

адекватності показують, що з імовірністю 0.95 результати моделювання динамічних навантажень, що впливають на ДМ відповідають результатам експериментальних досліджень.

Висновки

Таким чином, запропонована методика математичного моделювання динамічних навантажень, що впливають на робочі органи ДМ дозволяє без значних економічних витрат провести моделювання динамічних навантажень у різних режимах роботи ДМ, різних типів ґрунтів і різних кліматичних умовах.

Результати моделювання можуть бути використані як на етапі конструювання ДМ і її бортовій вимірювально-інформаційній системі, так і в процесі поточної експлуатації для прогнозування надійності систем і вузлів, міцності рами ДМ.

Список літератури: 1. Вікторова, О. В. Використання м'яких обчислень в інтелектуальних інформаційно-вимірювальних системах дорожніх машин [Текст] / О. В. Вікторова, А. О. Коваль // Вестник ХНАДУ : сб. науч. тр. – Харьков : ХНАДУ. – 2011. – № 53. – С. 3 – 8. 2. Манаков, А. А. Основы математического моделирования радиотехнических систем: учеб. пособие [Текст] / А. А. Манаков. – СПб. : ГУАП, 2005. – 100 с.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 621.792.8:519.3

А.А. СВЯТУХА, канд.техн.наук, доц., УИПА, Харьков

И.Б. ПЛАХОТНИКОВА, ст. преп., УИПА, Харьков

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ НА ПРОЧНОСТЬ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, СОБРАННЫХ ТЕПЛОВЫМ МЕТОДОМ

У роботі розглядається принцип визначення характеристик міцності zdeформованого проміжного шару між спряженими поверхнями з'єднань з натягом, зібраних тепловим способом.

Ключові слова: Складання, з'єднання, міцність, покриття, розрахунок.

В работе рассматривается принцип определения прочностных характеристик сдеформированного промежуточного слоя между сопряжёнными поверхностями соединений с натягом, собранных тепловым способом.

Ключевые слова: Сборка, соединения, прочность, покрытия, расчёт.

In this work we offer to consider about the principle of definition of durability's characteristics of a deformed intermediate layer between the interfaced surfaces of connections with a tightness, collected by a thermal method.

Key words: Assembly, connections, durability, coverings, calculation

Постановка проблемы

Прочность соединений с натягом, собранных тепловым методом с использованием различных покрытий охватываемой детали (вала) во многом определяется прочностными свойствами сдеформированного слоя [1]. В настоящее время большинство предлагаемых расчётов прочности скрепления

деталей неподвижных цилиндрических соединений сводится к определению контактных давлений и касательных напряжений без промежуточного слоя [2]. Поэтому определение степени влияния имеющегося в соединении покрытия на прочность скрепления деталей является актуальной задачей и представляет практический интерес. Одним из главных параметров несущей способности соединений является усилие относительного сдвига деталей. Очевидно, что относительный сдвиг деталей происходит в результате разрушения деформированного в зоне их контакта промежуточного слоя. Поэтому, зная компоненты тензора напряжений промежуточного слоя, можно определить различные его прочностные характеристики, в частности усилие сдвига F_c .

Изложение основного материала

Рассмотрим схему теплового соединения втулки с валом, показанную на рис.1. Усилие скрепления деталей соединения, собранного тепловым способом с использованием покрытий зависит от геометрии деталей соединения, свойств деформированного слоя и его толщины h . Толщину слоя определим исходя из динамики формирования соединения. Предположим, что скорости расширения втулки в

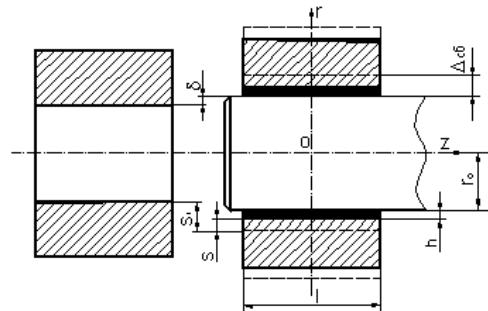


Рис.1. Схема соединения втулки с валом

процессе нагрева и её сближения с поверхностью вала при остывании одинаковы и равны V_o . Путь, пройденный посадочной поверхностью втулки при расширении до необходимого сборочного зазора, обозначим через S_1 , а путь, пройденный этой же поверхностью при сближении с валом до окончательного формирования промежуточного слоя толщиной h , через S . Тогда:

$$S_1 = V_o \cdot t_1; \quad S = V_o \cdot t; \quad (1)$$

где: t_1 – время расширения втулки; t – время посадки её на вал.

