

Дата **12.12.2022.** Группа: ХКМ 2/1. Курс второй. Семестр:3

Дисциплина: Техническая механика

Специальность: 15.02.06 «Монтаж и техническая эксплуатация холодильно-компрессорных машин и установок (по отраслям)»

Тема занятия: Практические расчеты на срез и смятие

Цель занятия:

–*методическая*– совершенствование методики проведения лекционного занятия; сочетание инновационных методов обучения с традиционной методикой преподавания;

–*учебная*– дать представление студентам о методах расчета нормальных сил и напряжений в поперечных сечениях бруса при растяжении (сжатии);

Вид занятия: Лекция

Рекомендуемая литература

Основная литература:

1.Никитин Е.М. Теоретическая механика для техникумов. М.: Высшая школа, 2014

2.Олофинская В.П. Техническая механика. Сборник тестовых заданий. – Москва, Форум, Инфра М, 2014.

3. Аркуша А.И. Техническая механика. – Москва, Высшая школа, 2013.

Дополнительная литература:

1. Аркуша А.И. Руководство к решению задач по теоретической механике. - М.: Высшая школа, 2012.

<https://yandex.ru/video/preview/15142905881932020206> Срез и смятие

Тема: Практические расчеты на срез и смятие (4 часа)

1. Срез, основные расчетные предпосылки, расчетные формулы
2. Срез. Условие прочности
3. Смятие, основные расчетные предпосылки, расчетные формулы

4. Практические расчеты на срез и смятие

5. Примеры расчетов

1. Срез, основные расчетные предпосылки, расчетные формулы

Сдвигом называется нагружение, при котором в поперечном сечении бруса возникает только один внутренний силовой фактор - поперечная сила.

Рассмотрим брус, на который действуют две силы, равные по величине (рис. 20) и противоположно направленные. Эти силы перпендикулярны к оси бруса, и расстояние между ними ничтожно мало. При достаточной величине этих сил происходит срез.

Левая часть тела отделяется от правой по некоторому сечению AB . Деформация, предшествующая срезу, которая заключается в перекашивании прямых углов элементарного параллелепипеда, называется сдвигом. На рис. 20, б показан сдвиг, происходящий в параллелепипеде до среза; прямоугольник $abcd$ превращается в параллелограмм $abcd'$. Величина CC' , на которую сечение cd сдвинулось относительно соседнего сечения ab , называется абсолютным сдвигом. Угол γ , на который изменяются прямые углы параллелепипеда, называется относительным сдвигом.

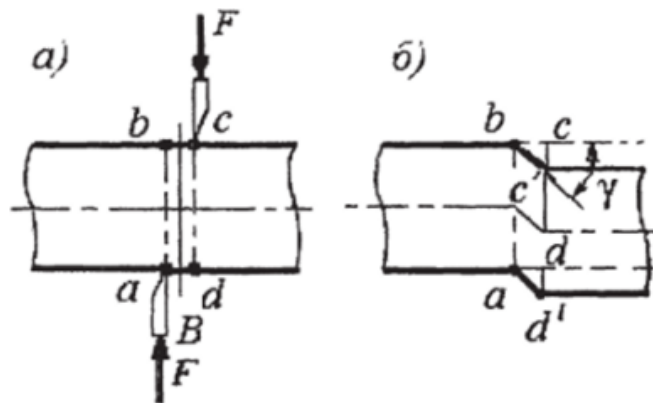


Рис. 20. Схема деформации сдвига: а) перерезывающие силы,

Очевидно, что в сечении AB из шести внутренних силовых факторов будет возникать только поперечная сила Q , равная силе F .

Данная поперечная сила Q вызывает появление только касательных напряжений τ .

Подобная картина наблюдается в деталях, служащих для соединения отдельных элементов машин, - заклепках, штифтах, болтах и т. п., так как они во многих случаях воспринимают нагрузки, перпендикулярные их продольной оси.

