

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕХАНИКА. ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

**Методические указания к выполнению
лабораторных работ для обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 Строительство**

Составитель: Ж.Г. Могилюк

МОСКВА
2020

УДК 624.04
ББК 38.5:30.121
С64

Рецензент

доктор технических наук, доцент Л.Ю. Фриштер, профессор кафедры
прикладной математики НИУ МГСУ

Механика. Техническая механика: методические указания к
выполнению лабораторных работ / Ж.Г.Могилюк. – М., НИУ МГСУ, 2020.
- 17 с.

Настоящие методические указания посвящены описанию методики
выполнения лабораторных работ по курсу «Механика. Техническая
механика»; содержат краткие теоретические сведения по указанному
разделу, основные схемы и рекомендации по выполнению и оформлению
отчета по лабораторной работе.

Методические указания подготовлены на кафедре «Прикладной
механики и математики» и предназначены для оказания методической
помощи студентам бакалавриата по направлению подготовки 08.03.01
«Строительство» при выполнении лабораторных работ, подготовке к
защите отчета по лабораторным работам курса.

Редактор, корректор Л.В.Себова
Верстка и дизайн титульного экрана Д.Л.Разумного

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2007, ПО Adobe Acrobat Pro

Подписано к использованию Объем данных 0,3 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет».
129337, Москва, Ярославское ш., 26

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел.: (495) 287-49-14, вн.13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Испытание образца на центральное растяжение	6
Список рекомендуемой литературы	17

ВВЕДЕНИЕ

В рамках курса «Механика. Техническая механика» предусмотрено освоение студентами основных принципов и методов расчета строительных конструкций на прочность, важным элементом которого является выполнение студентами лабораторных работ.

При проведении лабораторных работ студенту предоставляется возможность в результате эксперимента убедиться в справедливости основных принципов и приемов расчета строительных конструкций и исследовать механические характеристики материалов конструкций.

Лабораторные работы предназначены для закрепления учебного материала, излагаемого на лекциях и практических занятиях по курсу дисциплины.

На лабораторные занятия студенты должны являться подготовленными, заблаговременно изучив теоретическую часть и порядок проведения работы.

Перед началом проведения лабораторных работ студенты в обязательном порядке должны пройти инструктаж по технике безопасности. Инструктаж по технике безопасности проводит преподаватель, ведущий лабораторные занятия. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к выполнению лабораторных работ не допускаются. При нарушении этих правил студент удаляется с лабораторного занятия и считается его пропустившим.

Студентам запрещается самостоятельно включать и выключать машины, проводить какие-либо операции на них. Студентам также не разрешается отлучаться из лаборатории до полного окончания лабораторных работ.

Лабораторные работы должны выполняться в следующей последовательности:

- проработка учебного материала по теме лабораторной работы по конспекту лекций и практических занятий, а также по рекомендуемой литературе и методическим указаниям;

- проведение лабораторной работы в группе согласно содержанию и порядку проведения работы на основании настоящих методических указаний;

- оформление отчета по лабораторной работе в виде заполнения журнала работы, содержащего расчетный и графический материал;

- защита лабораторной работы, получение подписи преподавателя с указанием даты защиты.

Защита лабораторной работы должна сопровождаться краткими, последовательными объяснениями и схемами.

По результатам выполнения лабораторной работы должен быть оформлен журнал от руки с титульным листом, на котором обязательно указывается наименование дисциплины, наименование соответствующего раздела дисциплины, ФИО преподавателя, ФИО, курс и группа студента.

Все чертежи и схемы рекомендуется выполнять карандашом, а записи – ручкой. Все расчетные выкладки должны представлять собой логическую цепочку и сопровождаться пояснительным текстом.

Вычисление значений физических величин необходимо выполнять используя Международную систему единиц (СИ).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦА НА ЦЕНТРАЛЬНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

Растяжением (сжатием) называют такой вид нагружения, при котором внутренние силы сводятся к одному силовому фактору – продольной силе N , т.е. из 6 внутренних факторов от нуля отличается только одна продольная сила. Растягивающие продольные силы принято считать положительными, а сжимающие – отрицательными.

