

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Владимирский государственный университет
Кафедра сопротивления материалов

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания

Составитель
А.М. БУРЛАКОВА

Владимир 2005

УДК 539.3/.8(076)

ББК 30.121 я7

Л12

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры
строительных конструкций и архитектуры
Владимирского государственного университета
И.И. Шишов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Лабораторные работы по сопротивлению материалов: метод.
Л12 указания / сост. А. М. Бурлакова ; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Ред.-
издат. комплекс ВлГУ, 2005. – 60 с.

Содержат необходимый объем теоретических сведений по механическим испытаниям конструкционных материалов, описание экспериментальных установок и методику проведения лабораторных работ по сопротивлению материалов. Объем и количество лабораторных работ соответствуют типовой программе курса сопротивления материалов для технических специальностей.

Предназначены для студентов технических специальностей всех форм обучения.
Табл. 25. Ил. 34. Библиогр.: 2 назв.

УДК 539.3/.8(076)

ББК 30.121 я7

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы занимают важное место при изучении курса сопротивления материалов. При проектировании и расчетах на прочность, жесткость и устойчивость типовых элементов технических конструкций необходимо знать механические свойства материалов. Кроме того, теоретические выводы, расчетные соотношения в сопротивлении материалов во многом базируются на некоторых исходных гипотезах, на допущениях о свойствах и характере деформирования материалов в условиях различных нагрузок. Эти гипотезы и допущения нуждаются в экспериментальном обосновании, а правильность полученных на их основе теоретических расчетных зависимостей и возможность использования этих зависимостей и теоретических формул в практике инженерных расчетов могут быть подтверждены только опытным путем.

При составлении настоящих указаний были использованы методические разработки (материалы) к лабораторным работам по сопротивлению материалов, выполненные преподавателями кафедры сопротивления материалов в 1990 – 2000 гг.

Методические указания являются дополнением к лекционному курсу по сопротивлению материалов и предназначены для самостоятельной подготовки студентов к лабораторным занятиям, а также служат руководством при проведении лабораторных работ.

Содержание методических указаний составляет описание лабораторных работ, которые выполняют в лаборатории механических испытаний кафедры сопротивления материалов.

В каждой лабораторной работе указаны цель эксперимента, оборудование и приборы, приведены краткие теоретические сведения и необходимые расчетные формулы, изложен порядок проведения эксперимента, а также приведены форма записи и способы обработки результатов опыта.

Перед проведением лабораторной работы студенту необходимо изучить соответствующий раздел теоретического курса, провести необходимые расчеты и заполнить лабораторную тетрадь. В ходе лабораторной работы результаты опыта записывают в виде таблиц и указанным образом обрабатывают. В заключении лабораторной работы проводится сравнение теоретических и опытных данных и формулируются выводы по результатам испытаний.

После выполнения лабораторной работы и полного ее оформления студент предъявляет лабораторную тетрадь преподавателю для проверки. Лабораторная работа засчитывается при условии правильного выполнения, оформления и успешной защиты ее студентом по контрольным вопросам.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ УПРУГОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Цель работы: определение модуля продольной упругости E и коэффициента поперечной деформации μ при растяжении стальной полосы.

Оборудование: универсальная машина УМ-5А с максимальным усилием 5 т (49 кН), тензометры рычажные.

Теоретическая часть

Все твердые тела под действием приложенных к ним внешних сил в той или иной степени деформируются, то есть изменяют свои размеры и форму. Изменение линейных размеров тела называется линейной деформацией: при этом увеличение размеров тела называется удлинением, а уменьшение – укорочением. Деформации, исчезающие после разгрузки тела, называются упругими, а свойство тел деформироваться под нагрузкой и восстанавливать свои первоначальные размеры и форму после снятия нагрузки – упругостью.

Упругость характеризуется двумя независимыми величинами: модулем продольной упругости E и коэффициентом поперечной деформации μ . Эти характеристики определяются экспериментально при растяжении образца материала.

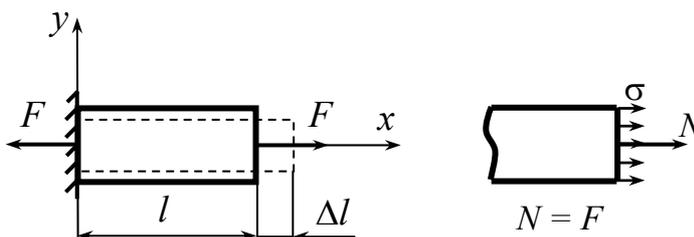


Рис. 1. Растяжение образца

Растяжение образца вызывается силами, действующими вдоль его оси (рис. 1). При этом в поперечном сечении образца возникают только нормальные напряжения σ , оп-

ределяемые по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad (1)$$

где N – продольная сила; A – площадь поперечного сечения.

Продольная деформация ε_x при простом растяжении равна

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta l}{l}, \quad (2)$$

где Δl – абсолютное удлинение; l – первоначальная длина образца.

Для многих материалов до определенных пределов нагружения существует зависимость между напряжениями и деформациями. Для центрального растяжения (сжатия) она имеет вид:

$$\sigma = E\varepsilon_x. \quad (3)$$

Это соотношение (3) носит название закона Гука (Роберт Гук, 1635 – 1703, Англия). Здесь E – коэффициент пропорциональности, зависящий от

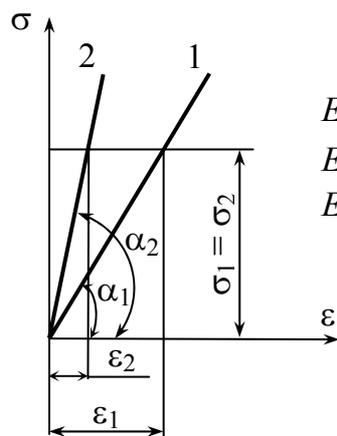


Рис. 2. Диаграммы упругого деформирования для двух материалов

свойств материала и называемый модулем продольной упругости, или модулем Юнга (Томас Юнг, 1773 – 1829, Англия). Модуль продольной упругости E – физическая постоянная материала, характеризующая его жесткость, имеет напряжение и выражается в паскалях, мегапаскалях ($1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$). Чем больше E , тем меньше деформируется материал при одном и том же напряжении (рис. 2).

При растяжении одновременно наблюдается как продольная деформация (относительное удлинение) ε_x , так и поперечная (относительное укорочение) ε_y .

Экспериментально установлено, что при упругих деформациях

$$\varepsilon_y = -\mu\varepsilon_x,$$

или

$$\mu = \left| -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \right|.$$

Здесь μ – коэффициент поперечной деформации, или коэффициент Пуассона (Симеон Дени Пуассон, 1781 – 1840, Франция). Для различных материалов $0 \leq \mu \leq 0,5$. Значения модуля продольной упругости E для наиболее распространенных материалов и коэффициента поперечной деформации μ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал	E , ГПа*	μ
Чугун серый, белый	115 – 160	0,23 – 0,27
Стали углеродистые	200 – 210	0,24 – 0,28
Стали легированные	210 – 220	0,25 – 0,30
Алюминий катанный	70	0,3
Стекло	56	0,25
Бетон	4 – 40	0,2
Кирпичная кладка	0,1 – 7,8	0,25
Древесина (сосна, ель) при растяжении:		
- вдоль волокон	10 – 12	-
- поперек волокон	0,5 – 1,0	-
Резина	0,007	0,5

* 1 ГПа = 10^3 МПа.

Экспериментальная часть

Для испытания берут образец – стержень прямоугольного поперечного сечения с захватами в верхней и нижней части (рис. 3). Площадь поперечного сечения рабочей части стержня равна $A = bh$.

Из выражения (3) с учетом (1) и (2), а также того, что $N = F$ (см. рис. 1), будем иметь:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F l}{A \Delta l}. \quad (4)$$

Очевидно, что для нахождения величины E необходимо найти величину деформации Δl . Для экспериментального нахождения Δl используется тензометр рычажный механический, предназначенный для измерения

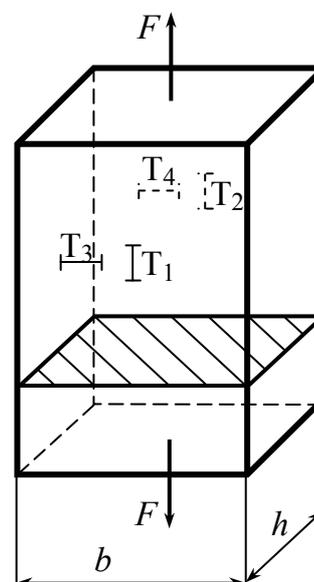


Рис. 3. Образец для испытаний

Средние значения показаний продольных $\Delta T_{\text{ср}}$ и поперечных $\Delta T_{\text{ср}\perp}$ тензометров равны:

$$\Delta T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta T_{1i} + \Delta T_{2i})}{2n}, \text{ или } \Delta T_{\text{ср}} = \frac{\Delta T_{1\text{ср}} + \Delta T_{2\text{ср}}}{2};$$

$$\Delta T_{\text{ср}\perp} = \frac{\sum_{i=1}^n (|\Delta T_{3i}| + |\Delta T_{4i}|)}{2n}, \text{ или } \Delta T_{\text{ср}\perp} = \frac{\Delta T_{3\text{ср}} + \Delta T_{4\text{ср}}}{2},$$

где n – число шагов нагружения; ΔT_i – приращение показания соответствующего тензометра на i -м шаге нагружения; $\Delta T_{1\text{ср}}$, $\Delta T_{2\text{ср}}$, $\Delta T_{3\text{ср}}$, $\Delta T_{4\text{ср}}$ – среднеарифметические значения приращений показаний тензометров.

Искомое удлинение находим по формуле

$$\Delta l = \frac{\Delta T_{\text{ср}}}{K} = \frac{\Delta T_{\text{ср}}}{1000}. \quad (5)$$

Тогда модуль продольной упругости находим по формуле (4) с учетом выражения (5):

$$E_{\text{эксп}} = \frac{Fl}{A\Delta l} = \frac{\Delta Fl_0 \cdot 1000}{A\Delta T_{\text{ср}}}, \quad (6)$$

где ΔF – постоянное приращение внешней силы на i -м шаге нагружения; $l_0 = 20$ мм – база тензометра; A – площадь поперечного сечения рабочей части образца; $\Delta T_{\text{ср}}$ – среднее значение показаний тензометров в продольном направлении.

При определении модуля продольной упругости по формуле (6) необходимо пользоваться системой единиц СИ, при этом учитывая соотношения: 1 кгс = 9,8 Н; 1мм² = 10⁻⁶ м². Величина E тогда выразится в паскалях (мегапаскалях).

Для нахождения коэффициента Пуассона по формуле (3) необходимо вычислить продольную и поперечную деформации:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\Delta T_{\text{ср}}}{1000l_0}; \quad \varepsilon_y = \frac{\Delta l_{\perp}}{l_0} = \frac{\Delta T_{\text{ср}\perp}}{1000l_0}.$$

Окончательно коэффициент Пуассона определяется по формуле

$$\mu_{\text{эксп}} = \left| \frac{-\Delta T_{\text{ср}\perp}}{\Delta T_{\text{ср}}} \right|.$$

Оценку погрешности полученных результатов находим следующим образом:

$$\Delta E = \frac{E_{\text{табл}} - E_{\text{эксп}}}{E_{\text{табл}}} 100 \% \text{ и } \Delta \mu = \frac{\mu_{\text{табл}} - \mu_{\text{эксп}}}{\mu_{\text{табл}}} 100 \%,$$

где $E_{\text{табл}} = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; $\mu_{\text{табл}} = 0,28$.

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схему образца с указанием необходимых для расчета размеров и мест установки тензометров.
3. Схему тензометра и его основные характеристики.
4. Таблицу экспериментальных данных.
5. Расчет упругих характеристик стали и сравнение их с табличными значениями.
6. Выводы.

Лабораторная работа № 2

СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы: определение характеристик прочности и пластичности стали и чугуна при растяжении.

Оборудование: машина УММ-10 с максимальным усилием 10 т (98 кН), образцы стандартные, штангенциркуль.

Теоретическая часть

Механические характеристики материалов, позволяющие оценить прочностные и деформативные свойства материалов, определяют путем механических испытаний, проводимых в лабораторных условиях на специальных испытательных (разрывных) машинах.

Наибольшую информацию о механических свойствах материалов можно получить из статических испытаний на растяжение.

При испытаниях на растяжение стандартный образец закрепляют в захватах испытательной машины и плавно (статически) нагружают растягивающей силой (рис. 5).

При такой нагрузке образец удлиняется. Далее нагрузку увеличивают до разрушения (разрыва) образца.

Конструкционные материалы по характеру деформирования под нагрузкой вплоть до разрушения делятся на две группы: пластичные – до момента разрушения эти материалы претерпевают значительные остаточные деформации (малоуглеродистая сталь, алюминий, медь и др.), хрупкие – к моменту разрушения получают малые деформации (чугун, бетон, неорганическое стекло и др.). Эта классификация не является строгой, так как деформирование зависит от условий, в которых оно протекает (температура, скорость нагружения и т.д.), и материал при одних условиях деформации может вести себя как пластичный, а при других – как хрупкий. Поэтому точнее говорить не о пластичных и хрупких материалах, а о пластичном или хрупком состоянии материалов в рассматриваемых условиях протекания деформации.

