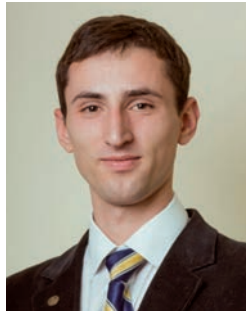




УДК 624.078.4123



ДЕМЧИНА Б.Г.
Д-р технічних наук, проф.,
Національний університет
"Львівська політехніка", Інститут
будівництва та інженерії довкілля,
м. Львів, Україна
e-mail: bogdan195809@gmail.com,
тел. +38 (067) 371-01-59
ORCID: 0000-0002-3498-1519



СУРМАЙ М.І.
Канд. технічних наук, асист.,
Національний університет
"Львівська політехніка", Інститут
будівництва та інженерії
довкілля, м. Львів, Україна
e-mail: mychajlo_surmaj@ukr.net
тел. +38 (096) 426-27-17
ORCID: 0000-0002-5381-6500



ШИДЛОВСЬКИЙ Я.М.
Аспірант, Національний
університет "Львівська політехніка",
Інститут будівництва та інженерії
довкілля, м. Львів, Україна
e-mail: shydlovskuy@gmail.com,
тел. +38 (067) 854-78-01
ORCID: 0000-0002-6021-3310



ДОБУШОВСЬКА А.С.
Магістр, Національний університет
"Львівська політехніка", Інститут
будівництва та інженерії довкілля,
м. Львів, Україна
e-mail: anndobush@gmail.com,
тел. +38 (050) 566-90-72
ORCID: 0000-0002-4812-9204

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК З'ЄДНАНЬ ДЕРЕВ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА МЕТАЛЕВИХ ЗУБЧАТИХ ПЛАСТИНАХ

АНОТАЦІЯ

У даній статті представлено результати експериментальних досліджень з'єднань дерев'яних елементів на металозубчатих пластинах. Експериментальні зразки з'єднань були виготовлені з двох соснових дошок із перерізом 100x40 мм, з'єднаних з обох сторін металозубчатими пластинами завтовшки 1,2 мм. Пластини запресовані в дерево в лабораторних умовах за допомогою пресу. Розроблено програму експериментальних досліджень, до якої входили випробування зразків на розтяг та стиск. Виготовлено та випробувано чотири серії дослідних зразків. Три серії з'єднань на металевих зубчатих пластинах випробувано на розтяг, одна – на стиск. Всього випробувано дев'ять зразків на розтяг, по три в кожній серії, та чотири зразки на стиск. Дві серії на розтяг із розмірами пластин 100x77 мм та 75x77 мм випробувані для визначення граничного навантаження анкерування зубчатої пластини, третя серія – з розмірами пластин 200x77 мм, випробувана для визначення граничного навантаження зубчатої пластини на розтяг. Відповідно до вимог, дослідні зразки для випробування на розтяг виготовлені зі стиком 2 мм між дерев'яними елементами, зразки на стиск виготовлені зі стиком 4 мм. Дослідні зразки для випробування на розтяг були приєднані до розривної машини через металеві деталі з шарнірами. Для вимірювання абсолютних деформацій з'єднання використано два індикатори го-

динникового типу. Випробування на розтяг проводилось до повного руйнування зразків. При випробуваннях на стиск, дослідний зразок вважався зруйнованим після закриття стику між дошками, що дорівнювало абсолютній деформації в 4 мм. Після кожного етапу прикладання зусилля була витримка до припинення росту абсолютних деформацій. На основі отриманих результатів побудовано графіки залежності абсолютних деформацій з'єднання від прикладеного навантаження, визначено граничне навантаження анкерування зубчатої пластини $f_{a,0,0} = 1,359$ Н/мм², граничне навантаження зубчатої пластини на розтяг $f_{t,0} = 150,648$ Н/мм, та граничне навантаження зубчатої пластини на стиск $f_{c,0} = 120,675$ Н/мм.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: металозубчата пластина, випробування, дерев'яні конструкції.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЛАСТИНАХ

ДЕМЧИНА Б.Г. Д-р технических наук, проф.,
Національний університет «Львовская
политехника», Інститут строительства и
инженерии окружающей среды, г. Львов, Украина,
e-mail: bogdan195809@gmail.com,
тел.: +38 (067) 371-01-59,
ORCID: 0000-0002-3498-1519



СУРМАЙ М.И. Канд. технических наук, ассистент, Национальный университет «Львовская политехника», Институт строительства и инженерии окружающей среды, г. Львов, Украина, e-mail: mychajlo_surmaj@ukr.net, тел.: +38 (096) 426-27-17, ORCID: 0000-0002-5381-6500

ШИДЛОВСКИЙ Я.М. Аспирант, Национальный университет «Львовская политехника», Институт строительства и инженерии окружающей среды, г. Львов, Украина, e-mail: shydlovskuy@gmail.com, тел.: +38 (067) 854-78-01, ORCID: 0000-0002-6021-3310

ДОБУШОВСКАЯ А.С. Магистр, Национальный университет «Львовская политехника», Институт строительства и инженерии окружающей среды, г. Львов, Украина, e-mail: anndobush@gmail.com, тел.: +38 (050) 566-90-72, ORCID: 0000-0002-4812-9204

АННОТАЦИЯ

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований соединений деревянных элементов на металлозубчатых пластинах. Экспериментальные образцы соединений изготовлены из двух сосновых досок сечением 100x40 мм, соединенных с обеих сторон металлозубчатыми пластинами толщиной 1,2 мм. Пластины запрессованы в дерево в лабораторных условиях с помощью прессы. Разработана программа экспериментальных исследований, в которую входили испытания образцов на растяжение и сжатие. Изготовлено и испытано четыре серии опытных образцов. Три серии соединений на металлических зубчатых пластинах испытаны на растяжение, одна - на сжатие. Всего испытано девять образцов на растяжение, по три в каждой серии, и четыре образца на сжатие. Две серии на растяжение с размерами пластин 100x77 мм и 75x77 мм испытаны для определения предельной нагрузки анкеровки зубчатой пластины, третья серия - с размерами пластин 200x77 мм, испытана для определения предельной нагрузки зубчатой пластины на растяжение. В соответствии с требованиями, опытные образцы для испытания на растяжение изготовлены со стыком 2 мм между деревянными элементами, образцы на сжатие изготовлены со стыком 4 мм. Опытные образцы для испытания на растяжение были присоединены к разрывной машине через металлические детали с шарнирами. Для измерения абсолютных деформаций соединения использовано два индикатора часового типа. Испытания на растяжение проводили до полного разрушения образцов. При испытании на сжатие, опытный образец считался разрушенным после закрытия стыка между досками, равно абсолютной деформации в 4 мм. После каждого этапа приложения усилия была выдержка к прекращению

роста абсолютных деформаций. На основе полученных результатов построены графики зависимости абсолютных деформаций соединения от приложенной нагрузки, определены предельная нагрузка анкеровки зубчатой пластины $f_{a,0} = 1,359$ Н/мм², предельная нагрузка зубчатой пластины на растяжение $f_{t,0} = 150,648$ Н/мм и предельная нагрузка зубчатой пластины на сжатие $f_{c,0} = 120,675$ Н/мм.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: металлозубчатая пластина, испытания, деревянные конструкции.

STUDY OF JOINTS OF WOODEN ELEMENTS MADE WITH PUNCHED METAL PLATE FASTENERS

DEMCHYNA B.G. Dr, Prof., Lviv Polytechnic National University, Institute of Building and Environmental Engineering, e-mail: bogdan195809@gmail.com, тел.: +38 (067) 371-01-59, ORCID: 0000-0002-3498-1519

SURMAI M.I. Ph.D., Lviv Polytechnic National University, Institute of Building and Environmental Engineering, e-mail: mychajlo_surmaj@ukr.net, тел.: +38 (096) 426-27-17, ORCID: 0000-0002-5381-6500

SHYDLOVSKYI Y.M. PG student, Lviv Polytechnic National University, Institute of Building and Environmental Engineering, e-mail: shydlovskuy@gmail.com, тел.: +38 (067) 854-78-01, ORCID: 0000-0002-6021-3310