При расчете стержней, испытывающих деформацию растяжения, на прочность и жесткость при статическом действии нагрузки решают две основные задачи:

- 1) определение напряжений, возникающих в стержне;
- 2) нахождение линейных перемещений в зависимости от внешней нагрузки.

Для многих материалов при нагружении до определенных пределов опыты показывают следующую зависимость между относительным удлинением стержня ε и напряжением σ (закон Гука):

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

где $\varepsilon = \Delta l / l$ - относительное удлинение стержня; $\Delta l = (l_1 - l)$ - абсолютное удлинение стержня; l - длина образца до деформации; l_1 - длина образца после деформации; E - коэффициент, зависящий от материала и называемый модулем продольной упругости или модулем Юнга (характеризует жесткость материала, т.е. его способность сопротивляться деформированию); σ - напряжения в стержне.

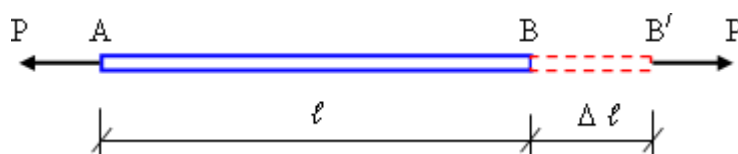


Рис.1

Напряжение - это величина внутреннего усилия, приходящегося на единицу площади поперечного сечения:

$$\sigma = \frac{P}{F},$$

где P - растягивающая или сжимающая сила, F - площадь поперечного сечения элемента.

Расчеты на прочность и жесткость конструкций и их деталей невозможно осуществить если неизвестны механические свойства

реальных материалов и их числовые характеристики. Механические свойства материалов при различных видах деформаций изучаются путем испытания на специальных машинах брусков стандартной формы и размеров, называемых образцами. Наибольшей простотой и надежностью результатов отличаются испытания на растяжение.

Механические характеристики материалов делятся на три группы:

- характеристики прочности;
- характеристики пластичности;
- характеристики вязкости.

Характеристиками прочности измеряют силовую реакцию твёрдых тел на воздействие внешних нагрузок. К характеристикам прочности относятся: предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности, разрушающее напряжение.

Предел пропорциональности – это наибольший уровень условного напряжения, при котором не наблюдается существенного нарушения закона Гука (удлинение пропорционально растягивающей силе).

Предел упругости – это наибольший уровень условного напряжения, при котором материал проявляет упругие свойства, заключающиеся в том, что образец практически полностью восстанавливает свои первоначальные размеры после снятия внешней нагрузки.

Предел текучести – это наименьший уровень условного напряжения, при котором наблюдается значительный рост деформаций образца при постоянной (или слегка уменьшающейся) нагрузке.

Предел прочности, чаще называемый временным сопротивлением, – это условное напряжение, соответствующее наибольшему уровню нагрузки, воспринимаемому образцом.

Разрушающее напряжение – это напряжение, при котором происходит разрыв образца. Этот предел не имеет особого практического значения и используется только при изучении процесса образования трещин.

При испытании образца (рис. 2) на испытательной машине получают первичную диаграмму растяжения в координатах: нагрузка P – удлинение образца $\Delta \ell$ (рис. 3).

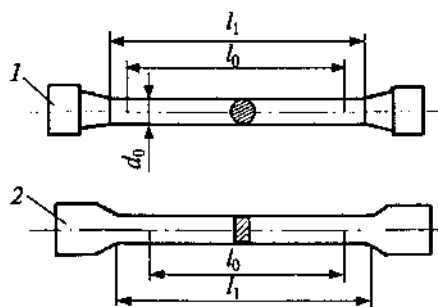


Рис. 2

Рабочей длиной образца называется длина цилиндрической (у круглого (тип 1 на рис.2)) или призматической (у прямоугольного (тип 2 на рис.2)) части образца до перехода к головкам, на которой производится определение удлинения.

