

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт механики и математики
Кафедра теоретической механики

Выборнов В.Г., Саченков А.А., Якушев Р.С.

Методические указания к лабораторным работам

ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Казань 2018

УДК 539.3

Выборнов В.Г., Саченков А.А., Якушев Р.С. Методические указания к лабораторным работам по сопротивлению материалов. Учебное пособие. Казань: Изд-во КФУ, 2018. 30 с.

Данная работа является учебно-методическим пособием по сочетанию «технологии» самостоятельной работы студентов над курсом «Сопротивление материалов» и экспериментальных исследовательских работ. Пособие предназначено для выработки приемов самоорганизации работы студента перед проведением лабораторных занятий по сопротивлению материалов и навыков оформления отчетов по выполненным работам, чтобы эффективно использовать консультации и время, отведенное для самостоятельной подготовки.

В перечень занятий включены работы по определению механических характеристик и упругих постоянных конструкционных материалов, а так же работы, связанные с экспериментальными методами определения деформаций и напряжений в элементах конструкций при различных видах их нагружения. Даны описания испытательных машин и приборов, используемых в лабораторном практикуме, даны основы тензометрии.

Предназначено для студентов направлений «Механика и математическое моделирование», «Прикладная механика» всех форм обучения. Может быть полезно начинающим преподавателям сопротивления материалов, прикладной механики, технической механики.

Рецензенты: д.ф.м.-н., зав. каф. «Сопротивления материалов» КГАСУ Каюмов Р.Г.,
к.ф.м.н., доцент каф. «Сопротивления материалов» КНИТУ Сагдатуллин М. .

Одобрено научно-методическим советом
Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского
Казанского федерального университета.

© Выборнов В.Г., Саченков А.А.,
Якушев Р.С. 2018

© Казанский федеральный университет

ВВЕДЕНИЕ

Повышение производительности, долговечности, надежности машин, снижения материалоемкости конструкции и обеспечение конкурентоспособности выпускаемой продукции - требование ускоряющегося научно-технического прогресса. Обеспечение этого процесса прерогатива конструкторов, инженеров и машиностроителей. Поэтому при формировании облика инженеров широкого профиля исключительна роль дисциплин общинженерного цикла и, в частности, дисциплины «Сопротивление материалов». При создании новых сооружений или конструкций необходимо определение первоначальных размеров их элементов, а также проведение предварительных прочностных расчетов. Такие расчеты на прочность и устойчивость, как правило, основаны на методах сопротивления материалов. Использование численных методов ЭВМ, компьютерных прикладных пакетов программ тоже подразумевают применение упрощенных моделей сопротивления материалов при анализе достоверности получаемых результатов.

Задача курса по сопротивлению материалов - это овладение как теоретическими основами, так и практическими методами расчета элементов машин и конструкций на прочность и жесткость, устойчивость и усталость. Эти знания необходимы при изучении дальнейших дисциплин и для ознакомления с современными подходами рационального проектирования и расчета сложных механических систем.

Цель лабораторных занятий – это ознакомление с экспериментальными исследованиями прочности и жесткости, устойчивости и усталости материалов и элементов машин и конструкций; изучение поведения материалов при различных видах нагружения; получение навыков сравнения экспериментальных результатов с теоретическими (расчетными) данными. Проводя лабораторные работы по сопротивлению материалов обучающиеся должны научиться определять механические характеристики на прочность и жесткость, на усталость и устойчивость при растяжении-сжатии, изгибе, кручении и сложном воздействии статической и ударной нагрузкой с применением методов тензометрии, фотоупругости и современных электронных приборов.

Перед лабораторными занятиями студентам необходимо **самостоятельно повторить** теоретический курс, обратив особое внимание на следующие разделы курса «Сопротивления материалов»:

Введение. Цель курса сопротивление материалов, место курса среди других дисциплин. Классификация тел по геометрическим параметрам. Классификация внешних сил. Гипотезы о свойствах материала. Опорные устройства.

Внутренние силы. Нормальные и касательные напряжения, понятие о напряженном состоянии в точке. Метод сечений. Внутренние силовые факторы в поперечном сечении стержня и соответствующие им виды деформаций.

Принцип неизменяемости начальных размеров. Принцип независимости действия сил. Принцип Сен-Венана.

Центральное растяжение-сжатие прямого стержня. Внутренние силовые факторы в стержне при центральном растяжении-сжатии. Нормальная сила, нормальные напряжения в поперечных сечениях. Гипотеза плоских сечений. Продольные и поперечные деформации, коэффициент Пуассона. Закон Гука при одноосном растяжении-сжатии. Перемещения поперечных сечений стержня и его удлинение.

Экспериментальное определение механических характеристик материалов при центральном растяжении-сжатии. Диаграмма условная и истинная. Механические характеристики материала. Пластические и хрупкие материалы. Закон разгрузки и повторного нагружения. Влияние температуры на механические характеристики.

Понятие о ползучести, последствии, релаксации, длительной прочности.

Расчет на прочность по допускаемым напряжениям. Нормативный коэффициент запаса прочности, условие прочности. Проектировочный расчет, определение площади поперечного сечения. Определение допускаемой нагрузки. Поверочный расчет, фактический запас прочности.

Расчет на жесткость. Условие жесткости.

Сдвиг. Явление сдвига. Чистый сдвиг. Анализ напряженного состояния при чистом сдвиге. Связь между модулями упругости первого и второго рода и коэффициентом Пуассона. Расчет элементов конструкций на срез.

Геометрические характеристики поперечных сечений стержней. Основные определения. Общие свойства геометрических характеристик. Статические моменты плоской фигуры, центральные оси, центр тяжести.

Изменение моментов инерции при параллельном переносе и повороте осей координат. Главные оси и главные моменты инерции. Моменты инерции простых фигур. Алгоритм определения главных центральных осей и вычисления моментов инерции для нетонкостенных сечений. Особенности расчета геометрических характеристик тонкостенных сечений.

Прямой поперечный изгиб. Виды изгиба стержня. Внутренние силовые факторы и дифференциальные зависимости при прямом поперечном изгибе. Техника построения эпюр внутренних силовых факторов в балках.

Нормальные напряжения при чистом изгибе. Нормальные и касательные напряжения при прямом поперечном изгибе.

Касательные напряжения в балках тонкостенного поперечного сечения. Центр изгиба.

Расчеты на прочность при изгибе. Определение перемещений при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения упругой линии. Метод Мора. Правило Верещагина.

Кручение. Внутренние силовые факторы при кручении. Классификация поперечных сечений стержней. Кручение стержня: круглого и кольцевого поперечных сечений, тонкостенного замкнутого поперечного сечения, сплошного прямоугольного сечения, тонкостенного открытого сечения и составного сечения. Обобщенные формулы для расчета стержней на кручение.

Расчеты на прочность и жесткость при кручении. Критерии рациональности формы поперечных сечений при кручении. Расчет цилиндрических винтовых пружин малого шага.

Косой изгиб и внецентренное растяжение-сжатие прямого стержня. Косой изгиб, напряжение в поперечном сечении, нейтральная линия. Определение перемещений. Расчет на прочность и жесткость.

Определение напряжений при внецентренном растяжении-сжатии, уравнение нейтральной линии, ядро сечения, расчет на прочность.