DOBUSHOVSKA A.S. Master, Lviv Polytechnic National University, Institute of Building and Environmental Engineering, e-mail: anndobush@gmail.com, тел.: +38 (050) 566-90-72, ORCID: 0000-0002-4812-9204

ABSTRACT

In this article the results of experimental study of joints made with punched metal plate fasteners are presented. The experimental samples of joints were made of two pine boards with a cross section of 100x40 mm, connected on two sides by punched metal plate fasteners with a thickness of 1,2 mm. The fasteners were pressed into a boards in a laboratory using a press. A program of experimental studies was developed, which included testing prototype samples for tension and compression. Four series of prototypes were designed and tested. Three series of joints made with punched fasteners were tested for tension, one for compression. In total nine prototypes were tested for tension, three per each series and four prototypes were tested for compression. Two series for tension test were for determining the fastener anchorage capacity and had plates with length of 100x77 mm and 75x77 mm, other one - for determining fastener tension capacity were made by 200x77 mm long fasteners. According



to requirements, samples for tensile testing were made with a clearance between wooden elements of 2 mm, samples for compression testing had a gap of 4 mm. To measure absolute deformations of the connection, two indicators of the clock type were installed on each sample. For tension the samples were tested until complete destruction. For compression, the samples were considered destroyed after closing the gap between the wooden elements, which is equal to the absolute deformation of 4 mm. Samples which were tested on the tension were attached to the bursting machine through special metal elements with a hinges. At each stage of the load, the samples were stood until the absolute deformations were stabilized. On the basis of the obtained results, the graphs of the dependence of absolute deformations of the connection to the applied load were drawn. Also were determined the fastener anchorage capacity, the fastener tension capacity and the fastener compression capacity. The fastener anchorage capacity for tested prototypes was 1,359 N/mm², the fastener tension capacity – 150,648 N/mm and the fastener compression capacity was determined 120,675 N/mm.

KEY WORDS: punched metal plate fasteners, experimental study, wooden constructions.

ВСТУП

Використання з'єднань дерев'яних елементів на металозубчатих пластинах показало ефективність, зручність монтажу та надійність в конструкціях покриття. В кінцевому результаті такі конструкції є економічно вигіднішими порівняно з іншими. Проте, в нормативних документах України не висвітлено повністю методику розрахунку та проектування з'єднань на таких пластинах, що стримує їх широке використання. Метою даних досліджень є визначення фізико-механічних характеристик з'єднань дерев'яних елементів на металевих зубчатих пластинах.

КОНСТРУЮВАННЯ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ

Дослідні зразки виготовлені з двох дошок із сосни 1-го сорту перерізом 100x40 мм, з'єднані з двох сторін металевими зубчатими пластинами (рис. 1) завтовшки 1,2 мм. Для дотримання стику між дерев'яними елементами згідно з вимогами [1] до початку запресування пластини з'єднували за допомогою кондуктора (рис. 2). Розміри зразків вибрані згідно з вимогами [1].

До розривної машини дослідні зразки закріплювали через спеціальні вузли з шарнірами, які були закріплені чотирма болтами М10 з кожної сторони зразка. Загальний вигляд та схеми випробувальних установок для дослідження зразків подані на рис. 3. та рис. 4.

