

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].

1. Общие сведения

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_f), которые возникают на поверхности стыка.

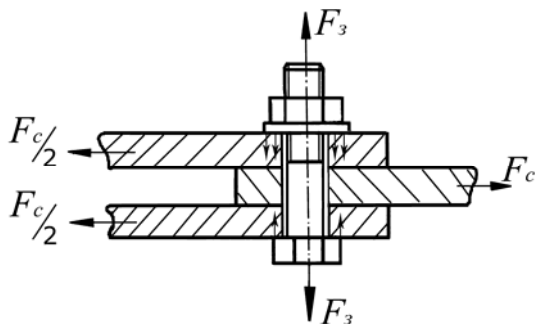


Рис. 8.1. Схема нагружения соединения

$$F_c = F_f i, \quad (8.1)$$

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

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

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 закручива-

ния (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, определяется по уравнению

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

где p – шаг резьбы; ρ' – приведенный угол трения, определяется по уравнению

$$\rho' = \operatorname{arctg} f' \quad (f' \text{ – приведенный коэффициент трения в резьбе}). \quad (8.6)$$

$$f' = \frac{f_p}{\cos \frac{\alpha}{2}},$$

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 определяется 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 $\sigma_m = 220$ МПа. Принимаем коэффициент безопасности $n = 2,0$, тогда допускаемое напряжение

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

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

2. Описание установки

2.1. 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 закреплен 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 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. Колодка 7 выполняет функции средней пластины на рис. 8.1.

Перемещение верхней колодки 7 относительно пластин 4 осуществляется вращением маховика 11. На внутренних поверхностях пластин 4 с одной стороны, а на верхней колодке 7 с двух сторон находятся пазы, в которые устанавливаются сменные вставки 5 и фиксируются шурупами. Сменные вставки представляют собой пластины прямоугольной формы, изготовленные из стали 40Х, термообработанные.

ные до твердости HRC 32–36 единиц, которые имеют определенную шероховатость рабочих контактных поверхностей.

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, т. к. при этом выбирается зазор и стержень болта станет работать на срез.

2.2. Устройство и принцип работы динамометрического ключа

В динамометрическом ключе (рис. 8.3) находится упругий стержень 2 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 изгибает упругий стержень 2 (как консольную балку). Величина деформации стержня, которая фиксируется индикатором 3, пропорциональна моменту закручивания.

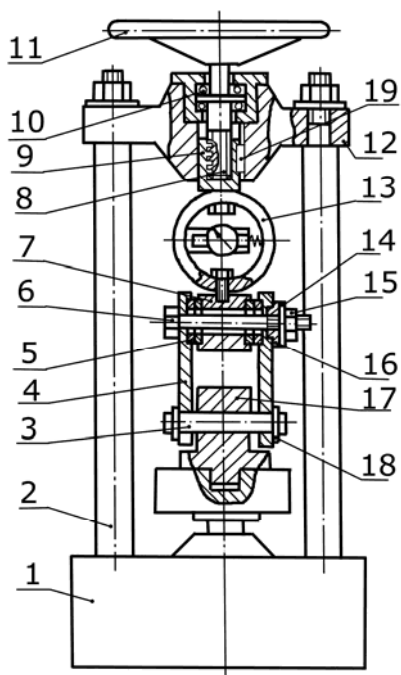


Рис. 8.2. Ручной винтовой пресс

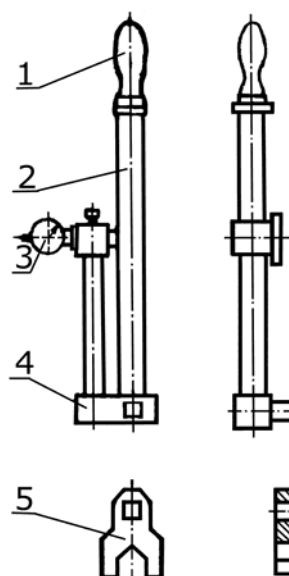


Рис. 8.3. Динамометрический ключ

Для получения действительных 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: $\mu_1=3900 \text{ Н}\cdot\text{мм}$ (1-деление индикатора для динамометрического ключа); $\mu_2=305 \text{ Н}$ (1-деление индикатора для динамометрической пружины).

3. Порядок выполнения работы

3.1. Подготовка установки к работе

Выбрать четыре сменные вставки с определенной шероховатостью поверхности, болт с соответствующей шайбой и гайкой (по согласованию с преподавателем), динамометрический ключ с соответствующей головкой под гайку.

3.2. Определение теоретического значения силы сдвига F_c

а) Измерить штангенциркулем наружный диаметр резьбы болта d и шаг резьбы p (рис. 8.4). Результаты измерений согласовать со стандартными значениями (ГОСТ 9150–59, табл. 8.1), выбрать остальные необходимые параметры из стандарта, записать их в табл. 8.2.