Из геометрии соединения видно, что:

$$V_o \cdot t_1 = \delta + \Delta_{cб}; \quad (2)$$

где: δ - натяг соединения; $\Delta_{cб}$ – сборочный зазор.

Так как скорости расширения и посадки втулки равны, то:

$$S = (\delta + \Delta_{cб}) \cdot q \quad (3)$$

где: $q = t/t_1$ – коэффициент формирования соединения.

Образующийся между сопряжёнными поверхностями промежуточный деформированный слой толщины h будем считать постоянным по длине и радиусу соединения. Величину h/r_o назовём относительной толщиной слоя и обозначим через ε . Так как из рис.1

$h = \Delta_{cб} - S$, то $h = \Delta_{cб} - (\delta + \Delta_{cб}) \cdot q$ тогда:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{cб}}{r_o} - \frac{\delta + \Delta_{cб}}{r_o} \cdot q \quad (4)$$

Для определения физических свойств слоя введём параметр, характеризующий жёсткость промежуточного слоя, находящегося между

сопряжёнными поверхностями и воспринимающего давление остывающей втулки с усилием P , являющимся функцией от времени остывания t . Допустим, что при усилии P_1 слой толщиной h_1 имеет поверхность S_1 , а при изменении усилия до P_2 сжатый слой толщины h_2 имеет поверхность S_2 . Абсолютную величину отношений приращений $[\Delta P] = P_2 - P_1$ и $[\Delta S] = S_1 - S_2$ назовём коэффициентом жёсткости γ промежуточного слоя:

$$\gamma = \left[\frac{\Delta P}{\Delta S} \right] \quad (5)$$

Для рассматриваемого цилиндрического соединения имеем:

$$\gamma = \frac{\Delta P}{2\pi l(h_1 - h_2)} \quad (6)$$

Из анализа (6) следует, что коэффициент жёсткости γ является величиной векторной, так как усилие \vec{P} определяется величиной и направлением составляющих сил по осям r , z и ϕ . Поэтому $\vec{P} = \vec{P}_r + \vec{P}_z + \vec{P}_\phi$.

Если за параметр функции \vec{P} выбрать изменение поверхности S в процессе деформации, то $\vec{P} = \vec{P}(S)$. Предел отношения

$\frac{\Delta P}{\Delta S} \rightarrow \frac{dP}{dS}$ если, $\Delta S \rightarrow 0$ тогда имеем $\frac{dP}{dS} = \gamma$ и с учётом координат r, z, ϕ

$$\frac{d\vec{P}}{dS} = \frac{d\vec{P}_r}{dr} + \frac{d\vec{P}_z}{dz} + \frac{d\vec{P}_\phi}{d\phi} \quad (7)$$

Если ввести единичные векторы в направлении r, z, ϕ соответственно $\vec{e}_r, \vec{e}_z, \vec{e}_\phi$, то составляющие вектора γ в последнем уравнении можно записать следующим образом:

$$\frac{d\vec{P}_r}{dS} = E\vec{e}_r; \quad \frac{d\vec{P}_z}{dS} = \mu\vec{e}_z; \quad \frac{d\vec{P}_\phi}{dS} = G\vec{e}_\phi, \quad (8)$$

где E, μ, G – модули упругости материала сформированного слоя в направлении r, z, ϕ . Теперь абсолютная величина γ может быть определена как:

$$\gamma = \sqrt{E^2 + \mu^2 + G^2} \quad (9)$$

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 то есть

$$W = W_c + W_n \quad (10)$$

Пренебрегая энергией тепловых потерь W_n ввиду их малости, считаем, что энергия расширенной втулки полностью идёт на формирования слоя в соединении с натягом.

Расширяясь при нагреве на величину $\Delta_{c\delta} + \delta$, втулкой выполняется работа, которую можно вычислить следующим образом. Очевидно, что изменение работы пропорционально изменению усилия dP

$$dW = (\Delta_{c\delta} + \delta)dP \quad (11)$$

Для нахождения dP втулки воспользуемся следующими соображениями. Предполагая, что втулка, нагреваясь и остывая, эквивалентна некоторой пружине, обозначим её жёсткость через C . Изменение внутренней поверхности втулки после нагревания обозначим через $\Delta S \rightarrow dS$. Далее считаем, что величина усилия, разжимающего и сжимающего втулку, пропорциональна изменения поверхности dS , то есть $dP = C \cdot dS$.

