

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОГРАННЫХ ПРОФИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Непомнящих Е.В., Ильиных В.А., Линейцев В.Ю.
Забайкальский институт железнодорожного транспорта, Чита

Ключевые слова: профильные соединения, детали машин, сборочные единицы, равноосный контур, плавность замкнутой плоской кривой.

Аннотация. Определены области использования неподвижных разъемных и неразъемных профильных соединений деталей машин с равноосным контуром в отечественном машиностроении. Предложена классификация моментопередающих профильных соединений деталей машин с учетом их функционального назначения. Рассмотрены основные этапы проектирования многогранных профильных соединений типа РК-5, РК-7, а также их модификаций РК_c-5, РК_c-7 с точки зрения выбора геометрических параметров, обеспечивающих плавность замкнутых кривых и свойство равноосности. Расчетным путем определены значения эксцентриситетов, при которых кривые с равноосным контуром не имеют изломов и петель. Определены перспективы применения соединений типа РК-5 и РК_c-5 в ответственных узлах станков и машин, а именно: коробках скоростей, подач, шпиндельных узлах. В настоящее время отсутствуют результаты теоретических и экспериментальных исследований многогранных профильных соединений типа РК-5 и РК-7 в отечественной и зарубежной литературе. Не приведена обоснованная методика расчета и выбора предпочтительных типов посадок для подвижных многогранных профильных соединений. Опираясь на известные преимущества ранее исследованных профильных соединений типа РК-3 с зазором и натягом, а также разработанную методику расчета и конструирования, рассматривается возможность развития теории проектирования многогранных профильных соединений, и определение области их рационального применения. Поставлены задачи разработки методики расчета и конструирования моментопередающих соединений на основе равноосной кривой с количеством граней равным пяти и более на основе известных решений.

INVESTIGATION OF MULTI-FACETED PROFILE CONNECTIONS OF MACHINE PARTS

Nepomnyashchikh E.V., Il'inykh V.A., Lineitsev V.Yu.
Zabaikal'sk Railway Transport Institute, Chita

Keywords: profile joints, machine parts, assembly units, equiaxed contour, smoothness of a closed flat curve.

Abstract. The areas of use of fixed detachable and non-removable profile joints of machine parts with an equiaxed contour in domestic mechanical engineering are determined. A classification of torque-transmitting profile joints of machine parts is proposed, taking into account their functional purpose. The main stages of designing polyhedral profile joints of the P5, P7 type, as well as their modifications PC5, PC7 from the point of view of choosing geometric parameters that ensure the smoothness of closed curves and the property of equiaxity are considered. The values of eccentricities are calculated, at which curves with an equiaxed contour do not have kinks and loops. The prospects for the use of P5 and PC5 type connections in critical nodes of machine tools and machines, namely: gearboxes, feedings, spindle nodes, are determined. There are no results of theoretical and experimental studies of polyhedral profile compounds of the P5 and P7 types in domestic and foreign literature. A well-founded methodology for calculating and selecting preferred types of plantings for movable polyhedral profile joints is not provided. Based on the known advantages of previously studied profile connections of the P3 type with clearance and tension, as well as the developed calculation and design methodology, the possibility of developing the theory of designing multifaceted profile connections and determining the scope of their rational application is considered. The tasks of development of the method of calculation and design of moment transfer connections on the basis of an equiaxial curve with the number of faces equal to five or more on the basis of known solutions are set.

Введение

Интеграция профильных соединений деталей машин охватывает широкий спектр различных сборочных единиц, которые применяются в металлорежущих станках, автомобилях, приборах, а также механизмах железнодорожного транспорта. Служебное назначение данных

машин и механизмов определяет функциональное назначение и конструктивные особенности устройств соединений. Теоретические и экспериментальные исследования соединений привели к разработке и синтезу широкого многообразия геометрических форм профильных бесшпоночных соединений и технологий их изготовления [1, 2].

В работах [1-5] приводится классификация известных профильных соединений согласно принятым ранее классификационным признакам.

Целью данной работы является развитие теории расчета и конструирования моментопередающих многогранных профильных соединений на основе компьютерного моделирования процессов сопряжения.

Материалы и методы исследования

При исследовании профильных соединений с равноосным контуром разного функционального назначения предлагается следующая классификация моментопередающих соединений и их модификаций (рис. 1). Следует отметить, что конические соединения типа SK, HSK, BT, DBT, имеющие в поперечном сечении форму круга, также можно отнести к соединениям с равноосным контуром при значениях эксцентриситета и количестве граней профильной кривой равных нулю, поскольку они обладают свойством равноосности по определению работы [1].



