

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

**ИССЛЕДОВАНИЕ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ,
РАБОТАЮЩЕГО НА СДВИГ**

Методические указания к лабораторной работе
по курсу «Детали машин и основы конструирования»

Составители: Г.Н. Гаращук, В.А. Литвинова

Томск 2013

Исследование болтового соединения, работающего на сдвиг: методические указания к лабораторной работе / Сост. Г.Н. Гаращук, В.А. Литвинова. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. университета, 2013. – 13 с.

Рецензент: д.т.н., Г.Г. Волокитин
Редактор: Е.Ю. Глотова

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» для студентов профилей: 190600.01 «Автомобили и автомобильное хозяйство»; 270800.07 «Механизация и автоматизация строительства»; 150000.01 «Машины и оборудование лесного комплекса»; 250400.01 «Технология деревообработки» очной формы обучения.

Печатаются по решению методического семинара кафедры прикладной механики и материаловедения № 6 от 18.02.2013г.

Утверждены и введены в действие проректором по учебной работе В.В. Дзюбо.

с 20.03.2013
до 20.03.2018

Оригинал-макет подготовлен авторами.

Подписано в печать 20.03.2013.
Формат 60 84. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Уч.-изд.л. 2,84. Тираж 50 экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическое обоснование	4
3. Оборудование и принадлежности	6
4. Порядок выполнения работы.....	9
5. Отчет о работе.....	11
6. Контрольные вопросы.....	13
7. Список рекомендуемой литературы.....	13

1 Цель работы

Экспериментальное определение величины минимальной силы, вызывающей относительный сдвиг скрепляемых деталей в зависимости от силы затяжки болта и шероховатости сопряженных поверхностей сжатых деталей.

2 Теоретическое обоснование

В машиностроении часто встречаются болтовые соединения, нагруженные внешними силами, действующими в плоскости стыка скрепляемых деталей. Подобные соединения осуществляются с помощью болтов, поставленных в отверстие с натягом и с зазором.

