

УДК 531.43; 621.891

Контакт жесткой шероховатой поверхности с упругопластическим полупространством

П.М. Огар^{1*}, В.А. Тарасов¹, А.В. Турченко¹

¹Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия
Статья поступила 15.09.2011, принята 20.02.2012

Для описания жесткой шероховатой поверхности использована дискретная модель, согласно которой микронеровности представлены в виде набора одинаковых сферических сегментов. Распределение вершин сегментов по высоте моделируемой поверхности соответствует опорной кривой профиля реальной шероховатой поверхности, которая описывается бета-функцией. При внедрении шероховатой поверхности учитываются упругое продавливание материала полупространства и пластическое выдавливание материала вокруг единичной неровности. Используя опубликованные результаты конечно-элементного анализа, определены усилие и площадь контакта при внедрении единичной неровности. При этом учтены характеристики упрочняемого материала: предел текучести σ_y и экспонента упрочнения n . Контактные характеристики – относительная площадь контакта η и плотность зазоров в стыке Λ – определены в зависимости от безразмерного силового упругогеометрического параметра F_q . Показано влияние свойств материала полупространства на величину контактных характеристик.

Ключевые слова: шероховатая поверхность, упругопластический контакт, экспонента упрочнения, сферическая неровность, относительная площадь контакта, объем зазоров, плотность зазоров в стыке.

Rough asperity and elastic-plastic half-space contact

P.M. Ogar^{1*}, V.A. Tarasov¹, A.V. Turchenko¹

¹Bratsk State University, 40, Makarenko str., Bratsk, Russia
Received 15.09.2011; Accepted 20.02.2012

To describe a rigid rough surface, a discrete model has been applied under which microasperities are represented as a set of identical spherical segments. The distribution of segments vertices through the height of the simulated surface corresponds to a supporting curve of a real rough surface described by beta-function. When embedding a rough surface, an elastic forcing through of half-space material and a plastic indentation of material round a unit asperity are taken into consideration. Using the published results of a finite-element analysis, the stress and surface contact area while embedding a unit asperity have been determined. At the same time, the compactable material characteristics have been taken into account: yield strength σ_y and strain-hardening exponent n . The contact characteristics - relative surface contact area η and joint clearance tightness Λ – are determined depending on the nondimensional power elastogeometrical parameter F_q . The effect of half-space material properties on the contact characteristics value has been demonstrated.

Keywords: rough surface, elastoplastic contact, strain-hardening exponent, spherical asperity, relative surface contact area, clearance size, joint tightness.

Многие эксплуатационные свойства соединений деталей машин и аппаратов: износостойкость, контактная жесткость, усталостная прочность, электро- и термоконтактное сопротивление, герметичность в значительной мере зависят от контактного взаимодействия шероховатых поверхностей, которое характеризуется видом контакта, сближением поверхностей, объемом зазоров в стыке [1]. Для упругого контакта задача определения указанных контактных характеристик решена [2 – 6]. Однако, как указано в работе [7], в большинстве случаев при контактировании металлических шероховатых поверхностей контакт является упругопластическим. В ряде недавних работ [8 – 12] авторами рассмотрены вопросы, связанные с внедрением жесткой сферы с упругопластическим полупространством. Это составляет теоретическую основу

для достижения цели данной работы: определение контактных характеристик – относительной площади контакта и плотности зазоров в стыке при внедрении жесткой шероховатой поверхности в упругопластическое полупространство.