Поперечная нагрузка в указанных деталях возникает, в частности, при растяжении (сжатии) соединяемых элементов. На рис. 21 приведены примеры штифтового (а), заклепочного (б), болтового (в) и шпоночного (г) соединений. Такой же характер нагружения соединительных деталей имеет место и при передаче вращающего момента, например в соединении шестерни с валом с помощью штифта, который при передаче момента от шестерни к валу (или наоборот) несет нагрузку, перпендикулярную его оси.

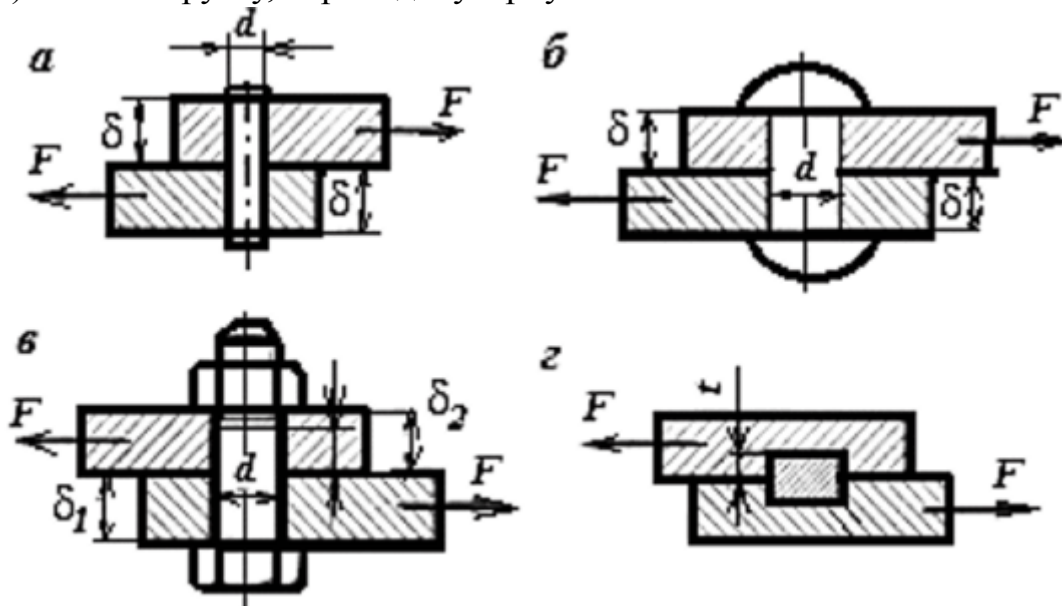


Рис. 21. Схемы соединений:
а) штифтового; б) заклепочного; в) болтового; г) шпоночного

2. Срез. Условие прочности

Практические расчеты этих деталей носят весьма условный характер и базируются на следующих основных допущениях:

1. В поперечном сечении возникает только один внутренний силовой фактор - поперечная сила Q .
2. Касательные напряжения, возникающие в поперечном сечении, распределены по его площади равномерно.

3. В случае, если соединение осуществлено несколькими одинаковыми деталями (болтами и т. п.), принимается, что все они нагружены одинаково.

Разрушение соединительных элементов (в случае недостаточной прочности) происходит в результате их перерезывания по плоскости, совпадающей с поверхностью соприкосновения соединяемых деталей (см. рис. 21,б). Поэтому говорят, что эти элементы работают на срез, и возникающие в их поперечном сечении касательные напряжения также называют *напряжениями среза* и обозначают $\tau_{ср}$.

На основе сформулированных выше допущений получаем следующее условие прочности на срез:

$$\tau_{ср} = \frac{Q}{\Sigma A_{ср}} \leq [\tau_{ср}], \quad (30)$$

где $\tau_{ср}$ - расчетное напряжение среза, возникающее в поперечном сечении рассчитываемой детали; Q - поперечная сила, вызывающая срез соединительных элементов (болтов, заклепок и т. п.); $[\tau_{ср}]$ - допускаемое напряжение на срез, зависящее от материала соединительных элементов и условий работы конструкции; $\Sigma A_{ср}$ - суммарная площадь среза.

