

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

**Кафедра «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»**

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов направлений
151900.62, 150700.62

Часть 1

Курган 2015

Кафедра: «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»

Дисциплина: «Методы и средства испытаний»
(направления 151900.62, 150700.62).

Составила: канд. техн. наук, доцент Л.Н. Тютрина.

Утверждены на заседании кафедры «19» ноября 2015 г.

Рекомендованы методическим советом университета «19» декабря 2014 г.

ВВЕДЕНИЕ

Для проверки работоспособности изделий или для определения их способности нормально функционировать после воздействия внешних факторов (ВФ), а также для проверки способности изделий выдерживать хранение и транспортирование предусматриваются определенные виды испытаний, проводимые в соответствии с группами ВФ (механические, климатические, биологические, радиационные, электромагнитные, специальных сред и термические) [1; 2].

Различают испытания материалов и испытания изделий.

При испытаниях материалов исследуют:

- 1) механические свойства;
- 2) электрические свойства;
- 3) магнитные свойства и др.

К испытаниям изделий на воздействие механических факторов в основном относятся испытания на воздействие:

- 1) вибрации;
- 2) механического удара многократного и одиночного действия, удара при падении;
- 3) линейного ускорения;
- 4) акустического шума.

Механические воздействия относятся к основным воздействующим ВФ и представляют собой статические, вибрационные и ударные нагрузки, линейные ускорения и акустический шум. Они вызывают разрушения вследствие растяжения, сжатия, изгиба, кручения, среза, вдавливания и усталости материала изделий.

Изделия, предназначенные для функционирования в условиях воздействия механических нагрузок, должны быть прочными и устойчивыми при воздействии этих нагрузок. Изделия, не предназначенные для функционирования в условиях воздействия механических нагрузок, должны быть только прочными при воздействии этих нагрузок.

Прочность к воздействию механических факторов – это способность изделий выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах установленных норм после воздействия механических факторов. Устойчивость к воздействию механических факторов – это способность изделий выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах установленных норм во время воздействия механических факторов.

Основные параметры, подлежащие контролю, в большинстве случаев характеризуют механические свойства материалов: прочность, пластичность, твердость, ударную вязкость и выносливость.

Лабораторные испытания осуществляются в лабораторных условиях, когда на изделие воздействуют определенные ВФ, характеризующиеся заданными значениями параметров. Изделие подвергается воздействию ограниченного числа ВФ, находящихся в определенных соотношениях. В процессе лабораторных испытаний изделие подвергается более интенсивному воздействию, чем

при реальной эксплуатации. Следовательно, сокращается время испытаний и выдается ускоренная оценка качества изделия. Эти испытания весьма условны, так как в большинстве случаев не установлено соответствие между лабораторными и эксплуатационными воздействиями. Результаты, получаемые в процессе лабораторных испытаний и в процессе эксплуатации, могут различаться.

Задача испытательной техники – максимально приблизить условия испытаний к экстремальным условиям эксплуатации и количественно определить изменение в этих условиях основных свойств, функций и характеристик изделий и материалов. Стендовые испытания являются разновидностью лабораторных испытаний и проводятся:

- 1) с применением универсального испытательного оборудования и средств измерения значений параметров испытуемого изделия, смонтированных в единую комплексную систему, называемую испытательным стендом;
- 2) с применением специальных стендов для испытаний конкретных изделий.

По степени или результату воздействия испытания подразделяются на неразрушающие и разрушающие.

Неразрушающими называют такие испытания, после проведения которых параметры и свойства объекта не ухудшаются (он может использоваться по прямому назначению). Разрушающие испытания (проводимые по полной программе) приводят к возникновению в испытуемом объекте необратимых изменений, ухудшающих значения его параметров и ускоряющих возможность появления постепенных случайных отказов.

Если испытания продолжаются до момента достижения разрушения испытуемого изделия или до момента, когда значения его параметров выходят за установленные пределы, их называют испытаниями на прочность. Воздействие ВФ увеличивается постепенно до момента возникновения отказа испытуемого изделия. Значения воздействующего фактора фиксируются как в процессе их увеличения, так и в момент возникновения отказа. Если изделие подвергается комплексу различных видов испытаний на воздействие ВФ, то в нем возникают необратимые изменения, увеличивающие вероятность отказов и существенно сокращающие технический ресурс его работы. Комплекс испытаний на воздействия ВФ является разрушающим воздействием.

