

Научная статья

УДК 621.815

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-32-41

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТАКТА ДЕТАЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ СПИРАЛЕВИДНОГО ФРИКЦИОННО-ПРОФИЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Воячек Игорь Иванович,  
Кочетков Денис Викторович,  
Грошев Антон Александрович

Пензенский государственный университет

\*для корреспонденции: voyachek@list.ru



### Информация о статье

Поступила:

16 мая 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

25 июля 2024 г.

Принята к публикации:

29 августа 2024 г.

Опубликована:

26 сентября 2024 г.

### Ключевые слова:

спиралевидное фрикционно-  
профильное соединение;  
конструктивные параметры;  
процесс сборки; параметры  
контакта; контактное  
давление

### Аннотация.

**Актуальность и цели.** Среди неподвижных соединений деталей определенные преимущества имеет спиралевидное фрикционно-профильное соединение (СФПС), свойства которого недостаточно изучены. При обеспечении качества СФПС, которое определяется параметрами контакта сопрягаемых поверхностей деталей, необходимо рассматривать совместное влияние его конструктивных параметров и процессов обработки сопрягаемых поверхностей и сборки соединения в рамках интеграционной системы конструкторско-технологического проектирования. Цель работы – определение влияния конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на свойства контакта деталей СФПС.

**Материалы и методы.** Определение параметров контактирования деталей в СФПС ведется аналитическим методом с учетом конструкции и особенностей процессов обработки деталей и сборки соединения. Определение контактного давления сопрягаемых поверхностей СФПС и цилиндрического соединения с натягом (СН) осуществляется путем моделирования методом конечных элементов.

**Результаты и выводы.** На возможность обеспечения заданных функциональных свойств СФПС, которые определяются параметрами контакта деталей, существенно влияет процесс сборки соединений, а также технология обработки сопрягаемых поверхностей. Важнейшим сборочным параметром является угол относительного поворота деталей, необходимый для образования заданного уровня натяга, предложена методика его определения. При исследовании номинального контактного давления в СФПС установлено, что данный параметр близок к контактному давлению в цилиндрическом СН, методику проектирования которого можно использовать и при проектировании СФПС с учетом его конструктивных и технологических особенностей.

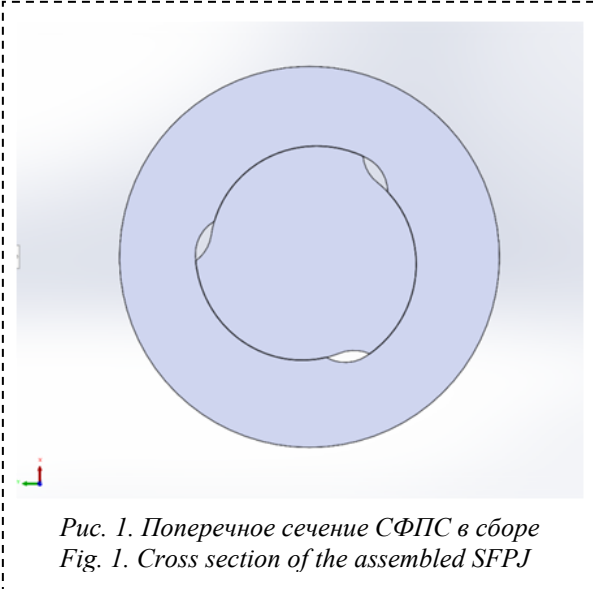
**Для цитирования:** Воячек И.И., Кочетков Д.В., Грошев А.А. Особенности формирования контакта деталей при сборке спиралевидного фрикционно-профильного соединения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4 (164). С. 32-41. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-32-41, EDN: CDMIPG

### Введение

Наиболее эффективным методом обеспечения качества разнообразных неподвижных соединений деталей машин является управление контактным взаимодействием сопрягаемых

поверхностей деталей на основе совершенствования системы гетерогенного контакта на этапах проектирования, изготовления и сборки соединений [1–22].

В настоящее время перспективным является применение фрикционно-профильных неподвижных соединений с коническими [2, 12, 14] и спиралевидными [8, 9] сопрягаемыми поверхностями деталей, соединений с равноосным контуром [4, 5, 10, 14, 17] и других [15, 20–22].



Соединения со спиралевидными сопрягаемыми поверхностями сочетают преимущества профильных соединений и соединений с натягом (Рис. 1), но недостаточно изучены.

При сборке спиралевидного фрикционно-профильного соединения (СФПС) формируются такие параметры контакта деталей, как номинальная и фактическая площади контакта, натяг, номинальное контактное давление, сила трения покоя и др.

Технология сборки СФПС может быть различная, и один из основных вариантов технологии заключается в следующих операциях:

1. Осевое ориентирование деталей с определенным сборочным зазором и с обеспечением оппозитного расположения сопрягаемых спиралевидных поверхностей;

2. Относительный поворот деталей на определенный угол до устранения сборочного зазора (до соприкосновения сопрягаемых поверхностей);

3. Относительный поворот деталей после соприкосновения на определенный угол до образования заданного натяга между сопрягаемыми поверхностями. При этом можно фиксировать усилие поворота как параметр, позволяющий оценить несущую способность СФПС.

