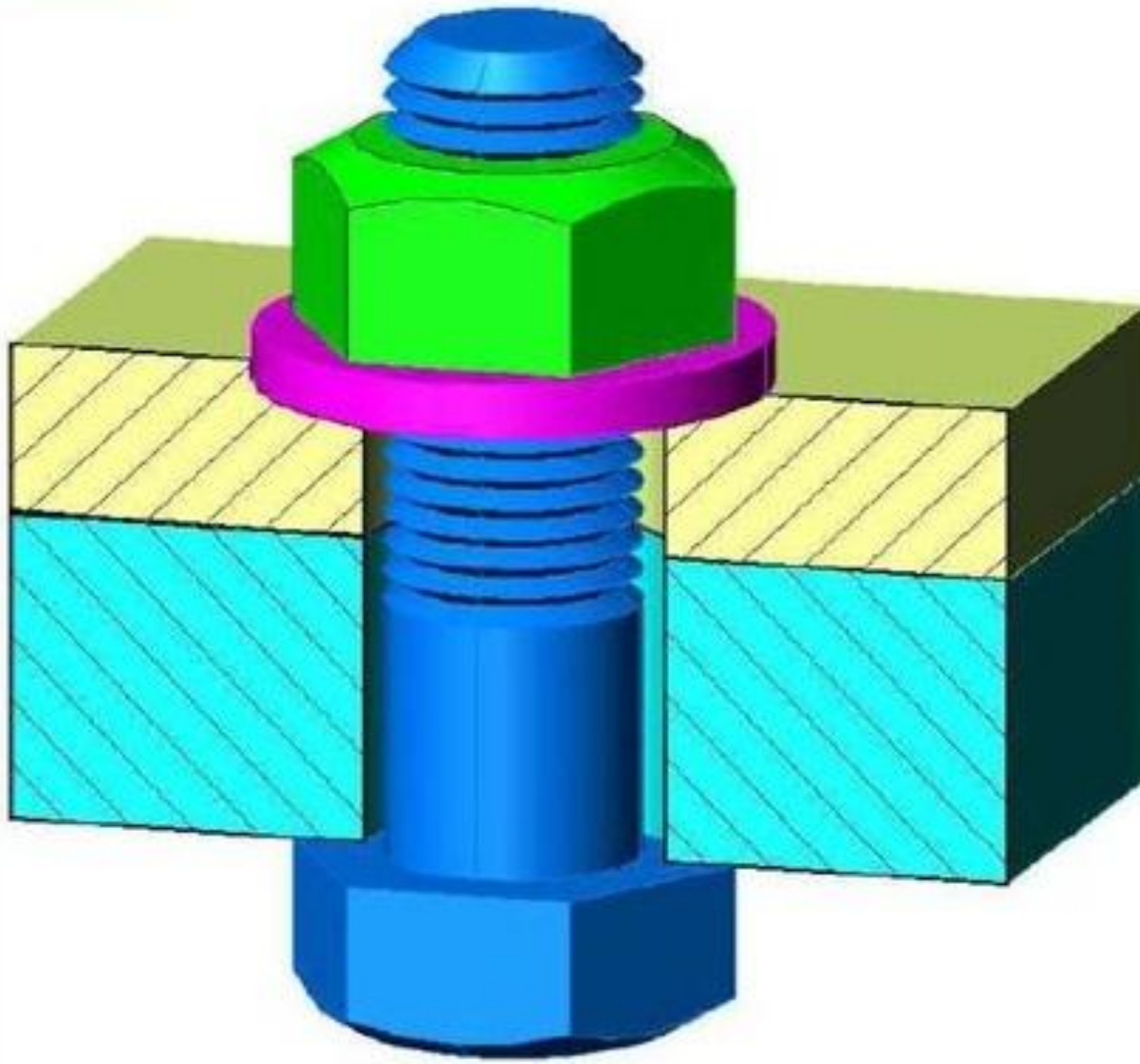


# Резьбовые соединения.



Резьба – поверхность, образованная при винтовом движении плоского контура по цилиндрической или конической поверхности. Применяется как средство соединения, уплотнения или обеспечения заданных перемещений деталей машин, механизмов, приборов и т. п.

Резьбовые соединения имеют ряд существенных достоинств:

- высокая надёжность;
- удобство сборки-разборки;
- простота конструкции;
- дешевизна (вследствие стандартизации);
- технологичность;
- возможность регулировки силы сжатия.

Недостатки резьбовых соединений:

- концентрация напряжений во впадинах резьбы;
- низкая вибрационная стойкость (самоотвинчивание при вибрации).

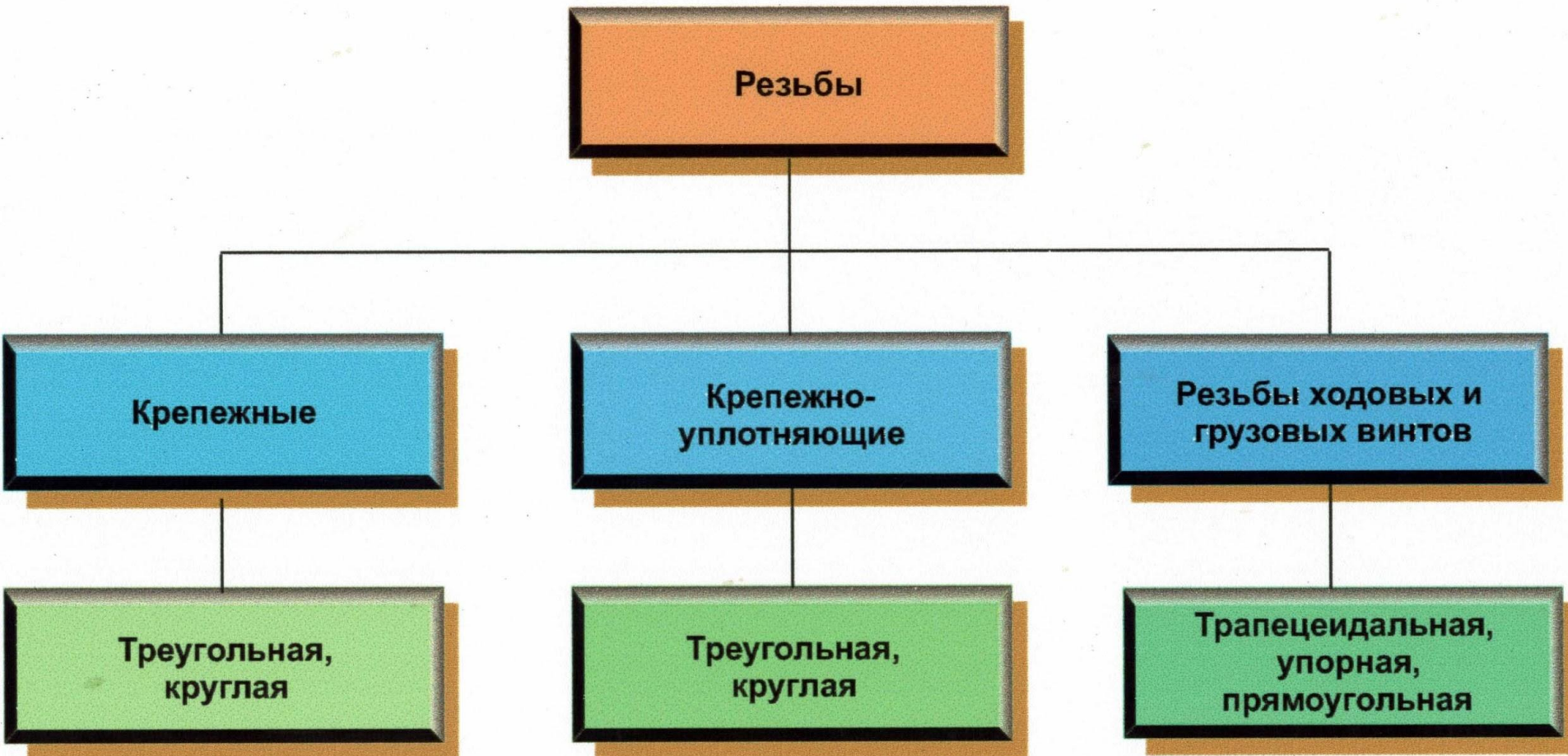
**Болтом** называется резьбовое изделие цилиндрической (или конической) формы, снабженное на одном конце головкой, а на другом резьбой, на которую навинчивается гайка.

**Винтом** называется резьбовое изделие цилиндрической формы, снабженное на одном конце головкой, а на другом резьбой (гайкой служит деталь).

Резьбы могут быть изготовлены:

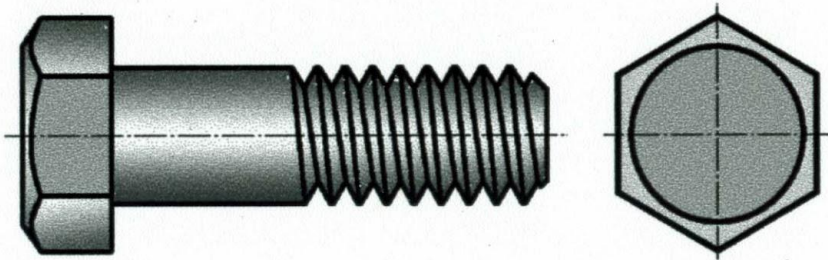
- нарезанием слесарным инструментом — метчиками, плашками (как вручную, так и на станках). Для нарезания наружной резьбы используют различные резцы, плашки, резьбовые гребенки и фрезы, а для внутренней резьбы — метчики. Этот метод применяют в индивидуальном производстве и при ремонтных работах;
- нарезанием резцом на токарно-винторезном станке или на специальных болтонарезных станках;
- фрезерованием на специальных резьбофрезерных станках. Применяют для нарезки винтов больших диаметров с повышенными требованиями к точности резьбы (ходовые и грузовые винты, резьбы на валах и т. д.);
- накаткой на специальных резьбонакатных станках. Этим высокопроизводительным и дешевым способом изготавливают большинство резьб стандартных крепежных деталей (болты, винты и т. д.). Накатка существенно упрочняет резьбовые детали;
- отливкой чугуновых, пластмассовых, стеклянных деталей и деталей из цветных сплавов;
- выдавливанием для тонкостенных деталей (например, из латуни).

## КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЗЬБ ПО НАЗНАЧЕНИЮ

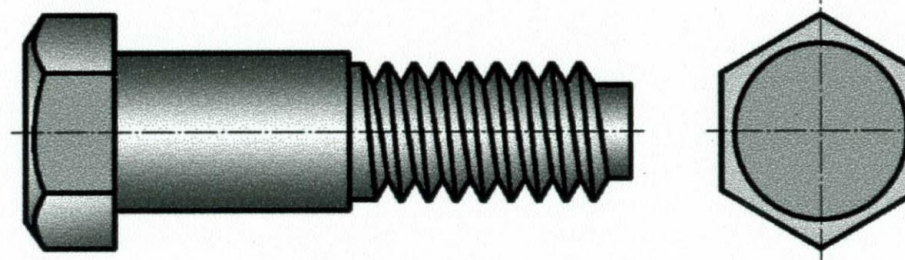


# КОНСТРУКЦИИ БОЛТОВ КОНСТРУКЦИИ БОЛТОВ

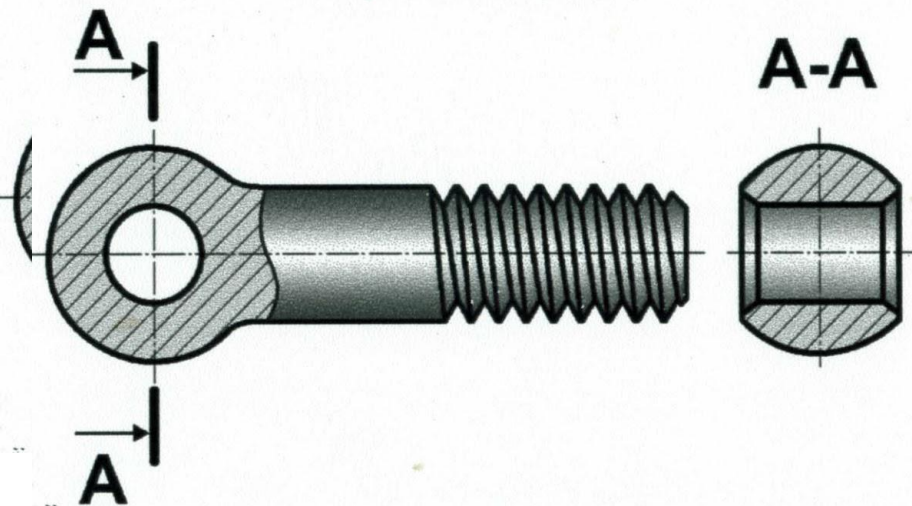
Болт с шестигранной головкой  
общего назначения



