

**ОПД.Ф.02.02 СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ
ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ
НА РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ**

Методические указания к лабораторным работам

Излагается порядок проведения испытаний материалов на растяжение и сжатие, даются краткие сведения из теории, приводятся схемы, характеристики и принцип действия машин для испытания материалов, а также рекомендации по оформлению отчетов по лабораторным работам.

ВВЕДЕНИЕ

При изучении курса "Сопротивление материалов" важным элементом является выполнение студентами лабораторных работ. При проведении лабораторных работ непосредственно в результате эксперимента предоставляется возможность убедиться в справедливости основных принципов расчета элементов конструкций и законов сопротивления материалов, а также изучить механические характеристики материалов.

На лабораторные занятия студенты должны являться подготовленными. Необходимо заранее изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы, ее теоретическую часть, ознакомиться с устройством и принципом действия испытательной машины в соответствии с данными методическими указаниями.

Перед началом лабораторных работ все студенты в обязательном порядке должны пройти инструктаж по технике безопасности в лаборатории испытания материалов. Инструктаж проводит преподаватель, ведущий лабораторные занятия. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛИ ПО ДИАГРАММЕ РАСТЯЖЕНИЯ

Цель работы. Экспериментальное построение диаграммы растяжения, определение механических характеристик и механизма разрушения малоуглеродистой стали. Определение марки стали образца по характеристикам прочности и пластичности.

Содержание работы

При проектировании конструкций и инженерных сооружений необходимо знать характер поведения материалов вплоть до разрушения и соответствующие механические характеристики. Механические характеристики материалов, то есть величины, характеризующие их прочность, пластичность, модуль упругости, коэффициент Пуассона, определяются путем испытания специальных образцов, изготовленных из исследуемого материала. Статическое испытание на растяжение является наиболее распространенным.

Образец для испытания на растяжение

В целях получения сравнимых между собой величин испытания проводят над образцами установленной формы и размеров. Русский ученый, профессор В.Л. Кирпичев установил закон подобия, согласно которому подобные образцы при одинаковых напряжениях получают подобные деформации. Из этого закона следует, что для достижения у одного и того же металла на разных образцах одинаковых при разрыве относительных удлинений необходимо соблюсти условие

$$\frac{l_1}{\sqrt{A_1}} = \frac{l_2}{\sqrt{A_2}} = \frac{l_3}{\sqrt{A_3}} = \dots = \text{const},$$

т.е. отношение расчетной длины образца к корню квадратному из площади поперечного его сечения должно быть одинаковым для всех образцов. В соответствии с нормативом, установленным в нашей стране, расчетная длина образца должна быть

$$l=11,3\sqrt{A},$$

где A – площадь поперечного сечения образца.

При испытании на растяжение чаще применяются образцы круглого сечения, а для листового и полосового материала – прямоугольного сечения. Обработанные поверхности образцов должны быть от-

шлифованы. Основной особенностью всех образцов является наличие усиленных мест захвата и плавного перехода к рабочей части.

Для образцов круглого сечения расчетная длина рабочей части образца должна быть из условия $l=11,3 \sqrt{A}$. Для круглого образца длина равна 10 диаметрам ($l=11,3 \sqrt{\frac{\pi d^2}{4}}$) (рис. 1).

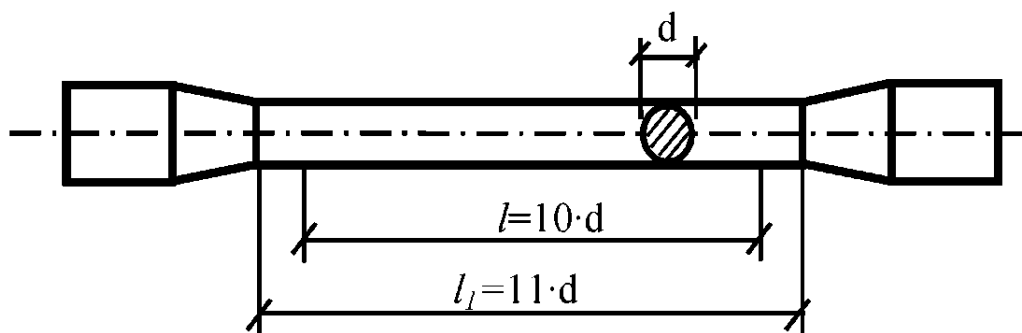


Рис. 1

Машина для испытания

Испытание стального образца на растяжение производится на разрывной машине Р-20. Машина состоит из двух агрегатов, смонтированных на отдельных фундаментах: станина машины с закрепленными на ней узлами и измерительное устройство с насосной станцией (рис. 2).

Станина машины представляет собой две рамы – неподвижную 1 и подвижную 2. Неподвижная рама состоит из фундаментной полой плиты, двух колонн и верхней поперечины. Вверху последней закреплен цилиндр 3 гидравлического пресса. Поршень этого пресса несет на себе подвижную раму 2, состоящую из верхней поперечины, закрепленной на поршне, двух вертикальных штанг и массивной нижней поперечины (траверсы). Последняя снабжена следующими приспособлениями для установки образцов: снизу захват для крепления образцов 4 при испытании на разрыв; сверху площадка для установки образцов при испытании на сжатие и две раздвижных опоры, на которые ставятся образцы при испытаниях на изгиб. В фундаментной плите помещен винт, заканчивающийся вверху вторым захватом для образцов, испытываемых на растяжение. При помощи отдельного мотора винт вместе с захватом может быть поднят или опущен в зависимости от длины образца. Во время испытаний нижний захват не перемещается.

