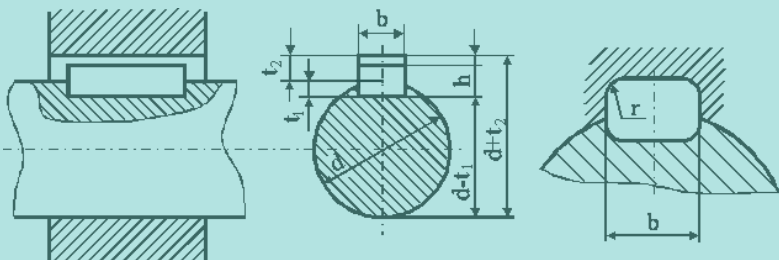


Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт машиностроения
Кафедра «Нанотехнологии, материаловедение и механика»

ШПОНОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ. РАСЧЕТ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Электронное
учебно-методическое пособие



© ФГБОУ ВПО «Тольяттинский
государственный университет», 2015

ISBN 978-5-8259-0847-2

УДК 621.333

ББК 34.44

Рецензенты:

замдиректора автономной некоммерческой организации
«Головной аттестационный центр по сварочному производству
Средне-Волжского региона» *В.А. Печенкина*;
канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного
университета *П.А. Мельников*.

Шпоночные соединения. Расчет шпоночных соединений : электрон. учеб.-метод. пособие / сост. Г.Л. Авдонченкова, А.Н. Пахоменко. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. – 1 оптический диск.

В учебно-методическом пособии представлены теоретический материал, справочные таблицы, методика расчета, приведены примеры расчета шпоночных соединений разного вида.

Предназначено для студентов, выполняющих курсовой проект, курсовую работу по дисциплине «Детали машин и основы конструирования», следующих направлений подготовки 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»; 150700.62 «Машиностроение»; 141100.62 «Энергетическое машиностроение»; 190600.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»; 190109.65 «Наземные транспортно-технологические средства».

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ППП 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; Adobe Reader.

© ФГБОУ ВПО «Тольяттинский
государственный университет», 2015



Редактор *Г.В. Данилова*

Технический редактор *З.М. Малявина*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Художественное оформление,

компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*



Дата подписания к использованию 30.03.2015.

Объем издания 2,2 Мб.

Комплектация издания: CD-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-26-14.

Издательство Тольяттинского государственного университета

445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

тел. 8(8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

Введение	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	7
2. СОЕДИНЕНИЯ ПРИЗМАТИЧЕСКИМИ ШПОНКАМИ	9
2.1. Шпонки обыкновенные врезные	9
2.2. Шпонки сегментные	13
2.3. Шпонки цилиндрические	15
3. СОЕДИНЕНИЯ КЛИНОВЫМИ ШПОНКАМИ	17
3.1. Врезные клиновые шпонки	17
3.2. Фрикционные шпонки	18
4. МАТЕРИАЛ ШПОНОК И ВЫБОР ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СМЯТИЯ	20
5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ ШПОНКИ	21
6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	22
Контрольные вопросы	25
Библиографический список	26

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие предназначено для изучения темы «Шпоночные соединения. Расчет шпоночных соединений» дисциплины «Детали машин и основы конструирования».

Целевая установка темы «Шпоночные соединения. Расчет шпоночных соединений» заключается в том, чтобы, исходя из заданных условий работы соединения, рекомендовать методы, правила и нормы их проектирования, обеспечивающие выбор наиболее рациональных материалов, форм, размеров, допускаемых напряжений, степени точности, а также технических условий изготовления.

Основной задачей является освоение основ теории и расчета шпоночных соединений деталей машин требуемого назначения по заданным параметрам.

После ознакомления с теоретическим материалом пособия и методикой расчета соединения студент выполняет соответствующую часть курсового проекта или курсовой работы. Контроль правильности расчета осуществляется преподавателем при конструировании и защите курсового проекта.

Пособие предназначено для студентов направления подготовки специалистов и бакалавров всех форм обучения.