На Рис. 1 представлена модель трехсекторного соединения после сборки с образованием натяга.

Ниже приведено параметрическое описание процесса сборки СФПС.

Необходимо отметить, что при определении параметров удобнее и точнее использовать понятия «радиальный зазор» и «радиальный натяг», особенно при нечетном количестве спиралевидных секторов, например, у 3-секторного соединения.

#### Определение параметров контактирования в СФПС при сборке

Для описания параметров используются следующие обозначения:

- $m$  – число спиралевидных секторов;
- $R_{\max}$  и  $R_{\min}$  – максимальный и минимальный радиусы спиралевидного сектора;
- $l$  – длина соединения в осевом направлении;
- $r_{\text{вп}}$  – радиус впадины между секторами спиралевидного профиля;
- $S_{R,\min}$  и  $S_{R,\max}$  – сборочные минимальный и максимальный радиальные зазоры между сопрягаемыми поверхностями деталей;
- $N_R^p$  – радиальный расчетный натяг, который должен образоваться при затягивании соединения;
- $\Delta N_{R,\min}$  и  $\Delta N_{R,\max}$  – минимальное и максимальное значение поправки на срез и смятие неровностей на сопрягаемых поверхностях в радиальном выражении;
- $k$  – величина смещения точки на спирали по радиусу при повороте на угол, равный одному радиану (градусу);
- $\gamma$  – угол клиновидности спиралевидного профиля.

Для примера рассматривается СФПС с  $m = 3$ ,  $R_{\max} = 15$  мм и  $R_{\min} = 14$  мм,  $r_{\text{вп}} = 5$  мм.

Сборочный зазор в СФПС изменяется в соответствии с точностными возможностями метода обработки сопрягаемых поверхностей и выбранной посадкой с зазором. При чистовом фрезеровании можно достигнуть 7 качества, поэтому выбирается посадка  $\text{Ø}30 \text{ H7/f7}$  (зазоры в радиальном выражении  $S_{R,\min} = 10$  мкм и  $S_{R,\max} = 31$  мкм).

Поправка на срез и смятие неровностей зависит от шероховатости сопрягаемых поверхностей. При чистовом фрезеровании можно обеспечить параметры  $Ra = (1,6 - 3,2)$  мкм или  $Rz = (6,4 - 12,8)$  мкм. Таким образом, поправка в радиальном выражении изменяется в пределах (с учетом двух поверхностей и среза половины высоты неровностей)  $\Delta N_{R,\min} = (Rz_1 + Rz_2)/2 = (6,4 + 6,4)/2 = 6,4$  мкм и  $\Delta N_{R,\max} = 12,8$  мкм.

Расчетный натяг, обеспечивающий передачу соединением эксплуатационной нагрузки, можно определить с применением методики проектирования цилиндрического соединения с натягом, что подтверждается проведенными исследованиями. Принимается, что радиальный

расчетный натяг равен  $N_R^p = 0,033$  мм. Таким образом, суммарный радиальный расчетный натяг в СФПС с учетом поправки на срез и смятие неровностей равен:

$$N_R = N_R^p + \Delta N_R,$$

$$N_{R,\min} = 0,033 + 0,0064 = 0,0394 \text{ мм},$$

$$N_{R,\max} = 0,033 + 0,0128 = 0,0458 \text{ мм}.$$

Параметр  $k$  спирали Архимеда определяется по формуле:

$$k = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{\varphi_{\max}},$$

где  $\varphi_{\max}$  – угол, охватывающий весь спиралевидный сектор.

Для трехсекторного соединения:

$$k = \frac{15-14}{120^\circ} = 0,00833335 \text{ мм/град.}$$

Синус угла клиновидности спиралевидного профиля можно определить по формулам (для трехсекторного соединения):

$$\sin \gamma = \frac{3(R_{\max} - R_{\min})}{2\pi R_{\max}} = \frac{k \cdot 180^\circ}{\pi R_{\max}}$$

$$= \frac{0,00833335 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 15} = 0,03185,$$

$$\gamma = 1,825 \text{ град.}$$

Длина бесконтактной зоны профиля  $L_{\text{БК}}$  в соединении деталей на одном секторе при наличии радиуса  $r_{\text{вп}}$ , при выборе сборочного зазора  $S_R$  и сформированном натяге  $N_R$  определяется по формуле:

$$L_{\text{БК}}(m) = \sqrt{\Delta R(2r_{\text{вп}} - \Delta R)} + \frac{S_R + N_R}{\sin \gamma(m)},$$

где  $\Delta R = R \sin \gamma_{\max}$ .