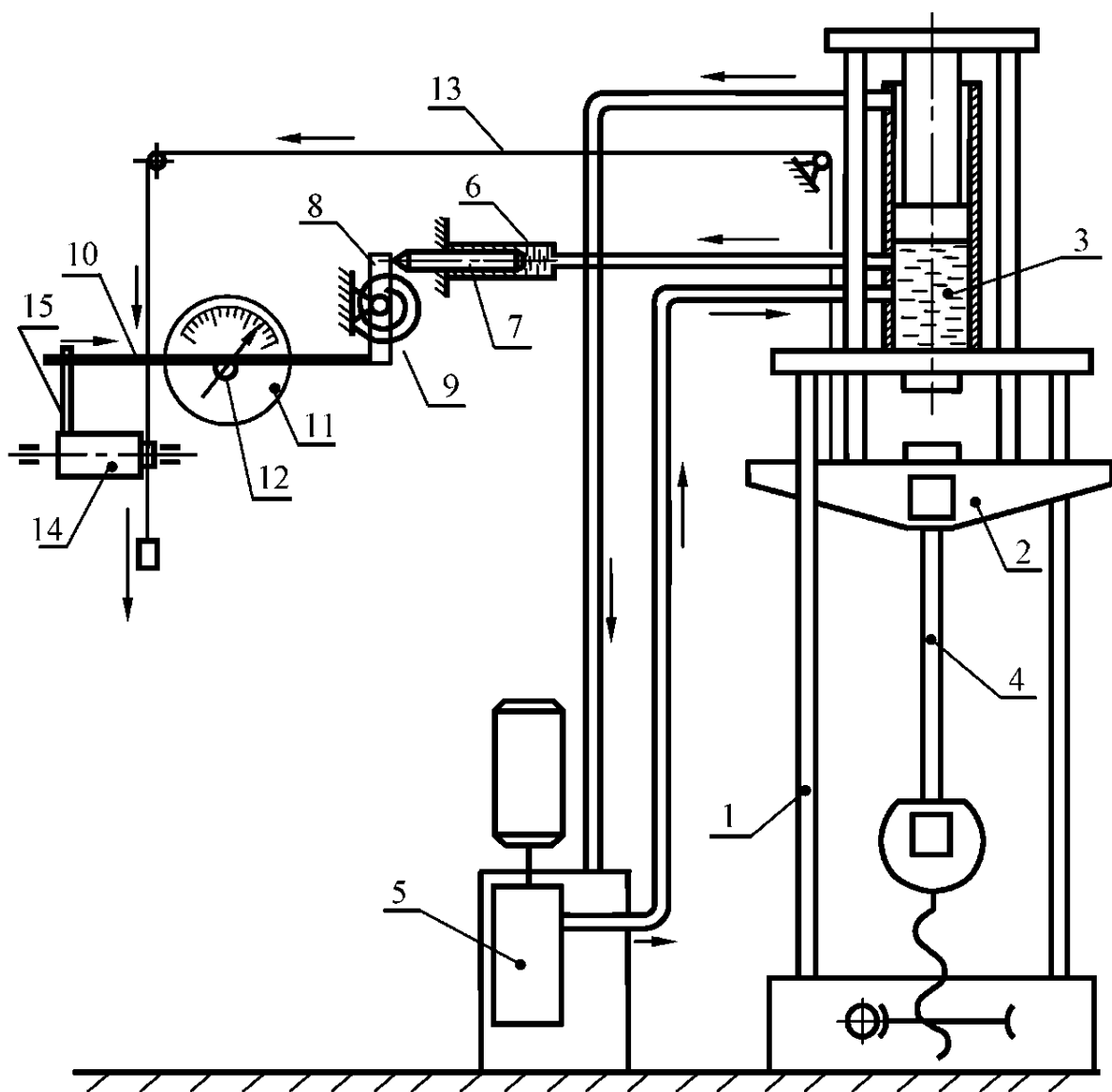


Рис. 2

Принцип работы следующий: при помощи насоса 5 в гидравлический цилиндр пресса нагнетается масло 3, благодаря чему движется вверх поршень пресса, а вместе с ним и подвижная рама с закрепленным на ней образцом. Если последний установлен в нижних захватах, то для него создаются условия растяжения; если же он расположен сверху поперечины, то будет сжиматься или изгибаться. Регистрация возникающего в образце усилия происходит следующим образом.

В силоизмерительном агрегате машины имеется свой небольшой гидравлический цилиндр 6, камера которого соединена специальной трубкой с камерой гидравлического цилиндра пресса 3 машины. Давление, создаваемое работой насоса в прессе, передается в камеру гидравлического цилиндра силоизмерителя 6 и выдвигает пор-

шень 7, который в свою очередь с помощью рычага 8 закручивает торсион 9. По мере возрастания давления торсион закручивается на угол пропорциональный усилию, возникающему в гидравлической системе (образце). Поворачиваясь, рычаг 8 перемещает соединенную с ним зубчатую рейку 10, которая вращает зубчатое колесо 12, насаженное на ось циферблата 11 силоизмерителя. Угол поворота зубчатого колеса 12, пропорциональный усилию в образце, фиксируется показаниями указательной стрелки, закрепленной на оси.

