

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Уральский государственный университет

624.011.1(07)
А91

В.М. Асташкин

КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС

Учебное пособие к лабораторным работам

Челябинск
Издательство ЮУрГУ
2006

УДК 624.011.1(076.5) + 624.011.7(076.5)

Асташкин В.М. Конструкции из дерева и пластмасс: Учебное пособие к лабораторным работам. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 42 с.

В пособии рассматриваются вопросы изучения конструктивных свойств материалов, работы соединений элементов и конструкций. Даются теоретические основы исследуемого в работе вопроса, методы расчета, техника проведения эксперимента и обработки его результатов. Приведены контрольные вопросы.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство».

Ил. 19, табл. 19, список лит. – 9 назв.

Одобрено учебно-методической комиссией
Архитектурно-строительного факультета

Рецензенты: Жестков В.М., Пазушан В.А.

ISBN 5-696-03337-7

© Асташкин В.М., 2006.
© Издательство ЮУрГУ, 2006.

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы являются составной частью дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс». Учебное пособие предназначено, в основном, для студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство». Цель лабораторных работ – закрепить и дополнить знания по соответствующим разделам учебной программы, помочь практически изучить свойства материалов, работу соединений и конструкций.

Каждая лабораторная работа включает в себя изучение теоретических основ, практические расчеты, проведение испытания, обработку результатов и их анализ. До выполнения лабораторных работ студент должен усвоить соответствующие разделы курса и настоящее пособие, неясные вопросы должны быть проработаны с привлечением литературы, рекомендованной по каждой лабораторной работе.

Подготовленность студентов проверяется по контрольным вопросам (приведены в конце каждой лабораторной работы) с использованием карточек программированного опроса, неподготовленные студенты к работе не допускаются.

В процессе каждой работы производится обмер испытываемых элементов, выполняют расчеты (для этого необходимо иметь калькулятор с возможностью вычисления тригонометрических и логарифмических функций) и лишь после этого проводят испытания. Вычисления необходимо вести в системе СИ, при этом, чтобы не допускать больших чисел и малых дробей, следует применять множитель 10 в положительной или отрицательной степени. После обработки данных испытания анализируют сходимость расчетных и фактических величин, вычерчивают необходимые графики и схемы, делают зарисовку разрушенных образцов. Работу проводят бригадами по 2 – 3 человека. Каждая бригада составляет отчет в соответствии с СТП ЧПИ 05-87 «Лабораторные работы. Общие требования к оформлению отчета». Выполненные и оформленные работы подлежат защите.

В соответствии с учебным графиком, на вечернем и заочном факультетах число выполняемых работ может быть сокращено.

Вопросы теории, изложенные в данном пособии, могут быть использованы при подготовке к экзаменам.

Лабораторная работа № 1

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ И ИХ НОРМИРОВАНИЕ

Цель данной работы – определение кратковременных механических характеристик (прочности при изгибе или растяжении и модуля упругости при изгибе), знакомство с математической обработкой результатов испытания и с нормированием характеристик. Отметим, что лабораторные работы знакомят лишь с методикой определения нормативных характеристик, в действительности для нормирования нужны сотни испытаний [1].

Определение механических характеристик материалов (прочность, модуль упругости) ведут на стандартных образцах при нормальной температуре ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}$).

На подготовку образцов, методику их испытания и обработку результатов имеются соответствующие ГОСТы. Именно накопление в результате этих испытаний статистического материала дает возможность пронормировать свойства, которые должны иметь статистическую обеспеченность, т.е. назначению нормативных характеристик должно предшествовать установление характера и параметров кривой распределения этих характеристик (рис. 1).

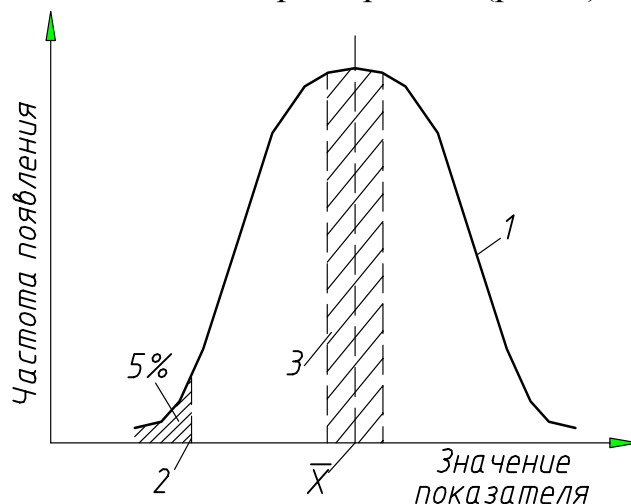


Рис. 1. Пример нормирования показателей:
1 – кривая распределения плотности вероятности значения механической характеристики, 2 – минимальное значение отдельного показателя, 3 – зона разброса среднего арифметического (математического ожидания)

Согласно ГОСТ 27751-88 (СТ СЭВ 384-87) «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету» [2], основными параметрами сопротивления материалов силовым воздействиям являются нормативные сопротивления R^H , устанавливаемые с учетом случайной изменчивости механических свойств материалов. Обеспеченность значений механических свойств должна быть не менее 0,95. Из этого следует, что площадь, отсекаемая от кривой распределения значением нормативного сопротивления, должна составлять 5% всей площади (рис.1) и нормативное сопротивление есть минимальная прочность образцов с вероятностью 0,95. Таким образом, при нормировании сопротивления мы

исходим из ограничения с одной стороны (снизу) и оцениваем вероятность отклонения показателя прочности *отдельного образца*.

В отличие от нормативного сопротивления R^H , нормативное значение модуля упругости E^H , принимается по *средним значениям статистических данных*, задача нормирования сводится к определению значений *среднего арифметического (математического ожидания)* и оценке вероятности отклонения этой средней величины. Поскольку нормируется средняя величина, то ее допустимые (толерантные) пределы ограничиваются с двух сторон – сверху и снизу, и при обеспеченности 0,95 вероятность выхода только за нижнюю границу составляет 2,5%. Поскольку наиболее распространены задачи проверки деформации и устойчивости элементов, а для них опасным является снижение модуля упругости, то обычно нормируют нижнюю границу – т.е. *минимальное значение его средней величины*.

Если же принимать во внимание не средние значения модуля упругости в выборке, а отдельные величины, то обеспеченность нормативного модуля упругости близка к 0,5, т.е. почти половина образцов показывает значение, меньше нормативной величины.

Отметим, что при нормировании сопротивления и модуля упругости мы имеем не только разные физические величины, но и разный подход – *нормирование минимальных значений отдельных показателей* прочности в первом случае и *минимальных средних значений* модуля упругости во втором случае.

При нормировании показателей необходимо исходить из генеральной совокупности – результатов испытаний, охватывающих всю продукцию. Если же мы испытываем ограниченное число образцов, то мы имеем дело с *выборкой* из генеральной совокупности, и при определении допустимых пределов отклонения мы должны учитывать это соответствующими критериями точности (толерантными множителями).

Большинство явлений в природе и технике, в том числе варьирование механических характеристик, подчиняются нормальному закону распределения, который характеризуется следующими величинами:

среднее значение показателя (среднее арифметическое):

$$\bar{x} = \left(\sum x_i \right) / N, \quad (1)$$

где x_i – отдельное значение определяемого показателя,

N – количество образцов;

стандартное отклонение *отдельных значений*:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}; \quad (2)$$

стандартное отклонение *среднего арифметического*:

$$\bar{S} = S / \sqrt{N}. \quad (3)$$

Нормируемая характеристика при нормировании *отклонений отдельных значений* (определение R^H):

$$c = \bar{x} - tS . \quad (4)$$

При нормировании *отклонений среднего значения* (определение E^H):

$$c = \bar{x} - t_1 \bar{S} . \quad (5)$$

В формулах (4) и (5) t и t_1 – критерии точности (толерантные множители), учитывающие кроме требуемой вероятности (обеспеченности) и количество образцов в малой выборке из генеральной совокупности (см. приложение 1).

Коэффициент вариации *отдельных значений*:

$$V = (S / \bar{x}) \cdot 100\% . \quad (6)$$

Коэффициент вариации *среднего арифметического*:

$$\bar{V} = (\bar{S} / \bar{x}) \cdot 100\% . \quad (7)$$

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Испытанию подвергаются образцы одной из пластмасс: винипласта, оргстекла или стеклопластика. Форма образцов принимается [3, 4, 5, 6] согласно ГОСТ 11262-80 при испытании на растяжение и ГОСТ 4648-71 при испытании на изгиб (рис. 2). Количество образцов, взятых на каждый вид испытания, не менее 5.

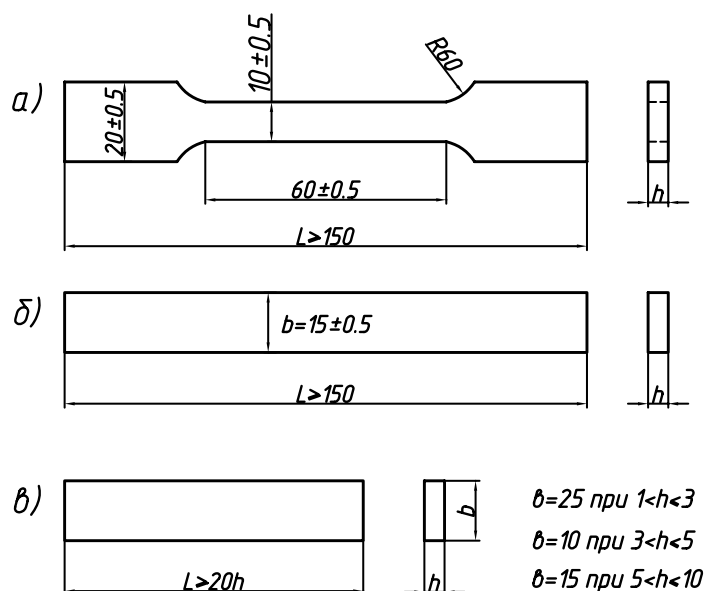


Рис. 2. Образцы для испытания:

а) на растяжение винипласта, оргстекла; б) на растяжение стеклопластика (кроме однонаправленного); в) на изгиб

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ОБРАЗЦОВ

С помощью микрометра и штангенциркуля замеряется сечение рабочей части образца. Запись ведут в журнале испытания (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Журнал определения прочности образцов

Номер образца	Размеры, мм		Нагрузка, Н		Для растяжения, Н/мм ² = МПа		Для изгиба, Н/мм ² = МПа	
	<i>b</i>	<i>h</i>	текучести P_m	разрушающая P_p	$\sigma_m = \frac{P_m}{bh}$	$\sigma_p = \frac{P_p}{bh}$	$\sigma_m = \frac{3P_m L_v}{2bh^2}$	$\sigma_p = \frac{3P_p L_v}{2bh^2}$