Формула (30) является зависимостью для проверочного расчета соединения на срез. В зависимости от постановки задачи она может быть преобразована для определения допускаемой нагрузки или требуемой площади сечения (проектный расчет).

3. Смятие, основные расчетные предпосылки, расчетные формулы

Расчет на срез обеспечивает прочность соединительных элементов, но не гарантирует надежности конструкции (узла) в целом. Если толщина соединяемых элементов недостаточна, то давления, возникающие между стенками их отверстий и соединительными деталями, получаются недопустимо большими. В результате стенки отверстий обминаются и соединение становится ненадежным. В случае, если изменение формы отверстия значительно (при больших давлениях), а расстояние от его центра до края элемента невелико, часть элемента может срезаться (выколоться).

При этом давления, возникающие между поверхностями отверстий и соединительных деталей (рис.22, а), принято называть *напряжениями смятия* и обозначать их $\sigma_{с*}$. Соответственно расчет, обеспечивающий выбор таких размеров деталей, при которых не будет значительных деформаций

стенок отверстий, называют расчетом на смятие. Распределение напряжений смятия на поверхности контакта деталей весьма неопределенно (рис. 22, б) и в значительной степени зависит от зазора (в ненагруженном состоянии) между стенками отверстия и болтом (заклепкой и др.).

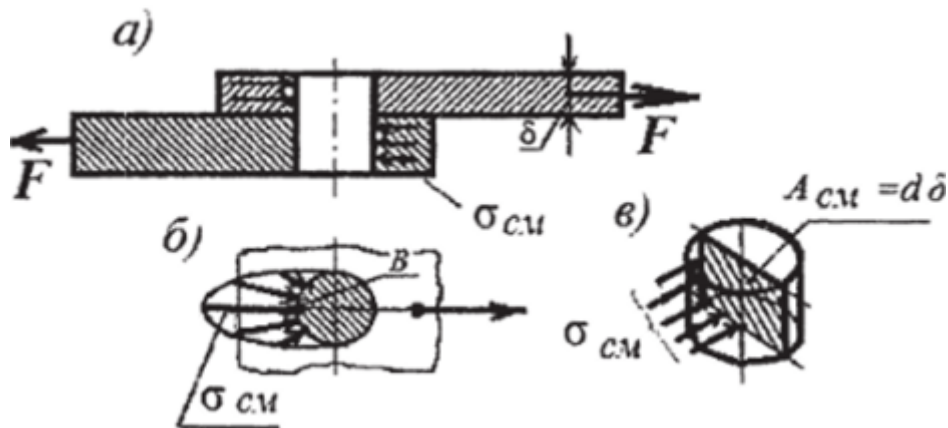


Рис. 22. Передача давлений на стержень заклепки: а) общий вид заклепочного соединения; б) распределение напряжений по образующей; в) площадь смятия заклепки

Расчет на смятие также носит условный характер и ведется в предположении, что силы взаимодействия между деталями равномерно распределены по поверхности контакта и во всех точках нормальны к этой поверхности.

Соответствующая расчетная формула имеет вид

$$\sigma_{cm} = \frac{F}{\Sigma A_{cm}} \leq [\sigma_{cm}], \quad (31)$$

где F - нагрузка, вызывающая смятие; ΣA_{cm} - суммарная площадь смятия; $[\sigma_{cm}]$ — допускаемое напряжение на смятие, устанавливаемое опытным путем. В расчетах принимают: $[\sigma_{cm}] = (2, \dots 2,5)[\sigma_{cm}]$ - *допускаемое напряжение на сжатие того из контактирующих материалов, прочность которого меньше.*

