

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»  
Кафедра механики материалов, конструкций и машин

*Г.А. Клещарева*

# **СОЕДИНЕНИЯ ШПОНОЧНЫЕ**

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 12.03.04 Биотехнические системы и технологии, 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 20.03.01 Техносферная безопасность, 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов, 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика

Оренбург  
2019

УДК 621.828.3:621.01(076.5)

ББК 34.442я7

К48

Рецензент – доцент, доктор технических наук Ю.А. Чирков

**Клещарева, Г.А.**

К48

Соединения шпоночные: методические указания / Г.А. Клещарева; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 28 с.

Методические указания предназначены для выполнения выбора и расчета шпоночных соединений в курсовых проектах (работах), расчетно-графических заданиях, контрольных работах и самостоятельной работы по дисциплине «Детали машин», «Машиноведение», «Прикладная механика», «Механика», «Детали машин и основы конструирования» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 12.03.04 Биотехнические системы и технологии; 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника; 15.03.01 Машиностроение; 15.03.02 Технологические машины и оборудование; 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств; 20.03.01 Техносферная безопасность; 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов; 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика.

Данные указания также могут быть полезны при выполнении отдельных разделов выпускных квалификационных работ.

УДК 621.828.3:621.01(076.5)

ББК 34.442я7

© Клещарева Г.А., 2019

© ОГУ, 2019

## Содержание

Введение .....	4
1 Общие сведения.....	6
2 Сегментные шпонки.....	10
3 Клиновые шпонки .....	14
4 Призматические шпонки .....	17
5 Пример отчета по расчету шпоночных соединений.....	24
6 Вопросы для самопроверки.....	27
Список использованных источников .....	28

## Введение

В процессе изучения дисциплин «Детали машин», «Машиноведение», «Прикладная механика», «Механика», «Детали машин и основы конструирования» обучающиеся получают теоретические знания по: разновидностям, областям применения, расчету и конструированию встречающихся в практике различных механизмов. Полученные знания закрепляются выполнением курсовых проектов (работ), расчетно-графических заданий и контрольных работ, в которых обучающиеся на практике выполняют прочностные и проектировочные расчеты.

При проектировании приводов, состоящих из зубчатых и червячных колес, звездочек цепных передач, шкивов ременных передач, распорных втулок, подшипников, возникает необходимость обеспечить: их точную установку на валах; передачу вращающего момента от колес, шкивов и звездочек к валу или в обратном направлении; обеспечить осевое фиксирование указанных деталей на валах; возможность регулирования осевого положения зубчатых или червячных колес, зазоров в подшипниках.

Машиностроение – разновидность производственной деятельности предприятий обрабатывающей промышленности, которые специализируются по производству разных машин и технологического оборудования в качестве средства производства. Таким образом, шпоночные соединения типа «вал-ступица» являются неотъемлемой частью этой деятельности.

Шпоночные соединения проверяют на срез и смятие [1]. Такие расчеты являются частью курсовых проектов (работ).

В настоящих методических указаниях даны общие сведения, проверочные расчеты, приведены действующие ГОСТы с таблицами параметров каждого вида шпоночных соединений. Методические указания способствуют реализации следующих компетенций для направлений: 12.03.04 Биотехнические системы и технологии – ОПК-4 готовностью применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации; 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника –

ОПК-2 способностью применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, при решении профессиональных задач;

15.03.01 Машиностроение – ПК-5 умением учитывать технические и эксплуатационные параметры деталей и узлов изделий машиностроения при их проектировании;

15.03.02 Технологические машины и оборудование – ОПК-1 способностью к приобретению с большой степенью самостоятельности новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий;

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств – ОПК-4 способностью участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа;

20.03.01 Техносферная безопасность – ПК-4 способностью использовать методы расчетов элементов технологического оборудования по критериям работоспособности и надежности;

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов – ПК-17 способностью использовать в профессиональной деятельности основы проектирования технологических процессов, разработки технологической документации, расчетов и конструирования деталей, в том числе с использованием стандартных программных средств;

24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика – ОПК-1 способностью применять инженерно-технический подход к решению профессиональных проблем.

## 1 Общие сведения

*Шпоночные соединения* – соединения, которые предназначены для крепления на валу вращающихся деталей и для передачи вращающего момента от вала к ступице детали (и от ступицы к валу).

Конструкция шпоночного соединения основывается на том, что на валу делают шпоночный паз, в который закладывается шпонка, и затем на эту часть надевается колесо, также имеющее шпоночный паз.

*Шпонка* – это штифт продолговатой формы, который вставляется в паз соединяемых деталей шпоночного соединения.

На рисунке 1.1 представлен общий вид шпоночного соединения.

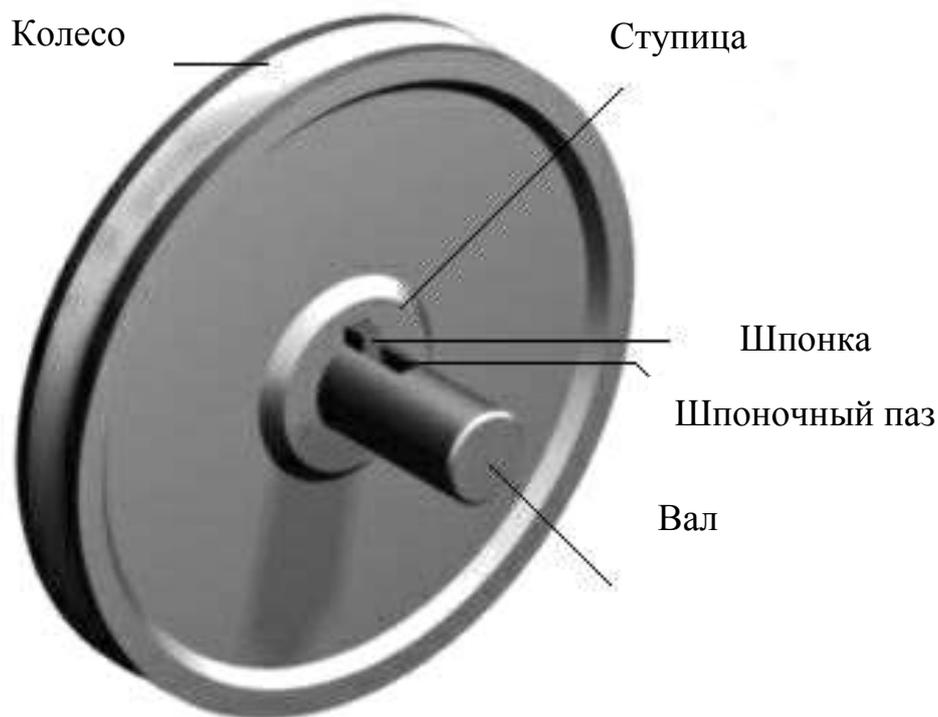


Рисунок 1.1 – Общий вид шпоночного соединения

Шпоночное соединение обычно состоит из вала, втулки (ступицы: колеса, шкива, звездочки) и шпонки (рисунок 1.2).