1 ИСПЫТАНИЕ НА КРУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДО РАЗРУШЕНИЯ

Испытанию на кручение подвергаются образцы цилиндрической формы на машине КМ-50 (рисунок 1) с предельным крутящим моментом 50 кгс·м, или 500 Н·м.

Испытательная машина дает возможность:

- установления заданных испытательных режимов, их ручное и автоматическое регулирование;
- задание и поддержание характеристик условий испытаний, значений параметров в допустимых пределах с соблюдением норм точности их воспроизведения.

Оборудование позволяет вести автоматическую запись режимов испытаний.



Рисунок 1 – Машина КМ-50

Цель работы:

- ознакомиться с процессом проведения испытаний;
- провести испытания;
- определить величину предела прочности материалов при кручении;
- сопоставить характер разрушения образцов из стали, чугуна и дерева при кручении.

Процесс проведения испытаний предусматривает порядок отбора, подготовки и хранения изделий для испытаний; совокупность технических характеристик режимов испытаний, допустимых пределов их значений и норм точности воспроизведения; допустимые пределы значений характеристик свойств испытуемых изделий; последовательность операций и их описание; критерии прекращения испытаний.

Алгоритм испытаний изделий:

- 1) предварительная выдержка, предназначенная для достижения изделием определенного стационарного состояния за счет нахождения его в нормальных климатических условиях;
- 2) предварительные измерения значений параметров изделия для установления его работоспособности;
- 3) установка изделия для испытаний;
- 4) первоначальные измерения значений параметров изделия, определяющих его состояние до воздействия ВФ;
- 5) выдержка изделия при воздействии ВФ для определения их влияния. Продолжительность выдержки отсчитывается с момента времени достижения установившегося режима;

- 6) измерение значений параметров изделий в процессе испытаний;
- 7) восстановление (выдержка изделия при отсутствии воздействия ВФ для стабилизации его свойств перед заключительными измерениями);
- 8) заключительные измерения в целях установления влияния на изделие воздействующих ВФ.

Известно, что материал скручиваемого стержня находится в условиях плоского напряженного состояния. По площадкам, перпендикулярным и параллельным оси стержня, возникают только касательные напряжения, а по площадкам, наклоненным к оси на угол 45° , действуют только нормальные (главные) напряжения. Эти напряжения равны между собой по величине. Разрушение образца при кручении возможно от касательных напряжений путем сдвига или от действия растягивающих нормальных напряжений, приводящих к отрыву.

Разрушение образцов из разных материалов при кручении будет отличаться, так как сопротивление сдвигу и отрыву у этих материалов различно.

Процесс деформации образца из мягкой стали при кручении показан на диаграмме (рисунок 2). Сначала деформация (угол закручивания) увеличивается прямо пропорционально величине крутящего момента M_k (прямая линия подтверждает справедливость закона Гука). Далее деформация растет значительно быстрее величины крутящего момента (криволинейный участок). Напряжение у поверхности образца достигает предела текучести. Площадка текучести обычно не наблюдается, рост пластической деформации идет с непрерывным увеличением крутящего момента, обусловленным упрочнением металла.

Разрушение стального образца происходит без образования шейки, незаметно и бесшумно, по сечению, перпендикулярному к оси образца.