Воспользуемся дискретной моделью шероховатости, в которой микронеровности представлены в виде одинаковых сферических сегментов, распределение которых по высоте соответствует опорной кривой профиля реальной поверхности [1, 2]. Для описания опорной кривой используем распределение неполной бета-функции

$$\eta(\varepsilon) = \frac{B_\varepsilon(\alpha, \beta)}{B(\alpha, \beta)}, \quad (1)$$

где $B_\varepsilon(\alpha, \beta)$, $B(\alpha, \beta)$ – соответственно неполная и полная бета-функции;

* E-mail address: ogar@brstu.ru

$$\alpha = \left(\frac{R_p}{R_q} \right)^2 \left(\frac{R_{max} - R_p}{R_{max}} \right) - \frac{R_p}{R_{max}}, \quad \beta = \alpha \left(\frac{R_{max}}{R_p} - 1 \right); \quad (2)$$

R_p, R_q, R_{max} – высотные параметры шероховатости согласно стандарту ISO 4281/1–1997.

В этом случае плотность функции распределения неровностей по высоте

$$\phi'_n(u) = \frac{u^{\alpha-2}(1-u)^{\beta-2} [(\alpha-1)(1-u) - (\beta-1)u]}{\varepsilon_s^{\alpha-1}(1-\varepsilon_s)^{\beta-1}}, \quad (3)$$

где ε_s , определяется из условия $\phi_n(\varepsilon_s) = 1$; ωR_{max} – высота сферического сегмента, $\omega = 1 - \varepsilon_s$, $\omega = 0,2 \dots 0,6$; a_c – радиус основания; радиус сферического сегмента

$$R = \frac{a_c^2}{2\omega R_{max}}. \quad (4)$$

Выражение (4) получено при условии, что $R \gg R_{max}$.

При упругом контакте зависимость между относительной величиной внедрения i -ой неровности h_i/R и относительным усилием описывается выражением [12]

$$\frac{P_{ei}}{ER^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h_i}{R} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (5)$$

где E – модуль упругости.

Для упругопластического контакта в работе [12] использована методика определения h/R на основе подбора деформационных характеристик, однако ее применения для распределенных по высоте сферических сегментов затруднительно, так как зависимость $P-h$ в явном виде не описывается. Поэтому используем выражение из работы [13], расчеты по которому с погрешностью менее 5% согласуются с результатами [12] для $0 \leq h/R \leq 0,15$. Согласно [13]

$$\frac{P_{epi}}{ER^2} = e^{-B} \left(\frac{h_i}{R} \right)^A, \quad (6)$$

где $A = A(\varepsilon_y, n)$, $B = B(\varepsilon_y, n)$ – коэффициенты; $\varepsilon_y = \sigma_y/E$, σ_y – предел текучести; n – экспонента упрочнения.

При использовании выражений (5) и (6) для неровностей шероховатой поверхности следует учитывать, что

$$h_i = (\varepsilon - u)R_{max}, \quad (7)$$

$$\frac{h_i}{R} = \frac{(\varepsilon - u) \cdot 2\omega R_{max}^2}{a_c^2} = \left(\frac{\varepsilon - u}{2\omega} \right) \cdot \left(\frac{2\omega R_{max}}{a_c} \right)^2, \quad (8)$$

где ε – относительное сближение шероховатой поверхности и полупространства; u – исходное расстояние до вершины i -ой неровности.

При внедрении жесткой шероховатой поверхности на величину ε общее усилие P определяется выражением

$$P = \int_{\varepsilon - \varepsilon_e}^{\varepsilon} P_{ei} dn_r + \int_0^{\varepsilon - \varepsilon_e} P_{epi} dn_r, \quad (9)$$

где ε_e – относительная граница упругого контакта; dn_r – число вершин в слое du ,

$$dn_r = n_c \phi'_n(u) du, \quad n_c = \frac{A_c}{\pi a_c^2}. \quad (10)$$

По данным [8 – 10] и с учетом выражения (4),

$$\varepsilon_e = \frac{\pi^2 K_y^2 \varepsilon_y^2 a_c^2}{8\omega R_{max}^2}, \quad (11)$$

где $K_\sigma = 1,613$ – коэффициент, учитывающий начало пластической деформации внутри полупространства под вершиной неровности.

