

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

Машиностроительный факультет
Кафедра «Технология машиностроения»

Отчет по лабораторной работе №1

Тема: Определение погрешности базирования при установке
цилиндрических заготовок в призме

Выполнил: студент гр. АП-31
Сальников С.Д.

Принял преподаватель
Акулова Н.М.

Гомель 2022

Лабораторная работа № 1

Цель работы: Исследование влияния допуска на изготовление или погрешности диаметрального размера заготовки и угла призмы на погрешность базирования при установке цилиндрических заготовок в призме и анализ способов уменьшения этой погрешности.

Основные положения

При установке партии цилиндрических заготовок с диаметральным размером D_{-T}^0 в призме (рис.1) погрешности базирования при обработке поверхностей с размерами, проставленными на чертеже от разных конструкторских баз, на настроенном станке будут определяться по следующим формулам:

- для размеров, проставленных от нижней точки цилиндрической поверхности

$$\varepsilon_{Бн} = \frac{T}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha / 2} - 1 \right) \quad (1),$$

- для размеров, проставленных от оси цилиндрической поверхности

$$\varepsilon_{Бс} = \frac{T}{2 \cdot \sin \alpha / 2} \quad (2),$$

- для размеров, проставленных от верхней точки цилиндрической поверхности

$$\varepsilon_{Ба} = \frac{T}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha / 2} + 1 \right) \quad (3),$$

где $\varepsilon_{Бн}$, $\varepsilon_{Бс}$, $\varepsilon_{Ба}$ - погрешность базирования при обработке (измерении) размеров h ,

s , a (рис.1а);

T – допуск на диаметр D заготовки;

α - угол призмы.

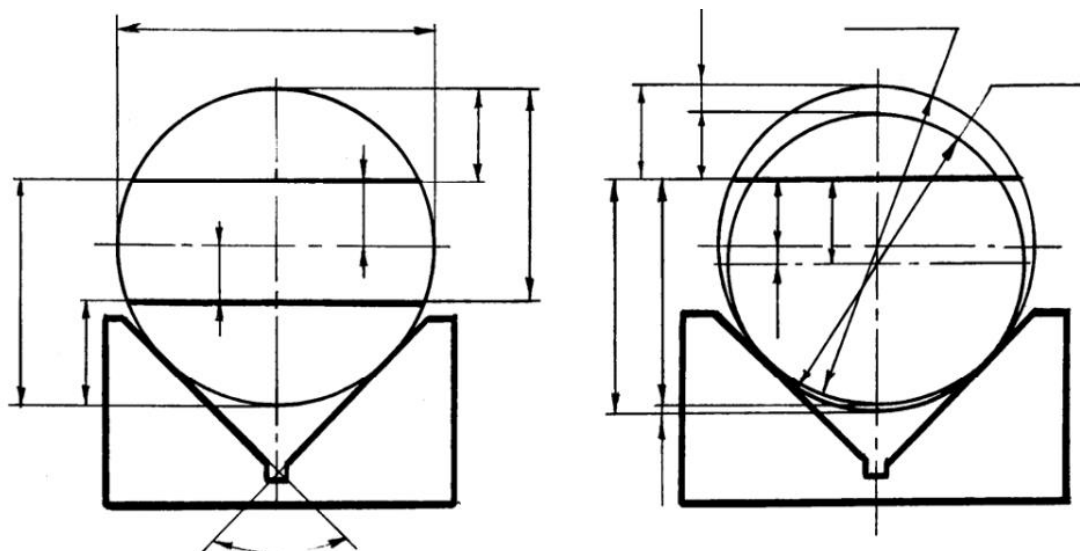


Рисунок 1 – Схема образования погрешностей базирования $\varepsilon_{Бн}$, $\varepsilon_{Ба}$, $\varepsilon_{Бс}$

					<i>Лабораторная работа № 1</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Кафедра «Технология машиностроения» ГГТУ им. П.О. Сухого АП-31		
Разраб.							
Провер.	Акулова						
Реценз.							
Н. контр.							
Утв.							
					Лит.	Лист	Листов
						1	4

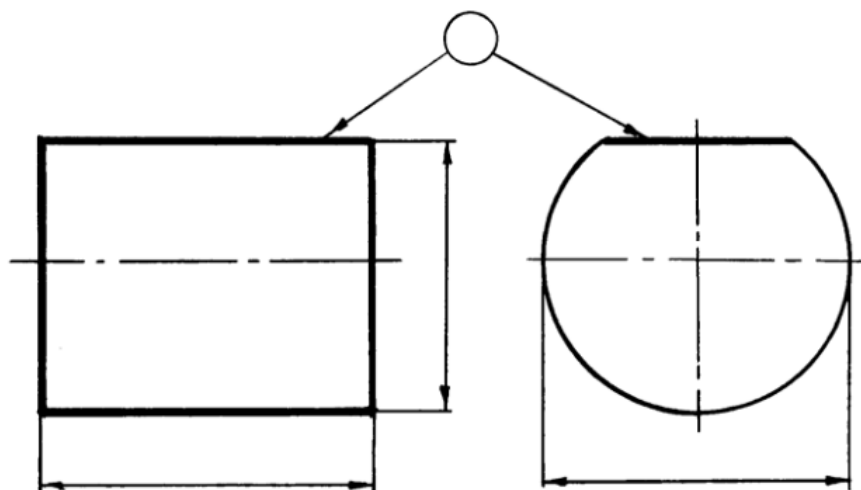


Рисунок 2 – Эскиз заготовки

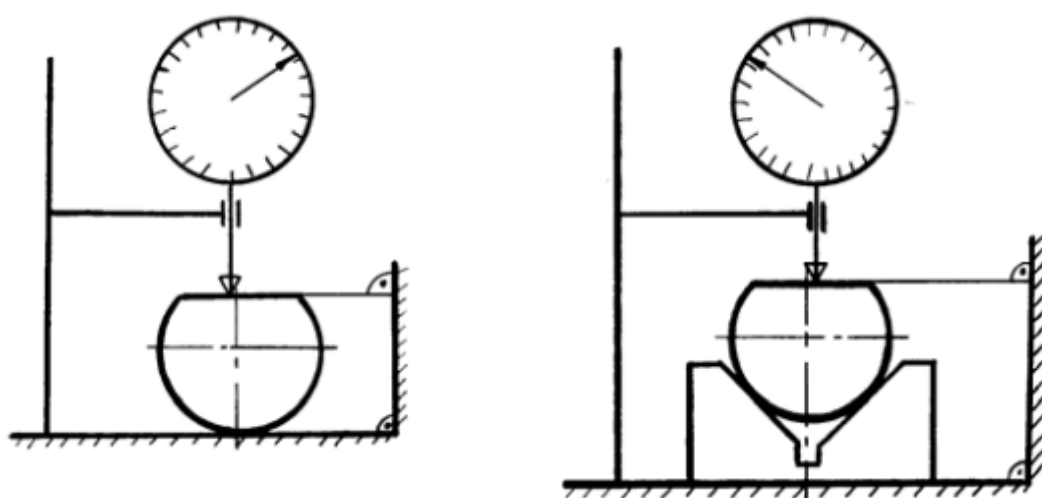


Рисунок 3 – Схемы измерения отклонений положения поверхности А при установке на плоскость (а) и в призму (б)