Статические определимые стержневые системы. Пространственный брус малой кривизны, внутренние силовые факторы и напряжения в поперечных сечениях, потенциальная энергия деформации, интеграл Мора. Типы стержневых систем.

Особенности расчета перемещений в плоских стержневых системах (рамах, фермах, комбинированных системах) методом Мора. Определение взаимных перемещений сечений.

Напряженное и деформированное состояние в точке тела. Напряженное состояние в точке тела. Тензор напряжений. Компоненты вектора полного напряжения на произвольной площадке, проходящей через данную точку. Полное, нормальное и касательное напряжения на этой площадке. Главные площадки и главные напряжения. Определение величины главных напряжений и положений главных площадок. Эллипсоид напряжений. Экстремальные касательные напряжения и площадки их действия. Круговая диаграмма Мора. Классификация напряженных состояний. Анализ плоского напряженного состояния. Главные площадки и главные напряжения в стержне при сложном нагружении.

Деформированное состояние в точке тела. Тензор деформаций. Аналогия между напряженным и деформированным состояниями.

Обобщенный закон Гука для изотропного материала. Удельная потенциальная энергия деформации и ее деление на энергии изменения объема и формы.

Теории прочности. Принципиальная схема построения теорий прочности. Теория наибольших

нормальных напряжений. Теория наибольших относительных удлинений. Теория максимальных касательных напряжений. Теория удельной потенциальной энергии изменения формы. Теория Мора. Сопоставление теорий прочности. Расчет стержней на прочность при сложном напряженном состоянии.

Расчет пространственных статически определимых и статически неопределимых рам.
Расчет плоских и пространственных рам.

Устойчивость сжатых стержней. Понятие потери устойчивости для идеального стержня. Критическая сила. Задача Эйлера. Сравнение результатов решения Эйлера с другими решениями. Ценность и недостатки идеальной модели. Пределы применимости формулы Эйлера. Устойчивость сжатых стержней за пределами пропорциональности. Зависимость критических напряжений от гибкости. Поверочный и проектировочный расчеты на устойчивость. Энергетический метод определения критической нагрузки.

Удар. Понятие удара. Механические процессы, сопровождающие удар. Техническая теория удара. Удар по системе без учета массы системы. Удар по системе, масса которой сосредоточена в точке удара. Приведение массы системы в точку удара.

Расчет на прочность при циклически меняющихся во времени напряжениях. Явление усталости. Цикл напряжений и предел выносливости. Влияние концентрации напряжений, размеров, чистоты обработки поверхности и других факторов на сопротивление усталости. Диаграммы предельных амплитуд и определение запасов прочности деталей из различных материалов при чистом сдвиге и одноосном напряженном состоянии. Определение запаса усталостной прочности при сложном напряженном состоянии.

Вопросы для самостоятельного контроля качества освоения дисциплины:

1. Какие деформации называются упругими? остаточными (пластическими)?
2. Что называется напряжением в точке в данном сечении?
3. Какое напряжение называется нормальным?
4. Какое напряжение называется касательным?
5. В чем сущность метода сечений?
6. Как строится диаграмма растяжения?
7. Что называется пределом пропорциональности?
8. Что называется пределом упругости, пределом текучести, пределом прочности?
9. Как формулируется закон Гука?
10. Что называется модулем упругости?
11. Что называется коэффициентом поперечной деформации?
12. Как найти работу растягивающей силы по диаграмме растяжения?
13. Что называется удельной работой деформации?
14. Что называется истинным пределом прочности?
15. В чем заключается разница между пластичными и хрупкими материалами?
16. В каких местах возникает концентрация напряжений?
17. Какие задачи называются статически неопределимыми?
18. Каков общий порядок решения статически неопределимых задач?
19. Как находят напряжения при изменении температуры?
20. Как находят удлинение стержня, растягиваемого собственным весом?
21. От каких факторов зависит коэффициент запаса прочности?
22. Как формулируется условие прочности?
22. Что называется абсолютным и относительным сдвигом?
23. Как формулируется закон Гука при сдвиге?
24. Какой модуль упругости больше: E или G ?
25. Как находится условная площадь смятия заклепки?
26. По какому сечению в заклепочном соединении проводится проверка листов на разрыв?
28. Какие напряжения возникают в поперечном сечении круглого стержня при кручении?
29. Как находят их величину в произвольной точке поперечного сечения?
30. Возникают ли при кручении нормальные напряжения?

31. Чему равен полярный момент инерции круглого сечения?
32. Что называется моментом сопротивления при кручении?
33. Чему равен момент сопротивления кольцевого сечения? Почему нельзя сказать, что он равен разности моментов сопротивления наружного и внутреннего кругов?
34. Как вычисляют момент, передаваемый шкивом, по мощности и числу оборотов?
35. Как находят угол закручивания?
36. Как производят расчет вала на прочность? на жесткость?
37. Как находят максимальные напряжения при кручении стержня прямоугольного сечения?
38. Как вычисляют напряжения в пружинах?
39. Как определяют деформации пружин?
40. По каким формулам находят координаты центра тяжести плоской фигуры?
41. Чему равна сумма осевых моментов инерции относительно двух взаимно перпендикулярных осей?
42. Какие оси называются главными?
43. Для каких фигур можно без вычислений установить положение главных центральных осей?
44. Относительно каких центральных осей осевые моменты инерции имеют наибольшее и наименьшее значения?
45. Какой из двух моментов инерции треугольника больше: относительно оси, проходящей через основание, или относительно оси, проходящей через вершину параллельно основанию?
46. Какой из двух моментов инерции квадратного сечения больше: относительно центральной оси, проходящей параллельно сторонам, или относительно оси, проходящей через диагональ?
47. Какой из двух главных центральных моментов инерции полукруглого сечения больше: относительно оси, параллельной диаметру, ограничивающему сечение, или относительно перпендикулярной оси?
48. Какие имеются виды напряженного состояния материала?
49. В чем заключается закон парности касательных напряжений?
50. Чему равна сумма нормальных напряжений по двум взаимно перпендикулярным площадкам?
51. По каким площадкам возникают наибольшее и наименьшее нормальные напряжения?
52. Как производится графическое построение для определения напряжений в наклонных площадках в случае плоского напряженного состояния?
53. Как при помощи этого построения находят главные напряжения?
54. Чему равно наибольшее касательное напряжение в случае плоского напряженного состояния?
55. Как находят максимальные касательные напряжения в случае объемного напряженного состояния?
56. Как находят деформации при плоском и объемном напряженном состояниях?
57. Как формулируется первая теория прочности?
58. Как находят расчетное напряжение по второй теории прочности?
59. Зависит ли расчетное напряжение, найденное по третьей теории прочности, от величины s_2 ?
60. Чему равна удельная работа деформации при объемном напряженном состоянии?
61. Какая часть потенциальной энергии деформации учитывается при составлении расчетного уравнения по четвертой теории прочности?
62. Как находят изгибающий момент в каком-либо сечении балки?
63. В каком случае изгибающий момент считается положительным?
64. Как находят поперечную силу в каком-либо сечении балки?
65. Когда поперечная сила считается положительной?
66. Какая существует зависимость между величинами M и Q ?
67. Как находят максимальный изгибающий момент?
68. Какой случай изгиба называется чистым изгибом?
69. По какой кривой изогнется балка в случае чистого изгиба?
70. Как изменяются нормальные напряжения по высоте балки?
71. Что называется нейтральным слоем и где он находится?
72. Что называется моментом сопротивления при изгибе?