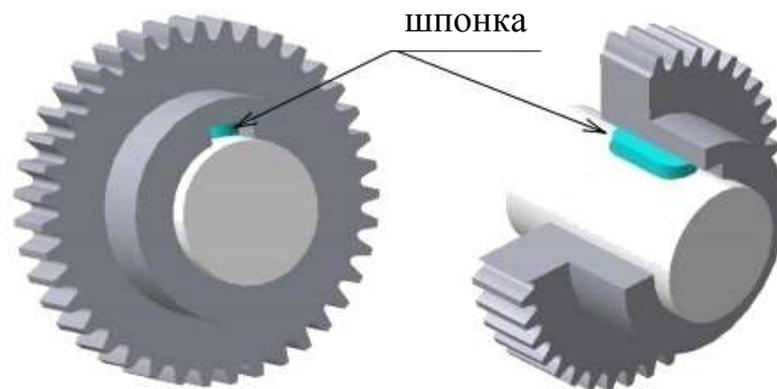
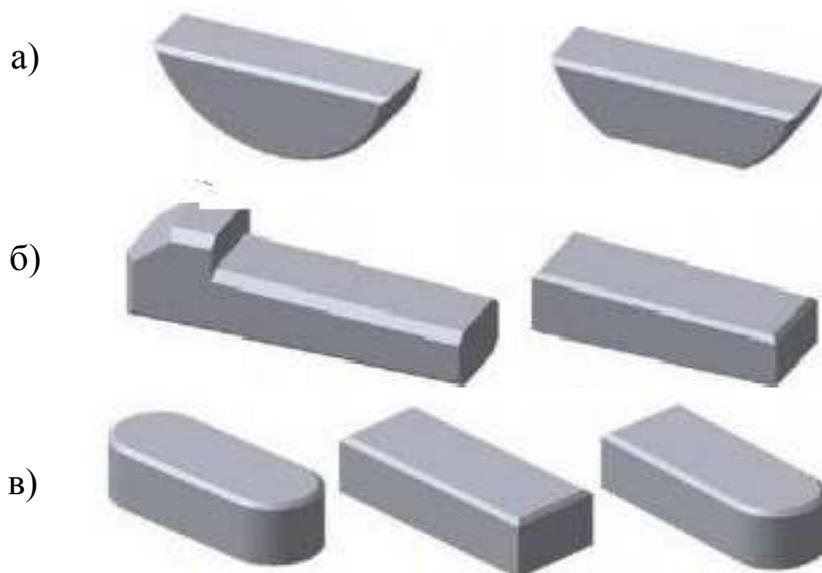


Рисунок 1.2 – Шпоночное соединение

В зависимости от формы шпонки бывают сегментные по ГОСТ 24071-97 [2] (рисунок 1.3 а) [2], клиновые по ГОСТ 24068-80 (рисунок 1.3 б) [9] и призматические по ГОСТ 23360-78 (рисунок 1.3 в) [10].

В соответствии со стандартами установлены следующие разновидности каждого вида шпонок (рисунок 1.3):

- 1) *сегментных* – различают сегментные шпонки нормальной и низкой формы;
- 2) *клиновых* – различают клиновые шпонки с головкой и без головки;
- 3) *призматических* – различают призматические шпонки с закругленными торцами, с плоскими торцами, с одним плоским торцом.



а) сегментные; б) клиновые; в) призматические

Рисунок 1.3 – Виды шпонок

*Достоинства* шпоночных соединений:

- 1) простота конструкции;
- 2) дешевизна и сравнительная легкость монтажа и демонтажа, и, как следствие, применяемость данного вида соединения во всех отраслях машиностроения.

*Недостатки* шпоночных соединений:

- 1) шпоночные пазы ослабляют вал и ступицу насаживаемой на вал детали, что часто приводит к необходимости увеличения толщины ступицы и диаметра вала;
- 2) шпоночные соединения нарушают центрирование колеса на валу, поэтому иногда возникает необходимость использовать противоположные шпонки;
- 3) шпоночное соединение является достаточно трудоемким в изготовлении;
- 4) трудность обеспечения их взаимозаменяемости, из-за ручной подгонки шпонок, приводит к ограничению применения шпонок в крупносерийном и массовом производстве.

*Материал* шпонок – сталь 45, конструкционная углеродистая сталь обыкновенного качества, которая используется для изготовления деталей повышенной прочности и относится к трудносвариваемым сталям. Поставляется шпоночный материал известный как «Сталь чистотянутая для шпонок». Также может использоваться сталь 50 – углеродистая, светлого проката, ее технологические характеристики практически не отличаются от параметров стали 45.

*Размеры деталей* шпоночного соединения находятся в зависимости от усилий, которые возникают в соединении при передаче крутящего момента различных видов шпоночных соединений (рисунок 1.4):

- 1) поперечного сечения шпонки (ширина  $b$ , мм и высота  $h$ , мм);
- 2) длины шпонки  $l$ , мм;
- 3) глубины паза на валу  $t_1$ , мм;
- 4) глубины паза во втулке  $t_2$ , мм.

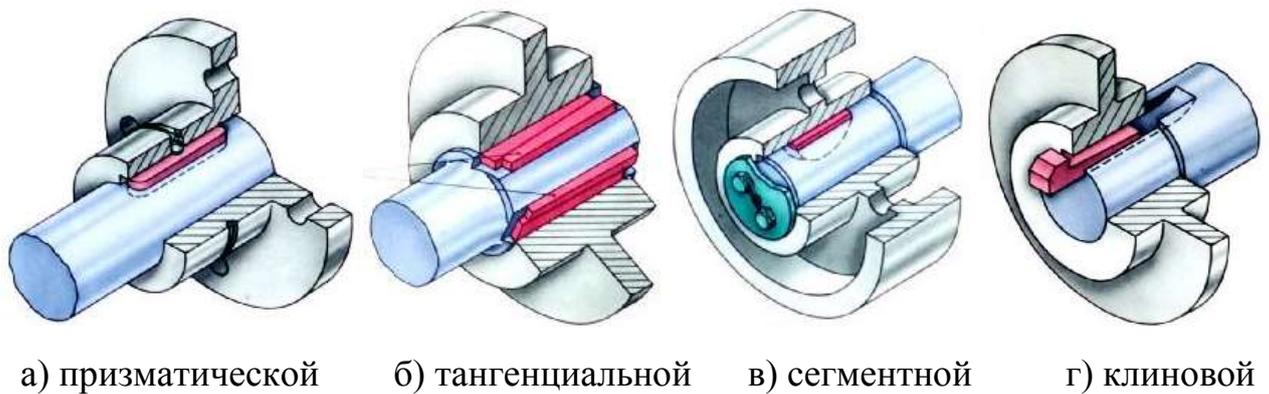


Рисунок 1.4 – Соединения шпонками

Шпоночные соединения нашли применение в машиностроении при незначительных нагрузках, при необходимости размещения длинных ступиц, а также при постоянной сборке и разборке.

Общая классификация шпоночных соединений дана на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Классификация шпоночных соединений

В данных методических указаниях подробно рассматриваются три основных вида шпоночных соединений, наиболее часто используемых в практике: сегментными, клиновыми и обыкновенными призматическими шпонками.

## 2 Сегментные шпонки

Сегментные шпонки работают боковыми гранями, то есть предотвращают проворачивание колеса на валу, применяются при небольших вращающих моментах. На рисунке 2.1 представлены элементы соединения сегментной шпонкой.

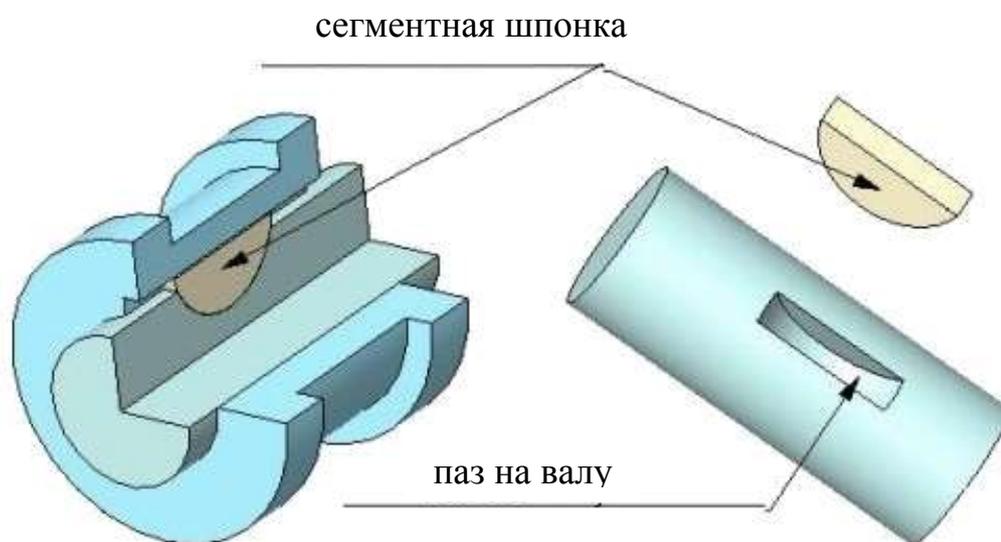


Рисунок 2.1 – Элементы соединения сегментной шпонки

Пример установки сегментной шпонки по ГОСТ 24071-97 [2] на выходной вал конической формы представлен на рисунке 2.2.

