

Санкт-Петербургский Государственный Университет
Saint-Petersburg State University

ЛАБОРАТОРИЯ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

ОТЧЕТ

По лабораторной работе 4
«Определение модуля сдвига G »

По дисциплине
«Лабораторный практикум, лабораторная работа»

Выполнили:

Баталов С. А.
Хайретдинова Д. Д.

Санкт-Петербург
2021

1 Экспериментальная установка

Установка для определения модуля сдвига G (рис. 1) состоит из стойки 1, на верхнем конце которой закреплена горизонтальная планка с зажимом для испытуемого стержня 2 радиусом r . На нижнем конце стержня укреплен диск 3 с проточкой по окружности. Две подвески с грузами 4 предназначены для создания крутящего момента $M_{кр}$. При нагружении нижний конец стержня поворачивается на угол φ . Значение его можно определить при помощи светового зайчика от зеркала, укрепленного под диском 3. Схема установки зрительной трубы, зеркала и шкалы показана на рис. 1.

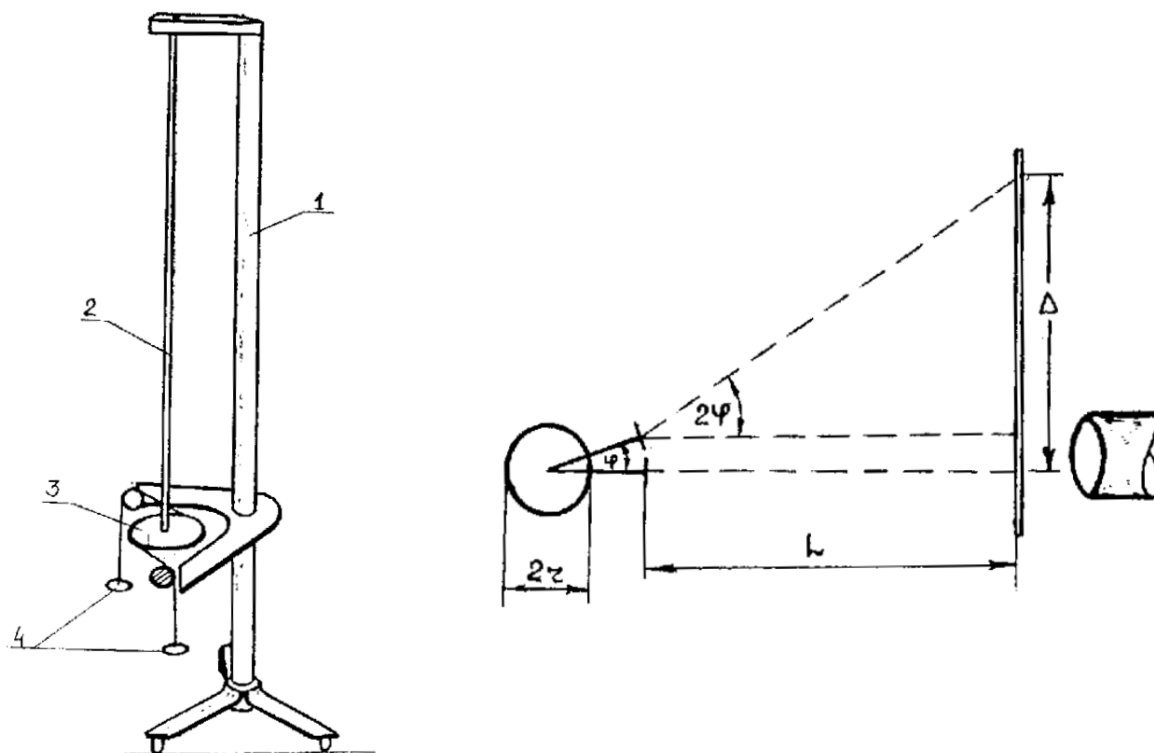


Рис. 1: Схема лабораторной установки.

2 Теоретические исследования

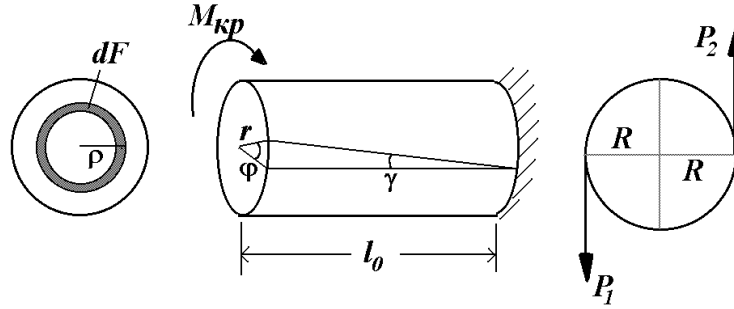


Рис. 2: Определение модуля сдвига.