73. Как выгоднее положить балку прямоугольного сечения при работе на изгиб: на ребро или плашмя?
74. У круглого или квадратного сечения больший момент сопротивления при одинаковой площади?
75. В каких плоскостях возникают касательные напряжения при изгибе, определяемые по формуле Журавского? Как их находят?
76. Как находят главные напряжения при изгибе?
77. Какие напряжения появятся в балке, если плоскость действия нагрузки не пройдет через центр изгиба?
78. Как пишется общее дифференциальное уравнение изогнутой оси балки?
79. Как определяют наибольший прогиб?
80. Что представляют собой члены правой части уравнения трех моментов?
81. Как определяют опорные реакции неразрезной балки?
82. Какой случай изгиба называется косым изгибом?
83. Возможен ли косой изгиб при чистом изгибе?
84. В каких точках поперечного сечения возникают наибольшие напряжения при косом изгибе?
85. Как находят положение нейтральной линии при косом изгибе?
86. Как пройдет нейтральная линия, если плоскость действия сил совпадет с диагональной плоскостью балки прямоугольного поперечного сечения?
87. Как определяют деформации при косом изгибе?
88. Может ли балка круглого поперечного сечения испытывать косой изгиб?
89. Как находят напряжения в произвольной точке поперечного сечения при внецентренном растяжении или сжатии?
90. Чему равно напряжение в центре тяжести поперечного сечения при внецентренном растяжении или сжатии?
91. Какое положение занимает нейтральная линия, когда продольная сила приложена к вершине ядра сечения?
92. Какие напряжения возникают в поперечном сечении стержня при изгибе с кручением?
93. Как находят опасные сечения стержня при изгибе с кручением?
94. В каких точках круглого поперечного сечения возникают наибольшие напряжения при изгибе с кручением?
95. Почему обыкновенно не учитывают касательные напряжения от изгиба при совместном действии изгиба и кручения?
96. Как пишутся условия прочности стержня по всем четырем теориям, если известны σ_u и $\tau_{кр}$?
97. Как находят расчетный момент при изгибе с кручением стержня круглого поперечного сечения?
98. По какой теории прочности (третьей или четвертой) получится больший расчетный момент при заданных величинах M_u и $M_{кр}$?
99. В чем заключается явление потери устойчивости сжатого стержня?
100. Какая сила называется критической?
101. По какой формуле находят критическую силу?
102. Как изменится критическая сила для стойки круглого сечения при уменьшении диаметра в два раза?
103. Как изменится критическая сила при увеличении длины стойки в два раза?
104. В каких пределах применима формула Эйлера?
105. Что называется гибкостью стержня?
106. Как учитывается влияние способа закрепления концов стержня?
107. Чему равен коэффициент длины для различных случаев закрепления концов?
108. Как находят критическое напряжение для стержней малой и средней гибкости?
109. Какой вид имеет график критических напряжений?
110. Как производят проверку стержней на устойчивость?
111. Как подбирают сечение стержня при расчете на устойчивость?
112. Что называется пределом выносливости?

113. Какая эмпирическая зависимость имеется между пределом выносливости и пределом прочности?
114. Как находят предел выносливости при несимметричном цикле?
115. Какие напряжения называются местными?
116. В чем разница между теоретическим и действительным коэффициентами концентрации напряжений?
117. Как влияет характер обработки материала на величину действительного коэффициента концентрации напряжений?
118. Как влияют размеры детали на предел выносливости?
119. Как устанавливают допускаемые напряжения при переменных напряжениях?
120. Какие практические меры применяют по борьбе с изломами усталости?
121. Как делается вывод формулы для определения напряжений при ударе?
122. Чему равен динамический коэффициент при ударе?
123. Как изменится напряжение при продольном ударе в случае увеличения площади поперечного сечения в два раза? (При ответе на этот вопрос можно пользоваться приближенной формулой)
124. Зависит ли напряжение при изгибающем ударе от материала балки?
125. В каком случае возникнут большие напряжения при изгибающем ударе: при положении балки на ребро или плашмя?
126. От каких факторов зависит напряжение при скручивающем ударе?
127. Каким путем можно уменьшить напряжение в стержне с выточками при продольном ударе?
128. Как учитывается масса упругой системы, испытывающей удар?
129. Как производят испытания на удар?

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Лабораторные работы проводятся параллельно с теоретическим курсом, согласно учебной программе.
2. Прохождение лабораторного практикума обязательно для каждого студента.
3. Лабораторные работы проводятся под руководством преподавателя. Проведение занятия в отсутствие преподавателя не допускается.
4. К лабораторным работам студенты допускаются после опроса по содержанию предстоящего эксперимента.
5. Перед началом каждого лабораторного занятия преподаватель дает необходимые объяснения по работе, после чего студенты самостоятельно выполняют работы под наблюдением преподавателя.
6. При проведении лабораторных работ студенты обязаны вести тщательные записи наблюдений и оформлять журнал лабораторных работ. Необходимые расчеты и обработка экспериментальных данных производится в черновиках.
7. По лабораторным работам каждым студентом составляется письменный отчет по установленной форме.
8. Для получения зачета по лабораторной работе отчет подлежит защите. При защите отчетов студент должен показать знание основ теории, понимание физической сущности изучаемых явлений, знакомство с постановкой лабораторных работ.
9. Студенты обязаны бережно обращаться с машинами, лабораторным оборудованием, приборами, испытываемыми образцами и соблюдать чистоту в помещении.
10. Перед началом выполнения лабораторных работ студенты обязаны ознакомиться с инструкцией по технике безопасности.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МЕХАНИКЕ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

1. Запрещается без разрешения преподавателя включать и выключать испытательные машины, приборы, лабораторные установки и производить на них работу.
2. При проведении лабораторных работ нельзя находиться в непосредственной близости от движущихся частей машины.
3. При работе на машинах и установках нельзя прикасаться к токоведущим частям, а также электроцитам и электрорубильнику.
4. При испытании на ударную вязкость материалов нельзя находиться в зоне движения маятника.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИСПЫТАНИЕ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ НА РАСТЯЖЕНИЕ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучение методики подготовки и проведения испытания на растяжение и техники определения механических характеристик материала.
2. Изучение поведения материала при растяжении.
3. Получение условной диаграммы растяжения стального образца.
4. Определение механических характеристик стали $\sigma_{\text{пц}}$, σ_y , σ_T , $\sigma_{\text{пч}}$, σ_p и характеристик пластичности δ , ψ .