Рис. 1. Классификация моментопередающих соединений с равноосным контуром

Из широкого спектра приведенных моментопередающих соединений мало изученными являются многогранные профильные соединения с равноосным контуром и их модификации типа PK-5, PK-7, PK_c-5, а также PK_c-7. Увеличение количества граней равноосной замкнутой кривой, по мнению профессора А.И. Тимченко, позволит расширить функциональные возможности профильных соединений [1].

Перспективным направлением является проектирование моментопередающих многогранных профильных соединений с тонкостенными ступицами. В работах [1-5] приводятся отдельные примеры их применения в различных узлах машин и механизмов, разработана методика расчета отдельных профильных деталей PK-3 и PK-5 соединений без учета процессов сопряжения. Приведены расчеты профильных валов на собственную и крутильную жесткость, изгибную и усталостную прочность. Предложены рекомендации по назначению типов посадок в PK-3 и PK-5 соединениях деталей машин.

В настоящее время актуальной задачей является создание новых и модернизация известных конструкций металлорежущего оборудования и технологической оснастки

российского производства. Разработка современных отечественных технологий изготовления и проектирования инновационных устройств соединений, является составной частью решения выше приведенной задачи.

Опираясь на результаты экспериментальных исследований моментопередающих профильных соединений типа РК-3 с зазором и натягом, а также разработанную в работах [4-21] методику расчета и конструирования устройств соединений представляется возможным развитие теории расчета и конструирования многогранных профильных соединений и определение области их рационального применения.

Результаты расчета кривой с равноосным контуром типа РК-5

Результаты вычислений характеристик кривой с равноосным контуром проведены при параметрах профиля: расчетный диаметр кривой с равноосным контуром равен $D = 50$ мм; количество граней кривой профиля равно $N = 5$; эксцентриситет профиля равен $e = 1,0$ мм.

При разработке моделей многогранных профильных соединений использованы формулы непрерывной кривой с равноосным контуром, заданные в параметрическом виде [1, 2, 4]:

$$\begin{aligned} X(D, f) &= (0,5D - e \cos(N \cdot f)) \cdot \cos(f) - N \cdot e \cdot \sin(N \cdot f) \cdot \sin(f), \\ Y(D, f) &= (0,5D - e \cos(N \cdot f)) \cdot \sin(f) + N \cdot e \cdot \sin(N \cdot f) \cdot \cos(f), \end{aligned} \quad (1)$$

где f – угловой параметр профиля, $0 \dots 2\pi$, рад.

В дальнейших исследованиях предполагается исследование кривых разного типа размера, эксцентриситета и количества граней. Шаг углового параметра f принят равным 0,001 рад.

Для проверки плавности кривой с равноосным контуром необходимо произвести дифференцирование исходных математических уравнений (1) по угловому параметру f .

Уравнения производных имеют вид [1, 9, 21]:

$$\begin{aligned} X'(D, f) &= -(0,5D - e \cos(N \cdot f)) \cdot \sin(f) - N^2 \cdot e \cdot \cos(N \cdot f) \cdot \sin(f), \\ Y'(D, f) &= (0,5D - e \cos(N \cdot f)) \cdot \cos(f) + N^2 \cdot e \cdot \cos(N \cdot f) \cdot \cos(f). \end{aligned} \quad (2)$$

Результаты расчетов замкнутой кривой с равноосным контуром показаны на рисунке 2. Данные кривые построены по формулам вида:

– расстояние от центра сечения до точки на профильной кривой:

$$\begin{aligned} R(D, f) &= \sqrt{X^2(D, f) + Y^2(D, f)}, \\ R'(D, f) &= \sqrt{X'^2(D, f) + Y'^2(D, f)}. \end{aligned} \quad (3)$$

– полярный угол по направлению от центра до точки на кривой:

$$\begin{aligned} \varphi(f) &= \arctg\left(\frac{Y(D, f)}{X(D, f)}\right), \\ \varphi'(f) &= \arctg\left(\frac{Y'(D, f)}{X'(D, f)}\right). \end{aligned} \quad (4)$$

На рисунке 2, а отображен в полярных координатах $\rho(\varphi)$ расчетный диаметр D (окружность радиуса R), замкнутая кривая с равноосным контуром ($R(D, f)$ – РК-5 профиль) и кривая производных координат контура ($R'(D, f)$ – пятиугольная «скругленная звезда»).

