

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КРАНЫ ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ
СОЕДИНЕНИЯ ШПОНЧНЫЕ.
МЕТОДЫ РАСЧЕТА

МИНИСТЕРСТВО ТЯЖЕЛЬСТВО И ТРАНСПОРТНОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ

МОСКВА 1977

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ
РТМ 24.090.16-76
КРАНЫ ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ
СОЕДИНЕНИЯ ШЛОНОЧНЫЕ.
МЕТОДЫ РАСЧЕТА

**Министерство тяжелого и транспортного
машиностроения**
Москва

РАЗРАБОТАН Военсоветом научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом подъемно-транспортного машиностроения, погрузочно-разгрузочного и складского оборудования и контейнеров (ВНИИПТМАШ)

Директор

Комаренко А.Х.

Заведующий отделом
стандартизаций

Оболенский А.С.

Руководитель темы

Спицына И.О.

Военсоветом заочным политехническим институтом (ВЗПИ)

Проректор по
научной работе

Малиновский В.А.

Руководитель темы

Ивашков И.И.

Руководитель к

Левадуров Д.С.

Исполнитель

ВНЕСЕН Военсоветом научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом подъемно-транспортного машиностроения, погрузочно-разгрузочного и складского оборудования и контейнеров (ВНИИПТМАШ)

Директор

Комаренко А.Х.

ПОДГОТОВЛЕН К УТВЕРЖДЕНИЮ Главным управлением подъемно-транспортного машиностроения.

Главный инженер

Пирогов В.К.

УТВЕРЖДЕН Министерством тяжелого и транспортного машиностроения

Заместитель Министра

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Краин грузоподъемные

РТМ 24.090.16 - 76

Соединения шпоночные

Вводится впервые

Методы расчета

Письмом Министерства тяжелого и транспортного машиностроения от "9" февраля 1976 г. № 76/14/100/данный руководящий материал утвержден в качестве рекомендуемого;

Настоящий РТМ распространяется на шпоночные соединения валов с муфтами, зубчатыми колесами и другими деталями.

РТМ содержит методику расчета неподвижных и подвижных соединений при помощи призматических шпонок (нас стандартных, так и нестандартных), а также неподвижных при помощи клиновых (врезных и на лыске) и тангенциальных шпонок.

1. ШПОНКИ ПРИЗМАТИЧЕСКИЕ

1.1. Шпонки призматические стандартных размеров (см. табл.1) рассчитываются на смятие боковых рабочих граней.

Для призматических шпонок нестандартных размеров проводятся два вида расчета:

- расчет на смятие боковых рабочих граней шпонки;
- расчет шпонки по напряжению среза.

Нагрузочная способность соединения определяется меньшим из двух значений крутящего момента, полученных расчетом на смятие и на срез. При шпоночном соединении с помощью двух призматических шпонок, которые следует располагать под углом 120° друг

к другу, принимается, что обе шпонки могут передать только полуторный крутящий момент по отношению к крутящему моменту, передаваемому одной шпонкой.

1.2. Расчет на смятие производится по формуле

$$\sigma = \frac{5M}{dh\ell_p} \leq [\sigma]_{cm} \text{ кг/см}^2 \quad (1)$$

или

$$[M]_{cm} = \frac{dh\ell_p[\sigma]_{cm}}{5} \text{ кгсм} \quad (2)$$

Таблица I

Шпонки призматические обыкновенные (выборка из ГОСТ 8788-68 и 8799-68). Шпонки клиновые (выборка из ГОСТ 8791-68, 8792-68 и 8793-68). Шпонки призматические высокие (выборка из ГОСТ 107 ...).