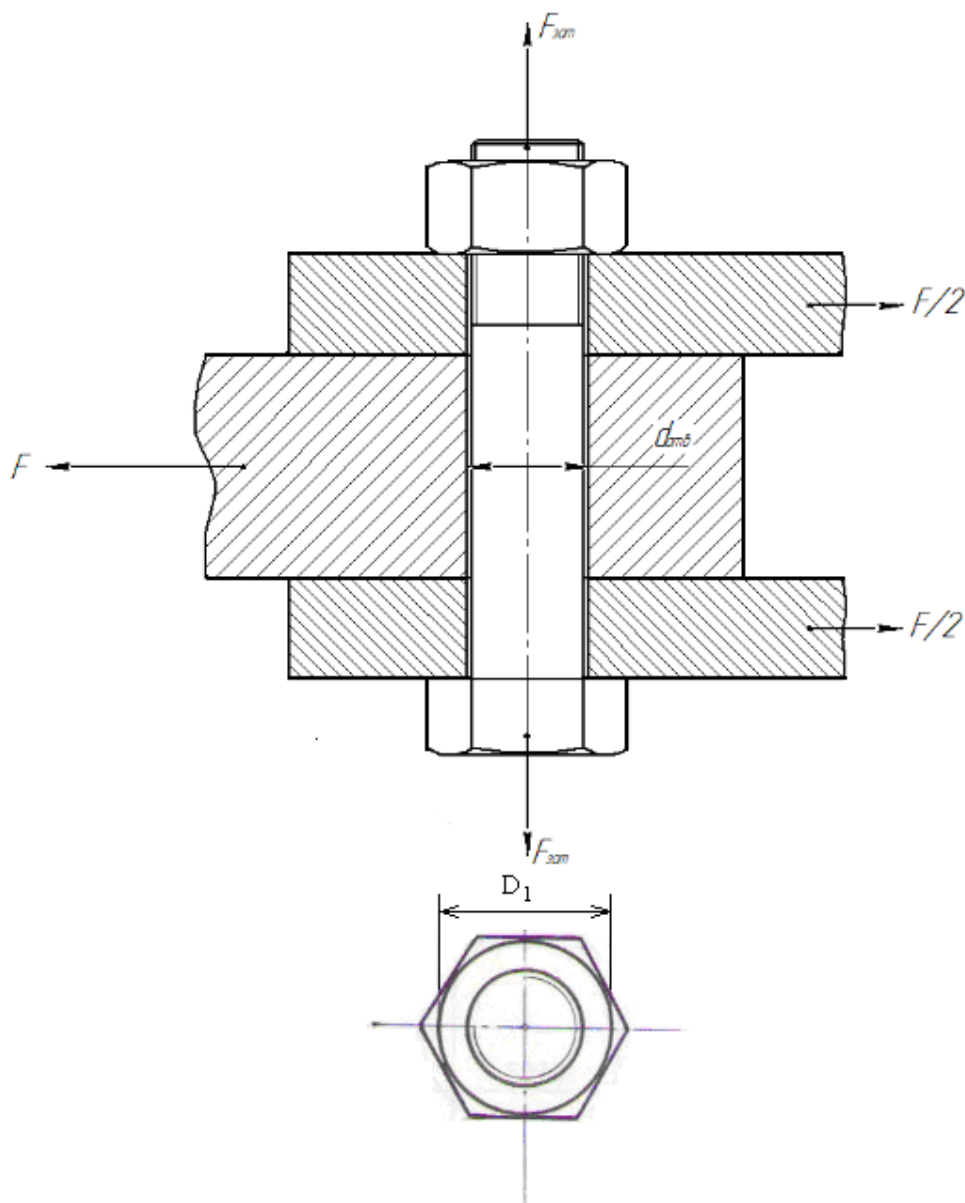


Рисунок 1 – Болтовое соединение

В последнем случае, чтобы обеспечить неподвижность одной детали относительно другой, болты подвергают предварительной затяжке. В результате затяжки в болтах возникают осевые силы, которые сжимают соединяемые детали между собой и вызывают между ними силы трения, препятствующие относительному сдвигу скрепленных деталей.

Рассмотрим такое болтовое соединение (рисунок 1). Болт в основном работает на растяжение от силы $F_{зат}$, так как первоначальный зазор между болтом и пластинами мало изменяется. Если пластины сдвинутся и зазора не будет, то соединение считается нарушенным.

Сила F , при которой пластины сдвигаются, является предельной для данной силы затяжки $F_{зат}$ болта. Сопоставим экспериментальную зависимость силы F и $F_{зат}$ с аналогичной зависимостью, полученной расчетным путем.

Предельная сдвигающая сила F равна силам трения $F_{тр}$, возникающим на поверхностях стыков:

$$F = F_{тр} \cdot i,$$

где i – число стыков.

Заменив силу трения $F_{тр}$ ее значение получим:

$$F = F_{зат} f_0 \cdot i, \quad (1)$$

где f_0 – коэффициент трения на поверхности стыка.

В данной работе сила затяжки болта $F_{зат}$ обеспечивается динамометрическим ключом и связана с моментом закручивания следующей зависимостью:

$$T_{зав} = T_p + T_t = 0,5 F_{зат} [d_2 \operatorname{tg}(\psi + \rho') + f_t D_{ср}], \quad (2)$$

где T_p – момент трения в резьбе;

T_t – момент трения на торце гайки;

$d_{ср}$ – средний диаметр резьбы, определяемый по таблицам стандартов;

ψ – угол подъема резьбы;

ρ' – приведенный угол трения в резьбе, $\operatorname{tg} \rho' = f_p'$,

где f_p' – приведенный коэффициент трения,

$$f_p' = f_p / (\cos \alpha / 2),$$

f_p – действительный коэффициент трения в резьбе;

α – угол профиля резьбы;

f_t – коэффициент трения на торце гайки;

$D_{ср}$ – средний диаметр опорной поверхности гайки:

$$D_{ср} = (D_1 + d_{отв}) / 2,$$

D_1 – наружный диаметр опорной поверхности гайки,

$d_{отв}$ – внутренний диаметр опорной поверхности гайки (равен диаметру отверстия под болт во втулке 9, рисунок 3).

