

#### 4. ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Основные принципы проектирования элементов конструкций из гнутых профилей такие же, как и горячекатаных профилей.

Особенностью холодногнутого профиля является постоянная толщина профиля по сечению, более тонкие и широкие элементы профиля в отличие от горячекатаных. В некоторых случаях указанные особенности могут способствовать потере местной устойчивости отдельными элементами профиля, подвергающимися сжатию в процессе работы.

Результаты экспериментальных исследований конструкций из гнутых профилей показали, что в зависимости от фактических размеров элементов конструкции, способа их применения и нагружения могут выявиться следующие виды дефектов: а) местная потеря устойчивости или изгиб (выпучивание) полок профиля; б) дефекты материала; в) боковая или общая потеря устойчивости.

**Элементы, работающие на центральное сжатие.** Для элементов конструкции, находящихся под действием осевых сжимающих нагрузок, обычно применяются три типа профилей: швеллерные, С-образные и корытообразные. Эти профили состоят из плоских элементов с переходами в виде закруглений, один или оба конца которых соединены со смежными элементами. Элементы с переходом или смежным элементом только на одном конце считаются нежесткими. Элементы, имеющие переходы или смежные элементы по обоим концам, считаются жесткими (рис. 62).

Продольная нагрузка, вызывающая разрушение холодногнутого профиля, работающего на центральное сжатие, независимо от их длины ограничивается условиями потери местной устойчивости. Поэтому необходимо прежде всего определить допустимое напряжение из условий потери местной устойчивости до определения общего допустимого рабочего напряжения для работающего на сжатие элемента в соответствии с отношением его рабочей длины к радиусу инерции сечения  $\left(\frac{l}{r}\right)$ .

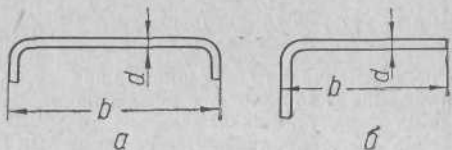


Рис. 62. Элементы профиля:  
а — жесткий; б — нежесткий.

На основании опытных данных [46] установлены величины местных напряжений изгиба для различных элементов гнутых профилей в зависимости от их размеров и формы. Опытные данные получены на основании местного прогиба отдельных элементов при исследованиях профилей, изготовленных из малоуглеродистой стали с пределом текучести  $2160 \text{ кг/см}^2$ .

Для получения напряжения, определяемого из условий потери местной устойчивости, значения местного изгибающего напряжения уменьшают на коэффициент запаса нагрузки, принимаемый равным двум, и ограничивают коэффициентом напряжения  $C$ , определяемым из условий потери устойчивости элементами профиля.

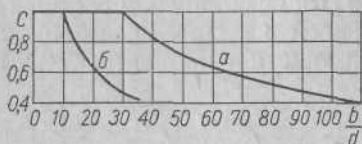


Рис. 63. Значения коэффициента напряжений  $C$  для плоских элементов профилей:

$a$  — жестких;  $b$  — нежестких.

Для жестких (рис. 63,  $a$ ) и нежестких (рис. 63,  $b$ ) элементов профиля значения коэффициента  $C$  приведены на графике. Для профилей, способных выдержать по всей площади поперечного сечения максимальное допустимое напряжение, определенное из условий потери местной устойчивости, коэффициент  $C$  принимается равным единице.

Для каждого элемента профиля значение  $C$  определяется по графику (рис. 63) в зависимости от отношения ширины элемента профиля (включая переход или переходы) к толщине элемента  $\left(\frac{b}{d}\right)$ . Величину средневзвешенного коэффициента напряжения для всего сечения  $C_{\text{ср}}$  получают путем деления суммы значений  $Cbd$  для каждого элемента профиля на сумму  $bd$  для каждого элемента

$$C_{\text{ср}} = \frac{\sum Cbd}{\sum bd}, \quad (1)$$

где  $b$  — ширина элемента профиля;  
 $d$  — толщина профиля.