Таблица 2

Журнал определения модуля упругости при изгибе

Номер образца	Размеры, мм		$Z_{0,1}$ мм	$Z_{0,3}$ мм	Нагрузка, Н		Отсчет по прогибомеру, мм		E Н/мм ² = МПа
	<i>b</i>	<i>h</i>			$P_{0,1}$	$P_{0,3}$	для $P_{0,1}$	для $P_{0,3}$	

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

Испытания проводят при температуре 20 ± 2 °С. Перед испытанием образцы должны находиться непрерывно в помещении при указанной температуре не менее 3 ч. При записи результатов испытания указывают:

- а) наименование и марку пластмассы;
- б) наименование предприятия – изготовителя;
- в) число образцов, взятых для испытания;
- г) тип образца и диапазон скоростей деформирования;
- д) наименование испытательной машины, шкалу измерения, цену деления шкалы и точность отсчета;
- е) температуру воздуха в помещении, где производилось испытание;
- ж) дату испытания.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ

Испытание на прочность проводится на гидравлической или механической испытательной машине, которая обеспечивает измерение и отсчет нагрузки с точностью не менее 1% от измеряемой величины. Диапазон скоростей деформирования при испытании на растяжение выбирается таким, чтобы время от начала приложения нагрузки до разрушения образца было не менее 1 мин при испытании материалов, имеющих предел текучести, и не менее 30 с - при испытании материалов, не имеющих предела текучести. При испытаниях на изгиб нагружение образца производят в одной точке, посередине между опорами, скорость сближения нагружающего наконечника $V_n = h/2$ мм/мин.

В зависимости от толщины образца h расстояние между опорами L_v устанавливают согласно соотношению $L_v = 16h \pm 0,5$ мм. Нагрузка, соответствующая пределу текучести, измеряется в первый момент роста деформации, происходящего без увеличения нагрузки. Разрушающая нагрузка определяется как максимальная, которую выдержал образец (рис. 3).

При испытании 1 – 3 образцов ведется запись диаграмм деформирования. Полученная диаграмма в масштабе переносится в отчет по лабораторной работе, по диаграмме делается вывод о характере работы и разрушения материала.

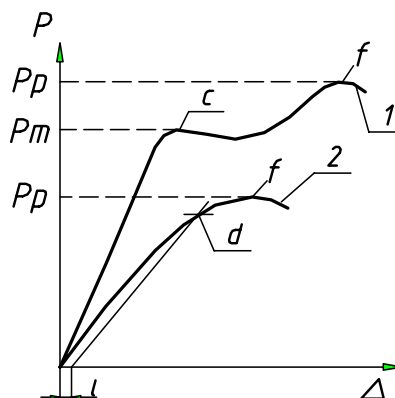


Рис. 3. График нагрузка-деформация при растяжении материалов, имеющих (1) и не имеющих (2) предел текучести:
c – предел текучести, *d* – условный предел текучести,
l – величина смещения по шкале удлинения 0,2%,
f – предел прочности (разрушающая нагрузка)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ

Модуль упругости – это мера жесткости материала, характеризующаяся сопротивлением развитию упругих деформаций. Сущность метода заключается в определении модуля упругости при изгибе как отношения приращения напряжения к соответствующему приращению относительной деформации. Для испытания применяют образцы по ГОСТ 4648-71 (см. рис. 2). Испытание на изгиб производят при нагружении по трехточечной схеме. Пролет образцов устанавливается в 15...17 раз больше их толщины.

Испытания проводятся на испытательной машине или нагрузочном приспособлении с помощью грузов. Так как ГОСТ 9550-81 требует определять модуль упругости в интервале относительных деформаций от $\varepsilon = 0,1$ до $\varepsilon = 0,3\%$, то при испытании в нагрузочном приспособлении необходимо при пробном нагружении (тренировке образца) определить величину грузов, дающих соответствующие прогибы. Поскольку для данной трехточечной схемы нагружения

$$\varepsilon = 6zh / L_v^2,$$

где z – значение прогиба, мм, L_v – пролет, мм,

то прогибы, соответствующие $\varepsilon = 0,1$ и $\varepsilon = 0,3\%$:

$$z_{0,1} = L_v^2 / 6000h, \quad z_{0,3} = L_v^2 / 2000.$$

Грузы, дающие прогибы, близкие к вычисленным, будут в дальнейшем рабочими: $P_{0,1}$, и $P_{0,3}$, Н.

Модуль упругости, МПа, вычисляется по формуле:

$$E = (L_v^3 \Delta F) / (4bh^3 \Delta z),$$

где ΔF – приращение нагрузки, Н;

Δz – приращение прогиба, мм.

Запись и вычисления ведут в журнале испытания (табл. 2).

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

Результаты испытаний подлежат статистической обработке, которую проводят отдельно для показателей прочности и модуля упругости. Форма записи вычислений дана в табл. 3, в которой x_i – значение отдельного показателя. Контролем вычислений является проверка совпадения сумм положительных и отрицательных чисел в колонке 2. Статистические характеристики вычисляются по формулам (1), (2), (6) для прочности и по формулам (1), (2), (3), (7) для модуля упругости.

Таблица 3

Статистическая обработка результатов испытания

x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	2	3
$\sum x_i$	\pm	$\sum (x_i - \bar{x})^2$

Имея статистические характеристики распределения свойств материала, вычисляют R^H по формуле (4), а E^H по формуле (5). Полученные R^H и E^H сравниваются с известными по справочной литературе (приложение 2):

$$\frac{R^H - R_{табл}^H}{R_{табл}^H} \cdot 100\%, \quad \frac{E^H - E_{табл}^H}{E_{табл}^H} \cdot 100\%.$$

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете представляют: цель и задачи работы; схему образца для испытания; журналы испытаний с исходными сведениями, замерами и необходимыми вычислениями; диаграмму испытания материала; описание характера и зарисовку разрушенных образцов; таблицу статистической обработки результатов испытания с необходимыми вычислениями; полученные нормативные характеристики материала.

В выводах по работе анализируется сходимость полученных результатов со справочными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асташкин В.М. Элементы конструкций из пластмасс и их соединения. Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С. 8–10.
2. ГОСТ 27751-88 (СТ СЭВ 384-87). Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету.
3. ГОСТ 11262-80 (СТ СЭВ 1199-78). Пластмассы. Метод испытания на растяжение.
4. ГОСТ 4648-71 (СТ СЭВ 892-78). Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб.
5. ГОСТ 9550-81 (СТ СЭВ 2345-80). Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе.
6. ГОСТ 14359-69. Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие образцы применяют для определения прочности при растяжении оргстекла и винипласта?
2. Какие образцы применяют для определения прочности при растяжении стеклопластика?
3. Какие образцы применяют при испытаниях на изгиб?
4. При какой температуре производятся стандартные испытания?
5. Какую точность измерения должна обеспечить машина для испытания образцов?
6. Как учитывается изменение сечения образца в процессе испытания?
7. Как выглядит диаграмма растяжения хрупкого и пластичного материала?
8. Как по диаграмме деформирования определить предел текучести и прочности материалов, имеющих предел текучести?
9. Как по диаграмме деформирования определить условный предел текучести и предел прочности материалов, не имеющих предела текучести?
10. Каково соотношение между величиной стандартных отклонений отдельных значений S и стандартных отклонений среднего арифметического \bar{S} ?

11. По какой границе (см. рис. 1) нормируется сопротивление R^H и модуль упругости E^H ?

12. После испытания образцов двух материалов получены средние значения прочности $\bar{x}_1 = 50$ МПа и $\bar{x}_2 = 51$ МПа, коэффициенты вариации $V_1 = 10\%$ и $V_2 = 20\%$. Какой из материалов однороднее?

13. Какова обеспеченность нормативного сопротивления?

14. Какова вероятность того, что среднее значение модуля упругости будет меньше E^H ?

15. Какова вероятность того, что минимальное значение модуля упругости отдельного образца будет меньше E^H ?

Лабораторная работа №2

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЖЕСТКИХ ПЛАСТМАСС

У полимерных материалов ярко выражена температурно-временная зависимость прочности. Под действием длительно действующей постоянной статической нагрузки в полимере происходят изменения, которые с течением времени могут и без увеличения нагрузки привести к его разрушению. Под долговечностью τ_i элемента или образца под действием некоторых постоянных статических напряжений σ_i понимают интервал времени с момента нагружения до разрушения [1, 2].

Существует ряд точек зрения на природу длительной прочности материалов. Согласно одним взглядам, у материала существует предел длительного сопротивления σ_{dl} (безопасное напряжение), ниже которого изменения в элементе прекращаются, и он не разрушится, как бы долго ни находился под этой нагрузкой. Согласно другим взглядам, как бы ни была мала нагрузка, и какое бы ни прошло время с момента нагружения, изменения в материале не прекращаются, а могут лишь затухать. Последняя точка зрения ($\sigma_{dl} = 0$) находит свое подтверждение в термофлуктуационной теории хрупкого разрыва, разработанной С.Н. Журковым.

Предложенная им формула связывает долговечность τ материала с действующим постоянным статическим напряжением σ и абсолютной температурой T :

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{U_0 - \gamma\sigma}{KT}}, \quad (1)$$

где τ_0 , U_0 , γ – константы материала; e – основание натуральных логарифмов. Взяв фиксированную температуру, получим частный случай формулы (1):

$$\tau = A e^{-\alpha\sigma}, \quad (2)$$

где $A = \tau_0 e^{U_0/KT}$, $\alpha = \gamma/KT$.

Параметры формулы (2) обычно определяются постановкой длительных испытаний до разрушения при различных степенях постоянной статической нагрузки.

Целью данной работы является знакомство с одним из ускоренных методов определения длительной прочности пластмасс.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Если образец подвергнут в произвольной последовательности действию напряжений σ_i , каждому из которых соответствует долговечность $\tau(\sigma_i)$, а время действия каждого напряжения равно Δt_i , то согласно принципу линейного суммирования повреждений (принцип Бейли) разрушение произойдет при условии [2]:

$$\sum \frac{\Delta t_i}{\tau(\sigma_i)} = 1.$$

При непрерывном изменении σ во времени $\sigma = \sigma(t)$ простое суммирование заменяется интегрированием:

$$\int_0^{\tau_p} \frac{dt}{\tau[\sigma(t)]} = 1. \quad (3)$$

Результаты испытания на долговечность, полученные при $\sigma = \text{const}$, можно выразить в терминах характеристик прочности при постоянной скорости роста напряжений ω . В этом случае закон нагружения будет выражаться зависимостью:

$$\sigma = \omega t. \quad (4)$$

Подставив выражение (2) и (4) в уравнение (3), получим:

$$\int_0^{\tau_p} \frac{dt}{Ae^{-\alpha\omega t}} = 1.$$

После интегрирования:

$$e^{\alpha\omega\tau_p} - 1 = A\alpha\omega,$$

где $\omega\tau_p = \sigma_j$ - предел прочности при данной скорости нагружения ω .