Таблица 1 – Результаты измерений, мм

Номер заготовки	Фактические значения размеров		Отклонение положения поверхности А при базировании			
	D	h	в призме $\alpha = 60^\circ$	в призме $\alpha = 90^\circ$	в призме $\alpha = 120^\circ$	На плоскости $\alpha = 180^\circ$
1.	30,38	27,15	0,04	0,08	0,09	0,05
2.	30,21	27,16	0,06	0,04	0,03	0,03
3.	30,21	27,17	0,03	0,11	0,04	0,04
4.	30,09	27,16	0,03	0,09	0,02	0,03
5.	30,19	27,15	0,06	0,07	0,03	0,04
6.	30,20	27,24	0,06	0,12	0,14	0,04

7.	30,24	27,16	0,06	0,04	0,14	0,05
8.	30,24	27,16	0,12	0,06	0,21	0,03
9.	30,17	27,17	0,04	0,08	0,15	0,06
10.	30,11	27,16	0,10	0,11	0,18	0,03
11.	30,24	27,16	0,10	0,10	0,13	0,06
12.	30,16	27,16	0,12	0,07	0,14	0,05
13.	30,18	27,15	0,06	0,14	0,13	0,04
14.	30,14	27,15	0	0	0	0

$$\varepsilon_{\text{Бh}} = \frac{T}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha / 2} - 1 \right) \quad \varepsilon_{\text{Бh}} 60^\circ = 0,09; \varepsilon_{\text{Бh}} 90^\circ = 0,37; \varepsilon_{\text{Бh}} 120^\circ = 0,014; \varepsilon_{\text{Бh}} 180^\circ = 0.$$

$$\varepsilon_{\text{Бс}} = \frac{T}{2 \cdot \sin \alpha / 2} \quad \varepsilon_{\text{Бс}} 60^\circ = 0,18; \varepsilon_{\text{Бс}} 90^\circ = 0,13; \varepsilon_{\text{Бс}} 120^\circ = 0,1; \varepsilon_{\text{Бс}} 180^\circ = 0,09.$$

$$\varepsilon_{\text{Ба}} = \frac{T}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha / 2} + 1 \right) \quad \varepsilon_{\text{Ба}} 60^\circ = 0,27; \varepsilon_{\text{Ба}} 90^\circ = 0,22; \varepsilon_{\text{Ба}} 120^\circ = 0,19; \varepsilon_{\text{Ба}} 180^\circ = 0,18.$$

Определяем поле рассеяния размера h

$$\omega_i = X_{\max i} - X_{\min i}$$

$$\omega_h = 27,24 - 27,15 = 0,09 \text{ мм}$$

$$\omega_D = 30,38 - 30,09 = 0,29 \text{ мм}$$

Определяем поле рассеяния диаметра заготовки

$$K_p = \omega_D / T = 0,29 / 0,18 = 1,61 \text{ мм}$$

На основе проведенных измерений определить погрешности базирования при установке заготовок в призмы с углами 60° , 90° , 120° и 180°

$$\varepsilon_{\text{Бh}2} = \omega_{\text{Бh}2} - \omega_{\text{Бh}1}$$

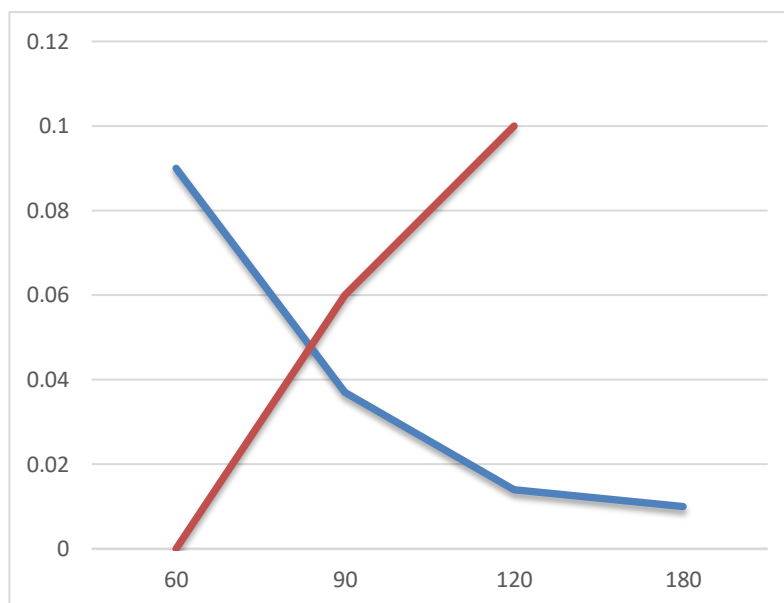
$$\varepsilon_{\text{Бh}2} 60^\circ = 0,09 - 0,09 = 0 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\text{Бh}2} 90^\circ = 0,1 - 0,09 = 0,01 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\text{Бh}2} 120^\circ = 0,19 - 0,09 = 0,1 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\text{Бh}2} 180^\circ = 0,03 - 0,09 = -0,06 \text{ мм}$$

Строим график зависимости погрешности базирования от угла призмы (60°, 90°, 120° и 180°)



Вывод: Исследовал влияние допуска на изготовление или погрешности диаметрального размера заготовки и угла призмы на погрешность базирования при установке цилиндрических заготовок в призме и анализ способов уменьшения этой погрешности. Провёл необходимые вычисления по формулам, а также построил график зависимости.