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1. Размеры образца:

	до опыта	после опыта
диаметр	$d_0 =$	$d_1 =$
рабочая длина	$l_0 =$	$l_1 =$
площадь сечения	$F_0 =$	$F_1 =$

2. Установить ожидаемую предельную разрушающую нагрузку с целью определения диапазона настройки испытательной машины

$$P_{\text{пч}}^{\text{ожд}} = \sigma_{\text{пч}} * F_0$$

ПОСТАНОВКА ОПЫТА

Перед испытанием расчетная длина образца делится на делительной машине на равные части шагом в 5 мм. После этого образец устанавливается в захватах разрывной испытательной машины и подвергается деформации растяжения до разрыва.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

В результате проведения испытания на растяжение получаем машинную диаграмму растяжения в осях $P - \Delta l$ и по силоизмерителю разрывной машины замеряем значения $P_{\text{пч}}$, P_T , P_p . По характеристикам P и Δl устанавливаем масштаб по осям координат машинной диаграммы и строим условную диаграмму растяжения в осях $\sigma - \epsilon$ с указанием масштаба по осям " σ " и " ϵ ".

По машинной диаграмме определяются значения нагрузок, соответствующих пределу пропорциональности - $P_{\text{пц}}$, пределу текучести - P_T , пределу прочности - $P_{\text{пч}}$, пределу разрыва - P_p . По результатам обмера образца находим:

$$\Delta l = l_1 - l_0$$

$$\Delta F = F_0 - F_1$$

Результаты опыта.

Механические характеристики стали:

Предел пропорциональности	$\sigma_{\text{пц}} = P_{\text{пц}} / F_0 =$
Предел текучести	$\sigma_{\text{т}} = P_{\text{т}} / F_0 =$
Предел прочности	$\sigma_{\text{пч}} = P_{\text{пч}} / F_0 =$
Предел разрыва	$\sigma_{\text{р}} = P_{\text{р}} / F_0 =$

Характеристики пластичности:

Относительное остаточное удлинение	$\delta = (\Delta l / l_0) * 100\% =$
Относительное остаточное сужение	$\psi = ((F_0 - F_1) / F_0) * 100\% =$

Используя рекомендованную литературу, необходимо изучить физический смысл следующих понятий:

- модуль упругости E ;
- условный предел пропорциональности;
- условный предел текучести;
- нормальный и пропорциональный образец;
- метод пересчета места разрыва;
- закон разгрузки в пластической области.

Вопросы для самоконтроля:

1. Почему испытание материалов на растяжение является наиболее распространенной формой испытаний?
2. Чем отличается диаграмма растяжения образцов из малоуглеродистой от диаграмм легированной стали и чугуна?
3. Укажите характерные точки различия диаграмм растяжения образцов из пластичного и хрупкого материалов.
4. Укажите на диаграмме растяжения образца зону равномерного деформирования по всей длине.
5. Объясните причину падения растягивающей нагрузки перед разрывом образца из пластичного материала.
6. Дайте определения пределов: пропорциональности, текучести (физическим и условным), временного сопротивления, истинного сопротивления разрушению. Как определяются эти механические характеристики?
7. Как по диаграмме растяжения определяется доля упругих и доля пластических деформаций в случае нагружения силой, превышающей F_m ?
8. Дайте определения пластичным и хрупким материалам. Какие величины характеризуют пластичность материала, и как их можно определять?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Сравнительное изучение процесса сжатия пластичных, хрупких, изотропных и анизотропных материалов.
2. Получение для ряда образцов диаграммы сжатия.
3. Определение пределов прочности на сжатие и объяснение характера разрушения образцов при сжатии.

4. Установление влияния сил трения на торцах на предел прочности и характер разрушения.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Испытываемые материалы:
- Пластичный: свинец, медь;
- Хрупкий: чугун, цементный кубик;
- Анизотропный: дерево вдоль и поперек волокон.

Испытательные машины:

- Разрывная машина Р-5;
- Пресс УИМ-50.

ПОСТАНОВКА ОПЫТА

Перед испытанием снимаются размеры образцов и фиксируется их вид. После этого образец устанавливается на испытательной машине и подвергается деформации сжатия до разрушения. Предельные нагрузки и характер разрушений отмечаются в журнале испытаний.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

В результате проведения испытания по силоизмерителю определяются значения $P_{пч}$ и вычисляются напряжения предела прочности для каждого материала:

$$\sigma_{пч} = P_{пч} / F_0.$$

Таблица 1.

Вид образца	Медь	Чугун	Дерево		Цементный кубик	
			Вдоль волокон	Поперек волокон	с трением	без трения
До						
После						

Таблица 2.

Наименование материала	Размеры образца	Площадь поперечного сечения	Разрушающая нагрузка $P_{пч}$	Предел прочности $\sigma_{пч}$
Медь (сталь)				
Свинец				
Чугун				
Дерево (вдоль волокон)				
(поперек волокон)				
Цемент (с трением)				
(без трения)				

На основе рекомендованной литературы необходимо изучить механическую природу

процесса разрушения пластичных и хрупких, анизотропных и изотропных материалов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие требования предъявляются к форме образцов при испытаниях на сжатие?
2. Укажите особенности поведения образцов при испытаниях на сжатие.
3. Какие характерные особенности имеются в диаграммах сжатия образцов из пластичных и хрупких материалов?
4. В каких координатах диаграммный аппарат испытательной машины записывает диаграмму сжатия?
5. Укажите механические характеристики, определяемые при испытаниях пластичных и хрупких материалов на сжатие.
6. У каких материалов различается прочность на растяжение и сжатие, а у каких - практически совпадают?
7. Укажите материалы, для которых испытание на сжатие является основным.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ ИСТИННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ СТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Оценка сопротивляемости стали пластической деформации.
2. Построение диаграммы истинных напряжений.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

При проведении испытаний на растяжение напряжения, характеризующие прочность материала $\sigma_{пц}$, $\sigma_{т}$, $\sigma_{пч}$, $\sigma_{р}$ вычислялись по отношению к первоначальной площади поперечного сечения, в то время как эта площадь за пределом пропорциональности довольно существенно уменьшается. Поэтому получаемая машинная диаграмма растяжений $P - \Delta l$ (или условная диаграмма напряжений $\sigma - \varepsilon$) при всем удобстве построения не характеризует ни действительного сопротивления материала разрыву, ни истинного его сопротивления пластической деформации.

ПОСТАНОВКА ОПЫТА

Построение диаграммы истинных напряжений проводится для стального цилиндрического образца на разрывной машине Р-5. До начала эксперимента обмеряется образец, результаты замеров записываются в журнал и определяется диапазон настройки испытательной машины:

$$d_0 = \quad l_0 = \quad P_{пч}^{ожид} = \sigma_{пч} * F_0 =$$

Для построения диаграммы истинных напряжений $\sigma_i^{ист} = P_i / F_i$ необходимо одновременно (при фиксированной нагрузке в данный момент) измерять диаметр образца в нескольких сечениях по длине рабочей части. По наименьшему значению диаметра d_i рассчитывается реальная площадь поперечного сечения F_i . До предела пропорциональности изменение площади сечения незначительно и при вычислении напряжений им можно пренебречь, т.е.

$$\sigma_{nc}^{уст} = \sigma_{nc} = P_{nc} / F_0^{уст}$$

Первые обмеры диаметра необходимо начать за пределом пропорциональности. Для этого останавливается процесс нагружения и быстро производится замер диаметра образца в 2-3 сечениях по длине рабочей части. Лучше иметь двух наблюдателей: один измеряет диаметр в верхней части образца, другой - в нижней части. С момента образования шейки (после достижения P_{nc}) обмеры переносятся в одно сечение, наиболее узкое. Всего надо сделать 4-6 замеров на участке от P_{nc} до P_{nc} и 2-3 замера на участке от P_{nc} до P_p . Последний замер производится после разрыва образца в шейке ячейки, которая соответствует нагрузке разрыва P_p .