За расчетную площадь смятия при контакте по плоскости (рис. 21, з) принимают действительную площадь соприкосновения $A_{cm} = l-l$, где l — размер шпонки в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа; при контакте по цилиндрической поверхности (см. рис. 21, а, б, в и рис. 22, а, в) за расчетную площадь принимают площадь проекции поверхности контакта на диаметральную плоскость, т. е. $A_{cm} = d-d$. При различной толщине соединяемых деталей в расчетную формулу следует подставлять $d, i, \dots$. Суммарная площадь смятия $\Sigma A_{cm} = A_{cm} \cdot z$ (где z - число соединительных элементов).

Помимо расчетов на срез и смятие необходима *проверка прочности соединяемых элементов на растяжение по ослабленному сечению*. При этом площадь поперечного сечения принимается с учетом ослаблений:

$$\sigma = \frac{F}{A_{\text{осл.сеч}}} \leq [\sigma], \quad (32)$$

где $A_{\text{осл.сеч}}$ - площадь ослабленного сечения.

На рис. 23 показано болтовое соединение. Силы F стремятся сдвинуть листы относительно друг друга. Этому препятствует болт, на который со стороны каждого листа передаются распределенные по контактной поверхности силы, равнодействующие которых равны F . Эти силы стремятся срезать болт по плоскости раздела листов $m - л$, так как в этом сечении действует максимальная поперечная сила $Q = F$.

Считая, что касательные напряжения распределены равномерно,

получаем
$$\tau = \frac{Q}{A} = \frac{F \cdot 4}{\pi d^2}.$$

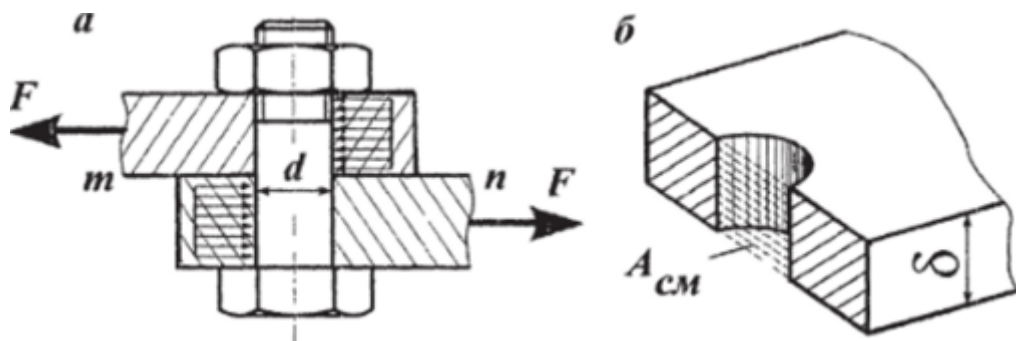


Рис. 23. Болтовое соединение: а) общий вид; б) площадь смятия

Таким образом, условие прочности болта на срез принимает вид

$$\frac{4P}{\pi d^2} \leq [\tau].$$

Отсюда можно найти диаметр болта:

$$d \geq \sqrt{\frac{4P}{\pi[\tau]}}.$$

При расчете данного болтового соединения следует учитывать, что нагрузки, приложенные к элементам соединений, помимо среза вызывают *смятие контактирующих поверхностей*.

$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}}$$

где $A_{см}$ - представляет собой площадь проекции поверхности контакта на диаметрально плоскость (см. рис. 22, б, в): $A_{см} = 3 d$.

Тогда условие прочности на смятие болтового соединения (см. рис. 23)

откуда получаем

$$\sigma_{см} = \frac{F}{\delta \cdot d} \leq [\sigma_{см}], \quad d \geq \frac{F}{\delta \cdot [\sigma_{см}]}$$

Чтобы были удовлетворены условия прочности на срез и на смятие, из двух найденных диаметров следует взять больший, округлив его до стандартного значения.