Диаметр вала, d	Ширина шпонки, b	Толщина шпонки, h		Длина шпонки, l
		обыкновенной	высокой	
от 6 до 8	2	2	-	от 6 до 20
ов. 8" 10	3	3	-	" 6 " 36
" 10 " 12	4	4	-	" 8 " 45
" 12 " 17	5	5	-	" 10 " 56
" 17 " 22	6	6	-	" 14 " 70
" 22 " 30	8	7	-	" 18 " 90
" 30 " 38	10	8	9	" 22 " 110
" 38 " 44	12	8	11	" 28 " 140
" 44 " 50	14	9	12	" 36 " 160
" 50 " 58	16	10	14	" 45 " 180
" 58 " 65	18	11	16	" 50 " 200
" 65 " 75	20	12	18	" 56 " 220
" 75 " 85	22	12	20	" 63 " 250
" 85 " 95	25	14	22	" 70 " 280
" 95 " 110	28	16	25	" 80 " 320
" 110 " 130	32	18	28	" 90 " 360
" 130 " 150	36	20	32	" 100 " 400
" 150 " 170	40	22	36	" 100 " 400
" 170 " 200	45	25	40	" 110 " 450

- σ - среднее давление на боковых рабочих гранях шпонки, кг/см²;
 M - расчетный крутящий момент, передаваемый соединением, кг·м;
 d - диаметр вала в ступице, см;
 h - толщина шпонки, см;
 l_p - рабочая длина шпонки, (см. черт. 1), см;

$[\sigma]_{cu}$ - допускаемое напряжение смятия, принимаемое по табл. 2, кг/см²;

$[M]_{cu}$ - допускаемый соединением крутящий момент (для одной шпонки), кг·см.

I 3. Расчет на срез (для нестандартных шпонок) производится по формуле

$$\tau = \frac{2M}{\delta b l_p} \leq [\tau]_{cr} \text{ кг/см}^2; \quad (3)$$

или

$$[M]_{cr} = \frac{\delta b l_p [\tau]_{cr}}{2} \text{ кг·см}, \quad (4)$$

где τ - среднее напряжение среза шпонки, кг/см²;

M, d, l_p - см. пояснения к формулам (1) и (2);

δ - ширина шпонки (см. черт. I), см;

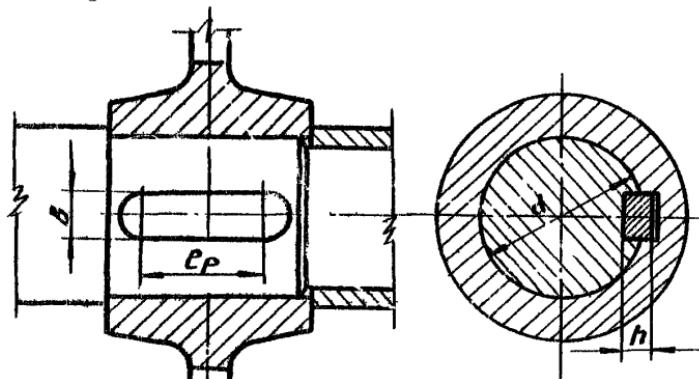
$[\tau]_{cr}$ - допускаемое напряжение среза, принимаемое по табл. 3, кг/см²;

$[M]_{cr}$ - допускаемый соединением крутящий момент (для одной шпонки), кг·см.