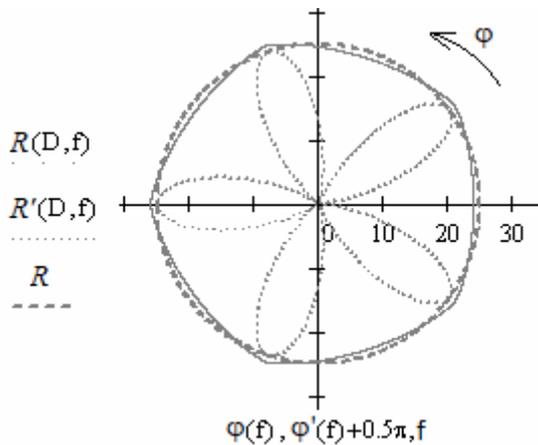
В правой части рисунка 2 (рис. 2, б) показана развертка полярного угла φ и φ' этих же кривых в прямоугольной сетке (x, y) по параметру f . Сам расчетный параметр f как функция $f(f)$ также выведен на этот график.

Полярный угол φ как функция $\varphi(f)$ показывает, как меняется положение кривой профиля равноосного контура по отношению к окружности в той же расчетной точке f . На полярном графике видно, что равноосная кривая проходит то ниже, то выше окружности того же расчетного радиуса $R = D/2$. На прямоугольном графике вид этой функции близок к повернутой на угол $+\pi/4$ синусоиде с периодом N .

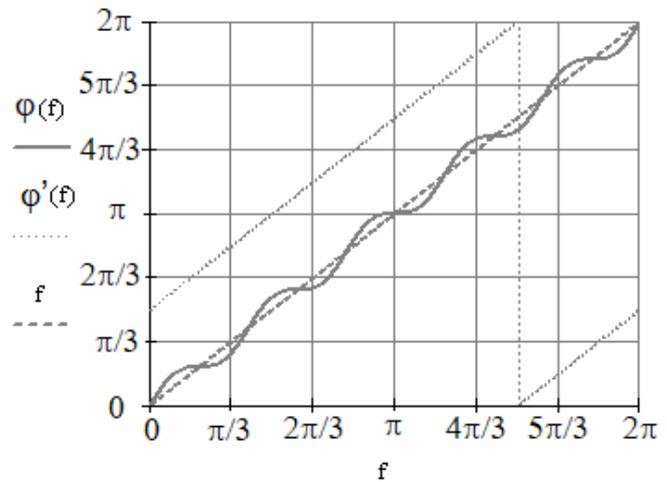
Полярный угол $\varphi'(f)$, как арктангенс отношения производных параметрических координат по параметру f , при этом имеет линейный характер. Данный угол $\varphi'(f)$ является индикатором плавности кривой равноосного контура.

Если профильная кривая равноосного контура плавная, то прямоугольный график $\varphi'(f)$ представляет собой наклонную линию с одним скачком с 2π на 0 . Вычитание из этого угла величины $\pi/2$ убирает этот скачок и линия становится ровной наклонной линией на интервале $0-2\pi$ и алгебраически совпадает с линией $f(f)$ (рис. 2, б).

При увеличении эксцентриситета e , кривая равноосного контура в местах своих вершин становится более «угловатой» по сравнению с окружностью, а при запредельных значениях эксцентриситета и вовсе теряет свойство плавности. В этом случае на полярном графике $R(D, f)$ появляются «разрывы», а на прямоугольной развертке множество скачков угла $\varphi'(f)$ на величину π (рис. 3). Это связано со сменой знака отношения производных $X'(D, f)$ и $Y'(D, f)$, стоящих в формуле (4).

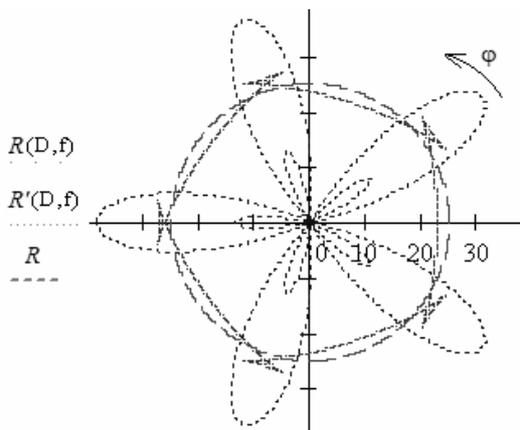


вертикально-горизонтальная шкала – это расстояние R, R' ;
угловая шкала – полярный угол φ
а