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

Машиностроительный факультет
Кафедра «Технология машиностроения»

Отчет по лабораторной работе №2

Тема: Исследование погрешностей при установке заготовок на
плоскость и два пальца

Выполнил: студент гр. АП-31
Сальников С.Д.

Принял: преподаватель
Акулова Н.М.

Гомель 2022

Лабораторная работа № 2

Цель работы: Исследование схемы установки на плоскость и два пальца с изучением факторов, влияющих на величину погрешности установки в указанной схеме.

Основные положения

Схема базирования заготовки по плоскости и двум точным отверстиям, из которых одним отверстием заготовка устанавливается на цилиндрический палец, а другим на срезанный (ромбический), приведена на рис.1. Эта схема базирования часто применяется при обработке плит, корпусов, картеров; при установке сменных наладок в таких системах приспособлений как универсально-наладочные приспособления (УНП), специализированные наладочные приспособления (СНП), а также при установке приспособлений спутников на автоматических линиях.

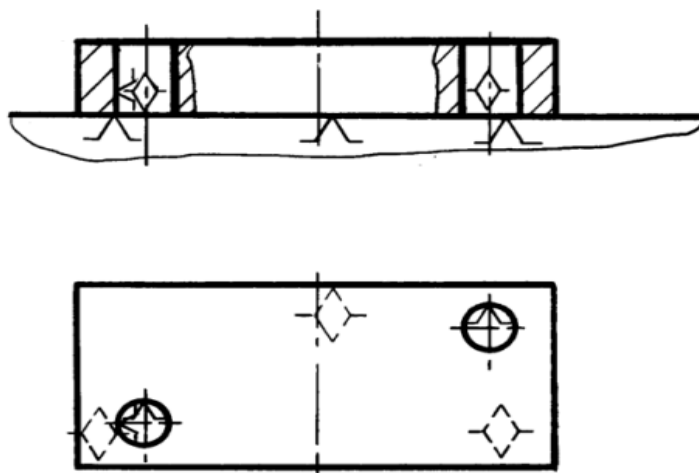


Рисунок 1 – Схема базирования при установке на плоскость и два пальца

					Лабораторная работа № 2					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Кафедра «Технология машиностроения»			Лит.	Лист	Листов
Разраб.										
Провер.	Акулова								1	5
Реценз.								ГГТУ им. П.О. Сухого АП-31		
Н. контр.										
Утв.										

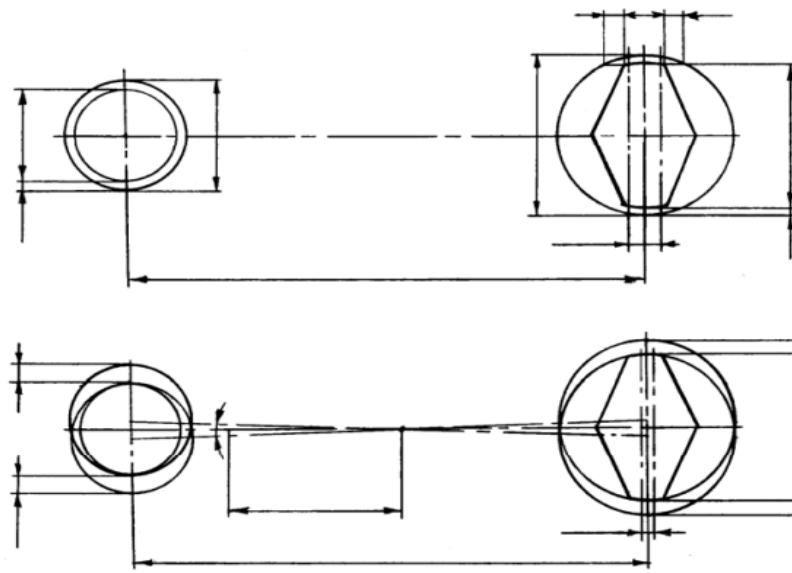


Рисунок 2 – Схема установки заготовки на плоскость и два пальца:
a – при симметричном расположении пальцев в отверстиях; *б* – при наличии максимального угла поворота α

Срезанный палец устанавливается так, чтобы большая ось его была перпендикулярна к линии, соединяющей центры отверстий заготовки, что дает возможность устанавливать на пальцы любую заготовку с отверстиями тех же размеров и с расстоянием между ними в заданных пределах. Зазор между отверстием и срезанным пальцем в направлении линии, соединяющей центры отверстий, позволяет в некоторых пределах ($\pm x$) компенсировать отклонения расстояний между осями отверстий устанавливаемой заготовки и осями пальцев приспособлений (см. рис.2а).

Практическая часть

1. 16js8

$$D_{max} = 16 + 0,0135 = 16,0135 \text{ мм}$$

$$D_{min} = 16 - 0,0135 = 15,9865 \text{ мм}$$

16f6

$$d_{max} = 16 + 0,027 = 16,027 \text{ мм}$$

$$d_{min} = 16 - 0,027 = 15,973 \text{ мм}$$

12js9

$$D_{max} = 12 + 0,0215 = 12,0215 \text{ мм}$$

$$D_{min} = 12 - 0,0215 = 11,9785 \text{ мм}$$

12f6

$$d_{max} = 12 + 0,027 = 12,027 \text{ мм}$$

$$d_{min} = 12 - 0,027 = 11,973 \text{ мм}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Лабораторная работа № 2

Лист

16js7

$$D_{max} = 16 + 0,009 = 16,009 \text{ мм}$$

$$D_{min} = 16 - 0,009 = 15,991 \text{ мм}$$

16f6

$$d_{max} = 16 + 0,027 = 16,027 \text{ мм}$$

$$d_{min} = 15,973 \text{ мм}$$

14f7

$$D_{max} = 14,034 \text{ мм}$$

$$D_{min} = 13,966 \text{ мм}$$

14f6

$$d_{max} = 14,027 \text{ мм}$$

$$d_{min} = 13,973 \text{ мм}$$

2. По эскизу мастер-плиты для заданных номеров отверстий рассчитать максимальные зазоры в соединениях «базовое отверстие – установочный палец»

$$Z_{max} = D_{max} - d_{min}$$

$$Z_{max4}^H = 0,0405 \text{ мм}$$

$$Z_{max9}^C = 0,0485 \text{ мм}$$

$$Z_{max7}^C = 0,036 \text{ мм}$$

$$Z_{max7}^H = 0,061 \text{ мм}$$

3. Рассчитать наибольший угол поворота α

$$\alpha = \arctg \frac{Z_{ц max} + Z_{с max}}{L}$$

$$\alpha = \arctg \frac{0,0405 + 0,0485}{160} = 0,03^\circ$$

$$\alpha = \arctg \frac{0,061 + 0,036}{160} = 0,03^\circ$$

4. Рассчитываем положение центра поворота O

$$O_{ц}O = \frac{Z_{ц max} \cdot L}{Z_{ц max} + Z_{с max}}$$

$$O_{ц}O = \frac{0,0405 \cdot 160}{0,0405 + 0,0485} = 118,3 \text{ мм}$$

					Лабораторная работа № 2	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$O_{ц}O = \frac{0,061 \cdot 160}{0,061 + 0,036} = 163,5 \text{ мм}$$