Графически зависимость между перемещением траверсы 2 и усилием в образце изображается с помощью диаграммного аппарата. Перемещение траверсы 2 с помощью специального механизма 13 трансформируется во вращение барабана диаграммного аппарата 14. А закрепленный на перемещающейся рейке пишущий узел 15 вычерчивает на вращающемся барабане график зависимости между удлинением образца (перемещением траверсы) и усилием в образце.

Диаграмма растяжения

Диаграмма растяжения – это график зависимости между силой, действующей на образец, и его удлинением. Она может быть записана автоматически испытательной машиной или построена по результатам измерения нагрузок и соответствующих им деформаций. Диаграмма растяжения малоуглеродистой стали изображена на рис. 3. На диаграмме следует отметить ряд характерных точек В, С, Д, К, Л, ограничивающих отрезки, в пределах которых поведение растягиваемого образца резко различаются.

На участке ОВ диаграммы наблюдается линейная зависимость между растягивающей силой и удлинением образца. Материал подчиняется закону Гука. В материале возникают только упругие деформации, исчезающие после снятия нагрузки. Ордината точки В – F_{pr} называется силой, соответствующей пределу пропорциональности.

По мере роста нагрузки выше F_{pr} зависимость между Δl и F становится нелинейной и закон Гука не соблюдается, постепенно появляются и развиваются пластические или остаточные (остаются после снятия нагрузки) деформации. Начиная с точки С, нелинейный участок диаграммы становится практически горизонтальным. При этом удлинение стержня происходит при постоянной растягивающей силе F_y , соответствующей пределу текучести. Отрезок диаграммы СД называется площадкой текучести. Говорят, при нагрузке F_y материал “течет”, т.е. в нем появляются значительные пластические деформации.

ции за счет необратимых сдвигов кристаллов металла друг относительно друга.

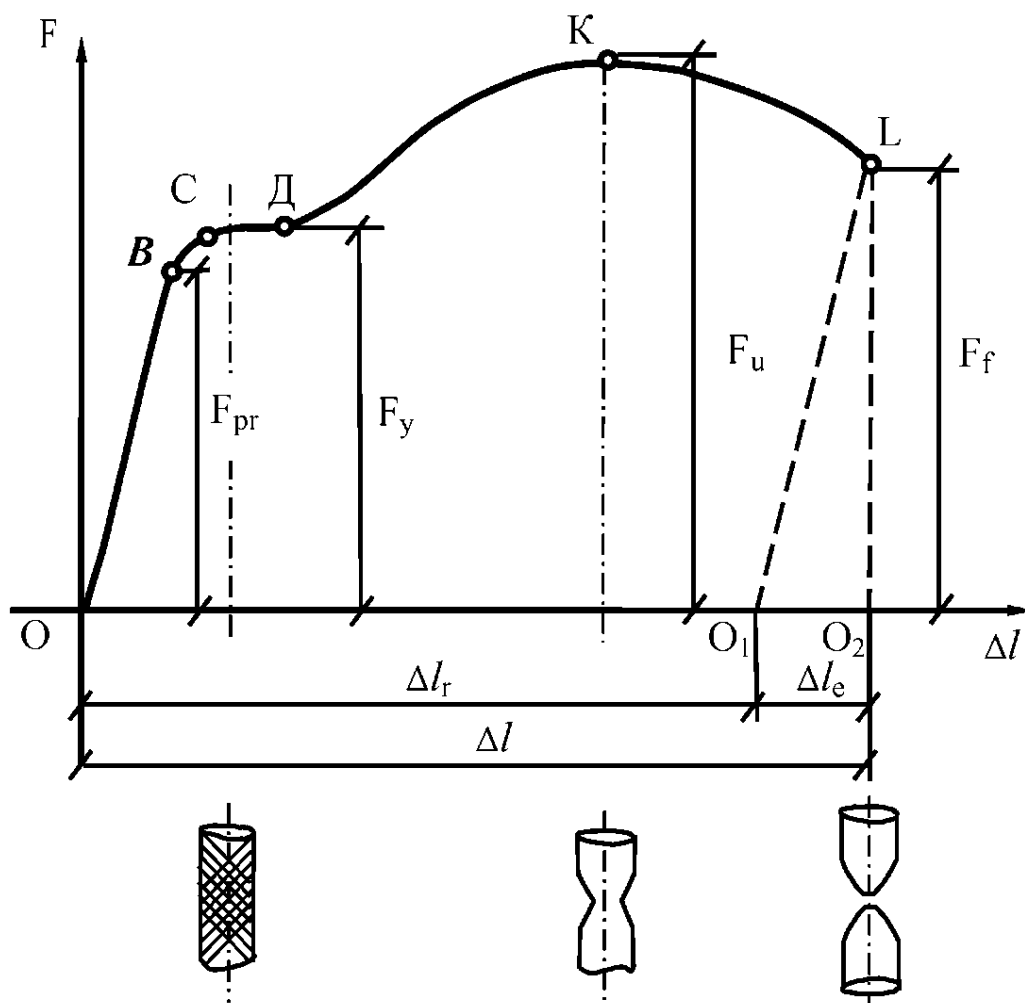


Рис. 3

После увеличения нагрузки выше F_y материал вновь начинает сопротивляться дальнейшему растяжению. Рост деформаций сопровождается увеличением нагрузки, происходит упрочнение стали. Участок ДК на диаграмме называется **зоной упрочнения**. Точка К соответствует наибольшей величине нагрузки F_u .