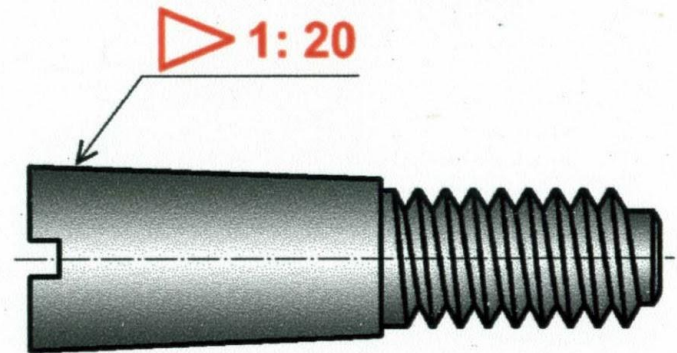
Болт для отверстий из под развертки



Болт откидной

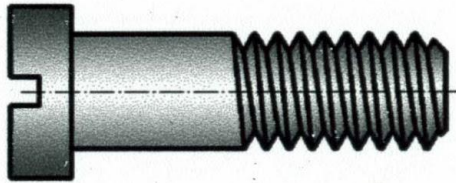


Болт конический

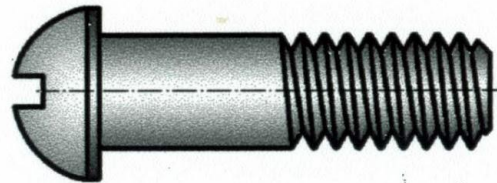


# КОНСТРУКЦИИ КРЕПЕЖНЫХ ВИНТОВ

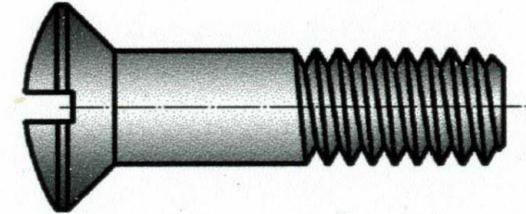
Винт с цилиндрической головкой



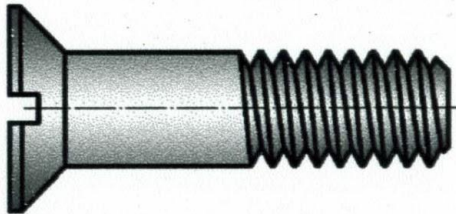
Винт с полукруглой головкой



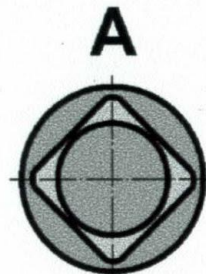
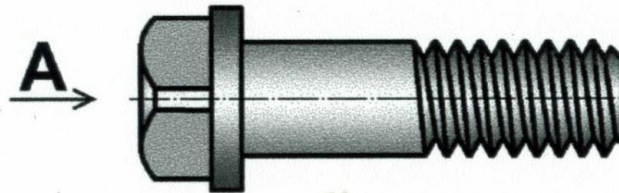
Винт с полупотайной головкой



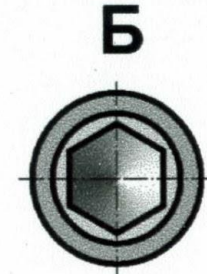
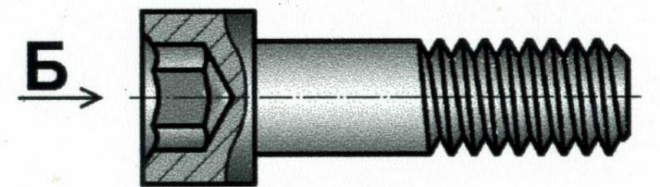
Винт с потайной головкой



Болт с квадратной головкой и буртиком



Болт с цилиндрической головкой и шестигранным углублением



# КОНСТРУКЦИИ УСТАНОВОЧНЫХ ВИНТОВ

## Винты с прямым шлицем

с коническим  
концом



с плоским  
концом



с цилиндрическим  
концом

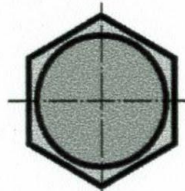


с засверленным  
концом

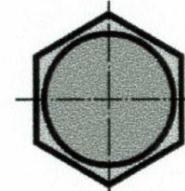


## Винты с шестигранной головкой

с цилиндрическим концом

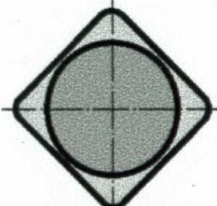


со ступенчатым концом

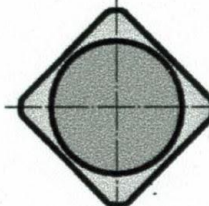


## Винты с квадратной головкой

с цилиндрическим концом



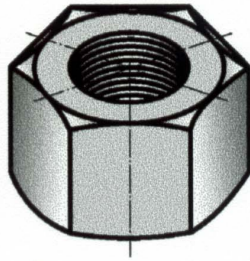
с засверленным концом



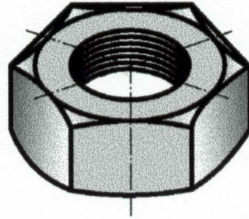
# КОНСТРУКЦИИ ГАЕК

## Гайки шестигранные

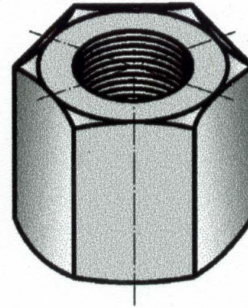
нормальная



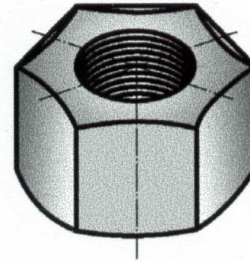
низкая



высокая

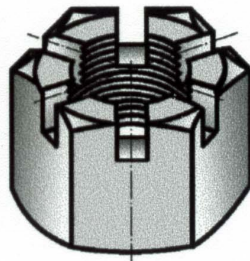


со сферическим  
торцом

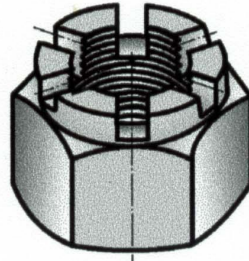


## Гайки шестигранные

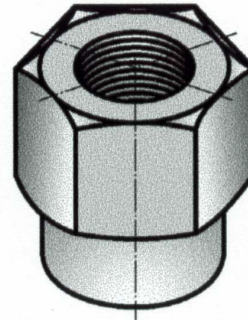
прорезная



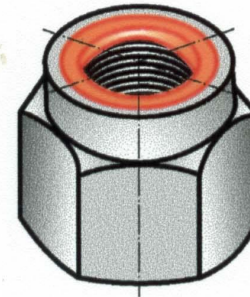
корончатая



колпачковая

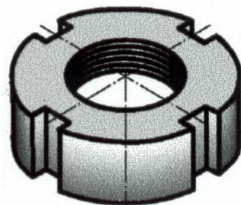


самотормозящая  
с нейлоновым  
кольцом

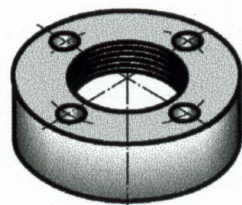


## Гайки круглые

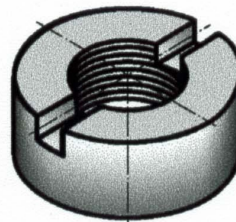
шлицевая



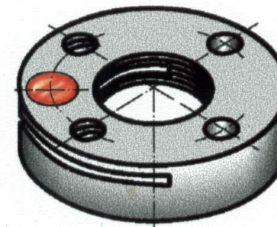
с отверстиями на  
торце под ключ



со шлицем  
на торце



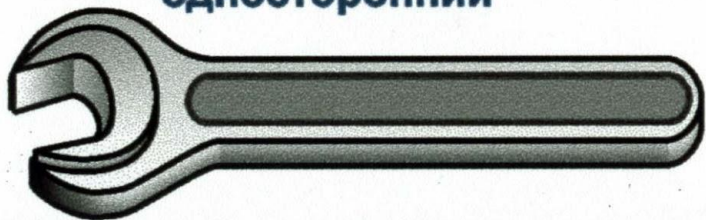
с конtringим  
винтом





## КОНСТРУКЦИИ ГАЕЧНЫХ КЛЮЧЕЙ

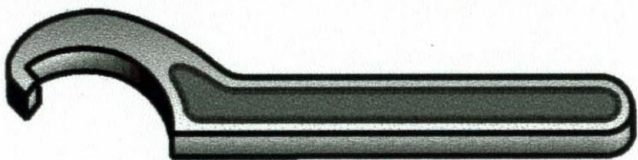
Ключ гаечный с открытым зевом  
односторонний



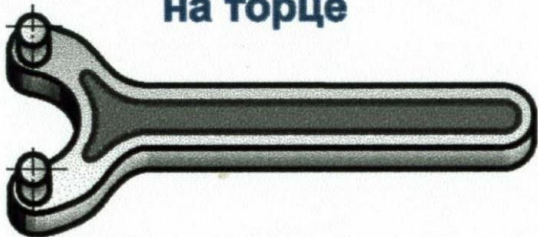
Ключ гаечный с открытым зевом  
двусторонний



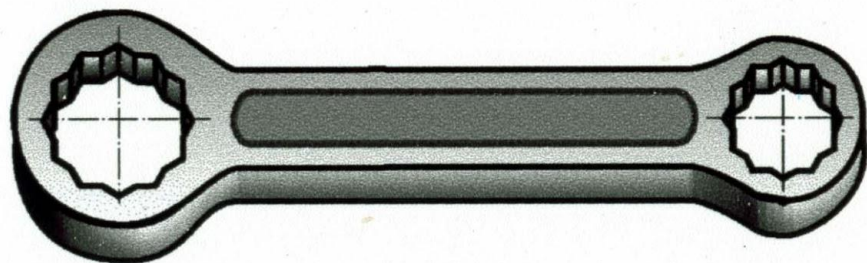
Ключ для круглых шлицевых гаек



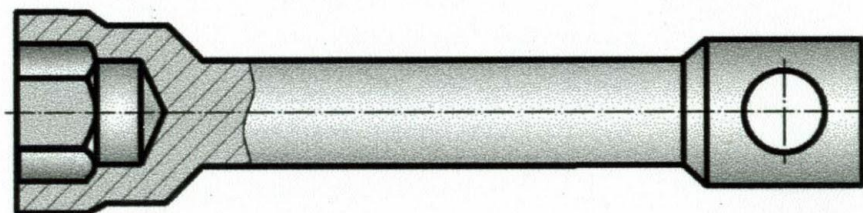
Ключ для круглых гаек с отверстиями  
на торце



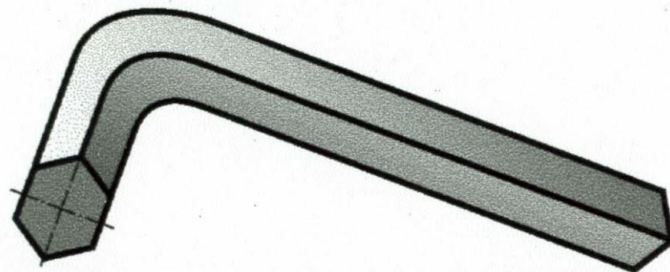
Ключ гаечный кольцевой двусторонний



Ключ гаечный торцовый с внутренним  
шестигранником односторонний

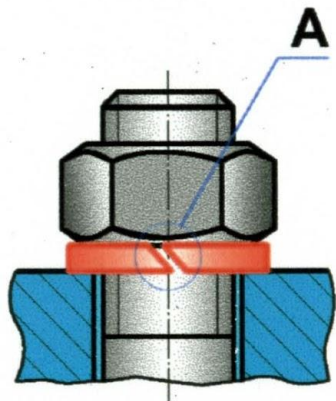


Ключ гаечный торцовый в виде  
шестигранника

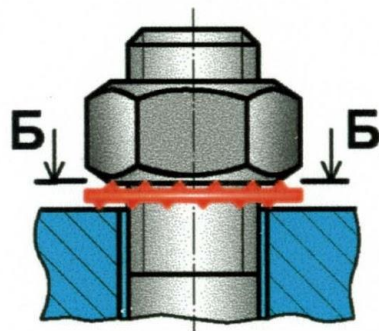


# СПОСОБЫ СТОПОРЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ОСНОВАННЫЕ НА ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ТРЕНИИ