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

В процессе испытания ведется журнал, куда записываются значения нагрузок, при которых производится обмер диаметра. Результаты удобно представить в виде таблицы.

Таблица 1.

Нагрузка	Диаметр	Площадь сечения	Напряжения	
			условные	истинные

Вопросы для самоконтроля:

1. Укажите характерные признаки общности и различия диаграмм условных и истинных напряжений при растяжении пластичного материала?
2. Укажите формулы вычисления условных и истинных напряжений.
3. Разъясните суть закона разгрузки и повторного нагружения.
4. Что такое наклеп? Как наклеп влияет на механические свойства материалов?
5. Как определяют работу, затрачиваемую на разрушение образца? Что такое статическая вязкость материала?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ СТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Ознакомление с тензометрами, позволяющими определить деформацию с точностью 0,001 - 0,002 мм.
2. Изучение методики замера деформации с помощью рычажного тензометра РТ и индикаторного тензометра ИТ-1, замера перемещений с помощью индикатора часового типа.
3. Определение модуля упругости E для стального образца при растяжении.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В работе для определения модуля упругости проводится испытание на растяжение стального образца круглого поперечного сечения, деформация продольных волокон которого замеряется индикаторным тензOMETром ИТ-1 с базой $l_0=50$ мм.

Модуль упругости E стального образца определяется по формуле:

$$E = \sigma / \varepsilon = \Delta P * l_0 / (F_0 * \Delta l_{\text{прод}})$$

где $\sigma = \Delta P / F_0$ - напряжение;

$\varepsilon = \Delta l_{\text{прод}} / l_0$ - относительное удлинение продольного волокна;

ΔP - приращение нагрузки на ступени нагружения;

F_0 - начальная площадь поперечного сечения;

$\Delta l_{\text{прод}}$ - абсолютное удлинение продольного волокна, первоначальной длины l_0 (равной базе тензOMETра ИТ-1).

Исходные данные образца заполняются в таблицу 1.

Таблица 1.

Диаметр образца d (мм)	Площадь поперечного сечения	База тензOMETра l_0 (мм)	Цена деления тензOMETра a (мм)

ПОСТАНОВКА ОПЫТА

Перед началом испытаний на образце в рабочей ее части закрепляется тензOMETр ИТ-1. Устанавливаются: ΔP_i - ступени нагружения и P_{max} - наибольшая величина растягивающего усилия. Затем разрывная машина Р-5 настраивается на соответствующий диапазон. Образец фиксируется в захватах машины и снимается начальное показание по шкале тензOMETра. После этого образец ступенчато (с одинаковыми ступенями ΔP) нагружается.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

На каждой ступени снимаются показания « n_i » по шкале тензOMETра. В процессе растяжения образца необходимо следить за пропорциональностью нагрузки ΔP_i и приращениями показаний тензOMETра Δn_i .

Результаты испытаний заполняются в таблицу 2.

Таблица 2.

Нагрузка P_i	Приращение нагрузки $\Delta P_i = P_i - P_{i-1}$	Показания тензOMETра n_i	Приращение делений $\Delta n_i = n_i - n_{i-1}$	Абсолютное удлинение $\Delta l_i = a * \Delta n_i$	Δl среднее
$P_0 =$		$n_0 =$			
$P_1 =$	$\Delta P_1 =$	$n_1 =$	$\Delta n_1 =$	$\Delta l_1 =$	
...	

По результатам экспериментальных замеров находим:

$$\Delta l_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^k \Delta l_i}{k}, \text{ где } k - \text{ число ступеней нагружения.}$$

Далее по формуле

$$E = \frac{\Delta P * l_0}{F_0 * \Delta l_{cp}}$$

определяем модуль упругости стального образца.

Вопросы для самоконтроля:

1. Укажите предел справедливости закона Гука.
2. Как определяется модуль упругости при растяжении и сжатии?
3. Укажите размерность модуля Юнга.
4. Какие свойства материала характеризует модуль Юнга?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ДЛЯ АЛЮМИНИЯ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Определение модуля упругости материала и коэффициента Пуассона с помощью тензодатчиков.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Работа выполняется на разрывной машине Р-5. Для определения упругих характеристик материала применяется плоский образец.

Деформации образца в продольном и поперечном направлениях измеряются с использованием тензодатчиков омического сопротивления. С методикой определения деформаций необходимо предварительно ознакомиться, используя пособие [1].

Коэффициентом Пуассона ν называется отношение величин относительной поперечной деформации к величине относительной продольной деформации, взятых по модулю.

$$\nu = \left| \varepsilon_{\text{попер}} \right| / \left| \varepsilon_{\text{прод}} \right|$$

Модуль упругости определяется по формуле:

$$E = \sigma / \varepsilon_{\text{прод}} = \Delta P / (F_0 * \varepsilon_{\text{прод}}),$$

где ΔP - приращение нагрузки на ступени напряжения;
 F_0 - начальная площадь поперечного сечения.

Продольная и поперечная относительные деформации ($\varepsilon_{\text{прод}}$ и $\varepsilon_{\text{попер}}$) определяются по формуле:

$$\varepsilon = 2 * (A_i - A_{i-1}) * 10^{-5} / k,$$

здесь k - коэффициент тензочувствительности тензодатчика;

A_i и A_{i-1} - показания прибора ИДЦ-1 (соответствующие начальному и конечному зна-

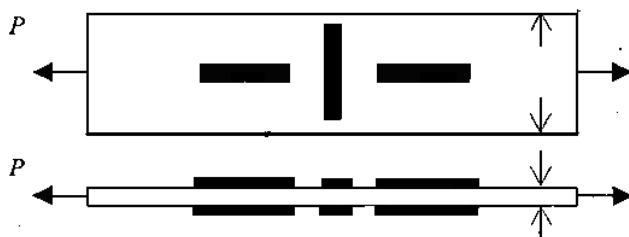
чениям осевой силы на данной ступени нагружения).

Перед началом испытаний измеряются размеры образца, устанавливается начальная нагрузка P_0 для обжатия образца в захватах и определяется степень нагружения ΔP . В таблице 1. заносятся исходные данные. Схема размещения тензодатчиков показана на рис.1. Чтобы исключить влияние эксцентриситета приложения нагрузки, для замера продольной и поперечной деформации применяются парные тензодатчики, наклеиваемые с обеих сторон образца (1-1' , 2-2' и т. д.).

Таблица 1.

Размеры поперечного сечения	F_0 - площадь поперечного сечения	Коэффициент тензочувствительности
$a = b =$	$F_0 = a * b =$	$k =$

Рисунок 1.