В этот момент характер деформирования образца еще раз резко меняется. До этого в удлинении участвовал весь стержень (каждая единица его длины удлинялась примерно одинаково, точно также во всех сечениях было одинаковое уменьшение поперечных размеров образца).

С момента, когда нагрузка достигает величины F_u , деформация в основном сосредотачивается в одном месте образца. Небольшой участок образца около этого места подвергается в дальнейшем наиболь-

шему напряжению, это влечет за собой местное сужение поперечного сечения, образуется так называемая “шейка”.

Дальнейшее удлинение образца идет при быстром уменьшении площади поперечного сечения шейки (участок KL). Для разрушения образца с меньшей площадью сечения требуется меньшая нагрузка. В точке L при силе F_f происходит разрыв образца.

На основании данных испытания можно определить основные механические *характеристики прочности материала* (*предел пропорциональности σ_{pr} , предел текучести σ_y , предел прочности σ_u*), которые характеризуют способность материала сопротивляться стремлению внешних сил деформировать и разрушать образец при растяжении. Для получения любого из перечисленных пределов соответствующая нагрузка делится на *первоначальную* площадь поперечного сечения.

Абсциссы диаграммы испытания характеризуют иное свойство материала, а именно, его способность в большей или меньшей степени деформироваться, прежде чем наступит разрушение. Отрезок $O_1O_2 = \Delta l_e$ (см. рис. 3) дает нам величину упругой деформации образца к моменту разрыва, исчезающий в тот же момент, как разрушение произошло. Отрезок же $OO_1 = \Delta l_r$ представляет собой величину остаточных удлинений участка l образца после разрыва. Эта величина тем больше, чем больше длина выбранного для измерений участка и чем *пластичнее* материал.

Отношение остаточного удлинения Δl_r к первоначальной рабочей длине l принимается за меру *пластичности* материала, т.е. его способности испытывать большие деформации при разрушении. Величина этого отношения, выраженная в процентах, называется *остаточным относительным удлинением образца* после разрыва (ϵ).

Другой *характеристикой пластичности* материала при испытании на растяжении служит *остаточное относительное сужение*. Сечение образца в месте разрыва имеет меньшую площадь, чем первоначальная. Величина, равная отношению разности площадей до испытания и после, к первоначальной площади, выраженная в процентах, носит название *относительного сужения* после разрыва (ψ).

Пределом пропорциональности σ_{pr} называется наибольшее напряжение, при котором еще наблюдается прямая пропорциональность между напряжением и деформацией:

$$\sigma_{pr} = F_{pr} / A, \quad (1)$$

где A – первоначальная площадь поперечного сечения.

Пределом текучести σ_y называется напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки:

$$\sigma_y = F_y / A. \quad (2)$$

Для пластичных материалов напряжения равные пределу текучести считаются предельными, опасными (недопустимыми).

Пределом прочности σ_u называется напряжение, полученное делением наибольшей силы F_u , предшествующей разрушению образца, на первоначальную площадь поперечного сечения образца:

$$\sigma_u = F_u / A. \quad (3)$$

Остаточное относительное удлинение:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l}{l} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где l_1 – длина рабочей части образца после разрыва, l – первоначальная рабочая длина образца.

Остаточное относительное сужение в месте разрыва:

$$\psi = \frac{A - A_1}{A} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где A_1 – площадь поперечного сечения в самом тонком месте шейки.

Диаграмма растяжения (см. рис. 3) позволяет установить ещё один параметр, характеризующий свойство материала сопротивляться ударным нагрузкам. Это сопротивление оказывается тем большим, чем больше работа, затрачиваемая на разрыв образца (чем больше энергии в состоянии поглотить материал, не разрушаясь, тем лучше он будет сопротивляться ударным нагрузкам, поглощая кинетическую энергию удара). Поэтому в качестве характеристики, описывающей способность материала сопротивляться действию внезапно приложенных нагрузок, принимают **величину работы**, которую требуется затратить на растяжение образца до разрыва. Эта работа в определенном масштабе выражается площадью диаграммы растяжения ОВСДКЛО₂О (см. рис. 3).

Вычислить площадь точно можно, но трудно, поэтому поступают следующим образом. Вычисляют площадь прямоугольника с основанием Δl и высотой F_u и умножают на коэффициент заполнения диаграммы η , который для стали, как показали многочисленные опыты, можно принять 0,8–0,9. Тогда

$$W = F_u \cdot \Delta l \cdot \eta. \quad (6)$$

Работа, затраченная только на пластическую деформацию, – $ОВСДКЛО_1O$, т.к. работа $L O_2O_1L$ на упругую деформацию исчезает после разрыва.

Удельная работа характеризует способность материала поглощать энергию при разрыве, вязкость материала и сопротивляемость его динамическому воздействию нагрузки:

$$\omega = \frac{W}{V}, \quad (7)$$

где V – объем рабочей части образца.

Порядок выполнения работы

До испытания у образца измеряют диаметр (d) и вычисляют площадь поперечного сечения (A), выделяют рабочую часть ($l=10d$). Результаты измерений заносятся в журнал.

Обмеренный образец помещают в захваты испытательной машины Р-20 и закрепляют его концы. Сначала нагружение образца производят с незначительной скоростью не более 10 мм/мин до образования площадки текучести, после прохождения которой скорость нагружения может быть увеличена в 4-5 раз.

