

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

В. К. Родионов

ИСПЫТАНИЕ НА СЖАТИЕ ОБРАЗЦОВ  
МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ЧУГУНА И ДЕРЕВА

Методические указания  
к лабораторной работе по сопротивлению материалов  
для студентов строительных специальностей

Новополоцк  
ПГУ  
2015

УДК 539.3/.4(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-строительного факультета в качестве методических указаний (протокол № 3 от 25.04.2015)

Кафедра прикладной механики и графики

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

доц., канд. техн. наук, доц. кафедры строительных конструкций УО «ПГУ»  
Л. С. ТУРИЩЕВ;

доц. кафедры прикладной механики и графики УО «ПГУ»  
А. Г. ЩЕРБО

Предназначены для студентов специальностей: 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»; 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»; 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»; 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»; 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»; 1-70 05 01 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ».

© Родионов В. К, 2015  
© УО «ПГУ», 2015

## Лабораторная работа

### ИСПЫТАНИЕ НА СЖАТИЕ ОБРАЗЦОВ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ЧУГУНА И ДЕРЕВА

Испытание на сжатие проводится реже, чем на растяжение, т.к. при сжатии нельзя получить все механические характеристики материалов. Так, пластичный материал при сжатии не разрушается, а превращается в диск, что не позволяет определить напряжение, соответствующее разрушающей силе. Невозможно определить параметры, аналогичные характеристикам пластичности. Поэтому испытанию на сжатие подвергают в основном хрупкие материалы.

Испытание материалов на сжатие проводится аналогично испытанию на растяжение. Как и при испытании на растяжение, из испытуемого материала изготавливаются образцы, которые сжимают на испытательной машине до разрушения. При этом вычерчивается диаграмма сжатия. Дерево как материал анизотропный испытывается на сжатие вдоль и поперек волокон.

Испытание на сжатие проводят по следующим стандартам: для стали и чугуна – ГОСТ 25.503-80, древесины – ГОСТ 16483.10-73 (вдоль волокон) и ГОСТ 16843.11-72 (поперек волокон).

Испытания на сжатие проводятся на универсальных испытательных машинах Р-20, Р-100 или прессах.

Образцы материалов из стали и чугуна изготавливаются в виде цилиндров с соотношением размеров  $l_0 = (1 \div 2)d_0$  или из дерева в виде кубиков со стороной 20 мм и более (рис. 1).

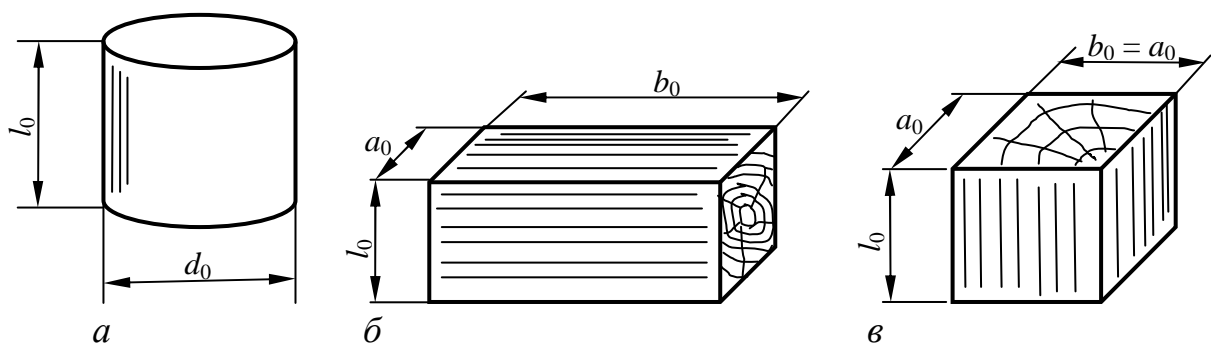


Рис. 1: а – сталь, чугун; б – дерево вдоль волокон; в – дерево поперек волокон

Образец закладывается между плитами испытательной машины и постепенно нагружается непрерывно возрастающей нагрузкой. При этом на диаграммном барабане машины вычерчивается диаграмма сжатия (рис. 2).

