ОПД.Ф.02.04 ДЕТАЛИ МАШИН
ИССЛЕДОВАНИЕ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА СДВИГ

Методические указания к лабораторной работе

Методические указания предназначены для студентов, выполняющих лабораторные работы по деталям машин. Содержат сведения о схемах болтовых соединений, особенностях работы соединений при установке болтов в отверстия с зазором, методике и порядке выполнения лабораторной работы, а также необходимый справочный материал. Лабораторная работа рассчитана на два академических часа.

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения относительной неподвижности двух или нескольких деталей широко используются резьбовые соединения, осуществляемые с помощью болта и гайки, шпильки и гайки или винта. Значительная часть резьбовых соединений применяется для обеспечения неподвижности деталей, нагруженных сдвигающими силами, действующими в плоскости стыка. Существуют две принципиальные различные схемы установки болтов в данных соединениях: без зазора и с зазором.

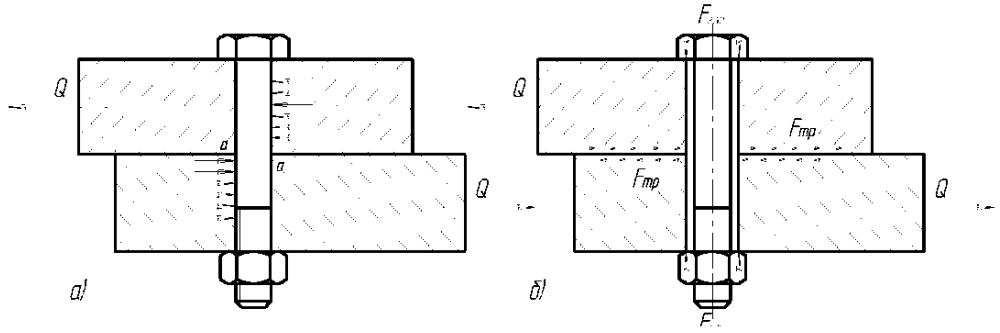


Рис. 1. Схемы установки болтов:
а) болт установлен в отверстие без зазора ;
б) болт установлен в отверстие с зазором

Основным критерием работоспособности соединений по схемам (1 ,*а)* и (1, *б)* является отсутствие сдвига соединяемых деталей по плоскости стыка под действием сдвигающей силы Q. В первом случае сдвигу детали препятствует непосредственно стержень болта, работающий на срез. Во втором случае, где между соединяемыми деталями и болтом должен всегда быть зазор, сдвигу деталей препятствуют силы трения $F_{тр}$, возникающие между поверхностями деталей при попытке их относительного смещения.

Силы трения будут иметь место лишь тогда, когда будет создана нормальное давление в стыке сдвигаемых деталей. В рассматриваемом соединении нормальное давление в стыке, т.е. прижатие соединяемых деталей, создается путем предварительной затяжки гайки. К гайке с помощью ключа прикладывается движущий момент завинчивания T. При этом гайка, перемещаясь по болту, сжимает соединяемые детали силой $F_{зат}$. Чем больше момент завинчивания, тем больше сила затяжки, соответственно увеличиваются давление в стыке и силы трения $F_{тр}$, препятствующие сдвигу, при действии сдвигающей силы Q. Относительное смещение деталей в данном соединении, означающее нарушение его работоспособности, произойдет в том случае, когда сдвигающая сила Q превысит силы трения в плоскости стыка. Это значение силы Q будем называть предельной сдвигающей силой. В данной лабораторной работе изучаются зависи-

мости предельной сдвигающей силы от момента завинчивания резьбового соединения.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

