

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 ИСПЫТАНИЕ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ, КОТОРОЕ РАБОТАЕТ НА СДВИГ

Цель работы: определение теоретических и экспериментальных зависимостей сдвигающей силы (F_c) от момента закручивания (T_3) болта в напряженном болтовом соединении; сопоставление теоретических и экспериментальных зависимостей $F_c = f(T_3)$.

Оборудование, приборы и инструменты: ручной пресс, динамометрический ключ со сменными головками, штангенциркуль, болты с соответствующими шайбами и гайками, сменные вставки различной шероховатости.

Подготовка к выполнению лабораторной работы: ознакомиться с резьбовыми соединениями [1, с. 16–49]; [2, с. 62–97]; [3, с. 166–173].

Общие сведения

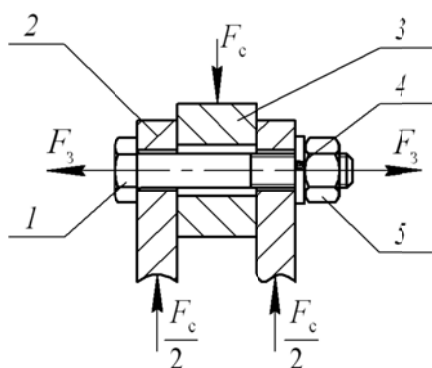


Рис. 8.1 Схема нагружения соединения:
1 – болт; 2 – боковая пластина; 3 – колодка
верхняя; 4 – шайба; 5 – гайка

При приложении к пластинам сдвигающей силы F_c (рис. 8.1) последние могут удерживаться от сдвига, сохраняя зазоры между стержнем болта и отверстием в пластине за счет сил трения ($F_{тр}$), которые возникают на поверхности стыка:

$$F_c = F_{тр} \cdot i, \quad (8.1)$$

где i – количество стыков (в нашем случае $i = 2$). Болт в

данном случае работает на растяжение от силы затяжки (F_3). Сила сдвига (F_c), при которой пластины сдвигаются, является максимальной для данной затяжки (F_3). В свою очередь, сила трения рассчитывается по формуле

$$F_f = F_n f_c, \quad (8.2)$$

где F_n – нормальная сила в стыке; f_c – коэффициент трения в стыке. Поскольку нормальная сила F_n вызвана силой затяжки F_3 и направлена в одну и ту же сторону, можно сделать заключение, что $F_n = F_3$. Изменив силу F_n на F_3 , из выражений (8.1) и (8.2) получим зависимость для определения силы сдвига от силы затяжки:

$$F_c = F_3 f_c i. \quad (8.3)$$

Известно, что сила затяжки F_3 связана с моментом закручивания (T_3) следующей зависимостью:

$$T_3 = T_p + T_T = 0,5F_3 d_2 \operatorname{tg}(\gamma + \rho') + 0,25F_3 f_T (D_0 + d_0), \quad (8.4)$$

где T_p – момент сил трения в резьбе, Н · мм; T_T – момент сил трения на опорном торце гайки, Н · мм; d_2 – средний диаметр резьбы, мм; γ – угол подъема по среднему диаметру, определяемый по уравнению

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{p}{\pi d_2}, \quad (8.5)$$

где p – шаг резьбы; ρ' – приведенный угол трения, рассчитываемый по формуле

$$\rho' = \operatorname{arctg} f', \quad (8.6)$$

где f' – приведенный коэффициент трения в резьбе, равный

$$f' = \frac{f_p}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)},$$

где f_p – коэффициент трения в резьбе; α – угол профиля резьбы, для метрической $\alpha = 60^\circ$; f_T – коэффициент трения на торце гайки; D_0 – внешний диаметр опорной поверхности гайки; d_0 – внутренний диаметр опорной поверхности гайки.

Подставив в уравнение (8.3) значение F_3 , найденное из зависимости (8.4), получим

$$F_c = \frac{T_3 f_c i}{[0,5d_2 \operatorname{tg}(\gamma + \rho') + 0,25f_T (D_0 + d_0)]} \quad (8.7)$$

или

$$F_c = KT_3,$$

где $K = \frac{f_c i}{[0,5d_2 \operatorname{tg}(\gamma + \rho') + 0,25f_T(D_0 + d_0)]}$ – постоянная величина для данных условий эксперимента.