В специальном устройстве испытательной машины – диаграммном аппарате – графически записывается зависимость между величиной растягивающей силы F и удлинением образца Δl .

График зависимости между удлинением образца Δl и нагрузкой F называется диаграммой растяжения. Для типичного представителя пластичных материалов – малоуглеродистой стали – диаграмма растяжения имеет вид, показанный на рис. 6.

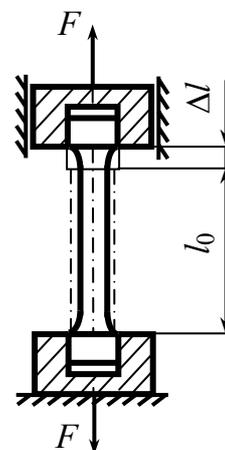


Рис. 5. Схема нагружения образца при растяжении

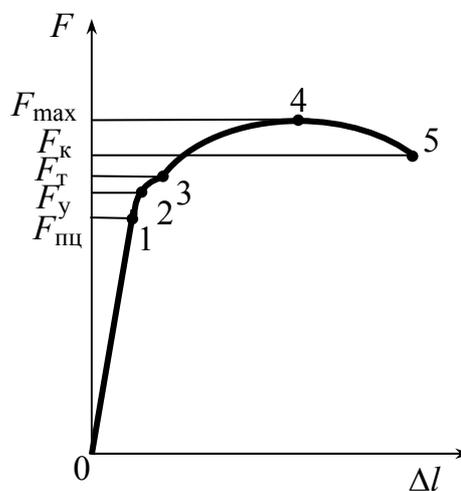


Рис. 6. Диаграмма растяжения малоуглеродистой стали

Диаграмма имеет пять характерных точек. Точка 1 расположена в конце прямолинейного участка, при нагрузках, меньших $F_{\text{пц}}$, зависимость между удлинением и силой линейна, так как подчиняется закону Гука. Точка 2 лежит в конце участка, соответствующего упругой деформации. Если при нагрузках, меньших $F_{\text{упр}}$, разгрузить образец, он примет первоначальную длину, то есть остаточных деформаций не будет. Точка 3 отмечает начало горизонтального участка (площадки текучести). При достижении нагрузкой величины F_T образец начинает удлиняться практически без увеличения нагрузки. Это явление называется текучестью. Точка 4 соответствует максимальной нагрузке, воспринимаемой образцом. Участок за площадкой текучести до точки 4 называется участком упрочнения. На этом участке материал снова приобретает способность сопротивляться деформации: после завершения текучести для дальнейшего увеличения деформации требуется и дальнейшее увеличение нагрузки. На последнем участке рост деформации происходит при уменьшении нагрузки: по достижении нагрузкой величины F_{max} в каком-то поперечном сечении образца происходит местное сужение, называемое шейкой, развитие которой заканчивается разрывом (разрушением) образца (точка 5) при нагрузке F_K .

Диаграмму напряжений при растяжении получают из диаграммы растяжения, переходя от нагрузок к соответствующим напряжениям:

$$\sigma = \frac{N}{A_0} = \frac{F}{A_0},$$

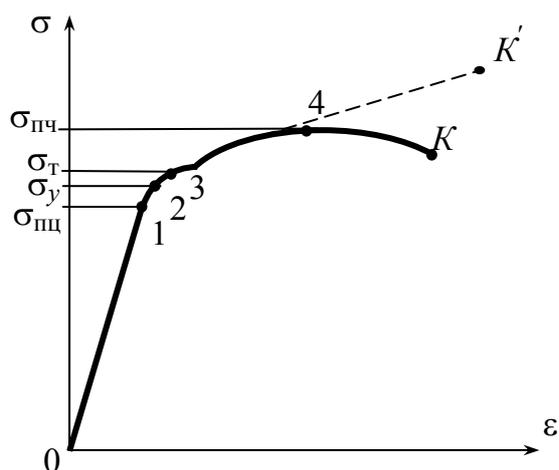


Рис. 7. Диаграмма напряжений малоуглеродистой стали

где A_0 — первоначальная площадь поперечного сечения образца, и от удлинений к относительным линейным деформациям:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta l}{l_0},$$

где l_0 — первоначальная длина расчетной части образца.

Диаграмма напряжений малоуглеродистой стали показана на рис. 7.

Пунктиром показана истинная диаграмма напряжений, построенная с учетом уменьшения площади поперечного сечения A в процессе испытания. Напряжения, соответствующие точкам 1 – 4, обозначаются соответственно $\sigma_{\text{пц}}$ (предел пропорциональности), $\sigma_{\text{упр}}$ (предел упругости), $\sigma_{\text{т}}$ (предел текучести), $\sigma_{\text{пч}}$ (предел прочности, или временное сопротивление). Эти величины называются механическими характеристиками материала.

На рис. 8 показана диаграмма растяжения чугуна – представителя хрупких материалов. На этой диаграмме обычно выделяют одну характерную точку, соответствующую наибольшей нагрузке F_{max} , воспринимаемой образцом, по которой определяется предел прочности $\sigma_{\text{пч}}$ материала. Диаграмма напряжений чугуна при растяжении выглядит подобным образом. Разрушение чугунного образца происходит по какому-то поперечному сечению образца без образования шейки.

По результатам испытаний образцов определяют основные механические характеристики прочности материалов – предел текучести $\sigma_{\text{т}}$ и предел прочности $\sigma_{\text{пч}}$ (временное сопротивление $\sigma_{\text{в}}$).

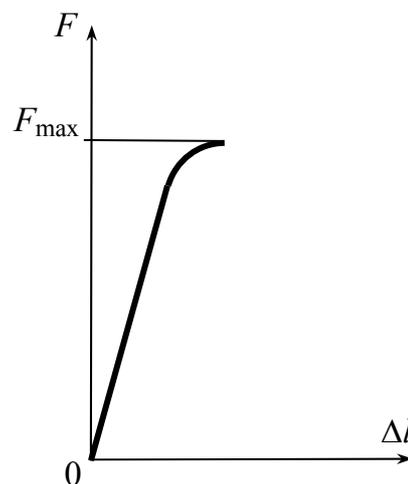


Рис. 8. Диаграмма растяжения чугуна

Экспериментальная часть

Изучение поведения пластичных и хрупких материалов при растяжении проводится на примере малоуглеродистой стали и чугуна при статическом деформировании, комнатной температуре. При отсутствии концентраторов напряжений малоуглеродистая сталь находится в пластичном состоянии, чугун – в хрупком.

Результаты испытаний зависят от формы и размеров образца. Для того чтобы сопоставить результаты испытаний, проведенных в разное время в различных местах, образцы из одного и того же материала изготавливают определенных стандартных размеров и формы. В данной лабораторной ра-

боте используются образцы круглого поперечного сечения с соотношением площади поперечного сечения и расчетной длины $l_0 = 5,65\sqrt{A_0}$.

Расчетная длина образца – это та часть его длины, деформация которой на основании принципа Сен-Венана не зависит от того, каков закон распределения нагрузки, растягивающей образец, то есть та часть его длины, в пределах которой образец действительно работает на центральное растяжение (рис. 9). Расчетная длина образца измеряется между двумя точками на его поверхности.

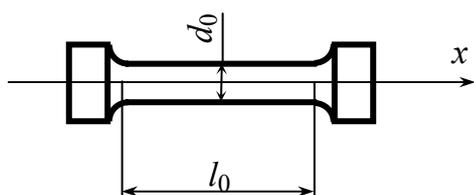


Рис. 9. Образец для испытаний на растяжение

Утолщения по концам образца нужны для того, чтобы через них передавать нагрузку от испытательной машины. Плавный переход от средней части образца к утолщениям уменьшает влияние концентрации напряжений. После установки образца на испытательной машине его статически нагружают до разрушения.

Машина автоматически в определенном масштабе строит диаграмму растяжения. Параллельно характерные значения нагрузки можно фиксировать по измерительному прибору испытательной машины.

Характеристики прочности материалов определим по формулам

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}, \quad \sigma_{пч} = \frac{F_{\max}}{A_0}.$$

Для пластичного материала кроме предела текучести и предела прочности рассчитывается сопротивление разрушению – напряжение в шейке при разрыве образца: $\sigma_K = \frac{F_K}{A_{ш}}$.

Пластические свойства материалов оцениваются остаточным относительным удлинением

$$\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} 100 \%$$

и остаточным сужением

$$\psi = \frac{A_0 - A_{ш}}{A_0} 100 \%.$$

Эти величины являются характеристиками пластичности материала.

Результаты испытаний заносят в табл. 3.

Таблица 3

Размеры образца	До опыта	Первоначальный диаметр поперечного сечения d_0 , мм	Сталь	Чугун
		Первоначальная площадь поперечного сечения A_0 , мм ²		
		Расчетная длина образца до опыта l_0 , мм		
	После опыта	Диаметр шейки $d_{ш}$, мм		
		Площадь поперечного сечения шейки $A_{ш}$, мм ²		
		Расчетная длина образца после опыта l_k , мм		
Пределные нагрузки	F_T , кг			
	F_{max} , кг			
	F_k , кг			
Характеристики прочности	σ_T , МПа			
	$\sigma_{пч}$, МПа			
	σ_k , МПа			
Характеристики пластичности	δ , %			
	ψ , %			

Механические характеристики при растяжении некоторых конструкционных материалов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Марка материала	Предел текучести σ_T , МПа	Предел прочности $\sigma_{пч}$, МПа	Относительное удлинение δ , %
Сталь 20	250	420	25
Сталь 45	360	610	16
Сталь 45 Х	850	1050	9
Чугун СЧ 15	-	150	-
Чугун СЧ 35	-	350	-
Дюралюминий твердый D 1	240	420	15
Латунь Л 68 твердая	520	660	30

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Эскизы испытываемых образцов до и после опыта.
3. Диаграммы растяжения при растяжении стали и чугуна.
4. Расчет механических характеристик по результатам испытаний (данные сводят в табл. 4).
5. Описание характера разрушения образцов.
6. Выводы.

Лабораторная работа № 3

СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА СЖАТИЕ

Цель работы: исследование поведения материала при сжатии и определение характеристик прочности.

Оборудование: машина УММ-10А с максимальным усилием 10 т (98 кН), образцы стандартные, штангенциркуль.

Теоретическая часть

Испытаниям на сжатие подвергаются в основном хрупкие материалы (чугун, бетон, цемент), которые значительно лучше сопротивляются сжатию, чем растяжению. На сжатие испытывается также дерево как вдоль волокон, так и поперек. Дерево является анизотропным материалом, сопротивляемость которого внешней нагрузке зависит от расположения волокон относительно сжимающей силы. Пластичные материалы (сталь, цветные металлы) испытываются на сжатие реже, чем на растяжение. Экспериментально показано, что пластичные материалы в пределах упругих деформаций имеют одинаковые механические характеристики при растяжении и сжатии. Значения пределов текучести для этих материалов также практически одинаковы при растяжении и сжатии.

Для строительных материалов при испытаниях на сжатие применяются кубические образцы, для металлов – цилиндрические образцы с отношением высоты к диаметру в пределах 1,5 – 3 (рис. 10). Применение более длинных образцов недопустимо из-за опасности искривления образца при сжимающей нагрузке и искажения результатов испытаний.

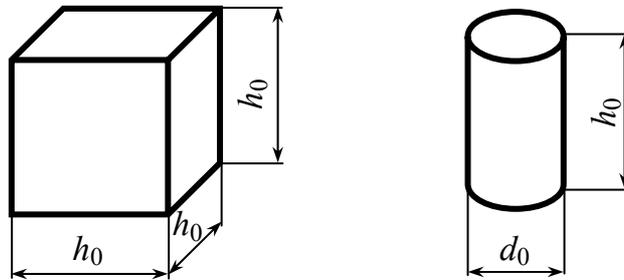


Рис. 10. Образцы для испытаний на сжатие

Также необходимо учесть некоторую условность получения результатов из-за наличия сил трения между торцами образца и опорными поверхностями машин.

Испытания на сжатие проводят на тех же испытательных машинах, что и на растяжение с применением специальных приспособлений. Схема нагружения образца при сжатии показана на рис. 11.

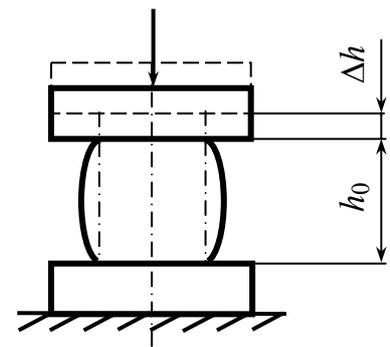


Рис. 11. Схема нагружения образца при сжатии

При возрастании сжимающей силы F образец укорачивается на величину Δh . В диаграммном аппарате машины записывается графическая зависимость (диаграмма сжатия) между силой F и укорочением Δh .

Характеристики прочности (предельные напряжения) рассчитывают по тем же формулам, что и при растяжении: $\sigma_i = \frac{F_i}{A_0}$, где A_0 – начальная площадь поперечного сечения образца; F_i – предельная нагрузка.