Для двух различных скоростей нагружения ω_m и ω_n :

$$\begin{cases} e^{\alpha\sigma_m} - 1 = A\alpha\omega_m \\ e^{\alpha\sigma_n} - 1 = A\alpha\omega_n \end{cases} \quad (5)$$

При решении этой системы уравнений возможны некоторые упрощения. Исследованиями установлено, что для рассматриваемых материалов $e^{\alpha\sigma} \gg 1$, и вместо системы (5) уравнений можем записать приближенно:

$$\begin{cases} e^{\alpha\sigma_m} = A\alpha\omega_m \\ e^{\alpha\sigma_n} = A\alpha\omega_n \end{cases} \quad (6)$$

Прологарифмируем:

$$\begin{cases} \alpha\sigma_m = \ln A + \ln \alpha + \ln \omega_m \\ \alpha\sigma_n = \ln A + \ln \alpha + \ln \omega_n \end{cases}$$

Отсюда

$$\alpha = \frac{\ln \omega_m - \ln \omega_n}{\sigma_m - \sigma_n}, \quad (7)$$

$$\ln A = \alpha\sigma_m - \ln \alpha - \ln \omega_m. \quad (8)$$

Для большей достоверности испытания следует вести при трех скоростях нагружения $\omega_1, \omega_2, \omega_3$, получая при этом характеристики прочности $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. В этом случае можно составить 3 системы уравнений типа (6), комбинируя условия ω_1 и ω_2, ω_1 и ω_3, ω_2 и ω_3 . В каждом случае по формулам (7) и (8) определяются параметры α и $\ln A$ ($\alpha_{12}, \ln A_{12}; \alpha_{13}, \ln A_{13}; \alpha_{23}, \ln A_{23}$), за их расчетную величину берутся средние значения. Зная величину этих параметров, из уравнения (2) мы можем определить, какую долговечность будет иметь элемент при любом напряжении σ , и, наоборот, задавшись требуемой долговечностью (срок эксплуатации), можно определить предельное напряжение σ_{dl} (последнее в дальнейшем должно быть скорректировано с учетом однородности материала). Для вычисления предельно допустимых для данного срока эксплуатации напряжений уравнение (2) преобразуется:

$$\ln \tau = \ln A - \alpha\sigma,$$

$$\text{откуда } \sigma = \frac{1}{\alpha} (\ln A - \ln \tau) \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln A - \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \tau. \quad (9)$$

Уравнение (9) будет уравнением кривой длительного сопротивления.

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

Испытанию подвергаются образцы из оргстекла или эпоксидного компаунда, испытания проводятся при изгибе. Определяются и заносятся в журнал испытания (табл. 1) фактические размеры образцов. Форма и размеры образцов должны соответствовать ГОСТ 4648-71.

Таблица 1

Журнал испытания образцов

Группа скорости нагружения	Номер образца в группе	Сечение, мм		Пролет l , мм	Разрушающая нагрузка P , Н	Долговечность τ_p , с	Разрушающие напряжения $\sigma = \frac{3P\ell}{2bh^2}$ Н/мм ² = МПа	Фактическая скорость нагружения $\omega = \sigma/\tau_p$ МПа/с	Средние для группы величины	
		b	h						σ_{cp}	ω_{cp}

Принимается схема изгиба сосредоточенной нагрузкой, приложенной в середине пролета. Необходимо обеспечить, чтобы при разных скоростях испытывались одинаковые по качеству материала образцы, для чего их следует вырезать из одной полосы. Исходя из фактического сечения образца, подсчитывается скорость роста нагрузки при испытаниях, фиксируется температура испытания. Интервал скоростей нагружения рекомендуется принимать от 0,1 до 10 МПа/с.

Испытания проводятся на гидравлической или механической машине, предпочтительно с безынерционным (электронным) силоизмерителем. Включение секундомера производится в момент начала нагружения. В момент разрушения образца секундомер выключается и фиксирует долговечность τ_p , на шкале силоизмерителя фиксируется разрушающая нагрузка P .

После испытания образцов проводятся соответствующие расчеты и определяются параметры $\ln A$ и α формулы (9). Результаты вычислений сводятся в табл. 2.

Таблица 2

Параметры уравнения долговечности

Параметры	Значения параметров при комбинации условий			Средние значения
	$\omega_1 \omega_2$	$\omega_1 \omega_3$	$\omega_2 \omega_3$	
α				
$\ln A$				

Предельно допустимые напряжения вычисляются по формуле (9) для нескольких долговечностей τ , затем определяются коэффициенты длительного сопротив-

ления $k_{д.с}$ для этих разных сроков эксплуатации. Результаты сводятся в табл. 3. Для удобства вычислений во второй колонке дан $\ln \tau$ (времени, переведенного в секунды).

Таблица 3

Определение коэффициентов длительного сопротивления

τ	$\ln \tau$ (с)	σ , МПа	$k_{д.с.} = \frac{\sigma}{\sigma_1}$
1 мин	4,09	$\sigma_1 =$	1
1 ч	8,19		
1 мес	14,77		
1 год	17,27		
10 лет	19,57		

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете представляют: цель и задачи работы; журнал испытания образцов с необходимыми данными замеров и вычислениями; вычисление параметров $\ln A$ и α в уравнении долговечности; уравнение кривой длительного сопротивления и таблицу определения коэффициентов длительного сопротивления.

В выводах по работе анализируют характер полученной зависимости прочности от времени действия нагрузки и принципы ее учета при расчете конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструкции из дерева и пластмасс. Учебник / М.М.Гаппоев, И.М.Гуськов, Л.К.Ермоленко и др. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – С. 75–78.
2. Асташкин В.М. Элементы конструкций из пластмасс и их соединения: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С. 12–19.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое долговечность материала под действием постоянных статических напряжений?
2. От чего в общем случае зависит долговечность материала?
3. Чему равен предел длительной прочности по теории Журкова?
4. Чему соответствует каждая точка, лежащая на кривой длительного сопротивления?
5. Какова зависимость между прочностью материала и температурой при одинаковой долговечности, если его долговечность описывается формулой Журкова?
6. Как зависит долговечность материала от температуры и нагрузки?
7. Как формулируется принцип линейного суммирования повреждений (принцип Бейли)?

8. Каков принцип ускоренных испытаний на долговечность?
9. Какой закон изменения напряжений во времени применяется при ускоренных испытаниях?
10. Если скорости испытания $\omega_1 < \omega_2$, то каково отношение между разрушающими напряжениями σ_1 и σ_2 ?
11. Если скорости испытания $\omega_1 < \omega_2$, то каково соотношение между долговечностями τ_{p1} и τ_{p2} ?
12. Каково соотношение между разрушающими напряжениями σ и долговечностью τ_p , полученными в результате испытаний при разных скоростях $\omega_1 < \omega_2$?
13. На основании какого уравнения рассчитываются коэффициенты длительного сопротивления?
14. Каков график уравнений долговечности и длительного сопротивления материала в координатах $\sigma - \ln \tau$?
15. Каков физический смысл первого члена уравнения длительного сопротивления?

Лабораторная работа №3 **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ** **СОЕДИНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ВРУБКЕ**

Врубкой называется соединение, в котором усилие передается от одного элемента другому непосредственно без вкладышей или иных рабочих связей. Термин «врубка», соответствовавший способу производства такого соединения топором, сохранился, хотя сейчас врезки, как правило, не вырубает топором, а вырезают электро- или мотопилой. Известно много типов врубок для соединения в стыке или в узле сжатых и растянутых элементов. Однако из них сейчас практическое значение имеют только узловые соединения элементов лобовой врубкой с одним зубом, которые применяются, например, в опорных и промежуточных узлах треугольных ферм [1, 2].

Цель данной работы – определение прочности и деформативности соединения деревянных элементов, выполненного лобовой врубкой с одним зубом.

Испытанию подвергается модель простейшей треугольной фермы (рис. 1), в которой опорный узел решен лобовой врубкой с одним зубом. Конструкция оснастки для испытания (см. рис. 1) позволяет варьировать угол примыкания элементов α и вид скалывания – одностороннее (рис. 1,а) или промежуточное (рис. 1,б), т.е. моделировать опорные или промежуточные узлы ферм.

Рабочая плоскость смятия во врубке должна располагаться перпендикулярно оси примыкающего сжатого элемента, центровка усилия в растянутом элементе должна осуществляться по ослабленному врезкой сечению, для чего регулируется положение опоры под узлом.

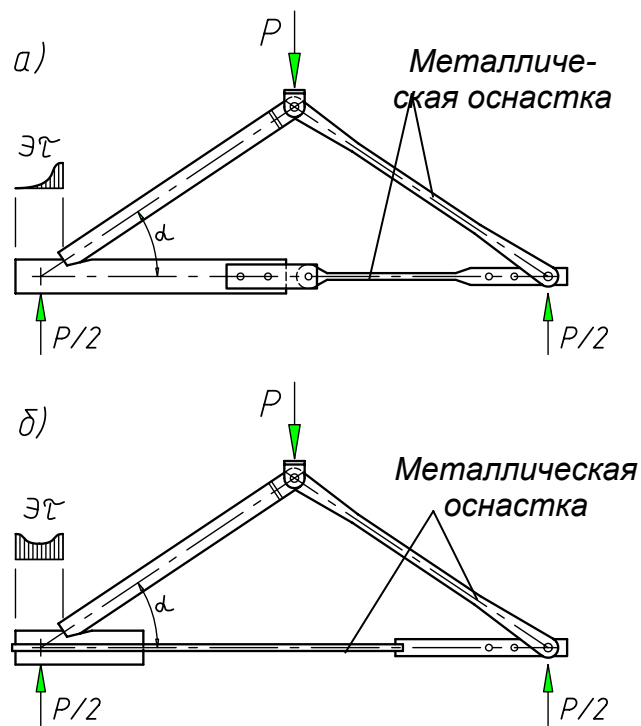


Рис. 1. Схема модели фермы с сопряжением деревянных элементов на врубке:
 а) сжатого элемента с растянутым; б) сжатого элемента со сжатым; эпюры показывают распределение напряжений по площадке скалывания

Длина плоскости скалывания $l_{ск}$ (рис. 2) согласно п. 5.11 СНиП II–25–80 должна быть не менее $1,5 h$, а глубина врубки не более $1/3 h$. Большая глубина врубки чрезмерно ослабит сечение, к тому же в этом случае возрастет вероятность появления на площадке скалывания усушенных трещин, направление которых близко к радиальному. Согласно п. 5.3 СНиП II–25–80, плечо сил скалывания e ограничивается и $l_{ск}/e$ должно быть не менее 3. В процессе работы определяются теоретические и фактические величины разрушающей нагрузки и деформации смятия врубки. Порода древесины и влажность материала сообщаются преподавателем перед началом работы.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ СОЕДИНЕНИЯ

Определяют угол примыкания раскосов α с помощью транспортира или из замера геометрии фермы. Замеряют с точностью до 0,1 мм и заносят в отчет по лабораторной работе следующие размеры врубки (рис. 2): ширину поясов e ; высоту нижнего пояса h ; глубину врубки $h_{вр}$ длину площадки скалывания $l_{ск}$. Проверяют, укладываются ли размеры врубки в ограничения (п. 5.3 и 5.11 СНиП II–25–80). По наличию пороков определяют сорт древесины.