Для трехсекторного соединения при подстановке минимальных и максимальных значений параметров длина бесконтактной зоны равна:

$$L_{\text{БК}}(3) \min = \sqrt{1(2 \cdot 5 - 1)} + \frac{0,01 + 0,0394}{0,03185} =$$

$$= 3 + 1,551 = 4,551 \text{ мм},$$

$$L_{\text{БК}}(3) \max = \sqrt{1(2 \cdot 5 - 1)} + \frac{0,031 + 0,0458}{0,03185} =$$

$$= 3 + 2,411 = 5,411 \text{ мм}.$$

На всем профиле сопряжения данный параметр для трехсекторного соединения равен:

$$\sum L_{\text{БК}}(3) \min = 13,653 \text{ мм},$$

$$\sum L_{\text{БК}}(3) \max = 16,233 \text{ мм}.$$

Длина контакта сопрягаемых поверхностей в поперечном сечении для цилиндрического соединения с натягом при среднем радиусе  $R_{\text{ср}} = 14,5$  мм равна  $L_{\text{к, ссн}} = 2\pi R_{\text{ср}} = 91,06$  мм. Таким образом, номинальная площадь контакта в СФПС при данных параметрах на (15–17,8)% меньше, чем у цилиндрических соединений с натягом (ССН), что нужно учитывать при проектировании СФПС.

При сборке СФПС необходимо обеспечивать заданные углы относительного поворота деталей от начального положения, которое можно

Таблица 1. Характеристики материала

Table 1. Material characteristics

Модуль упругости, Н/м <sup>2</sup>	$2,14 \cdot 10^{11}$
Коэффициент Пуассона	0,29
Предел текучести, Н/м <sup>2</sup>	$7,35 \cdot 10^8$

зафиксировать при относительном повороте деталей в направлении, обратном направлению затяжки до соприкосновения поверхностей. В этом положении сборочный зазор в конкретном соединении максимальный.

Суммарный угол поворота при выборе посадочного зазора и образования заданного натяга с учетом поправки на срез и смятие неровностей равен:

$$\sum \alpha = \frac{S_R + N_R}{k}.$$

Таким образом

$$\sum \alpha = \frac{0,01 + 0,0394}{0,00833} \text{ град} \quad \min$$

$$\sum \alpha = \frac{0,031 + 0,0458}{0,00833} \text{ град} \quad \max$$

Если угол отсчитывать от момента соприкосновения поверхностей после выбора зазора, то есть определять угол поворота для образования заданного натяга, то:

$$\sum \alpha = \frac{0,0394}{0,00833} \text{ град} \quad \min$$

$$\sum \alpha = \frac{0,0458}{0,00833} \text{ град} \quad \max$$

Если учитывать только радиальный расчетный натяг (без поправки на срез и смятие неровностей), то угол поворота равен:

$$\sum \alpha = \frac{0,033}{0,00833} \text{ град} \quad \min \approx 4 \text{ град.}$$

**Определение контактного давления при моделировании напряженно-деформированного состояния деталей СФПС и цилиндрического ССН**

Для доказательства принципиальной возможности использования традиционной методики проектирования [1] цилиндрического ССН для СФПС был проведен расчет номинального контактного давления в цилиндрическом ССН с одинаковой величиной натяга ( $N_R^p = 0,033$  мм) и соответствующих геометрических и физико-механических параметров.

Величина радиуса ССН была задана как средняя величина радиусов СФПС, таким образом, посадочный диаметр  $D = 29$  мм. Вал сплошной, наружный диаметр втулки 50 мм. Посадочная длина соединений в осевом направлении равна  $l = 20$  мм. Коэффициент трения в зоне контакта задавался  $f = 0,1$ .

Параметры материала вала и втулки (сталь 35Х с закалкой) приведены в Таблице 1.

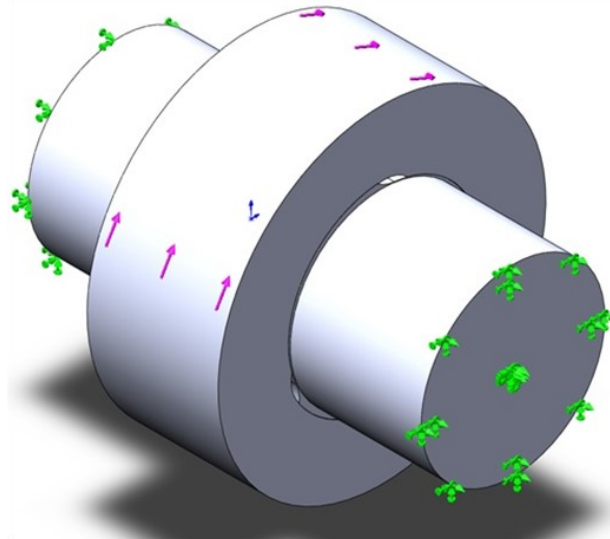


Рис. 2. Модель соединения, исследуемая методом конечных элементов  
 Fig. 2. Joint model studied by finite element method