Подставляя выражение (10) в (9), имеем

$$\frac{P}{A_c} = q_c = \int_{\varepsilon - \varepsilon_e}^{\varepsilon} q_{cei} \cdot \phi'_n(u) du + \int_0^{\varepsilon - \varepsilon_e} q_{cepi} \cdot \phi'_n(u) du, \quad (12)$$

где $q_{cei} = \frac{P_{ei}}{\pi a_c^2}$, $q_{cepi} = \frac{P_{epi}}{\pi a_c^2}$.

Обозначая

$$\frac{q_c a_c}{\omega R_{max} E} = F_q, \quad (13)$$

с учетом (5), (6), (8) окончательно получим

$$F_q(\varepsilon, \varepsilon_e) = \frac{8}{3\pi} \int_{\varepsilon - \varepsilon_e}^{\varepsilon} \left(\frac{\varepsilon - u}{2\omega} \right)^{\frac{3}{2}} \phi'_n(u) du + \frac{2^{2(A-1)} e^{-B}}{\pi} \left(\frac{\omega R_{max}}{a_c} \right)^{2A-3} \times \int_0^{\varepsilon - \varepsilon_e} \left(\frac{\varepsilon - u}{2\omega} \right)^A \phi'_n(u) du. \quad (14)$$

Для фактической площади контакта, аналогично выражению (9), имеем

$$A_r = \int_{\varepsilon - \varepsilon_e}^{\varepsilon} A_{rei} dn_r + \int_0^{\varepsilon - \varepsilon_e} A_{repi} dn_r. \quad (15)$$

При определении A_{ri} учитываем, что

$$h_{ci} = c_i^2 \cdot h_i \quad (16)$$

Для упругого контакта $c_i^2 = 0,5$. Для упругопластического – используем данные работы [14]:

$$c_i^2 = \frac{h_{ci}}{h_i} = M \frac{2}{N} \left(2 \frac{h}{R} \right)^{\frac{2}{N}-1}, \quad (17)$$

где $M = M(\epsilon_y, n)$, $N = N(\epsilon_y, n)$ – коэффициенты.

Для относительной площади контакта $\eta = A_r/A_c$ окончательно получим

$$\eta(\epsilon, \epsilon_e) = \frac{8}{3\pi} \int_{\epsilon-\epsilon_e}^{\epsilon} \left(\frac{\epsilon-u}{2\omega} \right) \phi'_n(u) du + (2M)^{\frac{2}{N}} \left(\frac{2\omega R_{max}}{a_c} \right)^{2\left(\frac{2}{N}-1\right)} \times \int_0^{\epsilon-\epsilon_e} \left(\frac{\epsilon-u}{2\omega} \right)^{\frac{2}{N}} \phi'_n(u) du \quad (18)$$

На рис. 1 представлены зависимости относительной площади контакта η от безразмерного силового упругогеометрического параметра F_q при разных значениях ϵ_y и n .