Головки образца препятствуют развитию деформаций в прилежащих к ним частям образца, поэтому рабочая длина образца ℓ_0 берется меньше ℓ_1 (рис. 2) на диаметр (для круглого) или толщину (для прямоугольного) образца, так как в областях, достаточно удаленных от мест приложения внешних нагрузок напряженное состояние является однородным (принцип Сен-Венана).

Согласно ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение» для обеспечения сравнимости результатов испытаний расчетная длина образцов должна быть $\ell_0 = 5,65\sqrt{F_0}$ или $\ell_0 = 11,3\sqrt{F_0}$, причем предпочтительным является применение коротких образцов.

Форма и размеры головок и переходных частей цилиндрических и плоских образцов определяются способом крепления образцов в захватах испытательной машины. Способ крепления должен предупреждать проскальзывание образцов в захватах, смятие опорных поверхностей,

деформацию головок и разрушение образца в местах перехода от рабочей части к головкам и в головках.

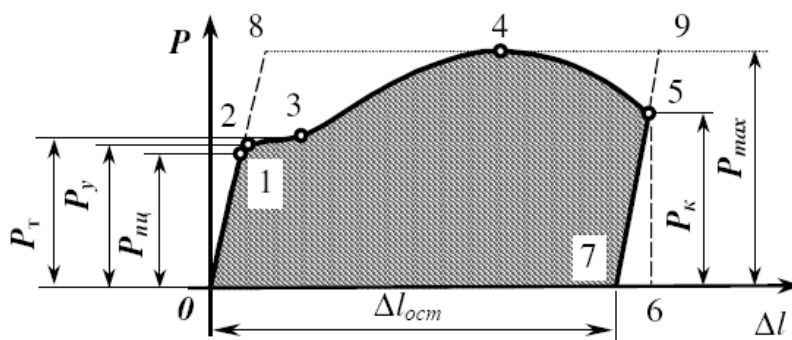


Рис. 3

Первичная диаграмма растяжения (рис.3) зависит от размеров образца. Для того чтобы диаграммы не зависели от размеров испытываемых образцов и были сравнимы для различных материалов, первичную диаграмму перестраивают.

При этом, удлинения Δl делят на начальную длину образца l_0 ($\varepsilon = \Delta l / l_0$), нагрузки делят на начальную площадь поперечного сечения F_0 ($\sigma = P / F_0$).

Координаты « σ - ε » используют для построения условной диаграммы растяжения, которая подобна первичной, т.к. при ее построении абсциссы и ординаты первичной диаграммы делятся на постоянные величины (рис.4).

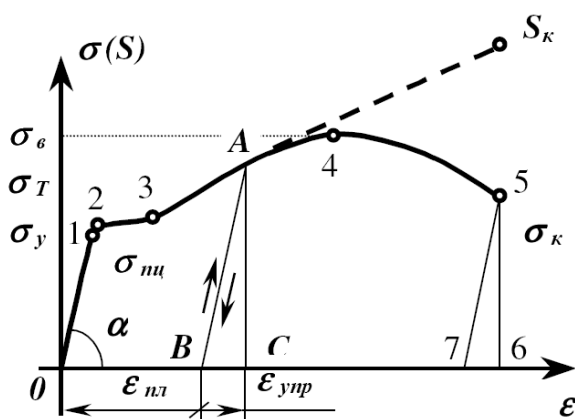


Рис. 4.

Начальный участок диаграммы 0 – 1 является прямолинейным и дает пропорциональную зависимость $\sigma = \varepsilon \cdot E$, где $E = \operatorname{tg} \alpha$. Этот участок соответствует стадии упругости образца, когда деформации материала подчиняются закону Гука. Участок пропорциональности заканчивается напряжением:

$$\sigma_{mц} = \frac{P_{mц}}{F_0}$$

Участок 0 – 1 – 2 составляет область упругих деформаций. При разгрузке из точки 2 деформации исчезают полностью. Участок заканчивается напряжением:

$$\sigma_y = \frac{P_y}{F_0}$$

Участок 2 – 3 составляет физическую площадку текучести, где деформации продолжаются при постоянном напряжении (без заметного увеличения нагрузки):

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}$$

Для материалов, не имеющих площадки текучести, в качестве предела текучести условно принимается напряжение, при котором остаточные деформации составляют 0,2 или 0,3% первоначальной длины образца.