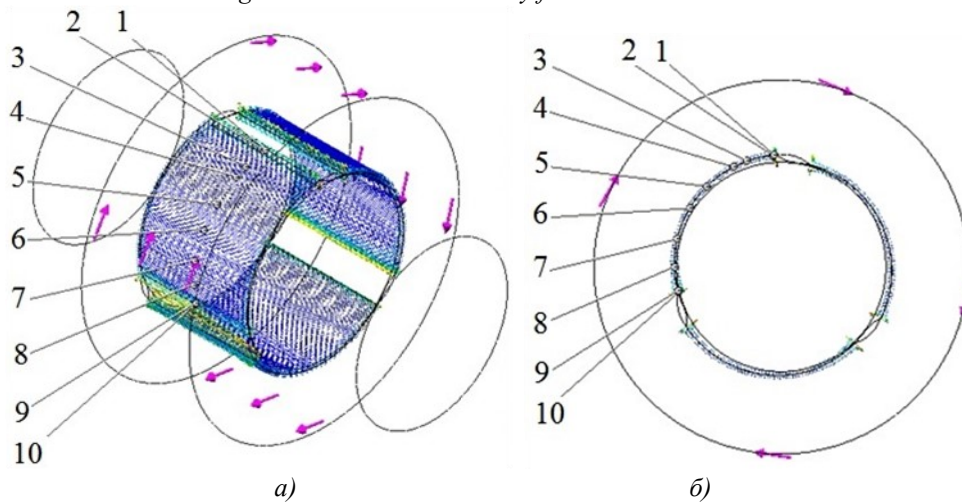


Рис. 3. Результаты определения контактного давления в СФПС: а – по всей площади контакта; б – в середине соединения по длине спиралевидного сектора  
 Fig. 3. Results of determining contact pressure in SFPJ: а – over the entire contact area; б – in the middle of the connection along the length of the spiral sector

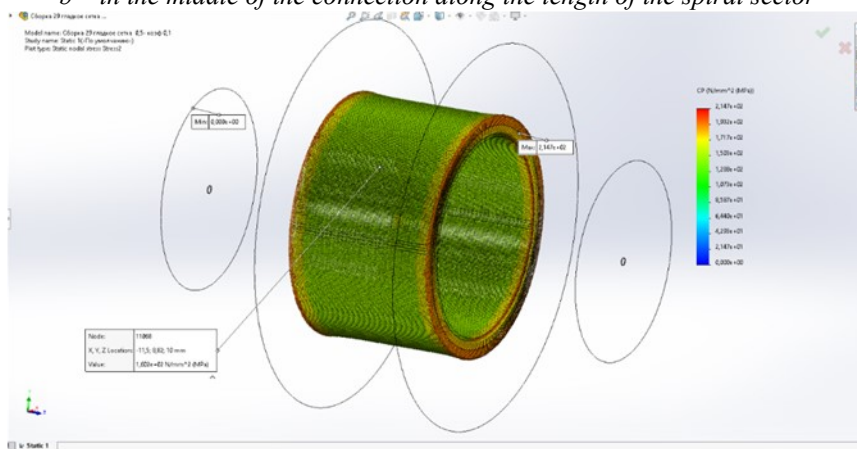


Рис. 4. Результаты определения контактного давления в цилиндрическом соединении  
 Fig. 4. Results of determining contact pressure in a cylindrical joint

Таблица 2. Распределение контактного давления по длине спиралевидных секторов  
Table 2. Distribution of contact pressure along the length of spiral sectors

Условия нагружения крутящим моментом	Контактное давление, МПа									
	1-ая точка	2-ая точка	3-ья точка	4-ая точка	5-ая точка	6-ая точка	7-ая точка	8-ая точка	9-ая точка	10-ая точка
$M=0$	501,5	289,9	172,4	157,3	155,0	158,9	161,6	169,8	364,6	756,7
$M=200\text{Нм}$ (в направлении затягивания)	503,4	293,1	177,1	164,2	157,0	160,0	163,3	170,4	365,2	752,4
$M=200\text{Нм}$ (в обратном направлении)	514,2	278,9	168,2	156,6	150,6	154,3	159,1	168,7	361,3	735,9

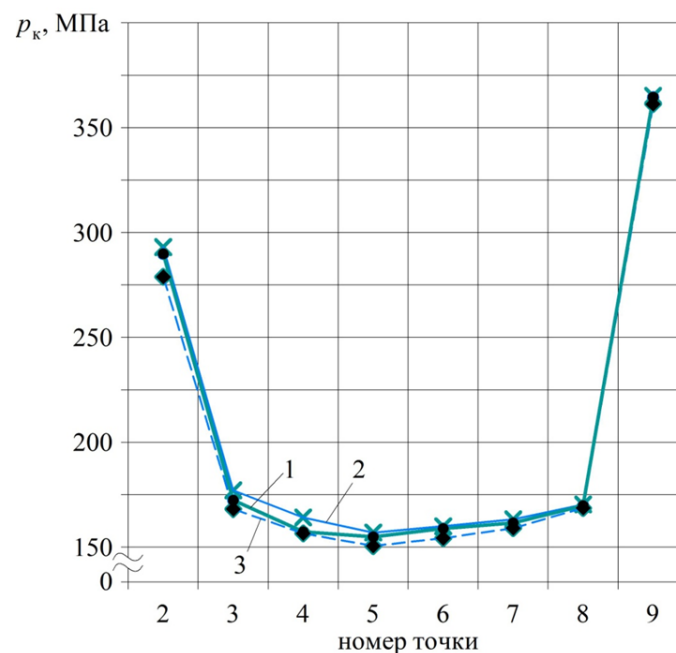


Рис. 5. Распределение контактного давления по спиралевидному участку СФПС: 1 –  $M=0$ ; 2 –  $M=200\text{Нм}$  (в направлении затягивания); 3 –  $M=200\text{Нм}$  (в обратном направлении)  
Fig. 5. Distribution of contact pressure along the spiral section SFPJ: 1 –  $M=0$ ; 2 –  $M=200\text{Nm}$  (in the direction of tightening); 3 –  $M=200\text{Nm}$  (in the opposite direction)

