

**Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого**

**Институт металлургии, машиностроения и транспорта**

**Кафедра «Машиноведение и основы конструирования»**

**Е.А. Тарасенко**

**Лекция**

**Разъемные соединения**

**ШПОНОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

**Детали машин**

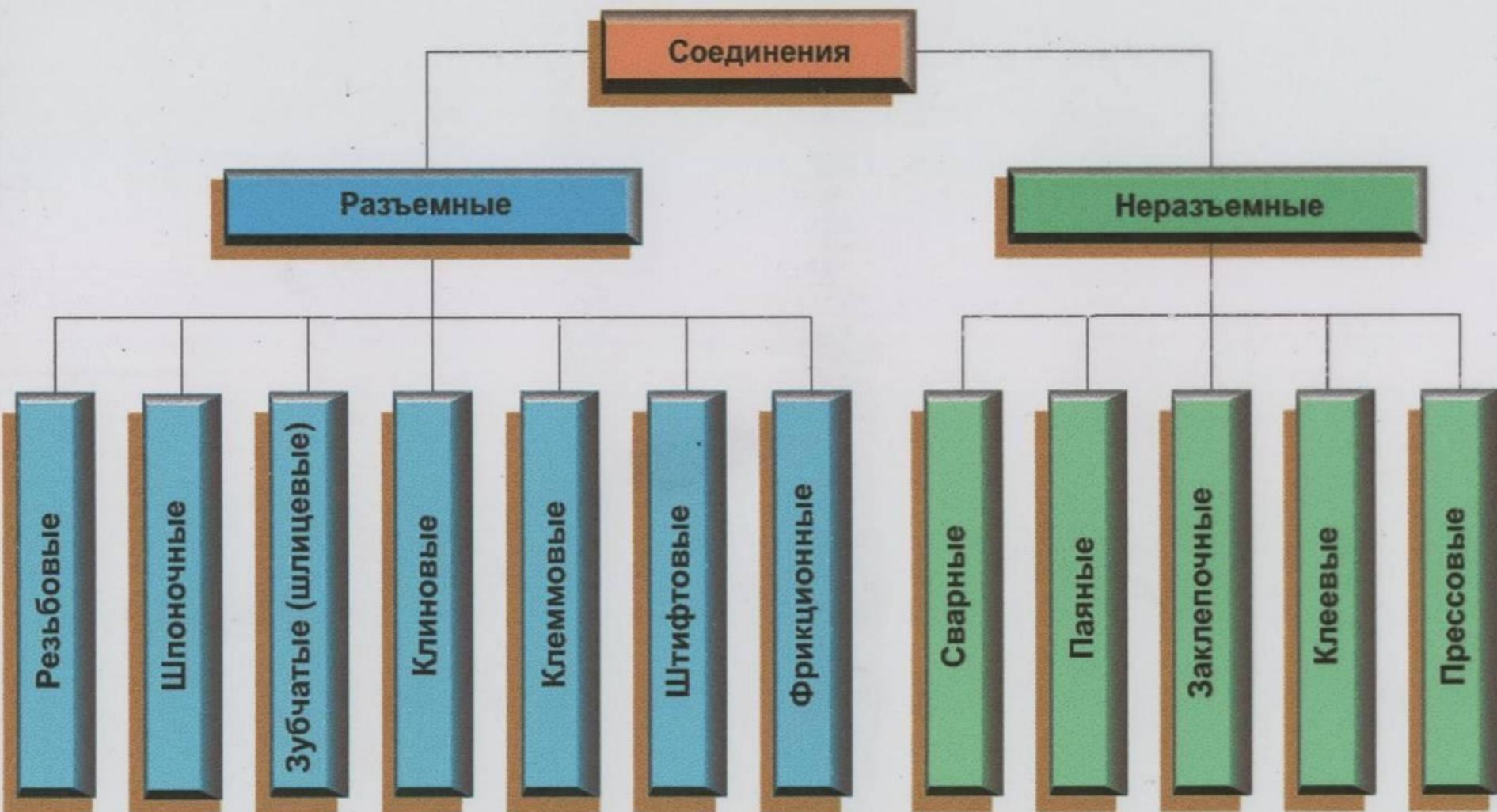
**Слайды видеолекций для бакалавров технических направлений**