На рис. 12 показана диаграмма сжатия

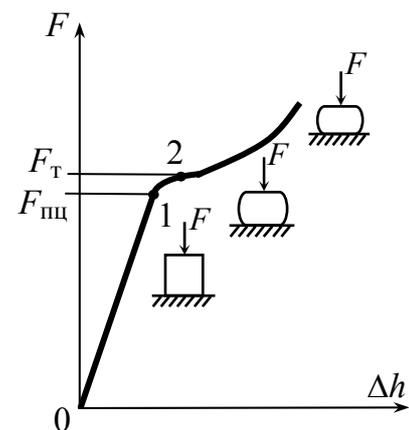


Рис. 12. Диаграмма сжатия малоуглеродистой стали

малоуглеродистой стали. Начальный участок диаграммы 0 – 1 является прямолинейным. Угол наклона диаграммы напряжений при сжатии совпадает с углом наклона аналогичного участка диаграммы растяжения. Это означает, что модуль упругости у стали одинаковый при растяжении и сжатии. После точки 1 диаграмма плавно переходит в кривую, подобную диаграмме растяжения. Площадка текучести на диаграмме сжатия выражена слабее, чем на диаграмме растяжения.

Точка 2 – точка перегиба диаграммы сжатия – соответствует значению нагрузки F_T , которую используют при определении предела текучести:

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}.$$

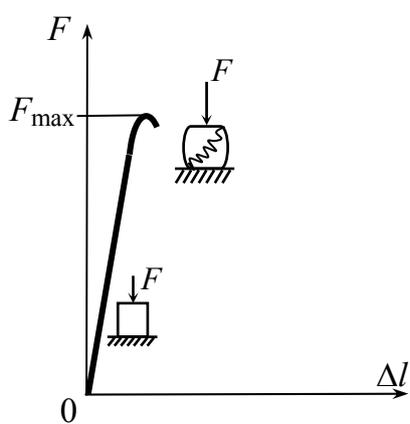


Рис. 13. Диаграмма сжатия чугуна

При дальнейшем нагружении образец принимает бочкообразную форму, сплющивается. На этом испытание прекращают, так как образец разрушить не удастся. Понятие «предел прочности» при сжатии стали не существует. Значения предела пропорциональности и предела текучести при растяжении и сжатии практически одинаковы.

Диаграмма сжатия чугуна представлена на рис. 13. Она идентична диаграмме растяжения, однако предел прочности при сжатии $\sigma_{пчсж}$ примерно в 3 – 6 раз больше предела прочности при растяжении: $\sigma_{пчсж} = \frac{F_{max}}{A_0}$.

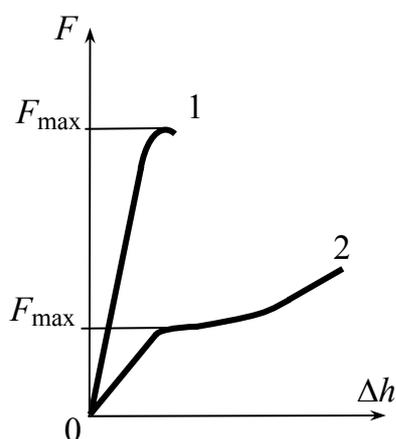


Рис. 14. Диаграммы сжатия дерева: 1 – вдоль волокон; 2 – поперек волокон

Чугунный образец разрушается без пластических деформаций, разрушение его происходит по наклонной площадке, угол наклона близок к 45° .

Причиной разрушения является действие максимальных касательных напряжений, вызывающих деформации сдвига по наклонным площадкам. Диаграмма сжатия дерева вдоль волокон имеет тот же вид, что и диаграмма для хрупких материалов (рис. 14).

Диаграмма сжатия дерева поперек волокон подобна диаграмме сжатия пластичных материалов, только явление текучести (или в дереве – «прессования») происходит дольше (см. рис. 14). Спрессованное дерево начинает опять сопротивляться сжатию, но это уже другой материал – прессованная древесина, отличный от исходного.

Предел прочности при испытании вдоль и поперек волокон определяется по формуле

$$\sigma_{\text{пчсж}} = \frac{F_{\text{max}}}{A_0}.$$

При сжатии вдоль волокон древесина значительно прочнее, чем при сжатии поперек волокон. При сжатии вдоль волокон образец разрушается из-за растрескивания и сдвига одной части относительно другой, а при сжатии поперек волокон древесина прессуется. Нагружение прекращается при уменьшении высоты образца на 30 – 40 %.

Экспериментальная часть

Изучение работы материалов при сжатии проводится на примере малоуглеродистой стали, чугуна и дерева. Для испытаний используются цилиндрические образцы из стали и чугуна, кубические – из дерева. Необходимые размеры образца до и после опыта определяют штангенциркулем. При испытании образцов необходимо записать величины предельных нагрузок F_T , F_{max} . Все данные для расчетов занести в табл. 5.

Образец устанавливают на испытательной машине и статически нагружают сжимающей силой.

После проведения опытов и определения механических характеристик прочности стали и чугуна необходимо провести сравнение испытываемых материалов и их диаграмм напряжений при растяжении и сжатии.

Таблица 5

Материал	Эскиз образца		Предельные	
	до опыта	после опыта	нагрузки, кг	напряжения, МПа
Сталь				
Чугун				
Дерево вдоль волокон				
Дерево поперек волокон				

Характеристики прочности некоторых материалов при растяжении и сжатии приведены в табл. 6.

Таблица 6

Марка материала	Предел прочности $\sigma_{пч}$, МПа		Предел текучести $\sigma_{т}$, МПа
	при растяжении	при сжатии	
Сталь 10	340	–	210
Сталь 30	500	–	300
Сталь 20 Г	460	–	280
Чугун СЧ 28	280	1000	–
Дюралюминевый сплав Д 16 твердый	460	–	350
Дерево (сосна):			
- вдоль волокон	80	40	–
- поперек волокон	–	–	5
Бетон	0,14 – 2,5	0,95 – 43,0	–
Кирпич	0,7 – 3,0	7,5 – 100,0	–

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Сведения о машине.
3. Эскизы испытываемых образцов до и после опыта (см. табл. 5).
4. Диаграммы сжатия материалов.
5. Таблицу по прилагаемой форме (см. табл. 5).
6. Выводы.

Лабораторная работа № 4

ПРЯМОЙ ИЗГИБ

Цель работы: сравнение теоретических и опытных значений напряжений и прогиба.

Оборудование: машина УММ-10 с максимальным усилием 10 т (98 кН), стальная балка квадратного сечения, тензометры рычажные, индикатор часового типа.

Теоретическая часть

Прямым плоским изгибом называется такой изгиб, при котором продольная ось балки изгибается в силовой плоскости, совпадающей с одной из главных плоскостей балки. Деформация изгиба приводит к тому, что верхние продольные волокна укорачиваются (сжимаются), а нижние удлиняются (растягиваются), либо наоборот, в зависимости от направления приложения нагрузки. Совокупность волокон, не меняющих своей длины при изгибе балки, называется нейтральным слоем. Каждое поперечное сечение пересекается с нейтральным слоем по прямой, которая называется нейтральной (нулевой) линией (н.л.) сечения. При прямом изгибе нейтральный слой перпендикулярен силовой плоскости балки, а нулевая линия – силовой линии (с.л.), то есть линии пересечения силовой плоскости с плоскостью поперечного сечения. При этом силовая линия совпадает с одной из главных центральных осей поперечного сечения, а нейтральная линия – с другой главной осью (на рис. 15 оси y и z). Нормальные напряжения в произвольной точке поперечного сечения при прямом изгибе определяются по формуле

$$\sigma = \frac{M_z}{J_z} y, \quad (7)$$

где M_z – изгибающий момент в данном сечении; J_z – момент инерции относительно нейтральной линии (оси z); y – расстояние от нейтральной линии до заданной точки сечения (см. рис. 15).

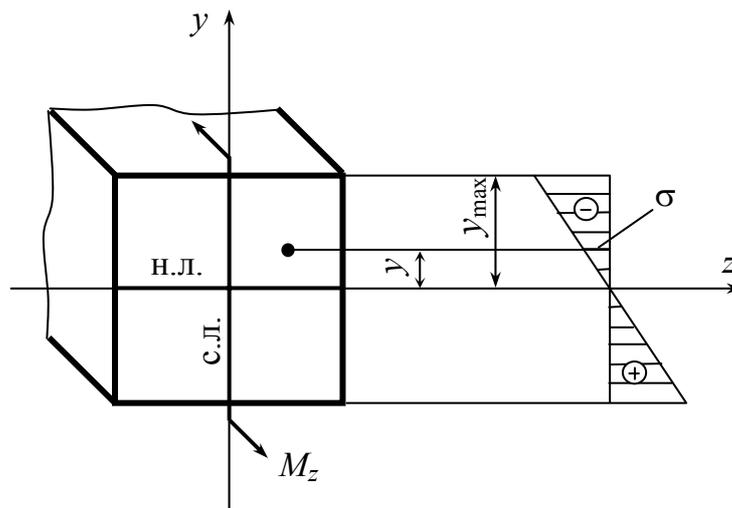


Рис. 15. Распределение нормальных напряжений по сечению при плоском поперечном изгибе

Согласно формуле (7) нормальные напряжения линейно распределены по плоскости поперечного сечения.

Максимальные нормальные напряжения возникают в точках поперечного сечения, наиболее удаленных от нейтральной линии. Для прямоугольного сечения это будут все точки верхнего и нижнего оснований, напряжение в этих точках равно

$$\sigma_{\max} = \frac{M_z}{W_z}, \quad (8)$$

где $W_z = \frac{J_z}{y_{\max}}$ – момент сопротивления поперечного сечения балки.

Теоретический расчет проводится для балки, изображенной на рис. 16.

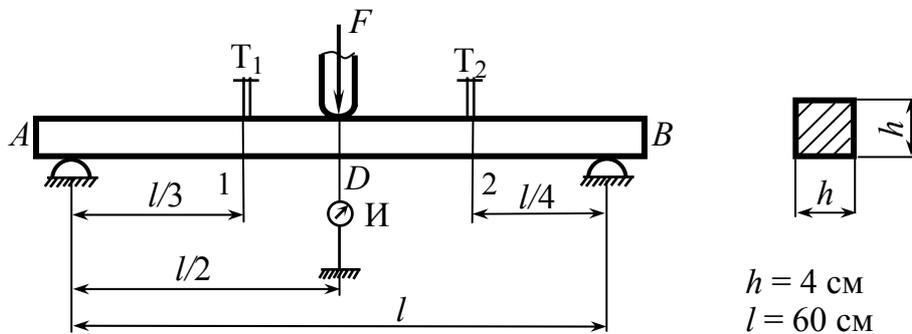


Рис. 16. Схема установки

Значения наибольших напряжений в сечениях 1 и 2 находят по формуле (8): $\sigma_1 = \frac{M_1}{W_z}$, $\sigma_2 = \frac{M_2}{W_z}$, где M_1 , M_2 – изгибающие моменты в сечениях 1-й и 2-й балок.

Теоретическое значение прогиба в сечении D определяется по формуле

$$f = \frac{Fl^3}{48EJ_z}.$$

Численные значения напряжений и прогиба находят, приняв $F = \Delta F$ (см. ниже).

Экспериментальная часть

Исследование прямого плоского изгиба проводится на двухопорной балке квадратного сечения. Установка соответствует схеме, приведенной на рис. 16. Цифрами 1 и 2 обозначены исследуемые сечения. В середине

пролета (сечение D) балка нагружается вертикальной силой F . Тензометры T_1 и T_2 в сечениях 1 и 2 расположены таким образом, чтобы измерять укорочение Δl верхних волокон вдоль оси балки. Определив укорочение Δl в исследуемых сечениях 1 или 2, находят нормальное напряжение в данном поперечном сечении на основании линейной зависимости (закон Гука):

$$\sigma = \varepsilon E, \quad (9)$$

где $\varepsilon = \frac{|\Delta l|}{l_0}$, $l_0 = 20$ мм – база тензометра; Δl – укорочение базы.

Вертикальный прогиб среднего сечения балки определяется непосредственно по показаниям индикатора И, установленного в середине балки. Геометрические параметры балки и механические характеристики стали записывают в табл. 7.

Таблица 7

Параметр	Величина
Размер поперечного сечения h , см	
Осевой момент инерции $J_z = \frac{h^4}{12}$, см ⁴	
Осевой момент сопротивления $W_z = \frac{h^3}{6}$, см ³	
Длина пролета балки l , см	
Модуль упругости стали E , МПа	
Предел пропорциональности $\sigma_{\text{пц}}$, МПа	

Первоначально балку следует загрузить некоторой начальной нагрузкой F_0 для того, чтобы устранить неплотность в соприкосновении балки с опорами и нагружающим приспособлением. Начальные показания тензометров и индикатора сводят в таблицу результатов (табл. 8).

Далее, увеличив нагрузку F_0 до некоторого значения F_1 , снова снимают показания и так далее, причем $\Delta F = (F_i - F_{i-1}) = \text{const}$.

По разности отсчетов определяют приращения напряжений $\Delta\sigma$, соответствующие приращению нагрузки ΔF . При этом следует иметь в виду, что максимальная нагрузка, приложенная к балке, должна задаваться в пределах пропорциональности материала.