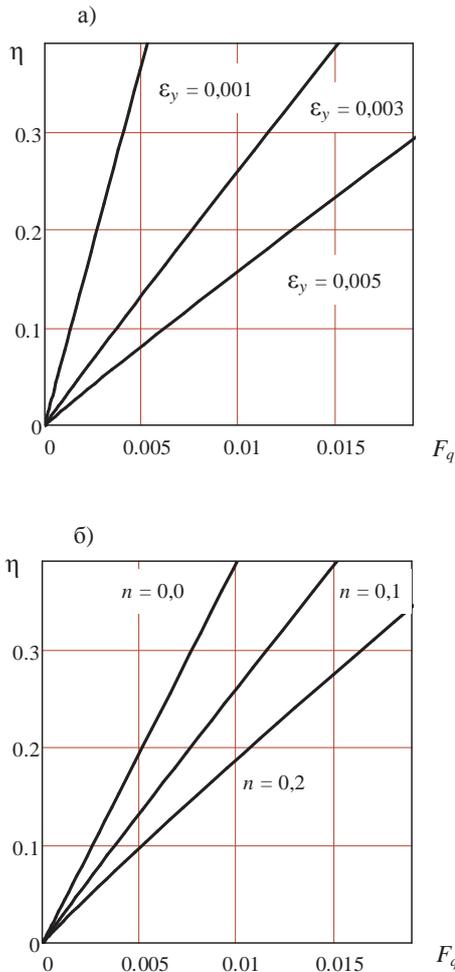


Рис. 1. Зависимости $\eta(F_q)$: а) $n = 0,1$, $\epsilon_y = 0,001...0,005$; б) $\epsilon_y = 0,003$, $n = 0,0...0,2$.

При начальном касании жесткой шероховатой поверхности с упругопластическим полупространством объем зазоров равен

$$V_{30} = A_c R_{max} (1 - K_p), \quad (19)$$

где K_p – коэффициент заполнения профиля,

$$K_p = \int_0^1 \eta(\epsilon) d\epsilon. \quad (20)$$

для симметричного профиля, т. е. при $\alpha = \beta$, $K_p = 0,5$.

При внедрении шероховатой поверхности на величину ϵR_{max} контакт каждой отдельной неровности будет сопровождаться эффектами «pile-up/sink-in», т. е. пластическим выдавливанием материала полупространства и его упругим продавливанием [12]. Для объема зазоров следует

$$V_s = A_c R_{max} (1 - K_p) - A_c \epsilon R_{max} + V_e - V_p, \quad (21)$$

где V_e – суммарное увеличение объема за счет упругого продавливания материала для всех контактирующих неровностей, V_p – суммарное уменьшение объема за счет пластического выдавливания материала для всех контактирующих неровностей.

Соответственно, для плотности зазоров в стыке имеем

$$\Lambda = \frac{V_3}{A_c R_{max}} = 1 - K_p - \epsilon + \Lambda_e - \Lambda_p, \quad (22)$$

где $\Lambda_e = V_e / (A_c R_{max})$, $\Lambda_p = V_p / (A_c R_{max})$. (22a)

Упругое перемещение u_{ze} точек поверхности вне площадки [15] представим выражением

$$u_{ze}(r) = \frac{p_m a_r K_{\beta_e}}{\pi E} \cdot \frac{{}_2F_1\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}; \beta_e + 2; \frac{a_r^2}{r^2}\right)}{\frac{r}{a_r}}, \quad (23)$$

где $K_{\beta_e} = 2^{2\beta_e+1} (\beta_e + 1) \cdot B(\beta_e + 1, \beta_e + 1) \cdot B\left(\frac{1}{2}, \beta_e + \frac{3}{2}\right)$, ${}_2F_1(a, b; c; x)$ – гипергеометрическая функция Гаусса; $B(a, b)$ – бета-функция. Для упругого контакта $\beta_e = 0,5$, для упругопластического [16] – $\beta_e = A(\epsilon_y, n) - 1$.

Для упругого контакта

$$\frac{p_m a_r}{\pi E} = \frac{4R^2}{3\pi^2 a_r} \cdot \left(\frac{h}{R} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (24)$$

для упругопластического –

$$\frac{p_m a_r}{\pi E} = \frac{R^2 e^{-B}}{\pi^2 a_r} \cdot \left(\frac{h}{R}\right)^A. \quad (25)$$

Подставляя выражения (24) и (25) в (23) и учитывая, что

$$V_{ei} = 2\pi \int_{a_r}^{a_c} r u_{ze}(r) dr, \quad (26)$$

для упругого и упругопластического контактов соответственно получим:

$$V_{ei} = \frac{8}{3\pi} R^3 \left(\frac{h}{R}\right)^2 K_{\beta_e} (F_e(z_{1e}) - F_e(1)); \quad (27)$$

$$V_{epi} = \frac{2}{\pi} R^3 e^{-B} (2M)^{\frac{1}{N}} \left(\frac{h}{R}\right)^{A+\frac{1}{N}} K_{\beta_e} (F_e(z_{1ep}) - F_e(1)), \quad (28)$$

где $F_e(z) = z^{-\frac{1}{2}} {}_2F_1\left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}; \beta_e + 1; z\right)$.