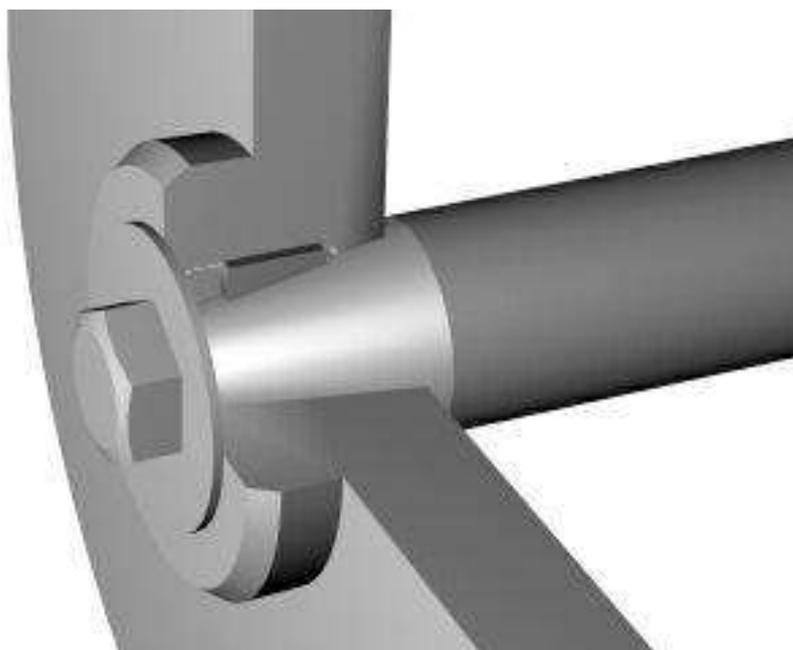


Рисунок 2.2 – Пример установки сегментной шпонки

Параметры сегментных шпонок по ГОСТ 24071-97 [2] представлены в таблице 2.1. Размеры сечения шпонки выбирают по диаметру вала  $D$ , мм. Длину шпонки  $l$ , мм, выбирают конструктивно.

Таблица 2.1 – Сегментные шпонки по ГОСТ 24071-97 [2]

Диаметр вала $D$ , мм				Размер шпонки нормальной формы $b \times h_1 \times d$ , мм, или эквивалентной низкой формы, мм
Исполнение 1		Исполнение 2		
Свыше	До	Свыше	До	
10	12	15	18	3,0x6,5x16
12	14	18	20	4,0x6,5x16
14	16	20	22	4,0x7,5x19
16	18	22	25	5,0x6,5x16
18	20	25	28	5,0x7,5x19
20	22	28	32	5,0x9,0x22
22	25	32	36	6,0x9,0x22
25	28	36	40	6,0x10,0x25
28	32	40	-	8,0x11,0x28
32	38	-	-	10,0x13,0x32

Соединения сегментными шпонками проверяют на смятие и срез [3] (рисунок 2.3).

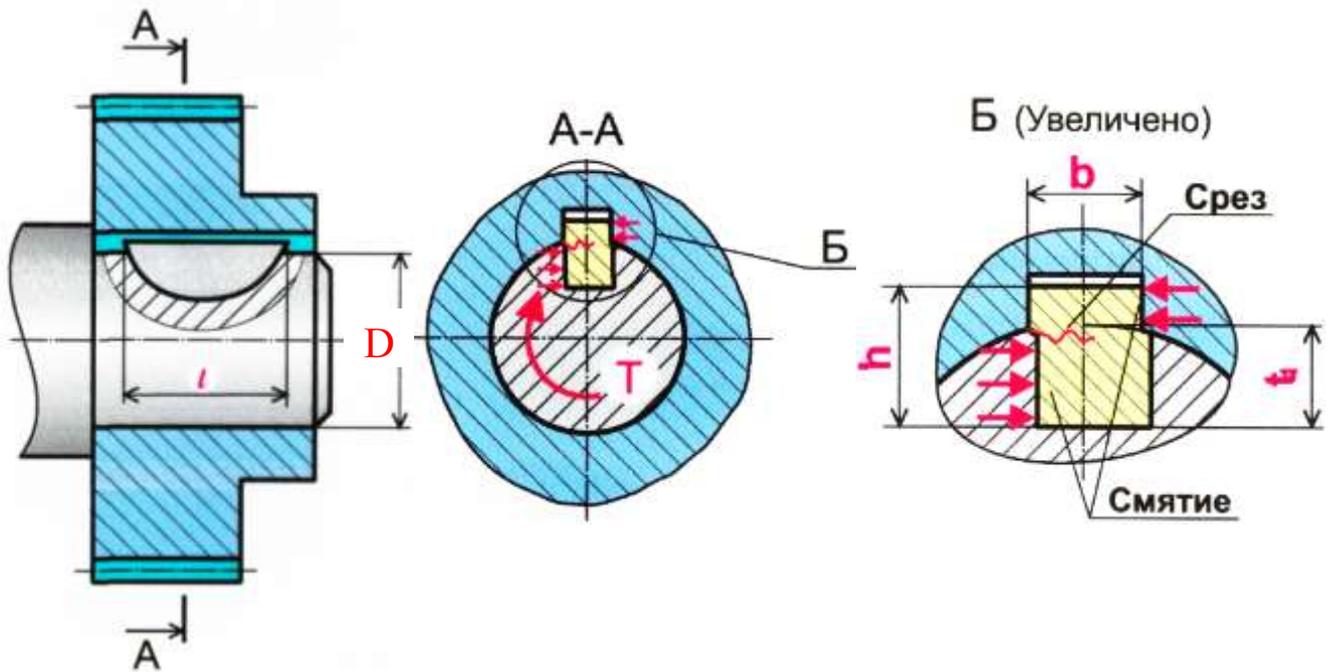


Рисунок 2.3 – Пример установки сегментной шпонки

Проверку на смятие по нормальным напряжениям  $\sigma_{см}$ , МПа, проводят по формуле

$$\sigma_{см} = \frac{F_t}{A_{см}} \leq [\sigma_{см}], \quad (2.1)$$

где  $F_t$  – окружная сила, Н;

$A_{см}$  – площадь смятия, мм<sup>2</sup>;

$[\sigma_{см}]$  – допускаемые нормальные напряжения смятия, МПа (Н/мм<sup>2</sup>);

$$F_t = \frac{2 \cdot T_k}{D}, \quad (2.2)$$

где  $T$  – передаваемый (вращающий) момент, Н·мм;

$D$  – диаметр вала, мм;

$$A_{см} = (h - t_1) \cdot l, \quad (2.3)$$

где  $h$  – высота шпонки, мм;

$t_1$  – рабочая глубина паза в валу, мм.

$l$  – длина шпонки, мм.

Тогда рабочие напряжения смятия  $\sigma_{см}$ , МПа, находят

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot T}{[D \cdot (h - t_1) \cdot l]} \leq [\sigma_{см}]. \quad (2.4)$$

Проверку на срез проводят по касательным напряжениям  $\tau_{ср}$ , МПа

$$\tau_{ср} = \frac{F_t}{A_c} \leq [\tau_{ср}], \quad (2.5)$$

где  $A_c$  – площадь среза, мм<sup>2</sup>;

$[\tau_{ср}]$  – допускаемое напряжение на срез, МПа.

Площадь среза  $A_c$ , мм<sup>2</sup>, находят

$$A_c = b \cdot l, \quad (2.6)$$

где  $b$  – ширина шпонки, мм;

$l$  – длина шпонки, мм.

Тогда касательные напряжения  $\tau_{ср}$ , МПа, находят

$$\tau_{ср} = \frac{2 \cdot T}{D \cdot b \cdot l} \leq [\tau_{ср}], \quad (2.7)$$

где  $T$  – передаваемый (вращающий) момент, Н·мм;

$D$  – диаметр вала, мм.