**Санкт-Петербургский государственный политехнический университет**

**2015**

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2015 ©

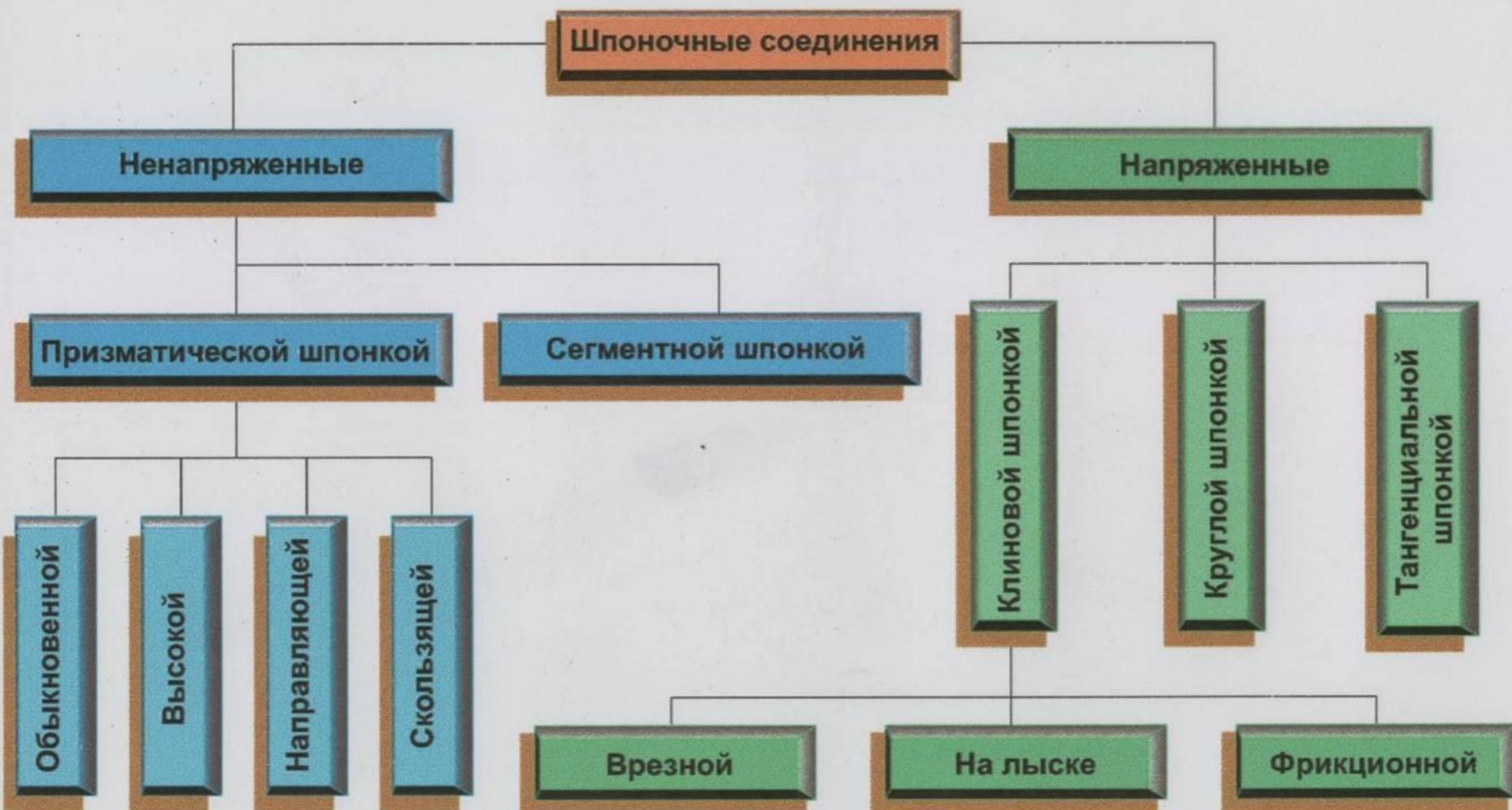
# КЛАССИФИКАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ



**Шпоночные соединения** служат для соединения с валом вращающихся деталей, например, шкивов, зубчатых колес, маховиков, рукояток и т. п.

**Шпонкой** называют деталь, устанавливаемую в пазах соприкасающихся деталей или сборочных единиц и препятствующую их относительному повороту или сдвигу.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ



# Достоинства шпоночных соединений

- Простота конструкции
- Сравнительно низкая стоимость
- Удобство сборки и разборки

# Недостатки шпоночных соединений

- Шпоночные пазы существенно ослабляют прочность вала и ступицы
- Концентрация напряжения возникающих в зоне шпоночной канавки снижает сопротивления усталости вала
- Недостаточно точная центровка (для клиновых шпонок)
- Трудность обеспечения взаимозаменяемости призматических шпонок из-за пригонки или подбора шпонки по пазу

# Материалы шпонки

Шпонки изготавливают из Ст5, Ст6, 45, 50, 55, 60 с пределом прочности  $\sigma_B \geq 600$  МПа

Материалы ступицы	Сталь	Чугун, Алюминий	Текстолит, Древопластик
$[\sigma_{см}]$ МПа	150...180	80...100	15...25
$[\tau_{ср}]$ МПа	60...90		

Шпонки делятся на три основные группы:

- 1.** клиновые
- 2.** призматические
- 3.** сегментные

1). **Клиновые шпонки** образуют в совокупности с валом и втулкой напряженное шпоночное соединение.

Различают четыре вида клиновых шпонок:

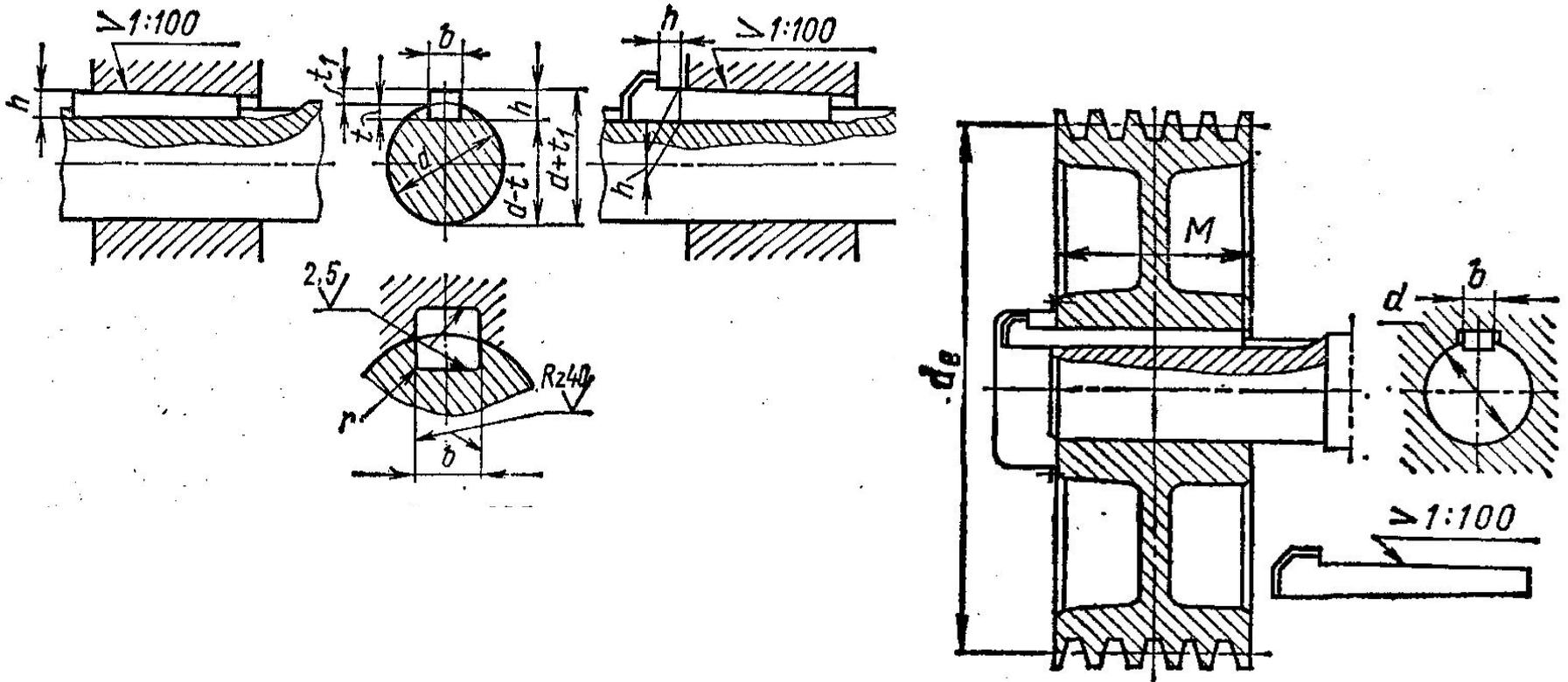
а) врезные;

б) на лыске;

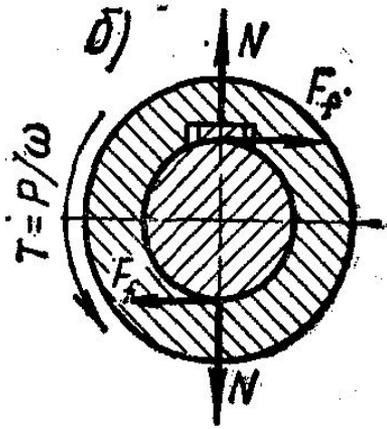
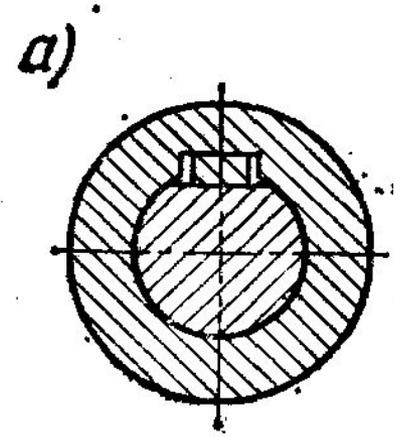
в) фрикционные;

г) тангенциальные.

**Врезные шпонки** могут передавать значительные крутящие моменты, но ослабляют вал на 6- 10 % и создают в углах канавки большие местные напряжения.