Таблица 8

Номер	Нагрузка, кг		Показание тензометра				Показание индикатора	
	F	ΔF	T_1	ΔT_1	T_2	ΔT_2	И	$\Delta И$
			$\Delta T_{1cp} =$		$\Delta T_{2cp} =$		$\Delta И_{cp} =$	

Максимальная нагрузка определяется по максимальному изгибающему моменту, действующему в середине балки:

$$M_{\max} = \frac{Fl}{4}.$$

Тогда

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} \leq \sigma_{\text{пц}}, \quad W_z = \frac{h^3}{6}.$$

При известных l и W_z , вычисляют максимальное значение нагрузки F_{\max} .

Опытные значения напряжений рассчитывают по формуле (9), где относительную продольную деформацию ε в сечениях 1 и 2 определяют по соответствующим среднеарифметическим приращениям показаний тензометров с учетом увеличения тензометра $K = 1000$:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\Delta T_{cp(1,2)}}{l_0 K},$$

где $l_0 = 20$ мм – база тензометра.

$$\text{Тогда } \sigma_{1,2} = \frac{E \Delta T_{cp(1,2)}}{l_0 K}, \text{ МПа.}$$

Сравнение вычисленных и опытных значений напряжений следует привести в табл. 9.

Опытное значение прогиба определяют как среднеарифметическое значение приращений показаний индикатора, умноженное на масштабный коэффициент шкалы, равный 0,01 мм: $f = 0,01 \Delta И_{cp}$, мм.

Таблица 9

Сечение балки	Напряжение, МПа		Отклонение, %
	опытное	теоретическое	
1			
2			

Сравнение вычисленных и опытных значений прогибов свести в табл. 10.

Таблица 10

Сечение балки	Прогиб, мм		Отклонение, %
	опытный	теоретический	
<i>D</i>			

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схему установки.
3. Расчетную схему балки и эпюру изгибающих моментов.
4. Теоретический расчет напряжений и прогиба в исследуемых сечениях.
5. Теоретический расчет наибольшей для опыта нагрузки.
6. Данные опыта, сведенные в табл. 7 и 8.
7. Сравнение теоретических и опытных данных, сведенных в табл. 9 и 10.
8. Выводы.

Лабораторная работа № 5

КОСОЙ ИЗГИБ

Цель работы: сравнение теоретических и опытных значений напряжений и прогиба.

Оборудование: испытательный стенд, стальная балка прямоугольного сечения, тензометры рычажные, индикатор часового типа.

Теоретическая часть

Косой изгиб – это такой вид изгиба, при котором силовая плоскость (плоскость действия нагрузки), а следовательно, и плоскость изгибающего момента, не совпадают с главной плоскостью балки. Косой изгиб представляет собой сочетание двух прямых изгибов.

Нормальные напряжения в любой точке поперечного сечения вычисляют по формуле

$$\sigma = \frac{M_z}{J_z} y + \frac{M_y}{J_y} z. \quad (10)$$

где M_z, M_y – изгибающие моменты относительно осей z и y соответственно; J_y, J_z – осевые моменты инерции сечения; y, z – координаты точки.

Напряжения в угловых точках прямоугольного сечения определяют по формуле

$$\sigma = \frac{M_z}{W_z} + \frac{M_y}{W_y}, \quad (11)$$

где W_z, W_y – осевые моменты сопротивления сечения.

В формулах (10) и (11) при расчетах необходимо учитывать знаки изгибающих моментов и соответственно знаки напряжений, вызываемых этими моментами в заданных точках.

Теоретический расчет проводят для балки, схема которой показана на рис. 17.

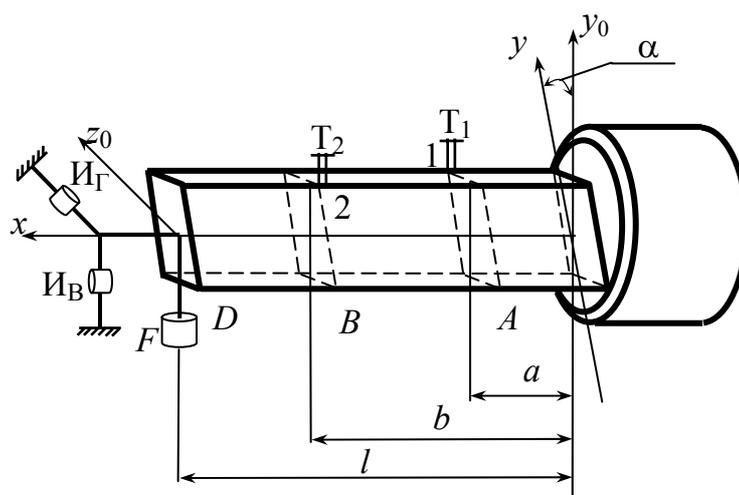


Рис. 17. Схема установки

Напряжения в точках 1 и 2 найдем по формуле (11) с учетом принятого угла поворота α балки вокруг продольной оси x . При этом изгибающие моменты в сечениях A и B (рис. 18) равны:

$$M_{zA} = F_y(l-a), \quad M_{yA} = F_z(l-a),$$

$$M_{zB} = F_y(l-b), \quad M_{yB} = F_z(l-b).$$

$$F_y = F \cos \alpha; \quad F_z = F \sin \alpha.$$

Положение нейтральной линии в сечении определяют по формуле

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha \frac{J_z}{J_y},$$

где β – угол между осью z и нейтральной линией.

Прогибы f_z и f_y в сечении D на свободном конце консольной балки в направлении главных осей z и y находятся по формулам

$$f_y = \frac{F_y l^3}{3EJ_z}, \quad f_z = \frac{F_z l^3}{3EJ_y}.$$

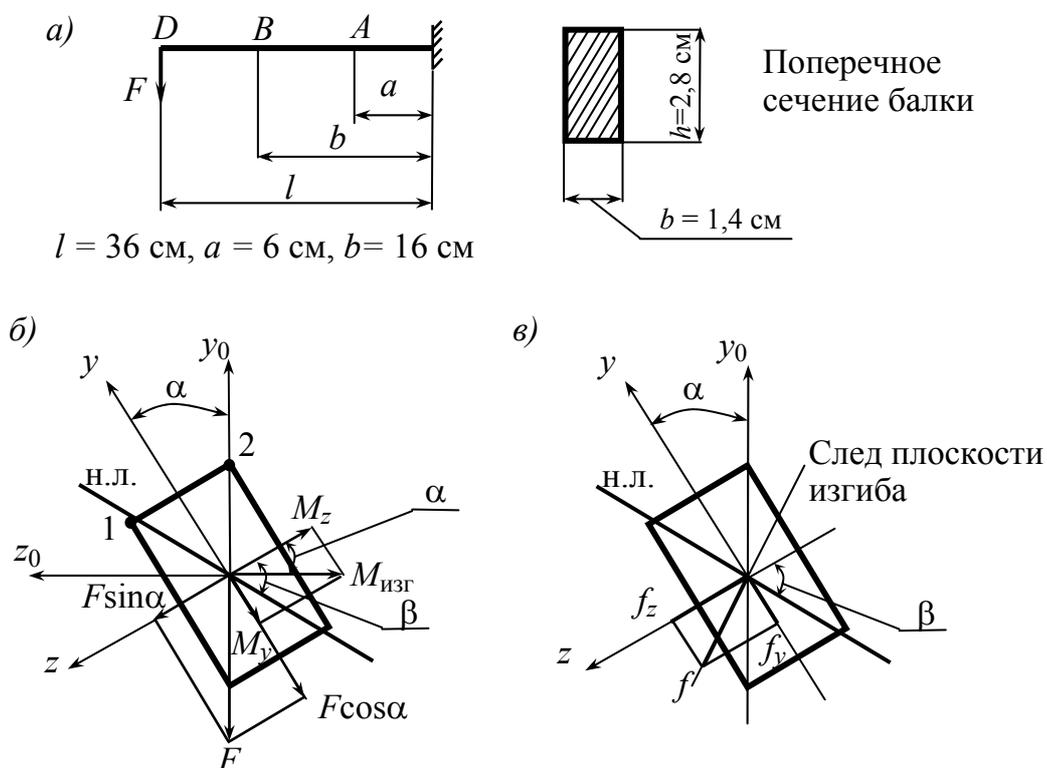


Рис. 18. Консольная балка: а – расчетная схема; б – положение поперечных сечений балки A и B (вид слева); в – прогибы на свободном конце консольной балки

Полный прогиб f в сечении D возникает в плоскости изгиба, перпендикулярной нейтральной линии в этом сечении, и определяется по формуле:

$$f = \sqrt{f_y^2 + f_z^2} .$$

Численный расчет теоретических значений напряжений в точках 1, 2 и прогиба в сечении D проводят, приняв в расчетных формулах $F = \Delta F$ (см. ниже).

Экспериментальная часть

Исследование косоугольного изгиба проводится на консольной балке прямоугольного сечения (см. рис. 17). Справочные данные эксперимента заносят в табл. 11.

Таблица 11

№ п/п	Параметр	Величина
1	Размеры поперечного сечения, см: b h	
2	Осевые моменты инерции, см ⁴ : J_z J_y	
3	Осевые моменты сопротивления, см ³ : W_z W_y	
4	Длина балки l , см:	
5	Расстояния от защемления до сечений A и B , см: a b	
6	Модуль упругости стали E , МПа	
7	Предел пропорциональности стали $\sigma_{\text{пц}}$, МПа	

Балку поворачивают вокруг продольной оси на заданный угол α за счет поворотного устройства в жестком защемлении испытательного стенда. Нагружение проводят вручную гирями, которые кладут на гиревой подвес, прикрепленный к концу балки D . Напряжения в точках 1 и 2 сечений A и B балки измеряют с помощью тензметров T_1 и T_2 . Прогиб на свободном конце балки в сечении D определяют по показаниям индикаторов I_r и I_b , которые измеряют перемещения сечения D в горизонтальном и

вертикальном направлении. Балку нагружают начальной силой F_0 , шкалы индикаторов устанавливают на ноль, снимают начальные показания тензометров. Начальные показания приборов и нагрузки записывают в табл. 12.

Далее нагрузку увеличивают до некоторого значения $F_1 = F_0 + \Delta F$ и показания приборов снова заносят в табл. 12. Увеличение нагрузки производят несколько раз, причем

$$F_i = F_{i-1} + \Delta F, \Delta F = \text{const}.$$

Таблица 12

№ п/п	Нагрузка, кг		Показание тензометра				Показание индикатора			
	F	ΔF	T_1	ΔT_1	T_2	ΔT_2	I_Γ	ΔI_Γ	I_B	ΔI_B
1										
2										
3										
4										
			$\Delta T_{1\text{ср}} =$		$\Delta T_{2\text{ср}} =$		$\Delta I_{\Gamma\text{ср}} =$		$\Delta I_{B\text{ср}} =$	

Наибольшую силу, приложенную к балке, необходимо задавать в пределах пропорциональности материала:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max y} l}{W_z} + \frac{F_{\max z} l}{W_y} \leq \sigma_{\text{пц}},$$

где $F_{\max y} = F_{\max} \cos \alpha$, $F_{\max z} = F_{\max} \sin \alpha$.

Опытные значения напряжений, соответствующие приращениям нагрузки ΔF , определяют по среднеарифметическим приращениям показаний тензометров:

$$\sigma_{\text{оп}} = \frac{E \Delta T_{\text{ср}}}{l_0 K},$$

где $l_0 = 20$ мм – база тензометра; $K = 1000$ – увеличение тензометра.

Опытные значения перемещений сечения D определяют по среднеарифметическим приращениям показаний индикаторов I_Γ и I_B :

$$f_\Gamma = 0,01 \Delta I_{\Gamma\text{ср}}; f_B = 0,01 \Delta I_{B\text{ср}}.$$

Опытное значение полного прогиба в сечении D на ступень нагрузки ΔF находят по формуле

$$f_{\text{оп}} = \sqrt{f_{\Gamma}^2 + f_{\text{В}}^2}.$$

Сравнение теоретических и опытных значений напряжений и прогибов приводят в табл. 13.

Таблица 13

Сечение	Напряжение, МПа		Прогиб, мм		Отклонение, %
	опытное	теоретическое	опытный	теоретический	
A					
B					
D					

Проверку наибольших опытных напряжений в точках 1 и 2 сечений A и B делают по формуле

$$\sigma_{(1,2)} = n\sigma_{\text{оп}(1,2)} + \sigma_{0(1,2)} < \sigma_{\text{пц}},$$

где n – число ступеней нагружения; $\sigma_{\text{оп}(1,2)}$ – опытное значение напряжений от приращения нагрузки ΔF в точках 1 и 2; $\sigma_{0(1,2)}$ – напряжение в точках 1 и 2 от начальной нагрузки F_0 .

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схему установки (см. рис. 17).
3. Расчетную схему балки (см. рис. 18), эпюры M и Q .
4. Теоретический расчет наибольшей нагрузки.
5. Теоретический расчет напряжений и прогибов в исследуемых сечениях.
6. Данные опыта и их обработку (см. табл. 11 и 12).
7. Сравнение теоретических и опытных результатов (см. табл. 13).
8. Выводы.

ВНЕЦЕНТРЕННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы: сравнение теоретических и опытных значений напряжений.

