

©Кравцов М.К., Святуха А.А., Оболенская Т.А., Белецкая И.В.

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ СРЕДАМИ В СОЕДИНЕНИЯХ С НАТЯГОМ

1. Актуальность проблемы

В условиях возрастающей быстроходности и мощности современных машин актуальность приобретают вопросы повышения прочности и увеличения долговечности соединений с натягом широко применяемых в различных узлах и механизмах для неподвижного скрепления деталей.

2. Постановка задачи

Для выяснения характера протяжения физических превращений вязких покрытий в зоне контакта необходимо рассмотреть последовательность процесса формирования промежуточного слоя. В начальной стадии деформации поведения слоя подобно жидкости, что влечет за собой решение гидродинамической задачи.

3. Основной материал

В начальной стадии покрытие представляет вязкую среду и подчиняется законам движения жидкости. При этом считаем, что промежуточный слой является сплошной средой и полностью заполняет пространство между сопрягаемыми поверхностями деталей. Затем в результате давления остывающей втулки слой после перехода в твердое состояние повышает свои механические свойства. Для более наглядного представления процесса формирования неподвижного соединения с наличием вязкой промежуточной среды между сопрягаемыми поверхностями приведем упрощенную схему тепловой сборки соединения типа вал-втулка рис. 1, рис. 2.

Расчет осуществляем в три этапа:

– решаем уравнения Навье-Стокса для вязкой сплошной среды с однородными граничными условиями;

– согласно приведенному выше предложению принимаем, что скорости частиц вязкой среды \vec{V} пропорциональны скоростям смещения \vec{U} частиц сдеформированного слоя: $\vec{U} = \bar{K}\vec{V}$ где K – коэффициент пропорциональности, который определяется физико-механическими свойствами слоя;

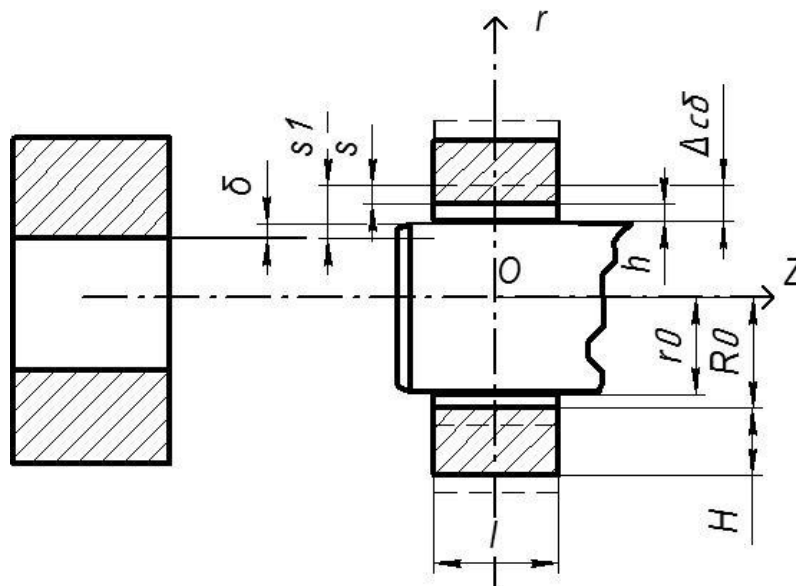


Рис. 1 – Схема соединения с натягом типа вал-втулка

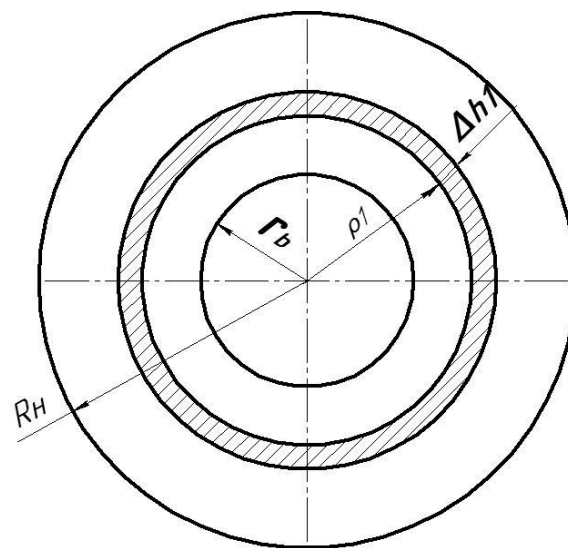


Рис. 2 – Схема упрощенной модели втулки для расчета жесткости

– составляем уравнение равновесия и решаем его.