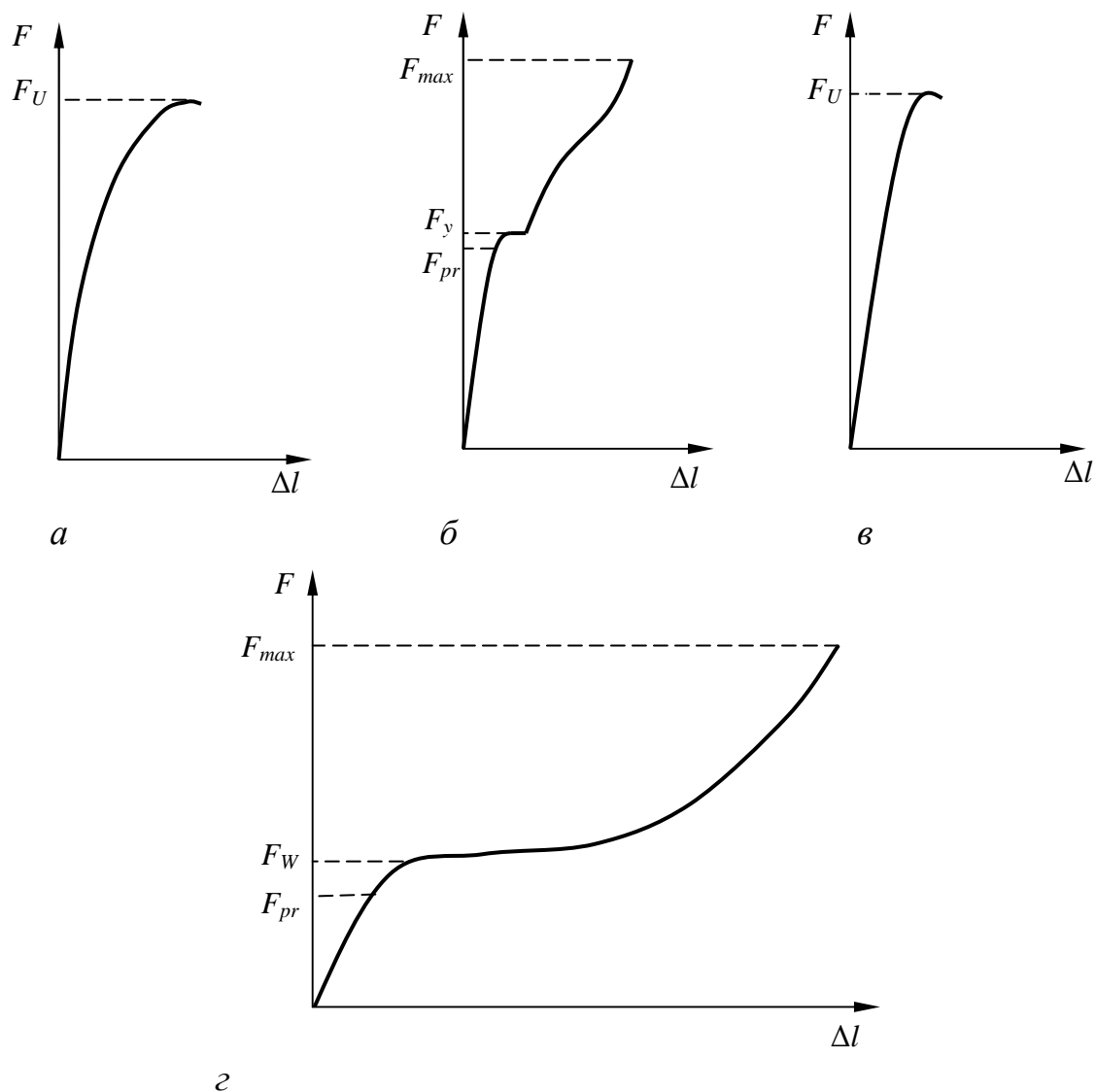


Рис. 2:

а – чугун; б – сталь; в – дерево вдоль волокон; г – дерево поперек волокон

Результаты испытаний на сжатие зависят от условий проведения эксперимента. Очень трудно практически добиться приложения сжимающей силы точно по оси образца. Поэтому образец будет не только сжиматься, но и изгибаться. Чем длиннее образец, тем больше влияние изгиба. Для уменьшения его влияния рекомендуется применять образцы, длина которых не более чем в два раза превышает их поперечные размеры. Применение слишком коротких образцов тоже нежелательно (рис. 3). При сжатии образца продольные размеры уменьшаются, а поперечные – увеличиваются (по закону Пуассона).

Для пластичного материала (малоуглеродистая сталь) диаграмма сжатия (см. рис. 2, б) до предела текучести совпадает с диаграммой растяжения, однако ярко выраженной площадки текучести не наблюдается. По-

сле прохождения стадии текучести происходит быстрое возрастание деформаций, а увеличивающееся поперечное сечение образца становится способным выдержать все большую нагрузку. Образец принимает бочкообразную форму из-за наличия сил трения на торцах и может быть сплюснут в тонкую пластинку без признаков разрушения, иногда даже без образования трещин (рис. 4).

