном диаметре заготовки D (он же является установочным).

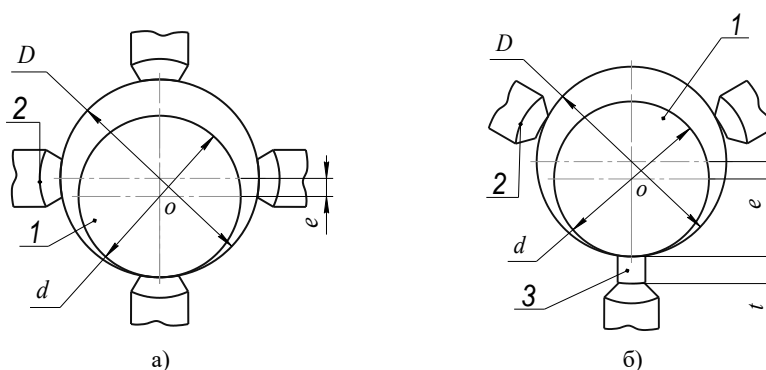


Рис. 4. Схема эксцентричной установки заготовки на токарном станке:
а – в патроне с независимым перемещением кулачков;
б – в самоцентрирующем патроне

Толщина пластины t с достаточной для практики точностью определяется по формуле:

$$t = 1,5e \left(1 + \frac{e}{2D} \right), \tag{11}$$

где e – эксцентриситет установки заготовки; D – диаметр заготовки; t – толщина пластины-центросместителя.

Зависимость (11) подтверждена компьютерным моделированием и результатами измерений изготовленных деталей эксцентриковых моментопередающих соединений.

Формообразование многогранных поверхностей. Профиль поверхности в виде окружности может быть образован методом следа, геометрическим и кинематическим методами. В первом случае ее формирование обеспечивается одним простым движением – вращением заготовки вокруг своей оси или вращением резца вокруг оси заготовки.

Геометрически производящая окружность может быть образована переустановкой заготовки путем ее поворота в четырехручачковом несоосном патроне (см. рис. 2) или с помощью центровсмещителя в трехручачковом, когда центр заготовки смещается относительно центра вращения на некоторое расстояние x . Образцы деталей, полученные точением с использованием пластины-центросмещителя в трехручачковом патроне токарного станка с последовательной переустановкой представлены на рисунке 5.



Рис. 5. Образцы деталей моментопередающего соединения с многогранным круговым срезанным контуром

Кинематически формообразование граней в виде кругового профиля возможно двумя согласованными вращательными движениями инструмента внешнего касания или охватывающего типа [5] и заготовки, имеющими равные угловые скорости, в частности на широкоуниверсальном зубошлицефрезерном станке модели ВС-50 производства Витебского станкостроительного завода «Вистан». Станок позволяет также обрабатывать многогранные поверхности с круговым профилем охватывающим инструментом на неподвижных заготовках с применением операции деления.

Схема обработки трехгранного профиля инструментом внешнего касания представлена на рисунке 6, а, охватывающим инструментом – на рисунке 6, б.