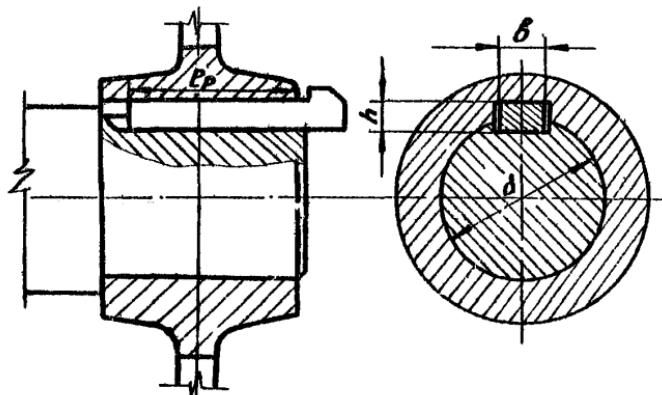
2. ШПОНКИ КЛИНОВЫЕ

Расчет ведется на смятие рабочих граней шпонки по формулам

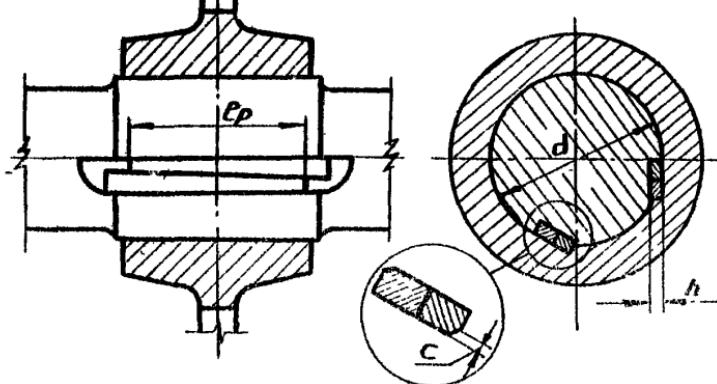
$$\sigma = \frac{12M}{\delta l_p (\delta + 6\delta f d)} \leq [\sigma]_{cu}, \text{ кг/см}^2 \quad (5)$$



Черт. 1. Соединение призматической шпонкой



Черт. 2. Соединение клиновой шпонкой



Черт.3. Соединение тангенциальной шпонкой

Таблица 2
Допускаемые напряжения смятия $\sigma_{\text{см}}^{\text{доп}}$, кг/см² для соединений
призматическими шпонками

Вид соединения	Материал	Режим работы			
		Легкий (1,2)	Средний (2,3)	Тяжелый (4,5)	Весьма тяжелый (6)
Нагрузка знакопостоянная					
Неподвижное	Сталь	0,65 σ_T	0,6 σ_T	0,55 σ_T	0,5 σ_T
	Чугун	0,65 σ_F	0,6 σ_F	0,55 σ_F	0,5 σ_F
Подвижное	Сталь	0,22 σ_T	0,2 σ_T	0,18 σ_T	0,16 σ_T
Нагрузка знакопеременная					
Неподвижное	Сталь	0,43 σ_T	0,4 σ_T	0,36 σ_T	0,33 σ_T
	Чугун	0,43 σ_F	0,4 σ_F	0,36 σ_F	0,33 σ_F
Подвижное	Сталь	0,17 σ_T	0,16 σ_T	0,15 σ_T	0,14 σ_T
Нагрузка ударная					
Неподвижное	Сталь	0,22 σ_T	0,2 σ_T	0,18 σ_T	0,16 σ_T
	Чугун	0,22 σ_F	0,2 σ_F	0,18 σ_F	0,16 σ_F
Подвижное	Сталь	0,13 σ_T	0,12 σ_T	0,11 σ_T	0,1 σ_T

Примечания: 1. Допускаемые напряжения смятия выбираются по материалу наименее прочной детали (стуницы, валы, шпоанки).

2. σ_T – предел текучести стали.

3. σ_F – предел прочности при растяжении чугуна.

4. В скобках указаны примерные режимные группы по РС 5138-75 "Техника безопасности. Краны грузоподъемные. Классификация режимов работы механизмов".

Таблица 3
Допускаемые напряжения среза $\sigma_{\text{рез}}$, кг/см²

Вид соединения	Материал	Режим работы			
		Легкий (1,2)	Средний (2,3)	Тяжелый (4,5)	Весьма тяжелый (6)
Нагрузка знакопостоянная					
Неподвижное	Сталь чисто-тианутая	0,50 σ_t	0,46 σ_t	0,43 σ_t	0,40 σ_t
Подвижное	для шпонок	0,16 σ_t	0,15 σ_t	0,14 σ_t	0,13 σ_t
Нагрузка знакопеременная					
Неподвижное	шпонок	0,35 σ_t	0,32 σ_t	0,30 σ_t	0,28 σ_t
Подвижное	ГОСТ 8787-68	0,12 σ_t	0,11 σ_t	0,10 σ_t	0,09 σ_t
Нагрузка ударная					
Неподвижное		0,22 σ_t	0,20 σ_t	0,18 σ_t	0,16 σ_t
Подвижное		0,08 σ_t	0,07 σ_t	0,06 σ_t	0,05 σ_t

