

4. Расчет проушины концевой (точка А)

4.1. Учитывая, что максимальная нагрузка $N_A = 42,2$ кН действует на концевую проушину в момент срыва при растяжении направляющей, и достижения ею нижней точки, направлена под углом $\alpha = 18,09^\circ$ к линии горизонта, горизонтальная составляющая нагрузки больше, чем вертикальная. Поэтому выберем положение проушины такое, как это изображено на рисунке, потому что усилие на растяжение и разрыв выше, чем на срез. (см. Рис.5).

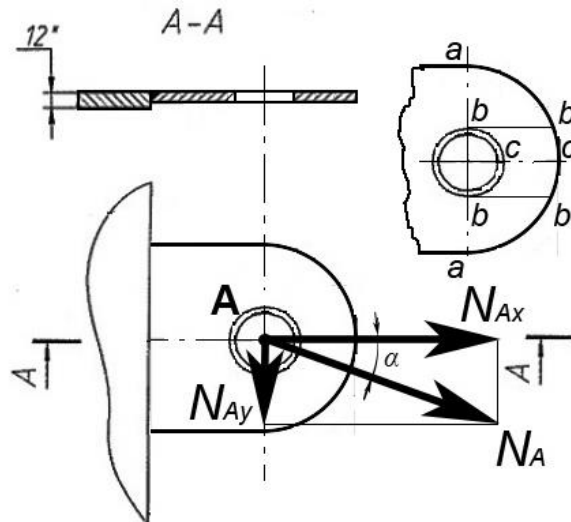


Рис. 5. Расчетная схема проушины концевой в точке А.

Нагрузка является косой (одновременно действуют продольная и поперечные силы), и воздействуя на приваренную к металлоконструкции анкер-проушину концевую, вызывает в проушине (без учета воздействия на сварной шов) такие деформации:

- растяжение (вплоть до разрыва) по плоскости $a-a$ (проходит через центр пальца соединительного элемента);
- смятие под пальцем соединительного элемента, установленным в отверстие;
- срез (вырыв) по сечениям $b-b$;
- разрушение по сечению $c-c$ от окружных напряжений.

4.2. Определим величины составляющих нагрузок, воздействующие на приваренную встык к основной металлоконструкции анкер-проушину концевую. Действующую силу N_A разложим на две составляющие: продольную (осевую) и поперечную:

$$N_{Ax} = N_A \cos \alpha = 42,2 \cos 18,09 = 40,114 \text{ (кН)}$$

$$N_{Ay} = N_A \sin \alpha = 42,2 \cdot \sin 18,09 = 13,103 \text{ (кН)}$$

4.3. Определим разрушающую нагрузку на проушину, возникающую от действия продольной (осевой) силы N_{Ax}

Разрушающая нагрузка разрыва по сечению $a-a$ при растяжении равна:

$$P_{pc} = k_x F_{pc} \sigma^*$$

где: k_x – коэффициент осевой нагрузки, учитывающий концентрацию напряжений;

F_{pc} – площадь сечения проушины по центру пальца (в сечении $a-a$), см^2 ;

σ^* – разрушающее напряжение, Па.

Определяем площадь пластины проушины в сечении $a-a$.

$$F_{pc} = (B - D)\delta = (6,0 - 1,4) \cdot 0,8 = 3,68 \text{ (см}^2\text{)}$$

где: B – ширина проушины в сечении $a-a$, см
 D – диаметр отверстия в пластине анкера, см;
 δ – толщина проушины, см.

Для одинарных проушин поправочный коэффициент определяется так:

$$k_x = 0,565 + 0,46 \frac{y}{x} - 0,1 \frac{B}{D} = 0,565 + 0,46 \frac{0,23}{0,23} - 0,1 \frac{6}{1,4} = 0,596$$

где: x, y – расстояния от края фигурного отверстия до кромки пластины проушины в горизонтальном и вертикальном направлениях, см.

Пределы прочности и текучести для материала, из которого изготовлена проушина концевая (Ст.20), при термообработке (нормализация) и переменной нагрузке, составляют согласно таблице (Табл.1):

$$[\sigma_{пр}] = 420 \text{ МПа}; [\sigma_{0,2}] = 250 \text{ МПа}$$

Таблица 1

Механические свойства и допустимые напряжения углеродистых качественных конструкционных сталей

