

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра механики материалов, конструкций и машин

О.А. Фролова, Е.В. Пояркова

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СТЕРЖНЕЙ ПРИ СРЕЗЕ И СМЯТИИ

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 15.03.01 Машиностроение, 08.03.01 Строительство

Оренбург
2018

УДК 669.15
ББК 34.5
Ф 22

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

Фролова, О.А.

Ф 22 Расчет на прочность стержня при срезе и смятии: методические указания / О.А. Фролова, Е.В. Пояркова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 23 с.

В методических указаниях приведены краткие теоретические сведения по расчету стержней на срез и смятие. Приведены исходные данные, порядок выполнения работ. Представлены контрольные вопросы для самопроверки.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ и организации самостоятельной работы обучающихся по образовательным программам высшего образования направлений подготовки 15.03.01 Машиностроение по дисциплине «Машиноведение», 08.03.01 Строительство по дисциплине «Соппротивление материалов».

УДК 669.15
ББК 34.5

© Фролова О.А.,
© Пояркова Е.В., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

Введение	4
1 Теоретическая часть	5
1.1 Краткие теоретические сведения	5
1.2 Вопросы для самопроверки	8
2 Лабораторная работа «Проектировочный расчет стержня при срезе и смятии» ..	9
2.1 Цель работы, задачи, инструменты	9
2.2 Исходные данные	9
2.3 Порядок выполнения работы	10
2.4 Отчет по лабораторной работе «Проектировочный расчет стержня при срезе и смятии»	14
2.5 Контрольные вопросы	15
3 Лабораторная работа «Расчет на прочность соединения стержня и чеки»	15
3.1 Цель работы, задачи, инструменты	15
3.2 Исходные данные	16
3.3 Порядок выполнения работы	17
3.4 Отчет по лабораторной работе «Расчет на прочность соединения стержня и чеки»	21
3.5 Контрольные вопросы	22
Список использованных источников	23

Введение

В некоторых конструкциях по отдельным сечениям действуют значительные касательные и нормальные напряжения. Так как нормальные напряжения в них значительно меньше касательных, то в приближенных расчетах учитываются лишь касательные напряжения, а указанные сечения при этом рассматриваются как площадки чистого сдвига. Такие расчеты называются расчетами на срез или смятие.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ и организации самостоятельной работы обучающихся по образовательной программе высшего образования направлений подготовки 15.03.01 Машиностроение по дисциплине «Машиноведение», 08.03.01 Строительство по дисциплине «Сопротивление материалов».

Результаты освоения дисциплин направлены на формирование компетенций:

– ОПК-1 умением использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (направление 15.03.01 Машиностроение);

– ОПК-2 способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат (направление 08.03.01 Строительство).

1 Теоретическая часть

1.1 Краткие теоретические сведения

В соединениях, работающих на сдвиг, расчет ведут на срез и на смятие металла соединяемых элементов. При расчете на растяжение элементов соединения проводят расчет прочности на растяжение, при этом учитывают площадь стержня нетто (по диаметру нарезанной части).

Центральное растяжение (сжатие) – такой вид нагружения стержня, при котором в его поперечных сечениях из шести внутренних силовых факторов (ВСФ) возникают только продольные (нормальные) силы, а остальные внутренние силовые факторы равны нулю.

Под действием продольной силы F в сечении стержня возникает нормальное напряжение σ_p :

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p}, \quad (1.1)$$

где A_p – площадь растяжения.

Условие прочности выражается неравенством:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p], \quad (1.2)$$

где $[\sigma_p]$ – допускаемое напряжение на растяжение.

В зависимости от поставленной задачи различают следующие виды расчета на прочность при растяжении (сжатии) стержня:

– проверочный расчет

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p} \leq [\sigma_p]; \quad (1.3)$$

– проектировочный расчет

$$A_p \geq \frac{|F|}{[\sigma_p]}; \quad (1.4)$$

– определение допускаемого значения продольной силы

$$F \leq A_p \cdot [\sigma_p]. \quad (1.5)$$

Срез – разрушение соединительных деталей под действием поперечных нагрузок (перпендикулярных осям этих деталей).