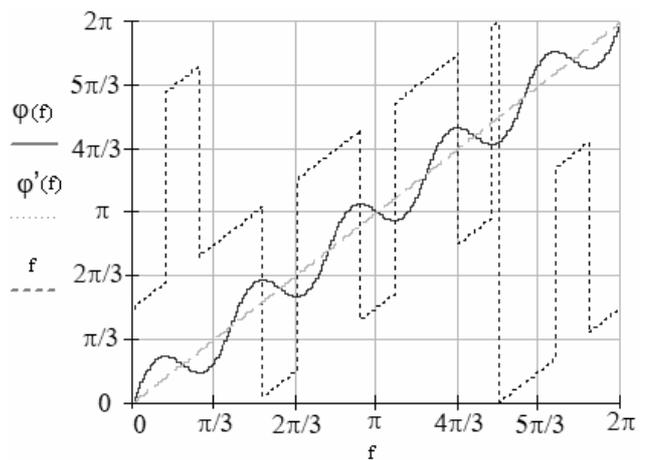


горизонтальная шкала – f , рад;
вертикальная шкала – φ, φ', f , рад
б

Рис. 2. Кривая профиля типа РК-5 при $e = 1,0$ мм:
а) полярный график $\rho(\varphi)$; б) прямоугольный график (x, y) :



вертикально-горизонтальная шкала – это расстояние R, R' ;
угловая шкала – полярный угол φ
а



горизонтальная шкала – f , рад;
вертикальная шкала – φ, φ', f , рад
б

Рис. 3. Кривая профиля типа РК-5 для запредельных значений e :
а) полярный график $\rho(\varphi)$; б) прямоугольный график (x, y) :

Наклонная часть графика вблизи функции $f(f)$ (рис. 2, б) в горизонтальном виде покажет величину отклонения (уклонения) угла профиля равноосной кривой от линии окружности того же расчетного размера в точке f .

На рисунке 4 показана зависимость угла (в градусах) уклона нормали окружности к кривой профиля типа РК-5 с равноосным контуром с числом граней, равным 5. Определяется данная кривая $\varphi_s(f)$ вычитанием из полярного угла $\varphi(f)$ полярного угла $\varphi'(f)$ и смещения – $\pi/2$, т.е.

$$\varphi_s(f) = \varphi(f) - \varphi'(f) + \pi/2. \quad (5)$$

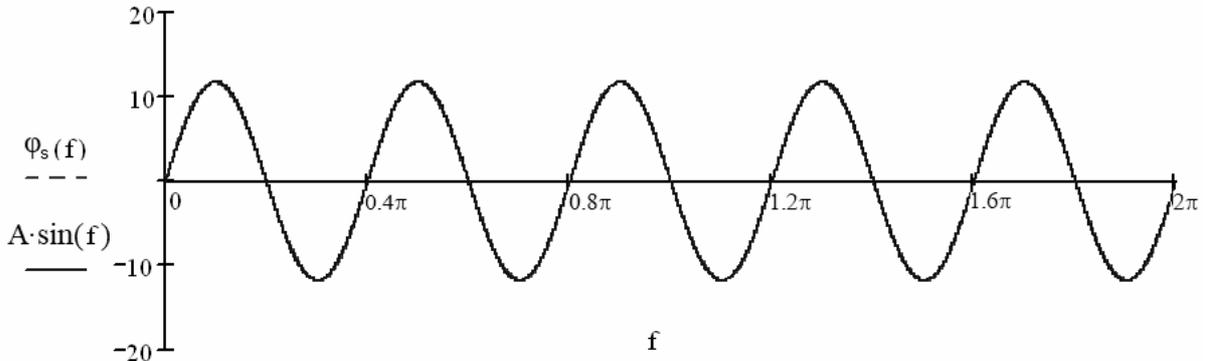


Рис. 4. Зависимость угла уклона нормали к кривой профиля типа РК-5

Первая кривая это расчетная зависимость уклонения нормали равноосной кривой (сплошная линия). Вторая кривая это идеальная синусоида с амплитудой, равной максимальному уклонению нормали кривой РК, т.е. $A = \max(\varphi_s(f))$.

Для профильной кривой при расчетном размере $D = 50$ мм, предельном эксцентриситете $e = 1,04$ мм и количестве граней $N = 5$, максимальная величина уклонения равна $A = 11,7774981$ градусов. При этом кривая уклонения $\varphi_s(f)$ практически не отличается от идеальной синусоиды амплитуды A .