### 3 Клиновые шпонки

Клиновые шпонки вбивают в пазы (рисунок 3.1). В результате забивания возникает напряженное соединение. Суть данного соединения состоит в том, что детали испытывают напряжения в радиальном направлении после сборки и до эксплуатации. Как правило, данный вид шпонок применяется в механизмах с небольшой точностью, которая, в свою очередь, обусловлена тем, что они смещают ось ступицы в отношении оси вала на величину посадочного зазора, а при короткой ступице могут привести к перекосу соединяемых деталей.

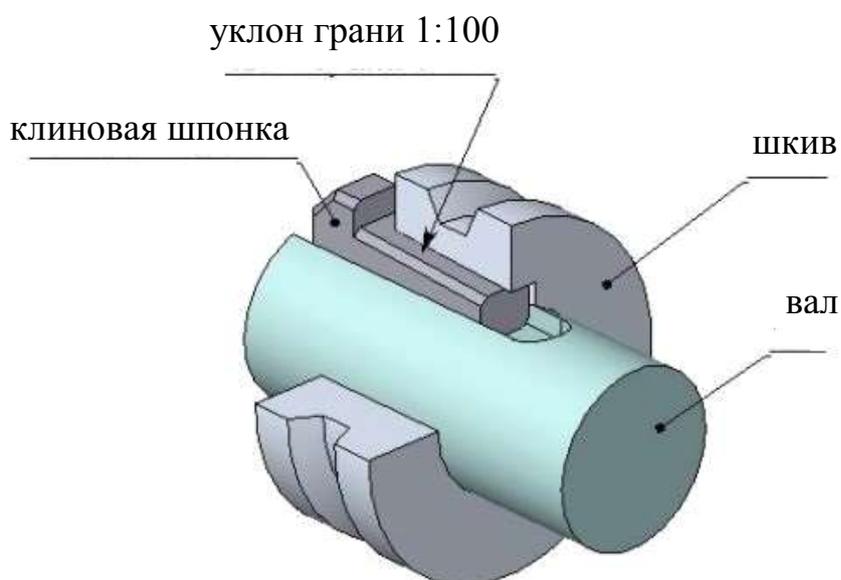


Рисунок 3.1 – Элементы соединения клиновья шпонкой

Клиновые шпонки, как правило, имеют форму клиньев с уклоном 1:100. Головка служит для того, чтобы выбивать шпонку из паза. Пример использования клиновья шпонки с головкой представлен на рисунке 3.2 [3].

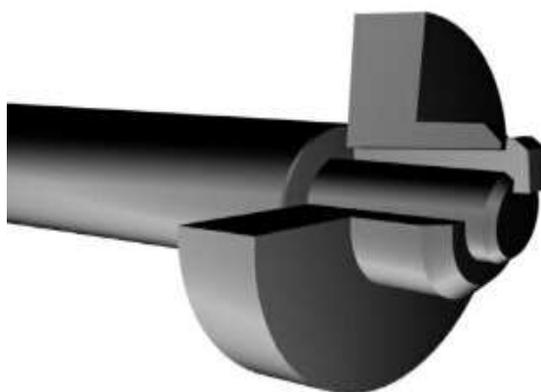
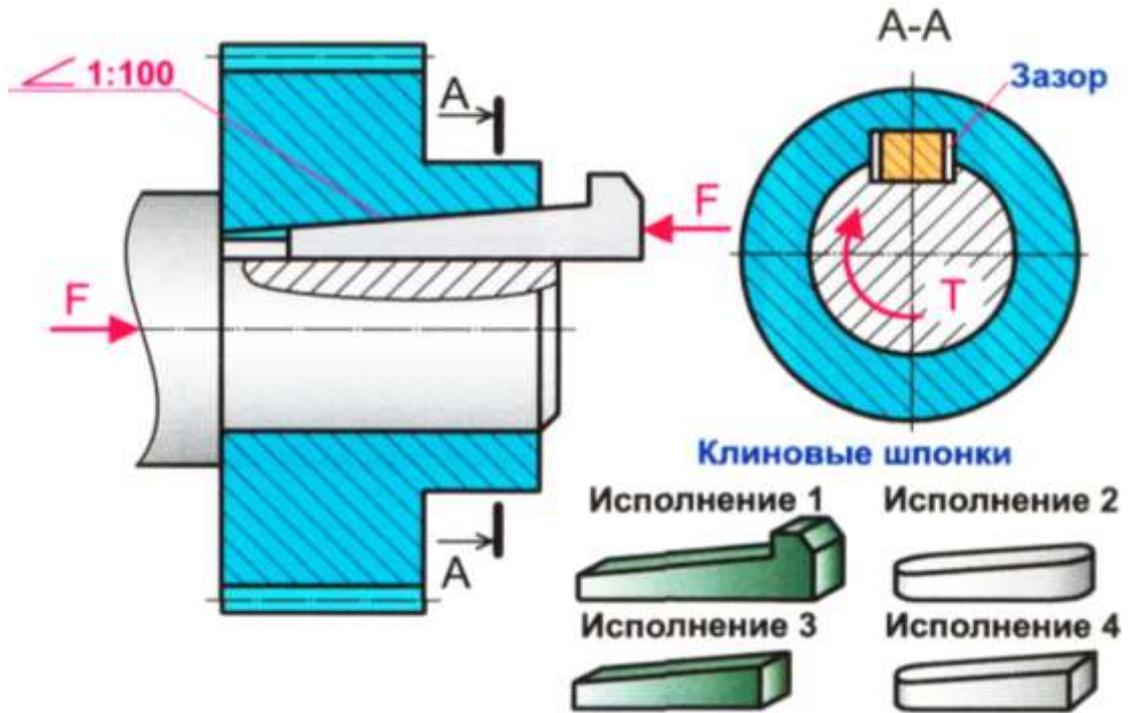
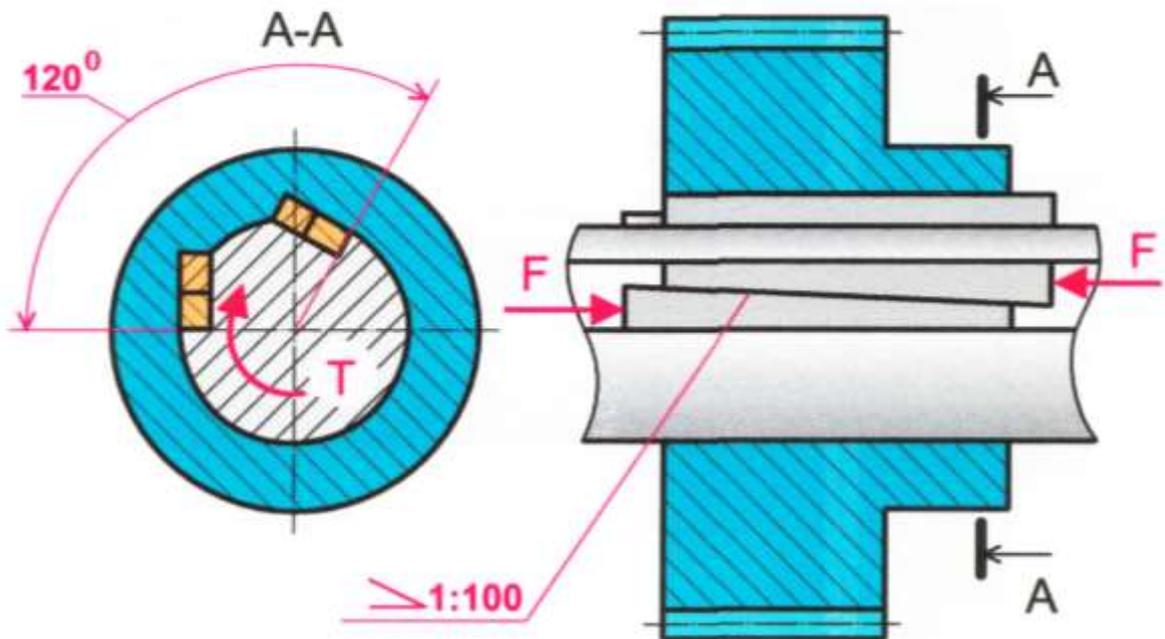


Рисунок 3.2 – Пример использования клиновья шпонки с головкой

На рисунке 3.3 представлены внешний вид и чертеж соединений клиновыми и тангенциальными шпонками по ГОСТ Р 50536-93[9].