Оборудование: машина УМ-5А с максимальным усилием 5 т (49 кН), стальная скоба прямоугольного сечения, тензометры рычажные.

Теоретическая часть

Внецентренным растяжением (сжатием) называют такой вид деформации, при котором стержень растягивается (сжимается) внешними силами, равнодействующая которых параллельна продольной оси стержня, но не совпадает с ней. Проекция точки приложения силы на плоскость поперечного сечения называется полюсом (точка P). На рис. 19 показан стержень, в поперечном сечении которого действует растягивающая сила F , приложенная в точке P с координатами z_p, y_p .

Внецентренное растяжение (сжатие) может быть сведено к осевому растяжению (сжатию) и косому изгибу, если привести силу F к центру тяжести сечения. Сила F (см. рис. 19, а), отмеченная одной черточкой, вызывает растяжение стержня, а пара сил F (см. рис. 19, а), отмеченная двумя черточками, – косой изгиб.

Внецентренное растяжение (сжатие) может быть разложено на простые виды деформаций: центральное растяжение (сжатие) и два прямых изгиба в плоскостях xu и xz (см. рис. 19).

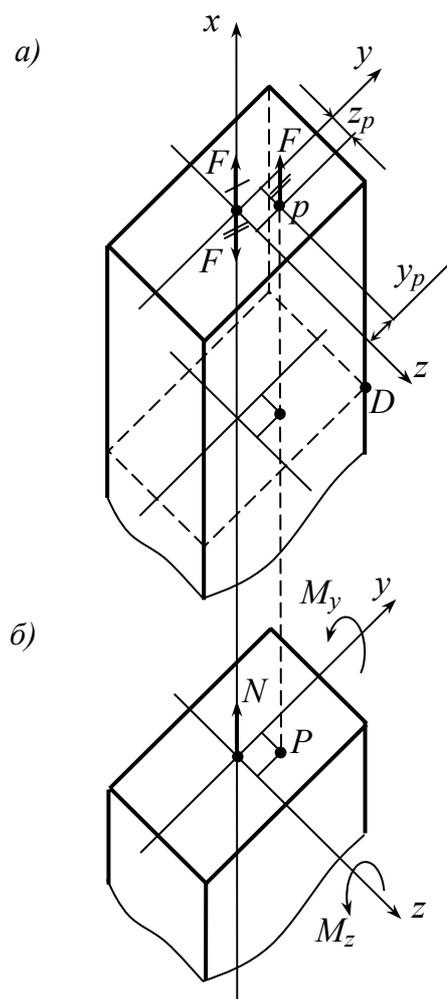


Рис. 19. Схема нагружения стержня: а – внецентренное растяжение образца; б – внутренние усилия в поперечном сечении

На основании принципа независимости действия сил нормальное напряжение в произвольной точке поперечного сечения стержня будет равно алгебраической сумме нормальных напряжений от продольной силы, изгибающего момента M_z и изгибающего момента M_y :

$$\sigma_x = \sigma_N + \sigma_{M_z} + \sigma_{M_y} = \pm \frac{N}{A} \pm \frac{M_z}{J_z} y \pm \frac{M_y}{J_y} z, \quad (12)$$

где $N = F$ – продольная сила; $M_z = Fy_p$ – изгибающий момент относительно оси z ; $M_y = Fz_p$ – изгибающий момент относительно оси y ; A – площадь поперечного сечения стержня; J_z, J_y – осевые моменты инерции поперечного сечения стержня; z, y – координаты точки сечения, в которой определяется напряжение.

В формулу (12) значения N, M_z, M_y , а также координаты расчетной точки сечения необходимо подставлять с соответствующими знаками.

Так как нормальные напряжения в поперечном сечении изменяются линейно (см. формулу 12), то максимальным будет напряжение в точке, наиболее удаленной от нейтральной линии, на которой напряжения равны нулю.

Уравнение нейтральной линии имеет вид:

$$1 + \frac{y_p}{i_z^2} y_n + \frac{z_p}{i_y^2} z_n = 0, \quad (13)$$

где y_n, z_n – координаты точек на нейтральной линии. Отрезки, отсекаемые нейтральной линией на осях y и z , равны:

$$y_0 = \frac{i_z^2}{y_p}; \quad z_0 = \frac{i_y^2}{z_p}. \quad (14)$$

Из уравнений (13) и (14) видно, что нейтральная линия при внецентренном растяжении (сжатии) не проходит через центр тяжести, а полюс P и нейтральная линия находятся по разные стороны от центра тяжести (рис. 20).

Соединив точки с координатами y_0 и z_0 прямой, получают нейтральную линию. Проведя параллельно нейтральной линии прямые через крайние контурные точки K и D и линию, перпендикулярную нейтральной линии, получим точки a и b , отрезок ab – ось эпюры нормальных напряжений. В центре тяжести сечения (точка C), где $y_C = 0$, $z_C = 0$, как видно из формулы (12), напряжения равны:

$$\sigma_x = \sigma_C = \frac{N}{A} = \frac{F}{A}. \quad (15)$$

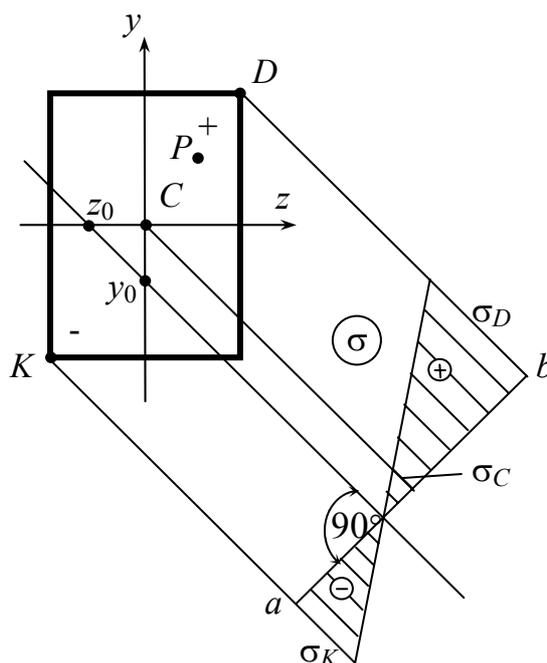


Рис. 20. Построение нейтральной линии и эпюры суммарных напряжений

В точках K и D напряжения соответственно равны:

$$\sigma_K = \frac{F}{A} - \frac{M_z}{J_z} y_K - \frac{M_y}{J_y} z_K;$$

$$\sigma_D = \frac{F}{A} + \frac{M_z}{J_z} y_D + \frac{M_y}{J_y} z_D.$$

Здесь z_D, y_D, y_K, z_K – координаты точек D и K по абсолютному значению. Эпюра суммарных напряжений показана на рис. 20.

В выполняемой работе рассмотрен частный случай, когда полюс находится на оси z , то есть $y_P = 0$. Координаты полюса P , размеры поперечного сечения и координаты точек установки тензометров T_1, T_2, T_3, T_4 указаны на рис. 21.

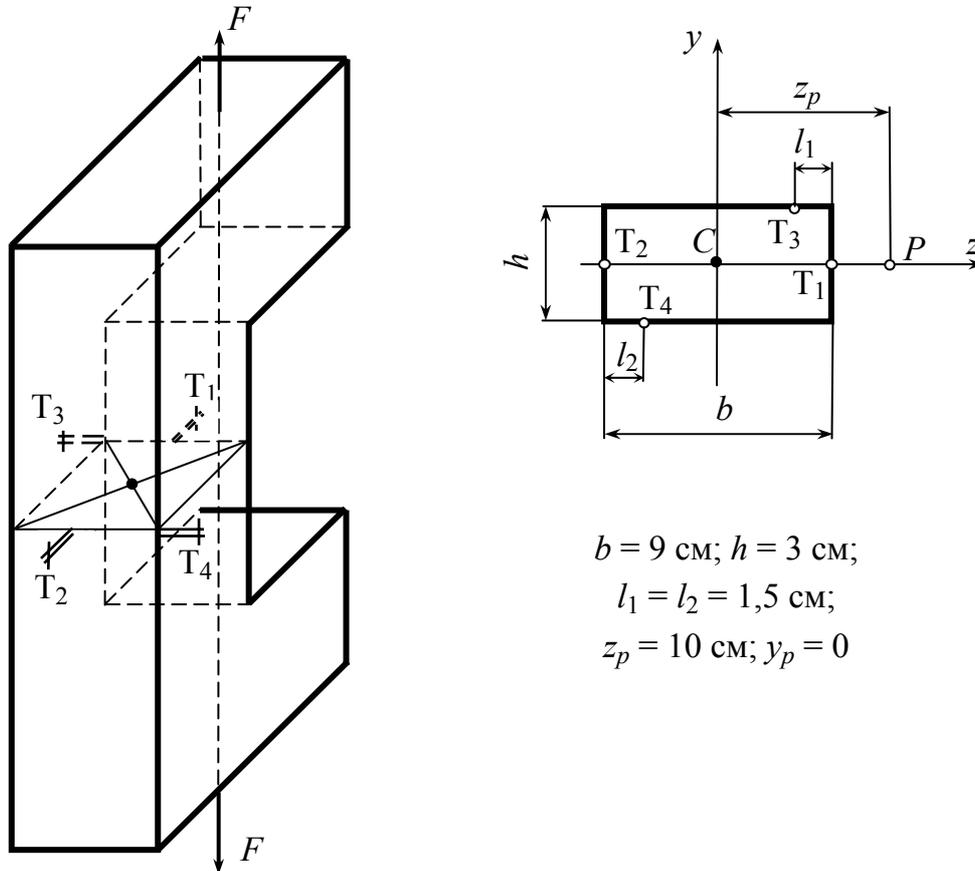


Рис. 21. Схема образца при внецентренном растяжении

Теоретический расчет напряжений в указанных точках выполняется по формуле (12):

$$\sigma_1 = \sigma_N + \sigma_{\text{изг}1} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{J_y} z_1; \quad \sigma_2 = \sigma_N + \sigma_{\text{изг}2} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{J_y} z_2;$$

$$\sigma_3 = \sigma_N + \sigma_{\text{изг}3} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{J_y} z_3; \quad \sigma_4 = \sigma_N + \sigma_{\text{изг}4} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{J_y} z_4.$$

По полученным значениям напряжений строим эпюру суммарных напряжений.

Для построения опытной эпюры напряжений и определения положения нейтральной линии проводят ось эпюры ab (рис. 22) параллельно оси z , так как полюс P находится на оси z и нейтральная линия будет перпендикулярна оси y .

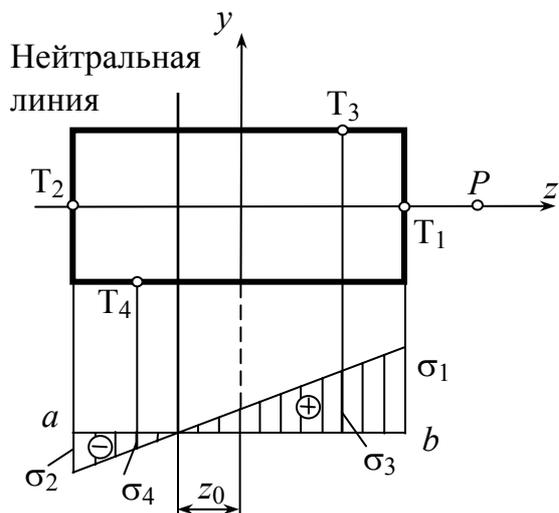


Рис. 22. Опытная эпюра напряжения и положение нейтральной линии

Далее откладывают опытные значения напряжений в точках с учетом их знаков: $\sigma_{оп1}, \sigma_{оп2}, \sigma_{оп3}, \sigma_{оп4}$. Соединив линиями концы отрезков напряжений, получают опытную эпюру напряжений и отрезок на оси z_0 , который является координатой нейтральной линии (см. рис. 22).

Данные опыта и теоретического расчета заносят в табл. 15.

Таблица 15

Измеряемая величина	Значение		Отклонение, %
	опытное	теоретическое	
Напряжения в точках поперечного сечения, МПа:			
σ_1			
σ_2			
σ_3			
σ_4			
Координата нулевой линии z_0 , см			

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схему образца при внецентренном растяжении с расположением тензочувствительных элементов.
3. Определение теоретических значений:
 - напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ в точках 1, 2, 3, 4 соответственно;
 - координаты нулевой линии z_0 и y_0 .
4. Эпюру теоретических напряжений, построенную в масштабе.

5. Опытные данные:

- таблицу результатов опытов с вычислением средних значений приращений показаний тензометров ΔT_i (см. табл. 14);
- расчет опытных значений напряжений $\sigma_{1оп}$, $\sigma_{2оп}$, $\sigma_{3оп}$, $\sigma_{4оп}$;
- построение эпюры нормальных напряжений по опытным данным в масштабе;
- определение координат нулевой линии из эпюры опытных напряжений;

6. Сравнение теоретических и опытных данных (см. табл. 15).

7. Выводы.

Лабораторная работа № 7

ИСПЫТАНИЕ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ

Цель работы: сравнение теоретических и опытных значений напряжений и прогиба при изгибе неразрезной балки.

Оборудование: машина УММ-10 с максимальным усилием 10 т (98 кН), стальная балка квадратного сечения, тензометры рычажные, индикатор часового типа.