Таким образом, зависимость $F_c = f(T_3)$ является линейной. Поскольку при эксперименте F_c и T_3 определяются по индикаторам динамометрического ключа и динамометрической пружины достаточно точно, то положение теоретической кривой зависимости $F_c = f(T_3)$ на графике во многом будет зависеть от правильного выбора коэффициента трения в резьбе f_p , на торце гайки f_T и поверхности стыка f_c . Поэтому теоретическое значение T_3 не всегда соответствует его действительной величине, определяемой экспериментальным путем.

Для предупреждения остаточных деформаций болта, которые могут возникать в стержне болта при чрезмерном закручивании гайки, необходимо определить допускаемую силу затяжки $[F_3]$, которая из условия прочности болта на растяжение находится по уравнению

$$[F_3] = \frac{\pi d_1^2 [\sigma_p]}{4 \cdot 1,3}, \quad (8.8)$$

где d_1 – внутренний диаметр резьбы; $[\sigma_p]$ – допускаемое напряжение на растяжение для материала болта. В нашем случае болт выполнен из стали Ст3, имея $\sigma_T = 220$ МПа. Принимаем коэффициент безопасности $n = 2,0$, тогда допускаемое напряжение

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{n} = \frac{220}{2} = 110 \text{ МПа.}$$

Если найденное $[F_3]$ из зависимости (8.8) подставим в формулу (8.4), то получим соответствующий допускаемый момент закручивания $[T_3]$, который не должен быть превышен при закручивании гайки, чтобы избежать возникновения остаточных деформаций в стержне болта.

Описание установки

Устройство и работа ручного винтового пресса

Винтовой пресс (рис. 8.2) имеет две стойки 2, неподвижно закрепленные в основании 1 и траверсе 12. Винт 8 жестко соединен с маховиком 11 и зафиксирован от осевого перемещения в траверсе

упорным подшипником *10*. При вращении маховика *11* винт *8* вкручивается или выкручивается в ползун *9*, который удерживается от вращения шпонкой и тем самым перемещается в траверсе *12*.

Ползун *9* через кольцевую динамометрическую пружину *13* соединен с верхней колодкой *7* исследуемого болтового соединения. Пластины *4*, прижатые к верхней колодке *7* болтом *6* с гайкой *15*, шайбой *14* и втулкой *16*, закреплены на оси *3*, которая неподвижно установлена в нижней колодке *17*. Пластины *4* на оси от перемещения в осевом направлении удерживаются пружинным упорным кольцом *18*. Верхняя колодка *7* выполняет функции средней пластины на рис. 8.1.

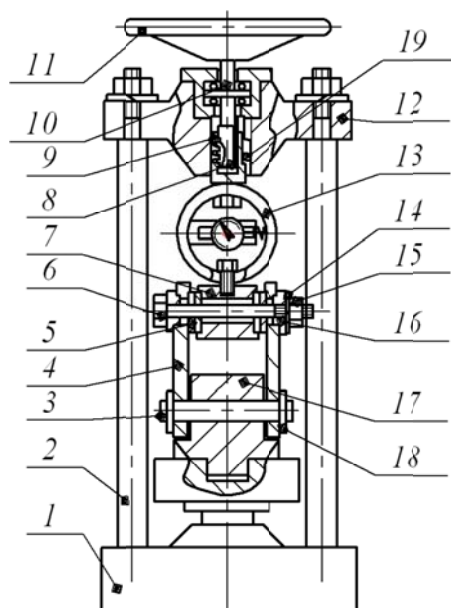


Рис. 8.2. Ручной винтовой пресс:
1 – основание; *2* – стойка; *3* – ось;
4 – пластина боковая; *5* – вкладка;
6 – болт; *7* – колодка верхняя;
8 – винт; *9* – ползун; *10* – подшипник
упорный; *11* – маховик; *12* – траверса;
13 – пружина динамометрическая;
14 – шайба; *15* – гайка; *16* – втулка;
17 – колодка нижняя; *18* – кольцо
упорное пружинное; *19* – шпонка

Верхняя колодка *7* выполняет функции средней пластины на рис. 8.1.