С приближением к наибольшему усилию необходимо следить за поведением образца. Шейку легче всего обнаружить на ощупь. В ходе испытания необходимо внимательно следить за записью диаграммы и показаниями стрелки силоизмерителя, фиксируя усилие, соответствующее пределу пропорциональности, пределу текучести и моменту разрыва. Наибольшее усилие фиксируется контрольной стрелкой, которая остается на шкале после разрыва образца.

Для измерения длины образца после разрыва обе части его складываются по длине, и измеряется выделенная рабочая часть l_1 . Диаметр образца после испытания измеряется в месте разрыва.

Размеры образца, м

до испытания:

- диаметр d =

- рабочая длина l =

после испытания:

- диаметр d_1 =

- рабочая длина l_1 =

Показания нагрузок, определенных в процессе испытания, кН

- сила, соответствующая пределу пропорциональности $F_{пр}$ =

- сила, соответствующая пределу текучести F_y =

- наибольшая величина нагрузки F_u =

- сила, при которой происходит разрыв образца F_r =

Обработка результатов испытания

В результате испытания необходимо определить:

- 1) характеристики прочности материала согласно формулам (1), (2), (3) ($\sigma_{pr} =$, $\sigma_y =$, $\sigma_u =$, $\sigma_f = F_f/A =$);
- 2) характеристики пластичности материала согласно формулам (4) и (5) ($\varepsilon =$, $\psi =$);
- 3) работу, затраченную на разрыв, по формуле (6) ($W =$);
- 4) удельную работу по формуле (7) ($\omega =$);
- 5) истинное напряжение при разрыве ($\sigma_f = F_f/A_1 =$).

По результатам обработки испытаний для описания характеристик материала диаграмму растяжения необходимо построить в осях $\sigma - \varepsilon$ (напряжение - относительное удлинение).

По найденным из опыта характеристикам прочности и пластичности, пользуясь справочными таблицами и ГОСТами, установить марку стали.

Контрольные вопросы

1. Что называется деформацией растяжения?
2. Какие внутренние усилия действуют при растяжении, как они определяются?
3. Какой вид имеет диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали?
4. Какие деформации называются упругими, остаточными?
5. Как определить долю упругих и остаточных деформаций при нагружении образца силой, превышающей F_{pr} ?
6. Назовите характеристики пластичности.
7. Назовите характеристики прочности.
8. Что называется пределом пропорциональности материала?
9. Что такое текучесть материала?
10. Что называется пределом текучести материала?
11. Что называется пределом прочности материала?
12. Что происходит с образцом, когда нагрузка достигает F_u ?
13. Каков принцип действия разрывной машины Р-20?
14. Расскажите порядок проведения работы.
15. Как определяется марка стали?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ

Цель работы. Изучить опытным путем процесс сжатия пластичных и хрупких материалов и определить их механические характеристики.

Содержание работы

В любой инженерной конструкции существуют элементы, испытывающие деформацию сжатия. Поэтому важно знать свойства материала при сжатии и величины соответствующих механических характеристик, особенно для хрупких материалов.

Образцы для испытания на сжатие

Для испытания на сжатие стали и чугуна применяются цилиндрические образцы диаметром от 10 до 25 мм, высотой, равной от одного до трех диаметров. Поверхность образцов должна быть гладкой и не иметь рисок и следов резца. Торцевые поверхности во избежание перекосов образца должны быть плоскопараллельными между собой и перпендикулярными к оси образца.

Деревянные образцы имеют кубическую форму.

Машина для испытания

Испытание, на сжатие производится на гидравлических прессах П-10, П-50 усилием до 100 и 500 кН соответственно.

Пресс П-10 (П-50) представляет собой установку, состоящую из нагружающего устройства и пульта управления (рис. 4).

Станина пресса состоит из основания 1 и траверсы 2, соединенных колоннами 3. В основании пресса расположен цилиндр 4. На плунжере 5 цилиндра закреплен стол 6. Под действием давления масла в гидросистеме плунжер цилиндра перемещается вверх. Обратный ход совершается под действием собственного веса.

Для надлежащего центрирования образцов и равномерного распределения усилий сжатия верхняя опорная плита пресса 7 имеет шаровую опорную поверхность, играющую роль центрирующего шарнира. Плита может перемещаться при помощи винтовой пары 8 вручную.

Пульт управления состоит из насосной установки 9 и силоизмерительного блока 10. В силоизмерительный блок входит торсионный

силоизмеритель. Давление масла в цилиндре пресса уравнивается крутящим моментом торсиона, угол закручивания которого пропорционален усилию, сжимающему образец. Деформация торсиона трансформируется через механическую передачу в угол поворота стрелки шкалы нагрузок 11.