Теоретическая часть

Неразрезными называются балки, лежащие более чем на двух опорах (рис. 23). Число лишних связей в неразрезной балке, а следовательно, и лишних реакций равно числу промежуточных опор. Балка, изображенная на рис. 23, имеет одну лишнюю опору, значит она один раз статически неопределима.

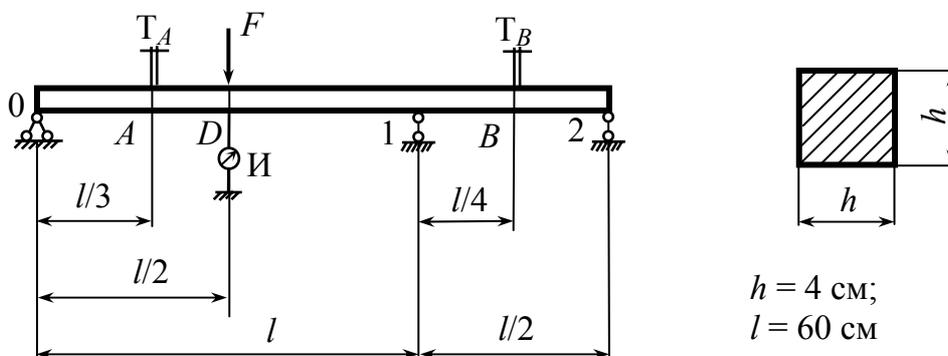


Рис. 23. Схема установки

При выборе основной системы за лишние связи целесообразно принимать не промежуточные опоры и лишние неизвестные реакции в них, а внутренние связи по моменту в опорных сечениях. Реакциями лишних связей в этом случае являются изгибающие моменты над промежуточными опорами. В лекционном курсе приводится вывод уравнения для определения этих изгибающих моментов – так называемого уравнения трех моментов. Для балки, изображенной на рис. 23, оно имеет вид:

$$M_0 l_1 + 2M_1(l_1 + l_2) + M_2 l_2 = -6 \left(\frac{\omega_1 a_1}{l_1} + \frac{\omega_2 b_2}{l_2} \right),$$

где M_0, M_1, M_2 – опорные моменты над опорами 0,1,2 соответственно; l_1, l_2 – длины первого и второго пролетов; ω_1, ω_2 – площади эпюр изгибающих моментов от нагрузки отдельно взятых пролетов 1 и 2; a_1, b_2 – расстояния от центра тяжести эпюр изгибающих моментов до левой и правой опор пролетов 1 и 2 соответственно (рис. 24).

В теоретической части необходимо:

1. Раскрыть статическую неопределимость балки, построить эпюру изгибающих моментов и определить их величины в сечениях A и B , то есть в местах установки тензометров.

2. По известным формулам вычислить теоретические значения максимальных напряжений в этих сечениях.

3. Определить прогиб сечения в месте действия силы F (сечение D).

Теоретический прогиб можно найти по методу Мора, построив единичную эпюру в любой основной системе от единичной силы, приложенной в сечении D по направлению искомого перемещения.

Статическую неопределимость можно раскрывать, выбирая основную систему другого вида.

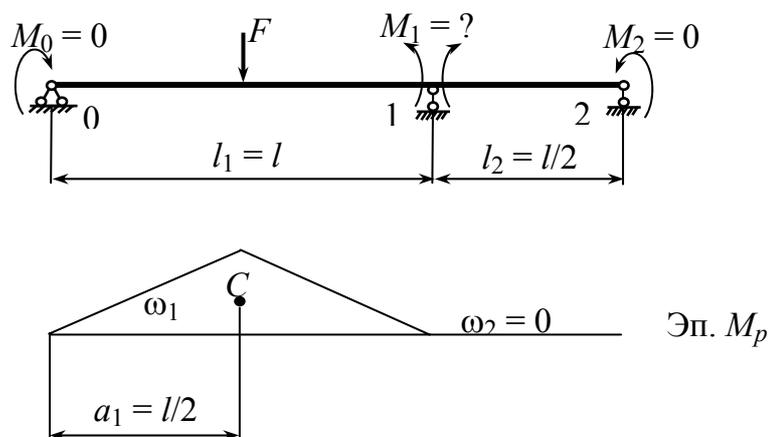


Рис. 24. Эквивалентная система балки

Экспериментальная часть

Исследование неразрезной балки квадратного поперечного сечения осуществляется согласно схеме (см. рис. 23). Справочные данные эксперимента заносят в табл. 16.

Таблица 16

№ п/п	Параметр	Величина
1	Размер поперечного сечения h , см	
2	Осевой момент инерции J_z , см ⁴	
3	Осевой момент сопротивления W_z , см ³	
4	Длина первого пролета l_1 , см	
5	Длина второго пролета l_2 , см	
6	Расстояние до сечения A , см	
7	Расстояние до сечения B , см	
8	Модуль упругости стали E , МПа	

В сечениях A и B устанавливают тензометры рычажного типа, в середине первого пролета производится нагружение вертикальной силой F , в этом же сечении устанавливают индикатор I для определения прогиба балки.

Опытные значения напряжений определяются по формуле

$$\sigma_{\text{оп}} = \frac{E\Delta T}{l_0 K},$$

где E – модуль упругости стали; ΔT – среднеарифметические показания тензометров, установленных в исследуемых сечениях A и B ; $K = 1000$ – увеличение тензометра; $l_0 = 20$ мм – база тензометра.

Опытное значение прогиба в сечении D определяют по формуле $f_{\text{оп}} = 0,01\Delta I_{\text{ср}}$.

Результаты опыта, сравнение опытных и теоретических значений нормальных напряжений и прогибов заносят в табл. 17, 18, 19.

Таблица 17

№ п/п	Нагрузка, кг		Показание тензометра				Показание индикатора	
	F	ΔF	T_1	ΔT_1	T_2	ΔT_2	И	$\Delta И$
			$\Delta T_{1cp} =$		$\Delta T_{2cp} =$		$\Delta И_{cp} =$	

Таблица 18

Сечение балки	Напряжение, МПа		Отклонение, %
	опытное	теоретическое	
A			
B			

Таблица 19

Сечение балки	Напряжение, МПа		Отклонение, %
	опытное	теоретическое	
D			

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схему установки и эпюру изгибающих моментов.
3. Справочные данные (см. табл. 16).
4. Теоретический расчет наибольшей для опыта нагрузки.
5. Теоретический расчет напряжений в исследуемых сечениях прогиба.
6. Результаты опыта(см. табл. 17).
7. Сравнение теоретических и опытных данных (см. табл. 18, 19).

СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА КРУЧЕНИЕ

Цель работы: определить механические характеристики материалов при кручении, ознакомиться с характером разрушения пластичных и хрупких материалов при кручении сплошных круглых образцов.

Оборудование: машина КМ-50-1 с максимальным моментом 50 кг·м (490 Н·м), штангенциркуль, стандартные образцы из стали и чугуна.

Теоретическая часть

Кручение – это такой вид деформации, при котором в поперечном сечении стержня возникает только крутящий момент. При кручении продольная ось стержня не искривляется, а каждое его круглое поперечное сечение поворачивается вокруг оси на некоторый угол, называемый углом закручивания φ . На рис. 25 показан стержень, к которому приложены два одинаковых по величине момента M , действующие относительно оси стержня в противоположных направлениях. В поперечных сечениях стержня возникает крутящий момент $M_k = M$.

Нижнее сечение B поворачивается относительно верхнего сечения A на угол φ , а образующая AB наклоняется на угол γ по винтовой линии (угол сдвига).

Материал стержня при кручении находится в напряженном состоянии «чистый сдвиг». Касательные напряжения возникают в поперечных и продольных сечениях, а направления главных напряжений σ_1 и σ_2 составляют с продольной осью стержня угол 45° (рис. 26).

Испытания на кручении при статическом нагружении стандартного образца моментом M производятся на машине КМ-50-1. В ходе испытаний

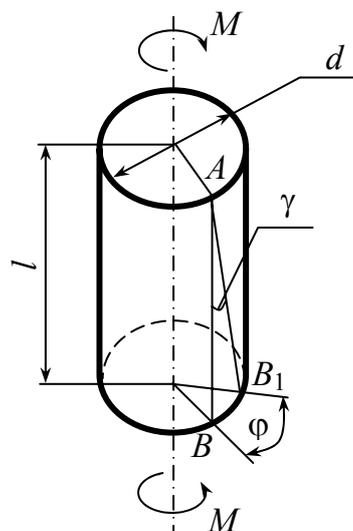


Рис. 25. Кручение круглого стержня

в диаграммном аппарате машины автоматически записывается в виде графика зависимость между моментом M и углом закручивания φ . Этот график называется диаграммой кручения. Вид диаграммы кручения зависит от свойств материала испытываемого образца.

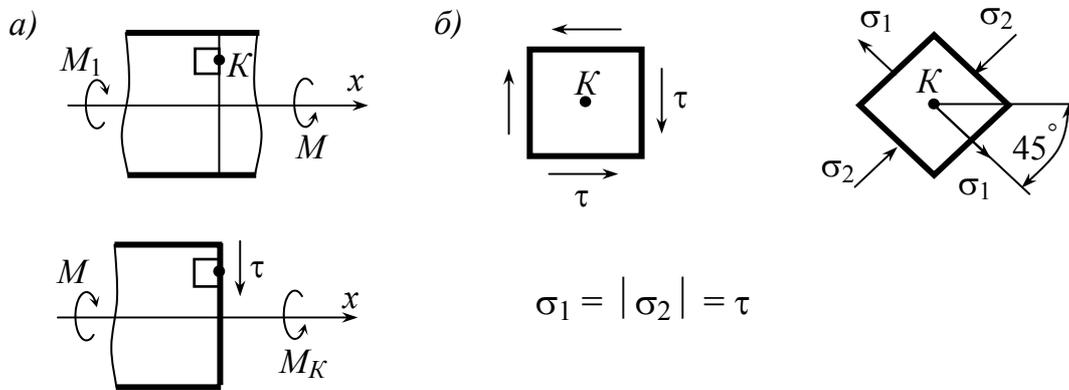


Рис. 26. Напряженное состояние при кручении: а – касательные напряжения в точках поперечного сечения; б – напряженное состояние в точке поперечного сечения K

Диаграмма кручения малоуглеродистой стали изображена на рис. 27.

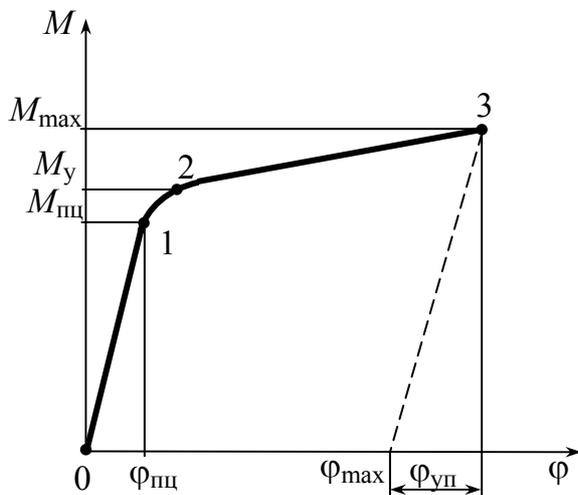


Рис. 27. Диаграмма кручения малоуглеродистой стали

На участке 0 – 1 диаграмма прямолинейна, на этом участке действует закон Гука для кручения, то есть выполняется прямопропорциональная зависимость между углом φ и моментом M и между касательным напряжением τ и углом сдвига γ :

$$\varphi = \frac{Ml}{GJ_p}, \quad \tau = G\gamma.$$

Здесь G – модуль сдвига материала; $J_p = \frac{\pi d^4}{32}$ – полярный момент

инерции поперечного круглого сече-

ния стержня; l – длина рабочей части образца.

На этом участке касательные напряжения в точках поперечного сечения распределены согласно линейной зависимости $\tau = \frac{M}{J_p} \rho$, где ρ – рас-

стояние произвольной точки поперечного сечения до центра сечения (рис. 28, а).

Наибольшие касательные напряжения возникают на поверхности стержня при $\rho = \frac{d}{2}$:

$$\tau_{\max} = \frac{M}{W_p}.$$

Здесь $W_p = \frac{\pi d^3}{16}$ – момент сопротивления поперечного сечения при кручении.

