

ЭНЕРГИЯ ДЕФОРМАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ю. А. Осокин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул

Разработка и внедрение методов преобразования и передачи энергии и информации движения через герметизированную среду являются актуальными, и достаточно сложными задачами. Они сопрягаются также с решением проблем энергоэффективных технологий.

Рассмотрении бесконечно малых возможных перемещений точки при наложенных на нее связей производится на основе принципа виртуальных перемещений. Принцип возможных (виртуальных) перемещений устанавливает необходимое и достаточное условие равновесия механических систем точек. Он основан на энергетических процессах в механической системе и формулируется в таком виде:

Для равновесия системы материальных точек с идеальными связями необходимо и достаточно, чтобы сумма элементарных работ всех действующих на систему элементарных сил при любом виртуальном перемещении была равна нулю [1].

В ограниченных пределах от $i = 1$ до $i = n$ принцип возможных перемещений в векторной форме записывается в виде равенства:

$$\sum F_i \delta r_i = 0,$$

где δr_i – виртуальное перемещение точки приложения силы F_i .

В Декартовой системе координат это равенство имеет вид:

$$\sum (X_i \delta x_i + Y_i \delta y_i + Z_i \delta z_i) = 0.$$

При проектировании приборов и решении сложных задач, трудно поддающихся реальным приемам, виртуальный подход может оказать существенную помощь в оценке недоступных описанию условно существующих процессов.

Примером является система преобразования и передачи силовых и координатно-деформационных параметров в механической системе. Особенностью является то, что в данной системе движению противодействует неопределенное сопротивление.

Задачу о напряжениях и деформациях тонкостенных конструкций, в частности, при кручении решают на основе теории упругости. Напряжения и деформационные процес-

сы, возникающие при этом уже много десятилетий относят к виртуальным процессам. В ряде случаев напряженные состояния удаётся выявить. Например, в виде сетки деформационных линий «Чернова-Людерса». Косые к направлению приложенных сил линии характеризуют косвенные проявления невидимых виртуальных процессов.

Величина деформации зависит не только от силовых воздействий, но и от размеров, формы, физико-технических свойств элементов. В приборостроении широко применяются тонкостенные конструкции с замкнутыми и незамкнутыми видами профилей. Как правило, незамкнутые профили имеют форму стандартных сечений типа пластина, уголок, швеллер, тавр, двутавр, коробчатое сечение.

Особенностью расчетов таких конструкций является то, что с достаточной точностью вычислений можно применять определенные, экспериментально проверенные, критерии и коэффициенты. Например, при расчетах на жесткость момент инерции сечения определяются с введением коэффициента β :

$$J_k = \beta hb^3$$

где β – коэффициент, зависящий от формы сечения, в частности отношения размера элемента по ширине b к размеру по толщине h . Формы сечений создаются из набора длинных узких элементов прямоугольного сечения. При $b/h = 20$ и более значения этого коэффициента находятся в пределах от 0,32 до 0,33. Величина этого коэффициента соизмерима с величиной коэффициента Пуассона для некоторых металлов.

Деформация кручения φ (рад) при действии момента кручения M_k (НМ), длины элемента L (М), модуля поперечной упругости G (Па) и момента инерции сечения J (М⁴) определяется следующим выражением:

$$\varphi = M_k L / (G J).$$

При деформационных явлениях на входе преобразователя происходит накопление энергии деформации и последующее расходование на выходе. В рассматриваемых примерах возможно обратимое преобразование энергии. То есть осуществима интерактивная обратная связь. Потери энергии и со-

ответственно информации, зависят от тепловых потерь. Нагрев контактных сопряжениях можно определить по следующей формуле:

$$T = 3600 \Phi / (\alpha_{\text{тп}} S) + t_{\text{ср}},$$

где Φ – тепловой поток, Вт.

При вращательном движении с угловой скоростью ω и моментом кручения M_f тепловой поток определяется:

$$\Phi = M_f \omega,$$

где $\alpha_{\text{тп}}$ – коэффициент теплопередачи, для сплавов $\alpha_{\text{тп}} = (3,5 \dots 5) 10^4$ Вт / (М² °С); S – площадь теплоотдачи, М², $t_{\text{ср}}$ – температура окружающей среды.