Подставляя в выражение (1) значение $F_{зат}$ из зависимости (2) получим:

$$F = \{ f_0 \cdot i / 0,5 [d_2 \operatorname{tg}(\psi + \rho') + f_t D_{ср}] \} T_{зав}. \quad (3)$$

Так как по формуле (3) F и $T_{\text{зав}}$ определяются по индикаторам довольно точно, то положение кривой при построении графика во многом зависит от правильного выбора коэффициентов трения в резьбе f_p , на торце гайки f_T и на поверхностях сопряженных деталей f_0 . Если принять, что значения коэффициентов f_T и f_0 не изменяются при различных затяжках, то зависимость F и $T_{\text{зав}}$ по уравнению (3) будет линейной, т.е. с увеличением $T_{\text{зав}}$ соответственно увеличивается F .

3 Оборудование и принадлежности

Для выполнения данной работы необходимы: испытательная машина ДМЗОМ; приспособление для испытания болтового соединения типа ДМ23; набор сменных деталей, в комплект которых входят болты различных диаметров и втулки к ним; пластины и ползуны из разных материалов с различной шероховатостью поверхности; торсионный динамометрический ключ; штангенциркуль; стандарты на метрическую резьбу общего назначения; градуировочные графики на динамометр прессы и динамометрический ключ.

Испытательная машина (рисунок 2) состоит из пустотелого основания 1, к которому прикреплены две стойки 5 с поперечиной 9. Испытуемый узел 6 крепится к столу 4, соединенному с винтом нагружения 3. Перемещение стола вверх или вниз, соответствующее сжатию и растяжению испытуемого узла осуществляется при помощи червячно-винтового редуктора 2, приводимого во вращение от руки посредством маховичка 12. Подготовка испытуемого узла к нагружению осуществляется при помощи установочного винта 10, приводимого во вращение маховиком 11. Величина усилия, приложенного к испытуемому узлу, фиксируется при помощи динамометрического кольца 7 и индикатора часового типа 8.

Приспособление ДМ23 (рисунок 3) состоит из основания 1, двух щек 3 и 11, набора сменных пластин 6. Щеки, пластины и ползун 8 соединяются стяжным болтом 4, который центрируется в отверстиях деталей сменными втулками 5, 9. Щеки соединены с основанием 1 осью 2, которая зафиксирована от выпадения пластиной 12.

Объектом исследования в данном приспособлении принято соединение, состоящее из ползуна 8, сжатого с обеих сторон сменными пластинами 6, выполненными из различных материалов и с разной степенью шероховатости контактирующих поверхностей.

Усилие, прикладываемое к соединению, контролирует по индикатору и градуировочному графику (рисунок 5) кольцевого динамометра, установленного на прессе, а усилие затяжки болта – по индикатору динамометрического ключа и градуировочному графику (рисунок 4).