При изготовлении гнутых профилей из стали с пределом текучести выше  $2160 \text{ кг/см}^2$  элементы профилей могут выдержать более высокие допускаемые рабочие напряжения. Поэтому фактическое отношение  $b/d$  для элемента профиля по отношению к расчетному следует увеличивать  $(b/d)l$ . Таким образом, для стали с большим пределом текучести фактическая величина отношения  $b/d$  при максимальном напряжении, определяемом из условий потери местной устойчивости, будет меньше величины отношения  $b/d$  для стали с пределом текучести  $2160 \text{ кг/см}^2$  при коэффициенте  $C$ , равном единице. Для определения полезной ширины элемента профиля из стали с пределом текучести  $\sigma_s$ , значения  $b/d$  следует умножить на коэффициент

$$e = \sqrt{\frac{\sigma_s}{2160}}. \quad (2)$$

Значение  $C$  каждого элемента профиля для расчетного отношения  $b/d$  может быть найдено с помощью графика, приведенного на рис. 63.

Поскольку этот график построен на опытных данных для гнутых профилей из стали с пределом текучести  $2160 \text{ кг/см}^2$ , то определенное на графике значение следует умножить на отноше-

ние  $\frac{\sigma_s}{2160}$ :

$$C_\sigma = C \left( \frac{\sigma_s}{2160} \right). \quad (3)$$

Средневзвешенный коэффициент  $C_{\text{ср}}$  всего профиля определяет-

ся так же, как и для стали с пределом текучести  $2160 \text{ кг/см}^2$ .

**Допускаемое рабочее напряжение.** Для элементов конструк-

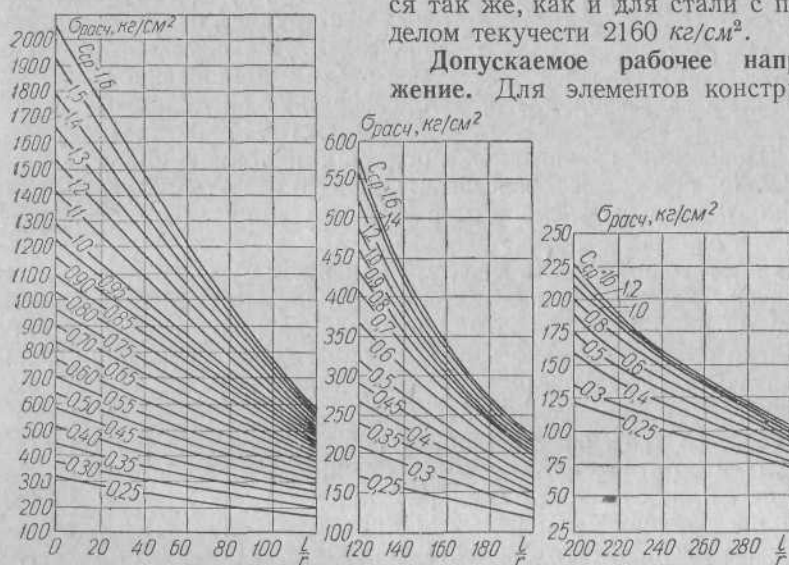


Рис. 64. Допускаемые рабочие напряжения при центральном сжатии гнутых профилей в зависимости от коэффициента напряжений  $C$  и гибкости.

ций, работающих на сжатие в осевом направлении, максимальное допускаемое рабочее напряжение  $\sigma_{\text{расч}}$  для всей площади поперечного сечения может быть найдено из графиков, приведенных на рис. 64, в соответствии со значениями коэффициента  $C$  и отношения  $l/r$ , где  $l$  — расчетная длина элемента конструкции, работающего на сжатие,  $r$  — минимальный радиус инерции всей площади поперечного сечения.

Для швеллерных, С-образных и корытообразных профилей, у которых ширина стенки меньше ширины полки в 1,3 раза, а также для равнобоких и неравнобоких угольников и других профилей, несимметричных относительно одной из осей, расчетная длина

элемента, работающего на сжатие, будет равна  $\alpha l$ , где  $\alpha$  — коэффициент прогиба от кручения и изгиба, который принимается в соответствии с данными табл. 9 и рис. 65.

Для замкнутых и других профилей, симметричных относительно большой и малой осей, а также швеллерных, С-образных и корытообразных профилей, у которых ширина стенки больше в 1,3 раза ширины полки, расчетная длина  $l$  принимается стандартной.