а) соединение клиновой шпонкой



б) соединение тангенциальной шпонкой

Рисунок 3.3 – Напряженные шпоночные соединения

Соединения клиновыми шпонками проверяют на смятие по напряжениям смятия  $\sigma_{см}$ ,  $H/мм^2$ :

$$\sigma_{см} = \frac{12 \cdot T}{[b \cdot l_p \cdot (b + 6 \cdot f \cdot d)]} \leq [\sigma_{см}], \quad (3.1)$$

где  $T$  – передаваемый (вращающий) момент,  $H \cdot м$ ;

$b$  – ширина шпонки,  $мм$ ;

$l_p$  – рабочая длина шпонки (при скругленных торцах  $l_p = l - b$ ),  $мм$ ;

$f = 0,15 \dots 0,2$  – коэффициент трения между шпонкой и насаживаемой деталью;

$d$  – диаметр вала,  $мм$ .

На срез клиновые шпонки не проверяют.

## 4 Призматические шпонки

Призматические шпонки применяют для неподвижных и подвижных соединений. Шпоночные пазы на валах выполняют фрезерованием дисковой (данный способ предпочтительнее, так как является более быстрым и точным) или концевой фрезой, в ступицах – протягиванием или долблением.

Элементы соединения призматической шпонкой представлены на рисунке 4.1.

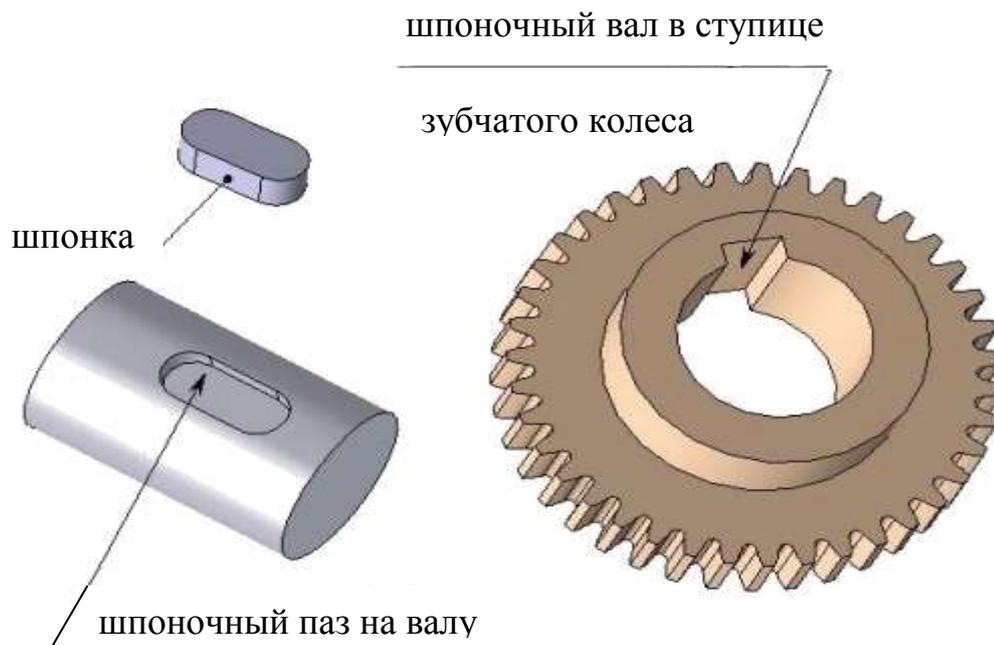


Рисунок 4.1 – Элементы соединения призматической шпонкой

На рисунке 4.2 представлены внешний вид и чертеж призматической шпонки по ГОСТ 10748-79 [10].

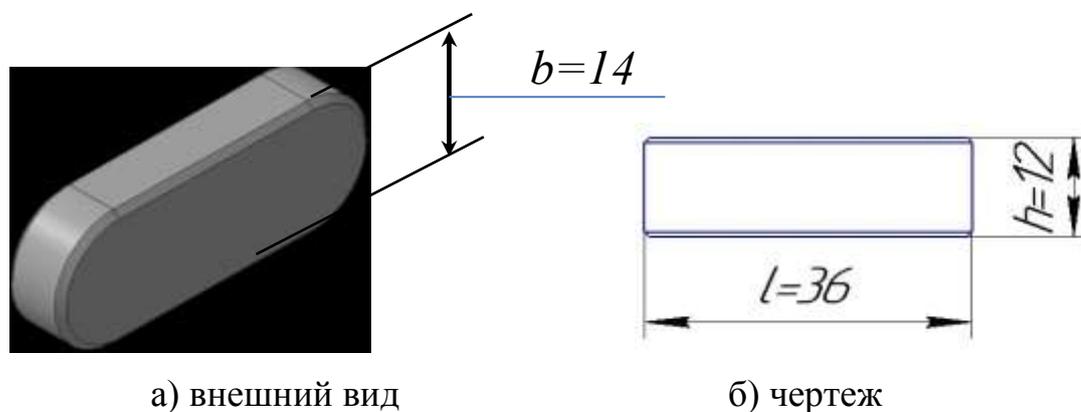
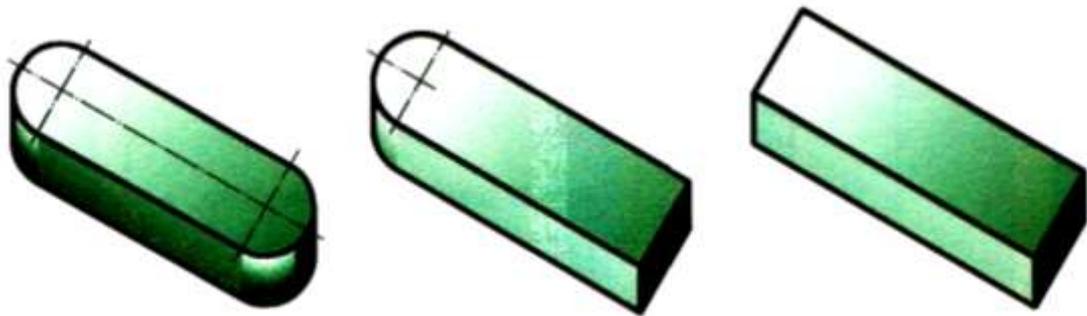


Рисунок 4.2 – Шпонка 14x12x36 ГОСТ 10748-79 [5]

Конструкции различных видов призматических шпонок представлены на рисунках рисунок 4.3 – 4.5 [10].

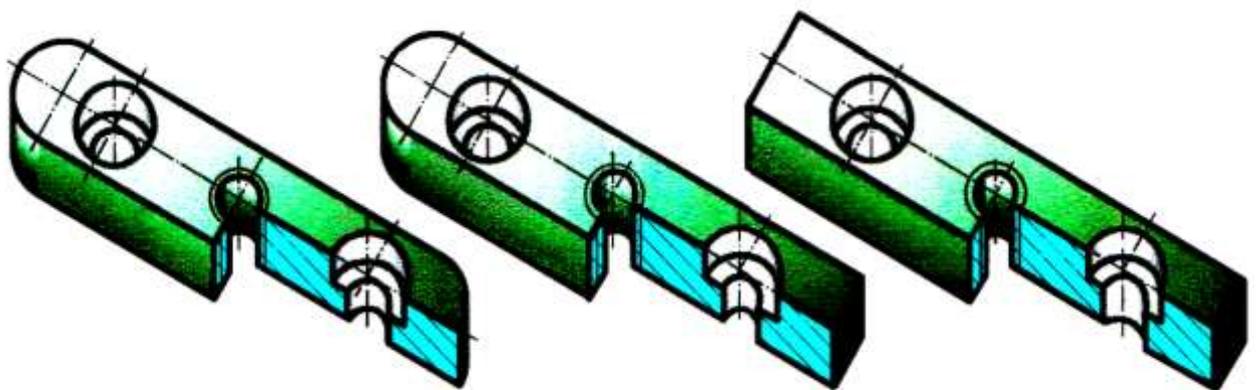


а) исполнение 1

б) исполнение 2

в) исполнение 3

Рисунок 4.3 – Конструкции призматических шпонок (обыкновенных и высоких)



а) исполнение 1

б) исполнение 2

в) исполнение 3

Рисунок 4.4 – Конструкции призматических шпонок (направляющих)



а) исполнение 1

б) исполнение 2

Рисунок 4.5 – Конструкции призматических шпонок (скользящих)

Принцип соединения направляющей и скользящей шпонками изображены на рисунках 4.6 и 4.7. *Направляющие шпонки* применяют в тех случаях, когда деталь при работе должна перемещаться вдоль оси вала. Для фиксации положения направляющей шпонки ее закрепляют винтами на валу или на ступице колеса.