Изучив тему «Шпоночные соединения. Расчет шпоночных соединений», студент должен:

иметь представление о типах конструкций, назначении и применении шпоночных соединений;

знать:

- основные виды шпоночных соединений;
- виды шпонок, применяемые в напряженных и ненапряженных соединениях;
- почему шпоночные соединения рассчитывают по напряжениям смятия, а не на срез;

уметь:

- назначить тип шпоночного соединения в зависимости от условий работы механизма;
- подобрать по ГОСТу размеры, глубину врезания шпонки в вал и ступицу;

- установить допускаемые напряжения смятия в зависимости от режима нагружения, прочности материала вала и ступицы;
владеть навыками:
- расчета шпоночных соединений по напряжениям смятия;
- подбора посадок для цилиндрических, конических колес и для колес реверсивных передач редуктора.

Методические рекомендации по изучению темы

При освоении темы необходимо:

- изучить учебный материал по теме «Разъёмные соединения»;
- акцентировать внимание на выборе шпоночного соединения из условий работы механизма;
- выполнить задание по расчету шпоночных соединений по напряжениям смятия на промежуточном и тихоходном валах редуктора в курсовом проекте «Расчет и конструирование привода общего назначения».

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Шпоночные соединения относятся к разъемным соединениям, они служат для закрепления на валах и осях зубчатых колёс, шкивов, звёздочек и других деталей при помощи шпонок и для передачи вращающего момента от вала к ступице насаженной детали и наоборот.

Шпонка — деталь, устанавливаемая в пазах двух соприкасающихся деталей и препятствующая относительно повороту или сдвигу этих деталей.

Шпоночные соединения можно разделить на две группы:

- 1) ненапряжённые соединения, осуществляемые при помощи призматических и сегментных шпонок;
- 2) напряжённые соединения, осуществляемые клиновыми, фрикционными и тангенциальными шпонками; в соединении образуются напряжения до приложения внешней нагрузки [2].

Шпоночное соединение трудоёмко в изготовлении. При передаче вращающего момента оно характеризуется значительными местными деформациями вала и ступицы колеса в районе шпоночного паза, что снижает усталостную прочность вала. Его применяют в случаях, когда для заданного момента не удастся подобрать посадку с натягом из-за недостаточной прочности материала колеса.

При передаче вращающего момента шпоночным соединением применение посадок колеса на вал с зазором недопустимо, а посадок переходных крайне нежелательно, так как происходит обкатывание со скольжением поверхностей вала и отверстия колеса, которое приводит к износу [4].

Основное применение имеют ненапряжённые соединения, в которых для обеспечения надлежащего центрирования и исключения контактной коррозии следует ступицы устанавливать на валы с натягом.

Поэтому рекомендуются посадки:

- для цилиндрических прямозубых колес Н7/р6 (Н7/г6);
- цилиндрических косозубых и червячных колес Н7/г6 (Н7/с7);
- конических колес Н7/с7 (Н7/г6).

Посадки с большим натягом (в скобках) – для колес реверсивных передач.

Шпонки всех основных типов стандартизованы. Размеры шпонок выбираются в зависимости от диаметра вала по таблицам стандарта.

Обычно в соединение ставят по одной шпонке, а при передаче большого вращающего момента – две и три шпонки через 180...120°.

2. СОЕДИНЕНИЯ ПРИЗМАТИЧЕСКИМИ ШПОНКАМИ

Эти соединения получили наибольшее распространение. Служат для ненапряжённого соединения вала со ступицей, обеспечивают лёгкий монтаж и демонтаж деталей, сопряжённых с валом, лучшую центровку деталей, сидящих на валу, по сравнению с другими видами шпонок, отличаются простотой конструкции и сравнительно низкой стоимостью.

Недостатками призматических шпонок являются трудность обеспечения их взаимозаменяемости и необходимость ручной пригонки, требуют изготовления вала и отверстия в ступице с большой точностью, что ограничивает их применение в крупносерийном и массовом производстве. Пригонкой стремятся обеспечить устойчивое положение шпонки в пазах, так как перекос (выворачивание) шпонки значительно ослабляет соединения.

2.1. Шпонки обыкновенные врезные

Призматические шпонки выполняют прямоугольного сечения с отношением высоты к ширине сечения от 1:1 для валов малых диаметров, до 1:2 для валов больших диаметров (табл. 1) [5]. Концы шпонок выполняют плоскими или скругленными (рис. 1) [3].

Рабочими у призматической шпонки являются боковые, более узкие грани. Шпонку врезают в вал и ступицу на глубину около 0,5 её высоты h , при чугунных ступицах несколько глубже в ступицу. В радиальном направлении предусматривают зазор.

Простые шпонки закладывают в паз вала, соответствующий длине шпонки, без крепления. Ограниченное применение имеют подвижные соединения направляющими шпонками, которые прикрепляются к валу винтами.