На срез принято рассчитывать и некоторые сварные соединения (рис. 24).

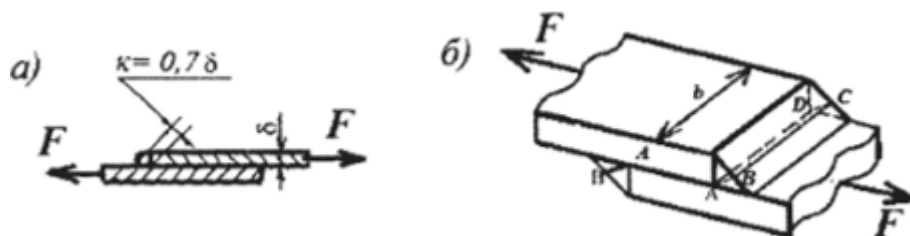


Рис. 24. Схема сварного соединения: а) расчетная схема углового шва; б) площадь среза $ABCD$ сварного шва

Если не учитывать наплывы, то в разрезе угловой шов имеет форму равнобедренного прямоугольного треугольника (см. рис. 24, а). Разрушение шва будет происходить по его минимальному сечению $ABCD$ (см. рис. 24, б), высота которого $\kappa = 3 - \cos 45^\circ = 0,73$.

4. Практические расчеты на срез и смятие

Детали, работающие на сдвиг (срез) и смятие

1. Ось (рис. 25, а). В случае, если толщина детали 2 меньше, $A_{ср} = \pi d$;

$$A_{ср} = \frac{\pi d^2}{4} i,$$

где i — количество плоскостей (площадей) среза.

2. Болт (рис. 25, б). В этом случае

$$A_{\text{см}} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$$

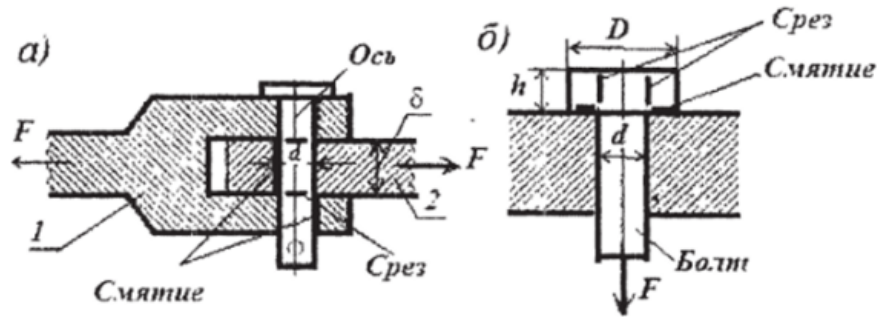


Рис. 25. Соединения деталей: а) осью; б) болтом

3. Заклепка односрезная (рис. 26, а) двухсрезная (рис. 26, б).

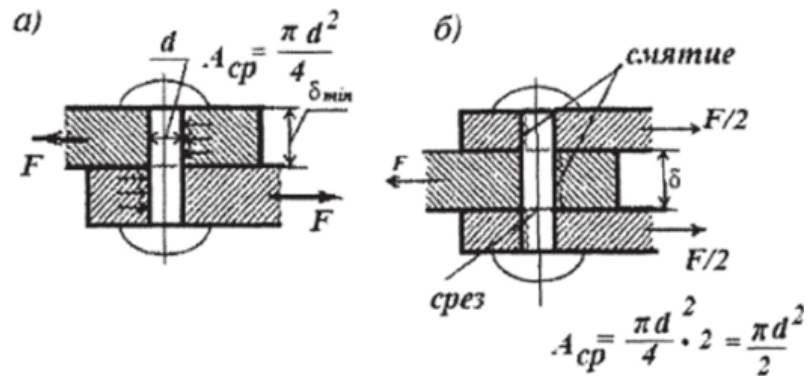


Рис. 26. Расчетная схема заклепочного соединения: а) с одной плоскостью среза; б) с двумя плоскостями среза

4. Шпонки (рис. 27, а) работают на срез и смятие, но рассчитываются, в основном, только на смятие.