Марка стали ГОСТ 1050	Термообработка	Предел прочности при растяжении σ_B	Предел текучести σ_T	Предел выносливости,			Допускаемые напряжения *, кгс/см2, при														
				растяжении σ_{-1p}	изгибе σ_{-1}	кручении τ_{-1}	растяжении $[\sigma_p]$			Изгибе $[\sigma_{из}]$			кручении $[\tau_{кр}]$			срезе $[\tau_{ср}]$			смятии $[\sigma_{см}]$		
		кгс/мм2						I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II
10	Н	34	21	12,5	15,5	9,5	1100	800	600	1450	1000	750	800	600	450	650	450	350	1650	1200	
	Ц-В59	40	25	14,5	18	11	1300	900	700	1550	1150	900	1000	650	550	700	500	400	1950	1350	
20	Н	42	25	15	19	11,5	1400	1150	950	1700	1200	950	1050	700	550	850	600	450	2100	1750	
	Ц-В59	50	30	18	22,5	13,5	1650	1150	900	2000	1400	1100	1250	750	550	1000	600	450	2400	1750	

Примечание. Условные обозначения термической обработки:

О — отжиг; Н — нормализация; У — улучшение; Ц — цементация; ТВЧ — закалка с нагревом т.в.ч.; В — закалка с охлаждением в воде; М — закалка с охлаждением в масле;
Виды нагрузок: I — статическая; II — переменная, действующая от нуля до максимума и от максимума до нуля (пульсирующая), III — знакопеременная (симметричная).

Так как отношение $[\sigma_{пр}]/[\sigma_{0,2}] = 420/250 = 1,68 > 1,3$, разрушающее напряжение определяется исходя из зависимости:

$$\sigma^* = \min([\sigma_{пр}]; 1,3[\sigma_{0,2}])$$

где: $[\sigma_{пр}]$ – предел прочности материала проушины, Па;
 $[\sigma_{0,2}]$ – условный предел текучести материала проушины, Па.

$$\sigma^* = \min(420; 1,3 \cdot 250) = 325 \text{ МПа}$$

Отсюда разрушающая нагрузка разрыва по сечению $a-a$ при растяжении составит:

$$P_{pc} = k_x F_{pc} \sigma^* = 0,596 \cdot 3,68 \cdot 10^{-4} \cdot 325 \cdot 10^6 = 71333 \text{ (Н)} = 71,3 \text{ (кН)}$$

Остальные виды разрушения (смятие, срез и разрушение от окружающих растягивающих напряжений) тесно связаны между собой.

Так, если $y \leq D$, то разрушение преимущественно происходит в результате среза (вырыва) или от действия окружных растягивающих напряжений. В обратном случае, причиной разрушения является, как правило, смятие.

Разрушающая нагрузка на срез и смятие определяются следующим образом:

$$P_{ср} = \vartheta y \delta \sigma^*$$

$$P_{см} = \mu D \delta \sigma^*$$

где: ϑ, μ – эмпирические коэффициенты для среза и смятия, определяемые согласно графика (Рис.6).

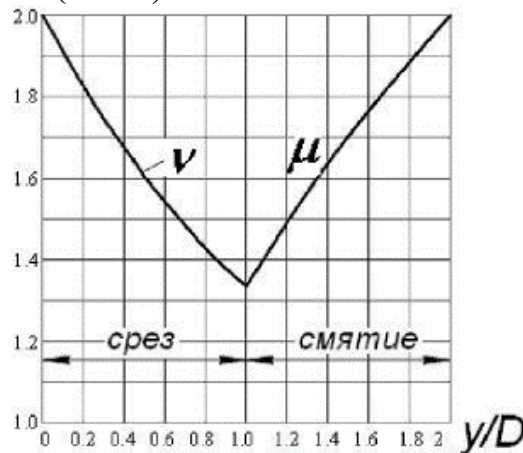


Рис.6.

Определяем искомое соотношение, выступающее как аргумент функции:

$$\frac{y}{D} = \frac{2,3}{1,4} = 1,643$$

Так как $y/D > 1$, можно видеть, что деформации на срез в данном случае отсутствует.

$$P_{ср} = 0 \text{ кН}$$

Значение эмпирического коэффициента при смятии равно:

$$\mu(1,643) = 1,8$$

Отсюда разрушающая нагрузка на смятие равна:

$$P_{см} = \mu D \delta \sigma^* = 1,8 \cdot 0,014 \cdot 0,008 \cdot 325 \cdot 10^6 = 65520 \text{ (Н)} = 65,5 \text{ (кН)}$$

Таким образом, разрушающей нагрузкой для проушины при действии продольной силы N_{Ax} , будет наименьшая из определенных сил, т.е.:

$$P_{N_x} = \min(P_{pc}; P_{ср}; P_{см}) = \min(71,3; 0; 65,5) = 65,5 \text{ (кН)}$$

4.4. Определим разрушающую нагрузку на проушину, возникающую от действия поперечной силы N_{Ay} .

Предельная нагрузка, учитывающая все виды разрушений при действии поперечной силы, определяется по формуле:

$$P_{пр} = k_y D \delta \sigma^*,$$

где: k_y – экспериментальный коэффициент поперечной нагрузки;

D – диаметр отверстия в пластине анкера, см.