Участок 3 – 4 характеризует упрочнение материала и называется зоной упрочнения. На этом участке увеличение деформации вызывает непропорциональное увеличение напряжения. Наибольшее напряжение:

$$\sigma_{вр} = \frac{P_{\max}}{F_0}$$

До точки 4 материал по длине образца растягивается равномерно. При достижении $\sigma_{вр}$ деформация образца локализуется в одном месте, образуется местное утоньшение – шейка.

Деформация образца приобретает местный характер течения материала в области шейки. Вследствие местного уменьшения площади

сечения необходима меньшая нагрузка для продолжения деформации, чем объясняется снижение напряжения на участке 4 – 5.

В точке 5 происходит разрушение. Условное разрушающее напряжение

$$\sigma_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{F_0}$$

Второй группой характеристик, получаемых при испытаниях на растяжение, являются характеристики пластичности, по которым можно оценить способность материала накапливать пластические деформации.

Характеристиками пластичности являются:

1. относительное остаточное удлинение образца при разрыве

$$\delta = \frac{l_{\kappa} - l_0}{l_0} \times 100\%$$

где l_{κ} - длина рабочей части образца к моменту разрыва; l_0 - начальная длина рабочей части образца.

2. относительное остаточное сужение площади поперечного сечения образца при разрыве

$$\psi_{\kappa} = \frac{F_0 - F_{\kappa}}{F_0} \times 100\%$$

где F_0 - начальная площадь сечения; F_{κ} - площадь поперечного сечения образца в шейке к моменту разрыва.

Содержание задания

Экспериментальное определение характеристик прочности и пластичности стального образца с построением диаграммы растяжения.

Порядок проведения работы

1. До испытания измерить рабочую длину образца, отметить ее на образце рисками или иными метками и записать значение в протокол испытания.

2. До испытания измерить штангенциркулем диаметр d_0 образца в 3 – 5 местах по длине (в средней части и на границах рабочей длины) и записать его наименьшее значение в протокол испытания.
3. Установить образец в захваты испытательной машины и настроить силоизмерительное устройство на нулевую нагрузку.
4. Включив испытательную машину зафиксировать показание стрелки силоизмерителя.
5. В процессе испытания зафиксировать и записать в протокол испытания значение нагрузки P_{nc} , соответствующей пределу пропорциональности.
6. В процессе испытания зафиксировать и записать в протокол испытания значение нагрузки P_y , соответствующей пределу упругости.
7. В процессе испытания зафиксировать и записать в протокол испытания значение нагрузки P_T , соответствующей пределу текучести.
8. В процессе испытания зафиксировать и записать в протокол испытания значение нагрузки P_{max} , соответствующей пределу прочности.
9. Зафиксировать показание стрелки в момент разрыва образца и записать в протокол испытания значение нагрузки P_k , соответствующей разрушающему напряжению.
10. Выключить машину после разрушения образца.
11. Вынуть части образца из захватов машины и, плотно приложив их друг к другу, измерить наименьший диаметр d_1 шейки образца и расчётную длину l_1 и записать их значения в протокол испытания.
12. Вычислить площади поперечного сечения образца до испытания и после разрыва и записать значения в протокол испытания:

$$F_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}; F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$$

13. Зарисовать эскизы образца до и после испытания.
14. Вычислить все характеристики прочности: предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности, разрушающее напряжение.
15. Определить характеристики пластичности:

- абсолютное остаточное удлинение после разрыва:

$$\Delta l = l_1 - l_0$$

- относительное остаточное удлинение образца при разрыве:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$$