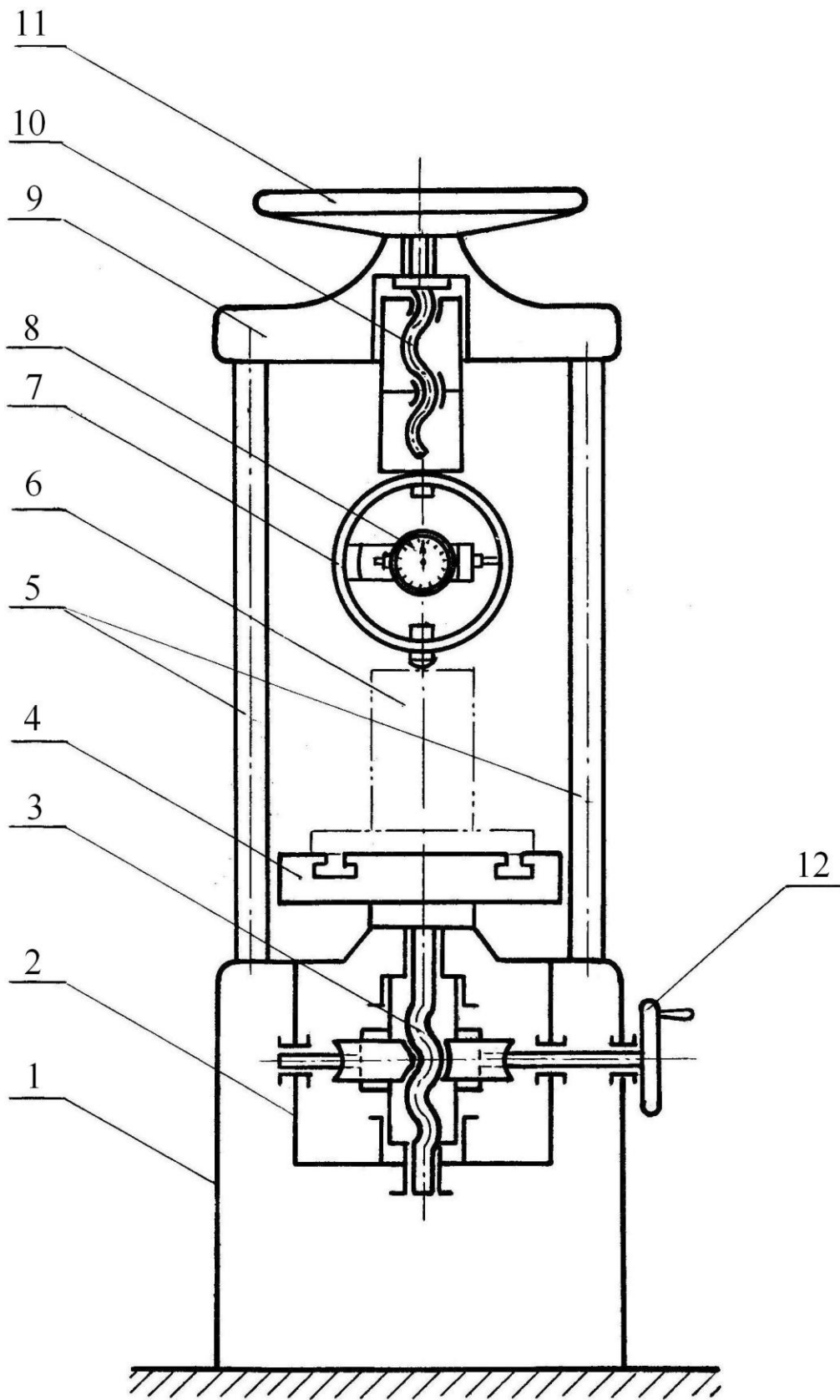


Рисунок 2 – Испытательная машина

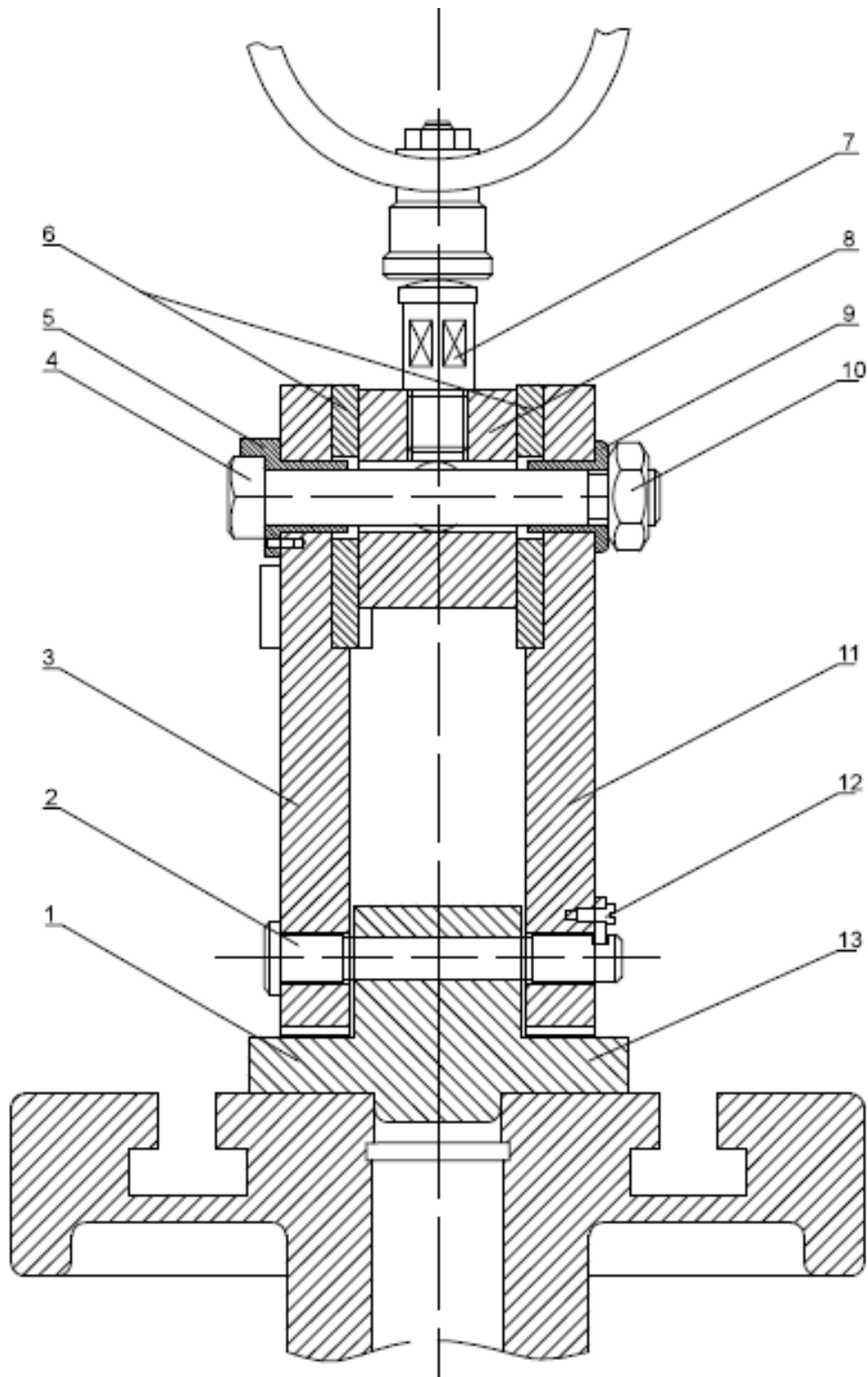


Рисунок 3 – Приспособление ДМ23

4 Порядок выполнения работы

1. Выдается болт с гайкой, ползун, пластины заданной шероховатости и соответствующие втулки для болта.
2. По СТ СЭВ 182-75 и путем измерения болта и диаметра отверстия втулки со стороны гайки, а также расчетом определить необходимые параметры соединения и занести их в таблицу 1 отчета.
3. Определить силу затяжки $F_{\text{зат}}$ соединения, которая не должна превышать допускаемую силу затяжки болта $[F_{\text{зат}}]$:

$$F_{\text{зат}} \leq [F_{\text{зат}}].$$

4. По формуле (2) определить $T_{\text{зав}}$, соответствующий $[F_{\text{зат}}]$, взять от него доли величиной указанной ниже и занести их в таблицу 2.
5. По градуировочному графику (рисунок 4) определить соответствующие моментам затяжки показания индикатора ключа и занести их в таблицу 2.
6. Собрать приспособление, установить его на стол прессы и закрепить.
7. Последовательно осуществить затяжку болта до моментов $0,2T_{\text{зав}}$, $0,4T_{\text{зав}}$, $0,6T_{\text{зав}}$, $0,8T_{\text{зав}}$ и $1,0T_{\text{зав}}$. Для каждого случая определить экспериментальное значение предельной сдвигающей силы. О начале сдвига ползуна свидетельствует остановка стрелки индикатора динамометрического кольца, т.к. известно, что наибольшее показание индикатора соответствует предельному значению трения покоя.
8. После сдвига вновь затянуть болт, увеличив момент завинчивания до следующего значения (без снятия предыдущей затяжки), при этом необходимо следить, чтобы риска на ползуне не вышла за пределы нижней риски на пластине (иначе уменьшится зазор между ползуном и болтом, и болт начнет работать на срез).
9. Освободить ползун (снять затяжку) так, чтобы он сдвинулся вверх, затем опыт повторить, начиная с меньшей силы затяжки $F_{\text{зат}1}$. Провести опыт 5 раз.
10. Данные занести в таблицу 2 отчета. Построить график зависимости предельной экспериментальной сдвигающей силы F_s от силы затяжки.
11. Рассчитать значение предельной теоретической сдвигающей силы F_T по формуле (1) для значений сил затяжки $F_{\text{зат}}$, приведенных в таблице 2 отчета.
12. Построить график зависимости предельной теоретической сдвигающей силы F_T от силы затяжки.