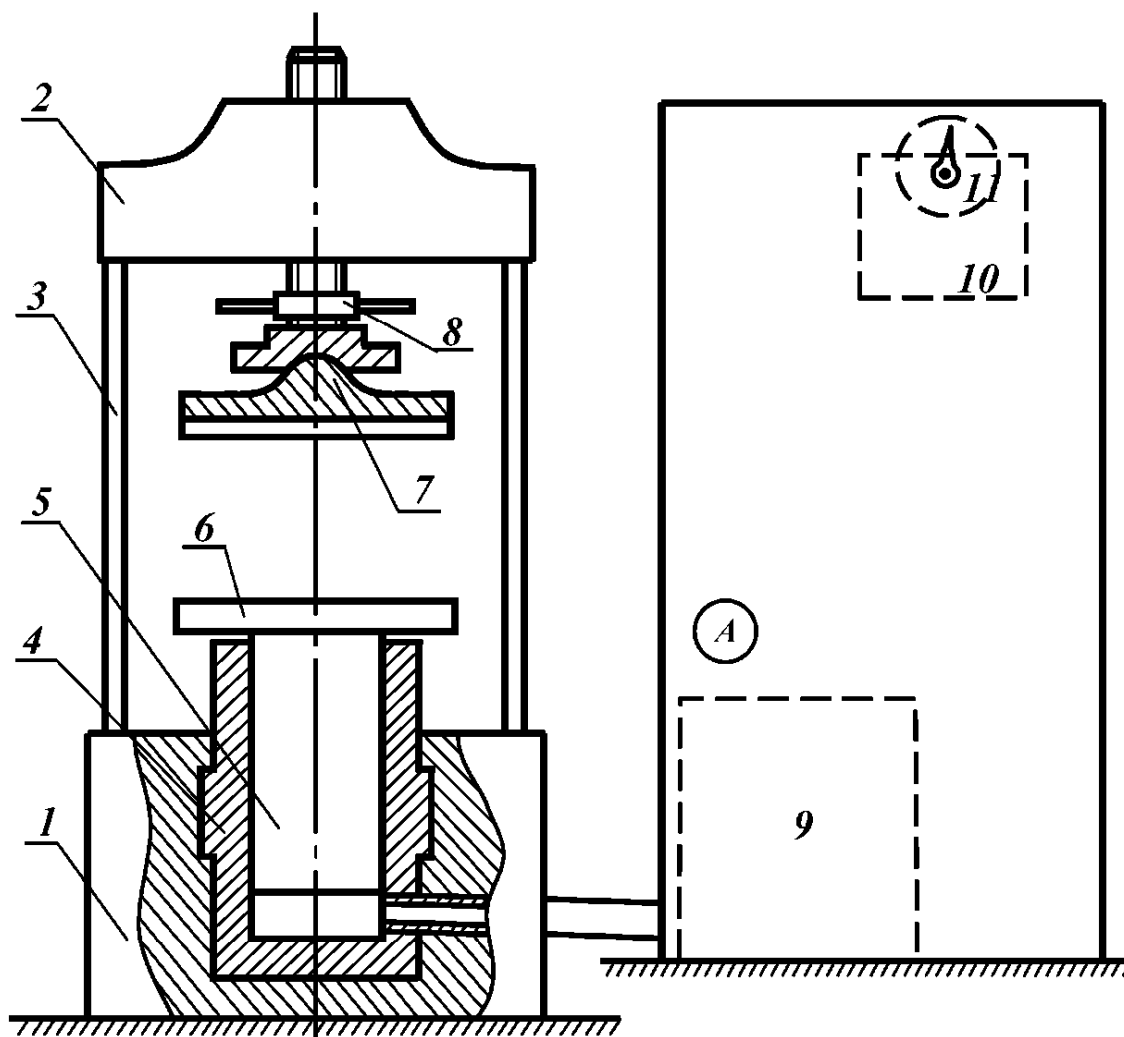


Рис. 4

Порядок выполнения работы

Испытание стального образца. Предварительно измерив диаметр, образец устанавливают на опорную плиту пресса, добиваясь возможно более точного совпадения оси образца с направлением сжимающей силы, и подвергают сжатию. Диаграмма сжатия пластичной малоуглеродистой стали в интервале до предела текучести такая же, как и при растяжении. Предел прочности при сжатии стального образца получить невозможно, так как образец при появлении

пластических деформаций сначала принимает бочкообразную форму, а затем превращается в диск (рис. 5), не обнаруживая признаков разрушений.

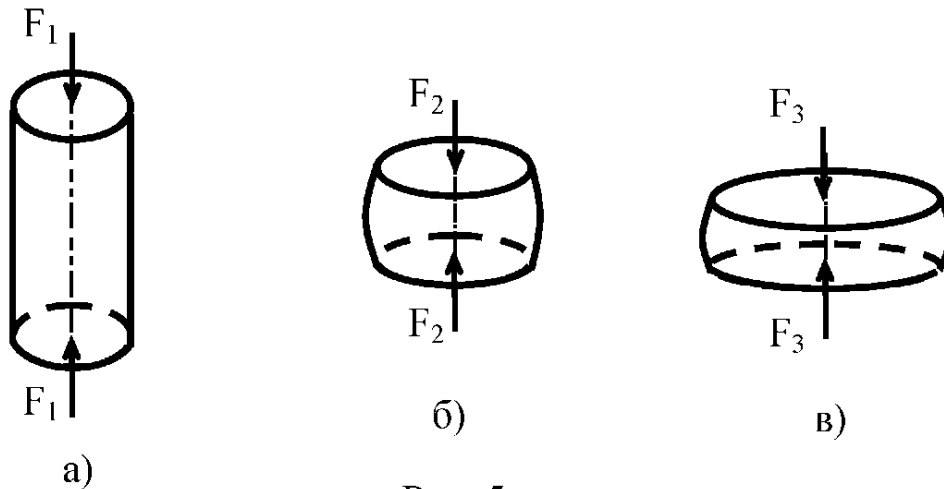


Рис. 5

При некоторой нагрузке F_y наблюдается кратковременная остановка стрелки силоизмерителя. Это свидетельствует о возникновении в материале пластических деформаций. Нагрузка F_y соответствует процессу текучести и позволяет определить **предел текучести стали**:

$$\sigma_y = F_y / A,$$

где A – площадь поперечного сечения образца.