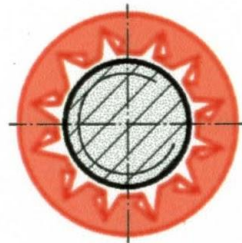
Пружинной шайбой



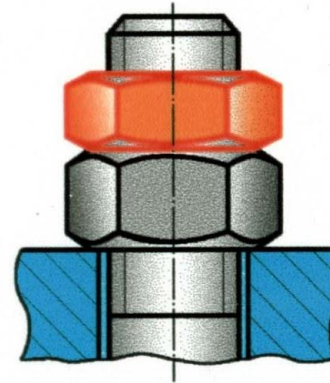
Осесимметричной пружинной шайбой



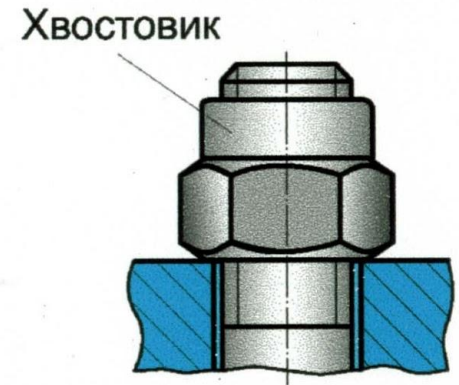
Б-Б



Контргайкой

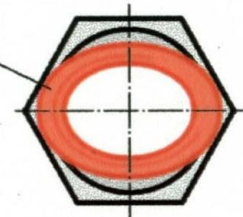


Овальным обжатием цилиндрического хвостовика гайки



Болт условно не показан

Форма хвостовика до завинчивания

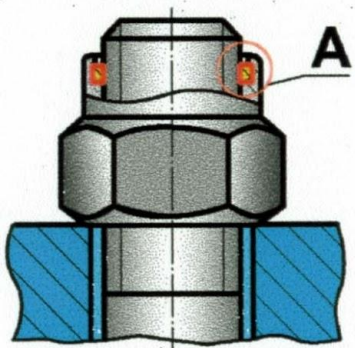


А



# СПОСОБЫ СТОПОРЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ОСНОВАННЫЕ НА ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ТРЕНИИ

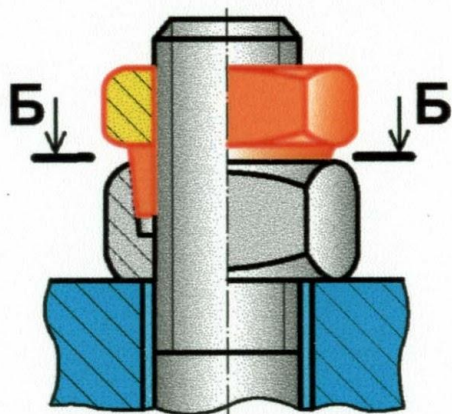
Самотормозящаяся гайка с полиамидным кольцом



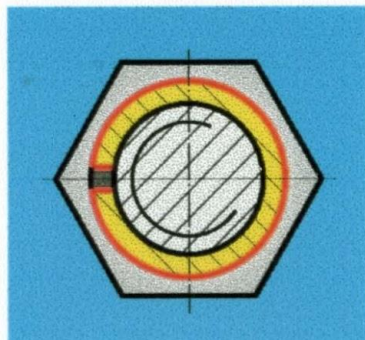
**A** (Увеличено)



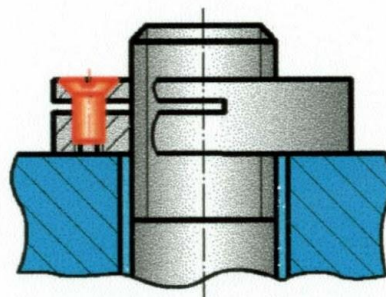
Разрезной контргайкой



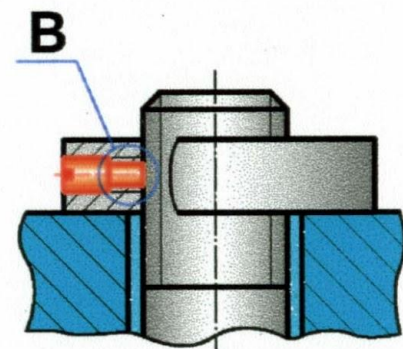
**Б-Б**



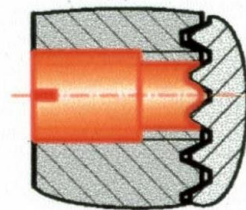
Гайкой с  
контрящим  
винтом



Стопорным винтом  
с мягкой прокладкой

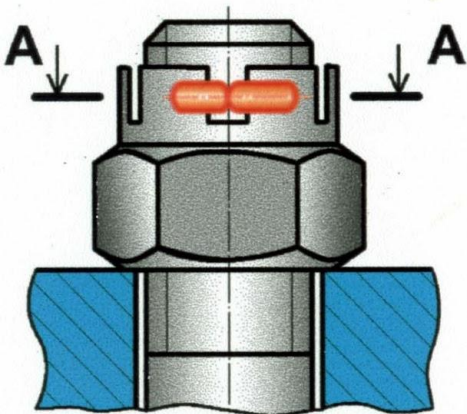


**В** (Увеличено)

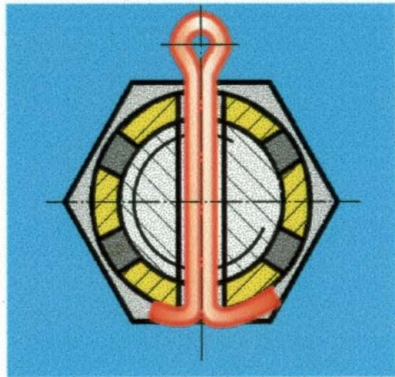


# СПОСОБЫ СТОПОРЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗАПИРАЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

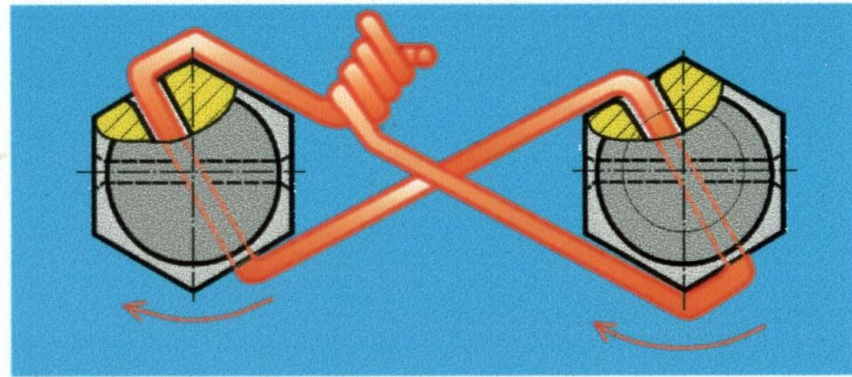
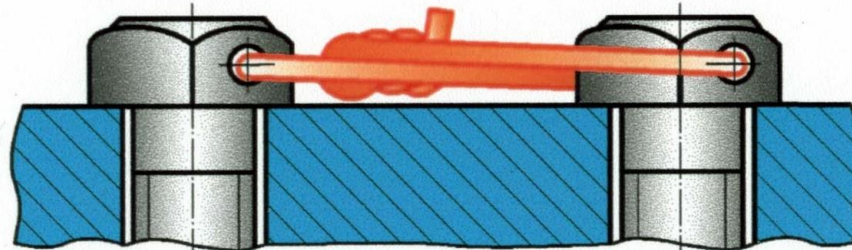
## Шплинтом



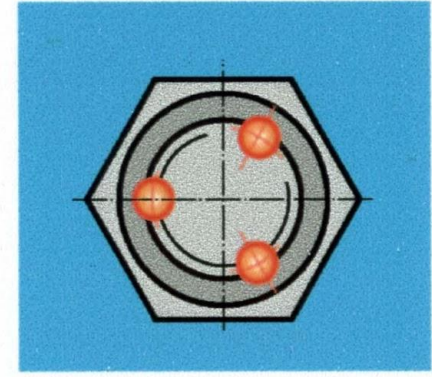
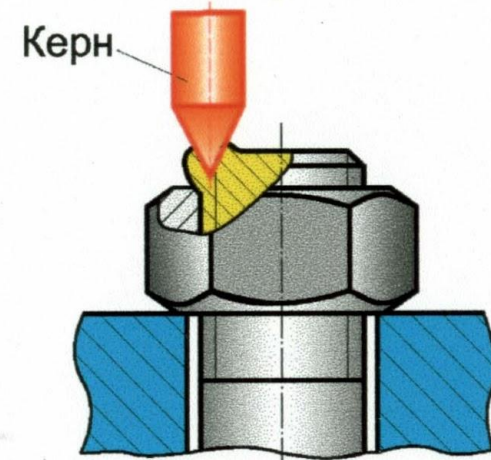
A-A



## Обвязкой проволокой

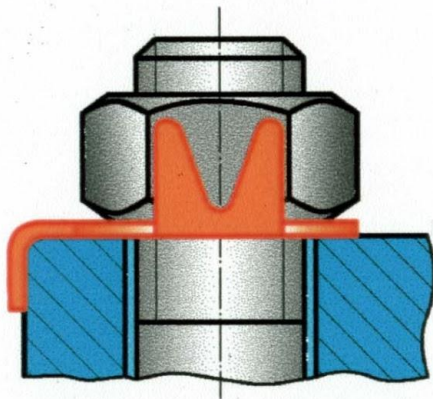


## Кернение резьбы

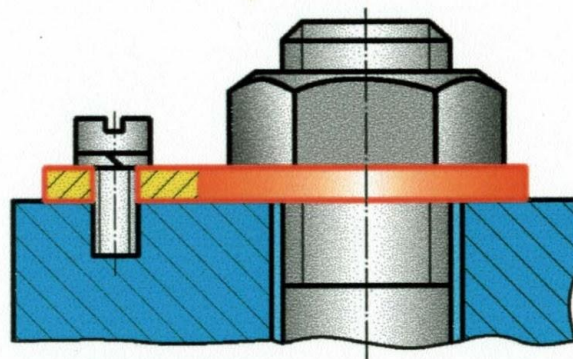


# СПОСОБЫ СТОПОРЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗАПИРАЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

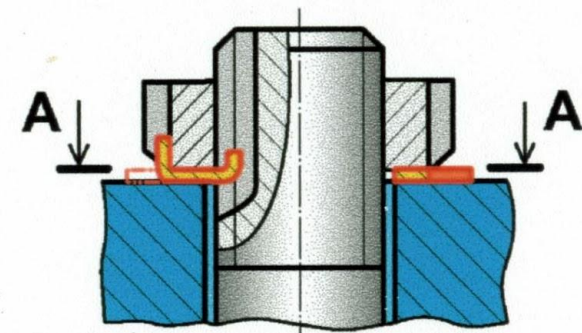
Стопорной шайбой  
с лапкой



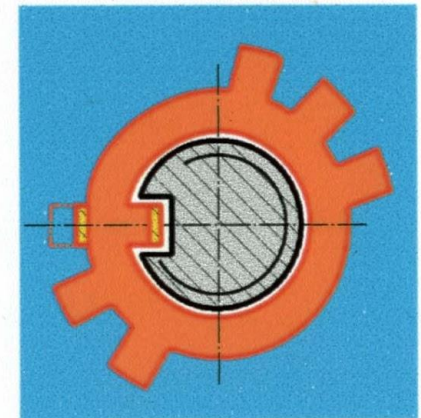
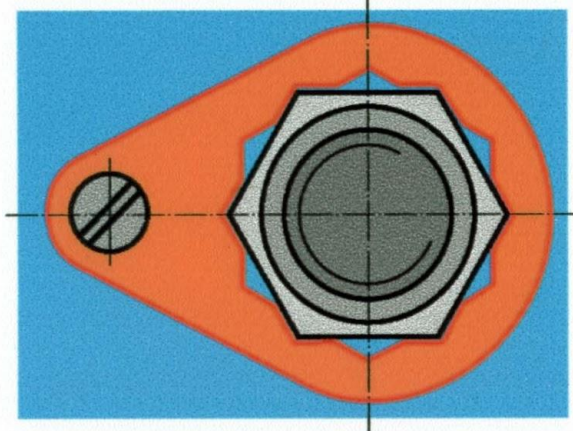
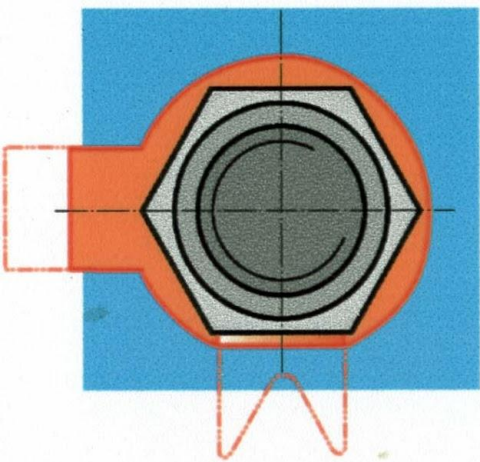
Накладкой, надеваемой  
на гайку