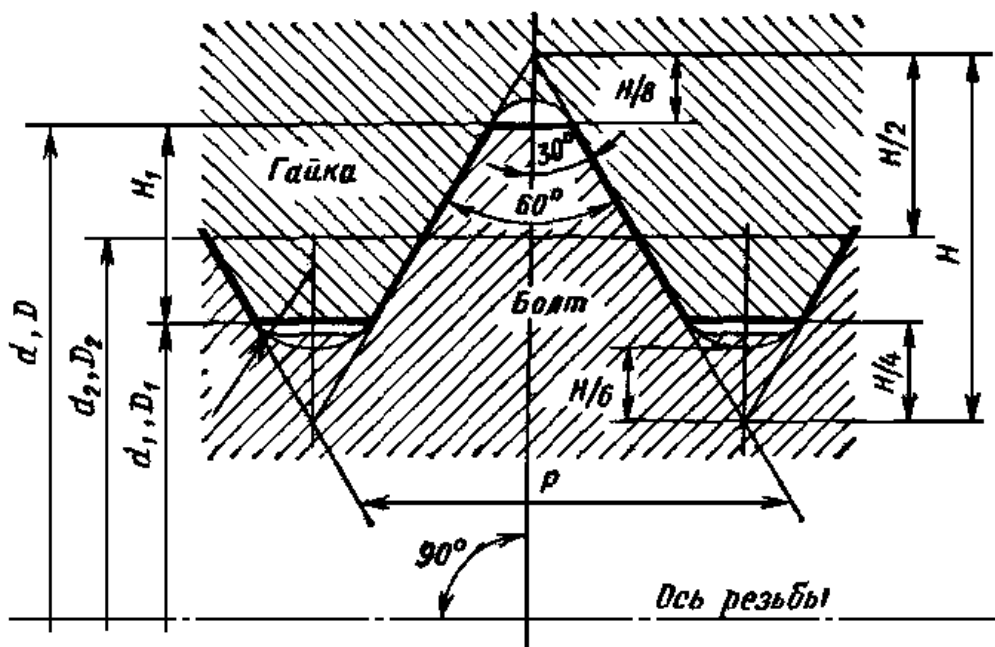


Рис. 8.4. Параметры метрической резьбы

Таблица 8.1

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	

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

в) 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).

г) Все найденные значения занести в табл. 8.4.

Таблица 8.2

Параметры	Условные обозначения	Значения	
1. Внешний диаметр болта, мм	d		
2. Шаг резьбы, мм	p		
3. Внутренний диаметр резьбы, мм	d_1		
4. Средний диаметр резьбы, мм	d_2		
5. Угол подъема винтовой линии резьбы, град	γ		
6. Угол профиля резьбы, град	α		
7. Материал болта	Сталь Ст3		
8. Допускаемое напряжение растяжения материала болта, МПа	$[\sigma_p]$		
9. Допускаемая сила затяжки, Н	$[F_3]$		
10. Диаметры опорной поверхности гайки, мм:	внешний	D_0	
	внутренний	d_0	
11. Коэффициент трения:	в резьбе	f_p	
	в стыке	f_c	
	на торце гайки	f_T	
12. Приведенный угол трения для резьбы	ρ'		
13. Шероховатость поверхностей сменных вставок	R_a		
14. Состояние поверхностей стыка соединения (со смазкой, без смазки)	—		

д) 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 определить соответствующие им количество делений индикатора по формуле

$$n_1 = \frac{[T_3]}{\mu_1},$$

где μ_1 – тарировочный коэффициент для динамометрического ключа.

Результаты расчетов занести в табл. 8.4.

е) По формуле (8.3) определить значения силы сдвига F_c при $0,25[F_3]$; $0,5[F_3]$; $0,75[F_3]$; $[F_3]$, взяв соответствующее значение коэф-

коэффициента трения в стыке f_c в табл. 8.3 (по согласованию с преподавателем). Результаты занести в табл. 8.4.

Таблица 8.3

Шероховатость поверхностей, R_a	Коэффициент трения в стыке f_c	
	Без смазки	Со смазкой
5,0 x 5,0	0,32	0,14
5,0 x 2,5	0,30	0,13
2,5 x 2,5	0,26	0,08
2,5 x 1,25	0,25	0,06
1,25 x 1,25	0,19	0,04
1,25 x 0,63	0,18	0,03
0,63 x 0,63	0,13	0,02
0,63 x 0,32	0,12	0,02
0,32 x 0,32	0,11	0,01

Таблица 8.4

Параметры	0,25[T_3]	0,5[T_3]	0,75[T_3]	[T_3]
Допускаемое теоретическое значение момента закручивания [T_3], найденное по формуле (8.4) Н·мм				
Теоретическая сила сдвига F_c , найденная 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				

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

3.3. Определение экспериментальных значений силы сдвига F_c

а) Вставить в пазы и прикрутить шурупами выбранные сменные вставки 5 (см. рис. 8.2) к боковым поверхностям пластин 4 и верхней колодки 7. Обеспечить соответствующее положение поверхностей сдвига (без смазки, со смазкой).

б) 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.

в) Вращая маховик 11 против часовой стрелки, 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.

г) Взять динамометрический ключ с соответствующей 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.

д) Установить на ноль индикатор на динамометрической пружине 13. Нагрузить соединение, вращая маховик 11 по часовой стрелке до остановки стрелки индикатора 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.

е) Без снятия затяжки повторить действия по пп. г и д, но при $T_3 = 0,5[T_3]; 0,75[T_3]; [T_3]$. 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.

ж) Вычислить значение экспериментальной силы сдвига F_c по формуле

$$F_c = \mu_2 n_2,$$

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

з) На теоретическом графике построить экспериментальную кривую аналогичных зависимостей.

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

4. 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.

5. 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 ?