Рассматривая втулку как состоящую из суммы n колец, упругость каждого из которых соответствует жёсткости C_i , запишем $C_i = C$.

Воспользуемся формулой, которая выражает изменение диаметра i -го кольца толщины Δh_i в зависимости от модуля упругости материала втулки E , который одинаков для всех n колец

$$\Delta d_i = \frac{N \cdot d_i^2}{\Delta h_i \cdot E} \quad \text{или} \quad \Delta p_i = \frac{2 N p_i^2}{\Delta h_i E}, \quad (12)$$

где N – давление, вызванное расширением i -го кольца; p_i - радиус i -го кольца. Умножая равенство (12) на ΔS получим:

$$\Delta p_i \cdot \Delta S = \frac{2 N \cdot p_i^2 \cdot \Delta S}{\Delta h_i \cdot E} \quad (13)$$

Очевидно, что $N \cdot \Delta S = dP = C_i \cdot dS = C_i \cdot \Delta S$, тогда:

$$\Delta p_i = \frac{2 C_i \Delta S \cdot p_i^2}{\Delta h_i \cdot E} \quad (14)$$

Для i -го кольца толщиной Δh_i изменение коэффициента жёсткости можно записать в виде:

$$dC_i = \frac{\Delta h_i \cdot E \cdot dp}{2 p^2} \quad (15)$$

Интегрируя в пределах от r_o до r получим:

$$C_i = \frac{\Delta h_i \cdot E}{2} \int_{r_o}^r \frac{dp}{p^2} = \frac{\Delta h_i \cdot (r - r_o)}{2 r_o \cdot r} \quad (16)$$

Суммируя последнее равенство по i , получим:

$$C = \frac{H E \cdot (r - r_o)}{2 r_o \cdot r}, \quad (17)$$

где H – толщина втулки; r_o – начальный внутренний радиус втулки. Жёсткость $C(r)$ может быть найдена для любого r .

Если начальный наружный радиус втулки $R_H = r$, то:

$$C = \frac{H^2 \cdot E}{r_o \cdot R_H} \quad (18)$$

Энергию втулки W можно определить по формуле:

$$W = \frac{\Delta c_0 + \delta}{r_o} \int_V C(r) dV, \quad (19)$$

где $dV = r dr d\varphi dz$. Подставляя в формулу (19) значение C из (17) получим:

$$W = \frac{\Delta c_0 + \delta}{r_o} 2\pi l \int_{r_o}^{R_H} \frac{E H (r - r_o)}{r_o \cdot r} r dr \quad (20)$$

Интегрируя окончательно имеем:

$$W = \frac{\pi l E H^3}{r_o^2} (\Delta_{c\delta} + \delta) \quad (21)$$

Энергия сжимаемого слоя W_c может быть определена по формуле:

$$W_c = 2\pi l \int_{r_o}^{r_o+h} r \sigma_r dr \quad (22)$$

Подставляя значение σ_r в формулу (22), а затем интегрируя и пренебрегая величинами порядка ε^2 и выше, получим:

$$W_c = 2\pi l \gamma \frac{V_o \cdot l^2 (1 + \varepsilon)}{r_o^2 (2 + \varepsilon)} \quad (23)$$

Так как $W = W_c$, а $\varepsilon = \frac{h}{r_o}$, то коэффициент жёсткости λ будет:

$$\lambda = \frac{EH^3 (\Delta_{c\delta} + \delta) (2r_o + h)}{8r_o (r_o - \delta)^2 (\Delta - h) (r_o + h)} \quad (24)$$

На графике (рис.2) показана зависимость между коэффициентами жёсткости и толщиной сдеформированного слоя в соединении вал-втулка с посадочным диаметром 40мм и наружным диаметром 80мм для различных натягов. Возрастание значения λ с увеличением толщины сдеформированного слоя во всём диапазоне натягов свидетельствует о более высоких физико-механических свойствах используемого покрытия.