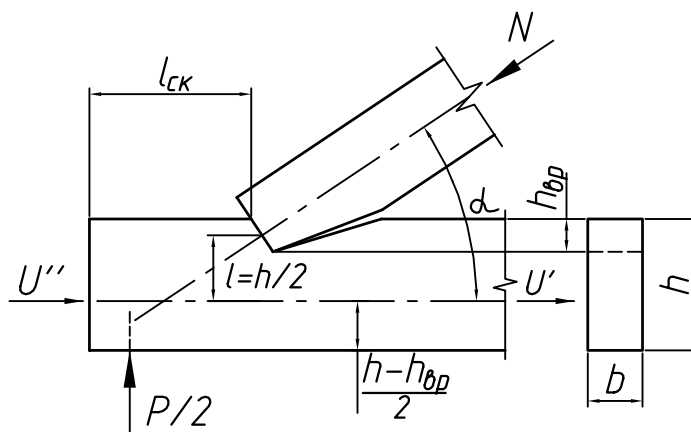


Рис. 2. Конструктивная схема врубки и схема приложения сил в узле:
 U^I - при испытании модели по рис. 1а;
 U^{II} - при испытании по рис. 1б

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ

Расчетную несущую способность соединения определяют из условий смятия и скалывания древесины согласно указаниям п. 5.2, 5.10 и 5.12 СНиП II–25–80:

1. Из условия смятия древесины:

$$N = R_{см}^{\alpha} F_{см},$$

где $R_{см}^{\alpha}$ – расчетное сопротивление смятию под углом α к волокнам, МПа вычисляют по п. 3.1 и примечанию 2 к табл.3 СНиП II–25–80 (см. приложение 3);

$F_{см} = bh_{вр} / \cos \alpha$ – площадь смятия.

2. Из условия скалывания древесины:

$$U = R_{ск}^{cp} F_{ск}.$$

Расчетное сопротивление скалыванию, среднее по данной площадке, находят согласно п. 5.3. СНиП II–25–80:

$$R_{ск}^{cp} = R_{ск} / (1 + \beta l_{ск} / e),$$

где $R_{ск}$, МПа – по табл.3 СНиП II–25–80 (см. приложение 3);

$l_{ск}$ – фактическая, но не более $10 h_{вр}$;

e – плечо сил скалывания (рис. 2);

$\beta = 0,25$ для скалывания одностороннего (при растяжении, рис. 1а);

$\beta = 0,125$ для скалывания промежуточного (при сжатии, рис. 1б);

$F_{ск} = bl_{ск}$ – площадь скалывания.

Переходя к нагрузке P , получают (рис. 3) расчетные величины нагрузки: из условия смятия $P_{см} = 2N \sin \alpha$, из условия скалывания $P_{ск} = 2U \operatorname{tg} \alpha$. Меньшая из них будет $P_{расч}$.

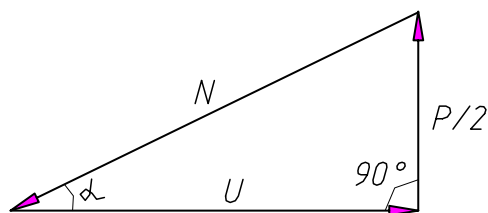


Рис. 3. Многоугольник сил в узле

Обычно врубка конструируется так, чтобы расчетная несущая способность по скалыванию была больше, чем по смятию (хрупкое скалывание опаснее вязкого смятия). При испытаниях разрушение врубки происходит все же от скалывания. Причина в том, что расчетное сопротивление смятию устанавливается не из условия прочности, а из условия ограничения деформации смятия. Поэтому при определении теоретической величины разрушающей нагрузки необходимо исходить из несущей способности врубки по скалыванию.

Расчетное сопротивление древесины определяется с учетом длительного воздействия нагрузки и наличия пороков. При наличии пороков в максимально допустимых для данного сорта пределах, разрушающая нагрузка при кратковременных испытаниях:

$$P'_{разр.теор.} = P_{ск} / k_{дл},$$

где $k_{дл} = 0,66$ – коэффициент длительного сопротивления древесины.

При наличии «чистой» древесины, т.е. при отсутствии пороков, разрушающая кратковременная нагрузка:

$$P_{разр.теор.} = P'_{разр.теор.} / k_{одн},$$

где $k_{одн} = 0,7$ – коэффициент однородности при работе на скалывание.

При длительном действии расчетной нагрузки, согласно табл. 15. СНиП II–25–80, расчетная деформация соединения $\Delta'_{теор} = 1,5$ мм. При кратковременном нагружении (как в нашем опыте) расчетная деформация соединения $\Delta_{теор} = \Delta'_{теор} k_{дл}$ (приближенно).

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

Испытание производят на гидравлической или механической машине с измерением на шкале до 50 кН. Обычно разрушение врубки происходит мгновенно в результате скалывания, поэтому образец должен быть закреплен, кроме того, должны быть установлены козырьки против торцов образца. Во избежание несчастных случаев во время испытаний нельзя находиться против торцов образца. Деформации смятия врубки замеряют двумя индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм (рис. 4). Записи ведутся в журнале испытания, форма которого представлена ниже.

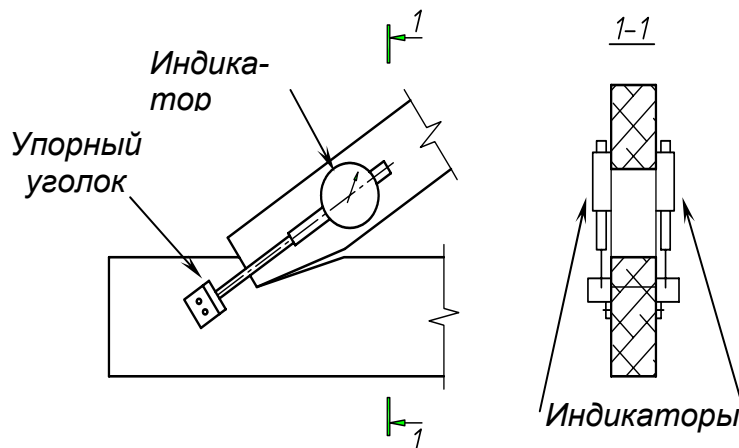


Рис.4. Замер деформации смятия врубki

Журнал определения фактической деформации смятия врубki

Нагрузка, кН	Индикатор №1		Индикатор №2		Средняя полная деформация, мм
	отсчет по прибору	полная деформация, мм	отсчет по прибору	полная деформация, мм	

Образец загружают ступенями по 1,0 кН. Отсчеты по индикаторам берут при нулевой нагрузке и при каждой ступени. После нагружения до расчетной нагрузки $P_{расч}$ индикаторы снимают и производят дальнейшее нагружение образца до его разрушения, определяя разрушающую нагрузку $P_{разр}$.

По записям отсчетов с индикаторов вычисляют полные деформации смятия врубki при каждой нагрузке. Строят график зависимости полной деформации смятия от нагрузки (рис. 5). По этому графику полная деформация при расчетной нагрузке $P_{расч}$ разделяется на упругую (из продолжения линейной зависимости $P-\Delta$ до $P = 0$) и рыхлую (отсекаемую продолжением линейной части на ось Δ).

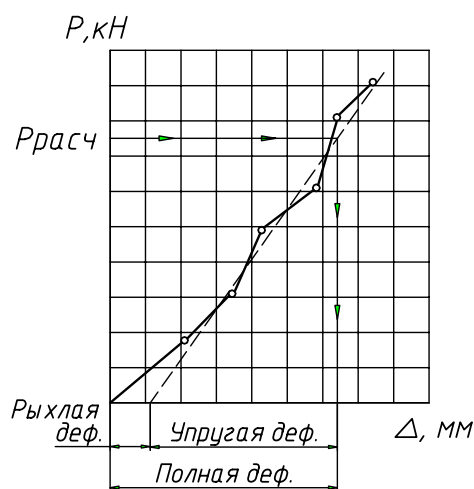


Рис. 5. График зависимости деформаций смятия врубki от нагрузки

СРАВНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ФАКТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Сравнивают опытные и теоретические величины разрушающей нагрузки и деформации смятия при расчетной нагрузке, вычисляют отклонения в процентах с учетом знака:

$$\frac{P_{разр} - P_{разр.теор}}{P_{разр.теор}} \cdot 100\%, \quad \frac{\Delta_{см} - \Delta_{теор}}{\Delta_{теор}} \cdot 100\%.$$

Запас прочности соединения $k_z = P_{разр} / P_{расч}.$

ОФОРМЛЕНИЕ ОТСЧЕТА

В отчете представляют: цель и задачи работы, исходные данные (схему модели, конструктивную схему и размеры врубки), расчет разрушающей нагрузки, схему установки приборов, журнал определения фактической деформации смятия врубки. Строят график зависимости деформации врубки от нагрузки, по которому определяют величины полной, рыхлой и упругой деформации врубки при расчетной нагрузке.

В выводах по результатам испытания описывается характер разрушения соединения, даются зарисовки разрушенных образцов, а также анализируется сходимость теоретических и опытных величин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструкции из дерева и пластмасс. Учебник / М.М.Гаппоев, И.М.Гуськов, Л.К.Ермоленко и др. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – С. 88–92.
2. СНиП II–25–80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. П. 3.1, 4.31, 5.1–5.3, 5.10–5.12.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как осуществляется центровка усилия в нижнем поясе фермы с опорным узлом, выполненным на врубке?
2. Как расположена площадки упора элементов в нормальной лобовой врубке?
3. Как исключается возможность разрыва нижнего пояса в соединении на врубке?
4. Из каких условий определяется расчетная несущая способность соединения?
5. Что наиболее опасно для соединения на врубке?
6. При каком соотношении между несущей способностью по скалыванию $P_{ск}$ и смятию $P_{см}$ выше надежность соединения?
7. Каково соотношение между расчетными сопротивлениями древесины в лобовой врубке смятию под углом $R_{см}^{\alpha}$, вдоль $R_{см}$ и поперек $R_{см}^{90}$ волокон?
8. У какого элемента проверяется площадка смятия при расчете врубки?