Шайбой многолапчатой

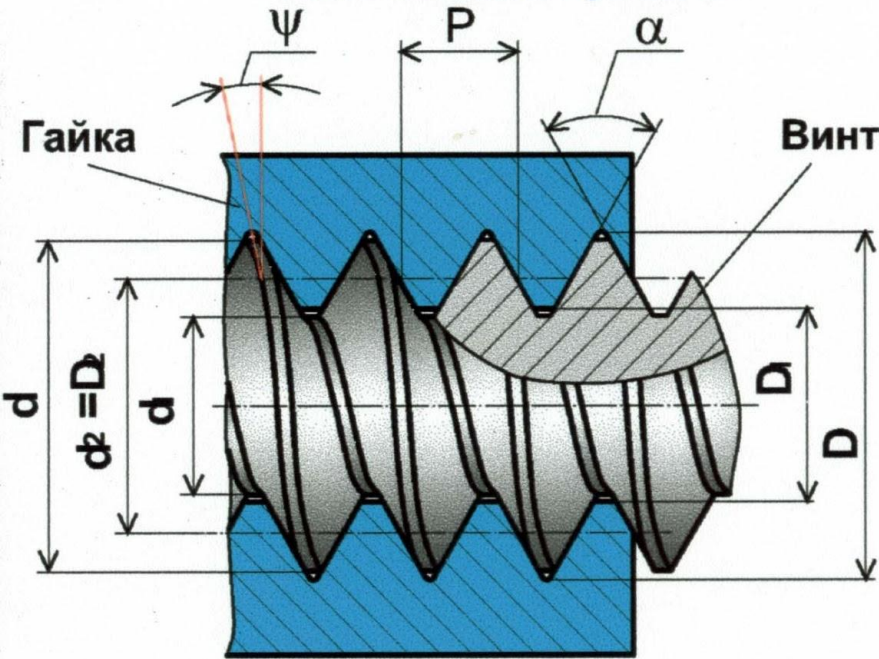


A-A

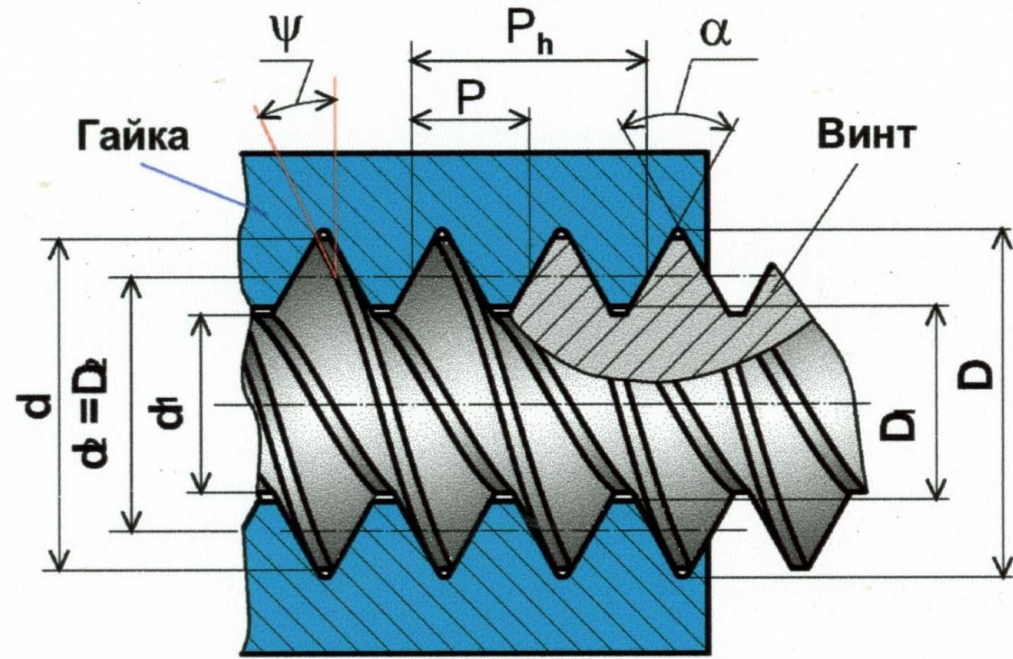


## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗЬБЫ

### Однозаходная резьба



### Двухзаходная резьба



### Параметры резьбы винта:

- d** - наружный диаметр;
- d<sub>1</sub>** - внутренний диаметр;
- d<sub>2</sub>** - средний диаметр

### Общие параметры резьбы:

- P** - шаг;
  - P<sub>h</sub> = P · n** - ход;
  - n** - число заходов;
  - α** - угол профиля;
  - ψ** - угол подъема
- $$\operatorname{tg} \psi = P_h / (\pi \cdot d_2)$$

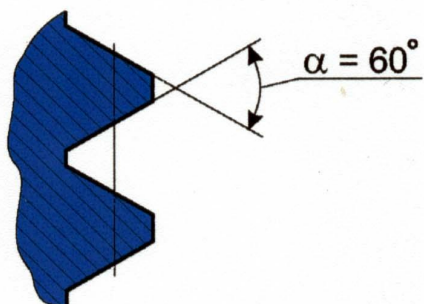
### Параметры резьбы гайки:

- D** - наружный диаметр;
- D<sub>1</sub>** - внутренний диаметр;
- D<sub>2</sub>** - средний диаметр

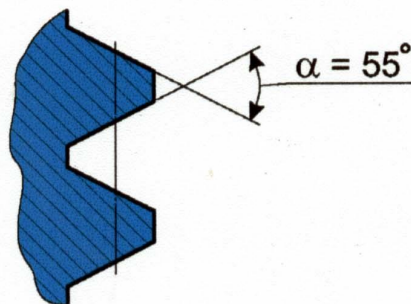
# ТИПЫ РЕЗЬБ

## Треугольные

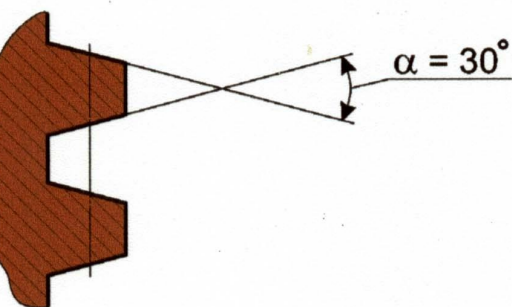
метрическая



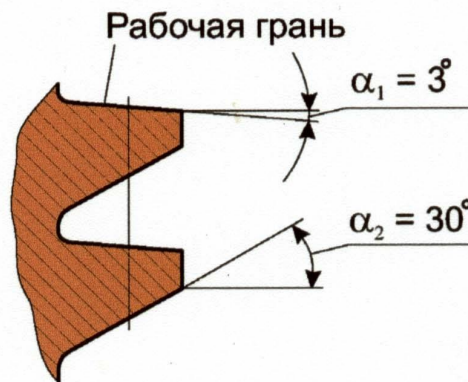
дюймовая



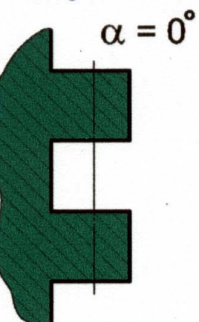
Трапецеидальная



Упорная (односторонняя)



прямоугольная



Круглая



Резьба метрическая получила свое название потому, что все ее размеры измеряются в мм (в отличие от дюймовой резьбы, размеры которой измеряются в дюймах). Вершины витков и впадин притуплены по прямой или по дуге окружности, что необходимо для уменьшения концентрации напряжений, предохранения от повреждений (забоин) в эксплуатации, повышения стойкости инструмента при нарезании.

Резьба трапецеидальная изготавливается с симметричным и несимметричным профилями. Симметричную резьбу используют для передачи двустороннего (реверсивного) движения под нагрузкой. Несимметричная резьба предназначена для одностороннего движения под нагрузкой и называется упорной резьбой. Она применяется для винтов-домкратов, прессов и т. п.

*Резьба прямоугольная*, широко применявшаяся ранее в винтовых механизмах, в настоящее время не стандартизована и почти вытеснена трапецеидальной. Изготовить прямоугольную резьбу более производительным способом на резьбофрезерных станках невозможно, так как для образования чистой поверхности резьбы у фрезы должны быть режущими не только передние, но и боковые грани

*Резьбы трубные* применяются для герметичного соединения труб и арматуры (масленки, штуцера и т. п.). На тонкой стенке трубы невозможно нарезать резьбу с крупным шагом без существенного уменьшения прочности трубы. Поэтому трубная резьба имеет мелкий шаг. В международном стандарте для трубной резьбы до настоящего времени еще сохранено измерение в дюймах. Для лучшего уплотнения трубную резьбу выполняют без зазоров по выступам и впадинам и с закруглениями профиля.

*Упорную резьбу* применяют в нажимных винтах с большой односторонней осевой нагрузкой. Упорная резьба, имеет профиль неравнобокой трапеции, одна из сторон которой наклонена к вертикали под углом  $3^\circ$ , т.е. рабочая сторона профиля, а другая – под углом  $30^\circ$

*Круглая резьба*. Круглая резьба стандартизована. Профиль круглой резьбы образован дугами, связанными между собой участками прямой линии. Угол между сторонами профиля =  $30^\circ$ . Резьба применяется ограниченно: для водопроводной арматуры, в отдельных случаях для крюков подъемных кранов, а также в условиях воздействия агрессивной среды.



## ПОЛЯ ДОПУСКОВ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО ГОСТ 16093-81

Класс точности резьбы	Поле допусков резьб	
	болтов	гаек
Точный	4h	4H5H
Средний	6h; 6g*; 6e; 6d	5H6H; 6H*; 6G
Грубый	8h; 8g*	7H*; 7G

Примечание. \* - поля допусков предпочтительного применения.

## КЛАССЫ ПРОЧНОСТИ ВИНТОВ И ГАЕК ПО ГОСТ 1759 - 82

### Механические свойства болтов, винтов и шпилек

Класс прочности	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9	14.9
Твердость НВ, не менее	90	110		140		170			225	280	330	390
Примеры марок сталей	Ст 3, 10	20	10	30, 35	10, 20	35, 45, 40Г	20		35Х, 45Г	40Х, 30ХГСА	30ХГСА	40ХНМА

### Механические свойства гаек

Класс прочности	4	5	6	8	10	12	14	
Твердость НВ, не менее	302				353		375	
Примеры марок сталей	Ст 3	10; 20	Ст 3; 15; 35	20; 35; 45		35Х	40Х; 30ХГСА	35ХГСА; 40ХНМА

### Примеры расшифровки обозначений классов:

**болтов**

**Класс 5.8:**  $\sigma_B \geq 500$  МПа,  $\sigma_T / \sigma_B = 0,8$

**гаек**

**класс 5:**  $\sigma_B \geq 500$  МПа.

# УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ БОЛТОВ, ВИНТОВ И ШПИЛЕК КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ 3.6...6.9 И ГАЕК КЛАССОВ ПРОЧНОСТИ 4...8

Примеры: Болт М12 - 6g x 60.58 ГОСТ 7798 - 70;  
 Болт 2М12 x 1,25 - 6g x 40.58. С. 029 ГОСТ 7696 - 70;  
 Гайка М16 - 7Н. 5. 065 ГОСТ 5915 - 70

## Схема обозначения



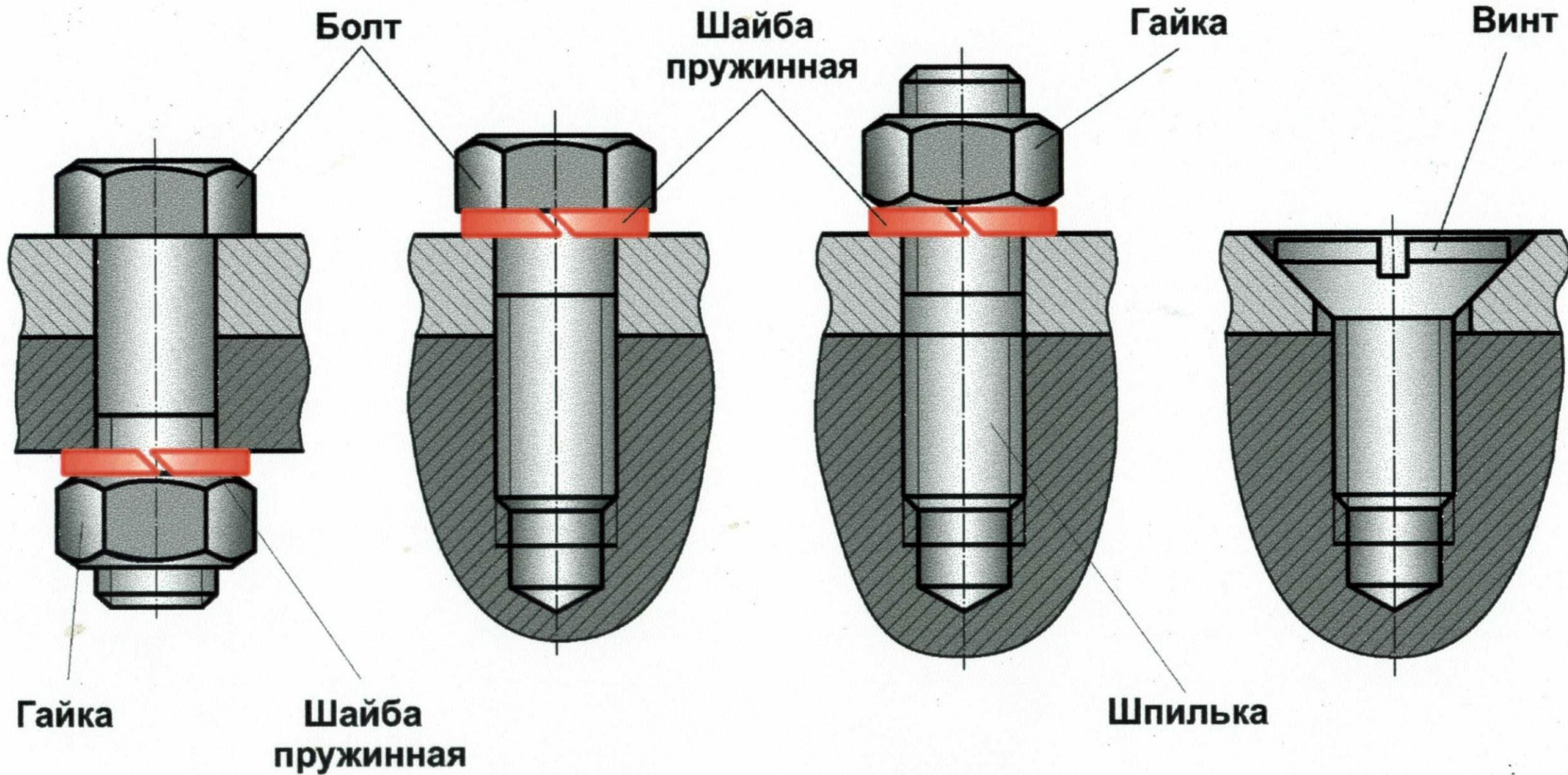
## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Крепление деталей болтом и гайкой