ПОСТАНОВКА ОПЫТА

После установки образца в захватах разрывной машины создается начальное растягивающее усилие P для обжатия образца в захватах, после чего снимаются начальные показания тензодатчиков. Затем производится нагружение образца одинаковыми ступенями. На каждой ступени нагружения записываются показания всех шести тензодатчиков. При этом осуществляется проверка пропорциональности нагрузки и деформаций, чтобы выполнялось условие:

$$\sigma_{раб}^{\max} = (P_{\max} / F_0) < \sigma_{пц},$$

где $\sigma_{пц}$ - предел пропорциональности материала.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

Результаты испытаний фиксируются в таблице 2. Продольная деформация определяется по показаниям 1-ой и 3-ей пары датчиков. Вторая пара датчиков служит для определения поперечной деформации. Для определения E необходимо использовать усредненную разность показаний ($A_i - A_{i-1}$)

Таблица 2.

№ тензодатчика	P_0	P_1	P_2	P_3	ΔP	A_0	A_1	$A_1 - A_0$	A_2	$A_2 - A_1$	A_3	$A_3 - A_2$	$(A_i - A_{i-1})_{cp}$
1-1'													
2-2'													
3-3'													

Вопросы для самоконтроля:

1. Укажите форму записи закона Гука при растяжении и сжатии.
2. Какие свойства материала характеризует коэффициент Пуассона?
3. Укажите область значений коэффициента Пуассона.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ.****ЦЕЛЬ РАБОТЫ:**

1. Ознакомление с методами определения твердости металлов.
2. Экспериментальное определение твердости образцов по Бринелю и Роквеллу.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Под твердостью в инженерной практике понимается способность материала сопротивляться воздействию на него тела, определенных размеров и формы, заведомо более твердого. Таким образом, понятие твердости связано с пластической деформацией на поверхности образца или изделия. Из всех механических видов испытаний металлов определение твердости получило самое широкое распространение в производственных условиях, т.к. данное испытание имеет ряд преимуществ перед другими видами:

во-первых при определении твердости образец (изделие) не разрушается;

во-вторых применимо в таких случаях, когда практически никакие другие способы механических испытаний нельзя использовать - определение качества реализации различных способов технологической обработки изделия, таких как: закалка, отжиг, цементация поверхностного слоя и др.;

в-третьих испытание простое по своему выполнению и приборы по определению твердости могут быть использованы непосредственно в производственных условиях;

в-четвертых позволяет определить твердость в структурных составляющих строения сплавов или в тонком поверхностном слое испытываемого изделия.

Из всего разнообразия способов определения твердости стандартизированы три метода, основанных на статическом вдавливании твердого наконечника (индентора).

1. Определение твердости по Бринелю.
2. Определение твердости по Роквеллу.
3. Определение твердости по Виккерсу.

1. Определение твердости по Бринелю.

При этом способе в поверхностный слой материала внедряется стальной закаленный шарик диаметром $D=2.5; 5.0; 10$ мм. Шарик выдерживается некоторое время под нагрузкой P , в результате чего на поверхности остается отпечаток (лунка) диаметром d .

Отношение нагрузки P в килограммах к площади поверхности отпечатка в квадратных миллиметрах называется числом твердости по Бринеллю:

$$H_B = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Таким образом, число твердости по Бринеллю $H_B(P, D, d)$ является функцией нагрузки P и диаметров D и d . Для получения сравнимых результатов испытания требуется соблюдение закона подобия:

$$\frac{P_1}{D_1^2} = \frac{P_2}{D_2^2} = \frac{P_3}{D_3^2} = const.$$

Для правильного назначения времени выдержки образца под нагрузкой, величины нагрузки и диаметра шарика для данного материала, следует пользоваться таблицами государственного стандарта.

Обозначения числа твердости часто сопровождается индексами, указывающими условия, при которых определялась твердость. Например, $H_{10/3000/30}$ - число твердости по Бринеллю (полученное вдавливанием шарика диаметром $D=10$ мм., при этом прикладывалось нагрузка $P=3000$ кг. с выдержкой в 30 сек.).

Диаметр отпечатка d всегда измеряют по двум взаимно-перпендикулярным направлениям (из этих измерений берется среднее). Измерения производят с помощью специального микроскопа.

2. Определение твердости по Роквеллу.

Для определения твердости изделий из закаленной стали применяют инденторы, изготовленные из алмаза. По Роквеллу индентором является алмазный конус с углом при вершине в 120° и стальной шарик с диаметром в 1/16 дюйма.

Твердость по Роквеллу измеряется следующим образом: алмазный наконечник приводится в соприкосновение с поверхностью образца и загружается начальной нагрузкой $P_0=10$ кг., под действием которой индентор погружается на глубину h_0 . Далее индентор нагружают нагрузкой P , состоящей из начальной P_0 и основной P_D , т.е. $P = P_0 + P_D$. Глубина отпечатка увеличивается и после снятия нагрузки замеряют глубину отпечатка h_1 . Глубина отпечатка, полученная за счет основной нагрузки P_D и равная $h = (h_1 - h_0)$, характеризует твердость по Роквеллу. Чем больше глубина h отпечатка, тем меньше твердость. Число твердости по Роквеллу связано с глубиной h следующей зависимостью:

$$\text{для алмазного конуса } H_{RC} = 100 - h / 0.002$$

$$\text{для стального шарика } H_{RB} = 130 - h / 0.002$$

Глубину отпечатка измеряют индикатором, на котором две шкалы «В» и «С» чисел твердости по Роквеллу с одинаковой ценой деления, соответствующий глубине отпечатка в 0,002 мм. (см. таб. 1).

Таблица 1.

Твердость по Бринеллю H_B в кг/мм ²	Обозначение шкал	Вид наконечника	Общая нагрузка	Обозначение твердости	Допустимые пределы шкалы
60-230	В	Стальной шарик	100	H_{RB}	25-100
230-700	С	Алмазный конус	150	H_{RC}	20-67
Свыше 700	А	Алмазный конус	60	H_{RA}	Свыше 70

Таким образом, числом твердости по Роквеллу является условная отвлеченная величина, зависящая от глубины отпечатка, образованного различными наконечниками при разной нагрузке (см. таб.1).

3. *Определение твердости по Виккерсу.*

При этом способе определения твердости индентором является алмазная пирамида с квадратным основанием и углом $\alpha=136^\circ$ между противоположными гранями.

За твердость по Виккерсу принимается величина напряжения, равная отношению нагрузки P в килограммах к площади поверхности F в квадратных миллиметрах пирамидального отпечатка:

$$H_D = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

где d - среднее арифметическое значение из длин двух диагоналей отпечатка, измеренных после снятия нагрузки.

При этом способе измерения твердости все отпечатки для любых нагрузок получаются подобными и для всех нагрузок числа твердости для одного материала получаются одинаковыми. ГОСТ рекомендует для испытаний одно из следующих значений нагрузок: 5, 10, 20, 30, 50, 100 и 120 кг. При испытаниях надо следить, чтобы толщина образца была больше десятикратной глубины h отпечатка или больше $1.5d$. Данный метод определения твердости позволяет измерить твердость H_D тонких образцов и тонкого поверхностного слоя.

ПОСТАНОВКА ОПЫТА

После знакомства с методами определения твердости по данному руководству, используя [1], определяют твердости H_B , H_R и H_D на металлических образцах, предварительно изучив государственный стандарт на определение твердости металлов.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

Результаты испытаний заносятся в таблицу 2. Для сопоставления полученных величин твердости находят средние арифметические значения для разных методов, и полученные результаты приводят к числу твердости по Бриннелю.

Таблица 2.