Рисунок 4 – График зависимости деформации от момента динамометрического ключа

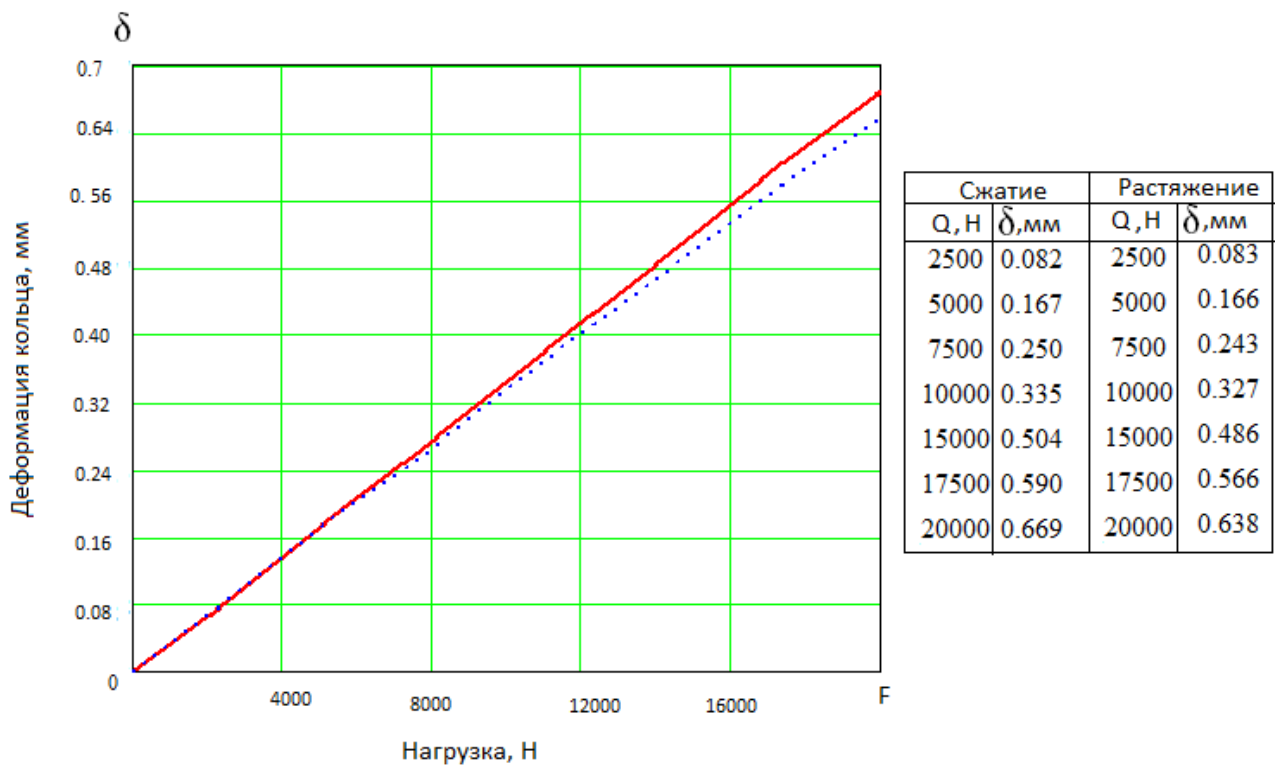


Рисунок 5 – График зависимости деформации от нагрузки

5 Отчет о работе

5.1 Цель работы

5.2 Характеристика исследуемого соединения

Таблица 1

№	Наименование величины, ее размерность	Обозначение	Способ определения	Значение величины
1	Наружный диаметр болта, мм	d	Измерить	
2	Внутренний диаметр резьбы, мм	d ₁	По СТ СЭВ 182-75	
3	Средний диаметр резьбы, мм	d ₂	По СТ СЭВ 182-75	
4	Угол профиля резьбы, град	α	По СТ СЭВ 182-75	
5	Шаг резьбы, мм	p	Измерить	
6	Угол подъема резьбы, град	ψ	$\psi = \arctg \frac{p}{\pi d_2}$	
7	Средний диаметр опорной поверхности гайки, мм	D _{ср}	$D_{ср} = \frac{D_1 + d_{омс}}{2}$	
8	Диаметр наружной опорной поверхности гайки, мм	D ₁	Измерить	
9	Диаметр внутренней опорной поверхности гайки, мм	d _{отв}	Измерить	
10	Площадь опасного сечения болта, мм	A	$A = \frac{\pi d_1^2}{4}$	
11	Допускаемые напряжения растяжения,	[σ _p]	$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[S]}$	
12	Предел текучести материала болта,	σ _T	Задается	
13	Допускаемый коэффициент запаса прочности	[S]	[S]=1,5÷2,5	
14	Коэффициент, учитывающий сложное напряженное состояние болта	k	k=1,25÷1,3	
15	Допускаемая сила затяжки, Н	[F _{зат}]	$[F_{зат}] = A \frac{[\sigma_p]}{k}$	
16	Принятое наибольшее значение силы затяжки, Н	F _{зат max}	F _{зат max} ≤ [F _{зат}]	
17	Шероховатость поверхностей пластин и ползуна, мкм	Ra (Rz)	Задается	
18	Коэффициент трения в резьбе	f _p	Задается	
19	Коэффициент трения на торце гайки	f _T	Задается	
20	Коэффициент трения на стыках	f ₀	Задается	
21	Приведенный угол трения в резьбе, град	ρ'	$\rho' = \arctg \frac{f_p}{\cos \frac{\alpha}{2}}$	

5.3 Принципиальная схема исследуемого соединения
 Схема изображена на рисунке 6.