9. Какое расчетное сопротивление смятию принимается при расчете места упора элементов врубки?
10. Как распределены касательные напряжения по площадке скалывания?
11. Как учитывается неравномерность распределения касательных напряжений по площадке скалывания?
12. По какой формуле определяется расчетное сопротивление скалыванию, среднее по площадке скалывания в лобовой врубке?
13. Где на графике деформации врубки полная, упругая и рыхлая составляющие?
14. Какова расчетная деформация врубки при длительном воздействии расчетной нагрузки?
15. Как по результатам опыта определить запас прочности соединения?

Лабораторная работа № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НАГЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Нагелями в деревянных конструкциях называются гибкие стержни, пластинки или иные вкладыши, препятствующие сдвигу соединяемых элементов и работающие в основном на изгиб [1, 2, 3]. Нагельные соединения являются безраспорными, что обеспечивается защемлением нагеля в нагельном гнезде. По наличию или отсутствию оси симметрии изогнутой оси нагеля соединения могут быть симметричными и несимметричными, а по числу плоскостей скольжения, пересекающих ось нагеля – односрезные, двух срезные и т.д. Под цилиндрические нагели (штыри, болты) отверстия сверлятся в пакете после сборки соединения диаметром, равным диаметру нагеля. Гвозди диаметром до 6 мм забиваются без расверловки отверстий.

Цель данной работы – определение прочности и деформативности нагельного соединения.

Испытанию подвергается симметричное двух срезное соединение (рис. 1) на стальных цилиндрических нагелях или на гвоздях. В процессе работы определяются теоретическая и фактическая несущая способность соединения, а также полные, упругие и остаточные деформации его.

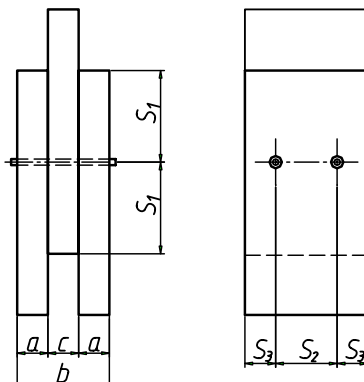


Рис. 1. Схема нагельного соединения

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ СОЕДИНЕНИЯ И ЕГО ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Определяют и заносят в отчет по лабораторной работе такие исходные данные:

- породу древесины и ее влажность,
- тип нагелей,
- число нагелей m ,
- количество «срезов» нагеля $n_{ср}$.

2. Замеряют с точностью до 1 мм и заносят в отчет следующие размеры:

- толщину крайних элементов a ,
- толщину среднего элемента c ,
- толщину пакета соединяемых элементов b ,
- расстояние между осями нагелей вдоль волокон или от оси нагеля до кромки элемента вдоль волокон S_1 ,
- расстояние между осями нагелей поперек волокон S_2 ,
- расстояние от оси нагеля до кромки элемента поперек волокон S_3 .

3. Диаметр нагеля d замеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм и также заносят в отчет.

ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ РАССТАНОВКИ НАГЕЛЕЙ

В нагельных соединениях скалывание древесины исключается конструктивными мероприятиями, для этого расстояния S_1 , S_2 , S_3 должны быть не меньше минимальных величин, приводимых в п. 5.18 и 5.21 СНиП II–25–80 (см. прилож. 4).

Определив расстановку нагелей в образце, в выводах по данному разделу работы следует указать, соответствует ли их расстановка требованиям СНиП.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАГЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Расчетная несущая способность одного «среза» нагеля определяется по табл. 17 СНиП II–25–80 (см. приложение 5) из условия смятия древесины нагельного гнезда среднего элемента T_c и крайнего элемента T_a , а также изгиба нагеля T_u . Минимальная величина, найденная по проводимым там формулам, составит расчетную несущую способность одного «среза» нагеля $T_{наг}$. Указанные формулы учитывают длительное действие нагрузки.

Расчетную несущую способность всего соединения можно найти, умножив несущую способность одного «среза» нагеля на число «срезов» в соединении с учетом числа нагелей:

$$P = mn_{ср} T_{наг} .$$

Исчерпание несущей способности нагельного соединения характеризуется резким нарастанием деформаций сдвига соединяемых элементов, при этом расчетная величина нагрузки с учетом ее кратковременного действия:

$$P_{кр} = P/k_{дл} ,$$

где $k_{дл} = 0,66$ – коэффициент длительного сопротивления древесины.

При полном использовании расчетной несущей способности соединения согласно табл. 15 СНиП II–25–80 теоретическая величина деформации $\Delta_{теор} = 2$ мм.

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

Испытание проводят на гидравлической или механической машине с измерением по шкале 20 кН. Деформацию сдвига соединяемых элементов замеряют двумя индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм (рис.2).

Для ликвидации рыхлых деформаций на образец предварительно воздействуют нагрузкой в 0,5 кН, которая принимается в дальнейшем за условный нуль.

Испытание ведется непрерывно с постоянной скоростью нагружения или разгрузки. Нагрузка увеличивается ступенями в 1 кН с разгрузкой после каждого цикла до условного нуля. В зависимости от расчетной несущей способности соединения могут быть приняты и другие величины нагрузки условного нуля и ступеней нагружения.

Отсчеты по индикаторам фиксируются в момент, когда нагрузка достигает соответствующей ступени, либо при условном нуле. В цикле, где будет $P_{кр}$, при этой нагрузке во время нагружения делают остановку и также снимают отсчеты. Записи ведутся в журнале испытания, форма которого приведена ниже.

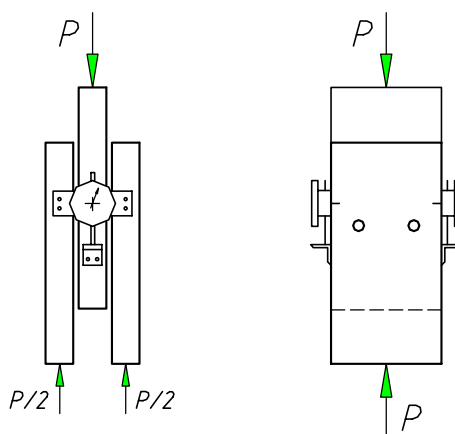


Рис. 2. Схема установки приборов

Нагрузка, кН	Индикатор №1			Индикатор №2			Средняя деформация за ступень, мм		
	отсчет по прибору	Δ_n мм	Δ_y мм	отсчет по прибору	Δ_n мм	Δ_y мм	Δ_n	Δ_y	$\Delta_{ост}$

Величину разрушающей нагрузки устанавливают по силоизмерителю машины, когда при непрерывном росте деформаций нагрузка не увеличивается. При обработке результатов испытания для каждой ступени определяют величину полной Δ_n (при нагружении); упругой Δ_y (возвращающейся при разгрузке) и остаточной $\Delta_{ост}$ (разности полной и упругой) деформаций соединения.

По полученным данным строят график зависимости между упругими и остаточными деформациями (рис. 3). Каждая точка графика соответствует определенной нагрузке (максимальной нагрузке цикла). По графику находят нагрузку, при которой резко возрастают остаточные деформации. Ей соответствует точка перелома двух прямых (рис. 3). При этой нагрузке фактически исчерпывается несущая способность соединения. Из журнала испытаний определяют также полную деформацию соединения Δ при расчетной нагрузке $P_{кр}$, считая за начало нагружения истинный нуль и используя значения отсчетов при $P_{кр}$.

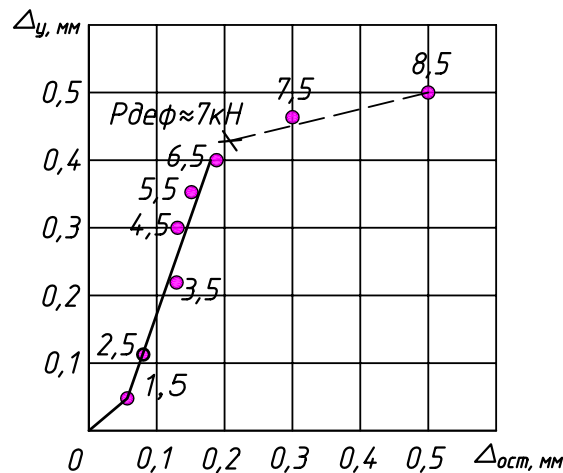


Рис. 3. График зависимости между упругими и остаточными деформациями

Сравнивают фактические и теоретические величины несущей способности соединения и деформации сдвига соединяемых элементов при расчетной нагрузке. Отклонения вычисляют в процентах с учетом знака по формулам:

$$\frac{P_{деф} - P_{кр}}{P_{кр}} \cdot 100\%; \quad \frac{\Delta - \Delta_{теор}}{\Delta_{теор}} \cdot 100\%.$$

Запас прочности соединения $k_3 = P_{разр} / P$.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете представляют: цель и задачи работы, схему и фактические размеры нагельного соединения, проверку правильности расстановки нагелей, расчет теоретической величины несущей способности нагельного соединения, схему установки приборов, журнал испытания нагельного соединения с необходимыми вычислениями, график зависимости между упругими и остаточными деформациями.

В выводах по результатам испытания описывается характер разрушения соединения, даются зарисовки разрушенных образцов, а также анализируется сходимость теоретических и фактических величин, при наличии расхождения указываются возможные причины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструкции из дерева и пластмасс. Учебник / М.М.Гаппоев, И.М.Гуськов, Л.К.Ермоленко и др. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – С. 97–110.
2. Конструкции из дерева и пластмасс: Учебное пособие для студентов вузов/ Г.Н.Зубарев, Ф.А.Бойтемиров, В.М.Головина и др.; Под ред. Ю.Н.Хромца. – М.: «Академия», 2004. – С. 73–77.
3. СНиП II–25–80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. – П. 3.1, 4.31, 5.13–5.23.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое нагельное соединение является симметричным?
2. Какое нагельное соединение является несимметричным?
3. Как устраняется опасность скалывания древесины между нагелями?
4. Каков максимальный диаметр гвоздей, забиваемых без предварительной рассверловки отверстий?
5. Чему равны минимальные расстояния между осями стальных цилиндрических нагелей и гвоздей вдоль (S_1) волокон древесины?
6. Чему равны минимальные расстояния между осями стальных цилиндрических нагелей и гвоздей поперек (S_2) волокон древесины?
7. Как определяется несущая способность одного среза нагеля в нагельном соединении?
8. Как определить несущую способность по изгибу одного среза нагеля и гвоздя в нагельном соединении?
9. Как рассчитать несущую способность по смятию древесины в гнезде стального цилиндрического нагеля и гвоздя?
10. Какой режим нагружения применяется при экспериментальном определении несущей способности нагельного соединения?
11. Как проявляется потеря несущей способности нагельного соединения?
12. Какова расчетная величина деформации нагельного соединения в постоянных сооружениях при полном использовании его несущей способности?