(29)

С учетом выражений (17) и (8),

$$z_{1e} = \frac{\varepsilon - u}{2\omega}, \quad (30)$$

$$z_{1ep} = M^{\frac{2}{N}} \left(\frac{2\omega R_{\max}}{a_c}\right)^{2\left(\frac{2}{N}-1\right)} \left(\frac{\varepsilon - u}{\omega}\right)^{\frac{2}{N}}. \quad (31)$$

Общий объем за счет упругого продавливания всех неровностей, деформирующихся упруго и упругопластически,

$$V_e(\varepsilon) = \int_{\varepsilon - \varepsilon_e}^{\varepsilon} V_{ei}(\varepsilon, u) n_c \varphi'_n(u) du + \int_0^{\varepsilon - \varepsilon_e} V_{epi}(\varepsilon, u) n_c \varphi'_n(u) du. \quad (32)$$

Исходя из выражения для объема сферического сегмента высотой h_f и радиуса восстановленной лунки, объем пластически вытесненного материала, приходящегося на отдельную лунку,

$$V_{pi} = \pi \rho h_{fi}^2 - \frac{\pi}{3} h_{fi}^2 = \pi h_{fi}^2 \left(\rho_i - \frac{h_{fi}}{3}\right), \quad (33)$$

где ρ_i – радиус восстановленной i -той лунки.

При известном усилии глубина остаточной лунки h_{fi} определяется из выражения

$$\bar{h}_{fi} = \frac{h_{fi}}{R} = \frac{e^{-B}}{2\pi K_h \varepsilon} \left(\frac{h_i}{R}\right)^A, \quad (34)$$

где $K_h = K_h(\varepsilon_y, n)$ определяется согласно [11].

Если радиус неровности $R \gg h_c$ и $R \gg h_{cr}$, то

$$\rho_i = R \frac{h_{ci}}{h_{cri}}, \quad (35)$$

где

$$h_{cri} = h_{ci} - w_0 + w_c, \quad (36)$$

w_0 и w_c – упругие восстановления в центре и по контуру лунки.

По данным [12],

$$w_0 - w_c = \frac{p_m \cdot a_r}{E} \cdot K_{\beta_{cr}}, \quad (37)$$

где

$$K_{\beta_{cr}} = 2^{2\beta_e+1} (1+\beta) \cdot B(\beta+1, \beta+1) \cdot \left(1 - \frac{1}{\pi} B\left(\frac{1}{2}, \beta+1\right)\right).$$

С учетом выражений (6) и (17),

$$\frac{h_c}{R} = c^2 \frac{h}{R} = M^{\frac{2}{N}} 2^{\frac{2-N}{N}} \left(\frac{h}{R}\right)^{\frac{2}{N}}, \quad (38)$$

$$\frac{w_0 - w_c}{R} = \frac{e^{-B} K_{\beta_{cr}}}{\pi (2M)^{\frac{1}{N}}} \left(\frac{h}{R}\right)^{A-\frac{1}{N}}. \quad (39)$$

Подставляя выражения (38) и (39) в (36), а затем в (35), определим $\bar{\rho} = \rho/R$.

Вытесненный объем, приходящийся на одну лунку,

$$V_{pi} = \pi R^3 \bar{h}_{fi} \left(\bar{\rho}_i - \frac{\bar{h}_{fi}}{3}\right), \quad (40)$$

а суммарный вытесненный объем –

$$V_p = \int_0^{\varepsilon - \varepsilon_e} V_{pi} n_c \varphi'_n(u) du. \quad (41)$$

Подставляя выражения (41) и (32) в (22), определяем плотность зазоров в стыке при внедрении жесткой шероховатой поверхности в упругопластическое упругое полупространство.