Модуль G можно рассчитать для состояния чистого сдвига при кручении стержня. Требуется определить по начальным данным угол поворота, для малых величин значение этого угла φ (рис. 2) определяют по следующей формуле:

$$\varphi = \frac{\Delta}{2L}, \quad (1)$$

где Δ – смещение зайчика на шкале, L – расстояние от шкалы до зеркала. Величину L выбирают в пределах от 100 см до 150 см.

Значение модуля сдвига G можно получить из закона Гука:

$$G = \frac{\tau}{\gamma}, \quad (2)$$

где τ – касательное напряжение, γ – деформация сдвига.

Из решения задачи о кручении круглого стержня известно, что касательное напряжение на поверхности стержня равняется:

$$\tau = \frac{M_{кр} r}{J_p}, \quad (3)$$

где r – радиус стержня, $M_{кр} = R(P_1 + P_2)$ – крутящий момент (рис. 2), $J_p = \int_F \rho^2 dF$ – полярный момент инерции стержня, вычисляем по формуле:

$$J_p = \frac{\pi}{2} r^4. \quad (4)$$

Деформация сдвига связана с углом поворота нижнего сечения φ соотношением:

$$\gamma l_0 = r \varphi, \quad (5)$$

где l_0 – длина стержня (на нашей установке $l_0 = 129$ см).

Из соотношений (1) – (5) имеем окончательное выражение для модуля сдвига:

$$G = \frac{M_{кр} l_0}{J_p \varphi} = \frac{8PRl_0 L}{\pi \Delta r^4}. \quad (6)$$

3 Эксперимент

В данной работе при плоском напряженном состоянии проводится определение модуля сдвига G . Важно отметить, что все вычисления и построения производились с помощью пакета Matlab, с исходным кодом программы можно ознакомиться отдельно. Данные установки представлены в таблице 1.

Величина	Значение	Размерность
R	55.2	мм
r	3.05	
L	107	см
l_0	129	

Таблица 1: Начальные данные.

Результаты измерений представлены в таблице 2. Замер производился дважды, причем каждый раз производилось плавное нагружение и плавное разгружение.

№	P	Δ	
		Замер №1	Замер №2
	кг	см	
1	0	12.2	12.3
2	0.05	13.6	13.6
3	0.1	15	15
4	0.15	16.3	16.4
5	0.2	17.7	17.9
6	0.25	19.1	19.2
7	0.3	20.6	20.6
8	0.35	21.9	22
9	0.3	20.9	20.8
10	0.25	19.4	19.4
11	0.2	18.1	18
12	0.15	16.6	16.6
13	0.1	15.2	15.1
14	0.05	13.7	13.7
15	0	12.3	12.3

Таблица 2: Результаты измерений.

Далее представлены графики в координатах $M_{кр} - \varphi$ и $\tau - \gamma$. На них изображены кривые соответствующие как нагружению стержня, так и его разгрузению.