1. 1. Цель работы:
Исследование физических основ взаимодействия деталей в болтовом соединении, работающем на сдвиг.
1. 2. Задачи:
1. 2. 1. Определение параметров и идентификация резьбы по установленному образцу (болту).
1. 2. 2. Изучение особенностей работы соединения и нагруженности болта в соединении, работающем на сдвиг при установке болта с зазором.
1. 2. 3. Уяснение соотношений, связывающих момент завинчивания резьбового соединения с величиной силы затяжки и максимальной силой трения в соединении.
1. 2. 4. Экспериментальное определение сдвигающей силы при различных величинах моментах затяжки резьбового соединения.
1. 2. 5. Сопоставление величины экспериментальной сдвигающей силы с рассчитанной максимальной силой трения в соединении колодки и пластин.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Момент завинчивания T, создаваемый гаечным ключом, при затяжке резьбового соединения преодолевает момент сопротивления в резьбе $T_р$ и момент сил трения на торце гайки $T_т$:

$$T = T_p + T_т . \qquad (1)$$

Момент сопротивления в резьбе может быть вычислен по известной [2, 3] зависимости:

$$T_p = F_{зат} \frac{d_2}{2} tg(\varphi' + \psi), \qquad (2)$$

где $F_{зат}$ – сила затяжки резьбового соединения (сила, сжимающая детали), Н;
d_2 – средний диаметр резьбы, мм, выбирается по таблице в приложении 2;
φ' – приведенный угол трения в треугольной резьбе; ψ – угол подъема винтовой линии резьбы на среднем диаметре d_2, выбирается по таблице в приложении 2.

$$\left.\begin{aligned} \varphi' &= arctg\, f' \\ f' &= \frac{f_P}{Cos\frac{\alpha}{2}}, \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

где f_p – коэффициент трения в резьбе; $f_p = (0{,}1..0{,}3)$, в данной работе принимается $f_p = 0{,}15$; α – угол профиля резьбы, для метрической резьбы $\alpha = 60°$.

Момент сил трения на торце гайки можно определить по приближенной формуле:

$$T_m = F_{зат} \cdot f_m \cdot \frac{D_1 + d_0}{4}, \qquad (4)$$

где f_m – коэффициент трения в паре гайка-деталь, $f_m = 0{,}1..0{,}3$, в данной работе $f_m = 0{,}15$; D_1 – больший диаметр опорной кольцевой поверхности гайки, равный размеру под ключ, мм, измеряется при опыте (рис. 4); d_0 – меньший диаметр опорной кольцевой поверхности гайки или диаметр отверстия, мм, измеряется при опыте (рис. 4).

Рассматривая совместно зависимости (1), (2) и (4), можно вывести теоретическую формулу, позволяющую определить силу затяжки $F_{зат}$ по известной величине момента завинчивания T:

$$F_{зат} = \frac{T}{\frac{d_2}{2} tg(\varphi' + \psi) + f_m \frac{D_1 + d_0}{4}}. \qquad (5)$$

Предельная сдвигающая сила в затянутом соединении, работающем на сдвиг, приводящая к нарушению его работоспособности, равна силам трения $F_{тр}$ на стыках сжатых деталей. Ее величина теоретически может быть определена по формуле:

$$Q_m = F_{тр} = F_{зат} \cdot f \cdot i \qquad (6)$$

где f – коэффициент трения между поверхностями соединяемых деталей, также принимается $f = 0{,}15$; i – число пар поверхностей трения (число стыков), в данной установке $i = 2$.

3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Лабораторная работа выполняется на установке, представляющей собой модель резьбового соединения, работающего на сдвиг. Установка смонтирована на специальном прессе, позволяющем нагружать соединение сдвигающей силой и контролировать её величину. Затяжка резьбового соединения осуществляется динамометрическим ключом, позволяющим одновременно контролировать величину прилагаемого к гайке момента. Геометрические параметры резьбового соединения измеряются с помощью штангенциркуля.

Лабораторная установка (рис. 2) состоит из двух пластин 9, между которыми помещена колодка 6. Пластины закрепляются на основании 10 с помощью оси. Основание установлено на столе пресса 11. Испытуемым соединением является соединение колодки с пластинами, затянутое с помощью болта 8 и гайки 7.

Диаметр отверстия в колодке значительно больше диаметра болта. Этим обеспечивается достаточно большой зазор в соединении, и позволяет колодке сдвигаться относительно пластин при нагружении соединения силой Q, создаваемой прессом.

Пресс состоит из основания 13, в котором смонтирован механизм точной подачи стола 11, приводимый в движение маховиком точной подачи 12; траверсы 2 с винтовым механизмом установочных перемещений (винт вращается маховиком 1); двух колонн 3, соединяющих траверсу с основанием.