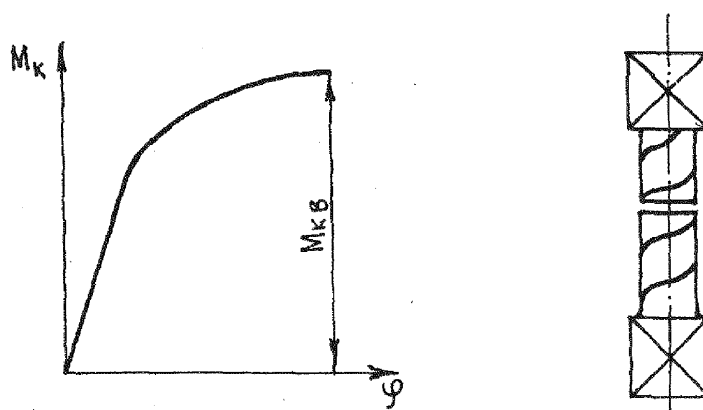


Рисунок 2 – Диаграмма кручения и схема разрушения образца из стали

Диаграмма обрывается при наибольшем значении крутящего момента. В месте разрушения образец имеет вид полированной блестящей поверхности, как бы срезанной ножом. Продольная черта, нанесенная на поверхность образца, обращается в винтовую линию (рисунки 2, 3). Касательные напряжения, возникающие по площадкам, перпендикулярным к оси образца, вызывают разрушение стального образца.



Рисунок 3 – Стальной образец до и после испытаний

Для чугунного образца диаграмма кручения имеет вид наклонной, почти прямой линии; иногда это кривая с выпуклостью вверх. Характер диаграммы (рисунок 4) свидетельствует о том, что больших остаточных деформаций чугунный образец не получает.

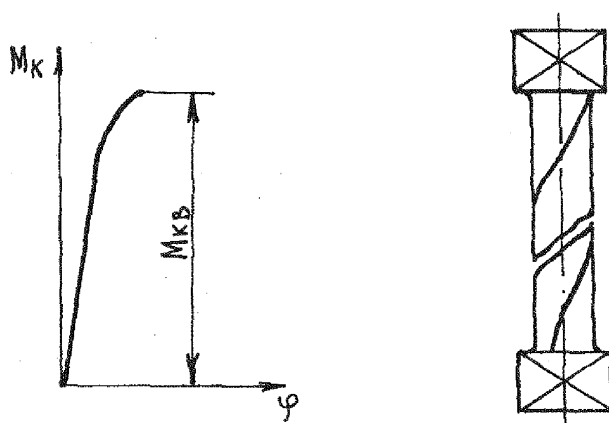


Рисунок 4 – Диаграмма кручения и схема разрушения чугунного образца

Продольная черта, нанесенная на поверхность образца, лишь немного искривляется (рисунок 4). Разрушение происходит внезапно и резко, с треском,

подобным выстрелу, и всегда по наклонному сечению. В месте разрушения хорошо видны следы отрыва металла, сопровождающиеся зернистой структурой излома (рисунок 5).

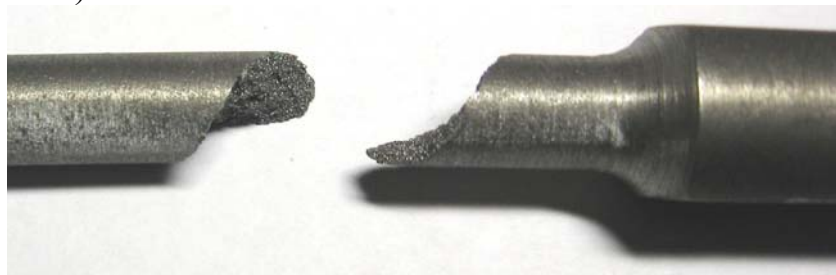


Рисунок 5 – Разрушенный образец из чугуна

Диаграмма кручения для деревянного образца (сосна) показана на рисунке 6. В начальной стадии испытания крутящий момент возрастает пропорционально деформации (углу закручивания), а после достижения максимальной величины начинает заметно уменьшаться вследствие образования в образце продольной трещины.

Разрушение деревянного образца (рисунок 7) происходит в результате расслоения продольных волокон. Характер разрушения подтверждает наличие касательных напряжений по площадкам, параллельным образующим и проходящим через ось стержня. При наличии концентраторов напряжений (сучки, трещины, задиры) образцы из дерева разрушаются с большей интенсивностью.