5. Рассчитываем погрешности установки для двух точек С и D, расположенных на мастер-плите в местах, указанных преподавателем

$$S = 2 \left| \pm \frac{S}{2} \right| = 2 \cdot l \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \approx l \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$S = 103 \cdot \operatorname{tg}(0,03^\circ) = 0,054 \text{ мм}$$

6. Рассчитываем наибольший перекося на 100 мм длины заготовки

$$S_{100} = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot 100 = \operatorname{tg}(0,03^\circ) \cdot 100 = 0,0523 \text{ мм}$$

Экспериментальная часть

1.

$$Z_{\max c} = 0,2 \text{ мм}$$

$$a = 0,02 \text{ мм}$$

$$Z_{\max ц} = 0,12 \text{ мм}$$

$$a = 0,02 \text{ мм}$$

$$Z_{\max ц} = 0,1 \text{ мм}$$

$$b = 0,01 \text{ мм}$$

$$Z_{\max cp} = 0,3 \text{ мм}$$

$$b = 0,28 \text{ мм}$$

2.

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{0,1 + 0,2}{160} = 0,11^\circ$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{0,12 + 0,3}{160} = 0,15^\circ$$

3.

$$O_{ц}O = \frac{0,1 \cdot 160}{0,2 + 0,1} = 53,3 \text{ мм}$$

$$O_{ц}O = \frac{0,12 \cdot 160}{0,12 + 0,3} = 45,7 \text{ мм}$$

4.

$$S_{100} = \operatorname{tg}(0,11^\circ) \cdot 100 = 0,2 \text{ мм}$$

$$S_{100} = \operatorname{tg}(0,15^\circ) \cdot 100 = 0,262 \text{ мм}$$

5.

$$S = 103 \cdot \operatorname{tg}(0,11^\circ) = 0,2 \text{ мм}$$

$$S = 103 \cdot \operatorname{tg}(0,15^\circ) = 0,269 \text{ мм}$$

6.

$$S' = |0,02 - 0,08| = |-0,06 \text{ мм}| = 0,06 \text{ мм}$$

					Лабораторная работа № 2	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$S' = |0,02 - 0,028| = |-0,008 \text{ мм}| = 0,008 \text{ мм}$$

7.

$$\alpha' = \arctg \frac{S'}{P} \approx \frac{S' \cdot 180}{P \cdot \pi} = \frac{0,06 \cdot 180}{100 \cdot \pi} = 0,034^\circ$$

$$\alpha' = \frac{0,008 \cdot 180}{100 \cdot \pi} = 0,046^\circ$$

8.

$$S_{100} = \frac{S' \cdot 100}{P} = \frac{0,06 \cdot 100}{100} = 0,06 \text{ мм}$$

$$S_{100} = \frac{0,08 \cdot 100}{100} = 0,08 \text{ мм}$$

Вывод: Исследовал схемы установки на плоскость и два пальца с изучением факторов, влияющих на величину погрешности установки в указанной схеме. Провели формульный анализ, а также экспериментальный опыт и расчеты.

					Лабораторная работа № 2	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

Машиностроительный факультет
Кафедра «Технология машиностроения»

Отчет по лабораторной работе №3

Тема: Исследование сил закрепления заготовки на магнитной плите

Выполнил: студент гр. АП-31
Сальников С.Д.

Принял преподаватель
Акулова Н.М.

Гомель 2022

Лабораторная работа №2

Цель работы: Ознакомиться с методами исследований сил закрепления заготовок в магнитных приспособлениях. Определить и исследовать зависимости усилий притяжения и сдвига заготовок в магнитном приспособлении от матер

3 Общие положения

Обоснованный подход к проектированию и эксплуатации магнитных приспособлений требует определения его технологических и эксплуатационных возможностей, расчета рабочих характеристик. Среди ряда прочностных и точностных параметров, таких как прочность, жесткость, точность, усилие закрепления и др., одними из основных факторов, определяющими возможность применения приспособления на той или иной операции, являются силовые параметры, которые обеспечивает приспособление.

Практика эксплуатации магнитных приспособлений свидетельствует о том, что наряду с усилием притяжения к зеркалу плиты (Q), часто представляется целесообразным знать максимальную силу сопротивления сдвигу ($F_{сд}$). Экспериментальное исследование сдвиговых характеристик магнитной плиты и определение максимального усилия сопротивления сдвигу производится с помощью специально выполненных устройств или в производственных условиях на металлорежущих станках.

В первом случае к основанию приспособления 1 на котором крепится и магнитная плита 2, устанавливается стойка с эксцентриковым механизмом зажима. Нагружение заготовки 3 через немагнитный наконечник 4 производится поворотом рукоятки эксцентрика 7 через динамометр камертонного типа 5. Максимальная нагрузка, соответствующая усилию сопротивления сдвигу, фиксируется индикатором 6 (рис.8).