5. Сварное соединение (рис. 27, б).

Угловой шов разрушается под углом 45° к плоскости разреза в результате среза: k - катет углового шва, подбирается по толщине свариваемого листа.

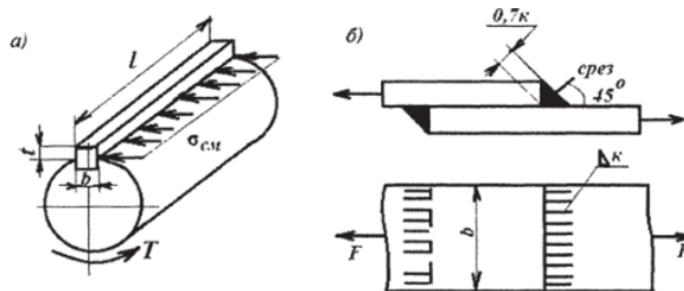


Рис. 27. Соединения: а) шпоночное; б) сварное

5. Примеры расчетов

Пример 1. Определить требуемое число заклепок в соединении двух листов, нагруженных силами $F = 85$ кН (рис. 28). Диаметр заклепок $d = 16$ мм. Допускаемые напряжения $[\tau_{cp}] = 100$ МПа, $[\sigma_{см}] = 240$ МПа.

Решение:

Из условия прочности на срез

$$\tau_{cp} = \frac{F}{z \cdot A_{cp}} \leq [\tau_{cp}],$$

где $A_{cp} = \pi d^2 / 4$ - площадь среза; z - количество заклепок.

Тогда
$$z \geq \frac{4 \cdot F}{\pi d^2 [\tau_{cp}]} = \frac{4 \cdot 85 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 16^2 \cdot 100} = 4,23 \approx 5.$$



Рис. 28. К примеру расчета заклепочного соединения

Из условия прочности на смятие
$$\sigma_{см} = \frac{F}{z \cdot A_{см}} \leq [\sigma_{см}],$$
 где $A_{см}$ - площадь смятия; z - количество заклепок, получаем

$$z \geq \frac{F}{\delta \cdot d [\sigma_{см}]} = \frac{85 \cdot 10^3}{10 \cdot 16 \cdot 240} = 2,21 \approx 3.$$

Вывод: для того чтобы не произошло ни среза, ни смятия заклепок, следует установить пять заклепок.

Пример 2. Стальной болт (рис. 29) нагружен силой $F = 120$ кН. Определить его диаметр d и высоту головки H , если допускаемые напряжения $[\sigma_p] = 120$ МПа, $[\tau_{cp}] = 60$ МПа.

Решение:

Определим диаметр болта из условия прочности на растяжение:

$$\sigma_p = \frac{F \cdot 4}{\pi d^2} \leq [\sigma_p],$$

откуда

$$d \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma_p]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 120 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 120}} = 35,69 \text{ мм}.$$

С некоторым округлением принимаем $d = 36$ мм.

Головка болта может срезаться по цилиндрической поверхности, условно отмеченной на рис. 29 волнистыми линиями. Площадь этой поверхности A_{cp}

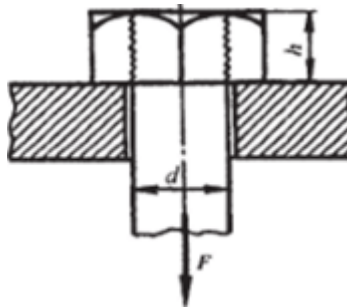


Рис. 29. Пример расчета болтового соединения

Условие прочности на срез

$$\tau_{cp} = \frac{F}{\pi \cdot d h} \leq [\tau_{cp}],$$

откуда

$$h \geq \frac{F}{\pi d [\tau_{cp}]} = \frac{120 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 36 \cdot 60} = 17,7 \text{ мм.}$$