Примечание. См. примечание к табл.2

Таблица 4
Допускаемые напряжения смятия $\sigma_{\text{см}}$, кг/см² для
соединений клиновыми шпонками

Материал	Режим работы			
	Легкий (1,2)	Средний (2,3)	Тяжелый (4,5)	Весьма тяжелый (6)
Нагрузка знакопостоянная				
Сталь	0,43 σ_t	0,40 σ_t	0,36 σ_t	0,33 σ_t
Чугун	0,43 σ_p	0,40 σ_p	0,36 σ_p	0,33 σ_p
Нагрузка знакопостоянная				
Сталь	0,30 σ_t	0,28 σ_t	0,26 σ_t	0,24 σ_t
Чугун	0,30 σ_p	0,28 σ_p	0,26 σ_p	0,24 σ_p
Нагрузка ударная				
Сталь	0,22 σ_t	0,20 σ_t	0,18 σ_t	0,16 σ_t
Чугун.	0,22 σ_p	0,20 σ_p	0,18 σ_p	0,16 σ_p

Примечание. См. примечание к табл.2.

или

$$[M]_{\text{дн}} = \frac{b l_p (b + 6,8 f d)}{12} [\sigma]_{\text{дн}}, \text{кгсм} \quad (6)$$

где

σ' - расчетное напряжение смятия на рабочих гранях шпонки,
кг/см²;

M - расчетный крутящий момент, передаваемый соединением,
кг.см;

b - ширина шпонки (см. табл. 1), см;

l_p - рабочая длина шпонки, см;

d - диаметр вала в ступице, (см. черт. 2), см;

$f = 0,12$ - коэффициент трения между шпонкой и сопрягаемыми
деталями;

$[\sigma]_{\text{дн}}$ - допускаемое напряжение смятия на рабочих гранях шпонки,
принимаемое по табл. 4;

$[M]_{\text{дн}}$ - допускаемый соединением крутящий момент, кгсм.

3. ШПОНКИ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫЕ

Расчет ведется на одну шпонку (на одну пару клиньев), т.к. каждая шпонка передает крутящий момент только в одном направлении.

$$\sigma = \frac{M}{(0,45 + \frac{2}{\pi} f) d l_p (h - c)} \leq [\sigma]_{\text{доп.}}, \text{ кг/см}^2 \quad (7)$$

или

$$[M]_{\text{доп.}} = (0,45 + \frac{2}{\pi} f) d l_p (h - c) [\sigma]_{\text{доп.}} \text{ кгсм} \quad (8)$$

где

σ - среднее давление на боковых рабочих гранях шпонки, кг/см^2 ;

M - расчетный крутящий момент, передаваемый соединением, кгсм ;

d - диаметр вала в ступице (см. черт. 3), см;

h - толщина шпонки (см. табл. 4), см;

l_p - рабочая длина шпонки, см;

$f = 0,12$ - коэффициент трения между шпонкой и сопрягаемыми деталями;

$[\sigma]_{\text{доп.}}$ - допускаемое напряжение смятия на рабочих гранях шпонки, принимаемое по табл. 5;

$[M]_{\text{доп.}}$ - допускаемый соединением крутящий момент, кг см.

C - ширина фаски на рабочей грани шпонки (см. табл. 6), см.