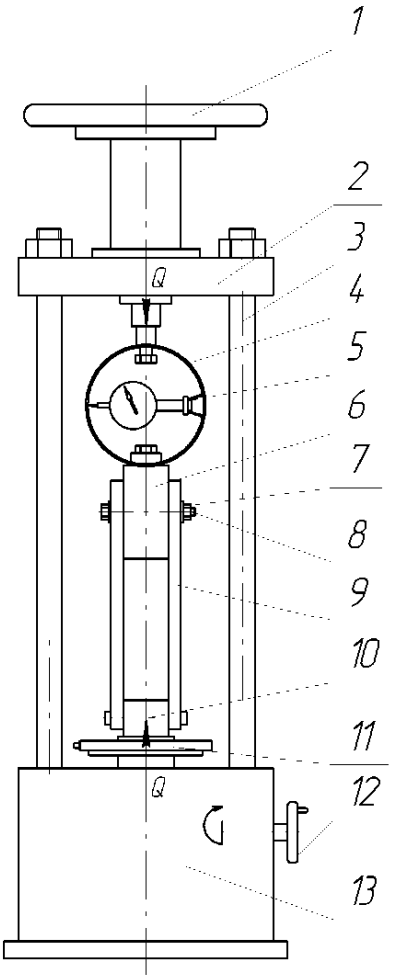


Рис. 2. Схема лабораторной установки

Усилие на колодку 6 передается через кольцевую динамометрическую пружину 4. При приложении нагрузки кольцевая пружина деформируется. Величина деформации пропорциональна приложенной силе Q. Это позволяет по величине

деформации кольца судить о величине приложенной силы. Деформация кольца измеряются индикатором часового типа 5 с ценой деления 0,01 мм. Зависимость между деформацией кольцевой пружины и силой сдвига представлена в виде тарировочного графика динамометрической пружины, закрепленного над лабораторной установкой.

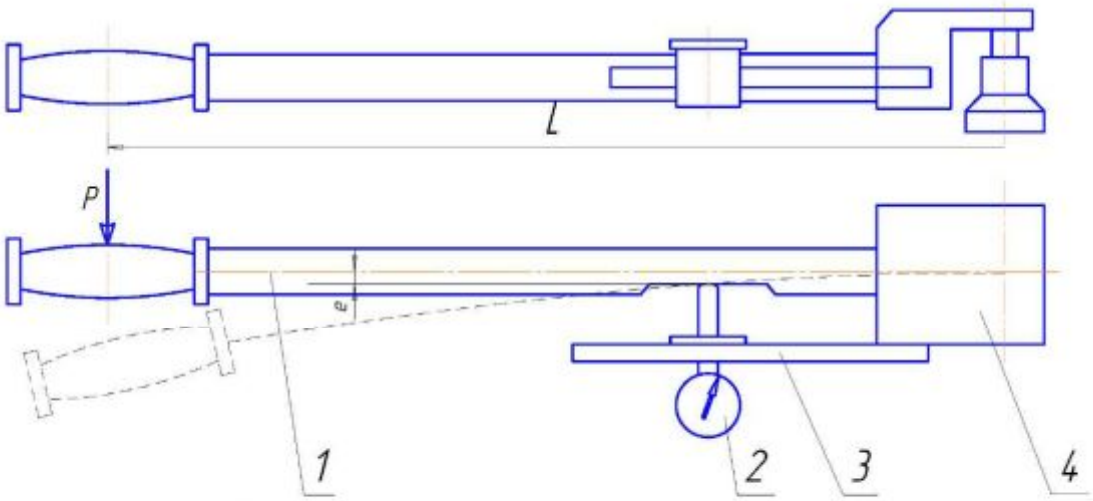


Рис. 3 Схема динамометрического ключа

Гайка 7 резьбового соединения затягивается динамометрическим ключом (рис. 3). Упругим элементом служит сам стержень 1 ключа. По аналогии с динамометрической пружиной, приложенный к гайке момент завинчивания T, определяется величиной прогиба рычага ключа. Прогиб рычага измеряется индикатором 2, закрепленным на планке 3. Планка соединена непосредственно с головкой ключа 4. Зависимость величины прогиба от приложенного момента представлена в виде тарировочного графика ключа. Каждый ключ имеет свой тарировочный график, определяемый номером ключа. Номер ключа обозначен на головке. Тарировочный график динамометрического ключа закреплен над лабораторной установкой.

4. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Не приступайте к работе, не изучив методики и правил техники безопасности.

2. Не приступайте к затяжке резьбового соединения, не согласовав с преподавателем величину максимального момента завинчивания и соответствующую максимальную величину деформации динамометрического ключа, записав их значения в таблицу отчета.

3. Не оставляйте динамометрический ключ на весу, т.е. опирающимся на гайку затягиваемого резьбового соединения, так как при падении ключа индикатор выйдет из строя.

4. Не делайте резких движений, держа в руках динамометрический ключ. Этим вы можете нанести травму товарищу или повредить индикатор.

5. ВНЕАУДИТОРНАЯ ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

5.1. Ознакомиться с содержанием настоящих методических указаний.

5.2. .Уяснить цель работы и принцип действия лабораторной установки и приборов.

5.3. Уяснить смысл и последовательность выполнения работы.

5.4. Изучить соответствующие разделы теоретического курса по конспектам лекций или пособиям, приведенным в списке литературы.

5.5. Подготовить бланк отчета по форме, приведенной в приложении 1, который должен содержать следующее:

- цель и задачи работы;
- основные расчетные зависимости (основные положения);
- эскиз болтового соединения с указанием основных геометрических параметров (рис. 4);
- схему лабораторной установки (рис. 2);
- таблицу для записи основных геометрических параметров соединения (табл. 1);
- таблицу для записи и обработки результатов измерений и расчетов (табл. 2);
- координатную сетку для построения требуемых графических зависимостей;

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6. 1. Отвернуть ключом гайку 7 (рис. 2), измерить наружный диаметр резьбы и, согласовав его со стандартным рядом номинальных диаметров d в справочной таблице приложения 2, записать в таблицу отчета (табл. 1 в приложении 1 «Оформление отчета»).

6. 2. Определить шаг резьбы p, для чего, отсчитав десять шагов, измерить расстояние между вершинами соответствующих витков и результат измерения разделить на десять. Согласовать величину шага со стандартным рядом в приложении 2. По стандартному шагу и номинальному диаметру оп-

ределить угол подъема винтовой линии ψ и средний диаметр резьбы d_2. Записать их значения в таблицу отчета.

6. 3. Измерить и записать в таблицу параметров резьбы диаметр отверстия в пластине d_0 и больший диаметр кольцевой опорной поверхности гайки D_1 (рис. 4).