В связи с тем что выколачивание призматических шпонок из валов при разборке в условиях стеснённых габаритов может представлять трудности, валы по возможности проектируют с необходимым перепадом посадочных диаметров.

Шпонки призматические (ГОСТ 223360–78), мм

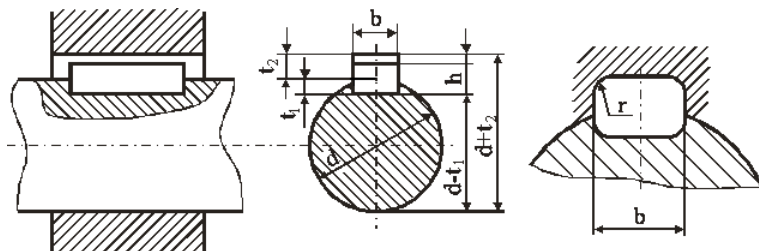


Таблица 1

Диаметр вала, d	Сечение шпонки		Глубина и радиус закругления пазов			
	b	h	вал, t_1	втулка, t_2	r (или фаска $s_1 \times 45^\circ$)	
					наименьший	наибольший
6...8	2	2	1,2	1		
8...10	3	3	1,8	1,4	0,08	0,16
10...12	4	4	2,5	1,8		
12...17	5	5	3,0	2,3		
17...22	6	6	3,5	2,8	0,16	0,25
22...30	8	7	4,0	3,3		
30...38	10	8	5,0	3,3		
38...44	12	8	5,0	3,3		
44...50	14	9	5,5	3,8		
50...58	16	10	6,0	4,3	0,25	0,4
58...65	18	11	7,0	4,4		
65...75	20	12	7,5	4,9		
75...85	22	14	9,0	5,4	0,4	0,6
85...95	25	14	9,0	5,4		
95...110	28	16	10	6,4		

Примечания

1. Длины призматических шпонок l выбирают из ряда (ГОСТ 223360–78) 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200.
2. Примеры обозначения шпонки при $b = 16$ мм, $h = 10$ мм, $l = 80$ мм исполнения А (со скругленными торцами): шпонка 16×10×80 (СТ СЭВ 189–75), то же исполнения В (с плоскими торцами): шпонка В 16×10×80 (ГОСТ 223360–78).

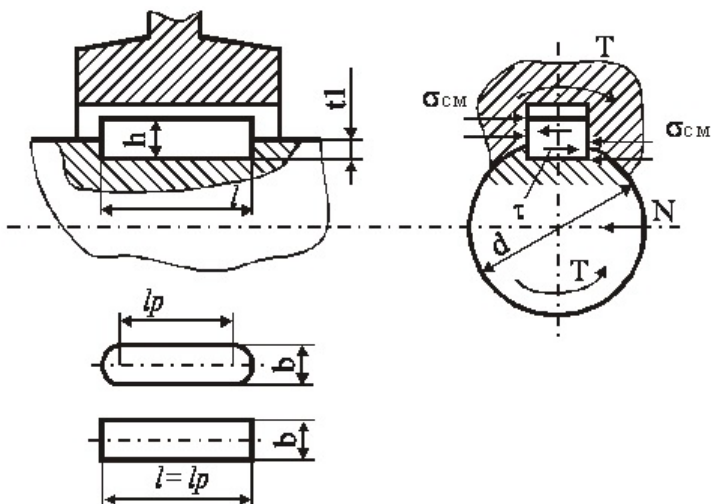


Рис. 1

Установленные вплотную зубчатые колеса, если они передают момент в разные стороны (ведущее и ведомое), лучше во избежание перекоса сажать на разные шпонки, а если в одну сторону, то на общую шпонку. Для облегчения изготовления вала шпонки на валу целесообразно по возможности делать одного поперечного сечения.

При проектировании шпоночного соединения ширину « b » и высоту « h » шпонок принимают по соответствующему ГОСТу в зависимости от диаметра вала. Длину шпонки принимают в зависимости от длины ступицы и согласовывают по ГОСТам на шпонки (табл. 1) [5].

Достаточность принятых размеров шпонки проверяют расчетом соединения на прочность.

Вращающий момент передается с вала на ступицу боковыми гранями шпонки. При этом возникают напряжения смятия $\sigma_{см}$, а в продольном сечении шпонки – напряжения среза τ (рис. 1) [3].