Площадка текучести при сжатии стали слабо выражена, а зависимость между напряжениями и деформациями за пределом текучести имеет другой характер, чем при растяжении.

Так как разрушения стального образца при сжатии не происходит и величина разрушающей нагрузки не достигается, то и предел прочности вычислить невозможно. Поэтому за предельное напряжение при сжатии стального образца принимается предел текучести. Диаграмма сжатия стального образца представлена на рис. 6.

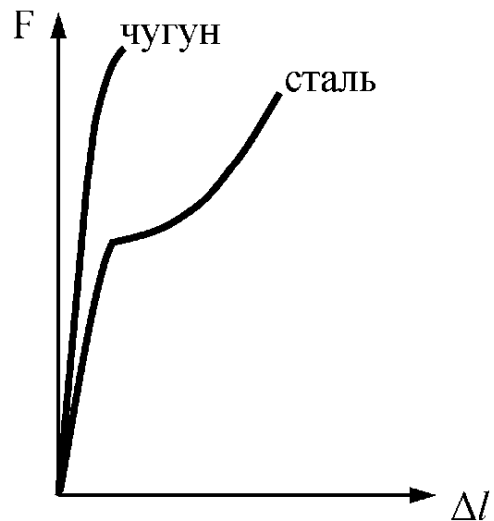


Рис. 6. Диаграммы сжатия стального и чугунного образцов

Испытание чугунного образца. Предварительно измеренный образец устанавливают на опорную плиту прессы, добиваясь возможно более точного совпадения оси образца с направлением сжимающей силы. Вокруг образца обязательно устанавливают ограждение, т.к. при разрушении хрупких материалов образуются осколки. В процессе сжатия чугунного образца можно заметить, что сначала он, укорачиваясь, принимает бочкообразную форму. Это свидетельствует о наличии небольших пластических деформаций.

Разрушение образца начинается с образования трещин под углом 45° к его оси, когда нагрузка достигает наибольшего значения F_u . Разрушение чугуна происходит по наклонной плоскости в результате действия касательных напряжений (рис. 7, б).

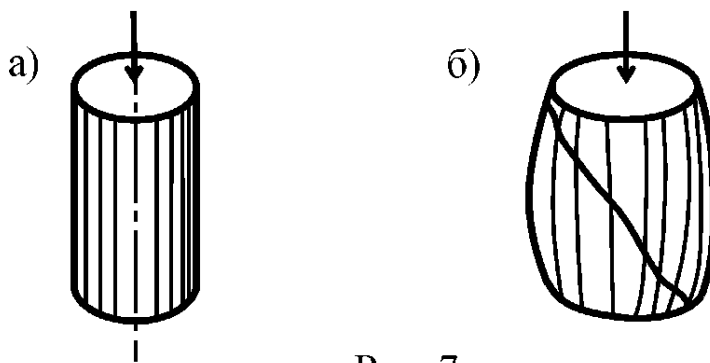


Рис. 7

Определив величину разрушающей нагрузки и первоначальную площадь сечения, вычисляем **предел прочности чугуна при сжатии**:

$$\sigma_u = F_u / A.$$

Диаграмма сжатия чугунного образца представлена на рис. 6.

Испытание на сжатие образцов из дерева. Дерево является анизотропным материалом, у которого физические и прочностные свойства существенно различаются в направлениях вдоль и поперек волокон. Образцы в виде кубов измеряются и затем подвергаются сжатию до разрушения.

При сжатии кубика из дерева **вдоль волокон** разрушение происходит в виде сдвига по наклонной плоскости одной части образца относительно другой (примерно под углом 45° к оси образца на рис. 8). При этом часто наблюдается и образование продольных трещин, особенно при наличии сучков. До разрушения образец претерпевает сравнительно небольшие остаточные деформации. При испытании

фиксируется максимальное значение нагрузки F_u . По данным опыта определяется *предел прочности дерева при сжатии вдоль волокон*:

$$\sigma_u = F_u / A,$$

где A – площадь сечения образца.

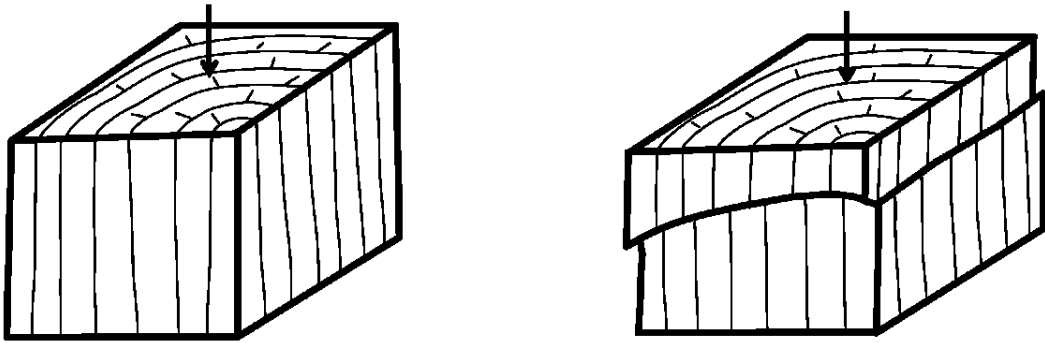


Рис. 8

При сжатии *поперек волокон* происходит прессование дерева (рис. 9). Кубик быстро деформируется почти без увеличения нагрузки, при отсутствии пороков в древесине разрушение его не наблюдается. Значительный рост деформации без увеличения нагрузки позволяет считать, что несущая способность образца исчерпана. В таких случаях считают, что разрушающая нагрузка F_u – это та, при которой кубик сжимается на одну треть своей первоначальной высоты. При дальнейшем нагружении за счет спрессовывания нагрузка начинает расти несколько быстрее и становится выше условного значения F_u .