№ по порядку	По Бриннелю	По Роквеллу	По Виккерсу
1			
2			
3			
Среднее значение			
Приведенное к H_B			

ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ НА КРУЧЕНИЕ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Сравнительное изучение процесса кручения пластичных, хрупких, изотропных и анизотропных материалов.
2. Получение для ряда образцов диаграммы кручения.
3. Определение пределов прочности на кручение.
4. Установление характера разрушения образцов при кручении.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Размеры образца:

	Сталь	Чугун	Дерево
диаметр	$d_0=$	$d_0=$	$d_0=$
рабочая длина	$l_0=$	$l_0=$	$l_0=$
площадь сечения	$F_0=$	$F_0=$	$F_0=$

Для определения диапазона настройки испытательной машины нужно установить для каждого материала крутящий момент, при котором достигается предел пропорциональности

$$M_{nc}^{ожд} = \tau_{nc} W_p$$

где W_p - полярный момент сопротивления сечения кручению;

τ_{nc} - предел пропорциональности при чистом сдвиге.

ПОСТАНОВКА ОПЫТА

Образец устанавливается в захватах испытательной машины К-50. Перед испытанием снимают размеры образцов. Для предварительного обжатия концов стержня в захватах дается небольшая начальная нагрузка. Затем, фиксируя углы закручивания и соответствующие им крутящие моменты, образцы доводятся до разрушения. Определяют предельные нагрузки и характер разрушений образцов.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

В результате проведения испытания на кручение получаем машинную диаграмму кручения в осях $M - \varphi$, определяем значение M_{nc} и вычисляем:

$$\tau_{nc} = M_{nc} / F_0 \text{ для каждого материала.}$$

Таблица 1.

	Сталь	Чугун	Дерево
Вид образца после разрушения			

Таблица 2.

Наименование материала	Размеры образца	Площадь поперечного сечения	Разрушающий момент $M_{нч}$	Предельное Напряжение $\tau_{нч}$
Сталь				
Чугун				
Дерево				

Используя рекомендованную литературу, необходимо изучить механическую природу процесса разрушения пластичных и хрупких, анизотропных и изотропных материалов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛА НА СРЕЗ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение характера деформации металла при срезе.
2. Определение предела прочности металлического образца на срез.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Испытание проводится на машине Р-5 с использованием специального приспособления, обеспечивающего срез образца по двум сечениям. Измерения проводятся штангенциркулем.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Образец круглого поперечного сечения устанавливается на специальном приспособлении, которое закрепляется в захватах испытательной машины Р-5. В процессе нагружения образец подвергается срезу по двум плоскостям. Образец доводится до разрушения. При этом фиксируются показания силоизмерительного устройства испытательной машины. Максимальное значение приложенного усилия принимается за разрушающую нагрузку. Важно зафиксировать по силоизмерительному устройству момент падения максимальной нагрузки перед разрушением.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

После проведения эксперимента, образец тщательно осматривается для установления следов деформации смятия и среза. В журнал наблюдения зарисовывается сечение среза образца. По результатам эксперимента определяется временное сопротивление материала при срезе по формуле:

$$\tau_{\sigma} = P_{\max} / F$$

где $F = 2\pi R^2$ – удвоенная площадь сечения (т. к. срез происходит по двум плоскостям).

Временное сопротивление при срезе τ_{σ} сравнивается с временным сопротивлением

при растяжении σ_g . Отношение $\frac{\tau_g}{\sigma_g}$ обычно лежит в пределах от 0.6 до 0.8.

Вопросы для самоконтроля:

1. Для чего проводятся испытания образцов на срез?
2. Какие напряжения возникают в элементах конструкций, работающих на срез (в болтах, заклепках, шпонках и т. п.)?
3. Что такое временное сопротивление среза, как его вычисляют?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКИ ВИНТОВОЙ ПРУЖИНЫ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

3. Изучение характера осадки винтовой пружины.
4. Экспериментальная проверка формулы для определения осадки пружины.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Испытание проводится на машине Р-5 с использованием винтовой пружины, приспособленного для определения осадки одного её витка. Предварительно измеряют d – диаметр проволоки пружины, D_n - наружный диаметр винтовой пружины и по ним вычисляют средний диаметр пружины – $D = D_n - d$. Измерения проводятся штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. .

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Винтовая пружина закрепляется в захватах испытательной машины Р-5 и подвергается начальному сжатию. В процессе испытания образец продолжают ступенчато нагружать. При этом штангенциркулем фиксируется изменения расстояния между витками пружины и записываются в журнал наблюдений.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

После проведения эксперимента вычисляется среднее значение осадки пружины $\lambda_{\text{экс}}$. Теоретическое значение осадки цилиндрической пружины, подвергающейся действию осевой нагрузки, вычисляют по формуле:

$$\lambda_{\text{теор}} = 8nFD^3 / Gd^4$$

где $\lambda_{\text{теор}}$ – удлинение (укорочение) оси (осадка пружины), n – число витков, P – приложенная к пружине осевая нагрузка, D – средний диаметр витка, G – модуль сдвига, d – диаметр прутка

В формуле учитываются перемещения, обусловленные только деформацией кручения. Перемещения, вызванные действием продольных и поперечных силами, а также изгибающим моментом, не учитываются в силу их малости. Не учитываются и ряд других факторов, это кривизна скручиваемого стержня и наклон витков пружины. То есть, приведенная выше формула не точная формула определения осадки винтовой пружины. Цель эксперимента - оценка влияния принятых предположений и упрощений на точность определения осадки пружины может быть достигнута сравнением экспериментального и теоретического значе-

ний осадки пружины:

$$\delta = (\lambda_{\text{теор}} - \lambda_{\text{экс}}) / \lambda_{\text{теор}} \quad \text{или в процентах} \quad \delta \cdot 100\%.$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Какому нагружению подвергаются витки винтовой цилиндрической пружины при растяжении или сжатии?
2. Как определяется деформация винтовой цилиндрической пружины?
3. Какие напряжения возникают в сечении прутка (витка) пружины?
4. Что называется жесткостью пружины?
5. От каких характеристик пружины и как зависит её жесткость?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ПРОГИБОВ БАЛКИ ПРИ ПЛОСКОМ ИЗГИБЕ.

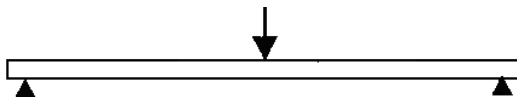
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Экспериментальное определение нормальных напряжений и прогиба в заданном сечении при плоском изгибе шарнирно-опертой балки.
2. Сравнение экспериментальных и теоретических значений.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1. Работа выполняется на машине УИМ-50 гидравлического типа.
2. Схема нагружения испытуемой балки показана на рис. 1.

Рисунок 1.



3. Необходимые данные для балки:

Швеллер	№ =;
высота	h = ;
ширина полки	b = ;
момент инерции	$J_z =$;
длина пролета	l = ;
расстояния	a = ;
модуль продольной упругости стали	E = .

В сечении устанавливается тензометр рычажного типа ТР с известными базой и коэффициентом увеличения. С помощью рычажного тензометра замеряется величина деформации продольного волокна в заданном сечении. Нормальные напряжения определяем по закону Гука:

$$\varepsilon = E \cdot \sigma$$

Прогиб балки в заданном сечении при изгибе определяется с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Полученные значения напряжений и прогиба сравниваем с расчетными значениями для заданной ступени нагружения.