Например, разрушение штифта может произойти при штифтовом соединении двух деталей, которые нагружены двумя противоположно направленными силами. Вместо штифта может быть шпонка, болт, шпилька, заклепка.

Под действием внешней силы F , действующей на соединенные листы, стержень (болт) испытывает деформацию среза по поперечному сечению.

Под действием поперечной силы в сечении возникает касательное напряжение среза $\tau_{ср}$:

$$\tau_{ср} = \frac{F}{n \cdot m \cdot A_{ср}}, \quad (1.7)$$

где $A_{ср}$ – площадь среза;

n – число соединительных деталей (болтов, штифтов, заклепок);

m – число плоскостей срезов.

Условие прочности на срез имеет вид:

$$\tau_{ср} \leq [\tau_{ср}]; \quad (1.8)$$

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

В зависимости от поставленной задачи различают следующие виды расчета на прочность при срезе:

– проверочный расчет

$$\tau_{cp} = \frac{F}{n \cdot m \cdot A_{cp}} \leq [\tau_{cp}]; \quad (1.9)$$

– проектировочный расчет

$$A_{cp} \geq \frac{|F|}{n \cdot m \cdot [\tau_{cp}]}; \quad (1.10)$$

– определение допускаемого значения продольной силы

$$F \leq n \cdot A_{cp} \cdot [\tau_{cp}]. \quad (1.12)$$

Смятие – это местная деформация сжатия от давления между поверхностями соединительной детали и отверстия.

Расчёты на срез обеспечивают прочность соединительных элементов, но не гарантируют надёжности 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 ненадёжным.

На боковой поверхности стержня возникает нормальное напряжение смятия $\sigma_{см}$:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{n \cdot A_{см}}, \quad (1.13)$$

где $A_{см}$ – площадь смятия;

n – число соединительных элементов.

Условие прочности на смятие имеет вид:

$$\sigma_{см} \leq [\sigma_{см}], \quad (1.14)$$

где $[\sigma_{см}]$ – допускаемое напряжение на смятие.

В зависимости от поставленной задачи различают следующие виды расчета на прочность при смятии:

– проверочный расчет

$$\sigma_{см} = \frac{F}{n \cdot A_{см}} \leq [\sigma_{см}]; \quad (1.15)$$

– проектировочный расчет

$$A_{см} \geq \frac{|F|}{n \cdot [\sigma_{см}]}; \quad (1.16)$$

– определение допускаемого значения продольной силы

$$F \leq n \cdot A_{см} \cdot [\sigma_{см}]. \quad (1.17)$$

1.2 Вопросы для самопроверки

После выполнения лабораторной работы при подготовке к защите необходимо (устно) ответить на контрольные вопросы:

- 1 Какое состояние называется растяжением (сжатием)?
- 2 Какое напряжение называется допускаемым?
- 3 Какой вид имеет условие прочности при растяжении (сжатии)?
- 4 Какие задачи решаются по условию прочности при растяжении (сжатии)?
- 9 Какое состояние называется срезом?
- 5 Какой вид имеет условие прочности при срезе?
- 6 Какие задачи решаются по условию прочности при срезе?
- 7 Какое состояние называется смятием?
- 8 Какой вид имеет условие прочности при смятии?
- 9 Какие задачи решаются по условию прочности при смятии?

2 Лабораторная работа «Проектировочный расчет стержня при срезе и смятии»

2.1 Цель работы, задачи, инструменты

Цель работы – оценка прочности стержня при действии растягивающего осевого усилия.