В результате решения находим относительные деформации и напряжения, определяем все необходимые характеристики деформированного слоя. Дифференциальные уравнения Навье-Стокса [1, 2] в цилиндрической системе координат r, γ, z $0 \leq r \leq \infty, 0 \leq \gamma < 2\pi, -\infty < z < \infty$ представляются в следующем виде:

$$\frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\varphi \partial V_r}{r \partial \varphi} + V_z \cdot \frac{\partial V_r}{\partial z} - \frac{V^2 \varphi}{r} = F_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} +$$

$$+ V \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 V_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V_z}{\partial r} \right); \quad (1)$$

и уравнения:

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{V_r}{r} = 0. \quad (2)$$

Для соединения, представленного на рис. 1, приведенные уравнения могут быть упрощены, если сделать следующие предположения, что:

1. Давление не зависит от r $\frac{\partial P}{\partial r} = 0$.
2. Ввиду малости толщины слоя по сравнению с геометрическими размерами соединения $V_r = V_r(r)$, т.е. $\frac{\partial V_r}{\partial z} = \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} = 0$.
3. В силу симметрии течения решение уравнений (1) не зависит от координаты φ .
4. Действием массовых сил пренебрегаем.
5. Принимаем процесс стационарным.

В уравнениях (1) F_p, F_y, F_z – массовые силы, V_r, V_z, V_φ – составляющие скорости течения частицы жидкости, ρ – плотность жидкости, ν – кинематический коэффициент вязкости.

6. Ввиду малой толщины слоя пренебрегаем членами $V_r \frac{\partial V_z}{\partial r}$ и $V_z \frac{\partial V_z}{\partial z}$

Из уравнения сплошности среды следует, что если V не зависит от Z , то

$$\frac{\partial V_z}{\partial z} = -\frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r} = \varphi \cdot r \quad \text{тогда} \quad V_z = \varphi \cdot r \cdot Z + C$$

Очевидно, что $\frac{\partial^2 V_z}{\partial Z^2} = 0$ и с учетом принятых допущений уравнения (1) и

(2) принимают вид

$$\nu \left(\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r^2} \right) = 0; \nu \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial Z} = 0; \frac{\partial v_R}{\partial r} + \frac{\partial v_Z}{\partial z} + \frac{V_r}{r} = 0. \quad (3)$$

Подставим $V_z = \varphi r Z + C$ в третье уравнение системы (3)

$$\nu \left(\varphi'' + \frac{\varphi'}{r} \cdot Z \right) = + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial Z} \text{ или } \nu \left(\varphi'' + \frac{\varphi'}{r} \right) = + \frac{1}{\rho \cdot Z} \cdot \frac{\partial P}{\partial Z} \quad (4)$$

$$- \frac{1}{\rho Z} \cdot \frac{\partial P}{\partial Z} = A \quad (5)$$

Тогда третье уравнение системы (3) преобразуется к виду

$$\varphi'' + \frac{\varphi'}{r} = \frac{A}{\nu} \quad (6)$$

Это линейное уравнение второго порядка, которое после обозначения $\varphi' = U$ и $\varphi'' = U'$ запишем в виде

$$U' + \frac{U}{r} = \frac{A}{\nu} \quad (7)$$

Решаем это уравнение методом Бернулли.

В итоге получим

$$\varphi r = \frac{A}{\nu} \cdot \frac{r^2}{4} + B_1 \ln r + B_2 \quad (8)$$

Предположим, что частицы жидкости прилипают к поверхностям втулки и вала при сближении поверхности втулки в процессе ее охлаждения после соединения в узел, т.е.

$$\varphi r_0 = \varphi(R_0) = 0$$

Теперь получаем следующую систему уравнений для определения B_1 и B_2 :

$$\begin{cases} \frac{A \cdot r_0^2}{4\nu} + B_1 \ln r_0 + B_2 = 0 \\ \frac{A \cdot R_0^2}{4\nu} + B_1 \ln R_0 + B_2 = 0 \end{cases} \quad (9)$$