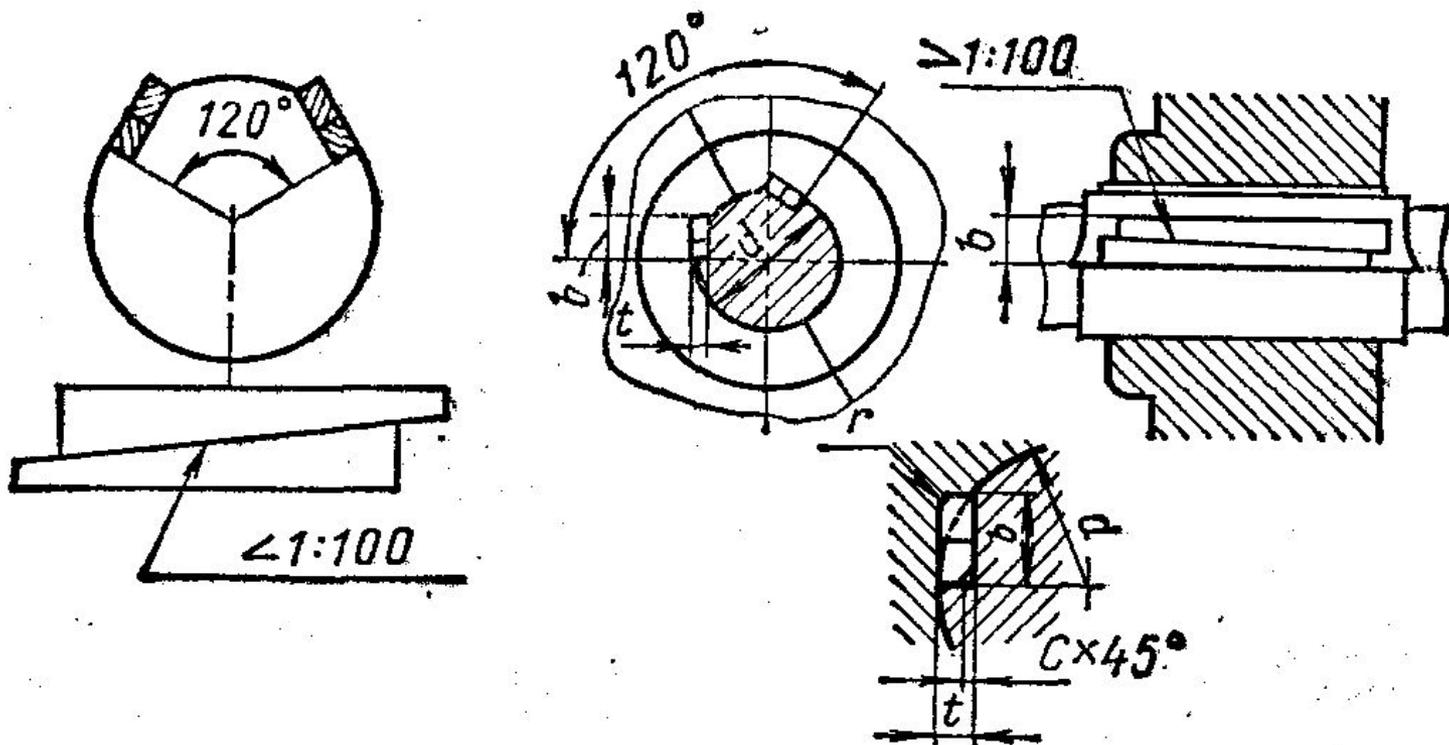


**Шпонка на лыске** незначительно ослабляет вал, но дает менее прочное соединение.



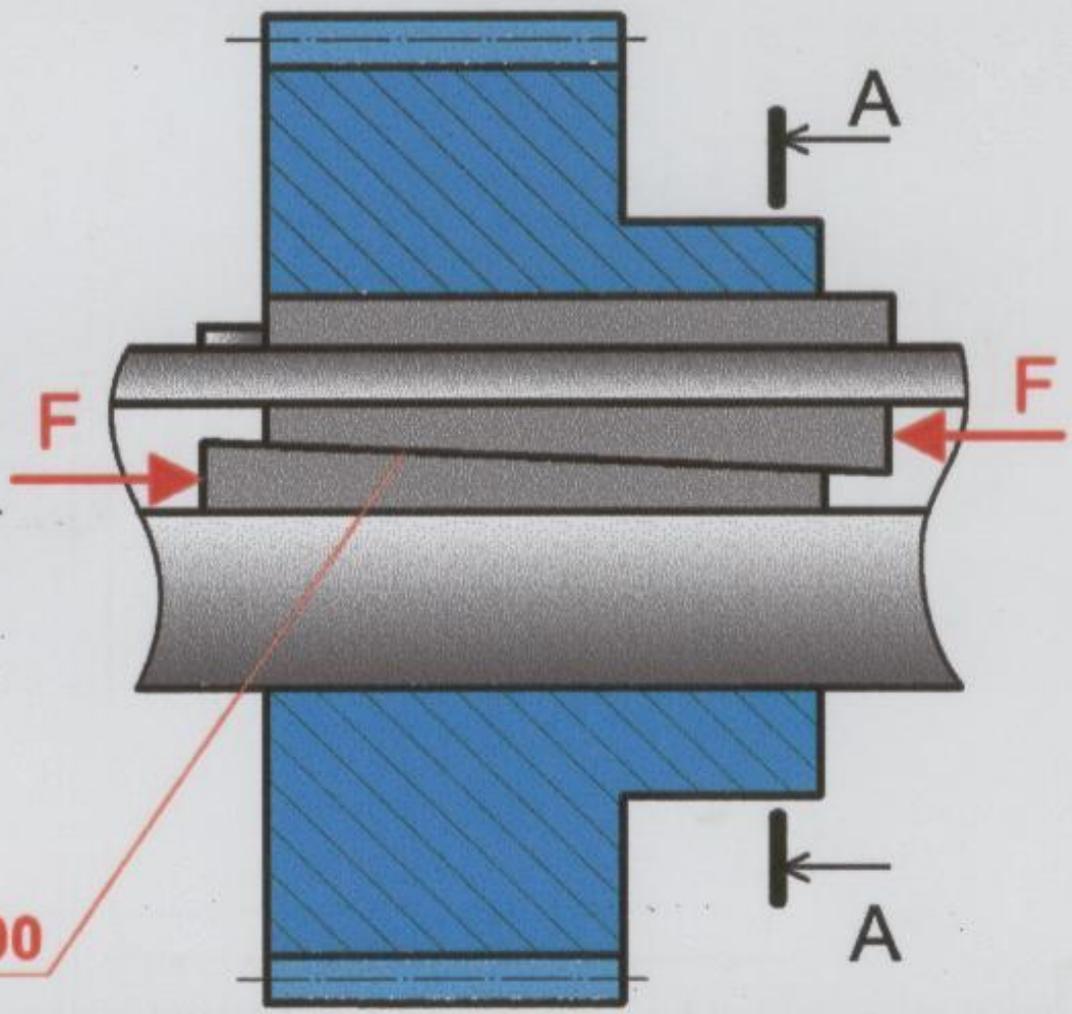
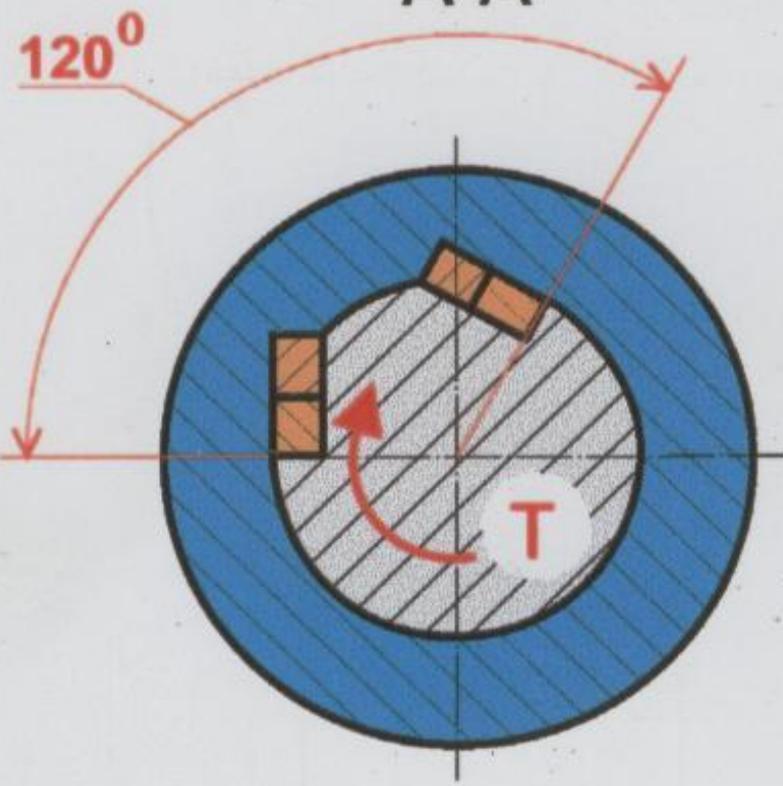
**Фрикционные шпонки** не ослабляют вал совсем, но передают малый крутящий момент за счет сил сцепления вала и ступицы и применяются в основном в приборостроении.