Таблица 5

Допускаемые напряжения смятия $\{\sigma\}_{cm}$ кг/см² для
соединений тангенциальными шпонками

Материал	Режим работы			
	Легкий (1,2)	Средний (2,3)	Тяжелый (4,5)	Весьма тяжелый (6)
Нагрузка знакопостоянная				
Сталь	0,30 σ_T	0,28 σ_T	0,26 σ_T	0,24 σ_T
Чугун	0,30 σ_F	0,28 σ_F	0,26 σ_F	0,24 σ_F
Нагрузка ударная				
Сталь	0,22 σ_T	0,20 σ_T	0,18 σ_T	0,16 σ_T
Чугун	0,22 σ_F	0,20 σ_F	0,18 σ_F	0,16 σ_F

Примечание. См. примечание к табл.2.

Таблица 6

Шпонки тангенциальные (выборка из ГОСТ 8796-68 и 8797-68)

Размеры сечений шпонок, мм

Диаметр вала, <i>d</i>	Шпонки нормальные		Шпонки усиленные	
	толщина шпонки, <i>h</i>	ширина фаски, <i>c</i>	толщина шпонки, <i>h</i>	ширина фаски, <i>c</i>
60	7			
70				
80	8			
90				
100	9		10	
110			11	
120			12	
130	10		13	
140			14	
150	II		15	
160			16	
170	12		17	3,0
180		2.0	18	
190			19	
200	14		20	
210			21	
220			22	
240	16		24	4,0

Примечание³ В расчет принимается толщина шпонки, равная глубине шпоночного паза по ГОСТ 8796-68 и 8797-68.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I

Определить наибольшую величину крутящего момента, которым можно нагрузить неподвижное шпоночное соединение с однолинейной стандартной призматической шпонкой шириной $b = 1,8 \text{ см}$, толщиной $h = 1,6 \text{ см}$ и рабочей длиной $\ell_p = 3,7 \text{ см}$, установленной на валу диаметром $d = 6,0 \text{ см}$. Ступица чугунная, $\sigma_s = 1500 \text{ кг}/\text{см}^2$. Предел текучести материала вала $\sigma_t'' = 3000 \text{ кг}/\text{см}^2$. Предел текучести материала шпонки $\sigma_t''' = 3200 \text{ кг}/\text{см}^2$. Нагрузка знакопеременная. Режим работы тяжелый.

I. Определяем допускаемое напряжение смятия.

По табл. 2 при неподвижном соединении и знакопеременной нагрузке для тяжелого режима работы имеем:

$$\text{для стали: } [\sigma]_{\text{см}}^{\text{см}} = 0,36. \quad \sigma_t''' = 0,36 \quad \sigma_t^b = 0,36 \cdot 3000 = \\ = 1080 \text{ кг}/\text{см}^2$$

$$\text{для чугуна } [\sigma]_{\text{см}}^{\text{чуг}} = 0,36. \quad \sigma_s = 0,36 \cdot 1500 = 540 \text{ кг}/\text{см}^2$$

$$\text{Принимаем } [\sigma]_{\text{см}} = [\sigma]_{\text{см}}^{\text{чуг}} = 540 \text{ кг}/\text{см}^2$$

2. Находим наибольший крутящий момент из расчета на смятие;

$$[M]_{\text{см}} = \frac{d h \ell_p [\sigma]_{\text{см}}}{5} = \frac{6 \cdot 1,6 \cdot 3,7 \cdot 540}{5} = 3830 \text{ кг}\cdot\text{м}$$

3. Определяем допускаемое напряжение среза.

По табл. 3 при неподвижном соединении и знакопеременной нагрузке для тяжелого режима работы имеем:

$$[\tau]_{\text{ср}} = 0,3. \quad \sigma_t''' = 0,3 \cdot 3200 = 960 \text{ кг}/\text{см}^2$$

4. Находим наибольший крутящий момент из расчета на срез.

$$[M]_{\text{ср}} = \frac{d b \ell_p [\tau]_{\text{ср}}}{2} = \frac{6 \cdot 1,8 \cdot 3,7 \cdot 960}{2} = 19000 \text{ кг}\cdot\text{см}$$

5. Наибольшая величина крутящего момента определяется меньшим значением двух полученных крутящих моментов

$$M_{max} = [M]_{cm} = 3820 \text{ кгсм.}$$

Пример 2.