Задачи:

- изучение работы соединения;
- определение деформаций элементов соединения;
- расчет на прочность элементов соединения;
- проектировочный расчет головки стержня (определение наименьших значений высоты h и диаметра головки стержня D , при которых обеспечивается прочность соединения).

Инструменты: детали соединения, штангенциркуль, линейка, карандаш, микрокалькулятор, журнал лабораторных работ.

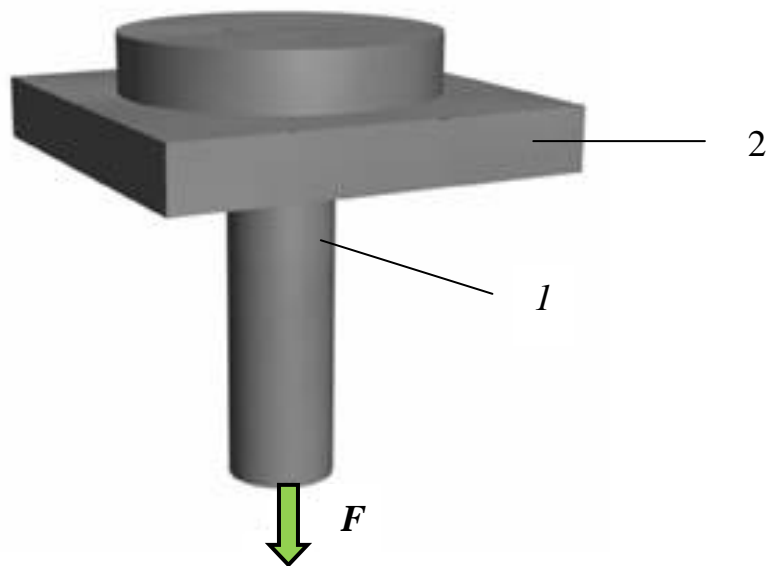
2.2 Исходные данные

Круглый стальной стержень 1 растягивается силой F . Стержень 1 вставляется в пластину 2 (рисунок 2.1).

Растягивающая сила $F=800$ кН.

Допускаемые напряжения:

- на растяжение $[\sigma_p] = 120$ МПа;
- на срез $[\tau_{ср}] = 60$ МПа;
- на смятие $[\sigma_{см}] = 50$ МПа.



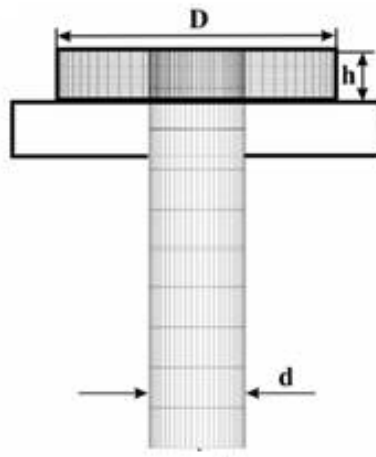
1 – стержень; *2* – пластина.

Рисунок 2.1 – Схема соединения

2.3 Порядок выполнения работы

Для выполнения работы необходимо выполнить последовательно следующие действия:

- 1 Ознакомиться с конструкцией соединения.
- 2 Выяснить назначение всех деталей.
- 3 Измерить при помощи штангенциркуля размеры деталей соединения (рисунок 2.2) и представить их в отчете в таблице 2.1.
- 4 Выяснить, какие деформации испытывает каждый элемент соединения, и какие плоскости контакта деталей этому соответствуют (рисунок 2.3).



D – диаметр головки стержня; d – диаметр стержня;
 h – высота головки стержня.