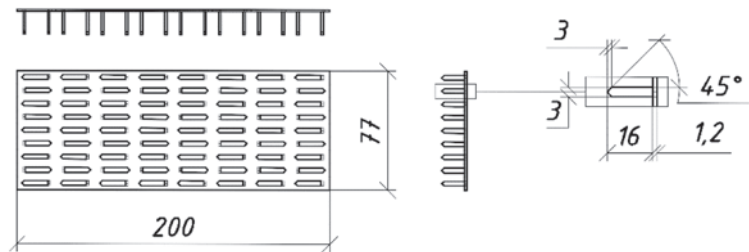


Рис. 1. Металева зубчата пластина

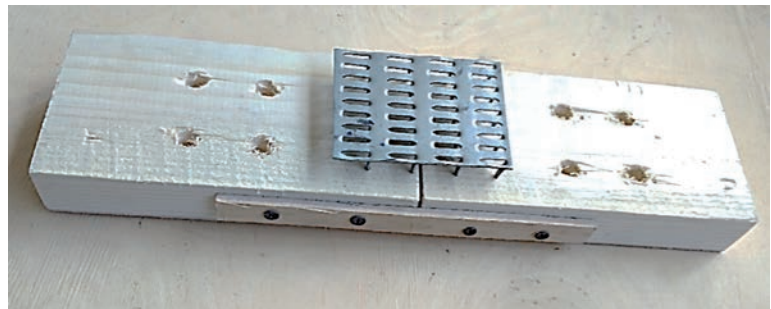


Рис. 2. Кондуктор для влаштування стику між дерев'яними елементами

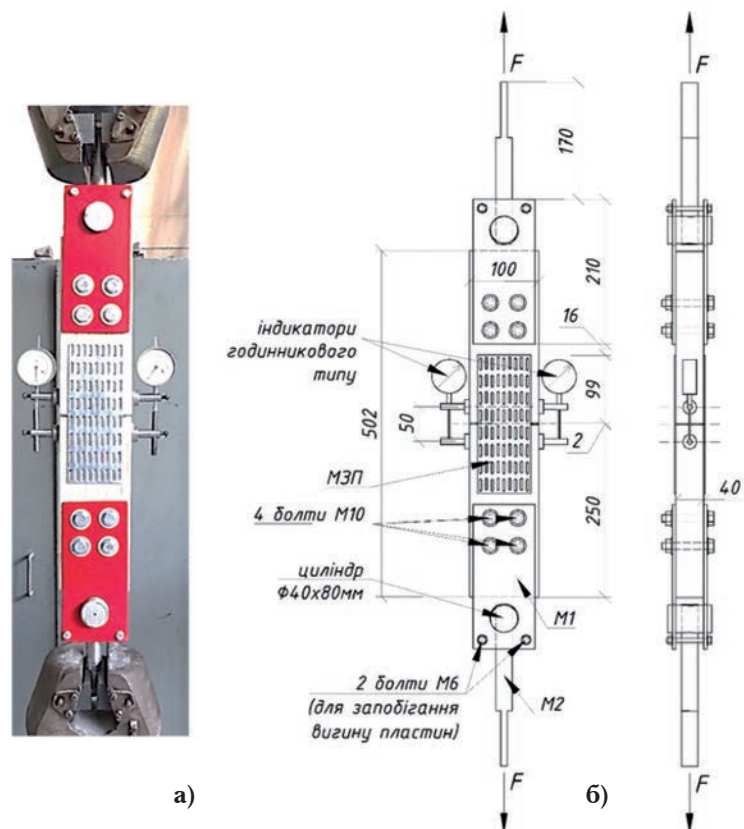


Рис. 3. Випробувальна установка для дослідження зразків на розтяг: а) загальний вид установки; б) схема установки



МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Для дослідження з'єднань на металевих зубчатих пластинах було розроблено програму експериментальних досліджень (табл. 1), яка передбачала проведення випробування дослідних зразків на розтяг та стиск. Дослідні зразки з'єднань на метало-зубчатих пластинах були випробувані на розтяг на розривній машині типу Р-20 у вертикальному положенні з шарнірним закріпленням на кінцях (рис. 3). Випробування на стиск проводили на пресі 2ПГ-100 (рис. 4).

Випробування на розтяг проводили для визначення:

- граничного значення анкерування металевих зубчатих пластин (руйнування по висмикуванню зубів пластини);
- граничного навантаження зубчатої пластини (руйнування по матеріалу пластини).