Условие прочности на срез в продольном сечении стандартных шпонок обеспечено при стандартизации подбором размеров $b \times h$. При проектировании соответствующая проверка не требуется. Проверяют шпонки только по напряжениям смятия.

Для простоты расчета допускают, что шпонка врезана в вал наполовину своей высоты, напряжения $\sigma_{\text{см}}$ распределяются равномерно по высоте и длине шпонки, а плечо равнодействующей этих напряжений равно $d/2$ (рис. 1). Отсюда получаем условие прочности в виде [2]:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2T \cdot 10^3}{d \cdot (h - t_1)(l - b)} \leq [\sigma]_{\text{см}}; \quad (1)$$

$$\tau = \frac{2T \cdot 10^3}{b \cdot l_p \cdot d} \leq [\tau], \quad (2)$$

где T – вращающий момент, Нмм; l – общая длина шпонки, мм; d – диаметр вала, мм; h – высота шпонки, мм; b – ширина шпонки, мм; t_1 – глубина врезания шпонки в вал; $l_p = l - b$ – рабочая длина шпонки, мм.

Если в результате расчета шпонки окажется, что она перенапряжена, то предусматривают две или три шпонки, или заменяют шпоночное соединение на шлицевое.

Часто при расчете шпоночного соединения, назначив допускаемые напряжения смятия $[\sigma]_{\text{см}}$ из условий работы механизма, определяют длину шпонки по формуле (1):

$$l = \frac{2T}{d(h - t_1)[\sigma]_{\text{см}}} + b, \text{ мм}. \quad (3)$$

Далее выбирают стандартную длину шпонки и затем её проверяют по напряжениям смятия по формуле (1).

Длину ступицы, насаженной на вал детали, принимают на 8...10 мм больше длины шпонки.

Пазы на валах под шпонки со скруглёнными концами выполняют пальцевыми фрезами. Пазы на валах для шпонок с плоскими торцами выполняют дисковыми фрезами, что более технологично и создаёт меньшую концентрацию напряжений, чем при выполнении пальцевой фрезой.

2.2. Шпонки сегментные

Сегментная и цилиндрическая шпонки являются разновидностью призматической шпонки, так как принцип работы этих шпонок подобен призматической шпонке [1].

Конструкция соединения с помощью сегментной шпонки показана на рис. 2 [3], табл. 2 [6]. Глубокая посадка шпонки обеспечивает ей более устойчивое положение, чем у простой призматической шпонки. Это предохраняет шпонку от перекоса под нагрузкой. Однако глубокий паз значительно ослабляет вал, поэтому сегментные шпонки применяют главным образом для закрепления деталей на малонагруженных участках вала, например на концах валов, и для передачи относительно небольших моментов.

Аналогично призматической шпонке сегментная рассчитывается на смятие [2]:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2T}{(h-t) \cdot l \cdot d_1} \leq [\sigma_{\text{см}}]. \quad (4)$$

Основные размеры сегментных шпонок $b \times h \times d_1$, где b – ширина шпонки; h – высота шпонки; d_1 – диаметр шпонки.

Эти размеры стандартизованы в зависимости от диаметра вала. Длина шпонки $l \approx d_1$.

Шпоночный паз для сегментных шпонок фрезеруют специальной фрезой, соответствующей размеру шпонки.