Решая эту систему, находим B_1 и B_2 и подставляя их в уравнение (8) получим:

$$\varphi_r = \frac{A}{4\nu} \left[r^2 - r_0^2 + R_0^2 - r^2 \ln \frac{R_0}{r_0} \ln \frac{r}{r_0} \right], \quad (10)$$

где $R_0 = r_0 + h$

$$V_r = \frac{A \cdot Z}{4\nu} \left[r^2 - r_0^2 + R_0^2 - r^2 \ln \frac{R_0}{r_0} \ln \frac{r}{r_0} \right], \quad (11)$$

Интегрируя уравнение неразрывности при условии, что $V_r(r_0) = 0$; $V_r(R_0) = -V_0$ совместно с третьим уравнением (3) получим:

$$A = \frac{R_0 \cdot V_0 \cdot 4\nu}{B} \quad (12)$$

где

$$B = \int_{r_0}^{R_0} r \varphi_r dr \quad (13)$$

Окончательно имеем

$$V_r = \frac{R_0 \cdot V_0}{B} Z \cdot \varphi_r \quad (14)$$

Принимаем V_r не зависящим от вязкости

$$V_r = \frac{V_0 \cdot R_0}{R_0^2 - r_0^2} \cdot \frac{r_0^2 - r^2}{r} \quad (15)$$

Предположим, что $\left(\frac{h}{r_0}\right)^2 \ll \frac{h}{r_0}$

$$V_r = \frac{V_0 \cdot Z}{2 \cdot r_0 \cdot \varepsilon} \cdot \frac{r_0^2 - r^2}{r} \quad (16)$$

$$V_r = \frac{V_0 \cdot Z}{2 \cdot r_0^3} \cdot \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon} \left[r^2 - r_0^2 - r_0^2 (2 + \varepsilon) \ln \frac{r}{r_0} \right] \quad (17)$$

где $\varepsilon = \frac{h}{r_0}$.

Определение относительных деформаций и напряжений промежуточного слоя

Обозначим через $\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_z$ напряжения, по соответствующим направлениям, а касательные напряжения $\sigma_{rz} = \sigma_{zr}$. Относительные

деформации обозначим через $\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi, \varepsilon_z, \varepsilon_{rz}$, а через U_r, U_φ, U_z - перемещения. Известно [2, 3], что относительные деформации и перемещения связаны соотношениями

$$\varepsilon_r = \frac{\partial U_r}{\partial r}; \varepsilon_\varphi = \frac{U_r}{r}; \varepsilon_x = \frac{\partial U_z}{\partial z}; \varepsilon_{rz} = \frac{\partial U_z}{\partial r} + \frac{\partial U_r}{\partial z}; \varepsilon_{rz} = \varepsilon_{zr} \quad (18)$$

Предположим, что в локальной области справедливы линейные соотношения между деформациями и напряжениями [2].

$$\frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{\varepsilon_r - \varepsilon_\varphi} = \frac{\sigma_r - \sigma_z}{\varepsilon_r - \varepsilon_z} = \frac{\sigma_\varphi - \sigma_z}{\varepsilon_\varphi - \varepsilon_z} = \varepsilon' \quad (19)$$

Предположение (19) позволяет проинтегрировать уравнение равновесия и найти напряжения

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\sigma_{rz}}{r} &= 0. \end{aligned} \quad (20)$$

Входящие в уравнение (19) деформации $\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi, \varepsilon_z$ можно определить воспользовавшись решением (16) и (17). Предположим, что компоненты скоростей движения жидкости V_r и V_z пропорциональны скоростям смещения частиц промежуточного слоя:

$$\frac{\partial U_r}{\partial t} = K_1 \cdot V_r; \frac{\partial U_z}{\partial t} = K_2 \cdot V_z \quad (21)$$

В первом приближении коэффициенты K_1 и K_2 можно считать постоянными. Так как V_r и V_z не зависят от t , то

$$U_r = K_1 V_r \cdot t + C_1; U_z = K_2 V_z \cdot t + C_2 \quad (22)$$

Из начального состояния вещества известно, что при $t = 0$ $U_r = U_z = 0$, то есть $C_1 = C_2 = 0$