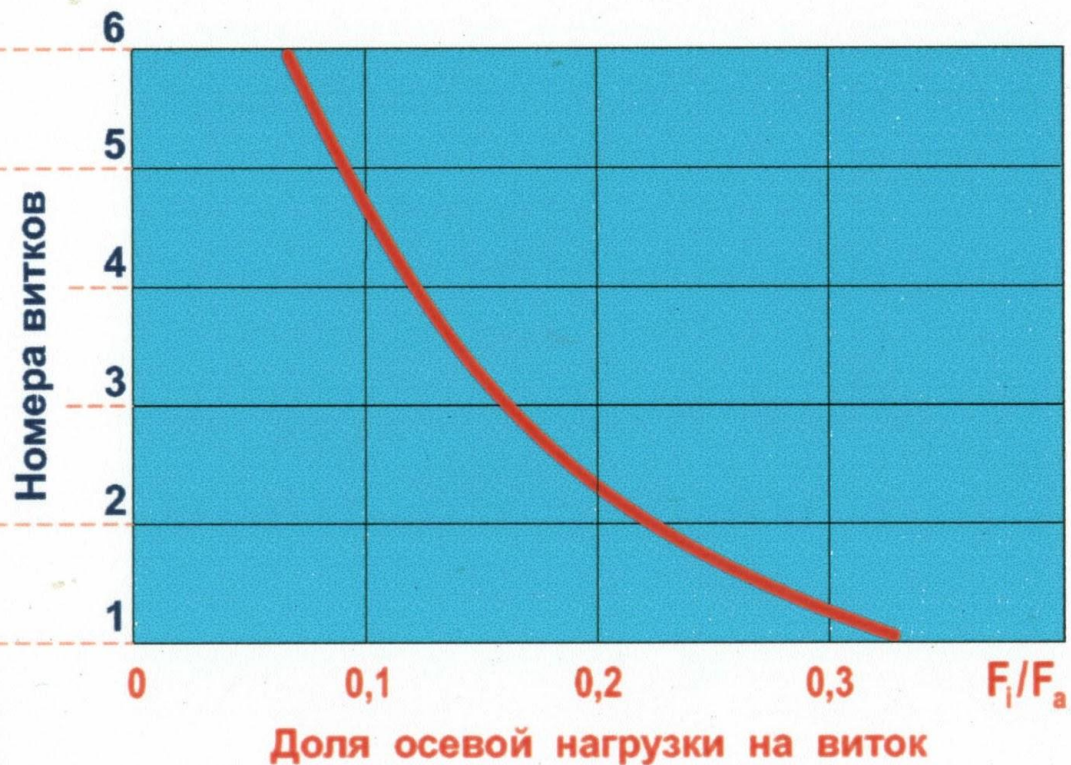
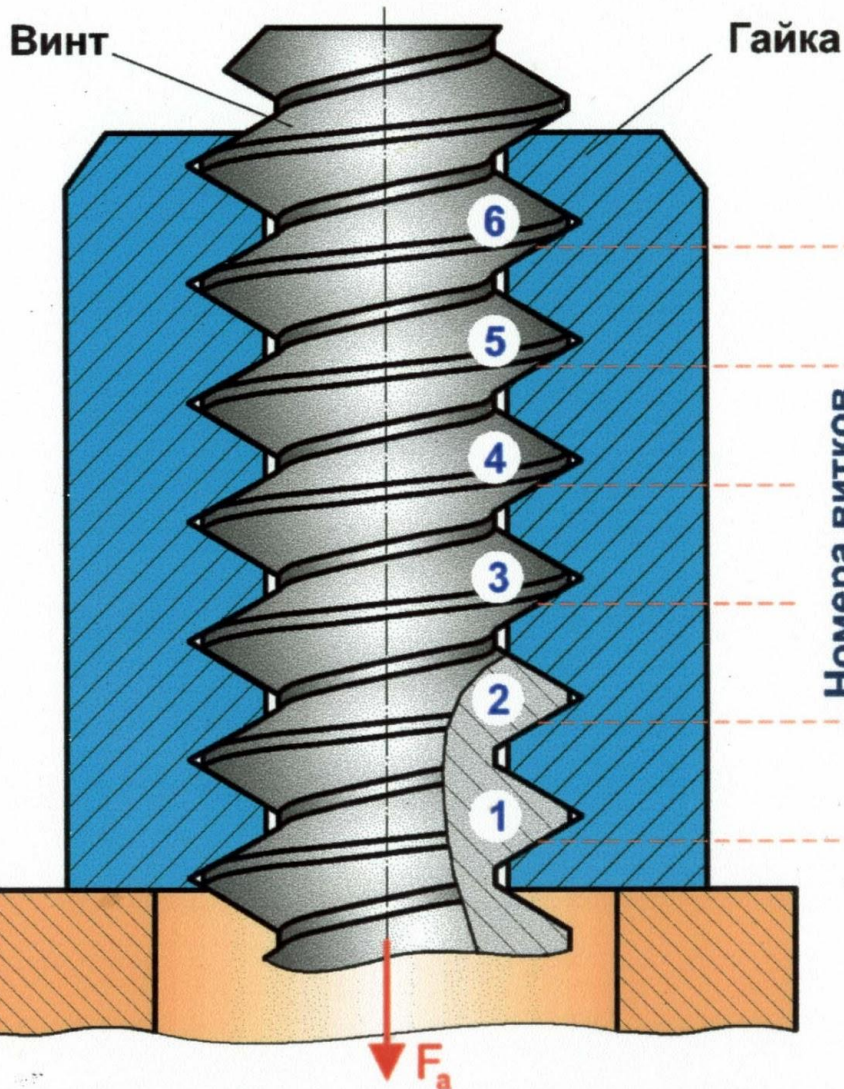
Крепление деталей ввинчиванием болта в одну из деталей

Крепление деталей шпилькой и гайкой

Крепление деталей винтом



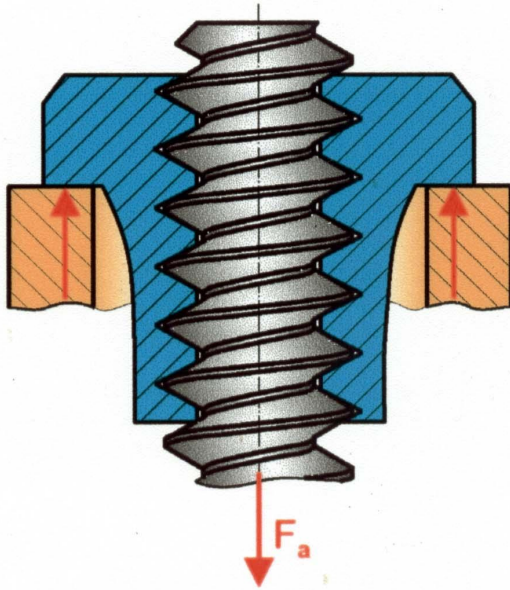
# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ ПО ВИТКАМ РЕЗЬБЫ ПО Н. Е. ЖУКОВСКОМУ



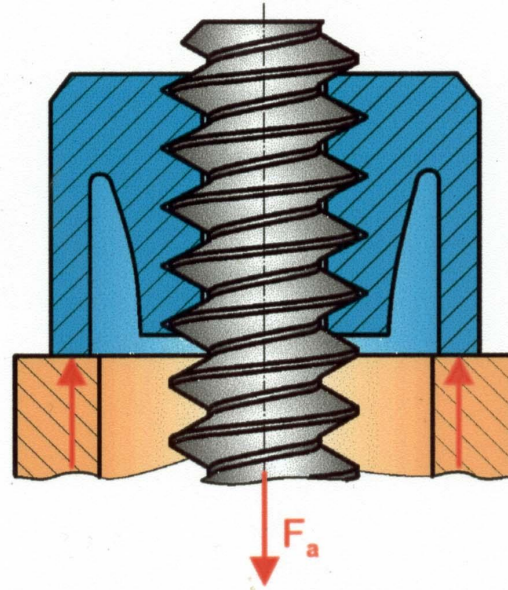
# СПОСОБЫ ВЫРАВНИВАНИЯ НАГРУЗКИ ПО ВИТКАМ РЕЗЬБЫ

## Повышение податливости тела гайки

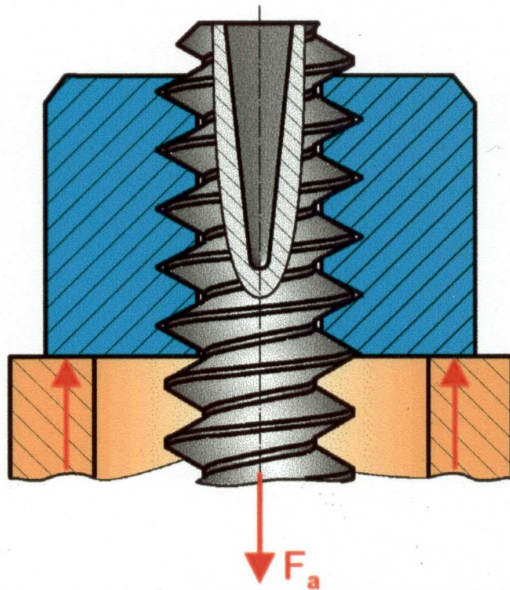
Висячая гайка



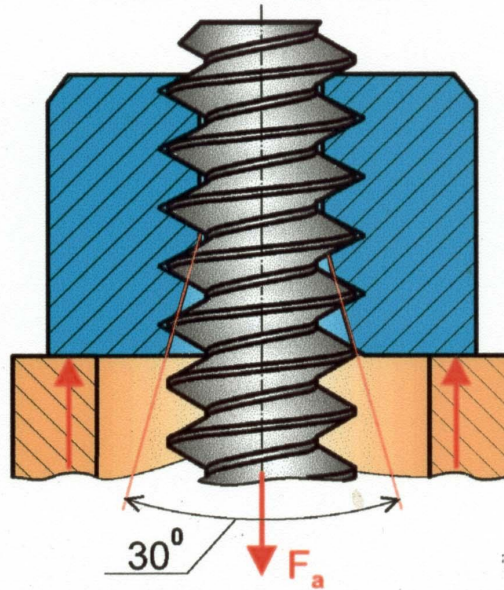
Гайка с поднутрением



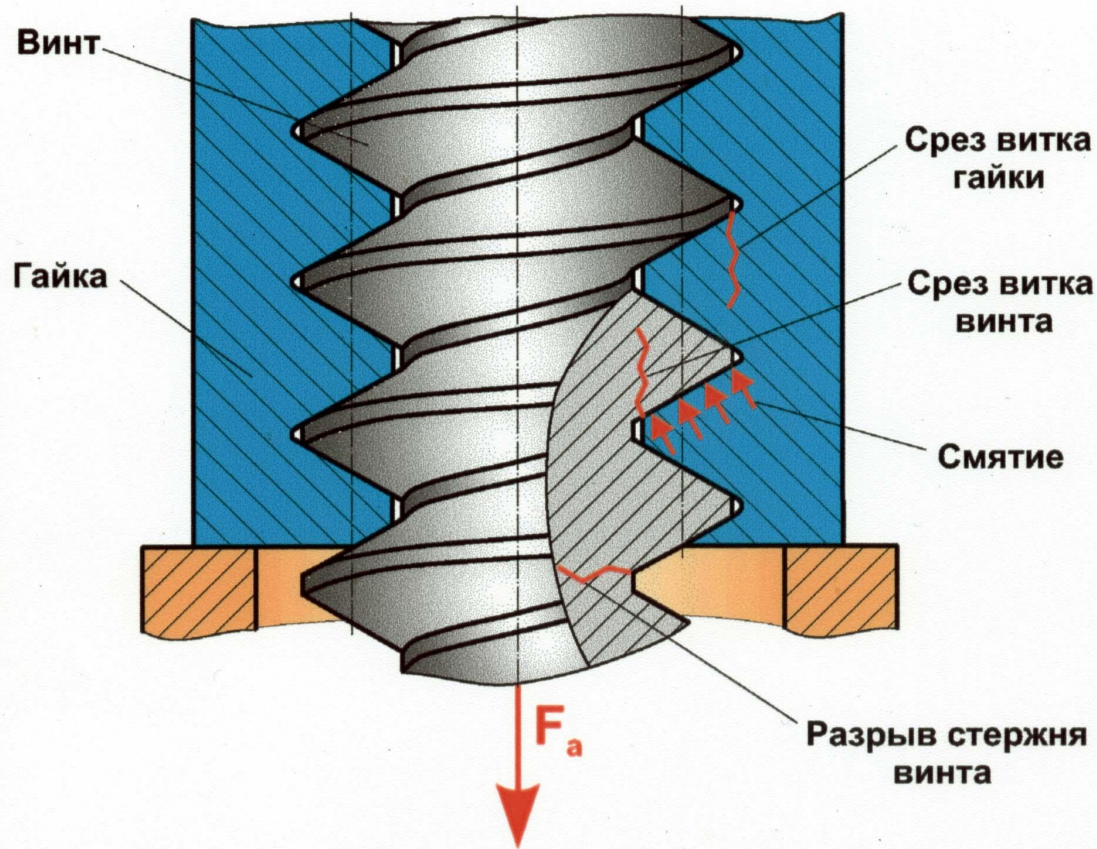
Повышение податливости  
тела винта



Повышение податливости витков  
винта посредством среза вершин  
нижних витков гайки