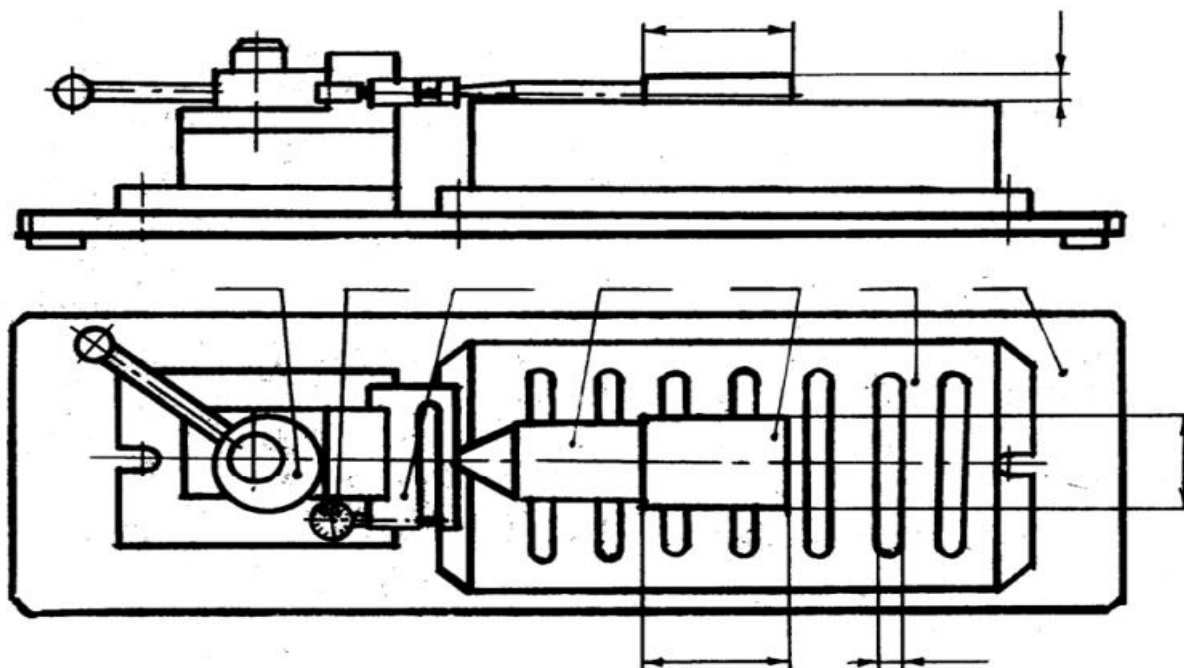


Рисунок 8. Устройство для определения силы сдвига в лабораторных условиях

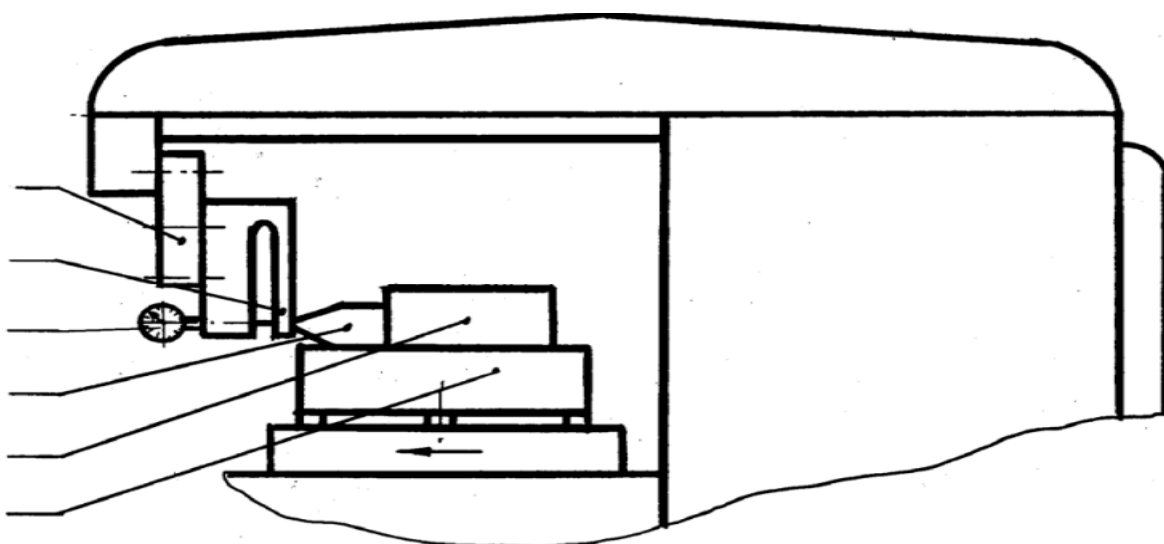


Рисунок 9. Определение силовых характеристик магнитной плиты в производственных условиях

Усилие сопротивления сдвигу во многом зависит от коэффициентов трения между заготовкой и зеркалом плиты. Коэффициент трения в свою очередь зависит от материалов трущихся пар, состояния поверхностей, температуры, скорости и т.д. и не является стабильной величиной. Поэтому оценку качества работы плиты по сопротивлению сдвигу можно получить лишь экспериментальным путем на основании большого числа наблюдений.

Придерживаясь утверждения [1], что при закреплении заготовки на магнитной плите возникает не только сила притяжения Q , определяющая возникновение силы трения $F_{тр}$, но и дополнительное усилие F вследствие наличия некоторой магнитной силы, препятствующей сдвигу, силу $F_{сд}$ сопротивления сдвигу заготовки на магнитной плите можно определить по формуле

$$F_{сд} = Q \cdot f_{тр} + F, \quad (1)$$

где $F_{сд}$ - сила сопротивления сдвигу заготовки (сила сдвига),

Q - сила притяжения заготовки магнитной плитой,

$f_{тр}$ - коэффициент трения между заготовкой и зеркалом магнитной плиты ($f_{тр} = 0,16...0,18$),

F - дополнительная магнитная сила, препятствующая сдвигу заготовки.

Поскольку сила F вызывается действием магнитного поля плиты, то представляется возможным выразить ее как функцию магнитной силы притяжения Q в виде

$$F = Q \cdot \Delta, \quad (2)$$

где Δ - коэффициент магнитного сопротивления сдвигу заготовки; который зависит от конструкции плиты и направления сдвига (вдоль или поперек полюсников магнитной плиты), из опытов $\Delta = 0,05...0,08$.

Тогда с учетом формул (1) и (2) усилие сдвига заготовки можно определить по формуле

$$F_{cd} = Q \cdot f_{cd} , \quad (3)$$

где f_{cd} - коэффициент сопротивления сдвигу.

Таким образом, усилие сдвига заготовки на магнитной плите является результатом действия не только сил трения, а и дополнительной силы магнитного сопротивления сдвигу, а ее величина определяется коэффициентом сопротивления сдвигу, который представляет сумму двух коэффициентов:

$$f_{cd} = f_{mp} + \Delta . \quad (4)$$

С целью определения дополнительной величины коэффициента сдвига – коэффициента магнитного сопротивления сдвигу Δ - при закреплении заготовки с помощью магнитного поля и ее зависимости от упомянутых факторов были проведены многочисленные эксперименты. Исследования проводились на элементарной магнитной системе с переменной индукцией.