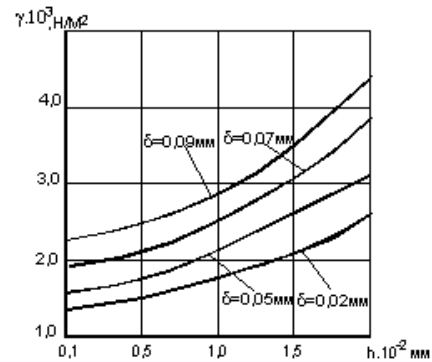


Рис.2. График зависимости коэффициента жёсткости от толщины сдеформированного слоя

Анализ графика показывает, что с увеличением давления на промежуточный слой в соединении его прочностные свойства возрастают.

Зная прочностную характеристику слоя γ и напряжения $\sigma_{гз}$, которые находятся интегрированием дифференциальных уравнений равновесия осесимметричного напряжённого состояния с учётом линейных соотношений между деформациями и напряжениями в локальной области, можем найти усилие сдвига F_c по формуле:

$$F_c = \frac{\pi \cdot l^2 \gamma \cdot \delta (2 + \varepsilon)}{28\varepsilon} [2(1 + \varepsilon)^2 - (2 - \varepsilon)] \quad (25)$$

Для подтверждения полученной зависимости проведена серия экспериментальных исследований по тепловой сборке соединений с натягом с использованием в качестве покрытий различных сочетаний композиционных смесей. С этой целью были собраны несколько партий соединений диаметром посадочной поверхности 40мм и длиной посадки 60мм в диапазоне натягов от 0,015 до 0,090мм. Валы и втулки с наружным диаметром 80мм изготавливались из нормализованной стали Ст.45 с исходной шероховатостью 1,25 и 2,5. Сборка осуществлялась путём свободного введения вала с нанесённым тонким слоем вязкой композиционной смеси в нагретую до температуры 260 – 280°С втулку.

После сборки и выдержки в течение нескольких суток проводились испытания прочности соединений путём выпрессовки вала с фиксацией усилия срыва и записью диаграмм.

Выводы

Испытания показали удовлетворительное совпадение усилий срыва, полученных расчётным путём и экспериментально. Незначительное расхождение наблюдалось для композиционных покрытий, включающих порошки мягких и пластичных металлов только в области повышенных натягов с приближением коэффициента жёсткости слоя к единице. Однако в связи с тем, что расчётные значения усилия сдвига в этом случае несколько ниже экспериментальных, то полученная зависимость применима для любого диапазона натягов, так как всегда обеспечивает некоторый запас прочности.

Список литературы: 1. *Кравцов М.К.* Промежуточные среды в соединениях с натягом / М.К. Кравцов, А.А. Святуха, В.В. Чернов. -Харьков: Изд-во Штрих. 2001.-200 с. 2. *Пономарёв С.Д., Бидерман В.А., Лихарёв К.К. и др.* Расчёты на прочность в машиностроении. М. Машгиз, 1958, т. 2,3.

Поступила в редколлегию 23.11.2011

УДК 629.735.083.02.06.(045)

І.О. ЛАСТІВКА, канд.техн.наук, зав.каф., НАУ, Київ

ГІСТЕРЕЗИС ВІДРИВНИХ ТЕЧІЙ

У роботі розглянуто явище гістерезису відривних течій при обтіканні циліндричного тіла, прямого ізольованого крила моделі літака, дифузорної решітки профілів і ступеня осевого компресора газотурбінного двигуна, проведено аналіз структури і характеристик відривних течій в залежності від швидкості потоку і кутів атаки та напряму зміни їх значень.

Ключові слова: гістерезис, відривна течія.

В работе рассмотрено явление гистерезиса отрывных течений при обтекании цилиндрического тела, прямого изолированного крыла модели самолета, дифузорной решетки профилей и ступени осевого компрессора газотурбинного двигателя, проведен анализ структуры и характеристик отрывных течений в зависимости от скорости потока и углов атаки и направления изменения их значений.

Ключевые слова: гистерезис, отрывное течение.

The work considers the phenomena of hysteresis of separated flows along the flow of a cylindrical body, aircraft model with an isolated straight wing, a diffuser lattice of profiles and the stage of axial compressor turbine engine. The structure and characteristics of separated flows, depending on the flow velocity and angle of attack and direction of their values are analyzed.

Keywords: hysteresis, separated flows

Вступ

Структура і характеристики відривних течій істотно залежать від значень їх кінематичних параметрів (швидкості, кутів атаки) і параметрів потоку (тиску, густини, температури), а також від напряму їхньої зміни в межах певного інтервалу значень. Це означає, що при одній і тій же сукупності параметрів можливі різні відповідні аеродинамічні характеристики. Однієї із причин цього