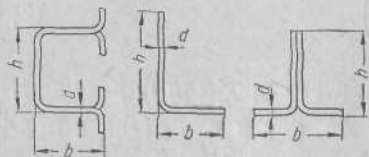


Рис. 65. Обозначения размеров профилей для определения коэффициента  $\alpha$  по данным табл. 9.

Растянутые элементы конструкций, подвергающихся осевым нагрузкам, рассчитываются по обычному методу, принятому для стальных конструкций из горячекатаных профилей. Максимально допустимое рабочее напряжение не должно превышать  $0,59\sigma_s$ .

**Элементы, работающие на изгиб.** Поведение сравнительно широких и тонких сжатых полок профилей, подвергающихся изгибу, совершенно аналогично поведению подобных элементов в конструкциях, подвергающихся осевому сжатию.

В противоположность методу, применяемому для элементов, работающих на сжатие, где все сечение профиля рассчитывается по среднему напряжению, для полки полезная ширина должна определяться по максимально допускаемому сжимающему напряжению при изгибе. Полезная ширина сжатой полки равна фактической ширине полки, умноженной на соответствующее ей значение коэффициента  $C$ . Момент сопротивления, рассчитанный для профиля со сжатой полкой, при  $C < 1$  называется уменьшенным.  $C$  при применении уменьшенного момента сопротивления при растяжении и сжатии определяются напряжения в крайних волокнах при условии, что максимальное рабочее напряжение не будет превышать значения

$$\sigma_{расч} = 0,65\sigma_s \quad (4)$$

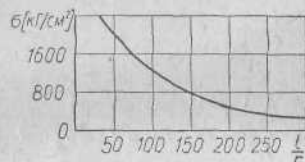


Рис. 66. Допускаемые рабочие напряжения в зависимости от гибкости при изгибе балок из гнутых профилей с симметричным поперечным сечением.

Для симметричных балок, которые не опираются непрерывно по всей длине пролета, или для балок, недостаточно ограниченных связями (опорами), величина  $\sigma_{расч}$  не должна превышать соответствующего значения на графике (рис. 66). Данный график построен на основании опытных данных по исследованию боковой потери устойчивости симметричных балок.

Асимметричные балки, не опирающиеся непрерывно или недостаточно ограниченные связями (опорами) по всей длине пролета,

Таблица 9  
Значения коэффициента  $\alpha$  для профилей различных типов

Профиль	$\frac{h}{b}$	Величины отношения $\frac{l}{r} \cdot \frac{d}{b}$ или $\frac{l}{r} \cdot \frac{d}{h}$													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Швеллер	1,0	1,26	1,22	1,18	1,14	1,09	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,25	1,03	1,01	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
С-образный	1,0	1,32	1,3	1,27	1,23	1,2	1,17	1,14	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	1,01	1,0
	1,25	1,09	1,08	1,06	1,04	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Корытообразный	1,0	—	—	—	—	—	1,3	1,24	1,18	1,14	1,10	1,06	1,03	1,01	1,0
	1,25	1,26	1,22	1,17	1,08	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Угольник	1,0	—	—	1,29	1,04	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,5	—	—	—	—	1,27	1,17	1,11	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01
	2,0	—	—	—	—	—	—	1,31	1,24	1,19	1,15	1,11	1,09	1,08	1,07
Тавровый профиль или сдвоенный угольник	0,25	1,04	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,33	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,5	1,39	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,75	—	1,3	1,16	1,1	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,0	—	—	1,34	1,2	1,13	1,09	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,0	1,0
	1,33	—	—	—	—	1,3	1,2	1,15	1,12	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04

очень неустойчивы при изгибе и должны быть подвергнуты анализу для определения вторичного эффекта искривления.

У многих асимметричных профилей, в частности швеллерных и С-образных с вертикально расположенными стенками, под действием вертикальной нагрузки центр изгиба смещается за пределы сечения. Нагрузка, приложенная к верхней полке профиля, автоматически вызывает деформацию кручения и в связи с этим дополнительные напряжения. Это приводит к напряжениям, намного превышающим напряжения от изгиба, рассчитанные по моменту сопротивления сечения.

Нежесткие элементы, работающие на изгиб и изготовленные из стали с пределом текучести выше  $2160 \text{ кг/см}^2$ , рассчитываются как элементы, сжатые в осевом направлении. Пример такого расчета приведен ниже.