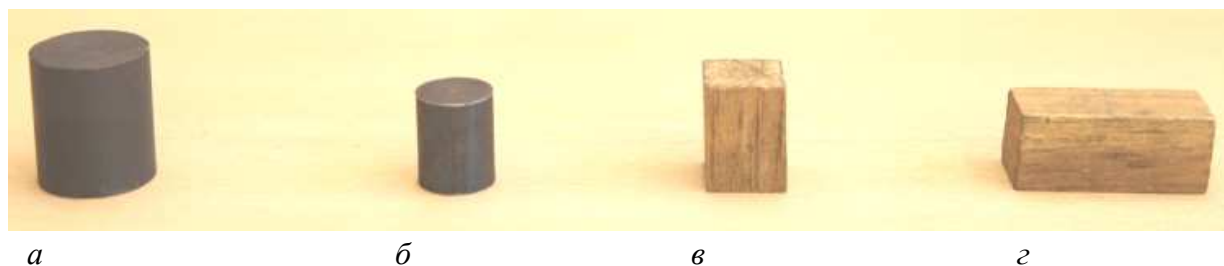


Рис. 3:

*a* – чугун; *б* – малоуглеродистая сталь;  
*в* – дерево вдоль волокон; *г* – дерево поперек волокон

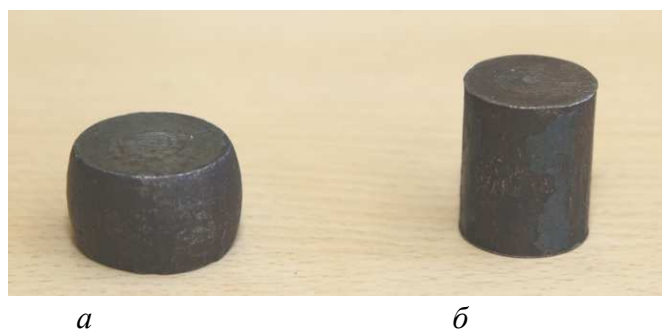


Рис. 4:

*a* – образец после испытания; *б* – до испытания

Поэтому в процессе испытания обычно определяют только предел пропорциональности:

$$\sigma_{pr} = \frac{F_{pr}}{A_0}.$$

Для пластичных материалов модуль упругости  $E$ , предел упругости  $\sigma_e$  и предел текучести  $\sigma_y$  при сжатии примерно те же, что и при растяжении. Предел прочности при сжатии нельзя определить практически, т.к. образец не разрушается, поэтому его принимают равным пределу прочности при растяжении. Характеристики, аналогичные относительно растяжению и относительно сужению при разрыве, при испытании на сжатие получить невозможно.

Если первоначально растянуть пластичный материал за предел текучести, а потом, разгрузив, сжать его, то наблюдается понижение величины предела текучести. Такое явление, названное эффектом Баушингера, связано с анизотропным упрочнением материала, т.е. упрочнением, зависящим от направления нагружения.

Хрупкие материалы (чугун, бетон, кирпич) лучше сопротивляются сжатию, чем растяжению, и поэтому они применяются для изготовления конструкций, работающих на сжатие (к примеру, у бетона предел прочности на сжатие раз в 10 больше предела прочности на растяжение). Поэтому основным видом испытаний хрупких материалов является испытание на сжатие.

Для чугуна на диаграмме сжатия (см. рис. 2, а) почти отсутствует прямолинейный участок, т.е. закон Гука выполняется лишь приближенно в начальной стадии нагружения. Разгрузка происходит внезапно при максимальной нагрузке  $F_u$  с появлением ряда наклонных трещин, расположенных приблизительно под углом  $45^\circ$  к образующей боковой поверхности образца, т.е. по линиям действия максимальных касательных напряжений (рис. 5).



Рис. 5

Предел прочности при сжатии определяется как

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0},$$

где

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}.$$

Предел прочности чугуна на сжатие превышает предел прочности на растяжение в 4 – 5 раз.

Следует заметить, что характер деформации и разрушения образца зависят от сил трения между торцами образца и опорными плитами испытательной машины. Путем периодической парафинной или графитовой

смазки торцов можно устранить силы трения, при этом чугунный образец в течение всего испытания остается цилиндрическим и разрушается по плоскостям, параллельным диаметральной плоскости, из-за недопустимо больших продольных деформаций.