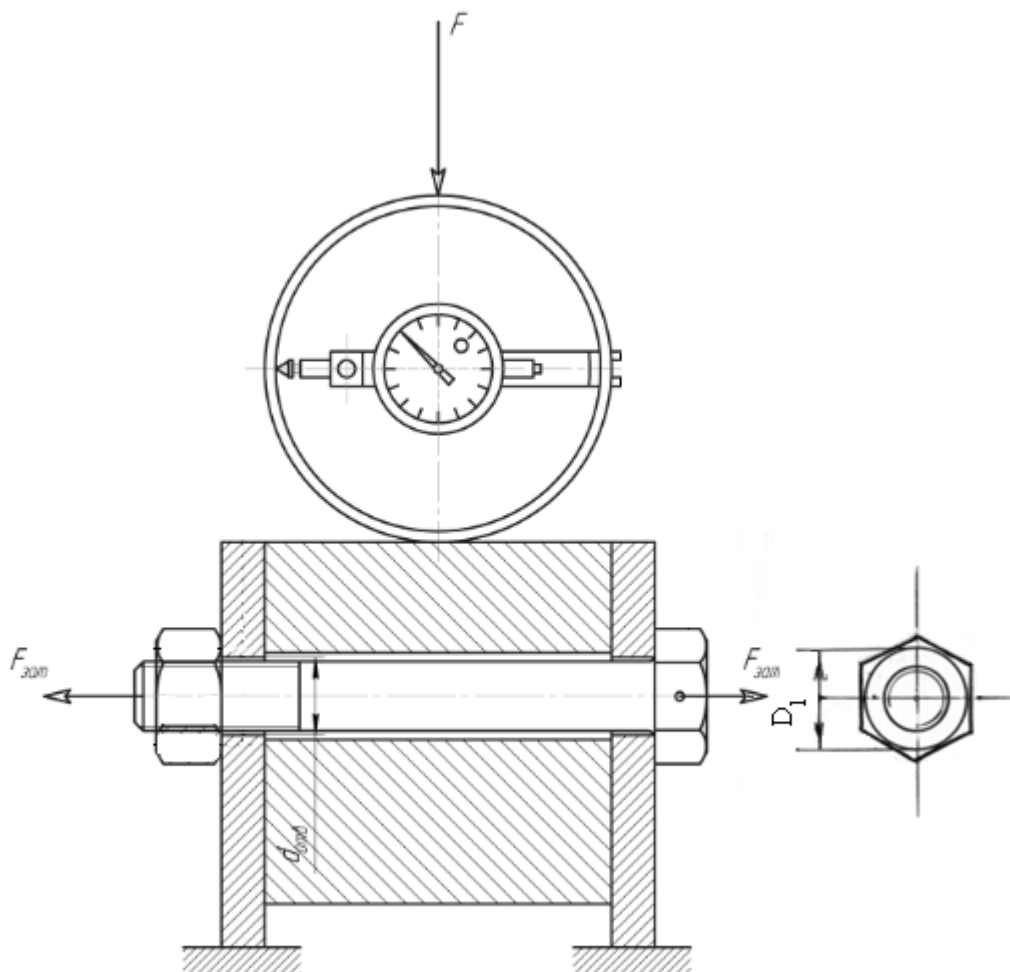


Рисунок 6 – Принципиальная схема исследуемого соединения

5.4 Определение теоретической сдвигающей силы

Таблица 2

Сила затяжки, Н	Момент затяжки, Н·м	Показания индикатора, мм					Величина сдвигающей силы, Н	
		На ключе	На кольце					
			δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_{cp}	F_3
$F_{зат1}$	$T_{зав1}$							
$F_{зат2}$	$T_{зав2}$							
$F_{зат3}$	$T_{зав3}$							
$F_{зат4}$	$T_{зав4}$							
$F_{зат5}$	$T_{зав5}$							

5.5 Построение графиков зависимости экспериментальной и теоретической сдвигающей силы от силы затяжки болта

5.6 Выводы о проделанной работе

Необходимо объяснить полученный разброс точек на графике и почему зависимости экспериментальной и теоретической сдвигающей сил от силы затяжки проходят под различными углами к оси абсцисс.

6 Контрольные вопросы

1. По какому виду деформации (от какой силы она возникает) следует рассчитать болты соединений испытываемой конструкции?
2. От каких факторов зависит способность соединения обеспечивать передачу сдвигающего усилия?
3. Передается ли поперечная нагрузка непосредственно на болт?
4. За счет чего (каких мероприятий) можно увеличить сдвигающую силу при одной и той же затяжке болта?
5. Как определяется сдвигающая сила F при проведении опыта?
6. Как учитываются касательные напряжения в стержне болта при определении наибольшей силы затяжки?
7. Почему на экспериментальных графиках есть разброс точек?
8. Почему прямые зависимости сдвигающей силы F от силы затяжки болта проходят под различными углами к оси абсцисс?
9. Почему на градуировочных графиках зависимость деформации от нагрузки выражена прямой?
10. Запишите условие равновесия испытываемого соединения.
11. Имеют ли практическое применение такие соединения? Если да, то почему?

Список рекомендуемой литературы

1. Иванов М.Н. Детали машин: учебник для вузов/ М.Н. Иванов, В.А.Финогенов. – М.: Высшая школа, 2003.- 305 с.
2. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учебное пособие для техн. спец. вузов/ П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Высшая школа, 2001.- 447 с.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х томах / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2006. – Т. 1-3.