Проведенные работы позволили сделать следующий вывод: величина коэффициента сопротивления сдвигу колеблется в значительных пределах (от 0,12 до 0,35). Поэтому следует избегать схем установок, при которых сдвиг проявляется в чистом виде, а заготовки следует закреплять по схеме с упорными планками. При этом упорная планка является не только ориентирующим элементом, но и может воспринимать часть усилия резания.

Так, например, если плита должна развивать усилие F_{cd} , обеспечивающее неподвижность заготовки под действием силы резания, то упорная планка должна проверяться на усилие

$$F_{cd.пл.} = Q(f_{cd.ср} - f_{cd.min}) , \quad (5)$$

где Q - усилие притяжения заготовки, полностью перекрывающей зеркало плиты, Н;

$f_{cd.ср}$ - среднее значение коэффициента сопротивления сдвигу;

$f_{cd.min}$ - минимальная величина коэффициента сопротивления сдвигу.

Результаты замеров по определению усилия Q от толщины заточки

Таблица 1 – Результаты замеров

Материал стали	h	F_{cd}	Q	Материал стали	h	F_{cd}	Q
Сталь 3	10	0,28	1,75	Сталь 45	3	0,26	1,6
Сталь 3	2	0,18	1,125	Сталь 45	5	0,26	1,625
Сталь 3	4	0,25	1,562	Сталь 20	3	0,31	1,935
Сталь 3	15	0,22	1,375	Ж45Х	5	0,22	1,375
Сталь 3	30	0,33	2,06	Сталь 20	7	0,25	1,56
Сталь 3	30	0,2	1,25	45Х	3	0,26	1,625
Сталь 45	4	0,35	2,188	20Х	15	0,23	1,438
Сталь 45	30	0,38	2,375	20Х	10	0,24	1,5
Сталь 45	10	0,32	2	Сталь 3	5	0,26	1,625
Сталь 45	2	0,32	2				
Сталь 45	14	0,32	2				
20 X	15	0,3	1,875				

$$F_{\text{сд}} = Q * f_{\text{сд}}; f_{\text{сд}} = 0,16$$

$$Q = \frac{F_{сд}}{f_{сд}}$$

Вывод: Ознакомился с методами исследований сил закрепления заготовок в магнитных приспособлениях. Определил и исследовал зависимости усилий притяжения и сдвига заготовок в магнитном приспособлении от материала

[illegible]

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

Машиностроительный факультет
Кафедра «Технология машиностроения»

Отчет по лабораторной работе № 4

Тема: Тарирование приборов, измеряющих силовые характеристики

Выполнил: студент гр. АП-31
Сальников С.Д.

Принял преподаватель
Акулова Н.М.

Гомель 2022

Лабораторная работа № 4

Тарирование приборов, измеряющих силовые характеристики.

Цель работы: научиться производить метрологическую операцию тарирования (градуировки измерительных устройств) динамометров, измеряющих усилие в (Н) и динамометрических ключей, измеряющих момент пары сил (Н·м).

1. Основные положения

Тарирование (градуировка) – это метрологическая операция, в результате которой делениям шкалы измерительного прибора, устройства или инструмента присваиваются соответствующие значения измеряемой величины в принятых единицах измерения с требуемой точностью этого соответствия.

Одним из способов измерения усилий, возникающих при эксплуатации технологической оснастки, является измерение с помощью динамометров различных конструкций. А для измерения моментов кручения применяют динамометрические ключи. В этих приборах используются упругие элементы, которые при воздействии внешних сил создают уравнивающие их силы упругости. По закону Гука сила упругости пропорциональна вектору деформации (удлинения или сжатия) и противоположна ему по направлению:

$$F_y = -K \cdot \Delta L \quad (1)$$

где

F_y	-сила упругости	(Н);
ΔL	-вектор деформации	(м);
K	-жесткость упругого элемента	(Н/м);

Так как внешняя сила уравнивается силой упругости, то $F_y = F_v$ и вектор деформации связан с внешней силой выражением:

$$\Delta L = \frac{F_v}{K} \quad (2)$$

где

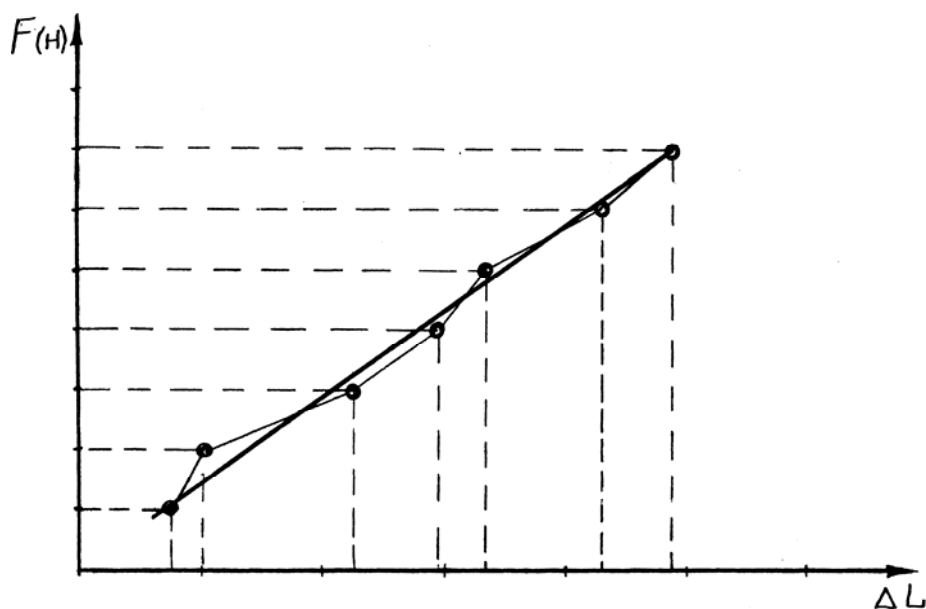
F_v -вектор внешней силы, действующей на упругий элемент прибора.

Выражение (2) справедливо для упругих деформаций, когда напряжение упругого элемента находится в пределах пропорциональности. Пределом пропорциональности называется напряжение, при котором закон Гука (1) нарушается.