Рисунок 2.2 – Чертеж соединения

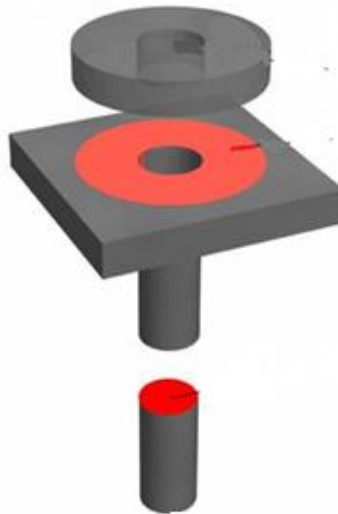


Рисунок 2.3 – Схема площадей контакта деталей соединения

5 Выполнить расчет на прочность стержня и результаты расчета представить в отчете в таблице 2.2.

5.1 Расчет стержня.

Стержень под действием растягивающей силы F испытывает **растяжение** (рисунок 2.3).

Последовательность действий:

– определить площадь поперечного сечения стержня по формуле:

$$A_p = \frac{\pi d^2}{4}; \quad (2.1)$$

– определить нормальное напряжение растяжения стержня по формуле:

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p}; \quad (2.2)$$

– выполнить проверку прочности на растяжение стержня по формуле:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]; \quad (2.3)$$

– сделать вывод о выполнении/невыполнении условия прочности стержня при растяжении.

5.2 Расчет головки стержня.

Головка стержня работает на **срез**, и уменьшение высоты головки стержня h , повлечет за собой срез по боковой цилиндрической поверхности (рисунок 2.3).

Последовательность действий:

– определить площадь среза головки стержня по формуле:

$$A_{cp} = \pi \cdot d \cdot h; \quad (2.4)$$

– определить касательное напряжение среза головки стержня по формуле:

$$\tau_{cp} = \frac{F}{A_{cp}}; \quad (2.5)$$

– выполнить проверку прочности головки стержня на срез по формуле:

$$\tau_{cp} \leq [\tau_{cp}]; \quad (2.6)$$

– сделать вывод о выполнении/невыполнении условия прочности головки стержня на срез;

– формула проверочного расчета на срез имеет вид $A_{cp} = \pi \cdot d \cdot h \geq \frac{F}{[\tau_{cp}]}$, откуда наименьшее значение высоты головки стержня, при котором обеспечивается прочность на срез, определить по формуле:

$$h \geq \frac{F}{[\tau_{cp}] \cdot \pi \cdot d}. \quad (2.7)$$

Головка стержня работает на **смятие** по опорной кольцевой поверхности (рисунок 2.3).

Последовательность действий:

– определить площадь смятия головки стержня по формуле:

$$A_{см} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}; \quad (2.8)$$

– определить нормальное напряжение смятия головки стержня по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}}; \quad (2.9)$$

– выполнить проверку прочности головки стержня на смятие по формуле:

$$\sigma_{см} \leq [\sigma_{см}]; \quad (2.10)$$

– сделать вывод о выполнении/невыполнении условия прочности головки стержня при смятии;

– формула проверочного расчета на смятие имеет вид $A_{см} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \geq \frac{F}{[\sigma_{см}]}$, откуда наименьшее значение диаметра головки стержня, при котором обеспечивается прочность на смятие, определить по формуле:

$$D \geq \frac{4F}{[\sigma_{см}] \cdot \pi} + d^2. \quad (2.11)$$

2.4 Отчет по лабораторной работе «Проектировочный расчет стержня при срезе и смятии»

В отчет по лабораторной работе включить схему соединения, таблицы результатов расчета 2.1, 2.2 и вывод по работе.

Таблица 2.1 – Размеры деталей соединения

Деталь соединения	Размеры, мм	
Стержень	Диаметр поперечного сечения d	
Головка стержня	Высота головки h	Диаметр головки D

Таблица 2.2 – Результаты расчета

Деталь соединения	Вид деформации	Площадь сечения (площадь контакта), мм ²	Напряжение, МПа	Проверка условия прочности
Стержень				
Головка стержня				
	Минимальное значение высоты головки стержня $h =$ мм.			
	Минимальное значение диаметра головки стержня $D =$ мм.			