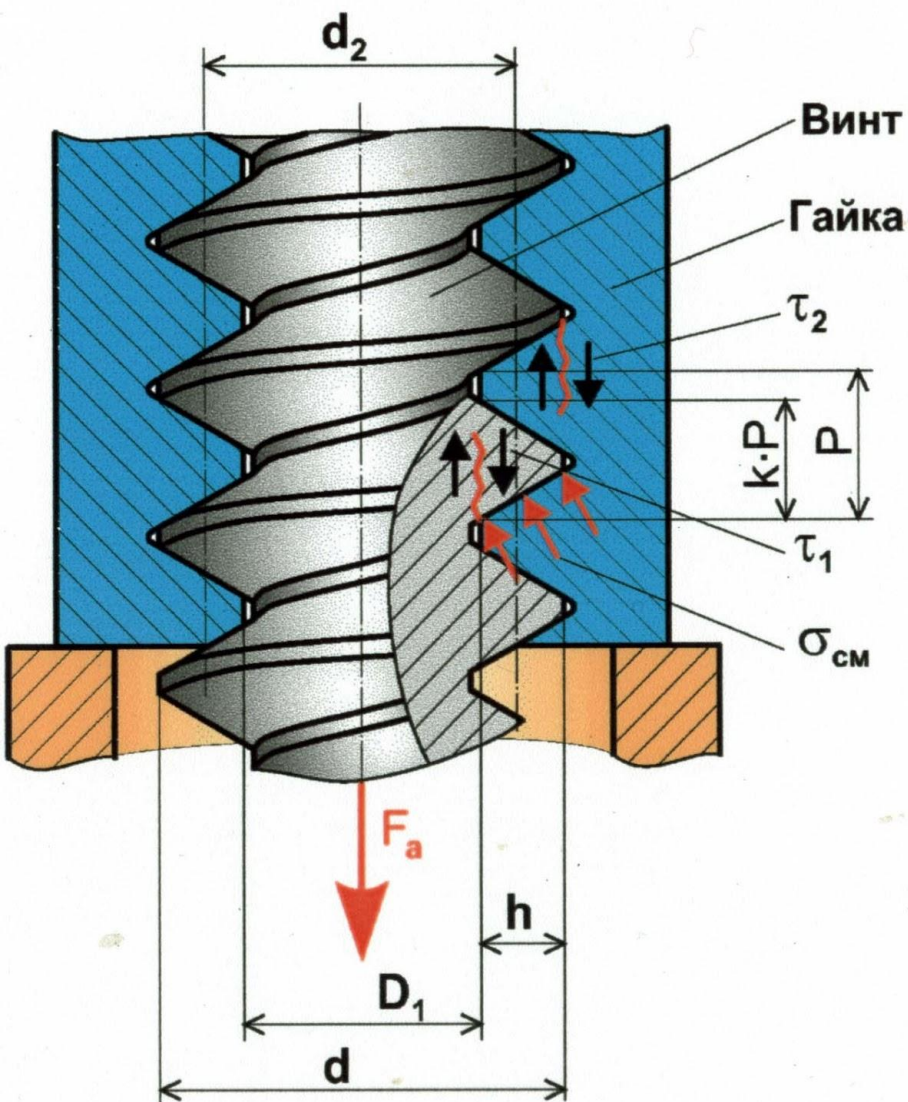


# КРИТЕРИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ



Назначение резьбы	Критерии работоспособности
Крепежные	Смятие рабочих поверхностей витков
	Срез витков резьбы
	Разрыв стержня
Ходовые и грузовые винты	Износ резьбы

## ПРОВЕРКА ЭЛЕМЕНТОВ РЕЗЬБЫ НА ПРОЧНОСТЬ



### Напряжения смятия

$$\sigma_{см} = F_a / (\pi \cdot d_2 \cdot h \cdot z) \leq [\sigma]_{см}$$

### Напряжения среза

в резьбе винта  $\tau_1 = F_a / (\pi \cdot D_1 \cdot k \cdot P \cdot z) \leq [\tau]_1$ ;

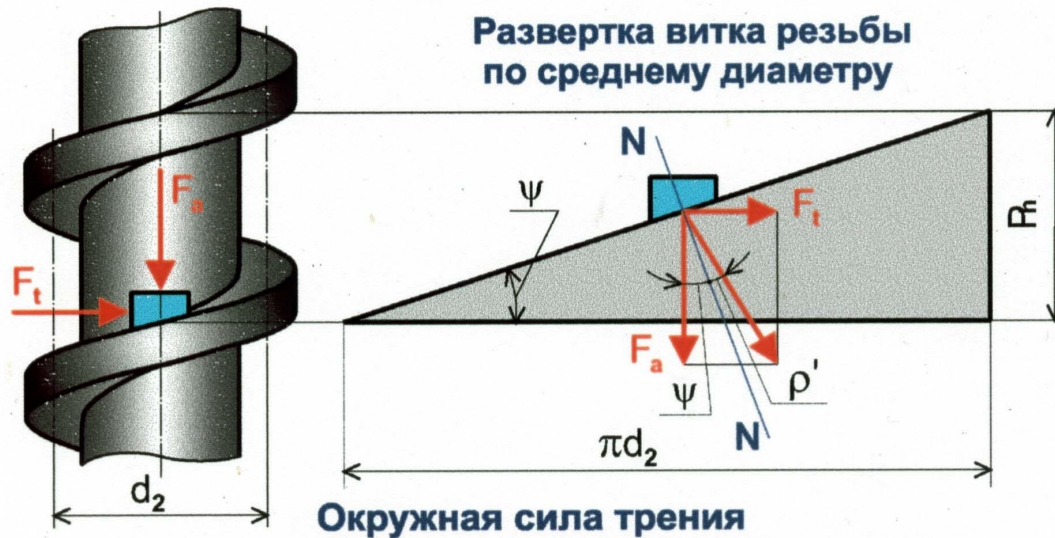
в резьбе гайки  $\tau_2 = F_a / (\pi \cdot d \cdot k \cdot P \cdot z) \leq [\tau]_2$ ,

где  $Z$  - число витков гайки

Профиль резьбы	Коэффициент полноты резьбы $k$
Прямоугольная	0,5
Трапецеидальная	0,65
Упорная	0,75
Треугольная	0,87



# СОТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ОСЕВОЙ СИЛОЙ НА ВИНТЕ И МОМЕНТОМ ЗАВИНЧИВАНИЯ ГАЙКИ



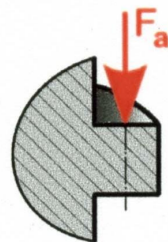
$$F_t = F_a \cdot \operatorname{tg}(\psi + \rho')$$

## Момент трения в резьбе

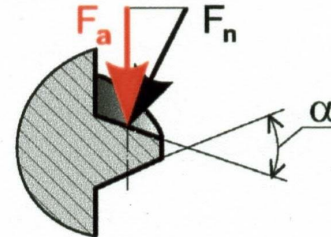
$$T = 0,5 F_t \cdot d_2 = 0,5 F_a \cdot d_2 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \rho'),$$

где  $\psi$  - угол подъема винтовой линии резьбы;  
 $\rho' = \operatorname{arctg} f'$  - приведенный угол трения.

## К вопросу о приведенном коэффициенте трения



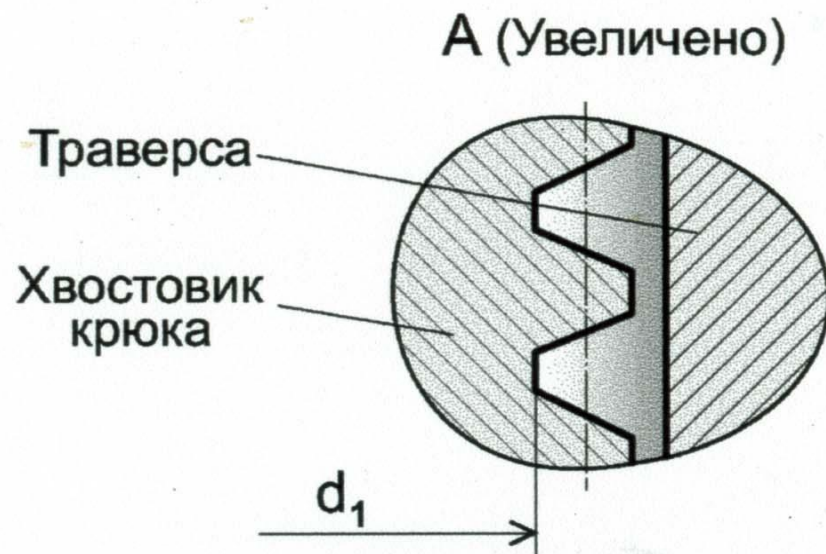
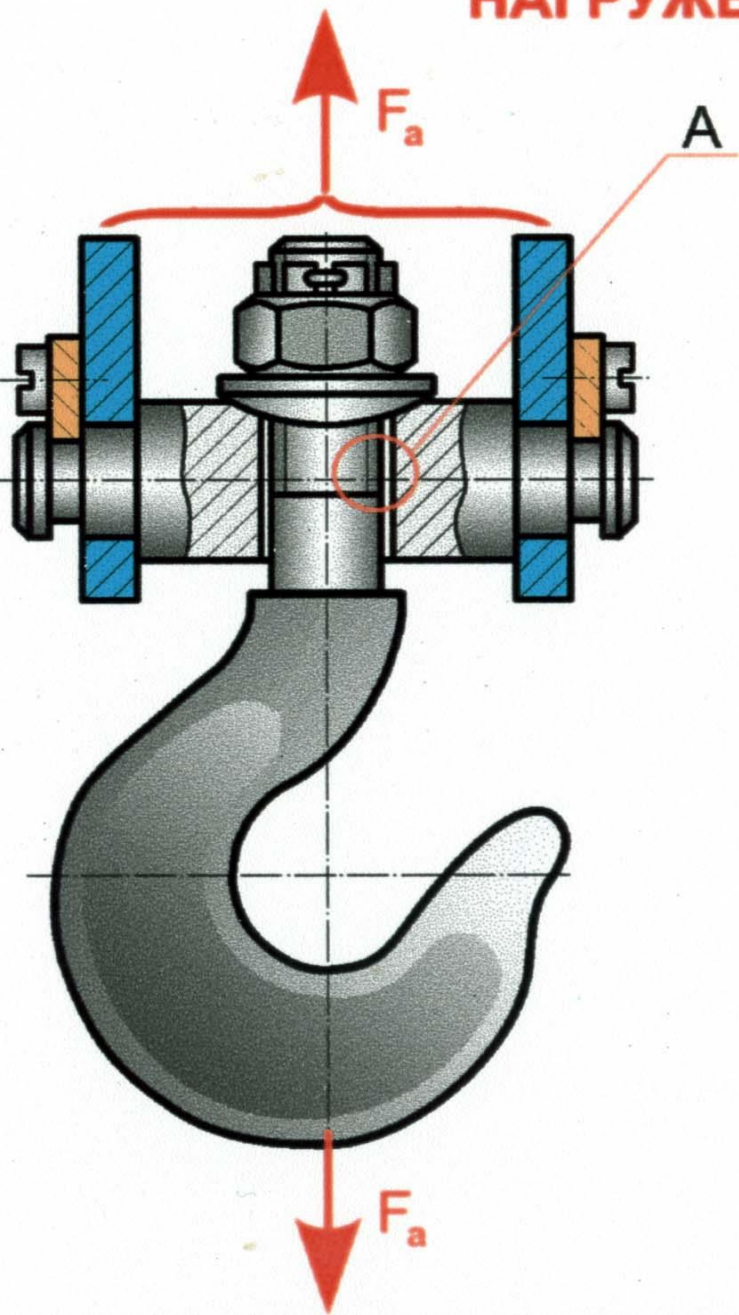
$$F_{\text{тр}} = F_a \cdot f$$



$$F_{\text{тр}} = F_n \cdot f = F_a \cdot f / \cos(\alpha/2) = F_a \cdot f',$$

где  $f' = f / \cos(\alpha/2)$

# БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЗАТЯЖКИ, НАГРУЖЕННОЕ ОСЕВОЙ СИЛОЙ



**Напряжения в стержне болта**

$$\sigma_p = 4F_a / (\pi \cdot d_1^2) \leq [\sigma]_p$$

**Внутренний диаметр болта определяют из расчета на растяжение**

$$d_1 \geq \sqrt{4F_a / (\pi \cdot [\sigma]_p)}$$

# ЗАТЯНУТОЕ БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ

При затяжке соединения болт испытывает сложное напряженное состояние - растяжение с кручением.