На рис. 2 представлены зависимости плотности зазоров Λ от безразмерного силового упругогеометрического параметра F_q при разных значениях ε_y и n .

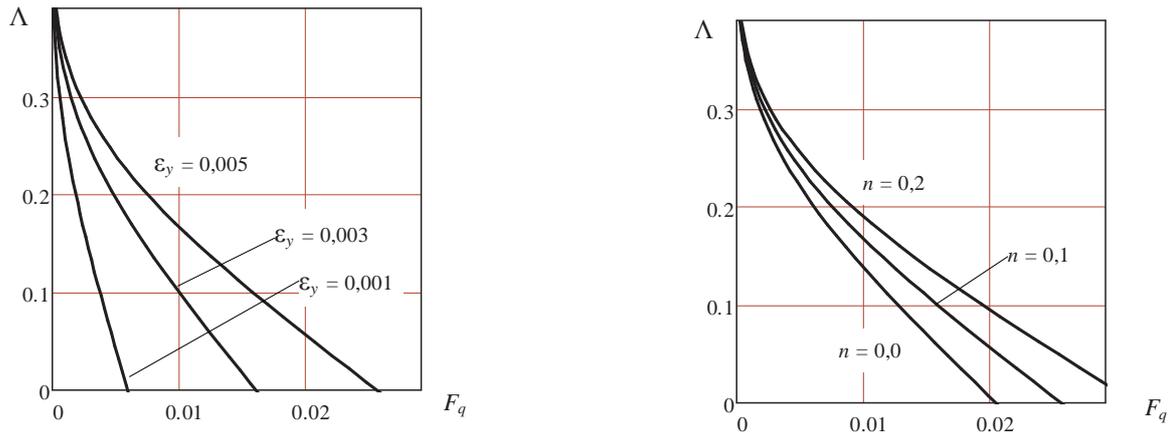


Рис. 2. Зависимости $\Lambda(F_q)$: а) $n = 0,1$, $\varepsilon_y = 0,001 \dots 0,005$; б) $\varepsilon_y = 0,003$, $n = 0,0 \dots 0,2$.

Как следует из представленных результатов разработанная методика расчета относительной площади контакта и плотности зазоров обладает хорошей чувствительностью к изменению механических свойств ма-

териала, учитывает его упрочнение и может быть успешно использована для аналитического прогнозирования эксплуатационных показателей соединений деталей машин на этапе проектирования.

Литература

1. Огар П.М., Горохов Д.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей: фрактальный подход. Братск: БрГУ, 2007, 171с.
2. Огар П.М. Контактные характеристики и герметичность неподвижных стыков пневмогидроуплотнительных систем двигателей летательных аппаратов: дис. д-ра техн. наук. Братск, 1997. 345 с.
3. Огар П.М., Тарасов В.А., Турченко А.В. Герметизирующая способность тяжело нагруженных уплотнительных стыков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. № 3(23). С. 136-142.
4. Огар П.М., Горохов Д.Б., Ключев Е.А. Герметизирующая способность стыка фрактальных шероховатых поверхностей // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2007. № 2 (14). С. 63-65.
5. Огар П.М., Тарасов В.А., Межецкий В.И. Расчет герметичности затворов трубопроводной арматуры и сосудов высокого давления // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 1 (9). С. 45-50.
6. Огар П.М., Тарасов В.А., Турченко А.В. Плотность стыка при упругом контакте шероховатых поверхностей с учетом взаимного влияния неровностей // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 4 (12). С. 35-40.
7. Ланков А.А. Вероятность упругих и пластических деформаций при сжатии металлических шероховатых поверхностей // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2009. №3. С. 3-5.
8. Огар П.М., Дайнеко А.А., Щур Д.Д. Контакт жесткой сферической неровности с упругопластическим полупространством // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 4. С. 17-19.
9. Огар П.М., Тарасов В.А., Дайнеко А.А. О некоторых общих закономерностях упругопластического внедрения сферического индентора // Системы. Методы. Технологии. 2010. № 4(8). С. 38-43.
10. Огар П.М., Тарасов В.А., Дайнеко А.А. К вопросу упругопластического внедрения сферического индентора // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 2(10). С.14-16.
11. Огар П.М., Тарасов В.А., Турченко А.В. Влияние характеристик упрочняемого материала на упругопластическое внедрение сферической неровности // Системы. Методы. Технологии. 2011. №4 (12). С.29-34.
12. Огар П.М., Тарасов В.А., Турченко А.В. Геометрия контакта при упругопластическом внедрении сферической неровности // Системы. Методы. Технологии. 2012. №1(13). С.
13. Collin J.-M., Mauvoisin G., Pilvin P. Materials characterization by instrumented indentation using two different approaches // Materials and Design. 2010. Vol. 31. P. 636-640.
14. Hernot X., Bartier O., Bekouche Y., Mauvoisin G., El Abdi R.