Поэтому

$$U_r = K_1 V_r \cdot t; U_z = K_2 V_z \cdot t \quad (23)$$

Подставляя (23) в (18) получим

$$\varepsilon_r = K_1 \frac{\partial V_r}{\partial r} t; \varepsilon_\phi = K_1 \frac{V_r}{r} t; \varepsilon_z = K_2 \frac{\partial V_z}{\partial z} t; \varepsilon_{rz} = K_2 \frac{\partial V_z}{\partial r} t + \frac{\partial V_r}{\partial z} t \quad (24)$$

так как V_r не зависит от z , то $\varepsilon_{rz} = K_2 \frac{\partial V_z}{\partial r} t$

$$\varepsilon_r = K_1 \cdot \frac{V_0 \cdot t \cdot 1 + \varepsilon}{2r_0 \varepsilon} \cdot \frac{r_0^2 + r^2}{r^2}; \varepsilon_\phi = K_1 \cdot \frac{V_0 \cdot t \cdot 1 + \varepsilon}{2r_0 \varepsilon} \cdot \frac{r_0^2 + r^2}{r^2};$$

$$\varepsilon_z = K_2 \cdot \frac{V_0 \cdot t \cdot 1 + \varepsilon}{2r_0^3 \varepsilon} \cdot \left[r^2 \cdot r_0^2 - r_0^2 \cdot 2 \left| \varepsilon \cdot \ln \frac{r}{r_0} \right. \right]; \varepsilon_{rz} = K_2 \cdot \frac{V_0 \cdot t \cdot 1 + \varepsilon}{2r_0^3 \varepsilon} \cdot \left[2r - \frac{r_0^2}{r} \cdot 2 \left| \varepsilon \right. \right]$$

Найдем σ_r и σ_{rz} из соотношения (20)

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu' \cdot K_2 \frac{\partial V_z}{\partial r} \cdot t \right) + \frac{E' \cdot K_1}{r} \left(\frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r} \right) \cdot t = 0 \quad (25)$$

Пусть $\mu' \cdot K_2 = E' \cdot K_1 = \gamma$ постоянные для всего слоя:

$$d\sigma_r = -\gamma d \left(\frac{\partial V_z}{\partial z} \cdot t \right) - \frac{\gamma}{r} \cdot t \left(\frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r} \right) dr, \quad (26)$$

где γ – коэффициент пропорциональности.

$$\sigma_r = -\gamma \frac{\partial V_z}{\partial z} \cdot t - \gamma \cdot t \int_{r_0}^r \frac{\frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r}}{r} dr, \quad (27)$$

Найдем $\frac{\partial V_r}{\partial r}$, $\frac{\partial V_z}{\partial z}$, $\frac{V_r}{r}$ из уравнений (16) и (17)

$$\frac{\partial V_z}{\partial z} = \frac{V_0}{2r_0^3} \cdot \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon} \left[r^2 - r_0^2 - r_0^2 \cdot 2 + \varepsilon \ln \frac{r}{r_0} \right] \quad (28)$$

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} = \frac{V_0 t}{2r_0} \cdot \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon} \left(-\frac{r_0^2}{r^2} - 1 \right) = -\frac{V_0}{2r_0} \cdot \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon} \left(\frac{r_0^2 + r^2}{r^2} \right)$$

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r} = \frac{V_0 t \cdot 1 + \varepsilon}{\varepsilon} - \frac{r_0^2}{r^2} \quad (29)$$

Величина напряжения σ_r может быть найдена по формуле (27)

$$\sigma_r = -\gamma \frac{V_0 \cdot t}{2r_0^3} \cdot \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon} \left[r^2 - r_0^2 - r_0^2 \cdot 2 + \varepsilon \ln \frac{r}{r_0} \right] - \gamma \frac{V_0 t (1 + \varepsilon)}{2r_0 \varepsilon r^2} (r_0^2 - r^2) \quad (30)$$

Подставляя $\frac{\partial V_z}{\partial r}$ в уравнение (24), а ε_{rz} в уравнение (19), получим

$$\sigma_{rz} = \gamma \frac{V_0 \cdot t}{2r_0^3} \cdot \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon} \left[2r - r_0^2 \cdot 2 + \varepsilon \ln \frac{1}{r} \right] \quad (31)$$