При испытании на сжатие образцов из дерева, имеющего волокнистую структуру, ярко проявляются его анизотропные свойства. Так, при сжатии дерева вдоль волокон (см. рис. 2, *в*) образец претерпевает небольшие остаточные деформации, могут образоваться поперечные складки и продольные трещины, а разрушение возникает вследствие сдвига одной части образца относительно другой (рис. 6).



Рис. 6:  
*a* – образец после испытания; *б* – до испытания

При сжатии поперек волокон после достижения некоторой нагрузки образец продолжает деформироваться почти без увеличения сжимающей силы, подвергается прессованию, и не всегда можно точно определить нагрузку, соответствующую началу разрушения (рис. 7).

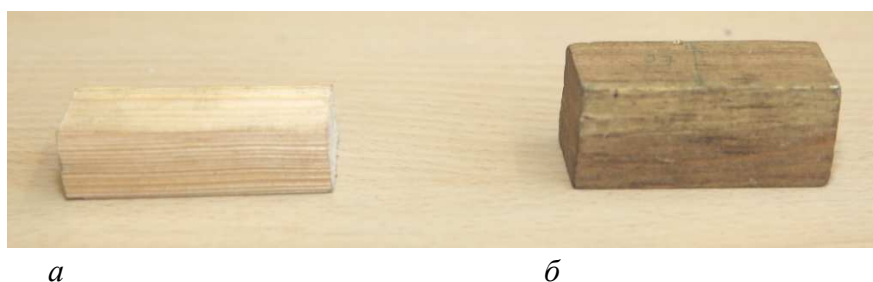


Рис. 7:  
*a* – образец после испытания; *б* – до испытания

Согласно ГОСТ 16483.11-72 нагрузку  $F_w$ , соответствующую условному пределу прочности, определяют по диаграмме сжатия (см. рис. 2, *г*) поперек волокон как ординату точки, в которой отступление от линейной зависимости между нагрузкой и деформацией достигает такой величины, что тангенс угла, образованного осью нагрузок и касательной к графику

$F-\Delta l$  увеличивается на 50% своего значения, соответствующего прямолинейному участку графика. При этом диаграмма должна вычерчиваться с масштабом по оси ординат не более 50 Н/мм и по оси абсцисс – не более 0,01 мм/мм.

Условный предел прочности  $\sigma_w$  образца с влажностью  $W$  в момент испытания вычисляют с округлением до 0,1 МПа по формуле

$$\sigma_w = \frac{F}{A_0},$$

где

$$A_0 = a_0 b_0.$$

## Описание лабораторной работы

### Цель работы

Изучить поведение материалов при сжатии до разрушения, получить диаграммы сжатия стали, чугуна и дерева вдоль и поперек волокон, определить характеристики прочности и пластичности материалов.

### Задание

1. Провести испытание на сжатие образцов из стали, чугуна и дерева вдоль и поперек волокон.
2. Изучить принципиальное устройство и работу универсальных разрывных машин Р-20 и Р-100.

### Оборудование, приборы, инструмент, образцы

1. Универсальные разрывные машины Р-20 и Р-100, имеющие принципиально одинаковое устройство, отличающиеся только габаритными размерами.

Для разрывной машины Р-100 наибольшая предельная нагрузка – 1000 кН, для машины Р-20 – 200 кН.

Машина представляет собой установку, состоящую из нагружающего устройства 1 и пульта управления 2 (рис. 8).

Нагружающее устройство предназначено для деформирования и разрушения испытываемого образца.

Пульт управления служит для управления процессом нагружения образца и контроля за величинами нагрузок и деформаций. Пульт управления включает насосную установку 2.1 с системой управления, силоизмеритель 2.2 и диаграммный аппарат 2.3 для записи диаграммы «нагрузка-деформация».