Нормальные напряжения в поперечном сечении балки при плоском изгибе определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{M_z y}{J_z}$$

где M_z - изгибающий момент в заданном сечении по длине балки,

J_z - осевой момент инерции поперечного сечения балки относительно нейтральной линии,

y - расстояние от нейтральной линии до продольного волокна, в котором определяются напряжения.

Теоретическое значение прогиба балки определяем с помощью универсального уравнения упругой линии балки или метода начальных параметров для заданных условий нагружения.

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ.

Перед началом испытаний необходимо установить: величину начальной предварительной нагрузки обжатия изгибаемой балки, количество ступеней нагружения, величину нагрузки на ступени нагружения. Для этого определяем максимально допустимое значение изгибающей силы, исходя из расчета на прочность изгибаемой балки по допускаемым напряжениям:

В начале опыта балка нагружается начальной нагрузкой, после чего снимаются показания на рычажном тензомере ТР и индикаторе. Затем нагрузка увеличивается равными ступенями и на каждой ступени нагружения берется отсчет по тензомеру и индикатору перемещений. По результатам замеров определяется среднее значение деформации в области закрепления тензомера и прогиб балки в заданном сечении.

Вопросы для самоконтроля:

1. Охарактеризуйте перемещения, возникающие в балке при изгибе.
2. Укажите теоретическую формулу для вычисления перемещений при изгибе балки.
3. Как экспериментально устанавливаются перемещения балки при изгибе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ИСПЫТАНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучение явления потери устойчивости сжатых стержней.
2. Проверка формул Эйлера и Ясинского для определения критических нагрузок.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Испытание проводится на машине Р-5 с применением специального приспособления, обеспечивающего требуемые условия закрепления концов стержня. Для измерения линейных размеров образца используется штангенциркуль. Испытываются стальные образцы круглого и прямоугольного сечений.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для проведения эксперимента в захватах машины Р-5 закрепляется специальное приспособление с испытываемым образцом, после чего к нему прикладывается нагрузка. Сжимающее усилие доводится до критического значения, при котором стержень теряет устойчивость. Визуально фиксируется форма потери устойчивости.

При увеличении нагрузки деформация стержня быстро нарастает и максимальные напряжения достигают предела текучести. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к появлению необратимых пластических деформаций. В этом случае после разгрузки прямолинейная форма стержня не восстанавливается. Определив критическое значение силы, находим критическое значение напряжения по формуле:

$$\sigma_{кр} = P_{кр} / F$$

Полученное значение сравнивается с пределом пропорциональности $\sigma_{пр}$.

Для определения теоретического значения критической нагрузки в области упругих деформаций используется формула Эйлера:

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

где μ - коэффициент приведения длины, величина которого зависит от условий закрепления стержня.

В области пластических деформаций критическое напряжение определяется по эмпирической формуле Ясинского:

$$\sigma_{кр} = a - \beta * \lambda$$

где a и β – табличные коэффициенты. Гибкость λ имеет вид:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i}$$

Сопоставление полученных теоретических и экспериментальных данных позволяет сделать заключение о справедливости гипотез, лежащих в основе формул Эйлера и Ясинского

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: учебник для вузов М.: Высшая школа, 2004. 560 с.
2. Балакирев А.А., Римм Т.Э. Сопротивление материалов: курс лекций/ Ч.1: учебное пособие. Пермь: Изд. ПНИПУ, 2012. 334 с.
3. Бельский А.Т., Тариков Г.П. Прикладная механика: Курс лекций. Гомель: ГГТУ, 2007. 143 с.
4. Биргер И.А. и др. Расчет на прочность деталей машин. Справочник. Москва: Машиностроение, 1979. 702 с.
5. Горбунов В.Ф. Изучай сопротивление материалов самостоятельно: Учебное пособие. Иркутск: Изд. ИрГТУ, 2008. 162 с.
6. Дайчик М.Л. и др. Методы и средства натурной тензометрии. Москва: Машиностроение, 1989. 240 с.
7. Ивашева Т.А., Шибков А.А. Сопротивление материалов: Сборник тестов для контроля знаний студентов. /Новосибирский гос. аграр. Ун-т. Инженерн. ин-т. Новосибирск, 2010. 58 с.
8. Икрин В.А. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности: Учебник для студентов обучающихся по направлению 653500 «Строительство». М.: Изд. АСВ, 2004. 424 с.
9. Леденева Н.Ф., Юганов В.С. Механика. Сопротивление материалов: тесты программированного контроля. Ульяновск, УВАУ ГА(И), 2010. 43 с.
10. Подойников В.Г. Сопротивление материалов. Руководство по выполнению и журнал лабораторных работ: Учебное пособие Перераб. и дополн. Челябинск: 2010. 82 с.
11. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Машиностроение, 1979. 560 с.
12. <http://www.soprotmat.ru>.
13. http://royallib.com/book/lavrov_vladimir/soprotivlenie_materialov.html

Форма отчета по лабораторной работе

Лабораторная работа № ____

НАЗВАНИЕ РАБОТЫ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. _____.

.....

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ И СХЕМЫ

.....
.....
.....

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

.....
.....
.....

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЫТА

.....
.....
.....

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

.....
.....
.....

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

.....
.....
.....

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

.....
.....
.....

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Введение</i>	03
<i>Вопросы для самостоятельного контроля качества освоения дисциплины</i>	05
<i>Порядок проведения лабораторных работ</i>	09
<i>Инструкция по технике безопасности при проведении лабораторных работ по механике деформируемого твердого тела</i>	09
<i>Лабораторная работа №1. Испытание малоуглеродистой стали на растяжение.</i>	10
<i>Лабораторная работа №2. Испытания образцов из различных материалов на сжатие</i>	11
<i>Лабораторная работа №3. Построение диаграммы истинных напряжений при растяжении стального образца</i>	13
<i>Лабораторная работа №4. Определение модуля упругости стального образца</i>	14
<i>Лабораторная работа №5. Определение модуля упругости и коэффициента Пуассона для алюминия</i>	16
<i>Лабораторная работа №6. Определение твердости материалов</i>	18
<i>Лабораторная работа №7. Испытание образцов на кручение.</i>	21
<i>Лабораторная работа №8. Испытание металла на срез</i>	22
<i>Лабораторная работа №9. Определение осадки винтовой пружины.</i>	23
<i>Лабораторная работа №10. Определение напряжений и прогибов балки при плоском изгибе</i>	24
<i>Лабораторная работа №11. Испытание на устойчивость центрально сжатых стержней</i>	25
<i>Литература</i>	27
<i>Форма отчета по лабораторной работе.</i>	28
<i>Содержание</i>	29

Методические указания к лабораторным работам
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Редакция авторов.

Подписано в печать Формат 60x84 1 / 16
Бумага Гознак. Отпечатано на ризографе.

Уч.-изд. л. 1.5. Усл. печ. л. 4.9.

Тираж 50 экз. Заказ .

Цена договорная

Отпечатано в издательстве КФУ
420008 Казань, ул. Кремлевская, 18