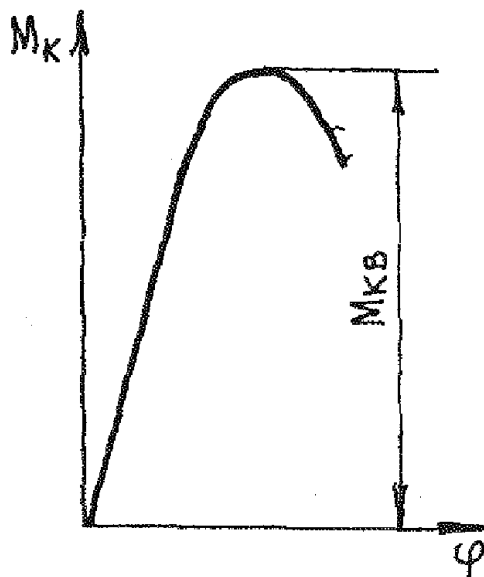


Рисунок 6 – Диаграмма кручения и установка деревянного образца



Рисунок 7 – Образцы из дерева до и после испытаний

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Измерить штангенциркулем диаметры образцов.
- 2 Подготовить диаграммный аппарат к работе.
- 3 Закрепить стальной образец в захватах машины, предварительно нанеся на его поверхность меловую линию параллельно его геометрической оси для визуального наблюдения за деформацией.
- 4 Включить электродвигатель и скручивать образец до его разрушения.
- 5 По шкале силоизмерителя определить величину разрушающего крутящего момента.
- 6 Вынуть части разрушенного образца, определить характер разрушения.
- 7 По величине крутящего момента, вызывающего разрушение образца, и диаметру его поперечного сечения вычислить предел прочности стального образца при кручении.
- 8 Сопоставить характер разрушения стального образца при кручении, растяжении и сжатии. Дать объяснение их разрушению.
- 9 В захватах машины установить последовательно чугунный и деревянный образцы. Испытания чугунного и деревянного образцов проводить в том же порядке, что и испытание стального образца.
- 10 Сопоставить характер разрушения при кручении стального, чугунного и деревянного образцов, дать объяснение их различию.
- 11 Результаты испытаний занести в таблицу (таблица 1).
- 12 Записать вывод по работе.

Таблица 1 – Результаты испытаний (пример заполнения)

Размеры образцов и результаты испытания	Материал		
	Дерево	Чугун	Сталь
Диаметр образца d , мм	18,7	10	11,9
Полярный момент сопротивления: $W_P = \frac{\pi d^3}{16}$, мм ³	1283	196	330
Разрушающий момент M_{KB} , Н·мм	10000	46000	184000
Угол закручивания (до разрушения) φ_B , градусы	50	70	820
Условный предел прочности: $\tau_B = \frac{M_{KB}}{W_P}$, МПа	8	230	557
Характер разрушения	Рассло- ение вдоль волокон	По винтовой линии (45°)	Срез перепен- дикулярно оси

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1 Как классифицируются механические испытания свойств материалов?
- 2 Какие требования предъявляются к оборудованию для испытаний?
- 3 Как ведет себя мягкая сталь на участках диаграммы кручения?
- 4 Как ведет себя чугун на участках диаграммы кручения?
- 5 Перечислить характеристики пластичности материала.
- 6 Как ведет себя деревянный образец на участках диаграммы кручения?
- 7 Как используются механические характеристики материалов при расчете де-талей на прочность?
- 8 Перечислить характеристики хрупких материалов.
- 9 Что такое внешние воздействующие факторы?
- 10 Перечислить механические воздействующие факторы.
- 11 Чем различаются неразрушающий и разрушающий контроль?
- 12 Показать алгоритм испытаний материалов на механические внешние воздей-ствия.

2 ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ

Цель работы: ознакомление с методами и средствами испытаний на сжа-тие различных материалов (пластичных, хрупких и неоднородных).

Испытание проводится на универсальной испытательной машине усили-ем не менее 10 тонн. Для пластичных материалов (мягкой стали, меди, алюми-ния и др.) испытания на сжатие являются дополнением к испытаниям этих ма-териалов на растяжение. Хрупкие материалы (чугун, бетон, стекло, керамика и

др.) на сжатие работают значительно лучше, чем на растяжение, и обычно применяются для элементов конструкций, работающих на сжатие.

В настоящее время при контроле прочности бетона все большее распространение получают методы неразрушающего контроля, это методы механического и ультразвукового контроля. В качестве образцов используются кубы с ребром 300, 200, 150, 100 мм или цилиндры диаметром 300, 200, 150, 100 мм (высота цилиндра составляет два диаметра).