Проверка кривой на равноосность показывает, что постоянство длины нормали (среднего диаметра) между противоположными параллельными касательными, проведенными к профилю, обеспечивается в каждой точке профильной кривой типа РК-5 точностью 10 (рис. 5).

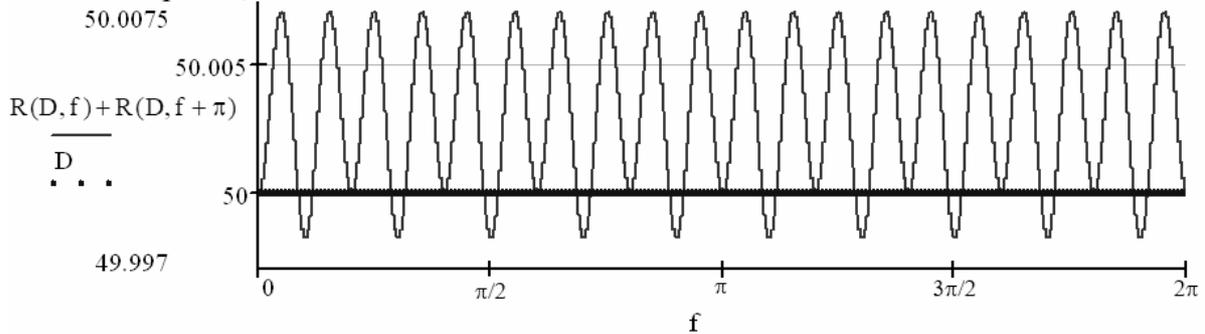


Рис. 5. Длина нормали между противоположными точками кривой с равноосным контуром типа РК-5

Установлено, что при расчетном посадочном диаметре $D = 50$ мм плавность кривой с равноосным контуром профиля РК-5 достигается при значении эксцентриситета вплоть до 1,04 мм. Близкий к данному значению и небольшой по абсолютной величине эксцентриситет позволяет изготовить данный профиль путем применения известной технологии изготовления РК-3 профильных валов и втулок [1, 2].

Расчетами установлено, что пятигранный профиль типа РК-5 обладает свойством равноосности, не имеет петель и изломов при значениях эксцентриситета в интервале от 0,80 до 1,04 мм.

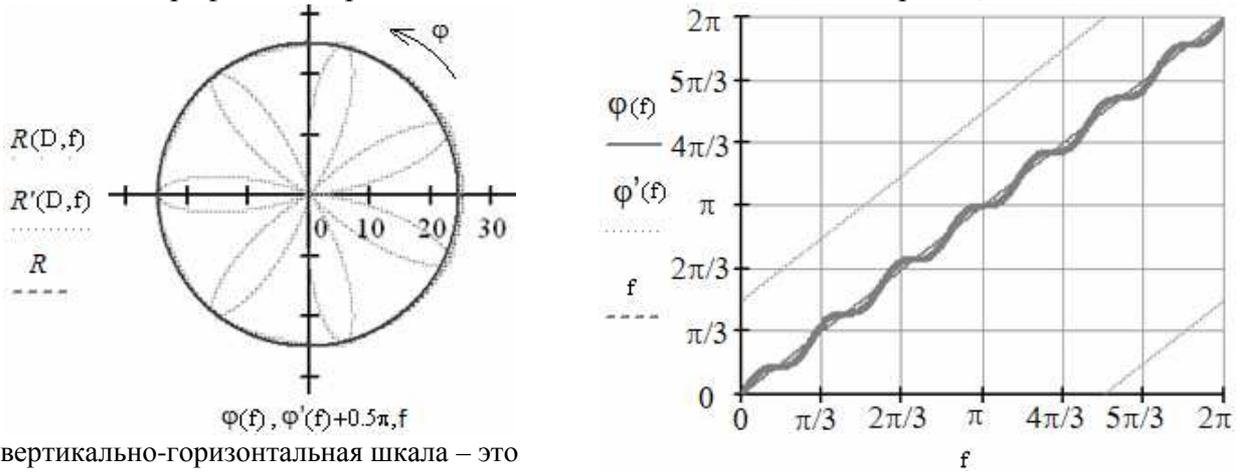
Результаты расчета кривой с равноосным контуром типа РК-7

На рисунке 6 приведены результаты вычислений характеристик кривой с равноосным контуром для принятых значений параметров кривой РК-7: $D = 50$ мм, $N = 7$ и $e = 0,52$ мм.