Получена итоговая формула, связывающая номинальное контактное давление в середине соединения по длине (в МПа) и диаметральный натяг (в мм):

$$p_k = \frac{N}{D \cdot 1,407} 10^5 = \frac{0,066}{29 \cdot 1,407} 10^5 = 161,8 \text{ МПа.}$$

Для определения контактного давления в СФПС проведено конечно-разностное моделирование напряженно-деформированного состояния соединения после сборки с радиальным натягом  $N_R^p = 0,033\text{мм}$ . Значения контактного давления также фиксировались в среднем сечении соединений по всей длине спиралевидных участков в 10 точках. Аналогичное моделирование проведено и для цилиндрического соединения с натягом.

Также исследовалось изменение контактного давления при нагружении соединений эксплуатационным крутящим моментом  $M_{кр} = 200\text{ Нм}$  в прямом направлении (затягивание соединения) и в обратном направлении.

Исследуемая модель СФПС представлена на Рис. 2.

Вал фиксировался по торцам, крутящий момент прикладывался к наружной поверхности втулки.

Результаты моделирования представлены на Рис. 3, Рис. 4 и в Таблице 2.

При определении методом конечных элементов контактного давления в цилиндрическом ССН установлено, что в середине соединения (по длине) оно меняется

незначительно и составляет при  $M = 0$   $p \approx 160$  МПа и при  $M = 200$  МПа  $p \approx 162$  МПа.

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы.

1. В отличие от гладкого цилиндрического соединения с натягом в СФПС краевой эффект в виде увеличения контактного давления проявляется не только на краях соединения по длине (осевое сечение), но и в поперечном сечении на краях спиралевидных участков из-за резкого изменения жесткости конструкции (Таблица 2, Рис. 5). В связи с этим достоверность значения контактного давления в самых крайних точках (1 и 10 точки) спиралевидного контакта весьма мала и эти значения можно при анализе не учитывать. Контактное давление в близлежащих точках увеличивается не столь значительно: во 2-ой точке по отношению к середине спиралевидного участка увеличивается в 1,87 раза и в 9-ой точке – в 2,35 раза (при  $M = 0$ ).

2. По сравнению с гладким цилиндрическим ССН контактное давление на большей части сопряжения по спиралевидной поверхности отличается всего лишь на (+8...-3,2)%, поэтому стандартную методику проектирования ССН можно использовать и при проектировании СФПС с определенной корректировкой.

3. Влияние эксплуатационного крутящего момента на контактное давление в СФПС зависит от его направления, если не учитывать самые крайние точки, то в середине спиралевидного участка давление изменяется незначительно – в пределах  $\pm 5\%$  (плюс – в направлении затягивания, минус – в обратном направлении). Изменение связано как с формой спиралевидных участков, так и с изменением напряженно-деформированного состояния сопрягаемых деталей при приложении момента.

4. Для пластичных материалов превышение предела пластичности в самых крайних точках спиралевидного профиля допустимо, так как местная пластическая деформация не приводит к существенному снижению несущей способности СФПС.

#### **Заключение**

При обеспечении заданной несущей способности СФПС, кроме конструктивных параметров, определяющим является процесс сборки соединений, при котором формируются такие параметры контакта деталей, как номинальная и фактическая площади контакта, натяг, номинальное контактное давление, сила трения покоя и др. На их формирование также влияют точность обработки спиралевидного профиля и шероховатость сопрягаемых поверхностей. Важнейшим сборочным параметром является угол относительного поворота деталей, необходимый для образования заданного уровня натяга, который зависит от

многих факторов и методику определения которого необходимо совершенствовать.

При исследовании номинального контактного давления в СФПС установлено, что данный параметр на протяжении большей части спиралевидного участка близок к контактному давлению в цилиндрическом ССН, методику проектирования которого можно использовать и при проектировании СФПС с учетом его конструктивных и технологических особенностей.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Воячек И. И. Обеспечение качества неподвижных соединений на основе интеграционной системы конструкторско-технологического проектирования : автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук. Пенза, 2006. 42 с. URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01003268872?page=1&rotate=0&theme=white> (дата обращения: 06.05.2024).

2. Ильиных В. А. Влияние конструктивно-технологических факторов на параметры контактного взаимодействия конических профильных соединений шпиндельных узлов многоцелевых станков с ЧПУ // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. № 1 (69). С. 10–17. DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).10-17.

3. Максимов С. П. Повышение эффективности формообразования профильных соединений на базе «треугольника Рело» : автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Челябинск, 2005. 20 с. URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01002899394?page=1&rotate=0&theme=white> (дата обращения: 03.05.2024).

4. Тимченко А. И. Процессы формообразования профильных поверхностей изделий с равноосным контуром : автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, 1993. 43 с. URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01000085838?page=43&rotate=0&theme=white> (дата обращения: 03.05.2024).