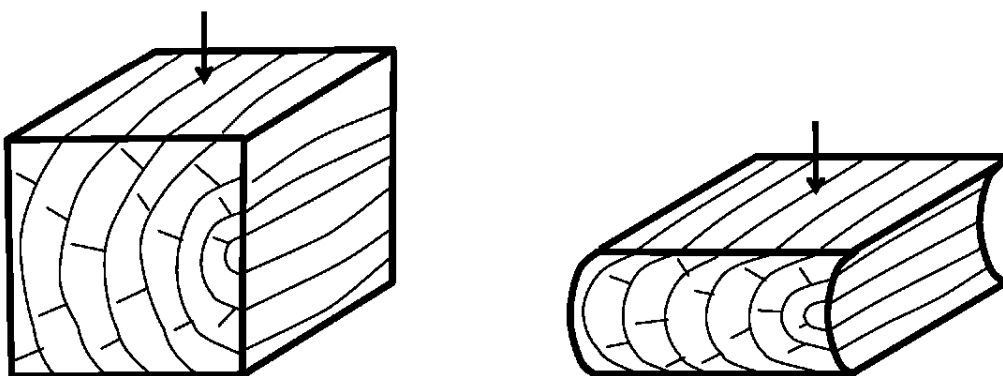


Рис. 9

Определяется *предельное значение напряжения дерева при сжатии поперек волокон*:

$$\sigma_u = F_u / A.$$

Результаты испытания показывают, что прочность дерева при сжатии вдоль волокон в 8-10 раз выше, чем при сжатии поперек волокон.

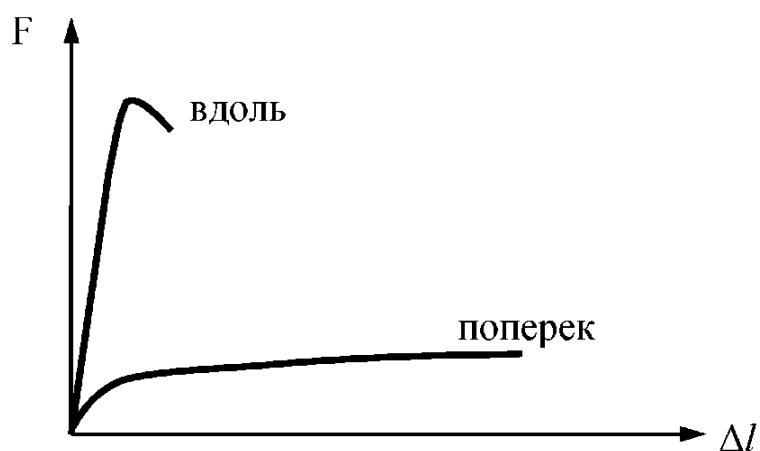


Рис. 9. Диаграммы сжатия деревянных образцов

Обработка результатов испытания

Результаты испытаний заносятся в таблицу.

Материал	Форма образца	Площадь сечения A (m^2)	Предельная нагрузка (кН)	Предельное напряжение (МПа)	Машина для испытаний
Сталь	Цилиндр				
Чугун	Цилиндр				
Дерево (вдоль)	Куб				
Дерево (поперек)	Куб				

Контрольные вопросы

1. Как определить величину нормальных напряжений в поперечном сечении сжатого образца?
2. Какие механические характеристики определяются при испытании на сжатии?
3. Какова форма образцов при испытании на сжатии?
4. Каков характер разрушения стального образца?
5. Какой вид имеют диаграммы сжатия пластичного и хрупкого материала?
6. Каков характер разрушения образцов из хрупких материалов?
7. Как испытывают на сжатие древесину?
8. При какой ориентации силы по отношению к годовым волокнам прочность древесины оказывается наибольшей?
9. Каков принцип действия гидравлического пресса, используемого для испытания материалов на сжатие?
10. Для каких материалов испытание на сжатие имеет большое практическое значение?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. – М.: Высш. шк., 1995. – 560 с.
2. Саргсян А.Е. Сопротивление материалов, теории упругости и пластичности. – М.: АСВ, 1998. – 240 с.
3. Смирнов А.Ф. и др. Сопротивление материалов. – М.: Высш. шк., 1975. – 480 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа № 1. Определение механических характеристик стали по диаграмме растяжения	4
Содержание работы	4
Диаграмма растяжения	7
Порядок выполнения работы	11
Обработка результатов испытания	12
Контрольные вопросы	12
Лабораторная работа № 2. Испытание материалов на сжатие	13
Содержание работы	13
Порядок выполнения работы	14
Обработка результатов испытания	18
Контрольные вопросы	19
Библиографический список	19