Очевидно, что

$$\sigma_\gamma = \frac{\gamma \cdot V_0 \cdot t}{\varepsilon} \cdot \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon} \left[r^2 - r_0^2 - r_0^2 \cdot 2 + \varepsilon \ln \frac{r}{r_0} \right] \frac{V_0 t (1 + \varepsilon)}{\varepsilon} \cdot \frac{r_0}{r^2} \cdot \gamma \quad (32)$$

Из второго уравнения (20) найдем σ_z .

$$\sigma_z = \gamma \frac{V_0 t}{r_0^3 \cdot \varepsilon} \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon} \left(Z^2 - \frac{l}{4} \right). \quad (33)$$

Таким образом, определены относительно деформации и напряжения во всех направлениях сдеформированного слоя. Образуемое между сопряженными поверхностями в виде тонкой пленки покрытие и его параметры во многом определяют несущую способность соединения. Для получения соотношения между толщиной образованного в соединении слоя и его прочностными свойствами вернемся к рассмотрению схемы теплового соединения, представленной на рис. 1.

Путь, пройденный посадочной поверхностью втулки при расширении до необходимого сборочного зазора, обозначим через s_1 и путь, пройденный ею при сближении с валом до окончательного формирования промежуточного слоя толщиной h , через s . Из геометрии соединения (рис. 1) видно, что $s_1 = \Delta_{c\delta} + \delta$, а $s = \Delta_{c\delta} - h$. Пути s_1 и s могут быть связаны соотношением: $\Delta_{c\delta} - h = q \Delta_{c\delta} + \delta$, где $q = \frac{t}{t'}$ назовем коэффициентом формирования соединения, который в первом приближении определяется по соотношению времен схватывания поверхностей втулки и вала со слоем t и без него t' . Образуемый между сопряженными поверхностями промежуточный слой толщиной h будем считать постоянным по длине и радиусу соединения.

Величину $\frac{h}{r} = \varepsilon$ назовем относительной толщиной слоя. Так как из рис. 1

$$h = \Delta_{c\delta} - s, \text{ то}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{c\bar{b}}}{r_0} - \frac{\overrightarrow{q} + \Delta_{c\bar{b}}}{r_0} \quad (34)$$

Для определения прочностных свойств слоя введем параметр, характеризующий жесткость промежуточного слоя, находящегося между сопряженными поверхностями и воспринимающего давление остывшей втулки с усилием P , являющимся функцией времени остывания t . Допустим, что при усилении P_1 , слой толщины h_1 имеет площадь поверхности S_1 , а при изменении до P_2 сжатый слой толщины h_2 имеет площадь поверхности S_2 . Абсолютную величину отношений приращений $|\Delta P| = P_2 - P_1$ и $|\Delta S| = S_2 - S_1$ назовем коэффициентом жесткости γ промежуточного слоя. Для рассматриваемого цилиндрического соединения имеем:

$$\gamma = \left| \frac{\Delta P}{2\pi \cdot l \cdot \overrightarrow{q}_1 - h_2} \right| \quad (35)$$

В работе предположен метод определения « γ » через отношение времен формирования соединения со слоем и без него, которое для конкретной группы соединений определяется экспериментально и зависит от свойств используемой среды.

Из анализа (35) следует, что коэффициент жесткости γ является величиной и направлением составляющих сил по осям $r, Z, u\varphi$. Поэтому $\vec{P} = \vec{P}_r + \vec{P}_z + \vec{P}_\varphi$. Если за параметр функции \vec{P} выбрать изменение поверхности S в процессе деформации, то $\vec{P} = \vec{P}(S)$. Предел отношения

$\frac{\Delta P}{\Delta S} \rightarrow \frac{dP}{dS}; \Delta S \rightarrow 0$. Тогда имеем, что $\frac{dP}{dS} = \gamma$, а с учетом координат $r, Z, u\varphi$.

$$\frac{d\vec{P}}{dS} = \frac{dP_r \rightarrow}{dr} I_r + \frac{dP_z \rightarrow}{dz} I_z + \frac{dP_\varphi \rightarrow}{d\varphi} I_\varphi \quad (36)$$

где I_r, I_z, I_φ единичные векторы в направлении $r, Z, u\varphi$.