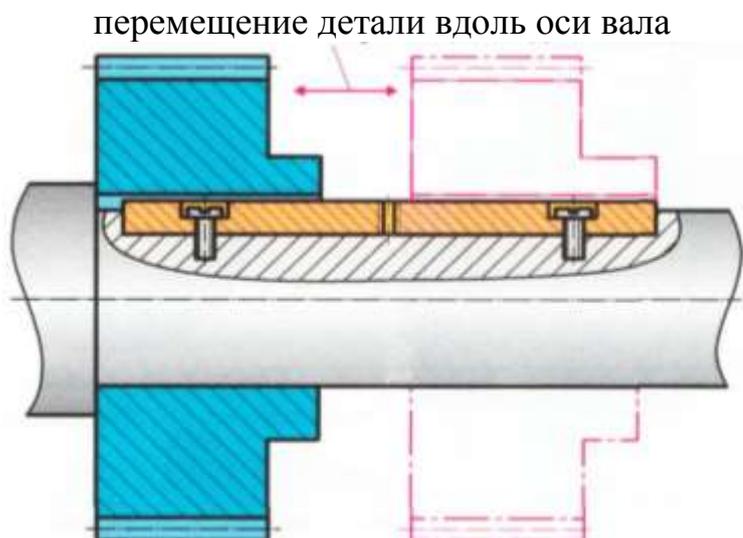


Рисунок 4.6 – Соединение направляющей шпонкой

*Скользящая шпонка* вместе с деталью, к которой она прикреплена, может перемещаться вдоль вала. Скользящие шпонки применяют при больших осевых перемещениях ступиц. Их соединяют со ступицей с помощью выступов и они скользят по пазу вала вместе с деталью.

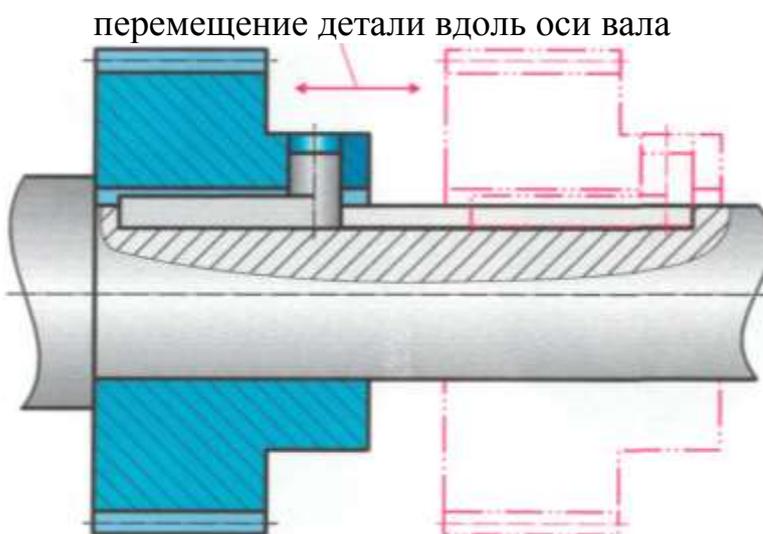


Рисунок 4.7 – Соединение скользящей шпонкой

Проверку на смятие проводят по нормальным напряжениям  $\sigma_{см}$ , МПа, (рисунок 4.8).

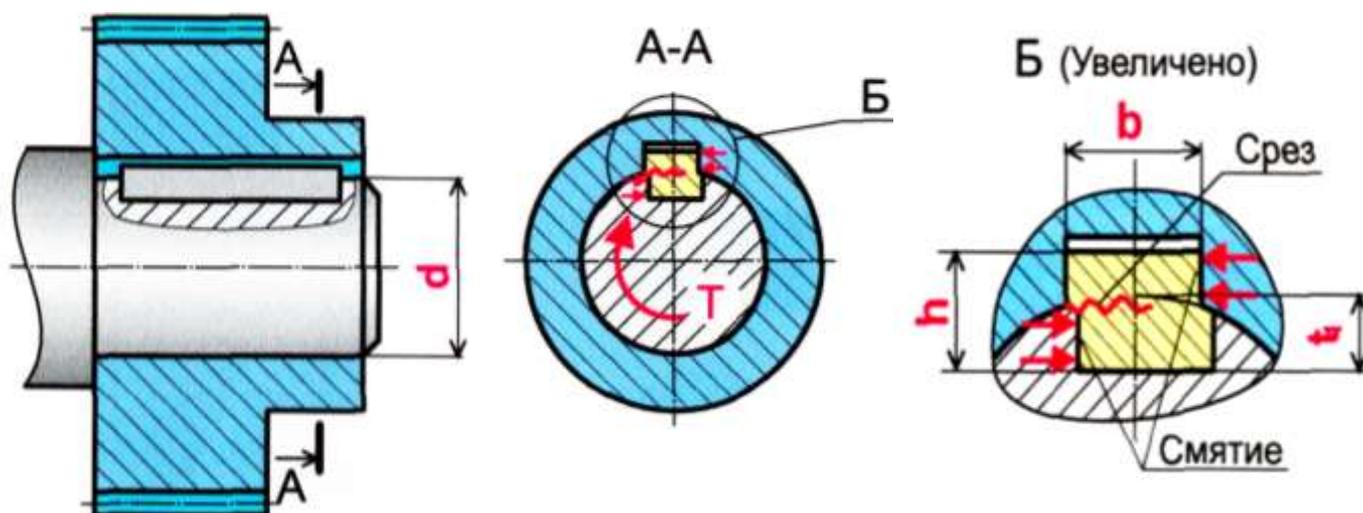


Рисунок 4.8 – Соединение призматической шпонкой

$$\sigma_{см} = \frac{F_t}{A_{см}} \leq [\sigma_{см}], \quad (4.1)$$

где  $F_t$  – окружная сила, Н;

$A_{см}$  – площадь смятия, мм<sup>2</sup>;

$[\sigma_{см}]$  – допускаемые нормальные напряжения смятия, МПа (Н/мм<sup>2</sup>).

Окружная сила  $F_t$ , Н;

$$F_t = \frac{2 \cdot T}{d}, \quad (4.2)$$

где  $T$  – передаваемый (вращающий) момент, Н·мм;

$d$  – диаметр вала, мм.

Площадь смятия  $A_{см}$ , мм<sup>2</sup>

$$A_{см} = (h - t_1) \cdot l_p, \quad (4.3)$$

где  $h$  – высота шпонки, мм;

$t_1$  – рабочая глубина паза в валу, мм;

$l_p$  – рабочая длина шпонки при скругленных торцах, мм (рисунок 4.9),

$$l_p = l - b,$$

где  $l$  – выбранная стандартная длина шпонки, мм;

$b$  – ширина шпонки, мм.

Тогда рабочие напряжения смятия  $\sigma_{см}$ , МПа, находят по формуле (условие прочности на смятие)

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot T}{[d \cdot (h - t_1) \cdot l_p]} \leq [\sigma_{см}]. \quad (4.4)$$

Проверку на срез проводят по касательным напряжениям  $\tau_{ср}$ , МПа,

$$\tau_{ср} = \frac{F_t}{A_c} \leq [\tau_{ср}], \quad (4.5)$$

где  $A_c$  – площадь среза, мм<sup>2</sup>;

$[\tau_{ср}]$  – допускаемое напряжение на срез, МПа

$$A_c = b \cdot l_p, \quad (4.6)$$

Тогда касательные напряжения  $\tau_{ср}$ , МПа, находят по зависимости (условие прочности на срез)

$$\tau_{ср} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot b \cdot l_p} \leq [\tau_{ср}]. \quad (4.7)$$

Если расчетные напряжения смятия или среза превышают допускаемые значения свыше чем на 5 %, то необходимо увеличить длину шпонки и ступицы или установить две шпонки. Призматические шпонки устанавливают под углом 180°, сегментные – в один ряд по длине ступицы [3]. В случае установки двух противоположно расположенных шпонок вводят поправочный коэффициент 0,75.