Самый простой и доступный метод определения прочности бетона – испытание образцов бетона. Этим методом пользуются как производители (поставщики) бетона (для самоконтроля), так и его потребители (для контроля производителя). Отбирают пробу бетонной смеси, изготавливают из нее серии контрольных образцов кубов для определения прочности бетона всей партии в промежуточном и проектном (28 суток) возрастах. Неразрушающий контроль бетона проводится по ГОСТ 22690-88 (механические методы) и по ГОСТ 17624-2012 (ультразвуковой метод).

Образцы для испытания на сжатие стали и чугуна имеют цилиндрическую форму высотой $h_0=15$ мм и диаметр $d_0=10$ мм. Результаты испытаний стали, чугуна и других материалов на сжатие зависят от условий проведения опыта. Практически очень трудно добиться приложения сжимающей силы точно по оси образца. При наличии эксцентриситета образец не только сжимается, но и изгибается. Чем длиннее образец, тем сильнее сказывается влияние изгиба. Для уменьшения влияния изгиба применяют образцы, длина которых не более чем в два раза превышает их поперечные размеры. Чем короче образец, тем сильнее влияние сил трения между торцами образца и опорными плитами, которые изменяют характер напряженного состояния и увеличивают сопротивление образца разрушению. Для уменьшения трения торцы образца смазывают парафином или графитовой смазкой.

На диаграмме сжатия малоуглеродистой стали (рисунок 8) видно, что усилие сжатия непрерывно возрастает, образец расплющивается, но не разрушается. Вид образца до испытания показан на рисунке 9 а. На рисунке 9 б, в показан вид образца из малоуглеродистой стали после испытания: его поперечное сечение увеличивается, образец принимает бочкообразную форму.

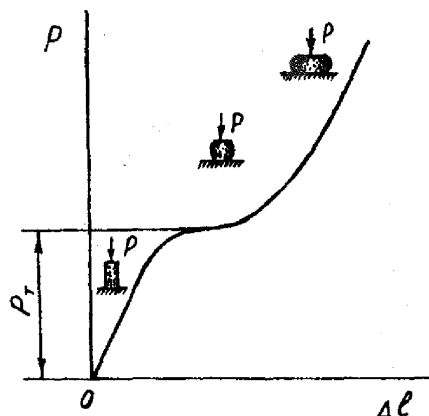
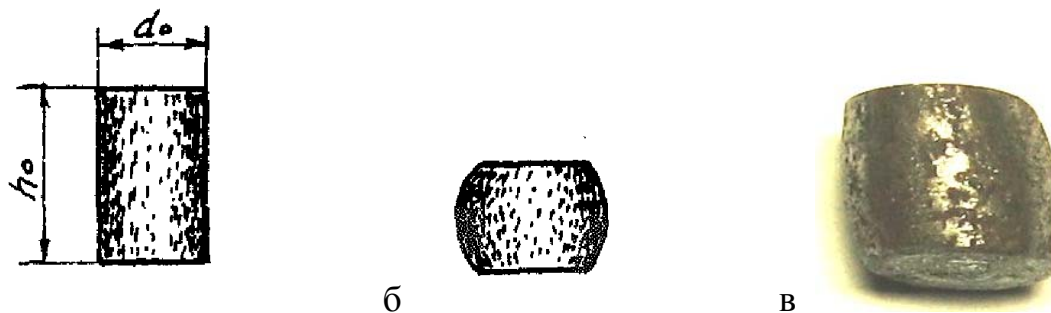


Рисунок 8 – Диаграмма сжатия малоуглеродистой стали



а – до испытания; б – сжатие точно по оси образца; в – деформация при наличии эксцентриситета

Рисунок 9 – Образцы из малоуглеродистой стали

Площадка текучести при сжатии слабо выражена, иногда она полностью отсутствует. При дальнейшем нагружении сплюсненный образец выдерживает большие усилия без разрушения. Для пластичных материалов при растяжении и сжатии значения пределов пропорциональности и текучести практически одинаковы. В результате испытаний на сжатие пластичных материалов определяется условный предел текучести (относительное сжатие образца равно 0,2%) (рисунок 10).