**Тангенциальная шпонка** состоит из двух клиньев, забиваемых навстречу друг другу. За счет несимметрии канавки вращающий момент может передаваться лишь в одну сторону. Для реверсивных передач - две шпонки под  $90^\circ$ .



# Соединение тангенциальной шпонкой

A-A



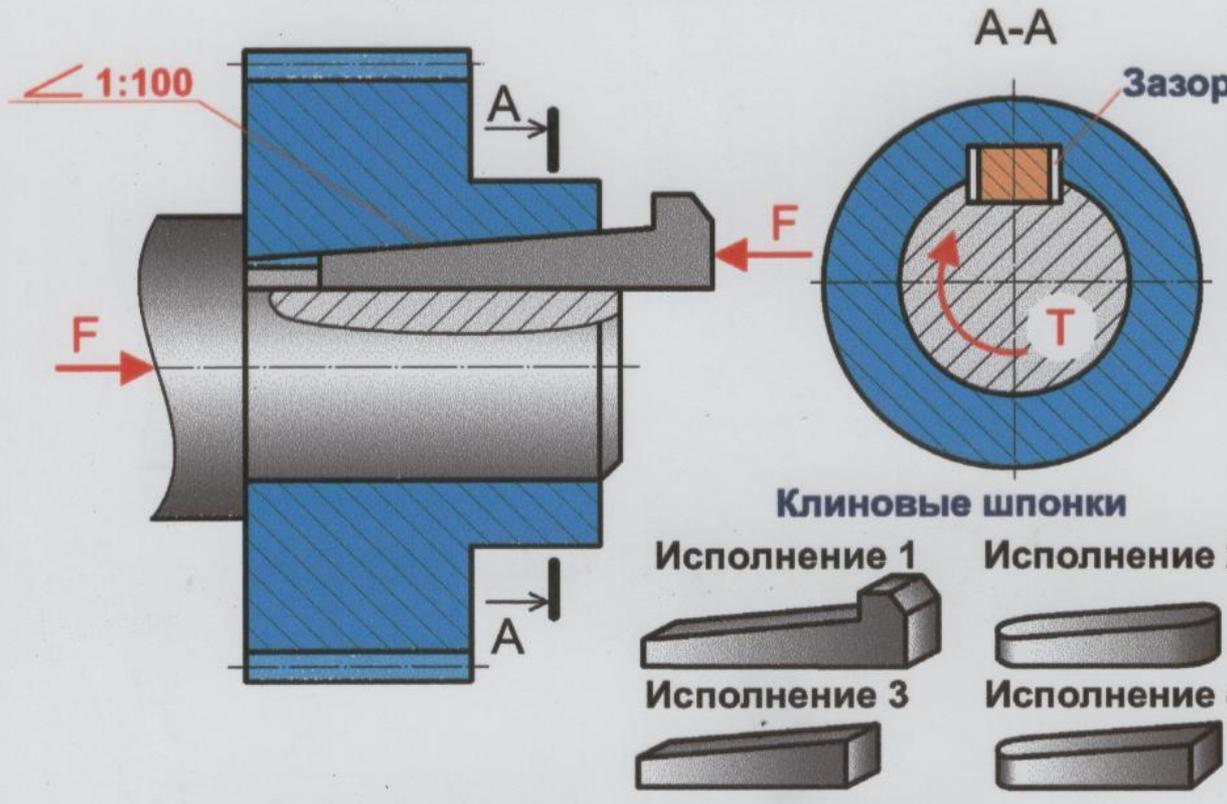
1:100

# Клиновые шпонки

## Напряженные соединения

### НАПРЯЖЕННЫЕ ШПОНОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Соединение клиновой шпонкой



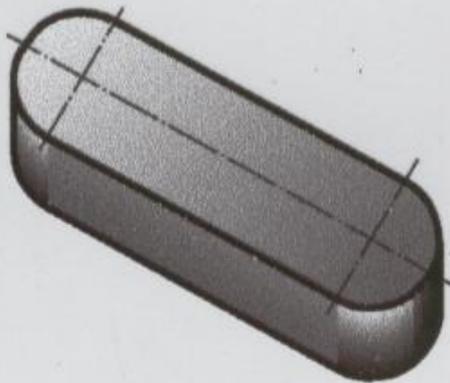
В деталях напряжения возникают в процессе сборки

Рабочие поверхности – верхние и нижние широкие грани

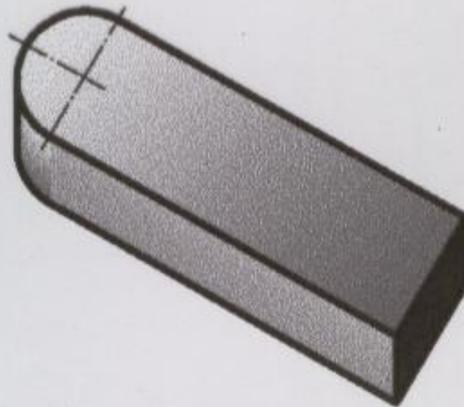
**2). Призматические шпонки** делаются врезными и создают ненапряженное соединение. Они разделяются на **обыкновенные, направляющие** (крепятся к валу винтами) и **скользящие** (перемещаемые к пазу вала).