Вывод:

2.5 Контрольные вопросы

После выполнения лабораторной работы при подготовке к защите необходимо (устно) ответить на контрольные вопросы:

- 1 Какова цель работы?
- 2 Каковы поставленные задачи?
- 3 Из каких деталей состоит рассчитываемое соединение?
- 4 Какие виды деформаций испытывает стержень?
- 5 Какие виды деформаций испытывает головка стержня?
- 6 По каким поверхностям контакта деформируется каждый элемент соединения?
- 7 Как записывается условие прочности при растяжении?
- 8 Как записывается условие прочности при срезе?
- 9 Как записывается условие прочности при смятии?
- 10 Обеспечивается ли прочность рассчитываемого соединения?

3 Лабораторная работа «Расчет на прочность соединения стержня и чеки»

3.1 Цель работы, задачи, инструменты

Цель работы – оценка прочности соединения при действии растягивающего осевого усилия.

Задачи:

- изучение работы соединения;
- определение деформаций элементов соединения;
- расчет на прочность элементов соединения;

– проектировочный расчет хвостовика стержня (определение наименьшей длины хвостовой части стержня l , при которой обеспечивается прочность соединения).

Инструменты: детали соединения, штангенциркуль, линейка, карандаш, микрокалькулятор, журнал лабораторных работ.

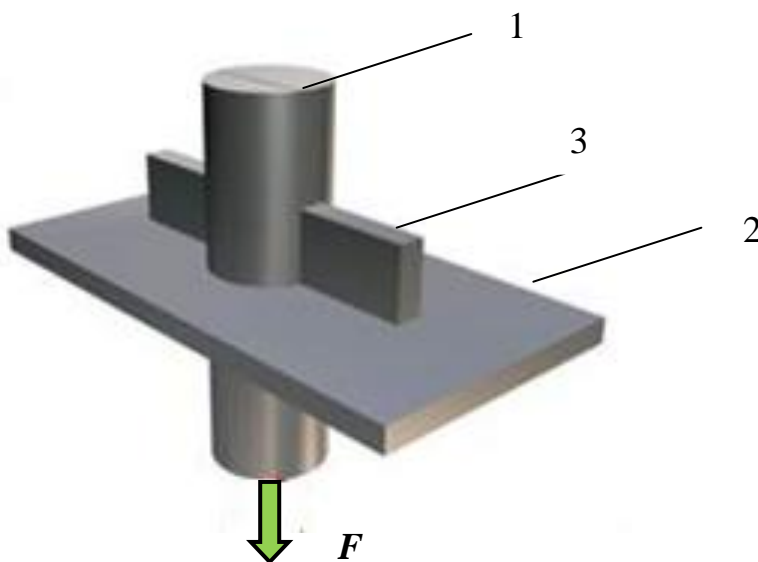
3.2 Исходные данные

Круглый стержень 1 растягивается силой F . Стержень 1 крепится к стальной пластинке 2 с помощью чеки 3 прямоугольного сечения (рисунок 3.1). Работой чеки на изгиб пренебречь.

Растягивающая сила $F=180$ кН.

Допускаемые напряжения:

- на растяжение $[\sigma_p] = 160$ МПа;
- на срез $[\tau_{ср}] = 110$ МПа;
- на смятие $[\sigma_{см}] = 330$ МПа.