Перемещение верхней колодки *7* относительно пластин *4* осуществляется вращением маховика *11*.

Для контроля положения верхней колодки *7* относительно пластин *4* на них нанесены метки. Расстояние между крайними метками на пластине *4* соответствует максимальному зазору между стержнем болта *6* и краем отверстия в верхней колодке *7*.

В начальном положении колодка *7* при помощи маховика *11* укрепляется так, чтобы ее метка совмещалась с верхней меткой на пластине *4*. Снижение колодки *7* за нижнюю метку на пластине недопустимо, так как при этом вы-

бирается зазор и стержень болта станет работать на срез.

Устройство и принцип работы динамометрического ключа

Динамометрический ключ предназначен для контроля момента затяжки. Он представляет собой упругий стержень 2 (рис. 8.3) с рукояткой 1 и индикатором 3, закрепленным в колодке 4, на квадратный выступ которой надевается головка ключа 5 для соответствующей гайки. При закручивании гайки к рукоятке 1 прикладывается сила, которая

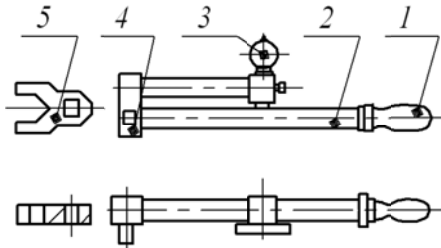


Рис. 8.3. Устройство

динамометрического ключа:

1 – рукоятка; 2 – стержень; 3 – индикатор;
4 – колодка; 5 – головка ключа

которая изгибает упругий стержень 2 (как консольную балку). Величина деформации стержня, которая фиксируется индикатором 3, пропорциональна моменту закручивания, который находится через тарировочный коэффициент.

Для получения достоверных результатов сила должна прикладываться только к ручке 1 динамометрического ключа.

В результате тарировки динамометрического ключа и динамометрической пружины 13 (рис. 8.2) получены следующие тарировочные коэффициенты: $\mu_1 = 3900 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ (одно деление индикатора для динамометрического ключа); $\mu_2 = 305 \text{ Н}$ (одно деление индикатора для динамометрической пружины).

Порядок выполнения работы

Подготовка установки к работе

Выбрать болт с соответствующей шайбой и гайкой (по согласованию с преподавателем), динамометрический ключ с соответствующей головкой под гайку.

Определение теоретического значения силы сдвига F_c

1. Измерить штангенциркулем наружный диаметр резьбы болта d и шаг резьбы p (см. рис. В табл. 8.4). Шаг необходимо вычислить по формуле

$$P = \frac{S}{n}, \quad (8.9)$$

где S – длина нарезной части болта; n – количество витков резьбы на нарезной части.

Результаты измерений согласовать со стандартными значениями (ГОСТ 9150-59, табл. 8.1), выбрать остальные необходимые параметры из стандарта, записать их в табл. 8.2.

2. б) Измерить внешний D_0 и внутренний d_0 диаметры опорной поверхности торца гайки.

3. Определить: угол подъема винтовой линии резьбы γ по среднему диаметру d_2 по формуле (8.5); допускаемое напряжение на растяжение материала болта $[\sigma_p]$; приведенный угол трения ρ' по формуле (8.6); допускаемую силу затяжки $[F_3]$ по формуле (8.8).

4. Все найденные значения занести в табл. 8.4.

5. Определить по формуле (8.4) допускаемое значение момента закручивания $[T_3]$, которое соответствует допускаемой силе затяжки $[F_3]$, а также значения $[T_3]$, которые соответствуют $0,75[F_3]$; $0,5[F_3]$; $0,25[F_3]$, приняв значения коэффициентов трения в резьбе f_p и на торце гайки f_t по табл. 8.3 (по согласованию с преподавателем). Для полученных значений моментов рассчитать соответствующее им количество делений индикатора по формуле

$$n_1 = \frac{[T_3]}{\mu_1}, \quad (8.10)$$

где μ_1 – тарировочный коэффициент для динамометрического ключа.

Результаты расчетов занести в табл. 8.4.