References

1. Ogar P.M., Gorokhov D.B. Rough surfaces touchdown: fractal approach. Bratsk: BrGU. 2007. 171 s.
2. Ogar P.M. Contact specifications and tightness of the fixed joints of aircraft engines pneumatic-hydraulic fuel systems: dis. ... d-ra techn. nauk. Bratsk, 1997. 345s.
3. Ogar P.M., Tarasov V.A., Turchenko A.V. Sealing ability of heavy loaded sealing joints // Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovaniye. 2009. № 3. С. 136-142.
4. Ogar P.M., Gorokhov D.B., Klyuchev E.A. Sealing ability of the fractal rough surfaces joint // Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovaniye. 2007. № 14. С. 63-65.
5. Ogar P.M., Tarasov V.A., Mezhetzky V.I. Tightness calculation for the pipeline valves and pressure vessels // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2011. № 9. С. 45-50.
6. Ogar P.M., Tarasov V.A., Turchenko A.V. Joint density at the rough surfaces elastic contact taking into account asperities cross-effect // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2011. № 4. С. 35-40.
7. Lankov A.A. Probability of elastic and plastic deformations while compressing metal rough surfaces // Treniye i smazka v mashinakh i mekhanizmakh. 2009. №3. S. 3-5.
8. Ogar P.M., Daineko A.A., Shchur D.D. Contact of a rigid spherical asperity and elasticoplastic half-space // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2009. № 4. S. 17-19.
9. Ogar P.M., Tarasov V.A., Daineko A.A. On some general regularities of a spherical indenter elastoplastic indentation // Tam zhe. 2010. № 8. S. 38-43.
10. Ogar P.M., Tarasov V.A., Daineko A.A. On the issue of the elastic-plastic introduction of a spherical indenter // Tam zhe. 2011. № 10. S.14-16.
11. Ogar P.M., Tarasov V.A., Turchenko A.V. Effect of the hardenable material characteristics on a spherical asperity elastoplastic indentation // Tam zhe. 2011. № 11. S.29-34.
12. Ogar P.M., Tarasov V.A., Turchenko A.V. Contact geometry in the process of elastic-plastic indentation of a spherical asperity // // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2012. № 1 (13). S.9-16.
13. Collin J.-M., Mauvoisin G., Pilvin P. Materials characterization by instrumented indentation using two different approaches // Materials and Design. 2010. v. 31. p. 636 – 640.
14. Hernot X., Bartier O., Bekouche Y., Mauvoisin G., El Abdi R.

Influence of penetration depth and mechanical properties on contact radius determination for spherical indentation // International Journal of Solids and Structures. 2006. №43. P.4136-4153.

15. Огар П.М., Тарасов В.А. Влияние формы осесимметричной нагрузки на напряженно-деформированное состояние упругопластического полупространства // Системы. Методы. Технологии. 2010. № 1(5). С. 14-20.