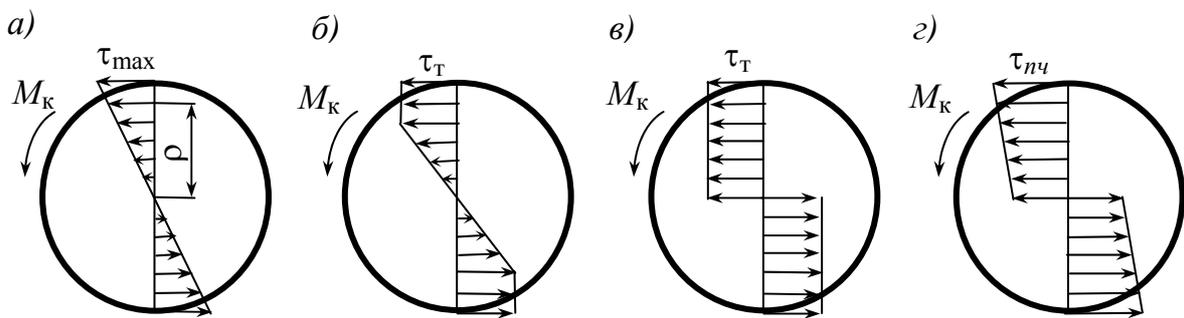


Рис. 28. Распределение касательных напряжений в плоскости поперечного сечения при испытаниях на кручение: а – упругое деформирование при $M_k \leq M_{\text{пл}}$; б – упруго-пластическое деформирование при $M_k > M_{\text{пл}}$; в – пластическое деформирование по всему объему образца; г – разрушающее деформирование при $M_k = M_{\text{max}}$

За точкой 1 на диаграмме кручения (см. рис. 27) следует небольшой участок 1 – 2 упругих деформаций. Дальнейшее увеличение нагрузки $M > M_y$ приводит к появлению упругопластических деформаций, что вызывает быстрое увеличение угла закручивания φ при незначительном увеличении крутящего момента. Этому соответствует довольно пологая, почти горизонтальная и длинная часть диаграммы 2 – 3. Касательные напряжения при этом увеличиваются по сечению неравномерно, достигая на поверхности образца предельных значений, внутри ближе к центру сечения деформации могут быть еще упругими, а напряжения – подчиняться линейной закономерности. Это область упругопластических деформаций (рис. 28, б). Постепенно пластические деформации охватывают все по-

перечное сечение и напряжения во всех точках становятся одинаковыми: $\tau = \tau_T$, где τ_T – касательные напряжения, соответствующие состоянию текучести материала (предел текучести материала) (рис. 28, в). На диаграмме кручения для сплошного образца участок текучести (площадку текучести) выявить нельзя. Дальнейшее небольшое увеличение нагрузки, момента M , приводит к увеличению касательных напряжений до разрушающих значений – предела прочности (рис. 28, з). Образец разрушается при значении момента M_{\max} . Разрушению стального образца предшествует большая пластическая деформация, угол закручивания φ_{\max} в момент разрушения может достигать от 300 до 1000°. Разрушение происходит путем среза по плоскости поперечного сечения образца от касательных напряжений τ (рис. 29, а).

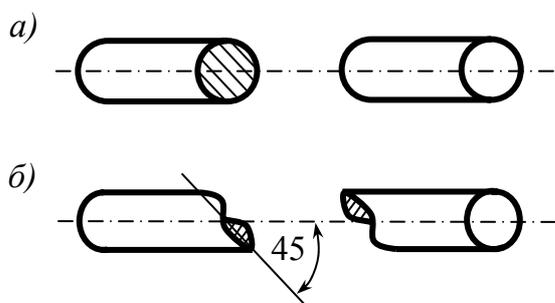


Рис. 29. Вид цилиндрических образцов, разрушенных при кручении: а – стальной; б – чугуновый

Диаграмма кручения чугуна, типичного представителя хрупких материалов, показана на рис. 30.

Начальный участок диаграммы 0 – 1 представляет собой наклонную линию небольшой кривизны. Это означает, что чугун не совсем строго следует закону Гука. Разрушению чугунного образца предшествуют заметная пластическая деформация

(участок 1 – 2), при этом максимальный угол закручивания φ_{\max} достигает от 50 до 60°. Точка 2 диаграммы соответствует наибольшему скручивающему моменту M_{\max} , при котором образец разрушается.

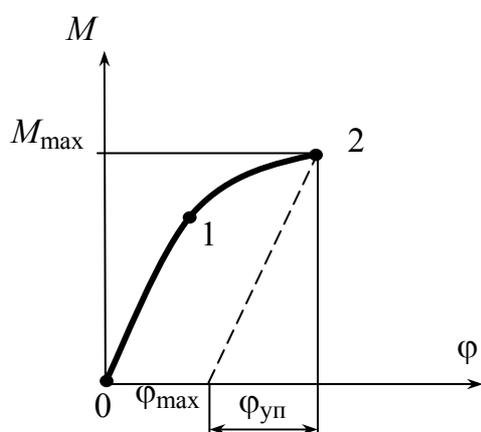


Рис. 30. Диаграмма кручения чугуна

заметная пластическая деформация (участок 1 – 2), при этом максимальный угол закручивания φ_{\max} достигает от 50 до 60°. Точка 2 диаграммы соответствует наибольшему скручивающему моменту M_{\max} , при котором образец разрушается.

Разрушение чугунного образца происходит путем отрыва материала по винтовой поверхности за счет наибольших нормальных напряжений, действующих по главным направлениям под углом 45° к оси образца (см. рис. 26, б). Схема разрушения чугунного образца показана на рис. 29, б.

По результатам испытаний образцов на кручение определяются следующие механические характеристики:

- предел пропорциональности при кручении $\tau_{\text{пц}} = \frac{M_{\text{пц}}}{W_p}$,

где $W_p = \frac{\pi D^3}{16}$ – полярный момент сопротивления;

- условный предел прочности при кручении $\tau_{\text{пц}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_p}$;

- истинный предел прочности при кручении

$$\tau_k = \frac{4}{\pi D^3} \left[3M_{\text{max}} + \Theta_k \left(\frac{dM}{d\Theta} \right)_k \right],$$

где $\Theta_k = \frac{d\varphi}{dx}$ – относительный угол закручивания при разрушении образца;

$\left(\frac{dM}{d\Theta} \right)_k$ – величина, определяемая графически согласно п. 4.6.4

ГОСТ 3565-80.

В условиях учебной лаборатории механических испытаний истинный предел прочности можно найти без учета упрочения перед разрушением по формуле

$$\tau_k = \frac{M_{\text{max}}}{W_{\text{пл}}},$$

где $W_{\text{пл}} = \frac{\pi D^3}{12}$ – пластический момент сопротивления.

Максимальный угол закручивания φ_{max} определяем по диаграмме кручения в координатах $M - \varphi$ или с угломерного устройства машины за вычетом упругого угла закручивания $\varphi_{\text{уп}}$ (см. рис. 27).

Экспериментальная часть

Для испытаний на кручение применяются стандартные образцы (рис. 31).

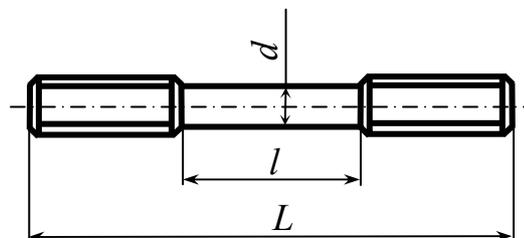


Рис. 31. Образец для испытаний на кручение

Перед началом работы надо измерить диаметры и длины образцов. На рабочей цилиндрической поверхности образцов необходимо мелом начертить образующую, затем провести испытание образцов на кручение на машине КМ-50-1. В ходе испытаний необходимо наблюдать за деформацией образца и записывать показания измерительного устройства машины. Довести образец до разрушения. Результаты испытаний записывают в табл. 20, выполнив необходимые численные расчеты.

Полученные диаграммы кручения стали и чугуна нужно сравнить с типовыми, сделать заключение о характере разрушения обоих образцов и выполнить эскиз образцов после разрушения.

Таблица 20

Основные характеристики образца и материала	Материал	
	Сталь	Чугун
Диаметр d , мм		
Длина l , мм		
Полярный момент сопротивления $W_p = \frac{\pi d^3}{16}$, мм ³		
Пластический момент сопротивления $W_{пп} = \frac{\pi d^3}{12}$, мм ³		
Крутящий момент, соответствующий пределу пропорциональности $M_{пц}$, кг·м		
Разрушающий момент M_{max} , кг·м		
Предел пропорциональности $\tau_{пц}$, МПа		
Условный предел прочности $\tau_{пч}$, МПа		
Истинный предел прочности τ_k , МПа		
Максимальный угол закручивания φ_{max} , °		

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Основные характеристики испытательной машины и образцов.
3. Эскиз образца до разрушения.
4. Результаты испытаний (см. табл. 20).
4. Основные численные расчеты.
5. Эскиз образцов после разрушения.
6. Выводы о характере разрушения и свойствах материала.

УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ

Цель работы: экспериментальное определение величины критической силы при сжатии стержня и сравнение экспериментальных данных с теоретическими.

Оборудование: испытательный стенд, динамометр.

Теоретическая часть

В деформированном теле равновесие между внешними нагрузками и внутренними силами упругости может быть устойчивым и неустойчивым.

Упругое равновесие неустойчиво, если деформированное тело, будучи выведено из него каким-либо воздействием, продолжает деформироваться в направлении вызванного отклонения и после прекращения воздействия в исходное состояние не возвращается.

Упругое равновесие устойчиво, если деформированное тело при любом малом отклонении от состояния равновесия стремится возвратиться к первоначальному положению и возвращается к нему после прекращения внешнего воздействия, нарушавшего первоначальное состояние равновесия.

Между этими двумя состояниями равновесия находится переходное состояние, называемое критическим. При критическом состоянии деформированное тело находится в безразличном равновесии: оно может сохранять первоначальную форму равновесия, но может и потерять ее от самого незначительного воздействия и перейти к другой форме равновесия.

Стержень, центрально сжатый силой F , сохраняет свою первоначально прямолинейную форму. При попытках отклонить его в сторону, например, путем приложения кратковременно действующей небольшой горизонтальной силы он будет после ряда колебаний возвращаться к прямолинейной форме, как только будет удалена добавочная сила, вызвавшая отклонение, то есть прямолинейная форма упругого равновесия стержня устойчива (рис. 32).

При постепенном увеличении силы F стержень будет все медленнее возвращаться к первоначальному положению при проверках его устойчи-

вости. Наконец, можно довести силу F до такой величины, при которой стержень после небольшого отклонения его в сторону не выпрямится, а останется искривленным.

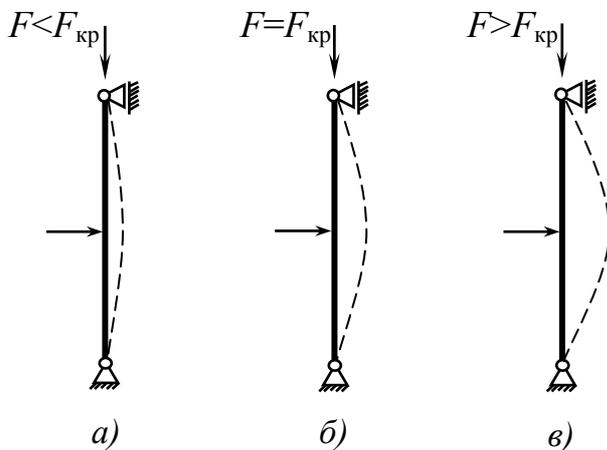


Рис. 32. Центральнo сжатый стержень:

а – устойчивое положение равновесия;

б – неустойчивое положение равновесия стержня;

в – потеря устойчивости стержня

При некотором значении силы F , называемом критическим, прямолинейная форма перестает быть устойчивой формой равновесия сжатого стержня (см. рис. 32, б). Даже при небольшом превышении сжимающей силой F ее критического значения прямолинейная форма стержня делается неустойчивой. Стержень теряет устойчивость, выпучивается,

что равносильно его разрушению (рис. 32, в). Практически можно считать, что критическая сила $F_{кр}$ эквивалентна нагрузке, «разрушающей» сжатый стержень, выводящей его и связанную с ним конструкцию из условий нормальной работы.

Для обеспечения определенного запаса устойчивости необходимо, чтобы выполнялось условие $F \leq [F]$, где F – действующая нагрузка; $[F]$ – допускаемая нагрузка, которая при коэффициенте запаса устойчивости n_y равна $[F] = \frac{F_{кр}}{n_y}$.

Теоретическая формула для определения критической силы (формула Эйлера) имеет вид

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ_{\min}}{(\mu l)^2},$$

где E – модуль продольной упругости материала стержня; J_{\min} – минимальный осевой момент инерции поперечного сечения стержня; μ – коэффициент, зависящий от способа закрепления концов стержня; l – фактическая длина стержня.

Формулой Эйлера можно пользоваться только в случае, если справедлив закон Гука, то есть пока критическое напряжение $\sigma_{кр}$ возникшее

в стержне при действии критической силы, не превышает предела пропорциональности:

$$\sigma_{кр} = \frac{F_{кр}}{A} \leq \sigma_{пц},$$

или (16)

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi E}{\lambda^2} \leq \sigma_{пц},$$

где A – площадь поперечного сечения стержня; $\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}$ – гибкость стержня.

Условие (16) позволяет определить предельную гибкости стержня

$$\lambda_{\text{пред}} \geq \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{пц}}}.$$

Здесь $\sigma_{пц}$ – предел пропорциональности материала стержня. Формулу Эйлера для определения критической силы $F_{кр}$ можно использовать при условии $\lambda \geq \lambda_{\text{пред}}$.

При значениях гибкости $\lambda \leq \lambda_{\text{пред}}$ значение критического напряжения может быть вычислено согласно опытным данным по эмпирической формуле $\sigma_{кр} = a - b\lambda$. Значения постоянных коэффициентов a , b приведены в справочниках по сопротивлению материалов. Например, для стали Ст. 3 при $40 \leq \lambda \leq 100$: $a = 310$ МПа, $b = 1,14$ МПа.