Таблица 8.1

Геометрические параметры метрической резьбы

| Шаг резьбы P | Диаметр резьбы | | | Высота профиля H_1 |
|-----------------|---------------------|------------------------|---------------------------|----------------------|
| | наружный $d = D$ | средний $d_2 = D_2$ | внутренний $d_1 = D_1$ | |
| С крупным шагом | | | | |
| 2 | (14) | 12,701 | 11,835 | 1,082 |
| 2 | 16 | 14,701 | 13,835 | 1,082 |
| 2,5 | (18) | 16,376 | 15,294 | 1,353 |
| 2,5 | 20 | 18,376 | 17,294 | 1,353 |
| С мелким шагом | | | | |
| 0,5 | (14) | 13,675 | 13,459 | 0,270 |
| | 16 | 15,675 | 15,459 | |
| | (18) | 17,675 | 17,459 | |
| | 20 | 19,675 | 19,459 | |
| 0,75 | (14) | 13,513 | 13,188 | 0,406 |
| | 16 | 15,513 | 15,188 | |
| | (18) | 17,513 | 17,188 | |
| | 20 | 19,513 | 19,188 | |
| 1,0 | (14) | 13,350 | 12,918 | 0,541 |
| | 16 | 15,350 | 14,918 | |
| | (18) | 17,350 | 16,918 | |
| | 20 | 19,350 | 18,918 | |
| 1,25 | (14) | 13,188 | 12,647 | 0,676 |
| 1,5 | (14) | 13,026 | 12,376 | 0,812 |
| | 16 | 15,026 | 14,376 | |
| | (18) | 17,026 | 16,376 | |
| | 20 | 19,026 | 18,376 | |
| 2,0 | (18) | 16,701 | 15,835 | 1,082 |
| | 20 | 18,701 | 17,835 | |

Таблица 8.2

Результаты измерений

| Параметры | Условные обозначения | Значения | |
|--|----------------------|----------|--|
| Наружный диаметр резьбы, мм | d | | |
| Шаг резьбы, мм | p | | |
| Внутренний диаметр резьбы, мм | d_1 | | |
| Средний диаметр резьбы, мм | d_2 | | |
| Угол подъема винтовой линии резьбы, град. | γ | | |
| Угол профиля резьбы, град. | α | | |
| Материал болта | Сталь Ст3 | | |
| Допускаемое напряжение растяжения материала болта, МПа | $[\sigma_p]$ | | |
| Допускаемая сила затяжки, Н | $[F_3]$ | | |
| Диаметры опорной поверхности гайки, мм: | – внешний | D_0 | |
| | – внутренний | d_0 | |
| Коэффициент трения: | – в резьбе | f_p | |
| | – в стыке | f_c | |
| | – на торце гайки | f_T | |
| Приведенный угол трения для резьбы, град. | ρ' | | |
| Шероховатость боковых поверхностей колодки и пластин | R_a | | |
| Состояние поверхностей стыка соединения (со смазкой, без смазки) | – | | |

6. По формуле (8.3) вычислить значения силы сдвига F_c при $0,25[F_3]$; $0,5[F_3]$; $0,75[F_3]$; $[F_3]$, взяв соответствующее значение коэффициента трения в стыке f_c в табл. 8.3 (по согласованию с преподавателем). Результаты занести в табл. 8.4.

Таблица 8.3

Значение коэффициента трения

| Шероховатость поверхностей R_a | Коэффициент трения f | | Шероховатость поверхностей R_a | Коэффициент трения f | |
|----------------------------------|------------------------|------------|----------------------------------|------------------------|------------|
| | без смазки | со смазкой | | без смазки | со смазкой |
| 5,0×5,0 | 0,32 | 0,14 | 1,25×0,63 | 0,18 | 0,03 |
| 5,0×2,5 | 0,30 | 0,13 | 0,63×0,63 | 0,13 | 0,02 |
| 2,5×2,5 | 0,26 | 0,08 | 0,63×0,32 | 0,12 | 0,02 |
| 2,5×1,25 | 0,25 | 0,06 | 0,32×0,32 | 0,11 | 0,01 |
| 1,25×1,25 | 0,19 | 0,04 | | | |