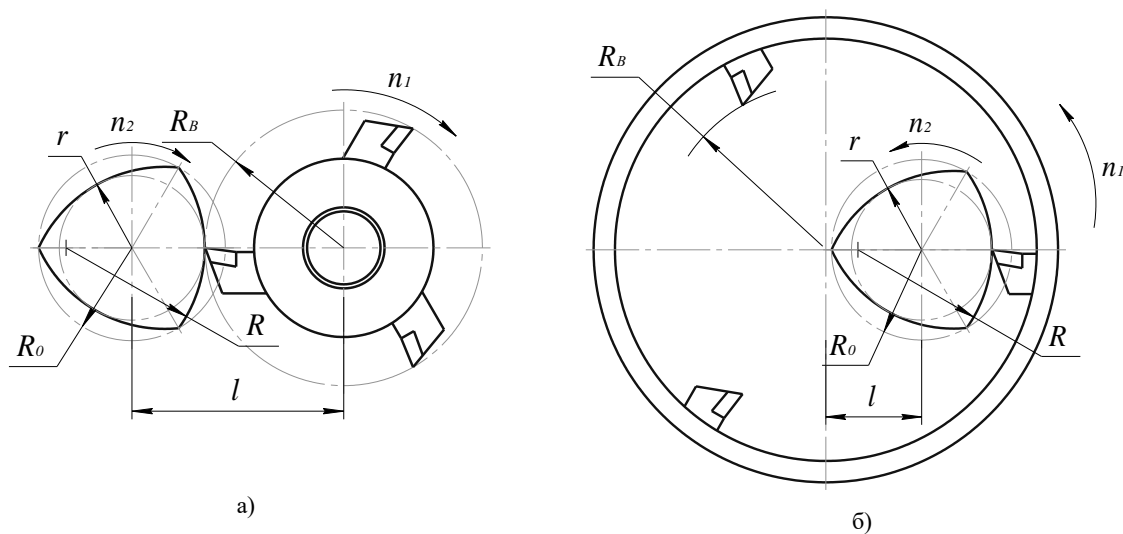


Рис. 6. Схемы формообразования трехгранного профиля с круговым контуром:
 а – резцовой головкой внешнего касания; б – охватывающей резцовой головкой;
 n_1, n_2 – частота вращения соответственно инструмента и заготовки;
 R_B – радиус расположения режущих кромок инструмента; R_0 – радиус описанной окружности профиля;
 r – радиус вписанной окружности профиля; R – радиус профиля

Траектория относительного движения производящей точки, совершающей два вращательных движения, в прямоугольной системе координат описывается уравнениями [5]:

$$\begin{cases} x = \pm l \cos \alpha \mp R \cos(\beta - \alpha); \\ y = l \sin \alpha + R \sin(\beta - \alpha), \end{cases} \quad (12)$$

где верхние знаки относятся к обработке инструментом внешнего касания, нижние – охватывающим инструментом.

В уравнениях (12) расстояние l между осями заготовки и резцовой головки составляет при обработке инструментом внешнего касания: $l = R_B + r$; при обработке охватывающим инструментом $l = R_B - r$.

Для рассматриваемого случая $i = 1$, т.е. $\beta = \alpha$, поэтому уравнения (12) преобразуются к виду:

$$\begin{cases} x = \pm l \cos \alpha \mp R; \\ y = l \sin \alpha, \end{cases} \quad (13)$$

откуда следует, что в обоих случаях обработанные поверхности спрофилированы по окружности, радиус которой равен l . При обработке профильного вала охватывающим инструментом предпочтительнее попутная схема обработки, которая характеризуется меньшими ударными нагрузками и лучшими динамическими условиями резания.

Выводы

1. Профильные моментопередающие соединения с круговым контуром могут быть ограничены одной или множеством пересекающихся цилиндрических поверхностей.
2. Формирование многогранных моментопередающих поверхностей с круговым контуром возможно кинематическим методом, обеспечивающим непрерывность процесса их обработки за счет совмещения движений деления и формообразования.
3. Возможность обработки моментопередающих поверхностей с круговым контуром на универсальных станках обуславливает их технологические преимущества по сравнению с аналогичными соединениями иной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чарнко, Д.В. Профильные соединения валов и втулок в машиностроении / Д.В. Чарнко, А.И. Тимченко // Вестник машиностроения. – 1981. – № 1.
2. Teubner, B.G. Maschinenteile / B.G. Teubner (Köler-Rognitz). – Stuttgart, 1992. – 308 с.
3. DIN 32711. Die Polygonprofile P3G (BRD), 1979.
4. DIN 32712. Die Polygonprofile P4C (BRD), 1979.
5. Данилов, В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В.А. Данилов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 264 с.

Поступила 26.01.2007