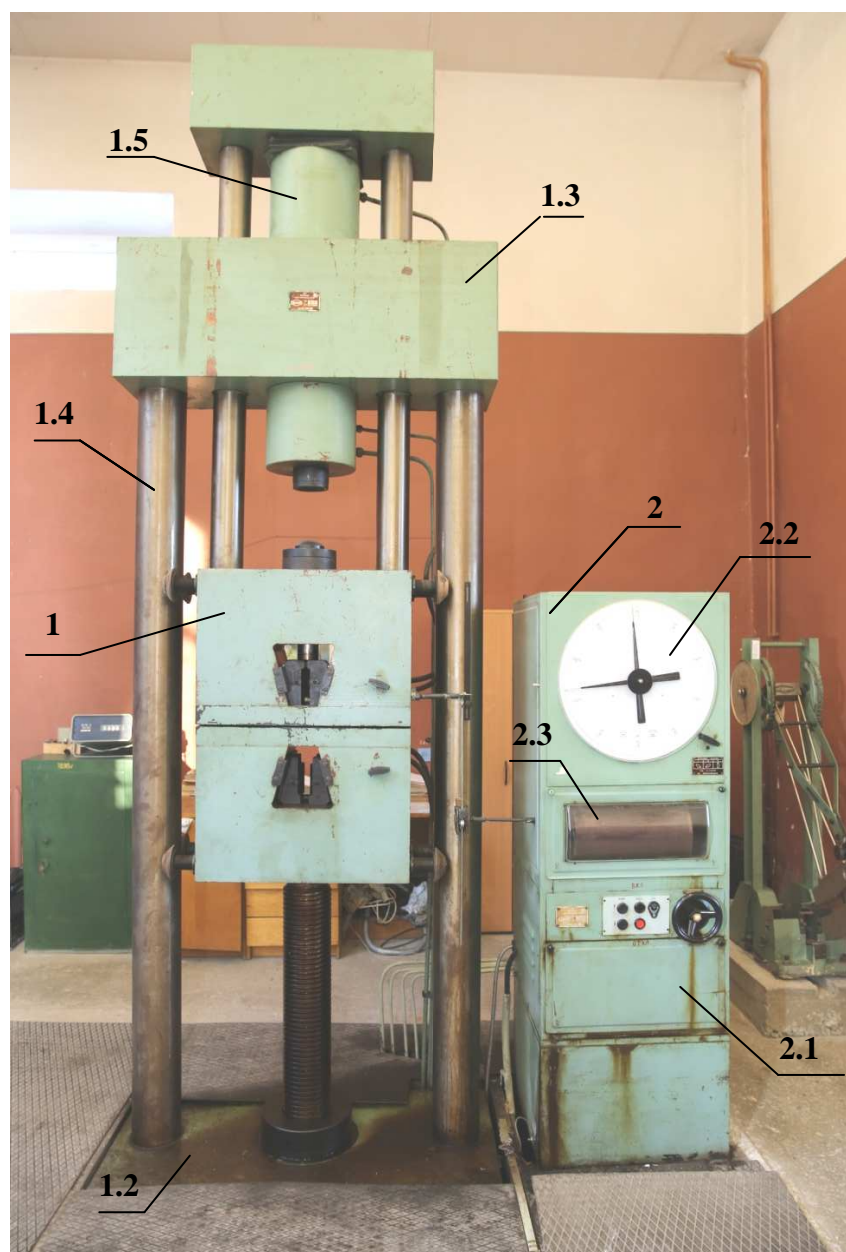


Рис. 8

Нагружающее устройство монтируется на фундаменте и соединяется с пультом управления трубопроводами.

Нагружающее устройство выполнено вертикальным, с гидравлическим приводом верхнего захвата и электромеханическим – нижнего захвата. Станина нагружающего устройства представляет собой раму, состоящую из основания 1.2 и траверсы 1.3, соединенных двумя колоннами 1.4.

В траверсе установлен рабочий цилиндр 1.5, передающий усилие на верхний захват.

Для замера характерных размеров испытываемых образцов применяется штангенциркуль со шкалой нониуса 0,1 мм.

Фотографии испытуемых образцов приведены на рис. 3. Описание образцов и их основные размеры рассмотрены во введении и изображены на рис. 1.

### Порядок выполнения работы

1. Производится замер образцов. Для стальных и чугунных  $d_0$  и  $l_0$ , для деревянных  $a_0$ ,  $b_0$ ,  $l_0$  (см. рис. 1).
2. Подготовить к работе диаграммный аппарат.
3. Подключить машину к электрической сети.
4. Включить в работу насос нажатием кнопки «Насос» на пульте управления (рис. 9).



Рис. 9

5. Подвести верхний захват медленным вращением маховичка до достижения зазора между опорными поверхностями верхнего захвата и траверсы, необходимого для установки образца.

6. Установить образец между опорными поверхностями (рис. 10).

7. Включить диаграммный аппарат.

8. Медленным вращением маховичка добиться плавного увеличения нагрузки вплоть до разрушения чугунного и деревянного (вдоль волокон) образцов, для стального и деревянного образцов (поперек волокон) – до достижения нагрузки с достаточной величиной пластической деформации стального образца и прессования деревянного образца поперек волокон.