**Обыкновенные и высокие**

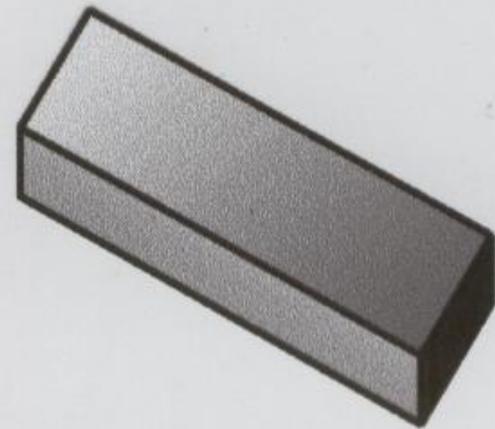
**Исполнение 1**



**Исполнение 2**



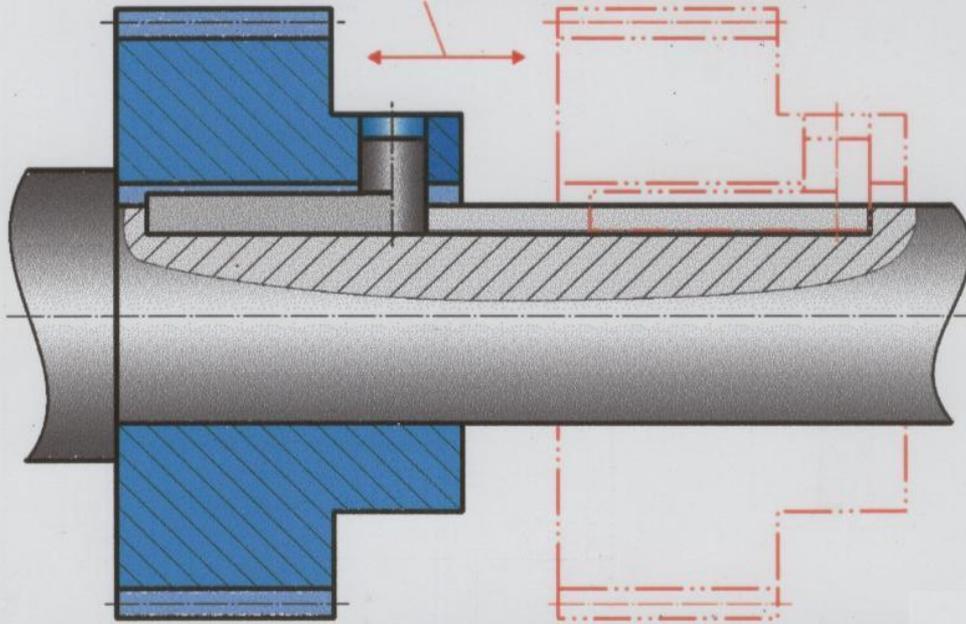
**Исполнение 3**



# Скользящие шпонки

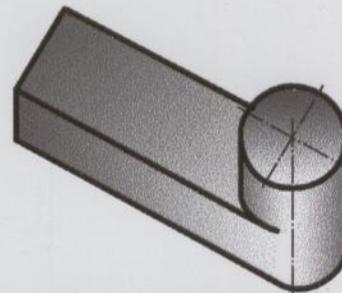
Соединение скользящей шпонкой

перемещение детали вдоль оси вала

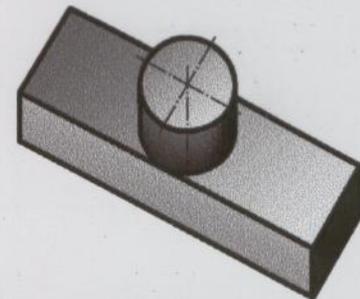


Скользящие

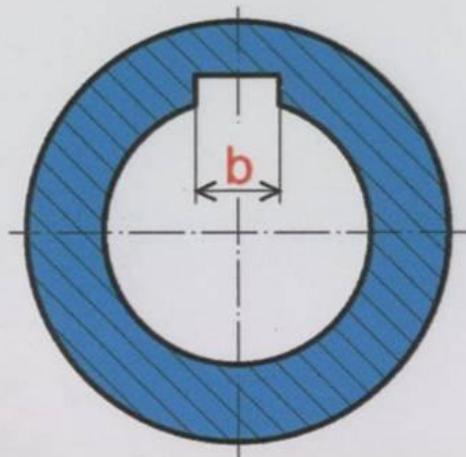
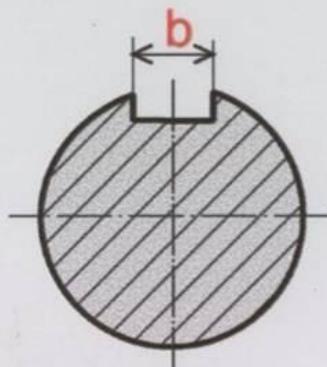
Исполнение 1