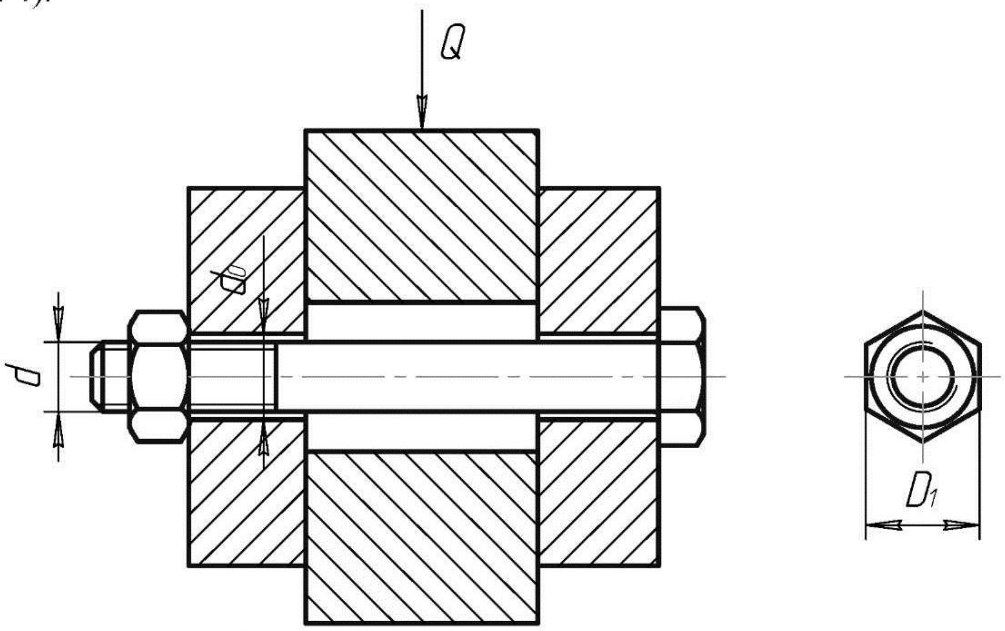


Рис. 4. Схема болтового соединения

6. 4. Для данного болта по таблице 6.1 выбрать моменты завинчивания T_1, T_2, T_3, T_4, Н·м, и записать их в таблицу для записи и обработки результатов эксперимента (табл. 2 в приложении 1).

6. 5. По тарировочному графику динамометрического ключа определить, соответствующие выбранным моментам T_1, T_2, T_3, T_4, величины деформаций динамометрического ключа и записать их в таблицу отчета.

Таблица 6. 1.

Моменты завинчивания

Номинальный диаметр резьбы, мм	Момент завинчивания, Н·м			
	T_1	T_2	T_3	T_4
10	2,5	5,0	7,5	10,0
12	5,0	10,0	15,0	20,0
14	8,0	16,0	24,0	32,0
16	11,0	22,0	33,0	44,0
18	15,0	30,0	45,0	60,0
20	25,0	50,0	75,0	100,0

6. 6. Согласовать величины деформаций динамометрического ключа и соответствующие показания индикатора ключа с преподавателем.

6. 7. Перед затяжкой болтового соединения убедиться, что риска на колодке совпадает с верхней риской на боковой пластинке или выше ее. В ходе выполнения работы не допускать такого положения колодки, когда риска на ней будет совпадать или находиться ниже риски на боковой пластине. Следует также следить за тем, чтобы риска на столе пресса не выходила за пределы, выделенные рисками на колонне пресса.

6.8. Проверить, совпадает ли в ненагруженном состоянии стрелки индикаторов ключа и кольцевой пружины с нулевыми делениями шкал.

6.9. Затянуть гайку с моментом T_1, контролируя момент завинчивания по индикатору ключа. Затяжку производить плавно, без рывков.

6.10. Вращая маховик винта установочных перемещений, выбрать зазоры в соединениях. Медленно вращать маховик до тех пор, пока не дрогнет стрелка индикатора кольцевой пружины.

6.11. Плавно вращая маховик точной подачи 12, нагружать соединение до сдвига колодки. При подаче стола вверх кольцевая пружина, сжимаясь, увеличивает силу давления на колодку. Деформация пружины измеряется индикатором 9. Момент сдвига колодки фиксируется по скачку и остановке стрелки индикатора пружины. Записать показания индикатора, соответствующее моменту сдвига, в таблицу отчета в строку Δ_1 (табл. 2 в приложении 1).

6.12. Не ослабляя затяжки и не сбивая настойку индикатора пружины, увеличить динамометрическим ключом затяжку гайки до момента T_2.

6.13. Подачей стола постепенно увеличивать силу давления и по показанию индикатора (по аналогии с п. 6.11) зафиксировать деформацию пружины, соответствующую предельной силе сдвига при данном моменте затяжки. Записать показания индикатора пружины в таблицу отчета.

6.14. Увеличивая последовательно моменты затяжки до величин T_3 и T_4, определить величины деформации пружины, соответствующие предельным сдвигающим силам. Записать показания индикатора в строку Δ_1.

6.15. Полностью ослабить затяжку винтового соединения. Убедиться, что стрелка индикатора пружины вернулась в нулевое положение. Повторить весь эксперимент, затягивая гайку последовательно с теми же моментами T_1, T_2, T_3, и T_4. Записать показания индикатора пружины, соответствующие предельной сдвигающей силе при каждом моменте завинчивания, в строку Δ_2.