При тарировании приборов, служащих для измерения усилий и моментов, следует по закону Гука поставить каждой единице измерения деформации соответствующее изменение силы или момента. Тогда шкала измерения деформаций упругого элемента прибора превратится в шкалу регистрации действующего усилия или момента. Например, если при

регистрации деформаций индикатором часового типа с ценой деления 0,01мм было отмечено, что деформация 0,03 мм появлялась при усилии 150 Н, а деформация 0,08 мм при усилии 400 Н, то это значит, что показаниями индикатора можно регистрировать усилия с ценой деления 50 Н.

В практических измерениях линейная зависимость усилий от деформаций в законе Гука может быть нарушена некоторыми причинами, например, наличием зазоров, снижающих жесткость измерительной системы в начале деформирования; случайными отклонениями; силовых характеристик; погрешностями измерения деформаций. Чтобы исключить названные причины при тарировании следует правильно выбирать интервалы измеряемых усилий каждого динамометра и стремиться к максимально возможной точности регистрации измеряемых величин. Регистрацию производят в таблицах 1 или на координатной плоскости (OF; O ΔL). В последнем случае, соединяя точки, можно построить тарировочный график прибора и увидеть зависимость $F=f(\Delta L)$.



Эту зависимость следует привести к линейному виду, как и для закона Гука. Такое приведение можно выполнить в результате аппроксимации табличных данных тарирования линейной зависимостью методом наименьших квадратов (МНК). В результате применения МНК к данным тарирования для каждого прибора может быть получена формула вида

$$F = b_0 + b_1 \cdot \Delta L \quad (6),$$

где

$$b_0 = \frac{\sum F_i \cdot \Delta L_i \cdot \sum \Delta L_i - \sum F_i \cdot \sum \Delta L_i^2}{(\sum \Delta L_i)^2 - n \sum \Delta L_i^2} \quad (7),$$

$$b_1 = \frac{n \sum F_i \cdot \Delta L_i - \sum \Delta L_i \cdot \sum F_i}{n \cdot \sum \Delta L_i^2 - (\sum \Delta L_i)^2} \quad (8),$$

b_0 - свободный член формулы (6) учитывающий нарушения закона Гука, вызванные случайными факторами;

b_1 - линейный коэффициент зависимости (6) или цена деления шкалы индикатора;

$\sum F_i \cdot \Delta L_i$ - сумма произведений усилия на деформацию во всех измерениях;

$\sum F_i$ - сумма усилий во всех измерениях;

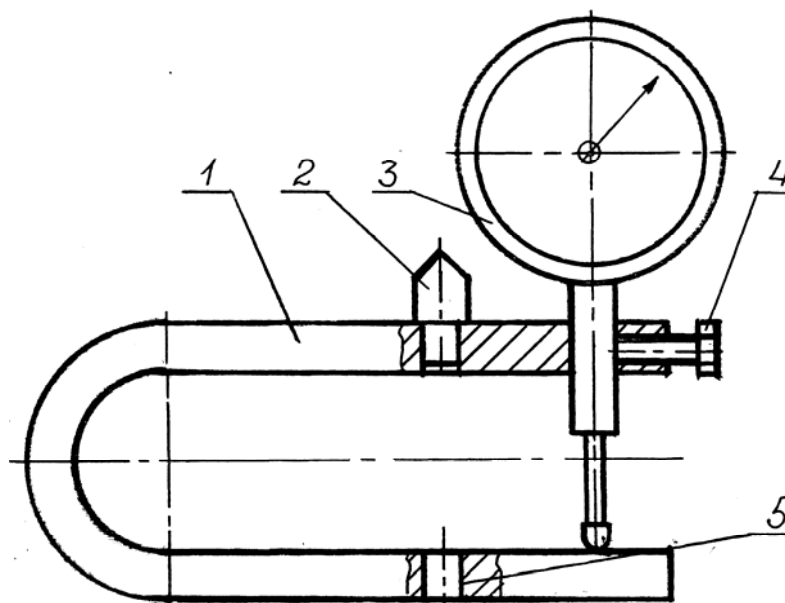
$\sum \Delta L_i$ - сумма деформаций во всех измерениях;

$\sum \Delta L_i^2$ - сумма квадратов деформаций;

n - общее число измерений при тарировании.

II. Методические указания

Для выполнения лабораторной работы необходимы: набор динамометров камертонного типа; пружинные динамометры; регулируемый динамометрический ключ; установка для создания регулируемого усилия.