На рисунке 7 показана зависимость угла (в градусах) уклона нормали окружности к кривой профиля типа РК-7 с равноосным контуром с числом граней равным 7.

Для профильной кривой при расчетном размере $D = 50$ мм, предельном эксцентриситете $e = 0,52$ мм, количестве граней $N = 7$, максимальная величина уклонения равна $A = 8,2983971$ градусов. При этом кривая уклонения $\varphi_s(f)$ также практически не отличается от идеальной синусоиды амплитуды A .

Проверка кривой на равноосность показывает, что постоянство длины нормали между противоположными параллельными касательными проведенными к профилю обеспечивается в каждой точке профильной кривой типа РК-7 точностью до 2,5 мкм (рис. 8).



вертикально-горизонтальная шкала – это расстояние R, R' ;
угловая шкала – полярный угол φ

горизонтальная шкала – f , рад;
вертикальная шкала – φ, φ', f , рад

Рис. 6. Кривая профиля типа РК-7 при $e = 0,52$ мм:
а) полярный график $\rho(\varphi)$; б) прямоугольный график (x, y) :

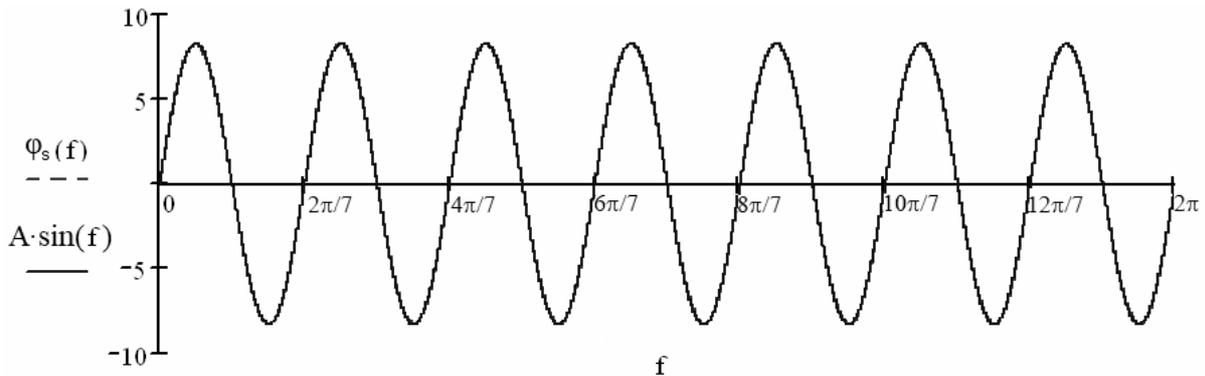


Рис. 7. Зависимость угла уклона нормали к кривой профиля типа РК-7

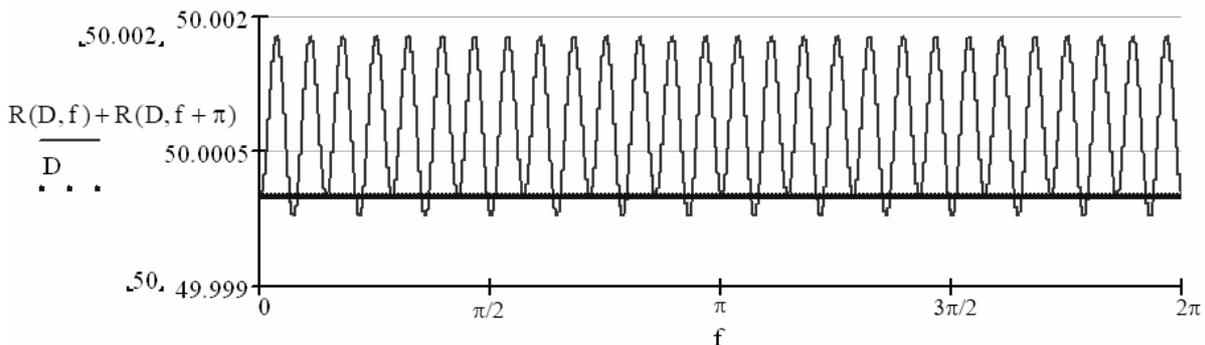


Рис. 8. Длина нормали между противоположными точками кривой с равноосным контуром типа РК-7

Установлено, что при расчетном посадочном диаметре $D = 50$ мм плавность кривой с равноосным контуром профиля РК-7 достигается при значении эксцентриситета вплоть до 0,52 мм.