Для нахождения величины γ при фиксированных значениях сформированного промежуточного слоя $\varepsilon = \frac{h}{r^0}$ используем энергетические

характеристики процесса соединения. Обозначим энергию расширенной втулки W , которая расходуется на энергию деформирования слоя W_c и энергию тепловых потерь W_n , т.е. $W = W_c + W_n$.

Пренебрегая энергией тепловых потерь W_n , ввиду их малости, считаем, что энергия расширенной втулки полностью идет на формирование слоя в соединении с натягом. Расширяясь при нагреве на величину $\Delta_{c\delta} + \delta$ втулкой выполняется работа, которую можно вычислить следующим образом.

$$dW = \Delta_{c\delta} + \delta dP \quad (37)$$

Предполагая, что втулка, нагреваясь и остывая эквивалентна некоторой пружине, обозначим ее жесткость через C . Далее считаем, что величина усилия, возникающая при расширении и сжатии втулки, пропорциональна изменению поверхности dS , т.е.

$$dP = CdS \quad (38)$$

Рассматривая втулку (рис. 2) как деталь состоящую из множества условных колец, упругость каждого из которых соответствует жесткости C_i запишем:

$$\sum_{i=1}^n C_i = C, \quad (39)$$

Из работы [2] воспользуемся формулой, которая выражает изменение диаметра i -го кольца толщины Δh_i в зависимости от модуля упругости втулки E , который будет одинаков для всех колец

$$\Delta d_i = \frac{N \cdot d_i^2}{\Delta h_i \cdot E} \quad \text{или} \quad \Delta \rho_i = \frac{N \cdot \rho_i^2}{\Delta h_i \cdot E}, \quad (40)$$

где N – давление, вызванное расширением i -го кольца;

ρ_i – радиус i -го кольца.

Умножим равенство (40) на ΔS .

$$\Delta \rho_i \Delta S = \frac{2N \cdot \Delta S \cdot \rho_i^2}{\Delta h_i E} \quad (41)$$

$$\Delta\rho_i\Delta S = \frac{2C_i \cdot \Delta S \cdot \rho_i^2}{\Delta h_i E} \text{ или } \Delta\rho_i = \frac{2C_i \cdot \rho_i^2}{\Delta h_i E} \quad (42)$$

Для i -го кольца толщины Δh изменение коэффициента жесткости можно записать в виде

$$dC_i = \frac{\Delta h_i \cdot E \cdot d\rho}{2\rho^2}. \quad (43)$$

$$C_i = \frac{\Delta h_i \cdot E}{2} \int_{r_b}^r \frac{d\rho}{\rho^2} = \frac{\Delta h_i}{2r \cdot r_b} E. \quad (44)$$

Суммируя последнее равенство по i получим

$$C = \frac{H \cdot E}{2r \cdot r_b} (r - r_b), \quad (45)$$

где H – толщина втулки;

r_b – начальный внутренний радиус втулки.

Жесткость C_i может быть найдена для любого $r: r_b < r < R_H$. R_H – начальный наружный радиус втулки. Если $r = R_H$, то

$$C = \frac{H^2 \cdot E}{r_b \cdot R_H}. \quad (46)$$

Теперь энергию втулки W можно определить по формуле

$$W = \frac{\Delta_{c\delta} + \delta}{r_b} \int_V C_r \cdot dV \quad (47)$$

где $dV = r dr d\varphi dz$.

$$W = \frac{\pi l \cdot E H^3}{r^2} \frac{\Delta_{c\delta} + \delta}{r^2} \quad (48)$$

Энергия сжимаемого слоя может быть определена по формуле

$$W_c = 2\pi l \cdot \int_{r_0}^{r_0+h} r \sigma_r \cdot dr \quad (49)$$

Подставляя значение σ_r в формулу (49), а затем интегрируя и пренебрегая величинами порядка ε^2 и выше получим

$$W_c = 2\pi l \gamma \cdot \frac{V_0 t}{r_0^2} \cdot \frac{2}{2 + \varepsilon} \frac{1 + \varepsilon}{2 + \varepsilon} \quad (50)$$

Так как $W = W_c$, то

$$\gamma = \frac{EH^3 \Delta_{c\delta} + \delta}{8r_0 \cdot r_0 - \delta^2} \frac{2r_0 + h}{\Delta_{c\delta} - h} \frac{1}{r_0 + h} \quad (51)$$

На графике (рис. 3) показана зависимость между коэффициентами жесткости и толщиной сформированного слоя в соединении вал-втулка с посадочным диаметром 40 мм и наружным диаметром втулки 80 мм для различных натягов. Увеличение значения γ при большей толщине сформированного слоя во всем диапазоне натягов свидетельствует о более высоких физико-механических свойствах покрытия [4].