Определить наибольшую величину крутящего момента, которым можно нагружать неподвижное соединение с двумя стандартными шпонками шириной $b = 18 \text{ см}$, толщиной $h = 1 \text{ см}$ и рабочей длиной $l_p = 40 \text{ см}$, установленными на валу диаметром $d = 60 \text{ см}$. Все детали соединения стальные; наименьшее значение предела текучести $\sigma_T = 3000 \text{ кг/см}^2$. Нагрузка ударная. Режим работы весьма тяжелый.

I. Определяем допускаемое напряжение смятия.

По табл.2 при неподвижном соединении и ударной нагрузке для весьма тяжелого режима работы имеем

$$\sigma_{allow} = 0,16 \sigma_T = 0,16 \cdot 3000 = 480 \text{ кг/см}^2.$$

2. Находим наибольший крутящий момент, передаваемый одной шпонкой, из расчета на смятие

$$[M]_{cm} = \frac{d \cdot l_p h \sigma_{allow}}{5} = \frac{6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 480}{5} = 2520 \text{ кгсм.}$$

3. Определяем наибольший крутящий момент передаваемый соединением

$$M_{max} = 1,5 [M]_{cm} = 1,5 \cdot 2520 = 3780 \text{ кгсм.}$$

Пример 3.

Проверить допустимость крутящего момента $M = 100000 \text{ кгсм}$ для соединения вала диаметром $d = 15,5 \text{ см}$ одной клиновой шпонкой шириной $b = 4,0 \text{ см}$, толщиной $h = 2,2 \text{ см}$ и рабочей длиной $l_p = 16 \text{ см}$. Нагрузка знакопостоянная. Режим работы средний. Все детали соединения стальные; наименьшее значение преде-

ла текучести $\sigma_t = 3200 \text{ кг/см}^2$.

1. Определяем напряжение смятия на рабочих поверхностях шпонки

$$\sigma_{cu} = \frac{12M}{8l_p(b+6,8fd)} = \frac{12 \cdot 100000}{416(4+6,8 \cdot 0,12 \cdot 15,5)} = 1130 \text{ кг/см}^2$$

где $f = 0,2$ - коэффициент трения между шпонкой и сопротивляемыми деталями.

2. Определяем допускаемое напряжение смятия:

По табл. 4 для стали и знакопостоянной нагрузки при среднем режиме работы $\zeta = 3$ имеем:

$$[\sigma]_{cu} = 0,4 \quad \sigma_t = 0,4 \cdot 3200 = 1280 \text{ кг/см}^2$$

3. Сравниваем действующее напряжение смятия с допускаемым $\sigma_{cu} = 1130 < 1280 = [\sigma]_{cu}$, следовательно, крутящий момент $M = 100000 \text{ кгсм}$ для данного соединения допустим.

Пример 4

Определить наибольшую величину крутящего момента, которым можно нагружить соединение вала диаметром $d = 24,0 \text{ см}$ тангенциальными шпонками толщиной $h = 1,6 \text{ см}$, рабочей длиной $l_p = 32,0 \text{ см}$, с фаской $c = 0,2 \text{ см}$. Нагрузка ударная. Режим работы легкий. Все детали соединения стальные; наименьшее значение предела текучести $\sigma_t = 3000 \text{ кг/см}^2$.

1. Определяем допускаемое напряжение смятия.

По табл. 5 для стали и ударной нагрузки при легком режиме работы имеем

$$[\sigma]_{cu} = 0,22 \quad \sigma_t = 0,22 \cdot 3000 = 660 \text{ кг/см}^2$$

2. Находим наибольший крутящий момент, передаваемый соединением.

$$[M]_{cu} = (0,45 + \frac{2}{\pi} \cdot f) d l_p (\zeta - c) [\sigma]_{cu} =$$

$$= (0,45 + \frac{2}{3,14} \cdot 0,12) 24 \cdot 32 (1,6 - 0,2) \cdot 660 = 362000 \text{ кгсм}.$$