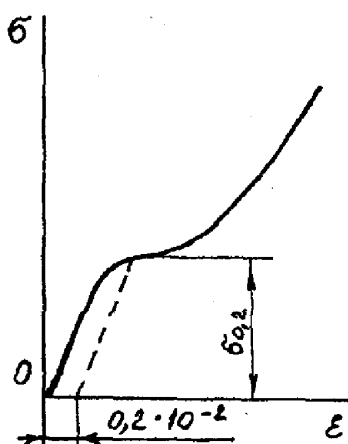


Рисунок 10 – Условный предел текучести на диаграмме сжатия

Хрупкие материалы имеют существенно меньший предел прочности при растяжении, чем при сжатии. Серый чугун при сжатии имеет предел прочности 500-1500 МПа, а при растяжении – почти в четыре раза меньше. Разрушение чугуна при сжатии начинается с образования трещин под углом 45° к оси цилиндра образца, что вызвано касательными напряжениями (рисунок 11).

Изделия и материалы, применяемые в строительной отрасли, подвергаются воздействию множества внешних факторов, перечисленных выше. От их прочности и долговечности зависит жизнедеятельность человека. Поэтому испытаниям строительных материалов и изделиям из них уделяют большое внимание. Испытание на сжатие строительных материалов относится к механическому виду испытаний, проводимых в соответствии с механической группой ВФ.

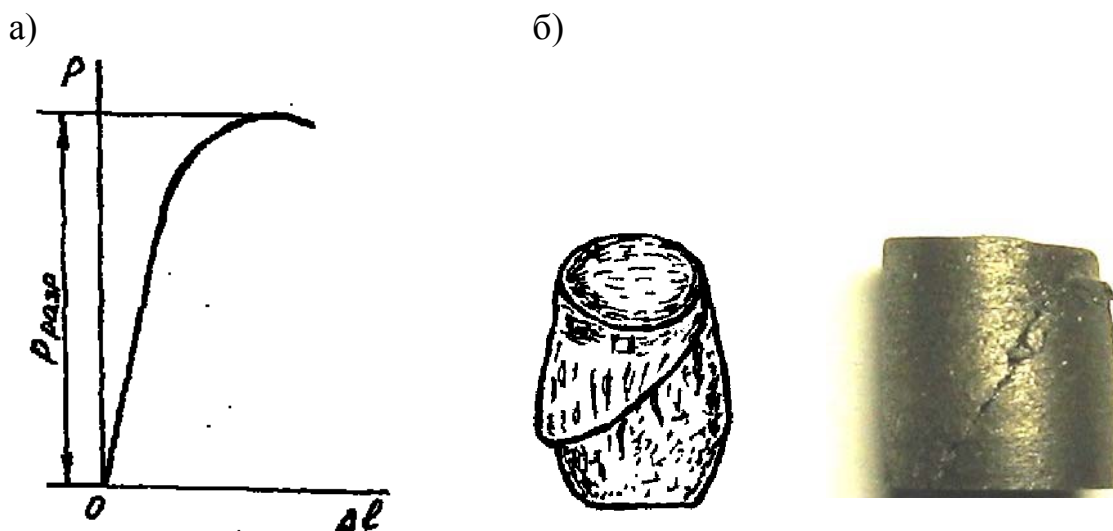


Рисунок 11 – Диаграмма сжатия чугуна (а); разрушенный образец (б)

Дерево, цементный камень, камень, бетон испытываются на сжатие на образцах в виде кубиков. Прочность этих материалов неодинакова в различных направлениях. Например, дерево относится к анизотропным материалам, у которых физические и прочностные свойства существенно различаются в направлениях вдоль и поперек волокон (рисунки 12, 13).

При сжатии кубика из дерева вдоль волокон разрушение происходит в виде сдвига по наклонной плоскости одной части образца относительно другой. При сжатии поперек волокон наблюдается прессование дерева. Пределы прочности дерева при сжатии вдоль и поперек волокон значительно отличаются.