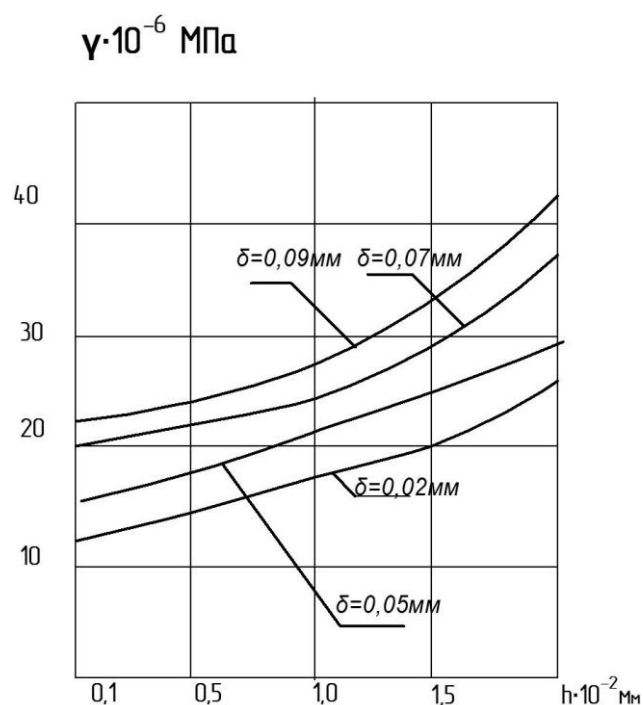


Рис. 3 – Изменение коэффициента жесткости γ от толщины сформированного слоя

Выводы

Из полученных формул следует, что необходимая толщина слоя, превышающая высоту микронеровностей, может быть получена для промежуточных сред, коэффициент жесткости которых соизмерим с модулем упругости материала сопряженных деталей.

Список использованных источников:

1. Емцев Б. Т. Техническая гидромеханика : учебник / Б. Т. Емцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1987. – 432 с.
2. Гукасов Н. А. Прикладная гидромеханика в бурении : учеб. пособие для вузов / Н. А. Гукасов. – М. : Недра, 1999. – 359 с.: ил.
3. Тимошенко С. П. Курс теории упругости / С. П. Тимошенко ; под ред. Э. И. Григолюка. – К. : Наук. думка, 1972. – 501 с.
4. Прочность неподвижных соединений узлов шахтных конвейеров, собранных тепловым способом с применением промежуточных сред / А. А. Святуха, В. О. Галета, М. К. Кравцов, В. А. Белостоцкий // Прочность и долговечность горных машин : [сб. статей] / Укр. заоч. политехн. ин-т. – М. : Недра, 1984. – Вып. 6. – С. 126–132.

Кравцов М.К., Святуха А.А., Оболенская Т.А., Белецкая И.В. «Расчет прочности соединений с промежуточными средами в соединениях с натягом».

В статье рассматриваются вопросы о деформации и напряжениях сдеформированного слоя в соединениях с натягом. Зная эти величины можно определить все необходимые характеристики сдеформированного слоя.

Ключевые слова: соединение, среда, натяг, слой.

Кравцов М.К., Святуха А.А., Оболенська Т.О., Білецька І.В. «Розрахунок міцності з'єднань з проміжними середовищами в з'єднаннях з натягом».

В статті розглядаються питання про деформації та напруження здеформованого шару в з'єднаннях з натягом. Знаючи ці величини можливо визначити усі необхідні характеристики здеформованого шару.

Ключові слова: з'єднання, середовище, натяг, шар.

Kravtsov M.K., Svyatuha A.A., Obolenskaya T.A., Beletskaya I.V. ‘The calculation of the connections with intermediate mediums in the connections with interference.’

In the article the problems about deformation and stresses of the formed layer in the connections with interference are examined. Knowing these values, it is possible to determined all necessary characteristics of deformed layer.

Key words: connection, medium, interference, layer.

Стаття надійшла до редакції 23 червня 2011 р.