В машиностроении принимают

$[\sigma_{см}] = (0,3 \dots 0,5) \cdot \sigma_T$  – для неподвижных соединений;

$[\sigma_{см}] = (0,1 \dots 0,2) \cdot \sigma_T$  – для подвижных соединений,

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала шпонки, МПа.

Так как шпонки обычно изготавливают из сталей 40 и 45, то допускаемое напряжение смятия при стальной втулке –  $[\sigma_{см}]$  от 80 до 100 МПа, при чугунной втулке –  $[\sigma_{см}]$  от 45 до 55 МПа. Допускаемые напряжения среза принимаются при спокойной нагрузке –  $[\tau_{ср}] = 120$  МПа, при нагрузке с толчками –  $[\tau_{ср}] = 85$  МПа, а при ударной нагрузке –  $[\tau_{ср}] = 50$  МПа.

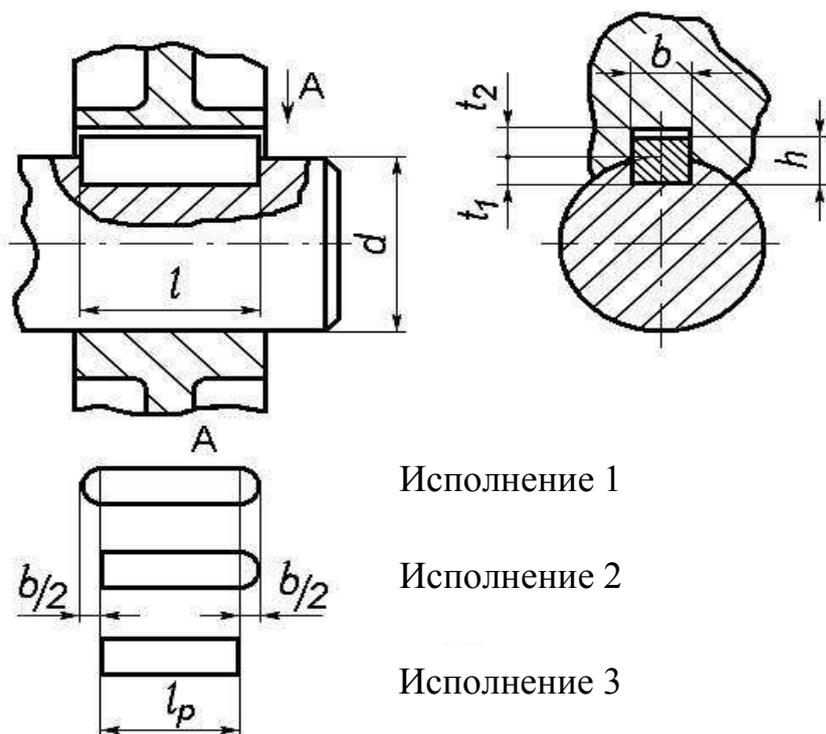
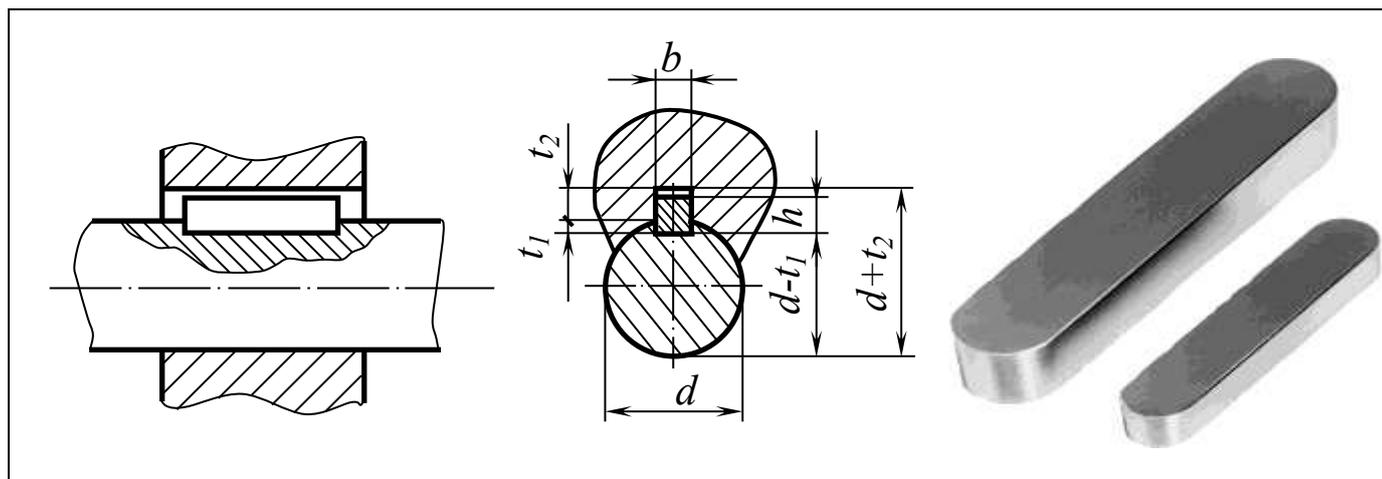


Рисунок 4.9 – Параметры элементов шпоночного соединения

На участках вала, предназначенных для крепления деталей, передающих вращающий момент, выполняют, шпоночные пазы. Стандарт предусматривает для каждого размера вала определенные размеры поперечного сечения шпонки (таблица 4.1). Длину шпонки  $l$ , мм, назначают конструктивно (от 5 до 10 мм меньше длины ступицы  $L_{ст}$ , мм), из ряда стандартных значений. Из технологических соображений рекомендуется для разных ступеней одного и того же вала назначить одинаковые шпонки по сечению и длине, исходя из ступеней меньшего диаметра, имеющего шпоночный паз. Для удобства фрезерования следует располагать шпоночные пазы на одной стороне вала.

Таблица 4.1 – Шпонки призматические (по ГОСТ 23360-78) [4]



Диаметр вала $d$ , мм	Сечение шпонки, мм		Глубина паза, мм		Диаметр вала $d$ , мм	Сечение шпонки, мм		Глубина паза, мм	
	$b$	$h$	$t_1$	$t_2$		$b$	$h$	$t_1$	$t_2$
от 12 до 17	5	5	3	2,3	от 58 до 65	18	11	7	4,4
от 17 до 22	6	6	3,5	2,8	от 65 до 75	20	12	7,5	4,9
от 22 до 30	8	7	4	3,3	от 75 до 85	22	14	9	5,4
от 30 до 38	10	8	5	3,3	от 85 до 95	25	14	9	5,4
от 38 до 44	12	8	5	3,3	от 95 до 110	28	16	10	6,4
от 44 до 50	14	9	5,5	3,8	от 110 до 120	32	18	11	7,4
от 50 до 58	16	10	6	4,3					

### Примечания

1 Длину шпонки  $l$ , мм, выбирают из ряда: 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 70; 80; 90; 100; 110; 125; 140; 160; 180; 200... (до 500).

2 Материал шпонок – сталь чистотянутая с временным сопротивлением разрыву не менее 590 МПа.

3 Примеры условного обозначения шпонок:

Исполнение 1, Сечение шпонки  $b \times h = 20 \times 12$ , длина 90 мм:

Шпонка  $20 \times 12 \times 90$  ГОСТ 23360-78. Соединения призматическими шпонками проверяют по условию прочности на смятие и срез.

## 5 Пример отчета по расчету шпоночных соединений

Размеры поперечного сечения шпонки и пазов под шпонку принимаются исходя из номинального диаметра соединения; длина шпонки принимается от 5 до 10 мм меньше длины ступицы  $L_{cm}$ , мм. Для данного случая устанавливаются шпоночные соединения по ГОСТ 23360–78 [4] (рисунок 5.1).