Исполнение 2



## ПОЛЯ ДОПУСКОВ ШИРИНЫ ПАЗА ПРИЗМАТИЧЕСКОГО ШПОНОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ



Характер шпоночного соединения

Поля допусков ширины паза  $b$

на валу

во втулке

Свободное

H9

D10

Нормальное

N9

Js9 \*

Плотное

P9 \*

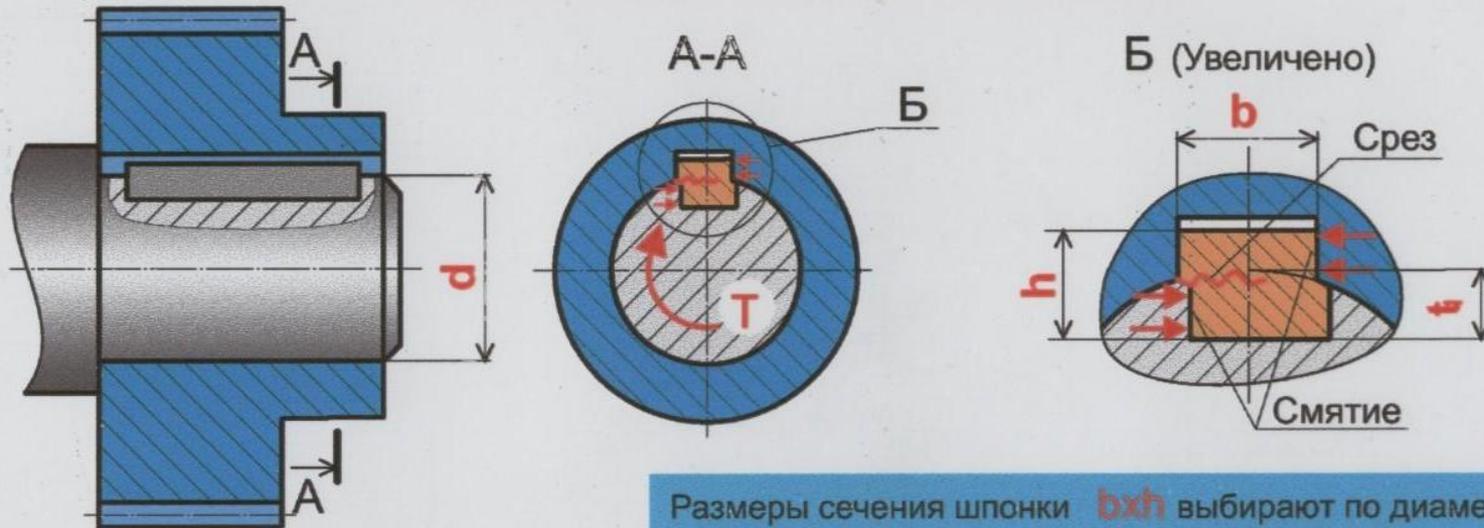
P9

Примечание. \* Поля допусков предпочтительного применения в неподвижных соединениях

# Призматические шпонки

## Ненапряженные соединения

### СОЕДИНЕНИЕ ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ ШПОНКОЙ



Размеры сечения шпонки  $b \times h$  выбирают по диаметру  $d$ .  
Длину шпонки  $l$  назначают конструктивно.

### Расчет соединения

на смятие

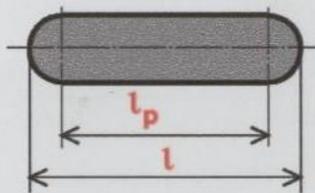
$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F_t}{A_{\text{см}}} \leq [\sigma]_{\text{см}},$$

где  $F_t = \frac{2T}{d}$ ;  $A_{\text{см}} = (h - t_1) \cdot l_p$ .

на срез

$$\tau_c = \frac{F_t}{A_c} \leq [\tau]_c,$$

где  $A_c = b \cdot l_p$ .