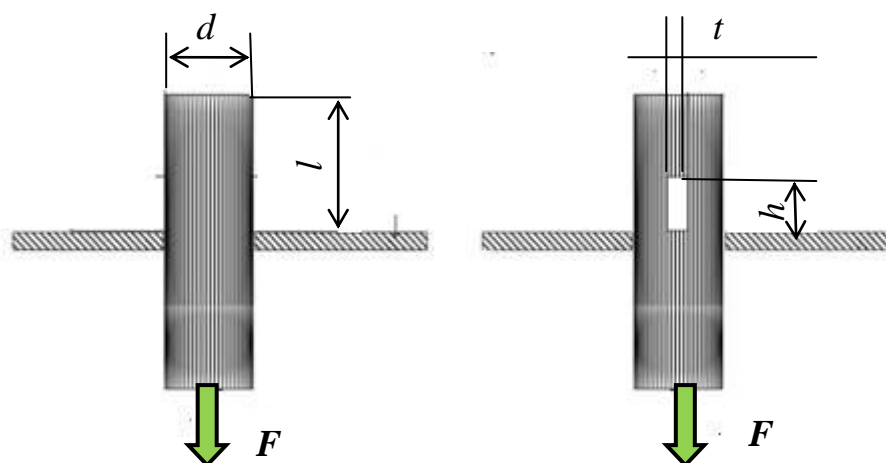
1 – стержень; 2 – пластинка; 3 – чека.

Рисунок 3.1 – Схема соединения

3.3 Порядок выполнения работы

Для выполнения работы необходимо выполнить последовательно следующие действия:

- 1 Ознакомиться с конструкцией соединения.
- 2 Выяснить назначение всех деталей.
- 3 Измерить при помощи штангенциркуля размеры деталей соединения (рисунок 3.2) и представить их в отчете в таблице 3.1.
- 4 Выяснить, какие деформации испытывает каждая деталь конструкции, и какие плоскости контакта деталей этому соответствуют (рисунок 3.3).



d – диаметр стержня; l – длина хвостовика; h – высота чеки;
 t – толщина чеки.

Рисунок 3.2 – Чертеж соединения

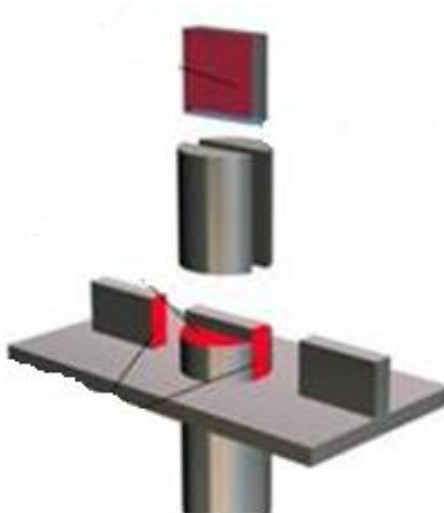


Рисунок 3.3 – Схема площадей контакта деталей соединения

5 Выполнить расчет на прочность деталей соединения и результаты расчета представить в отчете в таблице 3.2.

5.1 Расчет стержня.

Стержень испытывает **растяжение** под действием осевой силы F . Стержень ослаблен сечением, через которое проходит чека (рисунок 3.3).

Последовательность действий:

– определить площадь ослабленного сечения стержня по формуле:

$$A_p = \frac{\pi d^2}{4} - t \cdot d; \quad (3.1)$$

– определить нормальное напряжение растяжение стержня по формуле:

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p}; \quad (3.2)$$

– выполнить проверку прочности на растяжение стержня по формуле:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]; \quad (3.3)$$

– сделать вывод о выполнении/невыполнении условия прочности при растяжении.

Стержень испытывает **смятие** внутренней части под действием давления чеки (рисунок 3.3).

Последовательность действий:

– определить площадь смятия стержня по формуле:

$$A_{см} = d \cdot t; \quad (3.4)$$

– определить нормальное напряжение смятия стержня по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}}; \quad (3.5)$$

– выполнить проверку прочности стержня на смятие по формуле:

$$\sigma_{см} \leq [\sigma_{см}]; \quad (3.6)$$

– сделать вывод о выполнении/невыполнении условия прочности стержня при смятии.

5.2 Расчет хвостовика стержня.

Хвостовик стержня испытывает **срез** под давлением чеки (рисунок 3.3).