Шпонки сегментные (по ГОСТ 8794–78 и ГОСТ 8795–78), мм

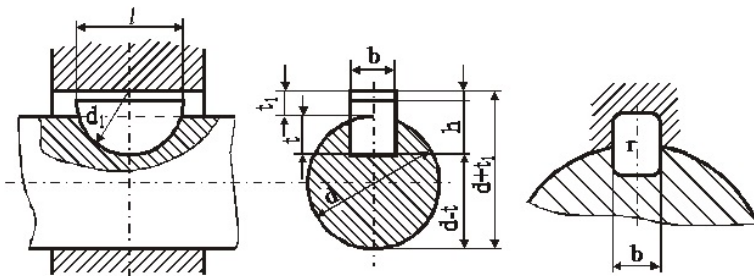


Таблица 2

Диаметр вала, d		Номинальные размеры шпонок				Глубина паза					
для шпонок, передающих крутящий момент	для шпонок, фиксирующих элементы	b	h	d_1	l	вал	втулка	радиус закругления пазов, r			
						t	t_1	наименьший	наибольший		
6...8	10...12	2	2,6	7	6,8	1,8	1				
			3,7	10		2,9					
			2,5	3,7	10	9,7					2,9
			3,7	10		2,5					
8...10	12...17	3	5	13	12,6	3,8	1,4	0,08	0,16		
			6,5	16	15,7	5,3					
			5	13	12,6	3,5					
10...12	17...22	4	6,5	16	15,7	5	1,8				
			7,5	19	18,6	6					
			9	22	21,6	7,5					
			6,5	16	15,7	4,5					
12...17	22...30	5	7,5	19	18,6	5,5	2,3		0,16	0,25	
			9	22	21,6	7					
			10	25	24,5	8					
			7,5	19	18,6	5					
			9	22	21,6	6,5					
12...22	30...38	6	10	25	24,5	7,5	2,8				
			11	28	27,3	8,5					
			13	32	31,4	10,5					

Пример обозначения сегментной шпонки размерами $b = 6$ мм, $h = 10$ мм: шпонка сегментная 6×10 ГОСТ 8794–78.

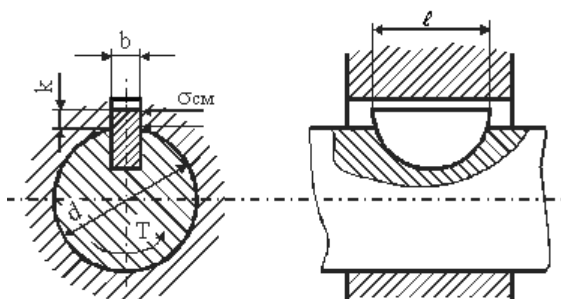


Рис. 2

При длинных ступицах можно ставить в ряд по оси вала две сегментные шпонки.

2.3. Шпонки цилиндрические

Конструкция соединения с цилиндрической шпонкой (штифтом) показана на рис. 3 [2].

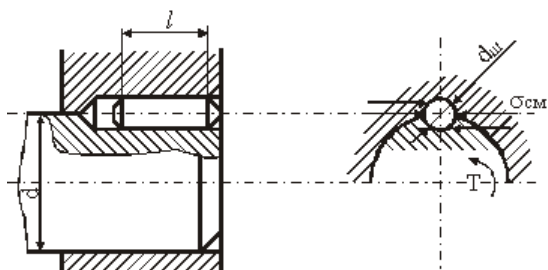


Рис. 3

Цилиндрическая шпонка может использоваться для закрепления деталей на конце вала. Отверстие под шпонку сверлят и обрабатывают развёрткой после посадки ступицы на вал. При больших нагрузках ставят две или три шпонки, располагая под углом 180 или 120°. Цилиндрическую шпонку устанавливают в отверстие с натягом. В некоторых случаях шпонке придают коническую форму.

Условие прочности соединения цилиндрической шпонкой по напряжениям смятия аналогично формуле для призматической шпонки [2]:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4T}{d_{\text{ш}} \cdot l \cdot d} \leq [\sigma_{\text{см}}], \quad (5)$$

где $d_{\text{ш}}$ – диаметр штифта, мм; d – диаметр вала, мм.

Число шпонок, необходимое для передачи заданного максимального крутящего момента, определяют по формуле

$$Z = \frac{16T \cdot 10^3}{\pi \cdot d \cdot d_{\text{ш}} \cdot l \cdot [\sigma]_{\text{см}}}. \quad (6)$$

Диаметр шпонки $d_{\text{ш}} = (0,13 \dots 0,16)d_{\text{в}}$. В соответствии с ГОСТ 3128–78 $d_{\text{ш}}$ должен быть равен: 6; 8; 10; 12; 16 мм. Размер $l = (3 \dots 4)d_{\text{ш}}$ согласовывают с рядом чисел: 12; 14; 16; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 65.

3. СОЕДИНЕНИЯ КЛИНОВЫМИ ШПОНКАМИ

Различают шпонки врезные, на лыске, фрикционные, тангенциальные.

3.1. Врезные клиновые шпонки

Врезные клиновые шпонки (ГОСТ 8791–78, ГОСТ 8792–78) характеризуются следующими положениями:

- свободной посадкой ступицы на вал (с зазором);
- расположением шпонки в пазу с зазором по боковым граням (рабочими являются широкие грани шпонки);
- передачей вращающего момента от вала к ступице в основном за счёт сил трения, которые образуются в соединении от запрессовки шпонки (рис. 4) [3].