Прочность дерева зависит от его влажности. Согласно стандарту испытанию подвергаются деревянные образцы влажностью не более 15%. Рекомендуемая скорость не более $2 \cdot 10^3$ Н/мин. Испытание на сжатие вдоль волокон деревянного образца производится до момента разрушения. При этом наблюдается сдвиг – смещение слоев в плоскости, наклоненной под углом 45° - 60° к продольной оси образца. Диаграмма сжатия дерева вдоль волокон (рисунок 13, кривая 1) схожа с диаграммой хрупких материалов.

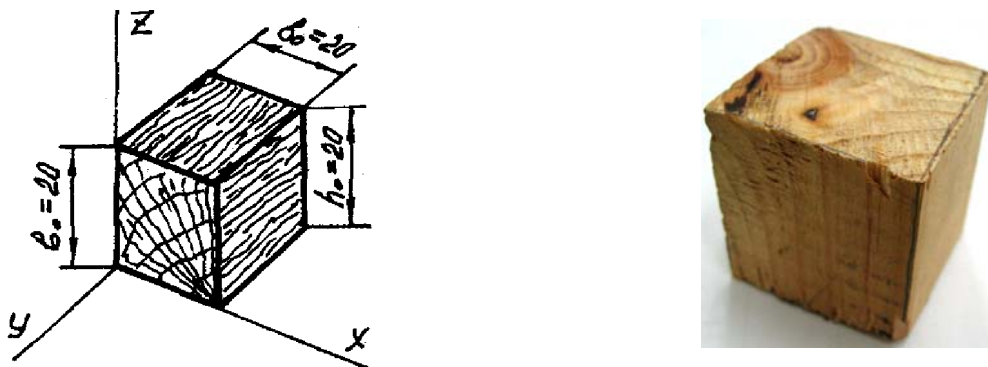


Рисунок 12 – Образец до испытаний

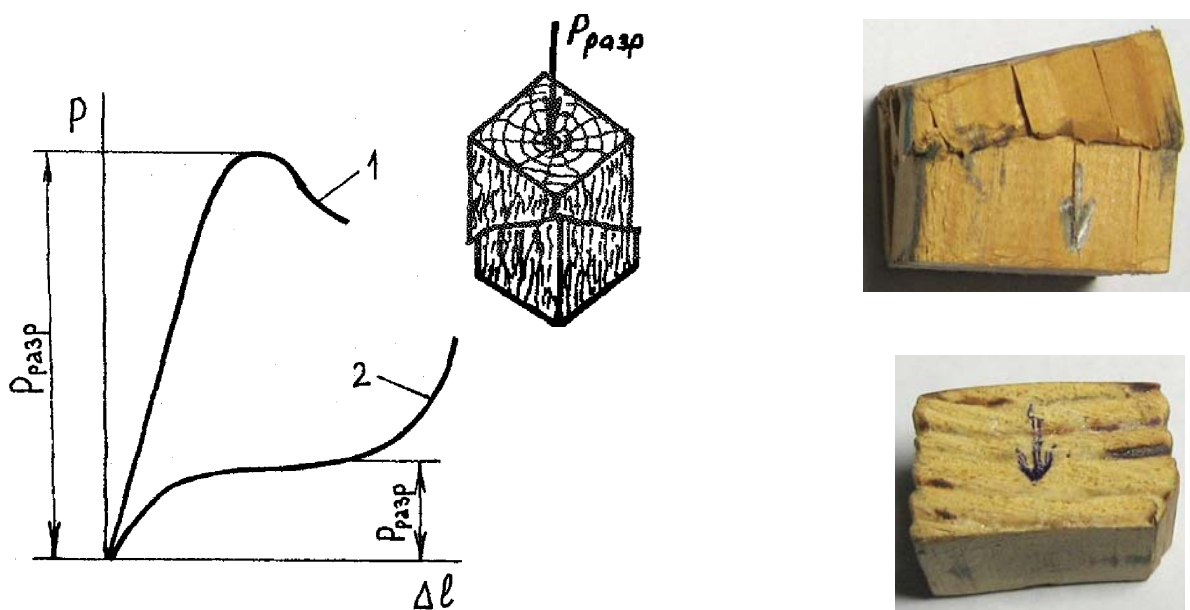


Рисунок 13 – Образец после испытаний

При испытании деревянного образца поперек волокон нагрузка сначала возрастает пропорционально деформациям (рисунок 13, кривая 2). Затем возрастание нагрузки замедляется, образец быстро деформируется. Разрушение не наблюдается. За разрушающую нагрузку условно принимают значение нагрузки, при котором кубик сжимается на одну треть своей первоначальной высоты. Уменьшение высоты образца на одну треть определяют по шкале перемещений подвижной опоры машины. Величина разрушающей нагрузки фиксируется по шкале силоизмерительного устройства. За счет спрессовывания образца нагрузка начинает расти. В это время испытание следует прекратить.