Таблица 8.4

Результаты опытов

| Параметры | 0,25[T_3] | 0,5[T_3] | 0,75[T_3] | [T_3] |
|---|---------------|--------------|---------------|-----------|
| Допускаемая сила затяжки [F_3] рассчитанная по формуле (8.8), Н | | | | |
| Допускаемое теоретическое значение момента закручивания [T_3], найденное по формуле (8.4), Н · мм | | | | |
| Теоретическая сила сдвига F_c , рассчитанная по формуле (8.3), Н | | | | |
| Показания индикатора динамометрического ключа n_1 | | | | |
| Показания индикатора динамометрической пружины n_2 | | | | |
| Значения силы сдвига F_c , найденные экспериментальным путем, Н | | | | |

7. Построить график зависимости теоретических значений силы сдвига F_c от момента закручивания T_3 .

Определение экспериментальных значений силы сдвига F_c

1. Одеть пластины 4 на ось 3; совместить отверстия в пластинах 4 и верхней колодке 7 вращением маховика 11 и вставить болт 6, установить шайбу 14 и закрутить рукой гайку 15 на 1,5–2 оборота. Прижать фиксирующую от поворота болта планку к грани головки болта и закрепить ее шурупами.

2. Вращая маховик 11, добиться крайнего верхнего положения колодки 7 относительно боковых пластин 4. Для этого совместить метку на колодке 7 с верхней меткой на боковой пластине 4. При этом отсутствует зазор между стержнем болта 6 и нижней частью отверстия в колодке 7.

3. Взять динамометрический ключ с нужной головкой под гайку и установить индикатор 3 (рис. 8.3) на ноль. Затянуть гайку болта 6 динамометрическим ключом до момента, который соответствует 0,25[T_3] (см. табл. 8.4). Момент фиксируется по шкале индикатора ключа. Ключ плавно вращать только за ручку до требуемого показания стрелки индикатора ключа n_1 .

4. Установить на ноль индикатор на динамометрической пружине 13. Вращать маховик 11 так, чтобы ползун 19 опускался до остановки стрелки индикатора 13 и быстрого перемещения ее на 2–3 деления в обратном направлении. В этот момент сила сдвига F_c и сила

трения в стыке F_f уравниваются и соединение не воспринимает нагрузку большую, чем сила трения покоя стыка (смещается вниз относительно боковых пластин). Наибольшее показание индикатора динамометрической пружины n_2 занести в табл. 8.4.

5. Без снятия затяжки повторить действия по п. 3 и 4, но при T_3 , равным $0,5[T_3]$; $0,75[T_3]$; $[T_3]$. Все эксперименты необходимо сделать за одно перемещение метки на колодке 7 от верхней до нижней метки на пластине 4. Только в этом случае между верхней частью отверстия в колодке 7 и стержнем болта 6 сохраняется зазор.

6. Вычислить значение экспериментальной силы сдвига по формуле

$$F_c = \mu_2 n_2, \quad (8.11)$$

где μ_2 – тарировочный коэффициент динамометрической пружины; n_2 – показания индикатора динамометрической пружины. Результаты занести в табл. 8.4.

7. На теоретическом графике построить экспериментальную кривую аналогичных зависимостей.

Сравнить полученные экспериментальные и теоретические зависимости F_c от T_3 и сделать выводы.

Содержание отчета

Отчет должен содержать: название и цель работы; схему исследуемого резьбового соединения (рис. 8.1); устройство и принцип работы динамометрического ключа (рис. 8.3); табл. 8.2 и 8.4; график зависимости F_c от T_3 ; выводы.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип работы ручного винтового пресса.
2. Устройство и принцип работы динамометрического ключа.
3. Как увеличить силу сдвига при одинаковой силе затяжки?
4. Как влияет шероховатость и состояние поверхностей стыка на силу сдвига?
5. Какая существует зависимость изменения силы сдвига при изменении момента закручивания?
6. Чем объяснить возможное несоответствие теоретического и практического значений силы сдвига?
7. Зачем необходимо находить $[F_3]$?
8. Как влияют коэффициенты трения в

стыке f_c , на торце гайки f_T и в резьбе f_p на величину силы сдвига F_c ?