Таким образом, профиль типа РК-7 в поперечном сечении детали вала или отверстия втулки обладает свойством равноосности, а именно: имеет неизменное расстояние между двумя параллельными касательными и общую нормаль в точках касания.

Заключение

Установлено, что для среднего посадочного диаметра 50 мм плавность и равноосность замкнутой кривой с числом граней равным пяти (тип РК-5) обеспечивается при значении эксцентриситета от 0,80 до 1,04 мм, а при семи гранях (РК-7) – при значении эксцентриситета от 0,49 до 0,52 мм.

Результаты теоретических исследований, проведенных путем применения компьютерных технологий, а также технологий изготовления инновационных профильных соединений устройств, создают предпосылки для решения актуальной научной задачи синтеза и внедрения многогранных профильных соединений РК-5 и РК-7 в металлорежущие станки отечественного производства.

Список литературы

1. Тимченко А.И. РК-профильные соединения и их применение в различных отраслях промышленности // СТИН. – 1993. – №2. – С. 13-18.
2. Зенин Н.В., Камсюк М.С. Технологические методы формообразования поверхностей бесшпоночных соединений // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2005. – № 9. – С. 35-40.
3. Моргунов А.П. Разработка и обеспечение прочности профильных неподвижных неразъемных соединений: дисс. ... докт. техн. наук. – Омск, 1998. – 448 с.
4. Индаков Н.С. К исследованию крутильной жесткости и износостойкости профильных соединений // Технология машиностроения: сборник научных трудов – Тула: ГПИ, 1977. – С. 132-133.
5. Корзюков Н.П., Дмитриев Н.И. Повышение кинематической точности зубчатых передач при применении профильного соединения зубчатого колеса с валом // Вестник машиностроения. – 1990. – № 11. – С. 54-55.
6. Данилов В.А., Данилов А.А. Анализ и реализация методов формообразования некруглых поверхностей профильных моментопередающих соединений // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. – 2014. – № 11. – С. 8-17.
7. Украженко К.А. Высокоэффективная модульная расточная инструментальная система // СТИН. – 2000. – №6. – С. 36-37.
8. Прецизионные системы закрепления концевой инструмента // Мирпром [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mirprom.com/public/precizionnye-sistemy-zakrepleniya-koncevogo-instrumenta.html>.
9. Ильиных В.А., Ярилов В.Е., Рожкова Е.А. Оценка точности и прочности модульной системы вспомогательного инструмента на основе профильных соединений // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2019. – Т. 23, № 3(146). – С. 451-462.
10. Musyl R. Die kinematische Entwicklung der Polygonkurve aus dem K-Profil // Maschinenbau und Wärmewirtschaft. 1955, no. 2, pp. 33-36.
11. DIN 32711-1(2009-03). Shaft to collar connection – Polygon profil P3G. Part 1: Generalities and geometry. – Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2009. – 9 p.
12. DIN 32711-2(2009-03). Shaft to collar connection – Polygon profil P3G. Part 2: Calculation and dimensioning. – Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2009. – 8 p.
13. DIN 32712-1-2009. Shaft to collar connection – Polygon profile P4C. Part 1: Generalities and geometry. – Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2009. – 9 p.
14. DIN 32712-2-2009. Shaft to collar connection – Polygon profile P4C. Part 2: Calculation and dimensioning. – Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2009. – 8 p.
15. Данилов В.А., Борис Е.В. Повышение долговечности приводов машин и механизмов на основе применения профильных моментопередающих соединений // Вестник Барановичского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2020. – № 8. – С. 25-34.
16. Курносов Н.Е., Евтюшкин А.И. Возможности использования и расширения сферы применения профильных бесшпоночных соединений // Вестник Пензенского государственного университета. – 2013. – № 3. – С. 75-78.
17. Урин А.М. Назначение допусков и посадок РК-профильных соединений // СТИН. – 1993. – № 6. – С. 13-14.
18. Grossmann C. Fretting Fatigue of Shape Optimized Polygon-Shaft-Hub Connections. Doctor's thesis. – Berlin, 2007. – 156 p.
19. Данилов В.А., Прушак В.Я. Научно-техническое обеспечение применения профильных моментопередающих соединений в горных машинах и оборудовании // Горная механика. – 2009. – № 2. – С. 5-13.

20. Попок Н.Н. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Часть 2. Механизмы крепления модулей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – № 11. – С. 11-19.
21. Ziaei M. Untersuchungen der Spannungen und Verschiebungen in P4C-Welle-Nabe-Verbindungen mittels der Methode der finiten Elemente: Diss. Th. – Darmstadt, 1997. – 128 p.

