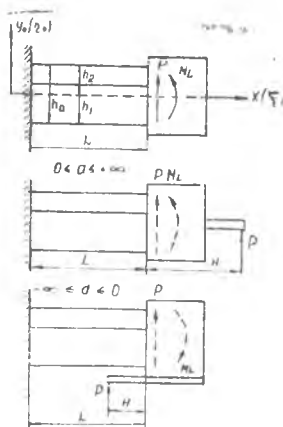


В. П. ФИЛЁКИН

ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА РАССЕЯНИЯ ОТ СХЕМЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ И НАГРУЖЕНИЯ КОНЦОВ СТЫКА

В конструкциях фланцевый (шовный) стык может иметь различную связь с остальными частями, т. е. различные условия закрепления и нагружения концов. Это будет изменять влияние стыка на демпфирующие свойства и жесткость конструкции. В работах [1, 2, 3] рассмотрена демпфирующая способность изолированных стыков. В данном случае рассматривается изменение относительной жесткости [2, 3] и демпфирующей способности в форме коэффициента рассеяния ψ при различных условиях крепления и загрузки концов стыка. В качестве расчетной схемы примем составной консольный стержень (фиг. 1) при отсутствии скольжений в заделке ($x=0$) и на конце ($x=L$), а также в ряде сечений, что даст n зон скольжений. На правом конце стержня ($x=L$) приложены сила P и момент $M_L = PLd$. Меняя относительное плечо момента $d = H/L$, получим различные схемы нагружения и закрепления правого конца (фиг. 1). Заделка левого конца ($x=0$) означает, прежде всего, отсутствие ограничений подвижности стержня, как твердого тела. Для большого числа случаев принята схема непосредственно отражает работу фланцевого стыка или участка стыка между сечениями, в которых приложены сосредоточенные нагрузки или отсутствуют скольжения. Размеры и условия стяжки стыка те же, что и в [2, 3].

Прогиб конца стержня V и угол поворота φ при $x=L$ (фиг. 1) могут быть записаны в фазе до скольжения:



Фиг. 1.

$$v = \frac{6P}{E\lambda_L^3 b} \left(\frac{2}{3} + d \right), \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{12P}{LE\lambda_L^3 b} \left(\frac{1}{2} + d \right).$$

В фазе скольжения:

$$V = \frac{6P}{E\lambda_L^3 b} \left(\frac{2}{3e_N'} + d \right) - \frac{4R'_N}{e'_N E\lambda_L^3 b}, \quad (2)$$

$$\varphi = \frac{12P}{LE\lambda_L^3 b} \left(\frac{1}{2} + d \right).$$

Здесь и в дальнейшем через C_0' , C_{12N} , R'_N , e'_N обозначены соответствующие величины для составной консоли с силой на конце, имеющей n зон скольжений [3].

Для определения статического цикла примем за обобщенную координату перемещение q .

$$q = V + H\varphi = V + Ld\varphi. \quad (3)$$

Будем считать, что момент M_L возникает от приложения силы P на расстоянии H (фиг. 1) от конца подвижной заделки ($x=L$). В этом случае перемещение q совпадает с перемещением точки приложения силы P и поэтому последняя принимается в качестве обобщенной силы $Q=P$. Тогда статический цикл стыка определится следующими зависимостями между силой Q и перемещением q . В фазе до скольжения с учетом выражений (1), (3)

$$Q = \frac{E\lambda_L^3 b}{6 \left[\left(\frac{2}{3} + d \right) + (1+2d)d \right]} \cdot q \quad (4)$$

В фазе скольжения по выражениям (2), (3)

$$Q = \frac{E\lambda_L^3 b}{6 \left[\left(\frac{2}{3e_N'} + d \right) + (1+2d)d \right]} q + \frac{2R'_N}{3e'_N \left[\left(\frac{2}{3e_N'} + d \right) + (1+2d)d \right]} \quad (5)$$

В соответствии с выражениями (4), (5) можно записать жесткость до скольжения

$$C_{0Q} = \frac{E\lambda_L^3 b}{6 \left[\left(\frac{2}{3} + d \right) + (1+2d)d \right]}. \quad (6)$$

Жесткость в процессе скольжения

$$C_{12Q} = \frac{E\lambda_L^3 b}{6 \left[\left(\frac{2}{3e_N'} + d \right) + (1+2d)d \right]}. \quad (7)$$

Обобщенная сила трения

$$R_{NQ} = \frac{2R'_N}{3e'_N \left[\left(\frac{2}{3e'_N} + d \right) + (1 + 2d)d \right]} \quad (8)$$

Относительная жесткость

$$e_{NQ} = e'_N \frac{3(1+d)d+1}{3e'_N(1+d)d+1} \quad (9)$$

Изменение относительной жесткости по выражению (9) приведено на фиг. 2 для одной и двух зон скольжений. Там же дано изменение максимальных коэффициентов рассеяния [3] по выражению:

$$\psi_{\max} = 2 \frac{1 - e_{NQ}}{e_{NQ}}$$

Наибольшее значение коэффициент рассеяния имеет для стержня с упруго-подвижной заделкой [2,

3], что соответствует $d_{\text{опт}} = -\frac{1}{2}$ — (фиг. 2).