## Эквивалентные напряжения

$$\sigma_{\text{э}} = \sqrt{\sigma_p^2 + 3\tau_k^2} \leq [\sigma]_p.$$

## Напряжения растяжения от силы затяжки

$$\sigma_p = 4F_{\text{зат}} / (\pi \cdot d_1^2).$$

## Напряжения кручения при затяжке соединения моментом

$$\tau_k = T / W_p,$$

$$\text{где } T = 0,5F_{\text{зат}} \cdot d_2 \cdot \text{tg}(\psi + \rho');$$

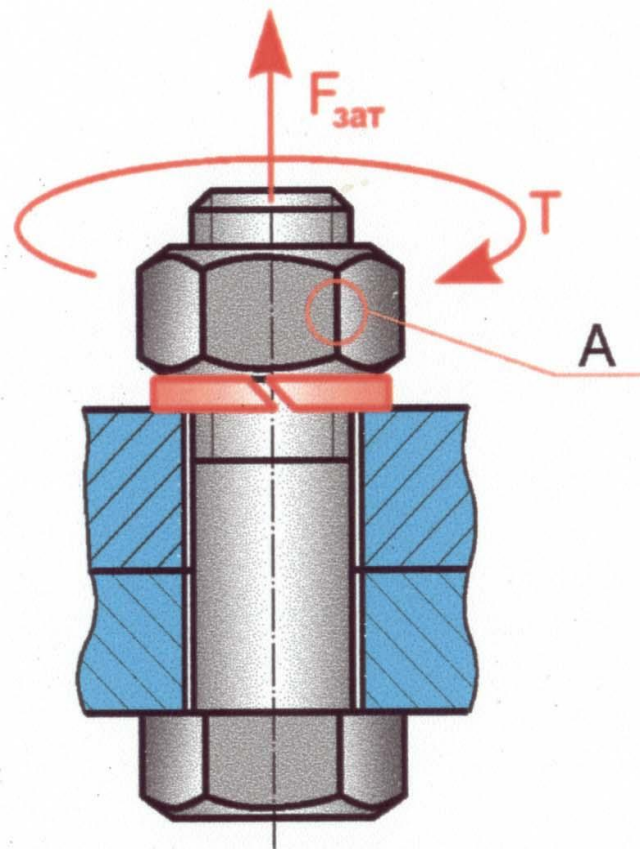
$$W_p = \pi \cdot d_1^3 / 16;$$

$\psi$  - угол подъема витка винтовой линии резьбы;  
 $\rho'$  - приведенный угол трения в резьбе.

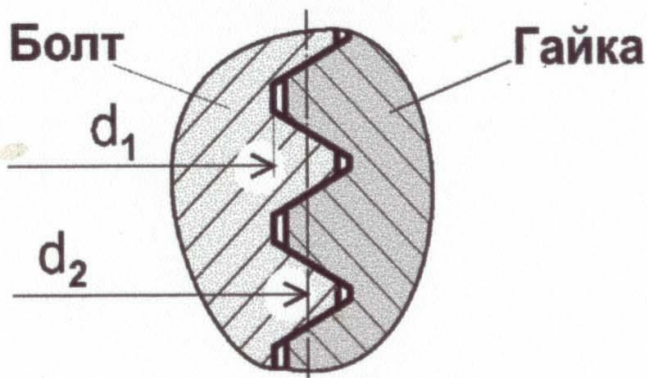
## Для геометрически подобных резьб

$$\sigma_{\text{э}} = \beta \cdot \sigma_p,$$

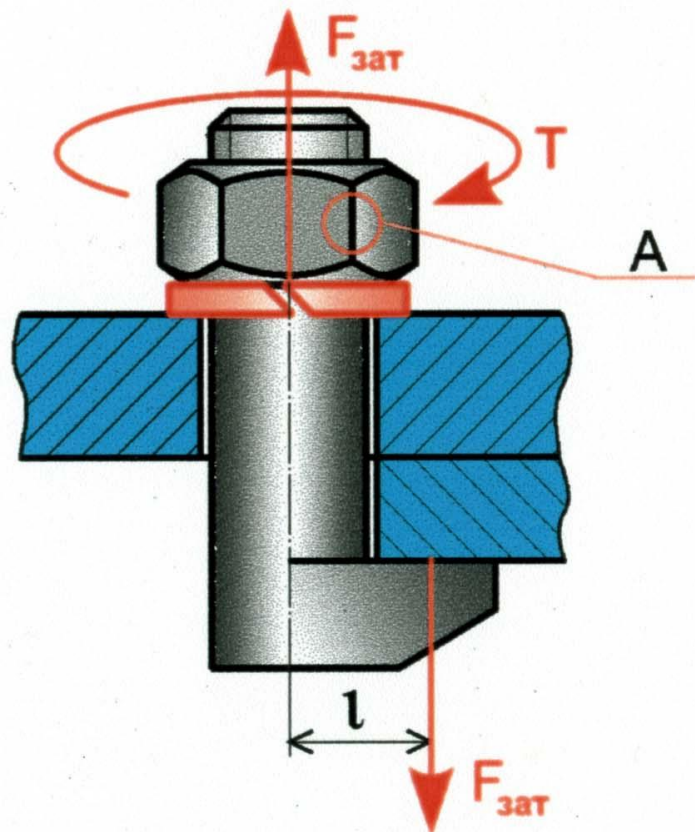
где  $\beta = 1,25 \dots 1,35$  - коэффициент, учитывающий скручивание болта при затяжке.



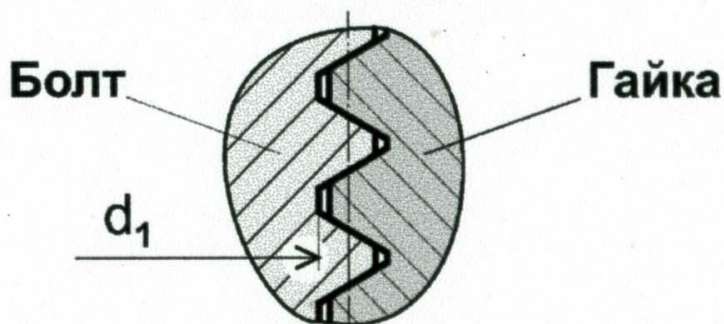
А (Увеличено)



# БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ С ЭКСЦЕНТРИЧНОЙ НАГРУЗКОЙ



А (Увеличено)



## Эквивалентные напряжения

$$\sigma_{\text{э}} = \beta \cdot \sigma_{\text{p}} + \sigma_{\text{и}} \leq [\sigma]_{\text{p}};$$

где  $\beta = 1,25 \dots 1,35$  - коэффициент, учитывающий скручивание болта при затяжке;

$\sigma_{\text{p}}$  - напряжения растяжения от силы затяжки;

$\sigma_{\text{и}}$  - напряжения изгиба от действия эксцентричной нагрузки.

## Напряжения растяжения

$$\sigma_{\text{p}} = 4F_{\text{зат}} / (\pi \cdot d_1^2).$$

## Напряжения изгиба

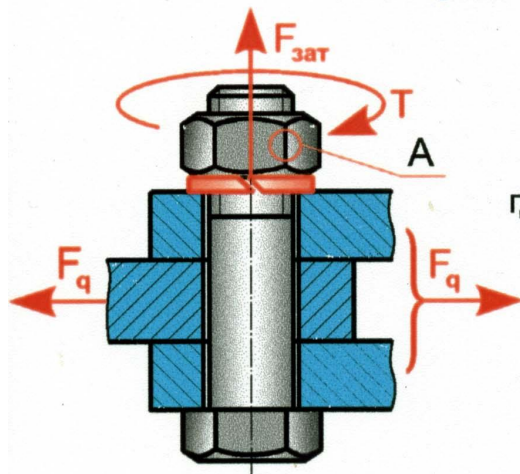
$$\sigma_{\text{и}} = M/W_x = F_{\text{зат}} \cdot l / (\pi \cdot d_1^3 / 32).$$

$$\text{При } l = d_1 \quad \sigma_{\text{и}} = 8 \cdot \sigma_{\text{p}}, \quad \sigma_{\text{э}} = \sigma_{\text{p}}(\beta + 8);$$

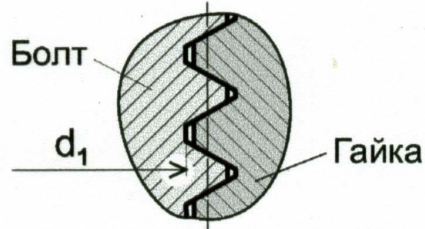
$$\sigma_{\text{э}} \gg \sigma_{\text{p}}.$$

# БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, НАГРУЖЕННОЕ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛОЙ

Болт установлен с зазором



A (Увеличено)



Потребная сила затяжки болта

$$F_{\text{зат}} = k \cdot F_q / f \cdot i,$$

где  $k = 1,5 \dots 2,0$  - запас сцепления;  
 $f$  - коэффициент трения в стыке;  
 $i = 2$  - число стыков в соединении.

Внутренний диаметр болта

из расчета на растяжение с учетом  
скручивания при затяжке

$$d_1 \geq \sqrt{4\beta \cdot F_{\text{зат}} / (\pi \cdot [\sigma]_p)},$$

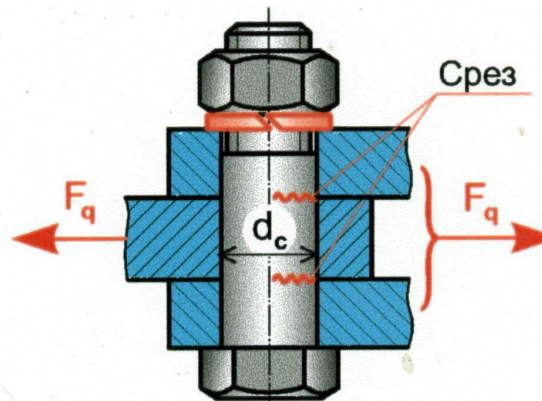
где  $\beta = 1,25 \dots 1,35$  - коэффициент,  
учитывающий скручивание  
болта при затяжке.

Болт установлен без зазора

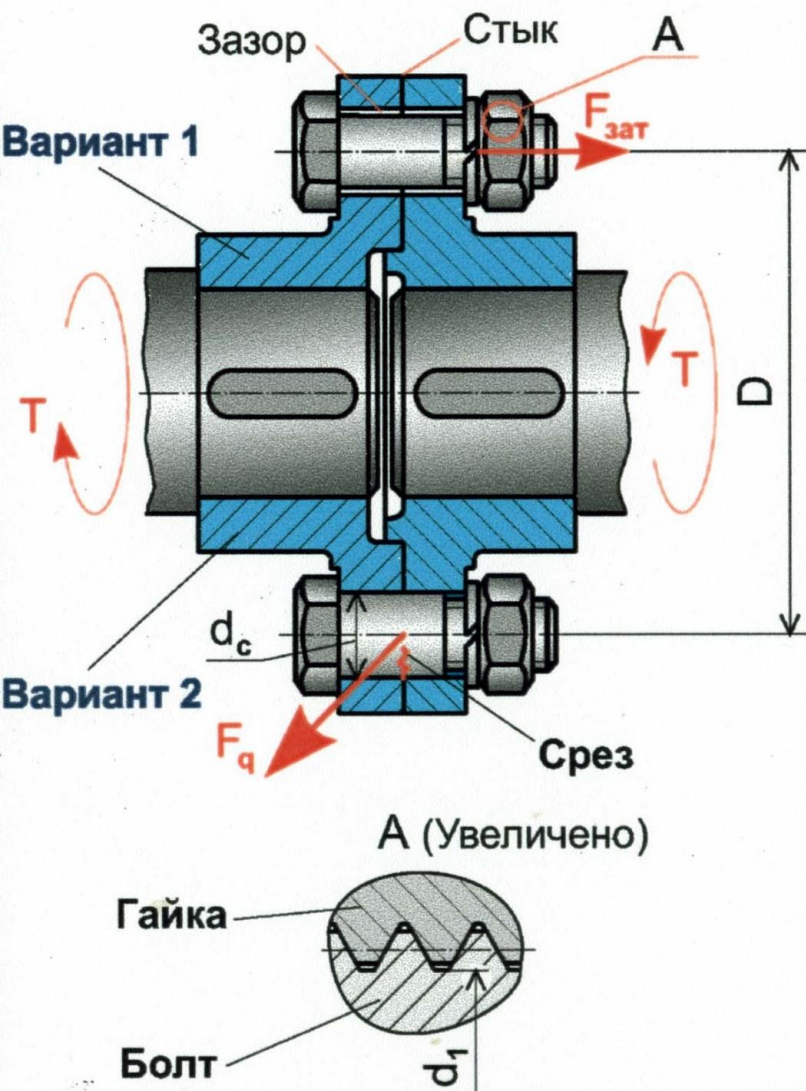
Диаметр стержня болта

из расчета на срез

$$d_c \geq \sqrt{4F_q / (\pi \cdot [\tau]_c \cdot i)}$$



# БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, НАГРУЖЕННОЕ МОМЕНТОМ В ПЛОСКОСТИ СТЫКА



## Вариант 1 - болт в отверстие установлен с зазором

В соединении с зазором момент передается силами трения в стыке

$$T = 0,5F_{зат} \cdot f \cdot z / (k \cdot D),$$

откуда усилие затяжки

$$F_{зат} = 2k \cdot T / (D \cdot f \cdot z)$$

и диаметр болта из расчета на растяжение

$$d_1 \geq \sqrt{4\beta \cdot F_{зат} / (\pi \cdot [\sigma]_p)},$$

где  $k = 1,5 \dots 2,0$  - запас сцепления;

$f$  - коэффициент трения в стыке;

$z$  - число болтов;

$\beta = 1,25 \dots 1,35$  - коэффициент, учитывающий скручивание болта при затяжке.