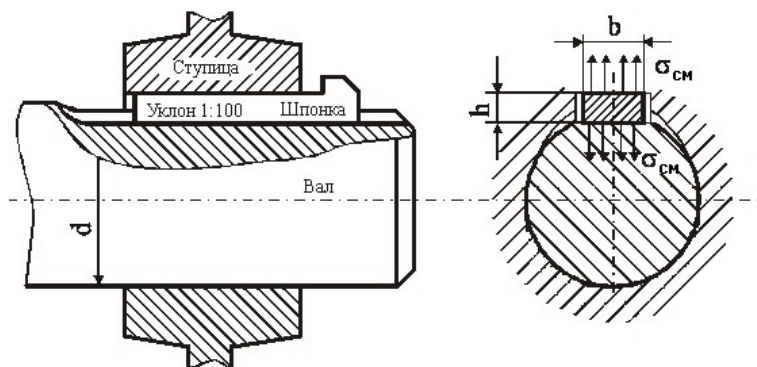


Рис. 4

Кроме того, клиновые шпонки воспринимают осевую силу и ударные нагрузки.

Запрессовка шпонки смещает центры вала и ступицы на некоторую величину Δ , равную половине зазора посадки и деформации деталей. Это смещение вызывает дисбаланс и неблагоприятно сказывается на работе механизма при больших скоростях вращения. Клиновидная форма шпонки может вызвать перекос детали, при котором её торцовая плоскость не будет перпендикулярна к оси вала. Об-

работка паза в ступице с уклоном, равным уклону шпонки, создаёт дополнительные технологические трудности и часто требует индивидуальной подгонки шпонки по пазу, что совершенно недопустимо в условиях массового производства. Эти недостатки послужили причиной того, что применение клиновых шпонок резко сократилось в условиях современного производства, которое без больших затруднений может обеспечить точную посадку ступицы на вал.

Применение клиновой шпонки целесообразно тогда, когда трудно обеспечивать посадку ступицы на вал без больших зазоров. Она является средством исправления дефектов производства, так как выбирает зазор и создает натяг в соединении.

Клиновые шпонки врезные и на лыске рассчитываются из условия прочности на смятие [2]:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2T}{b \cdot l \left(f \cdot d + \frac{l}{6} b \right)} \leq [\sigma]_{\text{см}}, \quad (7)$$

где b – ширина шпонки выбирается по ГОСТу; l – длина шпонки, которая может быть равна длине ступицы или определена из чертежа; f – коэффициент трения между валом, ступицей и шпонкой: $f = 0,13 \dots 0,18$; d – диаметр вала, мм; $[\sigma]_{\text{см}} = 80\text{--}100$ МПа – допускаемые напряжения смятия.

3.2. Фрикционные шпонки

Фрикционные шпонки (ГОСТ 8796–78) являются одной из разновидностей клиновой шпонки (рис. 5) [2].

Фрикционной шпонкой осуществляют соединение ступицы с гладким валом. Поверхность шпонки, соприкасающуюся с валом, делают цилиндрической, её радиус равен радиусу вала. Широкие грани являются рабочими, а по боковым граням предусмотрен зазор.

В этом соединении нагрузка передаётся только силами трения. Поэтому его можно использовать как предохранительное при перегрузках. Кроме того, фрикционная шпонка позволяет регулировать положение ступицы на валу как в угловом, так и осевом направлениях. Расчёт фрикционной шпонки производится из условия прочности на смятие [2]:

$$T \leq [\sigma]_{\text{см}} \cdot b \cdot l \cdot f \cdot d, \quad (8)$$

где $\sigma_{\text{см}}$ – рекомендуемое напряжение смятия: $[\sigma]_{\text{см}} = 40 \dots 50$ МПа.

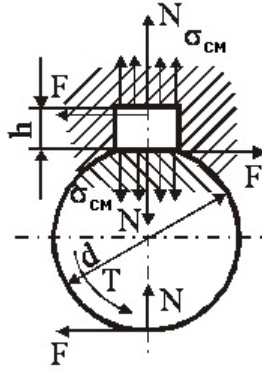


Рис. 5

4. МАТЕРИАЛ ШПОНОК И ВЫБОР ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СМЯТИЯ

В качестве материала для шпонок рекомендуется применять чистотянутую прутковую сталь с пределом прочности $\sigma_b > 500$ МПа (сталь 45, сталь 6).