5. Рожкова Е. А. Теория и методы проектирования профильных неподвижных неразборных соединений с равноосным контуром с натягом : автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Чита, 2014. 20 с. URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01005548842?page=1&rotate=0&theme=white> (дата обращения: 03.05.2024).

6. Il'inykh V., Pichuev E. Evaluation of quality parameters of the torque transmission connections of the multi-purpose machine spindle joints // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 896. P. 012102. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012102.

7. Il'inykh V. Experimental study of profile connections of auxiliary tool multi-purpose machines in cyclic loading // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 760. P. 012025.

DOI: 10.1088/1757-899X/760/1/012025.

8. Воячек И. И., Кочетков Д. В., Лытаев Д. В., Грошев А. А., Небылица А. В. Исследование конструкторско-технологических факторов, влияющих на функциональные свойства спиралевидных соединений деталей // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2022. № 3. С. 74–84. DOI: 10.21685/2072-3059-2022-3-8.

9. Voyachek I., Kochetkov D., Baranov I., Slashchev E., Voyachek O. The Influence of the Design Parameters and Technological Factors on Functional Properties of the Spiral Joints of the Parts // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol 509. P. 751–760. DOI: 10.1007/978-3-031-11058-0\_75.

10. Рожкова Е. А. Сопряжение деталей неподвижных, неразборных РК-3 профильных соединений с натягом // Велес. 2020. № 9 (87). С. 50–59. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44523562\\_99892556.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44523562_99892556.pdf) (дата обращения: 06.05.2024).

11. Денисенко А. Ф., Назаров Д. В., Рыльцев И. К. Угловая точность профильных соединений // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2012. № 4 (36). С. 136–143. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_19092363\\_86568887.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_19092363_86568887.pdf) (дата обращения: 03.05.2024).

12. Ильиных В. А. Влияние конических профильных соединений на точность и жесткость технологических комплектов многоцелевых станков // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 4. С. 150–159. DOI: 10.18721/JEST.24415.

13. Бакена Мбуа Жан Кристиан. Совершенствование технологии роботизированной сборки профильных соединений с зазором на основе средств адаптации : автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2011. 24 с. URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01005007368?page=1&rotate=0&theme=white> (дата обращения: 06.05.2024).

14. Ярилов В. Е. Экспериментальные исследования конических РК-3 профильных соединений // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 2 (54). С. 38–41. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_29817817\\_37928292.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_29817817_37928292.pdf) (дата обращения: 06.05.2024).

15. Ильиных В. А. Статистический анализ геометрии профильных деталей шпиндельного узла многоцелевых станков // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 25. № 2. С. 132–140. DOI: 10.18721/JEST.25210.

16. Данилов В. А., Костюченко А. И., Селицкий А. Н. Анализ и реализация схем формообразования поверхностей с синусоидальным профилем // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В : Прикладные науки. Промышленность. 2008. № 2. С. 30–37. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_24905041\\_32454354.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_24905041_32454354.pdf) (дата обращения: 06.05.2024).

17. Рожкова Е. А. Выбор конструктивных параметров РК-3 профильных соединений для различных условий эксплуатации // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 1 (21). С. 45–50. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_21359050\\_98905160.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_21359050_98905160.pdf) (дата обращения: 03.05.2024).

18. Пантелеенко Ф. И., Данилов А. А., Специан М. В. Рациональные методы формообразования и упрочнения деталей профильных соединений // Новые технологии и материалы, автоматизация производства. Международная научно-техническая конференция. Брест : БрГТУ, 2016. С. 126–129. URL: <https://rep.bstu.by/bitstream/handle/data/1393/126-129.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения: 06.05.2024).

19. Гридин Д. С. Исторические этапы создания и развития профильных моментопередающих соединений // Будущее науки – 2018. Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах. Том 4. Курск : Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2018. С. 90–95. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_34920854\\_97040231.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_34920854_97040231.pdf) (дата обращения: 06.05.2024).

20. Курносов Н. Е., Евтюшкин А. И. О возможности использования и расширения сферы применения профильных бесшпоночных соединений // Вестник Пензенского государственного университета. 2013. № 3. С. 75–78. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_21194350\\_57959115.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_21194350_57959115.pdf) (дата обращения: 06.05.2024).

21. Ильиных В. А. Экспериментальные исследования профильных соединений деталей машин в условиях циклического нагружения // Омский научный вестник. 2021. № 5 (179). С. 24–28. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-179-24-28.

22. 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. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_43047324\\_73408639.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_43047324_73408639.pdf) (дата обращения: 06.05.2024).