6.16. Повторить эксперимент еще раз с теми же моментами затяжки, записав показания индикатора в строку Δ_3.

6.17. Ослабить гайку и сдать динамометрический ключ лаборанту или преподавателю.

6.18. Для каждого момента завинчивания вычислить среднее значение величины деформации пружины при сдвиге колодки:

$$\Delta_{cp} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3}{3}. \qquad (7)$$

Записать результат в таблицу отчета в строку $\Delta_{ср}$.

6.19. Используя тарировочный график динамометрической пружины, определить по средним значениям величины деформации пружины соответствующие значения экспериментальной предельной сдвигающей силы $Q_э$ для каждого момента затяжки. Записать результат в таблицу.

6.20. По формуле (5) вычислить силу затяжки болта $F_{зат}$ при каждом моменте завинчивания T_1, T_2, T_3, и T_4. Записать результаты расчета в таблицу. Для момента T_3 весь цикл расчета с подстановкой численных значений в формулы привести в отчете, для остальных моментов записать в таблицу только конечный результат.

6.21. По формуле (6) вычислить теоретическую величину предельной сдвигающей силы $Q_т$ для каждого значения силы $F_{зат}$. Записать результаты расчета в таблицу.

6. 22. По данным эксперимента и расчетов построить на одной координатной сетке зависимости $Q_m = f(T)$ и $Q_э = f(T)$.

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

7. 1. Чем отличается характер работы на сдвиг болтового соединения при установке болтов в отверстия с зазором и без зазора?

7. 2. Основные достоинства и недостатки схем установки болтов с зазором и без зазора.

7. 3. Основные параметры метрической резьбы. Уметь расшифровать обозначение резьбы по ГОСТу.

7. 4. Какие факторы влияют на моменты завинчивания при затяжке резьбового соединения?

7. 5. Какие факторы влияют на нагрузочную способность болтового соединения, работающего на сдвиг при установке болтов с зазором?

7. 6. Как осуществляется нагружение болтового соединения в данной работе?

7. 7. Принцип работы динамометрического ключа.

7. 8. Принцип измерения сил с помощью динамометрической пружины.

7. 9. За счет чего можно увеличить предельную сдвигающую силу, не изменяя момента завинчивания?

7. 10. Основные элементы и принцип работы лабораторной установки.

7. 11. Понятие коэффициента трения и приведенного коэффициента трения в резьбе треугольного профиля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Решетов Д. Н. «Детали машин». М.: Машиностроение, 1989, с. 105-107, 111-112.

2. Иванов М. Н.. «Детали машин». М.: Высшая школа, 1998, с. 36-37; 50-51.

3. Иванов М. П., Финогенов В. А. «Детали машин». М.: Высшая школа, 2003, с. 28-31, 36-39.

4. Анурьев В. И. «Справочник конструктора-машиностроителя»: Т. I.–7-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992, с. 555.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Оформление отчета.

1. Отчет выполняется на листах формата А4 (210×297 мм.).

2. Титульный лист оформляется в полном соответствии с установленными требованиями (см. образец на стенде в зале курсового проектирования и в лаборатории).

3. Лист отчета заполняется с одной стороны. Эскизы, схемы, графики выполняются карандашом.

4. Отчет должен содержать:

а) цель и задачи работы;

б) основные расчетные зависимости (формулы 1-6 с описанием всех параметров, в них входящих);

в) схему лабораторной установки (рис. 2);

г) эскиз болтового соединения (рис. 4);

д) таблицу основных геометрических параметров соединения (табл. 1);

е) таблицу результатов измерений (табл. 2);

ж) график зависимостей $Q_г = f(T)$ и $Q_э = f(T)$;

з) выводы по работе.

Таблица 1

Параметры резьбового соединения

Тип резьбы	d, мм	d_2, мм	p, мм	ψ, град	α, град	d_0, мм	D_1, мм

Выводы по работе должны отражать характер зависимости предельной сдвигающей силы от момента затяжки резьбового соединения и объяснять возможное отличие величины предельной сдвигающей силы, полученной теоретически и экспериментально.