16. Кузьменко А.Г. Пластический контакт тел двоякой кривизны // Проблемы трибологии. 2009. №1. С.46-64.

Influence of penetration depth and mechanical properties on contact radius determination for spherical indentation // International Journal of Solids and Structures. 2006. №43. p.4136-4153.

15. Ogar P.M., Tarasov B.A. Effect of the axisymmetrical load shape on the loaded-strained state of elasticoplastic half-space // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2010. № 1. S. 14-20.

16. Kuz'menko A.G. Plastic contact of bicurved bodies // Problemy tribologii. 2009. №1. S.46-64.

УДК 658.512.22

Автоматизация разработки параметрических моделей контактных уплотнений подвижных соединений и пресс-форм для их изготовления

В.С. Ереско¹, С.П. Ереско^{1*}, А.Н. Антамошкин¹, Т.Т. Ереско¹

¹ Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева, пр. им. газеты «Красноярский рабочий», 31, Красноярск, Россия

Статья поступила 12.01 2012, принята 10.02.2012

Герметизирующие устройства контактного типа неподвижных сопрягаемых поверхностей гидроагрегатов работают по принципу прокладок. В этом случае для герметизации соединения достаточно такой величины контактных напряжений, которая способна деформировать материал прокладки до полного исчезновения зазоров. В подвижных соединениях при относительном перемещении сопрягаемых поверхностей требуются дополнительные контактные напряжения, так как в пленке рабочей жидкости, затягиваемой в уплотняемый зазор, возникает гидродинамическое давление, компенсирующее некоторую часть контактных напряжений. В данном случае для повышения герметичности важную роль играет форма эюры распределения контактных напряжений, исключающая или снижающая вероятность возникновения гидродинамического давления, а также обеспечивающая возврат утечки рабочей жидкости в уплотняемую полость. Причиной отказов часто бывают усталостный абразивный износ, а также недопустимое снижение эффективных контактных напряжений в материале вследствие процессов старения и релаксации напряжений в материале уплотнителя. Применяемые в настоящее время методы производства контактных уплотнений с помощью литевых пресс-форм основаны на выборе размеров из ГОСТ на уплотнения и пресс-формы. Однако размеры, приведенные в ГОСТ, зачастую не гарантируют заданного ресурса, так как не учитывают условий эксплуатации. В статье приведены методика построения параметрических моделей контактных уплотнений и технологии их изготовления, включающие оптимизацию проектных параметров и формы, в зависимости от конкретных заданных условий последующей эксплуатации, для обеспечения заданного гарантированного ресурса работоспособности. Методика показана на примере манжетных уплотнителей уменьшенного сечения

Ключевые слова: герметичность, уплотнитель, контактное напряжение, модуль упругости, релаксация, деформация, коэффициент формы, угол раскрытия манжеты, параметризация, параметрическая модель уплотнителя, пресс-форма, параметрическая модель пресс-формы.

Automatization of parametric models design of contact seals of movable joints and molds for their manufacture

V.S. Eresko¹, S.P. Eresko^{1*}, A.N. Antamoshkin¹, T.T. Eresko¹

¹M. F. Reshetnev Siberian State Aerospace University, 31, Krasnoyarsky rabochy av., Krasnoyarsk, Russia

Received 12.01.2012; Accepted 10.02.2012

Contact-type sealing devices of non-moving bearing faces of hydraulic units operate as gaskets. In this case, to seal the joint, it is enough such contact stress value which can deform the gasket material until the gaps completely disappear. In movable joints, at relative movement of bearing faces some additional contact stresses are required, because there appears hydrodynamic pressure compensating some contact stresses in the layer of working fluid which is dragged into the compactible gap. So, the form of a diagram for contact stresses distribution plays major role to improve tightness. It eliminates or reduces the possibility of hydrodynamic pressure occur-

* E-mail address: eresko07@mail.ru