9. По шкале силоизмерителя записать максимальные нагрузки, соответствующие разрушению чугунного и деревянного образца (вдоль волокон)  $F_{\max} = F_u$ , для стального и деревянного образцов (поперек волокон) – максимальную нагрузку  $F_{\max}$ .



Рис. 10

10. После окончания опыта образцы снять с машины и произвести их замеры.
11. Обработать результаты опытов с занесением в протокол испытаний.

### **Правила техники безопасности при работе на оборудовании, с приборами и инструментами**

- Устанавливать образец точно по центру опоры.
- Нагружение производить плавно.
- При перекосе образца немедленно снять нагрузку.
- Во время работы не прикасаться к подвижным частям машины.
- Перед началом работы проверить исправность оборудования.
- По окончании работы выключить оборудование. Отключить его от электрической сети.

### **Обработка результатов и заполнение протокола испытаний (отчет по лабораторной работе)**

#### **Чугун**

1. Размеры образца до испытания:

$$d_0 = \quad \text{мм}; l_0 = \quad \text{мм};$$

$$A = \frac{\pi d_0^2}{4} = \quad \text{мм}^2.$$

2. Размеры образца после испытания:

$$d = \quad \text{мм}; l = \quad \text{мм}.$$

3. Нагрузка предела прочности образца

$$F_u = \quad \text{Н}.$$

4. Остаточная пластическая деформация сжатия при разрушении

$$\Delta l_r = l_0 - l = \quad \text{мм}.$$

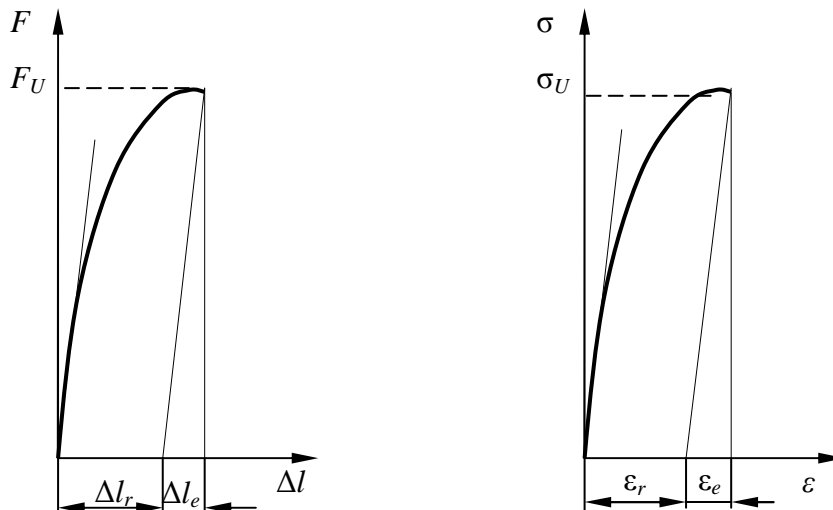
5. Относительная пластическая деформация сжатия при разрушении

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta l_r}{l_0} = \quad .$$

6. Предел прочности чугуна на сжатие

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} = \quad \text{МПа}.$$

7. Машинная и условная диаграммы сжатия для чугуна:



## Сталь

1. Размеры образца до испытания:

$$d_0 = \quad \text{мм}; l_0 = \quad \text{мм};$$

$$A = \frac{\pi d_0^2}{4} = \quad \text{мм}^2.$$

2. Размеры образца после испытания:

$$d = \quad \text{мм}; l = \quad \text{мм}.$$

3. Максимальная нагрузка при испытании на сжатие

$$F_{\max} = \quad \text{Н}.$$

4. Масштаб нагрузок машинной диаграммы

$$M_F = \frac{F_{\max}}{Y_{\max}} = \quad \text{Н/мм}.$$

5. Нагрузка предела пропорциональности, определенная по машинной диаграмме с использованием масштаба,

$$F_{pr} = \quad \text{Н.}$$

6. Нагрузка предела текучести, определенная по машинной диаграмме с использованием масштаба,

$$F_y = \quad \text{Н.}$$

7. Остаточная пластическая деформация сжатия, соответствующая конечному нагружению образца,