Величина допускаемых напряжений зависит от режима работы и прочности материала вала и ступицы, типа посадки.

В зависимости от условий работы редуктора приняты следующие допускаемые напряжения смятия на шпонках из стали 45 [3]:

– $[\sigma]_{см} = 50...70$ МПа – при непрерывном использовании редукторов с полной нагрузкой;

– $[\sigma]_{см} = 130...180$ МПа – при среднем режиме использования редукторов;

– $[\sigma]_{см} = 260$ МПа – при предельных статических нагрузках.

Допускаемые напряжения в неподвижных шпоночных соединениях общего машиностроения при спокойной нагрузке рекомендуется принимать:

– при стальной ступице $[\sigma]_{см} = 100...150$ МПа,

– при чугунной $[\sigma]_{см} = 60...80$ МПа.

Допускаемое напряжение среза $[\tau]_{ср}$ выбирается по материалу шпонок в пределах $[\tau]_{ср} = 87...120$ МПа.

Для ступиц из текстолита и древесно-слоистых пластиков допускаемые напряжения на смятие составляют около 20 МПа.

5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ ШПОНКИ

1. Выбираем материал шпонки с пределом прочности

$$\sigma > 500 \text{ МПа.}$$

2. По ГОСТ 23360–78 по диаметру вала d выбираем шпонку со следующими размерами: b, h, t_1 (табл. 1).

3. Задаемся допускаемым напряжением смятия $[\sigma]_{\text{см}}$ (раздел 4).

4. Определяем рабочую длину шпонки [1]:

$$l_p = \frac{2T}{d(h-t_1)[\sigma]_{\text{см}}}. \quad (9)$$

5. Находим общую длину шпонки [1]:

$$l = l_p + b. \quad (10)$$

Уточняем общую длину шпонки l по стандартному ряду ГОСТ 23360–78.

6. Проверяем выбранную шпонку по напряжениям смятия по формуле (1):

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2T \cdot 10^3}{d(h-t_1)(l-b)} \leq [\sigma]_{\text{см}}.$$

Если это условие не выполняется, то устанавливают две шпонки или увеличивают длину ступицы и, соответственно, увеличивают длину шпонки. Методика расчета сегментной шпонки аналогична данной.

6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Пример 1. Выбрать по стандарту призматическую шпонку для соединения колеса с валом $d = 50$ мм, найти длину ступицы. Материал шестерни – сталь 40Х, материал шпонки – сталь 45. Передаваемый момент $T = 500$ нм, соединение работает со слабыми толчками.

Решение

1. По ГОСТ 23360–78 для вала $d = 50$ мм выбираем шпонку призматическую, обыкновенную с размерами: $b = 16$ мм, $h = 10$ мм, $t_1 = 6$ мм.

2. Назначаем допускаемое напряжение смятия $[\sigma_{см}] = 100$ МПа.

3. Определяем рабочую длину шпонки по формуле (9):

$$l_p = \frac{2T}{d(h-t_1)[\sigma_{см}]} = \frac{2 \cdot 500 \cdot 10^3}{50 \cdot (10-6) \cdot 100} = 50 \text{ мм.}$$

4. Находим общую длину шпонки по формуле (10):

$$l = l_p + b = 50 + 16 = 66 \text{ мм.}$$

Стандартное значение длины шпонки равно $l = 70$ мм.

Принимаем: шпонка $16 \times 10 \times 70$ по ГОСТ 23360–78.

5. Проверяем выбранную шпонку по напряжению смятия по формуле (1):

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{d(h-t_1)(l-b)} = \frac{2 \cdot 500 \cdot 10^3}{50(10-6)(70-16)} = 92,6 \text{ МПа} \leq [\sigma_{см}] = 100 \text{ МПа.}$$

6. Находим длину ступицы колеса конструктивно:

$$l_{ст} = l + 8 \dots 10 \text{ мм} = 70 + 10 = 80 \text{ мм.}$$

Пример 2. Втулочная муфта, соединяющая два вала, установлена на сегментных шпонках (рис. 6).

Материал муфты и валов – сталь 45, шпонки – сталь 6. Передаваемый момент при среднем режиме использования редуктора $T = 150$ нм. Диаметр вала $d = 35$ мм. Подобрать шпонку и найти напряжение смятия.