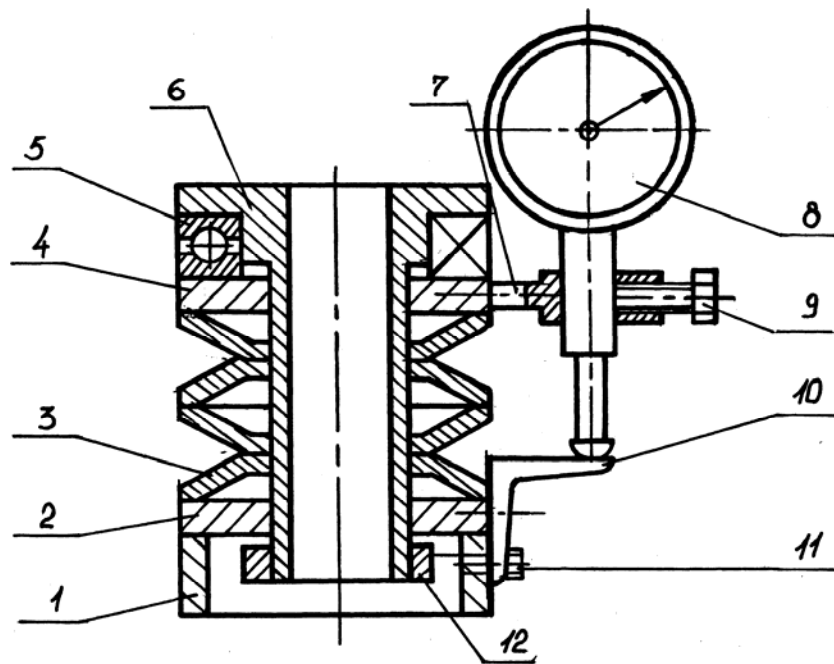
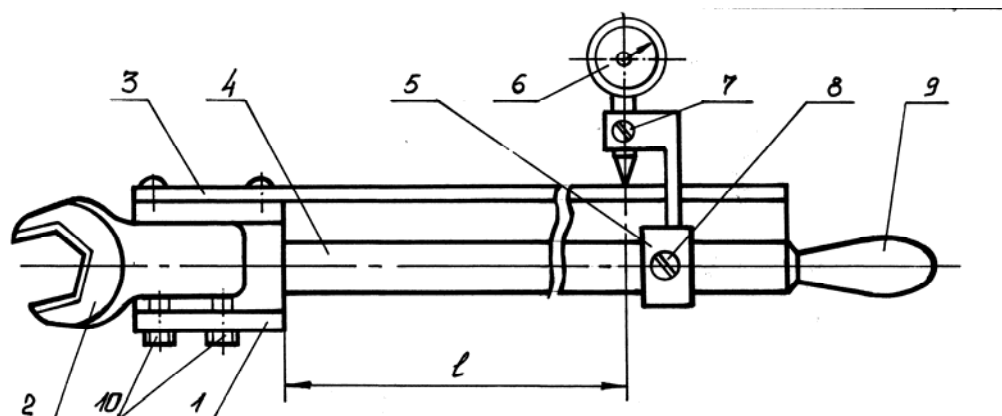
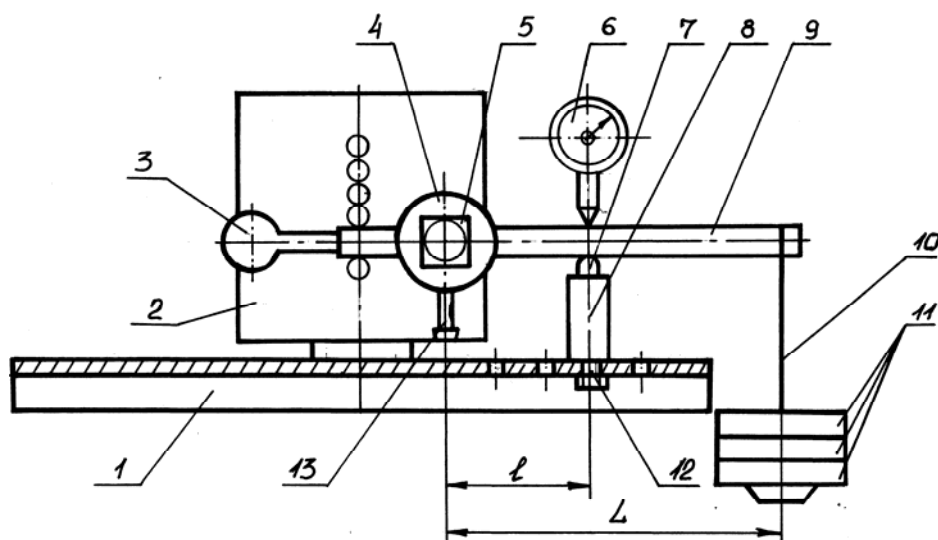


Рис.3. Пружинный динамометр (

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1 - основание; | 7 - кронштейн верхний; |
| 2 - фланец нижний; | 8 - индикатор; |
| 3 - пружина тарельчатая; | 9 - винт стопорный; |
| 4 - фланец верхний; | 10 - кронштейн нижний; |
| 5 - подшипник опорный; | 11 - крепежные винты; |
| 6 - втулка; | 12 - гайка.) |





Создание переменного внешнего усилия F_v на установке, изображенной на рис.5, обеспечивается как размещением разного числа грузов 11 на подвеске 10, так и различным соотношением длин L и l .

Перед тарированием динамометра или динамометрического ключа система противовес 3 – рычаг 9 – подвеска 10 приводятся в равновесие. Для этого подбирается такое положение противовеса 3 и фиксируется стопором 13, которое уравнивает момент создаваемый относительно оси вала 4 весом рычага 9 и подвески 10. После этого устанавливаются на подвеску 10 грузы 11, которые будут создавать момент внешней силы, равный

$$M_v = \sum_{i=1}^n m_{11} \cdot g \cdot L \quad (3)$$

где

- | | |
|----------------------|--------------------------------|
| M_v | -момент внешней силы (Н·м); |
| n | -количество грузов 11; |
| m_{11} | -масса груза 11(кг); |
| $g=9,81\text{м/с}^2$ | -ускорение свободного падения; |
| $L=0,5\text{м}$ | -длина рычага 9. |

При установке динамометра 8 на расстоянии l от оси вала 4 его сила упругости F_y через переходник 7 создаст момент, равный

$$F_y \cdot l = M_v. \quad (4)$$

Тогда $F_y = \sum_{i=1}^n m_{11} \cdot g \cdot \frac{L}{\ell}$, а со стороны рычага 9 на диаметр 8 будет действовать равная силе упругости внешняя сила F_b .

$$F_b = \sum_{i=1}^n m_{11} \cdot g \cdot \frac{L}{\ell}. \quad (5)$$

Деформация динамометра, вызванная силой F_b , будет регистрироваться индикатором 6 на рис.5.

Величины деформаций динамометров, нагруженных внешней силой F_b , определяется индикаторами часового типа (3 на рис. 2 и 8 на рис. 3) с ценой деления 0,01мм. Для измерения крутящего момента динамометрический ключ, изображенный на рис. 4, устанавливается сменным ключом 2 (рис. 4) на квадратную ступень 5 вала 4 (рис. 5). Противодействие внешнему моменту M_b будет оказываться штангой 4, заканчивающейся рукояткой 9 (рис. 4). Под действием момента M_b штанга 9 будет изгибаться относительно неподвижного кронштейна 3. Величина изгиба (деформации) регистрируется индикатором 6, который крепится в подвижном кронштейне 5. Перемещение кронштейна 5 по штанге 4 создает возможность изменения длины ℓ , обеспечивающей большую или меньшую жесткость упругой системы инструмента. Наименьшая жесткость при наибольшей длине ℓ .

Величина M_b , определенная по формуле (3), будет соответствовать деформации, которая фиксируется индикатором 6 (рис. 4) и отмечается на тарировочном графике, у которого ось ординат будет представлять момент M_b в Н·м.

Результаты тарирования следует представлять сперва в таблице 1, а затем переносить на тарировочный график.

Таблица 1
Результаты тарирования

Номер измерения	1	2	3	...	n	Σ
Усилие F_b (Н) (Момент M_b (Н·м))						
Деформация ΔL (0,01 мм)						
$F \cdot \Delta L$						
ΔL^2						
Расчетное F_b (Расчетный M_b)						

III. Порядок выполнения работы.

1. Группа студентов (2-3 человека) получает набор динамометров у преподавателя.
2. Получает указания о выборе значения ℓ (см. рис. 5) для каждого динамометра.