13. Как по результатам испытания нагельного соединения определить разрушающую нагрузку?

14. Как определить полную, упругую и остаточную деформации соединения, если отсчет по прибору, измеряющему деформацию, до нагружения – A , при нагрузке – B , а после разгрузки – B' ?

15. Как определяется действительный запас прочности нагельного соединения?

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СОСТАВНОГО ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА НА ПОДАТЛИВЫХ СВЯЗЯХ

Многие деревянные конструкции, в том числе балки (изгибаемые элементы), делают составными. Отдельные брусья и доски соединяют с помощью связей, которые могут быть жесткими (клеевые) и податливыми (все остальные).

Податливостью называется способность связей при деформации конструкций давать возможность соединяемым брусьями или доскам сдвинуться друг относительно друга. Податливость связей ухудшает работу составного элемента по сравнению с таким же элементом цельного сечения. У составного элемента на податливых связях уменьшается несущая способность, увеличивается деформативность, изменяется характер распределения сдвигающих усилий по его длине и нормальных напряжений по сечению. Вопросы учета податливости связей при расчете составных стержней были впервые разработаны в нашей стране. В СНиП II–25–80 приведены расчетные формулы, дающие приближенные решения, получаемые из точных решений путем ряда упрощений [1, 2, 3].

Цель данной работы – исследование сопротивления статическому изгибу балки составного сечения на податливых связях.

Испытанию подвергается балка (рис. 1) из 2...3 досок, сплоченных гвоздями или болтами (стальными цилиндрическими нагельми). В процессе работы определяются теоретическая величина расчетной несущей способности балки и прогиб балки под расчетной нагрузкой, экспериментально проверяются распределение напряжений по сечению балки, прогиб балки и сдвиг элементов составного сечения по шву.

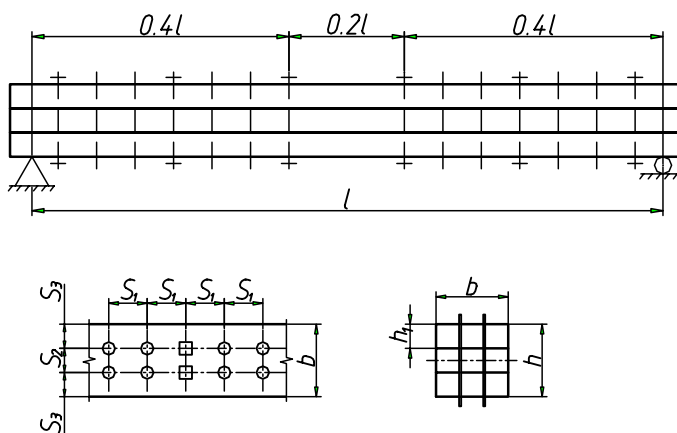


Рис. 1. Конструкция составной балки на стальных цилиндрических нагельми

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ СОСТАВНОЙ БАЛКИ И ЕЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Определяют и заносят в отчет по лабораторной работе такие исходные данные:
 - материал и влажность древесины балки;
 - число нагелей на половине (или 0,4) пролета;
 - тип нагелей и материал, из которого они сделаны.
2. Замеряют с точностью до 1 мм и заносят в отчет следующие размеры:
 - пролет балки ℓ ;
 - ширину сечения балки b ;
 - высоту сечения балки h ;
 - толщину одного слоя составного сечения h_1 ;
 - шаг расстановки нагелей: S_1, S_2, S_3 .
3. Диаметр нагелей d замеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.

ПРОВЕРКА СООТНОШЕНИЯ РАЗМЕРОВ НАГЕЛЕЙ И ПРАВИЛЬНОСТИ ИХ РАССТАНОВКИ

Для исключения скалывания древесины сплавиваемых элементов между нагельными гнездами шаг расстановки нагелей должен быть не менее минимальных величин приводимых в п. 5.18 и 5.21 СНиП II–25–80 (см. приложение 4). В выводах по данному разделу работы указывается на соответствие расстановки нагелей требованиям СНиП.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ

Расчетный изгибающий момент, определяется из двух условий:

1. По прочности из условий нормальных напряжений при изгибе (согласно п.4.9 СНиП II–25–80):

$$\sigma = \frac{M}{k_w w_u} \leq R_u, \quad \text{откуда } M_\sigma = R_u k_w w_u.$$

Здесь R_u – расчетное сопротивление древесины при изгибе, МПа, определяется согласно п. 3.1 СНиП II–25–80 (см. приложение 3);

k_w – коэффициент, учитывающий влияние податливости связей в шве, значения его берут согласно указаниями п. 4.9 и табл. 13 СНиП II–25–80 (см. приложение 6);

w_u – момент сопротивления, вычисленный без учета составности сечения.

2. По прочности из условия восприятия сдвига нагелями (согласно п. 4.11 СНиП II–25–80). Необходимое число нагелей, устанавливаемых равномерно на длине 0,4 ℓ от опоры:

$$n_n = 1,2 \frac{MS}{J_u T_n}, \quad \text{откуда} \quad M_n = \frac{n_n J_u T_n}{1,2S}.$$

Здесь S – статический момент сдвигаемой части сечения (одной доски или одного бруска относительно нейтральной оси);

J_u – момент инерции сечения без учета его составности;

T_n – несущая способность нагеля (одного «среза»), которая в случае цилиндрических нагелей определяется как для несимметричных соединений по формулам табл. 17 СНиП II–25–80 (см. приложение 5).

За расчетный изгибающий момент принимается меньший из M_σ и M_n . Обозначим его M . Конструкция нагрузочного устройства (рис. 2) позволяет распределить сосредоточенную нагрузку равномерно с интенсивностью $q = P / \ell$. Так как $M = 0,125q\ell^2$, то $q = 8M / \ell^2$, а $P = q\ell$.

Напряжения в фибровых волокнах сечения при расчетной нагрузке:

$$\sigma_{теор} = \frac{M}{k_w w_u}.$$

Прогиб при расчетной нагрузке найдем, исходя из схемы загрузки:

$$f_{теор} = \frac{5q\ell^4}{384E_\partial J_u k_{жс}},$$

где $k_{жс}$ – коэффициент, учитывающий влияние на прогиб податливости связей в шве, значения его берутся согласно табл.13 СНиП II–25–80 (см. прилож. 6);

E_∂ – модуль упругости древесины балки, значения его берутся с учетом кратковременного действия нагрузки:

$$E_\partial = E / k_{дл},$$

здесь $E = 10000$ МПа (п. 3.5 СНиП II–25–80),

$k_{дл} = 0,66$ – коэффициент длительного сопротивления древесины.

При полном использовании несущей способности нагелей, согласно табл. 15 СНиП II–25–80, максимальный сдвиг соединяемых элементов $\Delta'_{теор} = 2$ мм, с учетом кратковременного воздействия расчетной нагрузки:

$$\Delta_{теор} = \Delta'_{теор} \cdot k_{дл} = 2 \cdot 0,66 = 1,32 \text{ мм}.$$

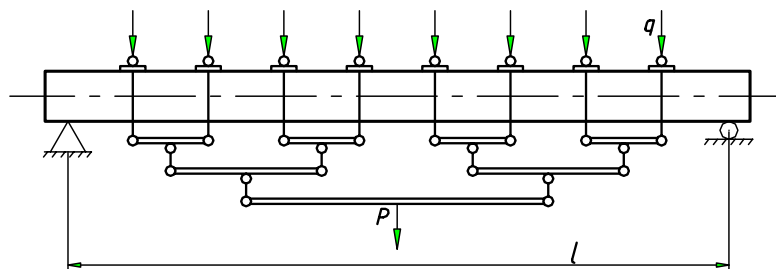


Рис 2. Схема нагружения балки

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

При испытании измеряют прогибы балки в середине пролета, деформации сдвига соединяемых элементов составного сечения, величину и характер распределения напряжений по высоте поперечного сечения балки в средней ее части. Прогибы измеряют прогибомером ПЗ, осадка опор учитывается дополнительно установленными прогибомерами П1 и П2. Сдвиги измеряют индикаторами И1 – И6. Распределение напряжений в сечении балки определяется замером линейных деформаций волокон древесины с помощью тензорезисторов Т1 – Т4 (Т1–Т6). Схема установки приборов показана на рис. 3. Нагрузку на балку прикладывают за одну ступень и отсчеты по приборам берут 2 раза – при отсутствии нагрузки и при расчетной нагрузке Р. Запись ведется в журналах испытания, форма которых дана в табл. 1, 2, 3. Нагрузку и разгрузку повторяют 3 раза, за результат замеров принимается среднее из трех.

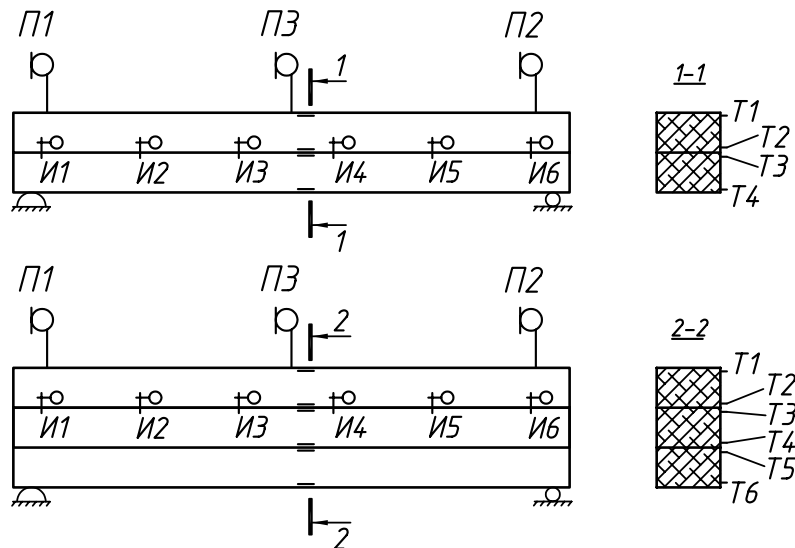


Рис. 3. Схема установки приборов на балку составного сечения

Таблица 1

Журнал определения прогибов

Нагрузка, кН	П1		П2		$\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}$	П3		Прогиб, мм
	отсчет по прибору	Δ_1	отсчет по прибору	Δ_2		отсчет по прибору	Δ_3	

Для учета осадки опор прогиб вычисляют по формуле

$$f = \Delta_3 - 0,5(\Delta_1 + \Delta_2),$$

где Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 – приращения отсчетов по соответствующим прогибомерам (табл. 1).