Округляя, окончательно принимаем $h = 18 \text{ мм.}$

Пример 3. Проверить, удовлетворяют ли условию прочности лобовые швы двух стальных полос, сваренных внахлестку (рис. 30) и находящихся под нагрузкой $F = 120 \text{ кН.}$ Допускаемое напряжение $[\tau] = 80 \text{ МПа.}$ Ширина полос $b = 150 \text{ мм}$ и толщина их $\delta = 10 \text{ мм.}$

Решение:

Соединение может разрушиться от разрыва лобовых швов по вертикальным катетам cc' или от среза этих швов по горизонтальным катетам cc'' . Однако практика показывает, что шов разрушается по биссекторному сечению, высота которого

$$ac = k \cos 45^\circ \approx 0,7 k,$$

где k - катет шва, в нашем случае $k = \delta$.

Такой шов рассчитывают условно на срез по биссекторному сечению из условия прочности:

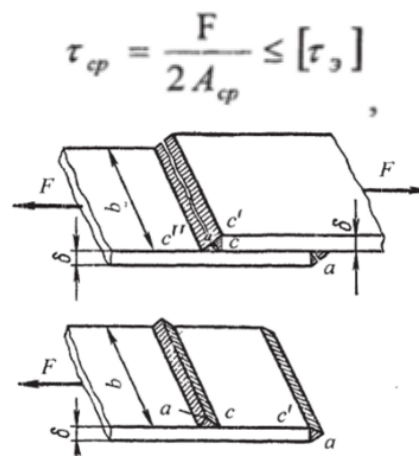


Рис. 30. Пример расчета сварного соединения

$$\tau_{cp} = \frac{F}{2 \cdot 0,7 \cdot \delta \cdot b} = \frac{120 \cdot 10^3}{1,4 \cdot 10 \cdot 150} = 57 \text{ МПа} \leq [\tau_s] = 80 \text{ МПа.}$$

Вывод: швы недогружены.

Пример 4. Вал передает крутящий момент, равный 27 кН м при помощи шлицевого соединения (рис. 31). Диаметр вала $D = 80$ мм, внутренний диаметр $d = 68$ мм, высота шлица $h = 6$ мм, ширина шлица $b = 12$ мм, длина соединения $l = 100$ мм. Число шлицев $z = 6$. Определить напряжения среза и смятия шлица.

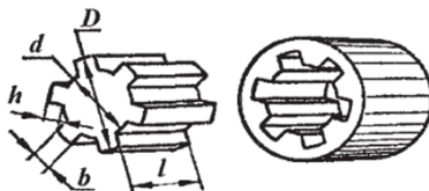


Рис. 31. Расчет шлицевого соединения

Решение:

Полагая, что все шлицы нагружены одинаково, найдем усилие, приходящееся на один шлиц:

$$F_1 = \frac{T \cdot 2}{d \cdot z} = \frac{27 \cdot 10^3 \cdot 2}{68 \cdot 6} = 132\,353 \text{ Н.}$$

Определим напряжение среза:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F_1}{b \cdot l} = \frac{132353}{12 \cdot 100} = 110,3 \text{ МПа.}$$

Определим

напряжение

смятия:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F_1}{l \cdot h} = \frac{132353}{100 \cdot 6} = 220,6 \text{ МПа.}$$

Задание для самостоятельной работы:

1. Ознакомится с вопросом 4, вопрос 5 - разобраться в решении примеров и выписать один из них в рабочую тетрадь

2. Фотографии отчета прислать в личном сообщении ВК <https://vk.com/id139705283>

На фотографиях сверху должна быть фамилия, дата выдачи задания, группа, дисциплина. Например: «Иванов И.И, **12.12.2022**, группа ХКМ 2/1, Техническая механика».