При уменьшении и увеличении d от оптимального значения происходит асимптотическое возрастание относительной жесткости до единицы и такое же уменьшение коэффициента рассеяния до нуля (фиг. 2). Это объясняется увеличением доли работы затрачиваемой силой P на изгиб стыка без образования скольжений (поворот моментом M_L) и уменьшением доли работы силы P , связанной с образованием скольжений и рассеянием энергии. В случае, когда величина момента M_L связана с силой P различными соотношениями в фазе до скольжения и в фазе скольжения, меняет свое значение параметр d . Обозначая через d_0 его значение в фазе до скольжения и через d_{12} в фазе скольжения по выражениям (6), (7) получим зависимость относительной жесткости.

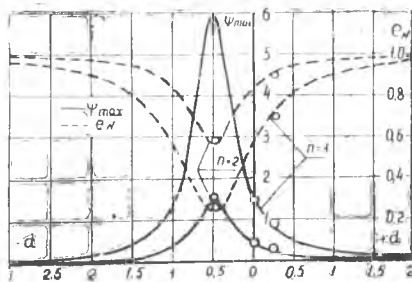
$$e_{NQ} = e'_N \frac{[3(1+d_0)d_0+1]d_{12}^2}{[3e'_N(1+d_{12})d_{12}+1]d_0^2} \quad (10)$$

При $d_0 = -2/3$ и $d_{12} = -2/3e'_N$ получим случай шарнирного закрепления конца стыка ($x=L$), где прогиб $V \equiv 0$ на протяжении всего цикла. Тогда из уравнений (3), (4), (5) получим зависимость опорного момента M_L от угла поворота φ стыка в сечении $x=L$.

В фазе до скольжения

$$M_L = -\frac{1}{3} E \lambda L^3 b L^2 \varphi \quad (11)$$

В фазе скольжения



Фиг. 2.

$$M_L = \frac{E\lambda_L^3 b L^2}{3(4-3e'_N)} \varphi + \frac{2R'_N L}{4-3e'_N} \quad (12)$$

В таблице 1 приведены зависимости основных параметров (C_0 , e_N , R_N) для наиболее характерных случаев загрузки стыка, которые дают возможность определить относительную жесткость e_N и демпфирующую способность ψ конструкции, отображаемой стыком соответствующей схемы. На фиг. 2 точками помечены экспериментальные значения e_N и ψ_{\max} полученные для различных схем стыков [2, 3]*.

Таблица 1

d	C_0	e_N	R_N	ψ_{\max}	Схема загрузки стыка
$+\infty$	0	1	0	0	$M_L = \infty$
$0 < d < \infty$	Выражение (II. 27)	Выражение (II. 30)	Выражение (II. 29)	$0 < \psi < 1,5$	$M_L = var$
0	$\frac{1}{4} E\lambda_L^3 b$	$e_N = e'_N$	$R'_N = R \frac{1-e'_N}{1-e}$	1,5	$M_L = 0$. Консоль с силой P на конце
$-\frac{1}{2}$	$E\lambda'_L b$	$\frac{e'_N}{4-3e'_N}$	$\frac{4R'_N}{4-3e'_N}$	6	$\psi_L = 0$. Упругоподвижная заделка
$-\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4} E\lambda_L^3 b$	$\frac{e'_N}{3-2e'_N}$	$\frac{6R'_N}{6-4e'_N}$	4,5	$v=0$ в фазе до скольжения
$d_0 = -2/3$ $d_{12} = -2/3e'_N$	$\frac{1}{3} E\lambda_L^3 b L^2$	$\frac{1}{4-3e'_N}$	$\frac{2R'_N L}{4-3e'_N}$	2,57	$v=0$. Шарнирное крепление
$-\frac{2}{3e'_N}$	$\frac{3e_N'^2 E\lambda_L^3 b}{4[3e'_N(e'_N-2)+2]}$	$\frac{3e'_N(e'_N-2)+4}{4-3e'_N}$	$\frac{3R'_N e'_N}{4-3e'_N}$	0,94	$v=0$. В фазе скольжения
$-\infty < d < -\frac{2}{3e'_N}$	Выражение (II. 30)	Выражение (II. 30)	Выражение (II. 29)	$0 < \psi_m < 0,94$	$M_L = var$
$-\infty$	0	1	0	0	$M_L = -\infty$

ВЫВОДЫ

1. Демпфирующая способность ψ и изменение жесткости (f_N) конструкции зависит от схемы вхождения в нее фланцевых и шовных соединений.

* См. также статью А. Д. Сетина, А. М. Сойфера, И. А. Полянского В. П. Филёкина. Изменение жесткости и демпфирующая способность корпуса газотурбинного двигателя с горизонтальным фланцевым соединением. Настоящий сборник, стр. 183.

2. Наибольшее снижение жесткости и соответственно наибольшая демпфирующая способность ψ имеют место для стыка с упруго-подвижной заделкой ($d = -\frac{1}{2}$).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Н. Г. Калинин, Ю. А. Лебедев, В. Н. Лебедева, Я. Г. Пановко, Г. И. Страхов.* Конструкционное демпфирование в неподвижных соединениях. А. И. Лат. ССР, Рига, 1960.

2. *В. П. Филёкин.* Конструктивный гистерезис в составной балке при отсутствии скольжений на концах. ИВУЗ. Серия «Авиационная техника» № 1, 1960.

3. *В. П. Филёкин.* Конструктивный гистерезис во фланцевых и шовных соединениях. ИВУЗ «Авиационная техника», №4, 1960.