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Воячек Игорь Иванович**, профессор кафедры технологий и оборудования машиностроения, Пензенский государственный университет, (440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40), доктор технических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3423-4182>, e-mail: [voyachek@list.ru](mailto:voyachek@list.ru)

**Кочетков Денис Викторович**, доцент кафедры технологий и оборудования машиностроения, Пензенский государственный университет, (440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0506-4025>, e-mail: [denis.kochetkov80@yandex.ru](mailto:denis.kochetkov80@yandex.ru)

**Грошев Антон Александрович**, аспирант кафедры технологий и оборудования машиностроения, Пензенский государственный университет, (440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8574-134X>, e-mail: [groshev.anton.a@gmail.com](mailto:groshev.anton.a@gmail.com)

Заявленный вклад авторов:

Воячек Игорь Иванович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Кочетков Денис Викторович – научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Грошев Антон Александрович – научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

### FEATURES OF FORMING CONTACT OF PARTS DURING ASSEMBLY OF A SPIRAL FRICTION-PROFILE CONNECTION

Igor I. Voyachek,  
Denis V. Kochetkov,  
Anton A. Groshev

Penza State University

\*for correspondence: [voyachek@list.ru](mailto:voyachek@list.ru)



#### Article info

Received:  
16 May 2024

Accepted for publication:  
25 July 2024

Accepted:  
29 August 2024

Published:  
19 September 2024

**Keywords:** spiral friction-profile connection; design parameters; assembly process; contact parameters; contact pressure.

#### Abstract.

**Relevance and goals.** Among the fixed connections of parts, the spiral friction-profile connection (SFPJ) has certain advantages, the properties of which have not been sufficiently studied. When ensuring the quality of the SFPJ, which is determined by the contact parameters of the mating surfaces of the parts, it is necessary to consider the joint influence of its design parameters and the processes of processing the mating surfaces and assembly of the joint within the framework of the integrated system of design and technological design. The purpose of the work is to determine the influence of design, technological and operational factors on the contact properties of SFPJ parts.

**Materials and methods.** The determination of the contact parameters of parts in the SFPJ is carried out by an analytical method, taking into account the design and features of the processes of processing parts and assembling the connection. Determination of the contact pressure of the mating surfaces of the SFPJ and the cylindrical interference joint (IFJ) is carried out by modeling using the finite element method.

**Results and conclusions.** The ability to provide the specified functional properties of SFPJ, which are determined by the contact parameters of the parts, is significantly influenced by the process of assembling the joints, as well as the processing technology of the mating surfaces. The most important assembly parameter is the angle of relative rotation of the parts required to



form a given level of interference; a method for determining it is proposed. When studying the nominal contact pressure in the SFPJ, it was found that this parameter is close to the contact pressure in a cylindrical IFJ, the design methodology of which can also be used when designing the SFPJ, taking into account its design and technological features.

**For citation:** Voyachek I.I., Kochetkov D.V., Groshev A.A. Features of forming contact of parts during assembly of a spiral friction-profile connection. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 4(164):32-41. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-32-41, EDN: CDMIPG

#### REFERENCES

- Voyachek I.I. Ensuring the quality of fixed joints based on an integrated system of design and technological design : abstract for the degree of Doctor of Technical Sciences. Penza; 2006. 42 p. Available at: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01003268872?page=1&rotate=0&theme=white> (accessed 06.05.2024). (In Russ.)
- Il'nykh V.A. Influence of design and technological factors on the parameters of contact interaction of conical profile connections of spindle units of multi-purpose CNC machines. *Modern technologies. System analysis. Modeling.* 2021; 1(69):10–17. (In Russ.) DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).10-17.
- Maksimov S.P. Increasing the efficiency of shaping profile connections based on the "Reuleaux triangle" : abstract for the degree of candidate of technical sciences. Chelyabinsk, 2005. 20 p. Available at: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01002899394?page=1&rotate=0&theme=white> (accessed 03.05.2024). (In Russ.)
- Timchenko A.I. Processes of shaping profile surfaces of products with an equiaxial contour: abstract for the degree of Doctor of Technical Sciences. Moscow, 1993. 43 p. Available at: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01000085838?page=43&rotate=0&theme=white> (accessed 03.05.2024). (In Russ.)
- Rozhkova E.A. Theory and methods of designing profile fixed non-separable connections with an equiaxial contour with interference: abstract for the degree of candidate of technical sciences. Chita, 2014. 20 p. Available at: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01005548842?page=1&rotate=0&theme=white> (accessed 03.05.2024). (In Russ.)
- Il'nykh V., Pichuev E. Evaluation of quality parameters of the torque transmission connections of the multi-purpose machine spindle joints // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2020; 896:012102. (In Eng.) DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012102.
- Il'nykh V. Experimental study of profile connections of auxiliary tool multi-purpose machines in cyclic loading. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2020; 760:012025. (In Eng.) DOI: 10.1088/1757-899X/760/1/012025.
- Voyachek I.I., Kochetkov D.V., Lytaev D.V., Groshev A.A., Nebylitsa A.V. Study of design and technological factors influencing the functional properties of spiral joints of parts. *News of higher educational institutions. Volga region. Technical science.* 2022; 3:74–84. (In Russ.) DOI: 10.21685/2072-3059-2022-3-8.
- Voyachek I., Kochetkov D., Baranov I., Slashchev E., Voyachek O. The Influence of the Design Parameters and Technological Factors on Functional Properties of the Spiral Joints of the Parts. *Lecture Notes in Networks and Systems.* 2022; 509:751–760. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-3-031-11058-0\_75.
- Rozhkova E.A. Conjugation of parts of fixed, non-separable RK-3 profile connections with interference. *Veles.* 2020; 9(87):50–59. Available at: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44523562\\_99892556.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44523562_99892556.pdf) (accessed 06.05.2024). (In Russ.)
- Denisenko A.F., Nazarov D.V., Ryltsev I.K. Angular accuracy of profile connections. *Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical Sciences.* 2012; 4(36):136–143. Available at: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_19092363\\_86568887.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_19092363_86568887.pdf) (accessed 03.05.2024). (In Russ.)
- Il'nykh V.A. The influence of conical profile connections on the accuracy and rigidity of technological sets of multi-purpose machine tools // *Scientific and Technical Journal of SPbPU. Natural and engineering sciences.* 2018; 24(4):150–159. (In Russ.) DOI: 10.18721/JEST.24415.
- Bakena Mbua Jean Christian Improving the technology of robotic assembly of profile joints with a gap based on adaptation means: abstract for the degree of candidate of technical sciences. Moscow, 2011. 24 p. Available at: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01005007368?page=1&rotate=0&theme=white> (accessed 06.05.2024). (In Russ.)
- Yarilov V.E. Experimental studies of conical RK-3 profile connections. *Modern technologies. System analysis. Modeling.* 2017; 2(54):38–41. Available at: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_29817817\\_37928292.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_29817817_37928292.pdf) (accessed 06.05.2024). (In Russ.)
- Il'nykh V.A. Statistical analysis of the geometry of profile parts of the spindle assembly of multi-purpose machine tools. *Scientific and Technical Journal of St. Petersburg Polytechnic University. Natural and engineering sciences.* 2019; 25(2):132–140. (In Russ.) DOI: 10.18721/JEST.25210.
- Danilov V.A., Kostyuchenko A.I., Selitsky A.N. Analysis and implementation of schemes for shaping surfaces with a sinusoidal profile. *Bulletin of Polotsk State University. Series B: Applied Sciences. Industry.* 2008; 2:30–37. Available at:

[https://elibrary.ru/download/elibrary\\_24905041\\_32454354.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_24905041_32454354.pdf) (accessed 06.05.2024). (In Belarus)

17. Rozhkova E.A. Selection of design parameters of RK-3 profile connections for various operating conditions. *Systems. Methods. Technologies*. 2014; 1(21):45–50. Available at: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_21359050\\_98905160.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_21359050_98905160.pdf) (accessed 03.05.2024). (In Russ.)

18. Panteleenko F.I., Danilov A.A., Spetsian M.V. Rational methods of shaping and strengthening parts of profile connections. *New technologies and materials, production automation. International scientific and technical conference*. Brest: BrGTU, 2016; 1:126–129. Available at: <https://rep.bstu.by/bitstream/handle/data/1393/126-129.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed 06.05.2024). (In Russ.)

19. Gridin D.S. Historical stages of the creation and development of profile torque-transmitting connections. *Future of Science – 2018. Collection of scientific articles of the 6th International Youth Scientific Conference*. Kursk: Closed Joint Stock Company “University Book”,

2018; 4:90–95. Available at: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_34920854\\_97040231.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_34920854_97040231.pdf) (accessed 06.05.2024). (In Russ.)

20. Kurnosov N.E., Evtushkin A.I. On the possibility of using and expanding the scope of application of profile keyless connections. *Bulletin of the Penza State University*. 2013; 3:75–78. Available at: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_21194350\\_57959115.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_21194350_57959115.pdf) (accessed 06.05.2024). (In Russ.)

21. Il'nykh V.A. Experimental studies of profile connections of machine parts under cyclic loading conditions. *Omsk Scientific Bulletin*. 2021; 5(179):24–28. (In Russ.) DOI: 10.25206/1813-8225-2021-179-24-28.

22. Danilov V.A., Boris E.V. Increasing the durability of machine and mechanism drives based on the use of profile torque-transmitting connections // *Bulletin of Baranovich State University. Series: Technical Sciences*. 2020; 8:25–34. Available at: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_43047324\\_73408639.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_43047324_73408639.pdf) (accessed 06.05.2024). (In Belarus)

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*The authors declare no conflict of interest.*

#### *About the authors:*

**Igor I. Voyachek**, professor of the sub-department of mechanical engineering technologies and equipment, Penza State University (440026, Russia, Penza, Street Krasnaya, 40), Doctor of engineering sciences, professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3423-4182>, e-mail: [voyachek@list.ru](mailto:voyachek@list.ru)

**Denis V. Kochetkov**, associate professor of the sub-department of mechanical engineering technologies and equipment, Penza State University (440026, Russia, Penza, Street Krasnaya, 40), Candidate of engineering sciences, associate professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0506-4025>, e-mail: [denis.kochetkov80@yandex.ru](mailto:denis.kochetkov80@yandex.ru)

**Anton A. Groshev**, Graduate student of the Department of mechanical engineering technologies and equipment, Penza State University (440026, Russia, Penza, Street Krasnaya, 40), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8574-134X>, e-mail: [groshev.anton.a@gmail.com](mailto:groshev.anton.a@gmail.com)

#### *Contribution of the authors:*

Igor I. Voyachek – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, data collection and analysis, conclusions, writing a text.

Denis V. Kochetkov – scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, data collection and analysis, conclusions, writing a text.

Anton A. Groshev – scientific management, review of relevant literature, data collection and analysis, conclusions, writing a text.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