Коэффициент поперечной нагрузки определяется как функция эффективного размера, который выступает аргументом функции:

$$h_{\text{эф}} = \frac{6}{\frac{3}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{1}{h_3} + \frac{1}{h_4}}$$

где: h_i – расстояния от края фигурного отверстия до наружной кромки проушины, взятые под углами 0° , $+90^\circ$ и $\pm 135^\circ$ (Рис.6).

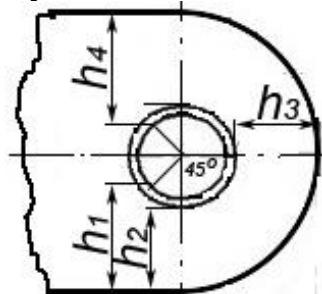


Рис.6

Определим значения расстояний от края отверстия до наружной кромки проушины:

$$h_1 = h_4 = R - \frac{D}{2} \cos 45^\circ = 30 - \frac{14}{2} \cos 45^\circ = 25 \text{ мм};$$

$$h_2 = h_3 = R - \frac{D}{2} = 30 - \frac{14}{2} = 23 \text{ мм}$$

Отсюда аргумент эффективности равен:

$$h_{\text{эф}} = \frac{6}{\frac{3}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{1}{h_3} + \frac{1}{h_4}} = \frac{6}{\frac{3}{25} + \frac{1}{23} + \frac{1}{23} + \frac{1}{25}} = 24,3 \text{ мм}$$

Отсюда:

$$\frac{h_{\text{эф}}}{D} = \frac{24,3}{14} = 1,7$$

Коэффициент поперечной нагрузки выбирается согласно экспериментальной зависимости, приведенной на рисунке (Рис.7).

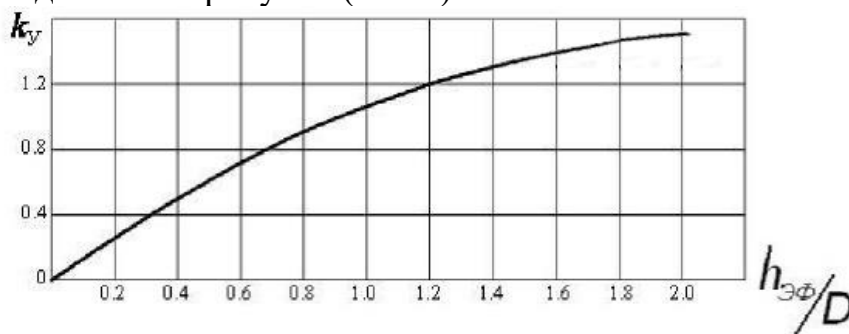


Рис.7

Принимаем коэффициент поперечной нагрузки равным:

$$k_y = 1,4$$

Отсюда предельная нагрузка, учитывающая все виды разрушений при действии поперечной силы, равна:

$$P_{\text{пр}} = k_y D \delta \sigma^* = 1,4 \cdot 0,014 \cdot 0,08 \cdot 325 \cdot 10^6 = 50960 \text{ (Н)} = 51,0 \text{ (кН)},$$

Подвижные или разъемные соединения необходимо дополнительно проверить на смятие. Разрушающая сила на смятие в данном случае определялась ранее, и равняется:

$$P_{\text{см}} = \mu D \delta \sigma^* = 65,5 \text{ (кН)}$$

Окончательно разрушающая нагрузка находится по формуле:

$$P_{N_y} = \min(P_{\text{пр}}; P_{\text{см}}) = \min(51,0; 65,5) = 51,0 \text{ (кН)}$$

4.5. Расчет проушины при совместном продольном и поперечном действии сил.

Разрушающая нагрузка при наклонном нагружении определяется по формуле:

$$P_{N_A} = \frac{1}{\left[\left(\frac{\cos \alpha}{P_{N_x}} \right)^{1,6} + \left(\frac{\sin \alpha}{P_{N_y}} \right)^{1,6} \right]^{0,625}}$$

где: α – угол наклона действующей на проушину силу, град.;
 P_{N_x}, P_{N_y} – разрушающие нагрузки при самостоятельном (отдельном) действии продольной и поперечной сил, Н.

$$P_{N_A} = \frac{1}{\left[\left(\frac{\cos 18,09}{65520} \right)^{1,6} + \left(\frac{\sin 18,09}{50960} \right)^{1,6} \right]^{0,625}} = 59968 \text{ (Н)} = 60,0 \text{ (кН)}$$

Следовательно, данная проушина устраивает по прочностным характеристикам, ибо:

$$N_A = 42,2 \text{ кН} \leq P_{N_A} = 60,0 \text{ кН}$$

При этом запас прочности рассчитанной проушины составит:

$$\varphi = \left(\frac{P_{N_A}}{N_A} - 1 \right) \cdot 100\% = \left(\frac{60,0}{42,2} - 1 \right) \cdot 100\% = 42,2\%$$