Решение

По ГОСТ 8794–78 (табл. 2) для вала $d = 35$ мм выбираем шпонку сегментную со следующими размерами: $b = 6$ мм, $h = 10$ мм, $d_1 = 25$ мм, $l = 24,5$ мм, $t = 7,5$ мм. Шпонка сегментная 6×10 .

Определяем напряжение смятия по формуле (4):

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2T}{(h-t) \cdot l \cdot d} = \frac{2 \cdot 150 \cdot 10^3}{35 \cdot 24,5 \cdot (10 - 7,5)} = 140 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{\text{см}}.$$

Допускаемое напряжение смятия при среднем режиме использования редукторов равно $[\sigma]_{\text{см}} = 130 \dots 180 \text{ МПа}$.

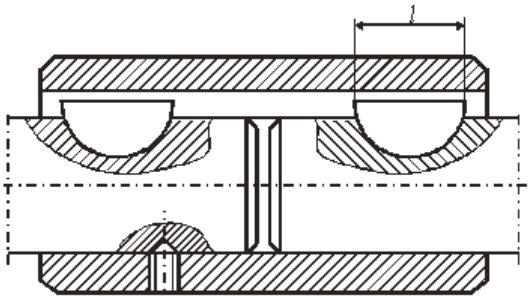


Рис. 6

Пример 3. Соединение зубчатого колеса с валом редуктора осуществляется при помощи цилиндрического штифта. Диаметр вала $d = 40 \text{ мм}$.

1. Проверить штифт на смятие, если допускаемое напряжение смятия $[\sigma]_{\text{см}} = 130 \text{ МПа}$, а момент, передаваемый колесом, $T = 150 \text{ нм}$.

2. Определить число шпонок, необходимое для передачи этого момента.

Решение

1. Определяем диаметр шпонки по эмпирическим зависимостям в разделе 2.3:

$$d_{\text{шп}} = (0,13 \dots 0,16)40 = 5,2 \dots 6,4 \text{ мм.}$$

Назначаем стандартную шпонку с $d_{\text{шп}} = 6 \text{ мм}$.

2. Рассчитываем длину шпонки:

$$l = (3 \dots 4), d_{\text{шп}} = (3 \dots 4)6 = 18 \dots 24 \text{ мм.}$$

Выбираем стандартную длину $l = 20 \text{ мм}$.

3. Рассчитываем напряжение смятия по формуле (5):

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4T}{d_{\text{шп}} \cdot l \cdot d_{\text{в}}} = \frac{4 \cdot 150 \cdot 10^3}{6 \cdot 20 \cdot 40} = 125 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{\text{см}} = 130 \text{ МПа.}$$

4. Определяем число шпонок для передачи момента $T = 150$ нм по формуле (6):

$$Z = \frac{16T \cdot 10^3}{\pi \cdot d_b \cdot d_{ш} \cdot l \cdot [\sigma]_{см}} = \frac{16 \cdot 150 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 40 \cdot 6 \cdot 20 \cdot 130} = 1,2.$$

Следовательно, достаточно одной шпонки.

Контрольные вопросы

1. К какому виду соединений относится шпоночное соединение? (Разъёмное, неразъёмное.)
2. Что такое шпонка?
3. Типы шпонок.
4. Какие шпонки применяют в напряженных соединениях?
5. Какие шпонки используются в ненапряженных соединениях?
6. Достоинства, недостатки призматических шпонок.
7. Преимущества сегментных шпонок.
8. Когда применяются клиновые шпонки?
9. За счёт каких сил работает фрикционная шпонка?
10. Какие напряжения возникают в шпоночном соединении?
11. Материалы, применяемые для изготовления шпонок.
12. Если при расчёте шпоночного соединения не выполняется условие $\sigma_{см} \leq [\sigma]_{см}$, какие шаги необходимо предпринять?
13. Какая зависимость между длиной шпонки и длиной ступицы?

Библиографический список

1. Детали машин: учеб. для вузов / Л.А. Андриенко [и др.] ; под ред. О.А. Ряховского. – 2-е изд., перераб. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 519 с.
2. Иванов, М.Н. Детали машин : учеб. для вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – 12-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2008. – 407 с.
3. Решетов, Д.Н. Детали машин : учеб. для студ. машиностроительных и механических спец. вузов / Д.Н. Решетов – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1989. – 496 с.
4. Тимофеев, С.И. Детали машин : учеб. пособие для вузов / С.И. Тимофеев. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 410 с.