Экспериментальная часть

Для испытаний на устойчивость используется стальной стержень с прямоугольным поперечным сечением ($b = 25$ мм, $h = 3,5$ мм). При расчетах принимаются следующие механические характеристики стали: $\sigma_{тц} = 200$ МПа, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа. Схема установки для нагружения стержня представлена на рис. 33.

Нагружение стержня производят при помощи нажимного винта 5, действующее усилие фиксируют динамометром 6. Приспособление для закрепления стержня позволяет осуществлять шарнирное закрепление и жесткое защемление как одного, так и обоих концов стержня. Стержень после замера вставляют в приспособление, где и осуществляют тот или иной

способ закрепления его концов, при этом тщательно выверяют его вертикальное положение с помощью отвеса.

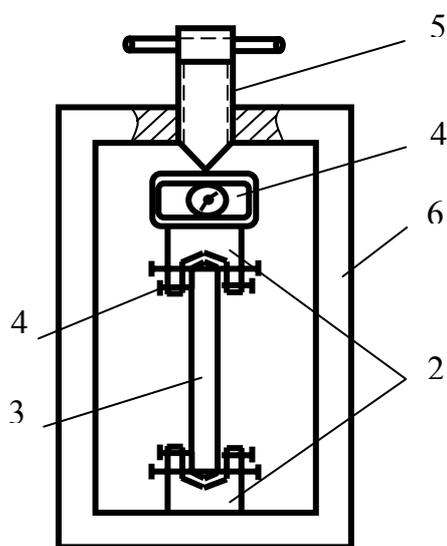


Рис. 33. Схема установки:
 1 – станина; 2 – приспособление для закрепления стержня;
 3 – стержень; 4 – заземляющие болты; 5 – нажимной винт; 6 – динамометр

После некоторого нагружения силой меньше критической стержень выводят из положения прямолинейной формы равновесия и убеждаются в том, что это положение является устойчивым. Стержень после одного-двух колебаний возвращается в первоначальное прямолинейное положение. Увеличивая силу, стержень отклоняют от вертикали и наблюдают за его поперечными колебаниями. При некотором значении нагрузки стержень, будучи отклонен от вертикального положения, не возвращается к прямолинейной форме, то есть происходит потеря устойчивости. Соответствующая данному положению нагрузка

является критической. Значения нагрузки определяются по показаниям динамометра (табл. 21). Результаты опыта заносят в табл. 22.

Таблица 21

Число делений динамометра	0	2	103	160	208	261	313
Действующая нагрузка, кг	0	100	200	300	400	500	600

Следует иметь в виду, что при проведении опыта не всегда удается избежать некоторых, казалось бы, маловажных обстоятельств (переменность сечения по длине стержня, недостаточная совершенность осуществления закрепления концов стержня, некоторая первоначальная кривизна и т.п.), влияющих на результаты испытаний. Но при тщательном проведении опыта расхождение не бывает большим, не превышает 10 %.

Таблица 22

Характеристика материала образца	Способ закрепления стержня		
	Оба конца шарнирно закреплены	Жесткое закрепление обоих концов	Смешанное закрепление
Длина стержня l , см	60	50	55
Площадь поперечного сечения образца A , см ²			
Осевой момент инерции сечения J_{\min} , см ⁴			
Радиус инерции сечения $i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{F}}$, см			
Коэффициент приведения длины, μ			
Гибкость $\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}$			
Формула для вычисления критической силы			
Критическая сила; кН: - вычисленная - опытная			
Расхождение, %			

Отчет должен содержать:

1. Цель испытаний, схему установки.
2. Численные расчеты критических сил по формуле Эйлера при различных способах закрепления стержня.
3. Таблицу результатов (см. табл. 22).
4. Выводы.

ИСПЫТАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВИНТОВОЙ ПРУЖИНЫ

Цель работы: сравнение теоретических и опытных значений изменения длины (осадки) пружины и модуля сдвига материала.

Оборудование: испытательный стенд, штангенциркуль.

Теоретическая часть

Цилиндрическая винтовая пружина является пространственно изогнутым стержнем, ось которого представляет собой винтовую линию. При малом угле наклона витка α ($\alpha \leq 15^\circ$) в поперечном сечении витка при нагружении пружины силой F возникают два основных внутренних силовых фактора – крутящий момент $M_K = \frac{FD}{2}$ и поперечная сила $Q = F$ (рис. 34).

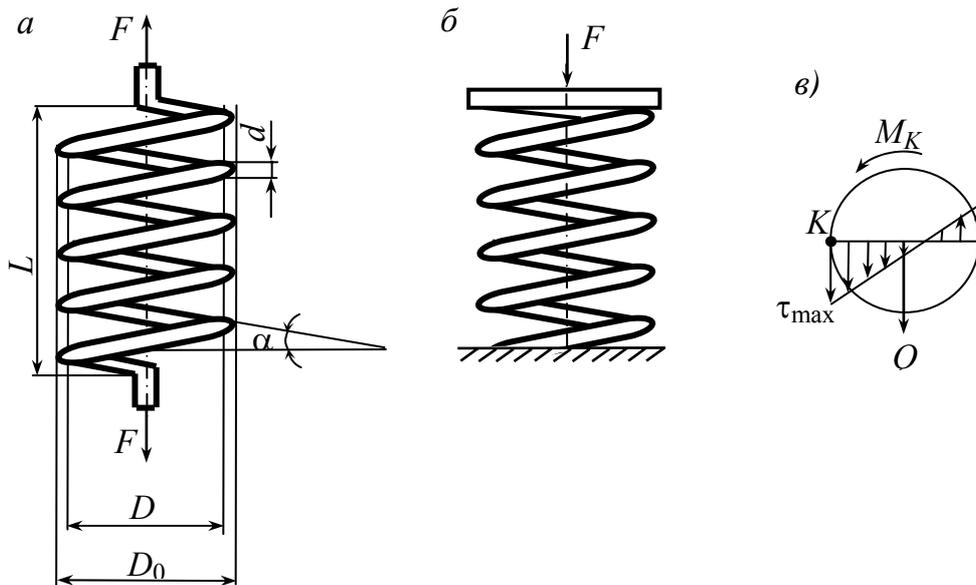


Рис. 34. Цилиндрическая винтовая пружина: а – растяжения; б – сжатия; в – эпюра касательных напряжений в поперечном сечении витка пружины

Касательное напряжение в опасной точке поперечного сечения витка равно

$$\tau_{\max} = \frac{M_K}{W_p} + \frac{Q}{A}, \quad (17)$$

где $W_p = \frac{\pi d^3}{16}$; $A = \frac{\pi d^2}{4}$ – полярный момент сопротивления и площадь поперечного сечения витка; d – диаметр проволоки.

Или из формулы (17):

$$\tau_{\max} = \frac{8FD}{\pi d^3} \left(1 + \frac{1}{2c} \right).$$

Здесь $c = \frac{D}{d}$ – индекс пружины ($c = 5 - 20$).

С учетом кривизны витков расчет наибольшего касательного напряжения в опасной точке поперечного сечения витка проводят по формуле

$$\tau_{\max} = \chi \frac{8FD}{\pi d^3},$$

где $\chi = \frac{4c+1}{4c-4}$.

Перемещение конца пружины λ , то есть удлинение пружины растяжения или укорочение (осадку) пружины сжатия, определяют по формуле

$$\lambda = \frac{8FD^3 n}{Gd^4}, \quad (18)$$

где n – число витков пружины; G – модуль сдвига материала пружины.

Максимальную нагрузку пружины F_{\max} определяют из условия проч-

ности $\tau_{\max} = \chi \frac{8FD}{\pi d^3} \leq [\tau]$,

отсюда

$$F_{\max} \leq \frac{[\tau] \pi d^3}{\chi 8D}. \quad (19)$$

Здесь $[\tau]$ – допускаемое напряжение для пружинной стали, при расчетах принять $[\tau] = 200 - 500$ МПа.

Теоретический расчет изменения длины пружины (перемещения ее конца) $\lambda = \Delta L$ проводят по формуле (18), приняв $F = \Delta F$ (см. ниже).

Экспериментальная часть

Перед испытанием измерить штангенциркулем размеры пружины: наружный диаметр D_0 , диаметр проволоки d , длину пружины в ненагру-

женном состоянии L_0 . По формуле $D = D_0 - 2d$ определить средний диаметр пружины. Занести данные в табл. 23.

Таблица 23

№ п/п	Параметр пружины и материала	Величина
1	Наружный диаметр пружины D_0 , мм	
2	Диаметр проволоки d , мм	
3	Средний диаметр пружины $D = D_0 - 2d$, мм	
4	Индекс пружины $c = \frac{D}{d}$	
5	Число витков n	
6	Начальная длина пружины L_0 , мм	
7	Модуль сдвига стали G , МПа	
8	Допускаемое напряжение $[\tau]$, МПа	

Закрепить пружину в зажимах испытательного стенда. Нагрузить пружину силой F , увеличивая нагрузку ступенчато, начиная со значения F_0 :

$$F = F_0 + i \Delta F,$$

где $F_0 \approx 0,2\Delta F$; ΔF – приращение нагрузки; $\Delta F = \text{const}$; i – номер ступени; $i = 1, \dots, k$; k – число ступеней.

При нагружении пружины необходимо учитывать условие (18):

$$F = F_0 + k \Delta F \leq [F_{\max}].$$

Замерить длину пружины L , соответствующую каждой ступени нагружения ΔF . Определить изменение длины пружины $\lambda = \Delta L$ на каждой

ступени нагружения и по формуле $\lambda_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{k}$ найти среднее значение этого

изменения. Данные опыта занести в табл. 24.

Таблица 24

Нагрузка F , кг	Приращение нагрузки ΔF , кг	Длина пружины L , мм	Изменение длины пружины λ , мм

По формуле $\Delta\lambda = \frac{\lambda_{\text{теор}} - \lambda_{\text{оп}}}{\lambda_{\text{теор}}} 100\%$ сравнить теоретическое и опыт-

ное значение изменения длины пружины.

Опытное значение модуля сдвига найти по формуле $G_{\text{оп}} = \frac{8\Delta F D^3 n}{\lambda_{\text{ср}} d^4}$

и сравнить это значение с табличным $\Delta G = \frac{G_{\text{табл}} - G_{\text{оп}}}{G_{\text{табл}}} 100\%$.

Данные расчетов свести в табл. 25.

Таблица 25

Параметр	Значение		Погрешность, %
	теоретическое	опытное	
λ , мм			
G , МПа			

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Эскиз испытываемой пружины.
3. Данные для расчета, сведенные в табл. 23.
4. Теоретический расчет максимальной нагрузки пружины F_{max} .
5. Теоретический расчет изменения длины (осадки) пружины при заданной нагрузке.
6. Результаты опыта, сведенные в табл. 24, сравнение теоретических и опытных значений (табл. 25).
7. Выводы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнение предложенных лабораторных работ в полном объеме, предусмотренном учебными планами соответствующих специальностей, способствует усвоению в наглядной форме основных положений курса сопротивления материалов. Важной составляющей в подготовке специалистов являются практические навыки, полученные при выполнении лабораторных работ. Знакомство с лабораторным оборудованием, испытательными машинами и приборами, различными материалами и образцами из них помогает формированию у студентов инженерной эрудиции. Наблюдение за ходом испытаний, обработка и оценка полученных опытным путем результатов, сравнение их с теоретическими данными позволяют студентам изучить методы механических испытаний, которые используются и в производственных условиях. Студенты приобретают также первичные навыки научно-исследовательской работы, умение анализировать результаты эксперимента и делать на их основе выводы, что также помогает формированию студента как специалиста.

Список рекомендуемой литературы

1. *Дарков, А. В.* Сопротивление материалов / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. – М. : Высш. шк., 1989 – 624 с.
2. *Писаренко, Г. С.* Сопротивление материалов / Г. С. Писаренко, В. А. Агарев, А. Л. Квитка [и др.]; под ред. акад. АН УССР Г. С. Писаренко. – Киев : Вища шк., 1986. – 775 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ УПРУГОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....	5
Лабораторная работа № 2. СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ	10
Лабораторная работа № 3. СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА СЖАТИЕ.....	16
Лабораторная работа № 4. ПРЯМОЙ ИЗГИБ	20
Лабораторная работа № 5. КОСОЙ ИЗГИБ	25
Лабораторная работа № 6. ВНЕЦЕНТРЕННОЕ РАСТЯЖЕНИЕ	31
Лабораторная работа № 7. ИСПЫТАНИЕ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ	37
Лабораторная работа № 8. СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ НА КРУЧЕНИЕ.....	41
Лабораторная работа № 9. УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ.....	47
Лабораторная работа № 10. ИСПЫТАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВИНТОВОЙ ПРУЖИНЫ	52
Заключение	56
Список рекомендуемой литературы.....	56

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания

Составитель
БУРЛАКОВА Алла Михайловна

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой доцент А.Ф. Ковалев

Редактор Р.С. Кузина
Корректор В.В. Гурова
Компьютерный набор Т.А. Козловой
Компьютерная верстка Е.Г. Радченко

ЛР № 020275. Подписано в печать 18.02.05

Формат 60×84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать на ризографе. Усл. печ. л. 3,49. Уч.-изд. л. 3,51. Тираж 400 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.