- относительное остаточное сужение площади поперечного сечения образца при разрыве:

$$\psi_k = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

16. Определить условное разрушающее напряжение:

$$\sigma_k = \frac{P_k}{F_0}$$

17. Определить истинное разрушающее напряжение:

$$S_k = \frac{P_k}{F_1}$$

18. На основании полученных данных построить диаграмму растяжения образца в координатах « $P - \Delta l$ ».
19. Построить диаграмму растяжения образца, пересчитанную в координаты « $\sigma - \varepsilon$ ».
20. Установить марку стали, используя справочные данные. При выборе марки принимают ту строку таблицы, которая наиболее точно подходит по трём характеристикам: пределу текучести, пределу прочности и относительному удлинению (относительному сужению).

Обработка результатов эксперимента

Таблица 1 – Размеры образца

Диаметр образца, мм		Расчётная длина, мм	
d_0	d_1	l_0	l_1

Эскизы образцов (до и после испытания)

Таблица 2 – Таблица значений, полученных при эксперименте

№	Наименование величины	Значение
1	Сила в кН, соответствующая пределу пропорциональности	
2	Сила в кН, соответствующая пределу упругости	
3	Сила в кН, соответствующая пределу текучести	
4	Сила в кН, соответствующая пределу прочности	
5	Сила в кН, соответствующая разрыву образца	

Таблица 3 – Координаты точек диаграммы растяжения

№	Координаты точки на диаграмме	Значения
1	Предел пропорциональности σ_{nc} в МПа	
2	Предел текучести σ_y в МПа	
3	Предел прочности σ_{ep} в МПа	
4	Разрушающее напряжение условное σ_k в МПа	

5	Разрушающее напряжение истинное S_k в МПа	
7	Относительное остаточное удлинение δ	
8	Относительное остаточное сужение ψ_k	

Диаграмма в осях « $P - \Delta l$ »

Диаграмма в осях « $\sigma - \varepsilon$ »

Контрольные вопросы

1. Каковы цели испытания материала на растяжение?
2. Что называется абсолютным удлинением и какова его размерность?
3. Какие деформации принято называть упругими и какие остаточными?
4. Какой участок диаграммы растяжения называется площадкой текучести и как определяется предел текучести?
5. Как определяется временное сопротивление (предел прочности)?
6. Чем объясняется уменьшение растягивающей силы за пределом прочности на условной диаграмме растяжения?
7. Как определяется истинное напряжение в момент разрыва?
8. Что такое условное напряжение?
9. Чем отличается истинная диаграмма от условной диаграммы?

10. Что такое относительное сужение после разрыва и как оно определяется?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Андреев В.И. Техническая механика: учебник для подготовки бакалавров по направлению 270800 - "Строительство" / В.И.Андреев, А.Г.Паушкин, А.Н.Леонтьев. - [Изд. 2-е испр. и доп.]. - Москва: Изд-во АСВ, 2013. - 251 с. - ISBN 978-5-93093-867-8.
2. Атаров Н.М. Сопротивление материалов в примерах и задачах: учебное пособие для вузов / Н. М. Атаров [рец.: Н. Н. Атаров]. - Москва: ИНФРА-М, 2011. - 406 с. - ISBN 978-5-16-003871-1.
3. Атаров Н.М. Сопротивление материалов [Текст] : учебное пособие: [в 3-х ч.] / [Н. М. Атаров [и др] ; Моск. гос. строит. ун-т. - Москва : НИУ МГСУ, 2018. - ISBN 978-5-7264-1822-3 Ч. 1. - 3-е изд. - Москва : МГСУ, 2018. - 63 с.
4. Варданян Г.С. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности: учебник для вузов / Г.С.Варданян [и др.]; под ред. Г. С. Варданяна, Н. М. Атарова. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Инфра-М, 2013. - 637 с. - ISBN 978-5-16-003872-8.
5. ГОСТ 1497-84 Металлы. Методы испытаний на растяжение.