$$\Delta l_r = l_0 - l = \quad \text{мм.}$$

8. Предел пропорциональности при испытании на сжатие

$$\sigma_{pr} = \frac{F_{pr}}{A_0} = \quad \text{МПа.}$$

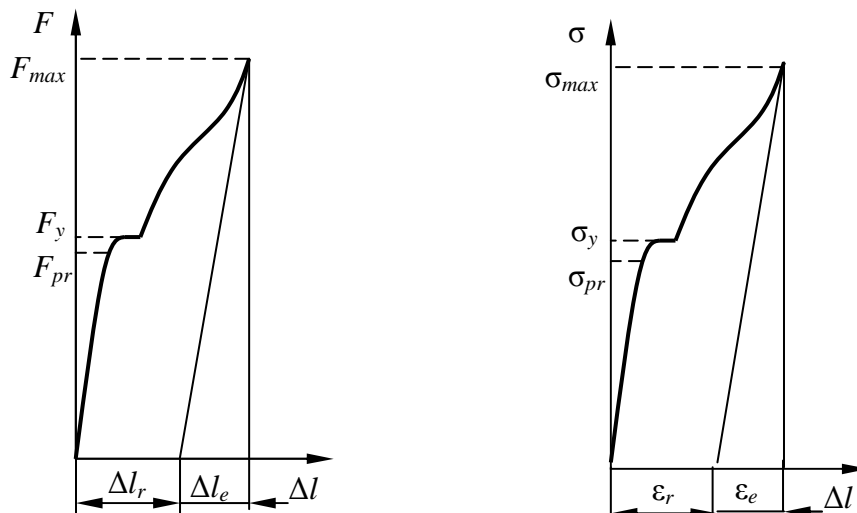
9. Предел текучести при испытании на сжатие

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \quad \text{МПа.}$$

10. Остаточная пластическая деформация сжатия, соответствующая концу испытания,

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta l_2}{l_0} = \quad .$$

11. Машинная и условная диаграммы сжатия для стали:



### Дерево вдоль волокон

1. Размеры образца до испытания:

$$a_0 = \quad \text{мм}; b_0 = \quad \text{мм}; l_0 = \quad \text{мм};$$

$$A = a_0 b_0 = \quad \text{мм.}$$

2. Размеры образца после испытания

$$a = \quad \text{мм}; b = \quad \text{мм}; l = \quad \text{мм}.$$

3. Нагрузка предела прочности при сжатии вдоль волокон

$$F_u = \quad \text{Н}.$$

4. Остаточная пластическая деформация образца при разрушении

$$\Delta l_2 = a - a_0 = \quad \text{мм}.$$

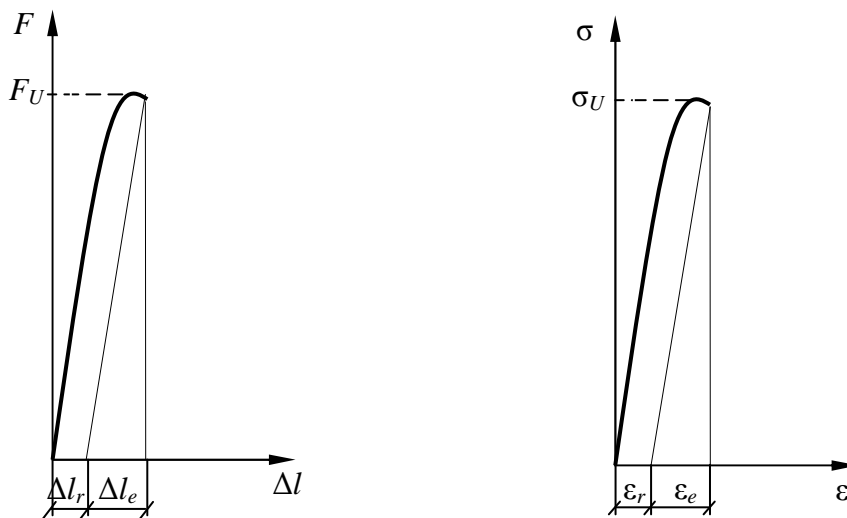
5. Предел прочности дерева вдоль волокон на сжатие

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} = \quad \text{МПа}.$$

6. Относительная пластическая деформация деревянного образца (вдоль волокон) при разрушении

$$\epsilon_r = \frac{\Delta l_2}{l_0} = \quad .$$

7. Машинная и условная диаграммы сжатия для дерева вдоль волокон:



### Дерево поперек волокон

1. Размеры образца до испытания:

$$a_0 = \quad \text{мм}; b_0 = \quad \text{мм}; l_0 = \quad \text{мм};$$

$$A = a_0 b_0 = \quad \text{мм}^2.$$

2. Размеры образца после испытания:

$$a = \quad \text{мм}; b = \quad \text{мм}; l = \quad \text{мм}.$$

3. Максимальная нагрузка при испытании на сжатие

$$F_{\max} = \quad \text{Н}.$$

4. Масштаб нагрузок машинной диаграммы

$$M_F = \frac{F_{\max}}{Y_{\max}} = \quad \text{Н/мм.}$$

5. Нагрузка предела пропорциональности, определенная по машинной диаграмме с использованием масштаба,

$$F_{pr} = \quad \text{Н.}$$

6. Нагрузка условного предела прочности

$$F_{\omega} = \quad \text{Н.}$$

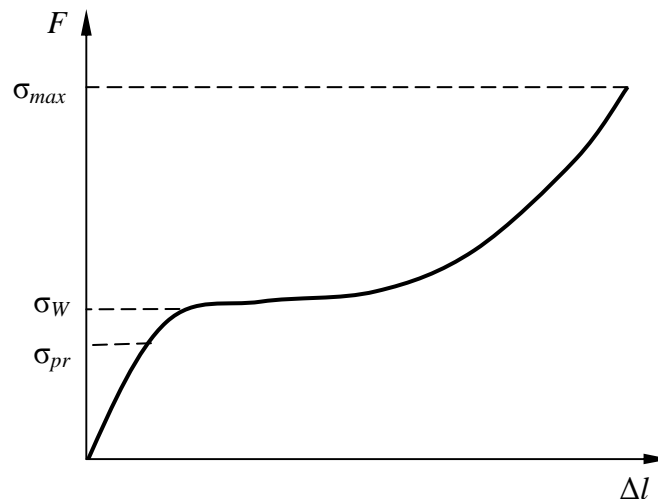
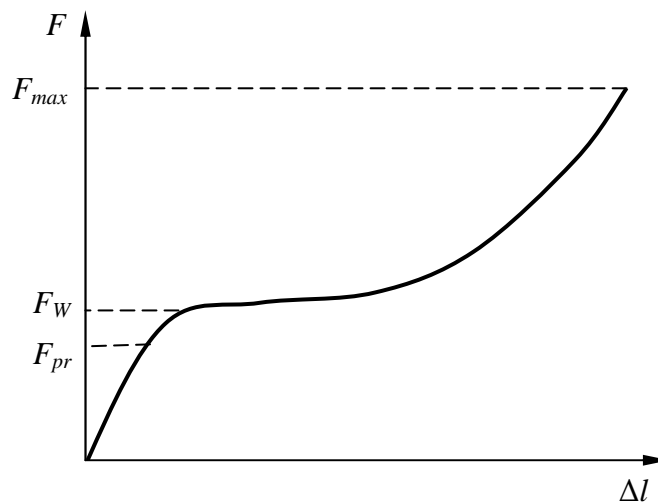
7. Предел пропорциональности при испытании дерева поперек волокон на сжатие

$$\sigma_{pr} = \frac{F_{pr}}{A_0} = \quad \text{МПа.}$$

8. Условный предел прочности на сжатие дерева поперек волокон

$$\sigma_w = \frac{F_{\omega}}{A_0} = \quad \text{МПа.}$$

9. Машинная и условная диаграммы сжатия дерева поперек волокон:



## **Заключение**

Полученные по результатам испытаний диаграммы показывают, что сталь малоуглеродистая – пластичный материал, чугун – хрупкий. Диаграммы и характер разрушений деревянных образцов подтверждают резкую анизотропию свойств. Бочкообразность чугунных и особенно стальных образцов объясняется касательными напряжениями, возникающими в торцах и препятствующими свободному течению материала в этих зонах.

## **Контрольные вопросы**

1. Какова цель работы?
2. Каковы отличия машинной и условной диаграмм для хрупких и пластических деформаций?
3. Каковы соотношения механических характеристик пластических и хрупких материалов при растяжении и сжатии?
4. Каков характер разрушения при сжатии для чугуна и дерева?
5. Объясните различия в разрушении древесины при сжатии вдоль и поперек волокон.
6. Как определяется условный предел прочности при испытании древесины поперек волокон?

## **Литература**

1. Хмелев, А.А. Сопротивление материалов : лаборатор. работы / А.А. Хмелев, В.А. Сидоров. – Минск : Технопринт, 2002. – 206 с.
2. Родионов, В.К. Сопротивление материалов : учеб.-метод. комплекс для специальностей 1-700402 и 1-700403 / В.К. Родионов. – Новополоцк : УО «ПГУ», 2005. – 363 с.
3. Щербо, А.Г. Сопротивление материалов : учеб.-метод. комплекс для специальности 1-70 02 01. В 2 ч. Ч. 1 / А.Г. Щербо, В.К. Родионов. – Новополоцк : УО «ПГУ», 2006. – 323 с.