Последовательность действий:

– определить площадь среза хвостовика по формуле:

$$A_{ср} = 2(l - h) \cdot d; \quad (3.7)$$

– определить касательное напряжение среза по формуле:

$$\tau_{ср} = \frac{F}{A_{ср}}; \quad (3.8)$$

– выполнить проверку прочности стержня на срез по формуле:

$$\tau_{cp} \leq [\tau_{cp}]; \quad (3.9)$$

– сделать вывод о выполнении/невыполнении условия прочности стержня на срез;

– формула проверочного расчета на срез имеет вид $A_{cp} = 2(a-h) \cdot d \geq \frac{F}{[\tau_{cp}]}$,

откуда найти наименьшее значение длины хвостовика стержня, при котором обеспечивается прочность стержня на срез:

$$a \geq \frac{F}{[\tau_{cp}] \cdot 2d} + h. \quad (3.10)$$

5.3 Расчет чеки.

Чека под давлением стержня испытывает **срез** (рисунок 3.3).

Последовательность действий:

– определить площадь среза чеки по формуле:

$$A_{cp} = 2t \cdot h; \quad (3.11)$$

– определить касательное напряжение среза чеки по формуле:

$$\tau_{cp} = \frac{F}{A_{cp}}; \quad (3.12)$$

– выполнить проверку прочности чеки на срез по формуле:

$$\tau_{cp} \leq [\tau_{cp}]. \quad (3.13)$$

3.4 Отчет по лабораторной работе «Расчет на прочность соединения стержня и чеки»

В отчет по лабораторной работе включить схему соединения, таблицы результатов расчета 3.1, 3.2 и вывод по работе.

Таблица 3.1 – Размеры деталей соединения

Деталь соединения	Размеры, мм	
	Стержень	Диаметр поперечного сечения d
Чека	Высота h	Толщина t

Таблица 3.2 – Результаты расчета

Деталь соединения	Вид деформации	Площадь сечения, мм ²	Напряжение, МПа	Проверка условия прочности
Стержень				
	Минимальное значение длины хвостовика $l =$ мм.			
Чека				

Вывод:

3.5 Контрольные вопросы

После выполнения лабораторной работы при подготовке к защите необходимо (устно) ответить на контрольные вопросы:

- 1 Какова цель работы?
- 2 Каковы поставленные задачи?
- 3 Из каких деталей состоит рассчитываемое соединение?
- 4 Какие виды деформаций испытывает стержень?
- 5 Какие виды деформаций испытывает чека?
- 6 По каким поверхностям контакта деформируется каждая деталь соединения?
- 7 Как записывается условие прочности при растяжении?
- 8 Как записывается условие прочности при срезе?
- 9 Как записывается условие прочности при смятии?
- 10 Обеспечивается ли прочность рассчитываемого соединения?

Список использованных источников

1 Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов: учебник / В. И. Феодосьев. – 14-е изд., испр. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 592 с. – Предм. указ.: с. 577–584. – ISBN 978-5-7038-3024-6.

2 Александров, А. В. Сопротивление материалов. Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров. – М.: Высш. шк., 2002. – 400 с.

3 Сопротивление материалов [Электронный ресурс]: пособие по решению задач / Миролубов И.Н. [и др.]. – Электрон. текстовые дан. – СПб.: «Лань», 2009. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/668/>.

4 Пояркова, Е. В. Механика материалов (методы механических испытаний материалов) / В.И. Грызунов, Е. В. Пояркова, И. Р. Кузеев. – Орск: Изд-во ОГТИ (филиала) ОГУ, 2012. – 227 с.

5 Фролова, О. А. Центральное растяжение и сжатие стержня: методические указания к выполнению расчетно-проектировочной работы /О. А. Фролова, В. С. Гарипов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 26 с.

6 Сайт, содержащий важные сведения по сопротивлению материалов, имеющий удобную навигацию, содержащий много справочной информации, полезной студентам технических направлений подготовки. – Режим доступа: <http://sopromat.ru/>