Порядок выполнения работы

Сжатие образца из стали

1 Поместить образец из стали между опорными плитами испытательной установки.

2 Пустить машину в ход и наблюдать за процессом сжатия образца.

3 Во время испытания необходимо следить за стрелкой силоизмерителя. Кратковременная остановка или замедление скорости её движения указывает на то, что материал начал пластически деформироваться.

4 Замеченная по шкале силоизмерителя нагрузка в момент остановки стрелки является силой P_T , соответствующей пределу текучести.

5 При сжатии образца на одну треть от начальной высоты зафиксировать по шкале силоизмерителя условную разрушающую нагрузку $P_{разр}$. После этого испытание продолжить под нагрузкой, близкой к предельной для данной испытательной машины, не допуская поломки машины.

6 По полученной диаграмме сжатия определить P_T – нагрузку, соответствующую пределу текучести (если на диаграмме отсутствует площадка теку-

чести, то определить нагрузку, соответствующую условному пределу текучести при остаточной деформации 0,2%; $P_{\text{разр}}$ – условную разрушающую нагрузку, при которой полная деформация составляет одну треть от первоначальной высоты образца.

Испытание на сжатие образца из чугуна проводится в той же последовательности до разрушения образца. По шкале силоизмерителя определяется разрушающая нагрузка $P_{\text{разр}}$. Из механических характеристик определяется только предел прочности материала.

Сжатие образца из дерева вдоль волокон выполняется в той же последовательности до разрушения. Разрушение происходит при небольших деформациях. При достижении наибольшей нагрузки $P_{\text{разр}}$ образец начинает разрушаться, и нагрузка падает. Испытание следует при этом прекратить. Величину разрушающей нагрузки зафиксировать.

Испытание на сжатие образца из дерева поперек волокон проводится в том же порядке, что и при испытаниях образца из дерева вдоль волокон. За разрушающую нагрузку условно принимается та, при которой высота образца уменьшается на одну треть от первоначальной. В процессе этого испытания ведется наблюдение за высотой образца с помощью линейки, а по шкале силоизмерителя фиксируется величина разрушающей нагрузки.

Контрольные вопросы

- 1 Какие внешние факторы воздействия влияют на строительные материалы (бетон, дерево, камень)?
- 2 Какие механические характеристики определяются при испытании на сжатие?
- 3 Как выбирается оборудование для испытаний на сжатие?
- 4 Как выглядит образец из пластичного материала после испытаний на сжатие?
- 5 Как испытывают на сжатие чугунные образцы? Как испытывают на сжатие древесину?
- 6 Какими методами проводят испытание бетона?
- 7 В каком направлении действия нагрузки дерево прочнее при сжатии?

Список литературы

- 1 Сайт Единой базы ГОСТов. ГОСТ ЭКСПЕРТ, глава 19 «Испытания». URL: <http://gostexpert.ru/oks/19>.
- 2 ГОСТ 14766-69. Машины и приборы для определения механических свойств материалов. Термины и определения.
- 3 ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.
- 4 Тюленев Л. Н., Шушерин В. В., Кузнецов А. Ю. Методы и средства измерений, испытаний и контроля. Екатеринбург : Редакционно-издательский отдел ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 80 с.

Лариса Николаевна Тютрина

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов направлений
151900.62, 150700.62

Часть 1

Редактор О.Г. Арефьева

Подписано в печать	Формат 60 x 84 1/16	Бумага 65г/м ²
Печать цифровая	Усл.печ.л. 1,0	Уч-изд.л 1,0
Заказ	Тираж 25	Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.