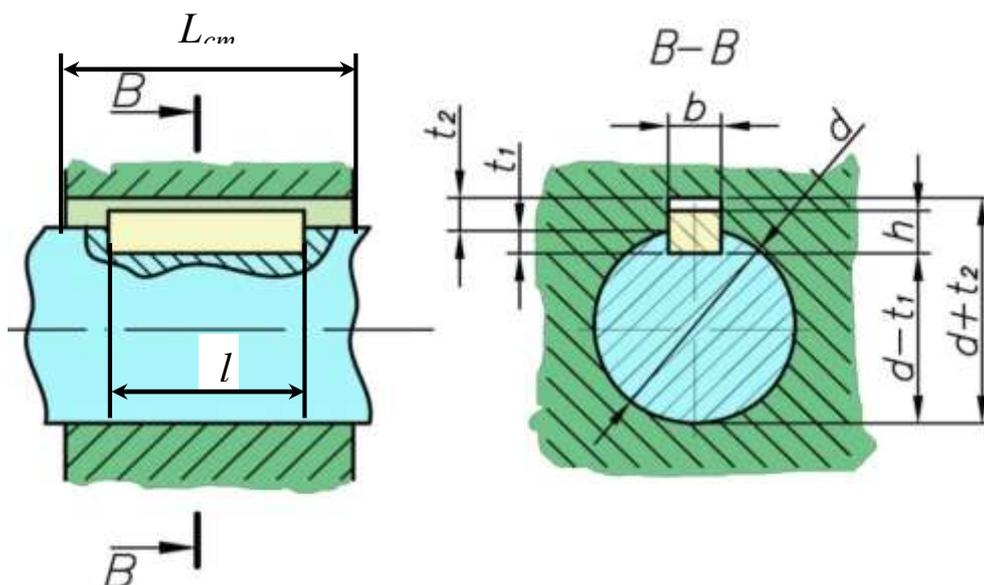


Рисунок 5.1 – Параметры элементов шпоночного соединения

Выбранные параметры шпоночных соединений приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Основные параметры выбранных шпоночных соединений

Шпоночное соединение	Диаметр вала $d$ , мм	Вращающий момент $T$ , Н·мм	Ширина шпонки $b$ , мм	Высота шпонки $h$ , мм	Глубина паза на		Длина	
					валу $t_1$ , мм	ступице $t_2$ , мм	рабочая $l_p$ , мм	шпонки $l$ , мм
Полумуфта – быстроходный вал	32	45, 49	10	8	5,0	3,3	40	50
Зубчатое колесо – тихоходный вал	48	222,8	14	9	5,5	3,8	31	45
тихоходный вал – открытая передача	38	222,8	12	8	5,0	3,3	40	50

Напряжение *смятия* узких граней шпоночного соединения не должно превышать допустимого, должно выполняться условие:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} \leq [\sigma]_{\text{см}}, \quad (5.1)$$

где  $d$  – диаметр вала в месте установки шпонки, мм;

$T$  – передаваемый вращающий момент, Н·мм;

$l_p$  – рабочая длина шпонки, мм;

$$l_p = l - b,$$

$t_1$  – глубина паза на валу, мм;

$h$  – высота шпонки, мм;

$b$  – ширина шпонки, мм;

$[\sigma]_{\text{см}}$  – допустимое напряжение смятия, МПа.

Для стали 45  $[\sigma]_{\text{см}} = 100$  МПа, [4, с. 170].

По условию (5.1) для соединения полумуфта – быстроходный вал

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 45,49 \cdot 10^3}{32 \cdot 40 \cdot (8 - 5,0)} = 23,69 \text{ МПа} \leq 100 \text{ МПа.}$$

По условию (5.1) для соединения зубчатое колесо – тихоходный вал

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 222,8 \cdot 10^3}{48 \cdot 31 \cdot (9 - 5,5)} = 85,56 \text{ МПа} \leq 100 \text{ МПа.}$$

По условию (5.1) для соединения тихоходный вал – открытая передача

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 222,8 \cdot 10^3}{38 \cdot 40 \cdot (8 - 5,0)} = 97,72 \text{ МПа} \leq 100 \text{ МПа.}$$

Таким образом, все условия прочности на смятие узких граней выполняются.

Напряжение *среза* узких граней шпонки не должно превышать допускаемого:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot l_p \cdot b} \leq [\tau_{\text{ср}}], \quad (5.2)$$

где  $[\tau_{\text{ср}}]$  – допускаемое напряжение среза,  $[\tau_{\text{ср}}] = 60$  МПа, [4, с. 170].

По условию (5.2) для соединения полумуфта – быстроходный вал

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 45,49 \cdot 10^3}{32 \cdot 40 \cdot 10} = 7,1 \text{ МПа} \leq 60 \text{ МПа.}$$

По условию (5.2) для соединения зубчатое колесо – тихоходный вал

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 222,8 \cdot 10^3}{48 \cdot 31 \cdot 14} = 21,39 \text{ МПа} \leq 60 \text{ МПа.}$$

По условию (5.2) для соединения тихоходный вал – ведущая звездочка

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 222,8 \cdot 10^3}{38 \cdot 40 \cdot 12} = 24,43 \text{ МПа} \leq 60 \text{ МПа.}$$

Таким образом, все условия прочности по напряжениям среза выполняются.

*Посадки в соединениях* выбираются согласно рекомендациям [4, с. 263, таблица 10.13]. Поля допусков ширины паза призматического шпоночного соединения указаны в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Поля допусков шпоночного соединения

Пример изображения отклонений и шероховатостей на чертеже	Характер шпоночного соединения	Поля допусков ширины паза $b$ , мм	
		на валу	во втулке
	свободное	H9	D10
	нормальное	N9	Js9*
	плотное	P9*	P9
	<b>Примечание</b> *Поля допусков предпочтительного применения в неподвижных соединениях		

## **6 Вопросы для самопроверки**

- 1 Каково назначение шпоночных соединений?
- 2 Что такое шпонка?
- 3 Назовите разновидности шпонок.
- 4 Перечислите достоинства шпоночных соединений.
- 5 Перечислите недостатки шпоночных соединений.
- 6 Из каких материалов изготавливают шпонки?
- 7 Классификация шпоночных соединений.
- 8 В чем разница скользящих и направляющих шпонок?
- 9 На какие виды разрушения рассчитывают шпоночные соединения?

## Список использованных источников

1. Гурин, В.В. Детали машин. Курсовое проектирование в 2 кн. книга 1 / В.В. Гурин. – Москва: Издательство Юрайт, 2019 – 366 с.
2. ГОСТ 24071-97 (ИСО 3912-77) Основные нормы взаимозаменяемости. Сегментные шпонки и шпоночные пазы (с Поправкой) – Введ. 2000.06.30 – М: Издательство стандартов, 2000. – 8 с.
3. Разъемные соединения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://hi-intel.ru/202/102.html>.
4. ГОСТ 23360-78 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки (с Изменениями N 1, 2);
5. ГОСТ 29175-91 Основные нормы взаимозаменяемости. Шпонки призматические низкие и шпоночные пазы. Размеры и допуски; М: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 10 с.
6. ГОСТ 8790-79 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими направляющими шпонками с креплением на валу. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки (с Изменениями N 1, 2); М.: ИПК Издательство стандартов, 2005 г. – 10 с.
7. ГОСТ 24071-97 (ИСО 3912-77) Основные нормы взаимозаменяемости. Сегментные шпонки и шпоночные пазы (с Поправкой); М.: ИПК Издательство стандартов, 2000 – 11 с.
8. ГОСТ Р 50536-93 (ИСО 2492-74) Основные нормы взаимозаменяемости. Шпонки клиновые низкие с головкой и без головки и шпоночные пазы. Размеры и допуски. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005 – 14 с.
9. ГОСТ Р 50536-93 (ИСО 2492-74) Основные нормы взаимозаменяемости. Шпонки клиновые низкие с головкой и без головки и шпоночные пазы. Размеры и допуски – Введ. 1994.01.01 – М: Издательство стандартов, 1993. – 15 с.
10. ГОСТ 10748-79 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими высокими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки (с Изменениями N 1, 2) – Введ. 1981.01.01 – М: Стандартиформ, 2009. – 8 с.