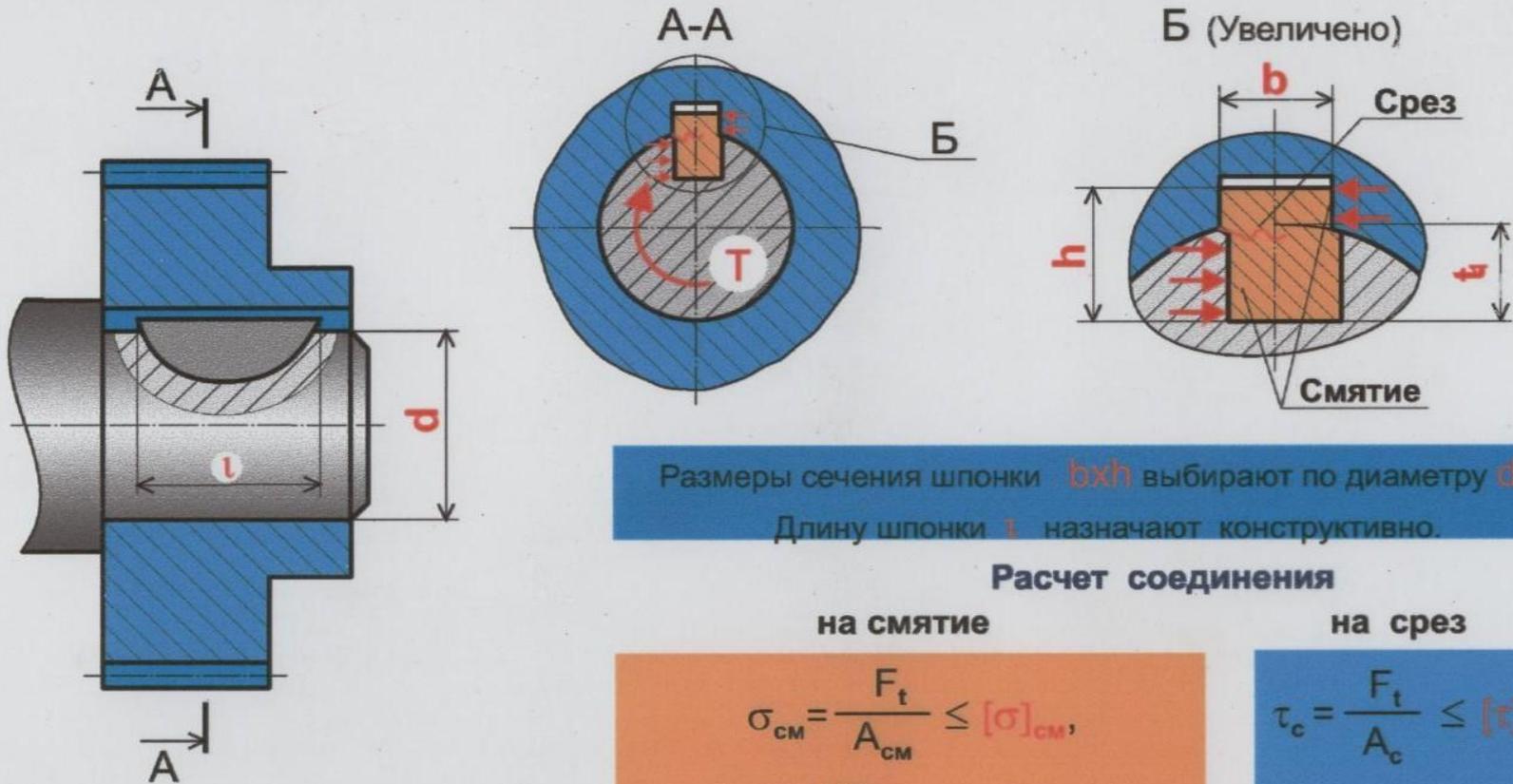


Рабочие поверхности – боковые грани шпонки

# 3). Сегментные шпонки

## Ненапряженные соединения

### СОЕДИНЕНИЕ СЕГМЕНТНОЙ ШПОНКОЙ



Размеры сечения шпонки  $b \times h$  выбирают по диаметру  $d$ .

Длину шпонки  $l$  назначают конструктивно.

#### Расчет соединения

на смятие

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F_t}{A_{\text{см}}} \leq [\sigma]_{\text{см}},$$

где  $F_t = \frac{2T}{d}$ ;  $A_{\text{см}} = (h - t_1) \cdot l$ .

на срез

$$\tau_c = \frac{F_t}{A_c} \leq [\tau]_c,$$

где  $A_c = b \cdot l$ .

Вращающий момент передается боковыми гранями шпонки. Используются для передачи небольших усилий, просты в изготовлении, соединения удобны при сборке и разборке.

Шпонки подбирают по таблицам ГОСТа в зависимости от диаметра вала и проверяют по напряжениям среза и смятия.

$$\tau = \frac{F_t}{A_{cp}} = \frac{2T}{d \cdot b \cdot l_p} \leq [\tau],$$

где  $A_{cp}$  – площадь среза,  $b$  – ширина шпонки,

$l_p$  – рабочая длина шпонки.

$$[\tau] = 60 - 100 \text{ МПа}$$

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

где  $A_{см}$  – площадь смятия,  $h$  – высота шпонки,

$t_1$  – глубина паза вала.

$$h - t_1 \approx \frac{1}{2,2} h,$$

$[\sigma_{см}] = 60 - 90 \text{ МПа}$  – материал ступицы **чугун**

$[\sigma_{см}] = 100 - 150 \text{ МПа}$  – материал ступицы **сталь**.

**Задача 46.** Чугунный шкив клиноременной передачи передает от электродвигателя к вентилятору мощность: а)  $P = 10$  кВт, б)  $P = 14$  кВт при  $n = 1460$  мин<sup>-1</sup>. Подобрать и проверить на прочность призматическую шпонку, если диаметр вала: а)  $d = 40$  мм, б)  $d = 45$  мм; длина ступицы шкива: а)  $l' = 75$  мм, б)  $l' = 80$  мм.

**Решение.** а) 1. По табл. П49 для  $d = 40$  мм подбираем призматическую шпонку  $b \times h = 12 \times 8$  мм. Длину шпонки выбираем так, чтобы она была меньше длины ступицы шкива ( $l' = 75$  мм) на 3 ... 10 мм и не выходила за границы предельных размеров для шпонок (см. табл. П49). Принимаем  $l = 70$  мм.

2. Расчетная длина шпонки (см. рис. б к табл. П49)  $l_p = l - b = 70 - 12 = 58$  мм — исполнение А (со скругленными торцами);  $l_p = l - 0,5b = 70 - 0,5 \cdot 12 = 64$  мм — исполнение С (с одним плоским и другим скругленным торцом);  $l_p = l = 70$  мм — исполнение В (с плоскими торцами).

3. Проверяем выбранную шпонку на смятие. Момент на валу шкива

$$T = 9,55P/n = 9,55 \cdot 10 \cdot 10^3 / 1460 = 65,3 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

При возможности установки призматической шпонки любого исполнения с одинаковыми размерами  $b$ ,  $h$ ,  $l$  наименьшее значение расчетной длины наблюдается у шпонки в исполнении А (со скругленными торцами), а рабочие напряжения смятия, очевидно, окажутся наибольшими. Следовательно, достаточно проверить прочность на смятие только для соединения шпонкой в исполнении А.

Расчетное напряжение смятия по формуле (217)

$$\sigma_{см} \approx 4,4T / (dhl_p) = 4,4 \cdot 65,3 / (40 \cdot 8 \cdot 58 \cdot 10^{-9}) = 15,8 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Это напряжение значительно ниже допускаемого  $[\sigma_{см}] = 60 \dots 90$  МПа.

Условное обозначение выбранной шпонки (со скругленными торцами): Шпонка  $12 \times 8 \times 70$  СТ СЭВ 189—75.