Энергия деформации для элемента однородной структуры с изотропными свойствами энергия определится:

$$E_{\phi} = M_k^2 L / (2 G J).$$

В замкнутых профилях деформация от момента кручения определится:

$$\phi_3 = M_k L L_{\text{пер}} / (4G S_o^2 \delta),$$

где $L_{\text{пер}}$ – длина средней линии профиля, δ – толщина стенки.

При радиальных усилиях деформация профиля круглого сечения :

$$\Delta = FL^3 / (2\pi d \delta^3).$$

В круглом сечении максимальные напряжения распределены равномерно по окружности. В профилях прямоугольного сечения максимальные касательные напряжения при кручении создаются на длинной стороне кручения (в ее средней части). В угловых точках $\tau = 0$.

При одинаковой площади деформация квадратного сечения $\phi_{\text{кв}}$ больше чем у элемента круглого сечения ϕ_o . Отношение углов закручивания определится:

$$\phi_{\text{кв}} / \phi_o = J_p / J_k = (\pi d^4 / 32) / (\beta b^4) = 1,1$$

Анализ деформационно-энергетических явлений показывает возможности дистанционной передачи энергетических мощностей и информации через герметизированное пространство (через прочную стену конструкции). Это позволяет дистанционно решать многие задачи в чужой, изолированной среде.

Эффективность существенно зависит от динамичности процесса. Максимальная скорость определяется скоростью продольной и поперечной волны, перемещающейся по элементу.

Ударные процессы увеличивают деформацию. Если при статическом действии тела с массой m , на деталь, имеющую длину l , мо-

дуля упругости E , момента инерции сечения J происходит деформация детали $Y_{\text{ма}}$:

$$Y_{\text{ма}} = ma^3 k / (KEJ).$$

В зависимости от координаты приложения силы параметр K изменяется в пределах от 3 до 48. При ударе с люфтом в шарнире закрепления δ_1 деформацию $y_{\text{уд}}$ можно оценить:

$$Y_{\text{уд}} = y_{\text{ма}} + (y_{\text{ма}}^2 + \delta_1 y_{\text{ма}} (1 / (1 + (m_d / 2 m))))^{1/2}.$$

где m_d – масса подвергающейся деформации детали.

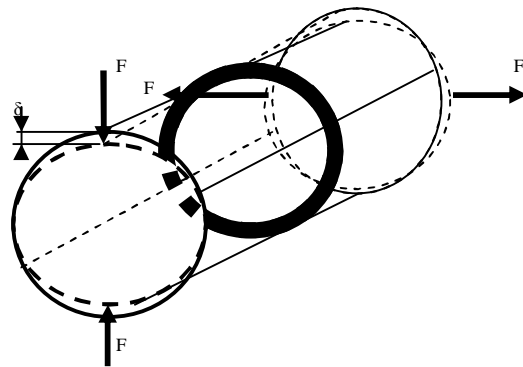


Рисунок 1 – Упругая деформация через герметичную преграду

При наличии люфтов возникают потери информации, пропорциональные величине бесконтрольного движения в люфтовом пространстве.

Выводы.

1 Учитывая то, что у профилей круглой формы длина периметра минимальна, то элементами таких профилей можно передавать энергию большей мощности и информацию с большей точностью.

2 Передача энергии и информации через разделительную конструкцию, в том числе, через герметизированную среду посредством тонкостенных упругих элементов с замкнутой и разомкнутой формой сечений наиболее эффективно.

3 При разомкнутой форме сечений коэффициент координатной передачи выше, но жесткость системы существенно ослабляется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карякин Н.И. и др. Справочник по физике. М.: Высш. шк., 1969.- 600 с.
2. Попов Н.Н., Расторгуев Б.С., Забегаев А.В. Расчет конструкций на динамические специальные нагрузки. М.: Высш. шк., 1992. – 319 с.