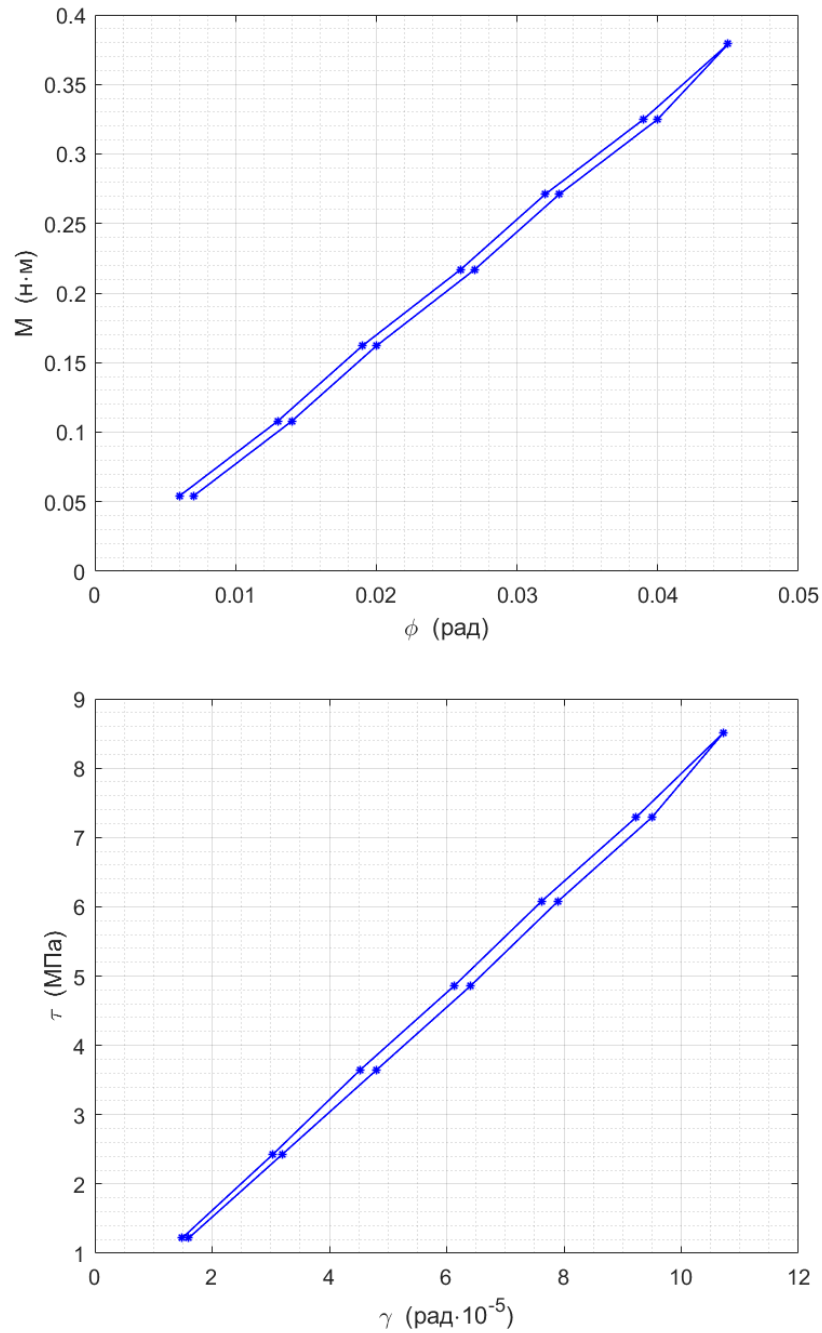


Рис. 3: Графики в координатах $M_{кр} - \varphi$ и $\tau - \gamma$.

Видно, что зависимости являются линейными, при этом прямая нагружения сохраняет параллельность прямой разгрузки в обоих случаях. При построении графиков использовались не все значения выборки. Были отброшены крайние точки, в которых отсутствовал нагружающий момент.

№	P	Δ	φ	$M_{кр}$	τ	γ	G	ΔG	ε
	Н	м	рад	Н · м	МПа	·10 ⁻⁵ рад	ГПа		%
1	0.491	0.014	0.006	0.054	1.22	1.49	81.5	24.5	30
2	0.981	0.027	0.013	0.108	2.43	3.04	80.0	14.9	19
3	1.472	0.041	0.019	0.162	3.65	4.53	80.5	10.6	13
4	1.962	0.055	0.026	0.217	4.86	6.13	79.3	11.6	15
5	2.453	0.069	0.032	0.271	6.08	7.62	79.7	10.5	13
6	2.943	0.084	0.039	0.325	7.29	9.23	79.0	10.9	14
7	3.434	0.097	0.045	0.379	8.51	10.72	79.4	10.4	13
8	2.943	0.086	0.040	0.325	7.29	9.50	76.7	11.8	15
9	2.453	0.071	0.033	0.271	6.08	7.90	76.9	10.8	14
10	1.962	0.058	0.027	0.217	4.86	6.41	75.8	13.3	18
11	1.472	0.044	0.020	0.162	3.65	4.81	75.8	11.8	16
12	0.981	0.029	0.014	0.108	2.43	3.20	75.8	20.4	27
13	0.491	0.014	0.007	0.054	1.22	1.60	75.8	21.5	28

Таблица 3: Результаты измерений и расчеты.

4 Выводы

В данной работе был экспериментально найден модуль сдвига стали, был проведен эксперимент со стержнем из этого металла, в процессе которого последний был подвержен действию крутящего момента, что в свою очередь, породило в стержне напряженное состояние. Далее были измерены параметры этого напряженного состояния с помощью оптической регистрирующей системы, результаты были обработаны инструментами пакета Matlab. В ходе работы вычислялись погрешности систематические, статистические и погрешности косвенных измерений.

В результате проделанной работы был получен модуль сдвига G для стали, его значение в среднем по всей выборке составило:

$$G = 80 \pm 13 \text{ ГПа}, \quad (7)$$

данный результат хорошо согласуется с действительным значения модуля сдвига для этого металла. В заключении, поставленная задача была решена, основные цели работы были достигнуты, и полученный модуль сдвига хорошо согласуется с действительным значением.