Журнал определения сдвигов

Нагрузка, кН	Индикаторы (сдвигомеры)												
	И1		И2		И3		И4		И5		И6		
	отсчет	сдвиг	отсчет	сдвиг	отсчет	сдвиг	отсчет	сдвиг	отсчет	сдвиг	отсчет	сдвиг	

Журнал определения напряжений в сечении балки

Параметры	Тензорезисторы					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Начальные отсчеты						
Конечные отсчеты						
Разность отсчетов n						
Напряжения *, МПа, $\sigma = An$						

* Цена единичной разницы отсчетов в напряжениях A , МПа, определяется исходя из цены деления приборов по деформациям ε_1 и модуля упругости древесины балки при кратковременном действии нагрузки $E_0 = 1,5 \cdot 10^4$ МПа; $A = \varepsilon_1 \cdot E_0$.

По данным табл. 2 строят эпюру сдвигов по шву (рис. 4), учитывая расположение сдвигомеров по длине балки. В результате обработки данных табл. 3 строят эпюру распределения нормальных напряжений по сечению (рис. 5).

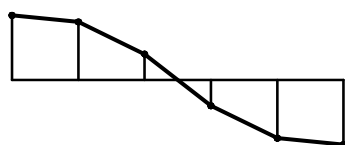


Рис. 4. Эпюра сдвигов по шву

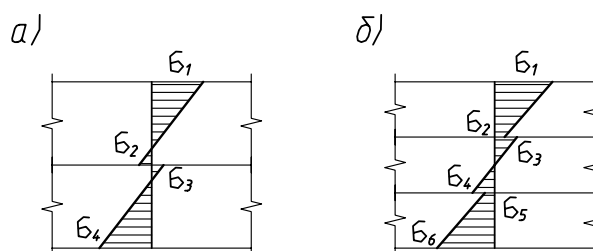


Рис. 5. Распределение напряжений по сечению балки из 2-х (а) и 3-х (б) элементов

СРАВНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ФАКТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Для сравнения с теоретическими напряжениями и сдвигами берут максимальные напряжения и сдвиги, замеренные тензорезисторами и сдвигомерами.

Сравнение фактических и теоретических напряжений, прогибов и сдвигов осуществляют следующим образом:

$$\frac{\sigma - \sigma_{теор}}{\sigma_{теор}} \cdot 100\%; \quad \frac{f - f_{теор}}{f_{теор}} \cdot 100\%; \quad \Delta \leq \Delta_{теор}.$$

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете представляют: цель и задачи работы, конструкцию балки и схему ее загрузки, результаты определения фактических размеров, определение расчетной нагрузки, теоретических величин напряжений и прогибов под действием этой нагрузки, схему установки приборов, журналы испытания с необходимыми вычислениями, эпюры нормальных напряжений в сечении и сдвигов по шву.

В выводах по результатам испытания анализируется сходимость теоретических и опытных величин, при несоответствии указываются возможные причины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструкции из дерева и пластмасс. Учебник / М.М.Гаппоев, И.М.Гуськов, Л.К.Ермоленко и др. – М.: Изд-во АСВ, 2004.– С. 142 – 146.
2. Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. пособие для студентов вузов/ Г.Н.Зубарев, Ф.А.Бойтемиров, В.М.Головина и др.; Под ред. Ю.Н.Хромца. – М.: «Академия», 2004. – С. 137 – 139.
3. СНиП II–25–80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования. – П. 3.1, 4.9 – 4.11, 4.31, 4.33.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких условий назначается минимальный шаг нагелей в балках составного сечения?
2. Какого диаметра сверлят отверстия для установки нагелей?
3. При каком диаметре гвоздей не требуется рассверловка под них отверстий?
4. Как учитывается податливость нагельных соединений при определении прогиба балок составного сечения?
5. Как учитывается податливость нагельных соединений при расчете балок составного сечения на прочность по нормальным напряжениям при изгибе?
6. От каких параметров зависят коэффициенты k_w и $k_{ж}$?
7. Из какого условия назначается расчетная нагрузка для составных балок на податливых связях?
8. Как определить предельный момент (несущую способность) составной балки из условия прочности по нормальным напряжениям?
9. Как определить предельный момент (несущую способность) составной балки из условия восприятия нагелями сдвигающих усилий?

10. Укажите вид напряженного состояния нагельного гнезда, характеризующего его работу в составной балке.

11. Укажите вид напряженного состояния цилиндрического нагеля, характеризующего его работу в составной балке.

12. В какой зоне по длине балки, нагруженной равномерно-распределенной нагрузкой, на нагели действуют большие усилия?

13. С какой целью при испытаниях составных балок измеряют вертикальные перемещения опорных сечений?

14. Какова эпюра сдвигов по длине шва в балках составного сечения на податливых связях?

15. Какова эпюра нормальных напряжений в поперечном сечении составной балки?

Лабораторная работа № 6 **ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ЛИСТОВЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ** **ГАЗОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ И НАГРЕТЫМ ЭЛЕМЕНТОМ.** **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Сварка пластмасс – прогрессивный технологический процесс, с помощью которого получают неразъемные соединения пластмассовых элементов и узлов, при этом полностью исчезает граница раздела и образуется непосредственный структурный переход от одного объема полимера к другому. Наиболее хорошо свариваются термопласты: винипласт, полиэтилен, полипропилен, полиметилметакрилат (оргстекло), полиамид и т.п. По сравнению с другими способами соединений сварка имеет ряд преимуществ: высокую производительность, большую прочность и плотность соединений, лучшие условия труда, меньшую потребность в производственных площадях и т.д. [1, 2, 3].

Для получения сварного соединения термопластов необходимо тем или иным способом нагреть соединяемые поверхности до вязкотекучего состояния и привести их в контакт между собой или с присадочным также нагретым материалом, при этом происходит взаимная диффузия макромолекул из одной контактирующей поверхности в другую.

Для лучшего контакта соединяемых поверхностей их нужно сжать под определенным давлением, а для протекания диффузионных процессов – выдержать в течение некоторого времени (время сварки) без снятия давления и с сохранением температуры сварки. В настоящей работе из большого разнообразия методов сварки рассматриваются два метода: с помощью газового теплоносителя и контактного нагрева. Эти методы наиболее широко применяются при изготовлении и монтаже крупногабаритных конструкций.

Тепловая сварка термопластов является сложным многофакторным процессом. Одним из основных факторов сварочного процесса является температура нагрева соединяемых поверхностей, которая должна быть выше температуры текучести материала.

Температура газа – теплоносителя и нагретого элемента значительно выше температуры текучести, она может превышать температуру начала деструкции (разложения) пластмассы. Так как сварка происходит в условиях кратковременного теплового воздействия, то деструкция имеет ограниченный характер. Сведения по температурам текучести и деструкции даны в табл. 1.

Таблица 1

Температуры текучести и деструкции некоторых термопластов

Термопласт	Температура, °С	
	текучести	деструкции
Полиэтилен высокой плотности	140	200
Полипропилен	170	200
Винипласт	180	180...200
Оргстекло	180	220

Оптимальная величина температуры сварки находится опытным путем.

Цель данной работы – знакомство с технологией сварки, определение прочности получаемых соединений и нахождение оптимальной температуры нагревательного элемента при контактной сварке.

В процессе работы студенты знакомятся с оборудованием, производят сварку и испытание образцов, по результатам испытания определяют оптимальный режим сварки. Исследуется сварка одного из термопластов: оргстекла, винипласта, полиэтилена или полипропилена.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ОБОРУДОВАНИЕМ И ВЫЧЕРЧИВАНИЕ ЕГО СХЕМ

Ручная прутковая сварка газовым теплоносителем выполняется с помощью электровоздушной горелки (рис. 1).

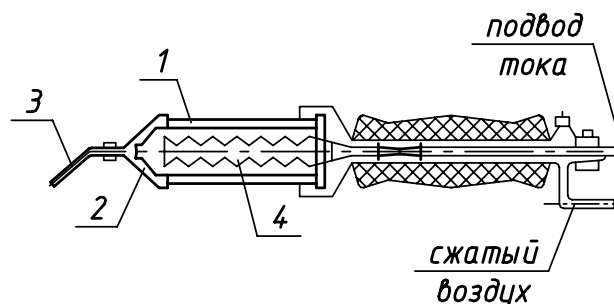


Рис. 1. Электровоздушная сварочная горелка

1 – корпус; 2 – наконечник; 3 – сопло; 4 – нихромовая спираль

В процессе сварки струя горячего воздуха из горелки нагревает соединяемые поверхности и присадочный материал, последний по мере размягчения вертикальным давлением руки подается в шов. Большая часть теплового потока при

этом способе сварки направляется на основной материал. Эта сварка удобна на монтаже, где отсутствует возможность перемещения свариваемых кромок.

Циклы стыковой сварки нагретым элементом показаны на рис. 2.

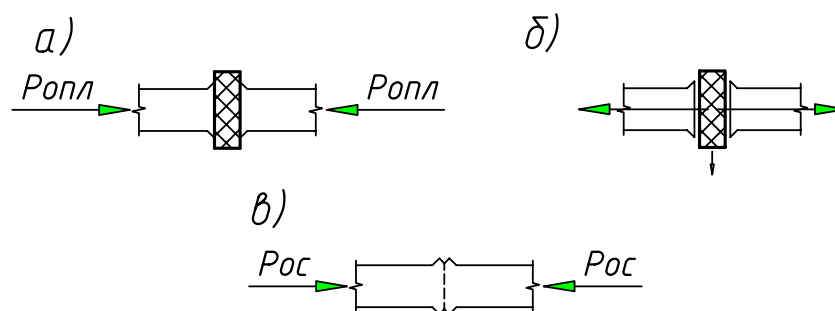


Рис. 2. Циклы контактной сварки с помощью нагретого элемента: а) нагрев (оплавление) свариваемых поверхностей; б) удаление нагревательного элемента (технологическая пауза); в) соединение (осадка) свариваемых поверхностей

СВАРКА И ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ

Ручной прутковой сваркой газовым теплоносителем свариваются по короткой стороне пластины из винипласта размером 80x100 мм каждая стыковым швом типа С-14 по ГОСТ 16310-80. Толщина винипласта 5...10 мм, разделка кромок – Х-образная, угол раскрытия кромок 60 ... 70⁰, притупление 0,5 ... 1 мм, зазор в корне шва до 0,5 мм. Для сварки применяются сварочные прутки диаметром 3 мм, температура горячего воздуха на выходе из сопла горелки (должна быть +240 °С) регулируется изменением расхода воздуха или изменением напряжения электрического тока на спирали и контролируется направлением струи воздуха из горелки на термопару, подключенную к милливольтметру, который проградуирован на температуру. После сварки и остывания шва вырезаются образцы шириной 15 мм без удаления усиления (выступов) шва.