Таблица 2

Результаты замеров и расчетов

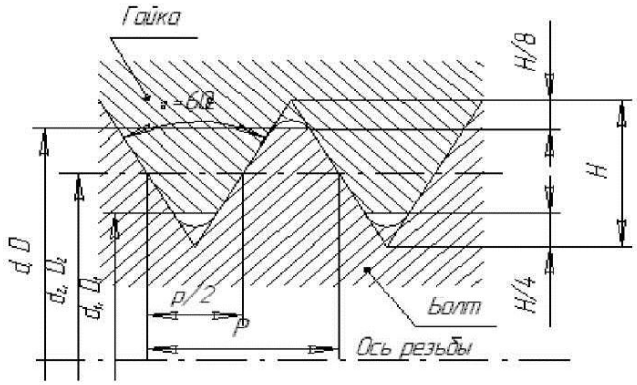
Момент завинчивания	Н·мм	T_1-	T_2-	T_3-	T_4-
	Показания инд. ключа, мм				
Показания индикатора кольцевой пружины пресса	Δ_1, мм				
	Δ_2, мм				
	Δ_3, мм				
Среднее значение	$\Delta_{ср}$, мм				
Предельная сила сдвига (экспериментально)	$Q_э$, Н				
Сила затяжки	$F_{зат}$,Н				
Предельная сила сдвига (теор.)	$Q_Т$, Н				

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Резьба метрическая

Основные размеры метрической резьбы

(по СТ СЭВ 180-75 и СТ СЭВ 182-75)



Наружный диаметр резьбы d, мм			10	12	14	16	18	20
Резьбы с крупным шагом		Шаг резьбы P, мм	1,5	1,75	2	2	2,5	2,5
		Средний диаметр d_2, мм	9,026	10,863	12,701	14,701	16,376	18,376
		Внутренний диаметр d_1, мм	8,376	10,106	11,835	13,835	15,294	17,294
		Угол подъема резьбы Ψ, град	$3^0 02'$	$2^0 55'$	$2^0 52'$	$2^0 28'$	$2^0 47'$	$2^0 29'$
Резьбы с мелким шагом	P=0,5 мм	Средний диаметр d_2, мм	9,675	11,675	13,675	15,675	17,675	19,675
		Внутренний диаметр d_1, мм	9,459	11,459	13,459	15,459	17,459	19,459
		Угол подъема резьбы Ψ, град	$0^0 57'$	$0^0 47'$	$0^0 40'$	$0^0 35'$	$0^0 34'$	$0^0 32'$
	P=075 мм	Средний диаметр d_2, мм	9,513	11,513	13,513	15,513	17,513	19,513
		Внутренний диаметр d_1, мм	9,188	11,188	13,188	15,188	17,188	19,188
		Угол подъема резьбы Ψ, град	$1^0 26'$	$1^0 11'$	$1^0 01'$	$0^0 53'$	$0^0 47'$	$0^0 43'$
	P=1,0 мм	Средний диаметр d_2, мм	9,350	11,350	13,350	15,350	17,350	19,350
		Внутренний диаметр d_1, мм	8,918	10,918	12,918	14,918	16,918	18,918
		Угол подъема резьбы Ψ, град	$1^0 56'$	$1^0 36'$	$1^0 22'$	$1^0 11'$	$1^0 03'$	$0^0 57'$
	P=1,5 мм	Средний диаметр d_2, мм	9,026	11,026	13,026	15,026	17,026	19,026
		Внутренний диаметр d_1, мм	8,376	10,376	12,376	14,376	16,376	18,376
		Угол подъема резьбы Ψ, град	$3^0 02'$	$2^0 28'$	$2^0 05'$	$1^0 49'$	$1^0 36'$	$1^0 26'$

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение……4
1. Цель и задачи работы……..5
2. Основные положения……..5
3. Приборы и оборудование……6
4. Правила безопасного выполнения работы……8
5. Внеаудиторная подготовка к выполнению работы……..9
6. Порядок выполнения работы……..9
7. Вопросы для самопроверки……12
8. Библиографический список……13
ПРИЛОЖЕНИЕ 1……14
ПРИЛОЖЕНИЕ 2……16