## Вариант 2 - болт в отверстие установлен без зазора

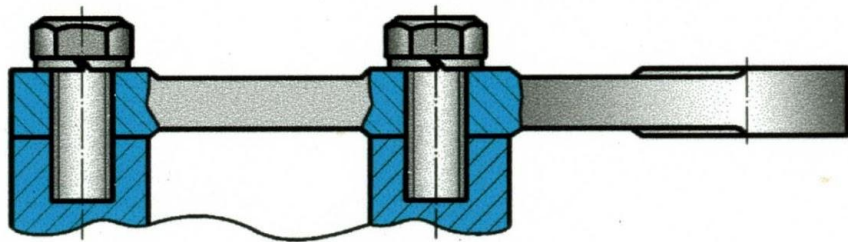
В соединении без зазора болт воспринимает поперечную (срезающую) нагрузку

$$F_q = 0,5T / (D \cdot z).$$

Диаметр стержня болта определяют из расчета на срез

$$d_c \geq \sqrt{4F_q / (\pi \cdot [\tau]_c)}.$$

## БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, НАГРУЖЕННОЕ СИЛОЙ И МОМЕНТОМ В ПЛОСКОСТИ СТЫКА



Действие силы  $F$  на плече  $L$  заменяют сдвигающей силой  $F_q$ , приложенной в центре масс стыка, и моментом

$$T = F \cdot L.$$

**Сдвигающая сила, действующая на  $i$ -й болт**

$$F_{qi} = F_q / z,$$

где  $z$  - количество болтов;

$i$  - номер болта.

**Условие равновесия стыка от момента**

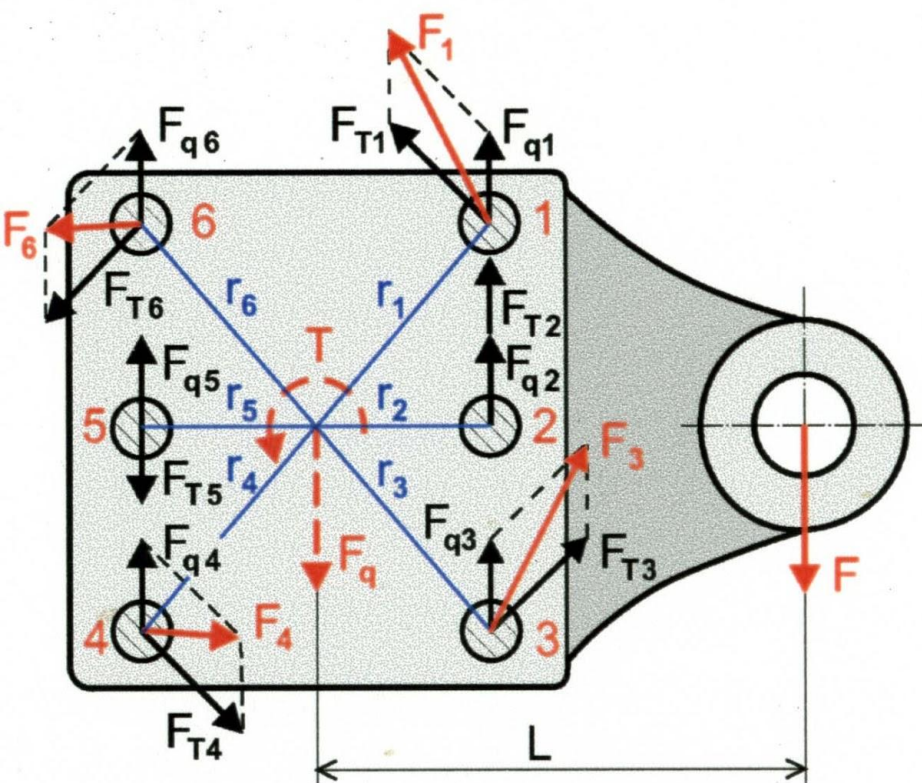
$$T = \sum_{i=1}^z F_{Ti} \cdot r_i.$$

**Сила, действующая на  $i$ -й болт от момента**

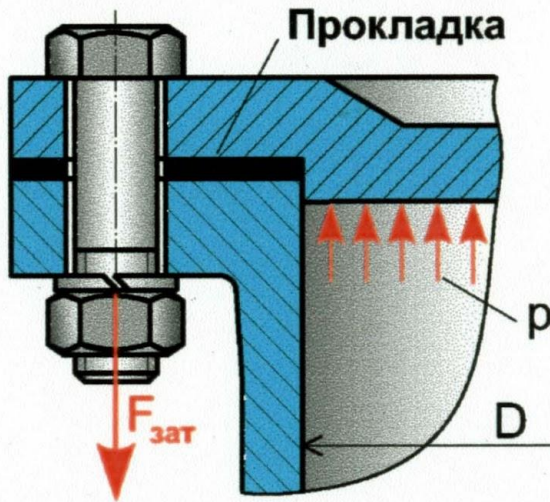
$$F_{Ti} = T \cdot r_i / \sum_{i=1}^z r_i^2.$$

**Суммарная нагрузка на каждый болт  
(в векторной форме)**

$$\vec{F}_i = \vec{F}_{qi} + \vec{F}_{ti}.$$



## БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, НАГРУЖЕННОЕ ОСЕВОЙ СИЛОЙ, РАСКРЫВАЮЩЕЙ СТЫК ДЕТАЛЕЙ



**Внешняя нагрузка на болт**

$$F = p \cdot \pi \cdot D^2 / (4z),$$

где  $p$  - давление в резервуаре;  $z$  - число болтов.

**Наибольшая нагрузка на болт**

$$F_{\max} = F_{\text{зат}} + \chi \cdot F,$$

где  $\chi = \lambda_{\text{д}} / (\lambda_{\text{д}} + \lambda_{\text{б}})$  - коэффициент внешней нагрузки;  $\lambda_{\text{д}}$  - податливость деталей стыка;  $\lambda_{\text{б}}$  - податливость болта. Для жестких стыков  $\chi = 0,2 \dots 0,3$ .

**Усилие затяжки болта из условия нераскрытия стыка**

$$F_{\text{зат}} = k(1 - \chi)F,$$

где  $k = 1,3 \dots 4$  - коэффициент затяжки.

**Расчетная нагрузка болта**

$$F_{\text{р}} = \beta \cdot F_{\text{зат}} + \chi \cdot F,$$

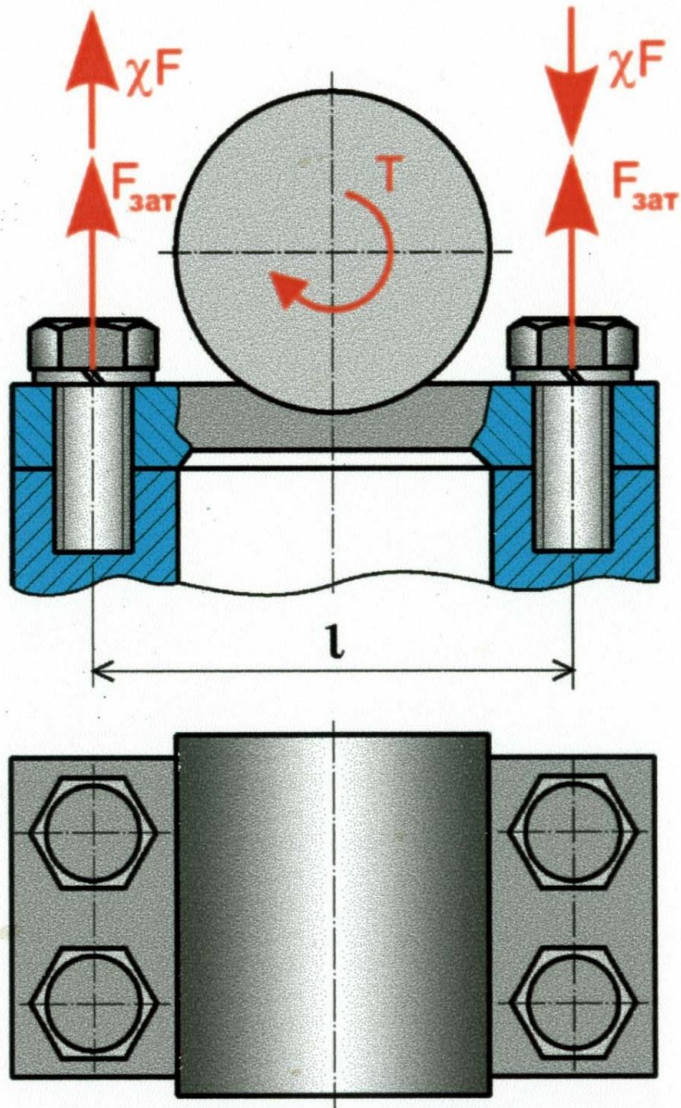
где  $\beta = 1,25 \dots 1,35$  - коэффициент, учитывающий скручивание болта при затяжке.

**Диаграмма сил в болтовом соединении**





# БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, НАГРУЖЕННОЕ ОПРОКИДЫВАЮЩИМ МОМЕНТОМ



**Внешняя нагрузка на болт**

$$F = T/(2l).$$

**Усилие затяжки болта из условия нераскрытия стыка**

$$F_{\text{зат}} = k \cdot (1 - \chi) \cdot F,$$

где  $k = 1,3 \dots 4$  - коэффициент затяжки;

$\chi = \lambda_{\text{д}} / (\lambda_{\text{д}} + \lambda_{\text{б}})$  - коэффициент внешней нагрузки;

$\lambda_{\text{д}}$  - податливость деталей стыка;

$\lambda_{\text{б}}$  - податливость болта.

Для жестких стыков  $\chi = 0,2 \dots 0,3$ .

**Расчетная нагрузка на болт**

$$F_{\text{р}} = \beta \cdot F_{\text{зат}} + \chi \cdot F,$$

где  $\beta = 1,25 \dots 1,35$  - коэффициент, учитывающий скручивание болта при затяжке.

# БОЛТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, НАГРУЖЕННОЕ СИЛОЙ И МОМЕНТОМ, РАСКРЫВАЮЩИМИ СТЫК

Внешняя осевая нагрузка на каждый из четырех болтов крепления кронштейна:

от отрывающей силы

$$F_{ai} = F_a / 4,$$

от опрокидывающего момента

$$F_{Ti} = T / (2l),$$

$$\text{где } T = F_q \cdot l_2 - F_a \cdot l_1.$$

**Усилие затяжки болта  
из условия нераскрытия стыка**

$$F_{зат} = k \cdot (1 - \chi) \cdot (F_{ai} + F_{Ti}),$$

где  $k = 1,3 \dots 4$  - коэффициент затяжки;

$\chi = \lambda_d / (\lambda_d + \lambda_b)$  - коэффициент внешней нагрузки;  $\lambda_d$  - податливость деталей

стыка;  $\lambda_b$  - податливость болта.

Для жестких стыков  $\chi = 0,2 \dots 0,3$ .

**Расчетная осевая нагрузка на болт**

$$F_p = \beta \cdot F_{зат} + \chi (F_{ai} + F_{Ti}),$$

где  $\beta = 1,25 \dots 1,35$  - коэффициент, учитывающий скручивание болта при затяжке.