Для сварки с помощью нагретого элемента применяется один из термопластов: винипласт, полиэтилен, оргстекло или полипропилен. Свариваются 3 образца с разной температурой нагревательного элемента. Градация температур 40 °С (температура нагревательного элемента регулируется изменением подаваемого на электронагреватель напряжения, контролируется смонтированной в нагревательном элементе термопарой с помощью милливольтметра).

Для сварки пластины термопласта закрепляют на ползунах, приводят в контакт с нагревательным элементом и выдерживают для оплавления кромок 30 с. Затем нагревательный элемент быстро убирают, нагретые поверхности термопласта сдавливают и удерживают под давлением в течение 60 с. Полученные соединенные пластины снимают с ползунов и разрезают на образцы шириной 15 мм. Поскольку для этого способа сварки мы оцениваем влияние технологии на прочность, то образцы должны быть идентичными, т.е. с зачищенными швами (со снятым усилением). Зачистка осуществляется рашпилем или наждачным кругом.

ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ

Образцы сварных соединений испытываются на растяжение на гидравлической или механической испытательной машине.

При испытаниях определяется разрушающая нагрузка и характер разрушения (вязкий, хрупкий, по шву, вне соединения и т.д.). Запись и вычисления ведут по форме табл. 2. Размеры образцов определяются в околошовной зоне. Для сравнения прочностных свойств соединений и основного материала дополнительно испытывается по одному образцу основного материала без шва (двойная лопатка типа 2 по ГОСТ 11262-80, см. лаб. раб. № 1).

По результатам испытания образцов, полученных сваркой контактным нагревом, строится график зависимости прочности соединения от температуры сварки. Возможный вариант этого графика приведен на рис. 3. По графику находят оптимальную температуру сварки. По результатам испытания определяют коэффициенты качества (коэффициенты прочности) сварных соединений, т.е. отношение прочности соединения к прочности основного материала.

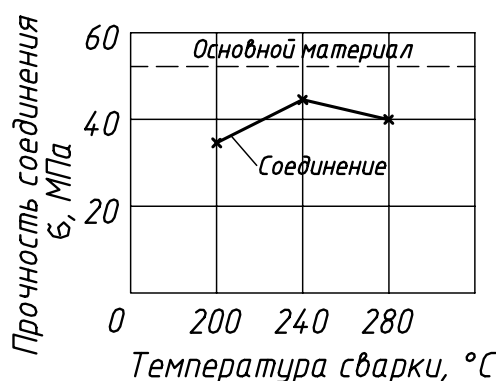


Рис. 3. График зависимости прочности соединения от температуры сварки

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете по лабораторной работе представляют: цель и задачи работы, схемы оборудования для сварки, журнал испытания сварных соединений и основного материала с необходимыми вычислениями, график зависимости прочности соединения от температуры сварки (для соединений, полученных сваркой нагретым элементом).

В выводах по результатам испытания необходимо указать установленную оптимальную температуру сварки и проанализировать величины полученных коэффициентов прочности сварных соединений.

Журнал испытания сварных соединений

Свариваемый материал	Способ сварки	Температура сварки, °С	Номер образца	Размеры образцов, мм		Разрушающая нагрузка, $P, Н$	Разрушающие напряжения $\sigma = P/vh$ Н/мм ² =МПа	Характер разрушения	Средние разрушающие напряжения Н/мм ² =МПа	Коэффициент прочности шва $K = \frac{\sigma_{cp}}{\sigma_{осн.мат}}$
				толщина h	ширина v					
Основной материал			1							
	Газовым теплоносителем		1							
			2							
			3							
Основной материал			1							
	Контактным нагревом		1							
			2							
			3							
			1							
			2							
			3							
			1							
			2							
			3							

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструкции из дерева и пластмасс. Учебник / М.М.Гаппоев, И.М.Гуськов, Л.К.Ермоленко и др. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – С. 132 – 138.
2. Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. пособие для студентов вузов/ Г.Н.Зубарев, Ф.А.Бойтемиров, В.М.Головина и др.; Под ред. Ю.Н.Хромца. – М.: «Академия», 2004. – С. 91 – 93.
3. Асташкин В.М. Элементы конструкций из пластмасс и их соединения: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С. 45 – 51.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие пластмассы могут соединяться методами тепловой сварки?
2. Каково должно быть состояние материала шва, при котором осуществляется сварка?
3. Какой должна быть температура сварки термопластов?
4. Какая сварка называется сваркой нагретым газом с присадочным материалом?
5. Как распределяют тепловой поток по свариваемым материалам при ручной сварке нагретым газом?
6. Какая сварка называется стыковой сваркой нагретым элементом?
7. Как подается присадочный пруток при сварке нагретым газом?
8. Какова последовательность операций стыковой сварки нагретым элементом?
9. При какой сварке происходит перемещение свариваемых листовых заготовок?
10. Как изменить температуру сварочного нагрева при сварке нагретым газом?
11. Как изменить температуру сварочного нагрева при сварке нагретым элементом?
12. Какой способ сварки обладает большей стабильностью параметров режима в процессе сварки?
13. По результатам каких испытаний производится определение коэффициента качества сварных швов?
14. Как определяется коэффициент качества сварного шва?
15. Как определяют оптимальную температуру сварки?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Значения критерия t распределения нормированных отклонений
в малой выборке для вероятности 0,95

Количество образцов N	При нормировании снизу (для R^H), t	При нормировании снизу и сверху (для E^H), t_1
3	2,92	4,30
4	2,33	3,18
5	2,13	2,78
6	2,02	2,57
7	1,94	2,45
8	1,90	2,37
9	1,86	2,30
10	1,83	2,26
20	1,73	2,09
40	1,68	2,02
60	1,67	2,00
120	1,66	1,98

Приложение 2

Нормативные характеристики $R_{табл}^H$ и $E_{табл}^H$ некоторых пластмасс

Пластмасса	Растяжение	Изгиб	
	R_p^H , МПа	R_u^H , МПа	E_u^H , МПа
Оргстекло	55	100	2800
Винипласт	55	100	2800
Стеклопластик на рубленом волокне	60	130	6000

Приложение 3

Расчетные сопротивления древесины сосны (кроме веймутовой), ели, лиственницы европейской и японской (из табл. 3 СНиП II–25–80)
(Для других пород – умножить на коэффициенты табл. 4. СНиП II–25–80)

Напряженное состояние и характеристика элементов	Обозначение	Расчетные сопротивления, МПа, для сортов древесины		
		1	2	3
1. Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон а) элементы прямоугольного сечения	$R_{л}, R_{с}, R_{см}$	14	13	8,5
4. Смятие поперек волокон местное: а) в опорных частях конструкции, лобовых врубках и узловых примыканиях элементов	$R_{см90}$	3	3	3
5. Скалывание вдоль волокон: в) в лобовых врубках для максимального напряжения	$R_{см}$	2,4	2,1	2,1

ПРИМЕЧАНИЕ. Расчетное сопротивление древесины смятию под углом α к направлению волокон определяется по формуле:

$$R_{см}^{\alpha} = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см90}} - 1 \right) \sin^3 \alpha}.$$

Приложение 4

Минимальные расстояния между осями нагелей и до конца элемента в зависимости от диаметра нагеля d (п. 5.18 и 5.21 СНиП II–25–80)

Вид нагелей	Вдоль волокон древесины		Поперек волокон древесины	
	между осями S_1	до торца S_1	между осями S_2	до торца S_3
Стальные цилиндрические	$7d$	$7d$	$3,5d$	$3d$
То же, при толщине пакета $v < 10d$	$6d$	$6d$	$3d$	$2,5d$
Гвозди при толщине пробиваемого элемента $c \geq 10d$	$15d$	$15d$	$4d$	$4d$
То же, при $c = 4$ (промежуточные значения по интерполяции)	$25d$	$15d$	$4d$	$4d$

Приложение 5

Расчетная несущая способность T гвоздей и стальных цилиндрических нагелей в соединении элементов из сосны или ели на один шов сплачивания –
– условный срез (из табл. 17 СНиП II-25-80)

Схемы соединений	Напряженное состояние соединений	T , кН
Симметричные	а) Смятие в средних элементах	$0,5 cd$
	б) Смятие в крайних элементах	$0,8 ad$
Несимметричные	а) Смятие во всех элементах равной толщины	$0,35 cd$
Симметричные и несимметричные	а) Изгиб гвоздей б) Изгиб нагеля из стали С38/23	$2,5d^2 + 0,01a^2 \leq 4d$ $1,8d^2 + 0,02a^2 \leq 2,5d^2$

ПРИМЕЧАНИЕ: c – толщина средних элементов, а также равных по толщине или более толстых элементов односрезных соединений; a – толщина крайних элементов; d – диаметр нагеля; все размеры – в сантиметрах.

Приложение 6

Значение коэффициентов k_w и $k_{жс}$, учитывающих податливость связей при расчете составных изгибаемых элементов (из табл. 13 СНиП II-25-80)

Обозначения коэффициентов	Число слоев в элементе	Значения коэффициентов при пролетах, м		
		1	2	3
k_w	2	0,60	0,70	0,85
	3	0,45	0,60	0,80
$k_{жс}$	2	0,30	0,45	0,65
	3	0,10	0,25	0,50

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа №1. Механические свойства материалов и их нормирование	4
Лабораторная работа №2. Прогнозирование длительного сопротивления жестких пластмасс	11
Лабораторная работа №3. Исследование работы соединения деревянных элементов на врубке	16
Лабораторная работа №4. Исследование работы нагельного соединения.....	22
Лабораторная работа №5. Исследование работы составного изгибаемого элемента на податливых связях	27
Лабораторная работа №6. Технология сварки листовых термопластов газовым теплоносителем и нагретым элементом. Определение прочности сварных соединений	33
Приложения	39

Техн. редактор А.В.Миних

Издательство Южно-Уральского государственного
университета

Подписано в печать 22.03.2006. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,78. Заказ 65.