References

1. Timchenko A.I. P3-profile connections and their application in various industries // STIN. 1993, no. 2, pp. 13-18.
2. Zenin N.V., Kamsyuk M.S. Technological methods of forming surfaces of keyless joints // Assembly in mechanical engineering instrument-making industry. 2005, no. 9, pp. 35-40.
3. Morgunov A.P. Development and maintenance of strength of profile fixed joints: doss ... doct. of tech. sc. – Omsk, OmSTU, 1998. – 448 p.
4. Indakov N.S. To the study of torsional stiffness and wear resistance of profile joints // Mechanical engineering technology: collection of scientific papers – Tula: TPI, 1977. – P. 132-133.
5. Korzyukov N.P., Dmitriev N.I. Improving the kinematic accuracy of gears when using a profile connection of a gear wheel with a shaft // Bulletin of mechanical engineering. 1990, no. 11, pp. 54-55.
6. Danilov V.A., Danilov A.A. Analysis and implementation of methods for the formation of non-circular surfaces of profile moment-transmitting compounds // Bulletin of the Polotsk State University. Series B: Industry. Applied sciences. 2014, no. 11, pp. 8-17.
7. Ukrazhenko K.A. High-performance modular boring tool system // STIN. 2000, no. 6, pp. 36-37.
8. Precision systems for fixing the end tool // Mirprom [Electronic resource]. – Access mode <https://mirprom.com/public/precizionnye-sistemy-zakrepleniya-koncevogo-instrumenta.html>.
9. Ilinykh V.A., Yarilov V.E., Rozhkova Ye.A. Evaluation of the accuracy and strength of the modular system of auxiliary tools based on profile connections// Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2019, vol. 23, no. 3, pp. 451-462.
10. Musyl R. Die kinematische Entwicklung der Polygonkurve aus dem K-Profil // Maschinenbau und Wärmewirtschaft. 1955, no. 2, pp. 33-36.
11. DIN 32711-1(2009-03). Shaft to collar connection – Polygon profil P3G. Part 1: Generalities and geometry. – Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2009. – 9 p.
12. DIN 32711-2(2009-03). Shaft to collar connection – Polygon profil P3G. Part 2: Calculation and dimensioning. – Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2009. – 8 p.
13. DIN 32712-1-2009. Shaft to collar connection – Polygon profile P4C. Part 1: Generalities and geometry. – Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2009. – 9 p.
14. DIN 32712-2-2009. Shaft to collar connection – Polygon profile P4C. Part 2: Calculation and dimensioning. – Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2009. – 8 p.
15. Danilov V.A., Boris E.V. Increasing the durability of drives of machines and mechanisms based on the use of specialized moment-transmitting connections // Bulletin of Baranovichi State University. Series: Technical Sciences. 2020, no. 8, pp. 25-34.
16. Kurnosov N.E., Evtuyshkin A.I. Opportunities for the use and expansion of the scope of application of profile keyless joints // Bulletin of the Penza State University. 2013, no. 3, pp. 75-78.
17. Urin A.M. Assignment of tolerances and fits of RK-profile connections // STIN. 1993, no. 6, pp. 13-14.
18. Grossmann C. Fretting Fatigue of Shape Optimized Polygon-Shaft-Hub Connections. Doctor's thesis. – Berlin, 2007. – 156 p.
19. Danilov V.A., Prushak V.Ya. Scientific and technical support for the use of specialized moment-transmitting compounds in mining machines and equipment // Mining mechanics. 2009, no. 2, pp. 5-13.
20. Popok N.N. Analysis of tool system design trends. Part 2. Module fastening mechanisms // Bulletin of the Polotsk State University. Series B: Industry. Applied sciences. 2012, np. 11, pp. 11-19.
21. Ziaei M. Untersuchungen der Spannungen und Verschiebungen in P4C-Welle-Nabe-Verbindungen mittels der Methode der finiten Elemente: Diss. Th. – Darmstadt, 1997. – 128 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Непомнящих Евгений Владимирович – старший преподаватель кафедры строительства железных дорог	Nepomnyashchikh Evgenyi Vladimirovich – senior lecturer of the Department of building of railways
Ильиных Виктор Анатольевич – доктор технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной механики и математики	Il'inykh Victor Anatolievich – doctor of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of applied mechanics and mathematics
Линейцев Владимир Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительства железных дорог nepom84@mail.ru	Lineitsev Vladimir Yrievich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of building of railways

Получена 11.07.2024