За результатами дослідження встановлювали навантаження анкерування $f_{a,0,0}$, міцність пластин на розтяг $f_{t,0}$ та міцність на стиск $f_{c,0}$.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Граничне навантаження анкерування

Граничне навантаження анкерування зубчатої пластини з розрахунку на одиницю площі для кутів $\alpha=0^\circ$, Н/мм², визначалося за формулою:

$$f_{a,0,0} = (F_{a,0,0,max} / 2A_{ef}) \cdot (\rho_k / \rho)^c, \quad (1)$$

де: $F_{a,0,0,max}$ – максимальне навантаження, Н;

A_{ef} – ефективна площа прилягання зубчатої пластини (рис. 5), мм²;

ρ – щільність деревини, де відбулося руйнування, кг/м³;

ρ_k – характеристична щільність деревини або сортувальний клас деревини, з яким необхідно порівняти результати, кг/м³;

$c=0$ – безрозмірний параметр за [2].

У табл. 2 представлено експериментальні значення несучої здатності (граничного навантаження анкерування) дослідних зразків серії Т-100 та Т-75. На рис. 6 представлено графіки залежності абсолютних деформацій з'єднання від навантаження дослідних зразків серії Т-100.

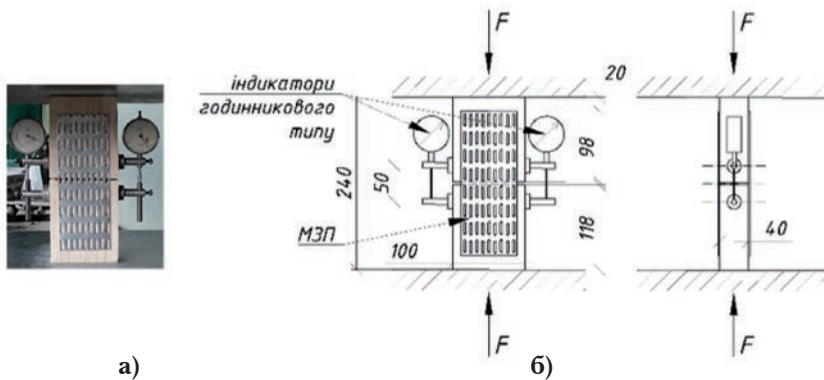


Рис. 4. Випробувальна установка для дослідження зразків на стиск: а) загальний вид установки; б) схема установки

Таблиця 1. Програма експериментальних досліджень

Вид навантаження	Досліджуване навантаження	Серія зразків	Маркування зразків	Розміри зубчатої пластини, мм
розтяг	анкерування зубчатої пластини	Т-75	Т-75.1	75x77
			Т-75.2	
			Т-75.3	
	навантаження на зубчату пластину	Т-100	Т-100.1	100x77
			Т-100.2	
			Т-100.3	
стиск	навантаження на зубчату пластину	С-200	Т-200.1	200x77
			Т-200.2	
			Т-200.3	
			С-200.1	
С-200.1				
С-200.3				
С-200.4				

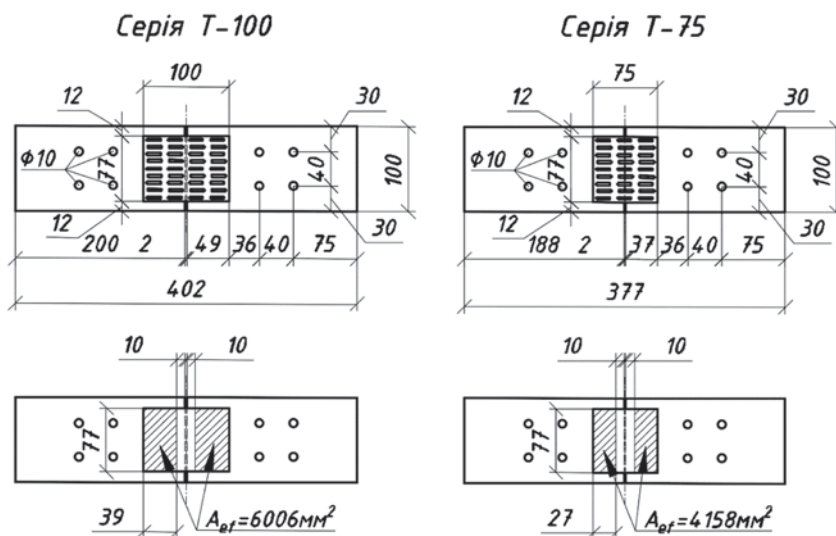


Рис. 5. Схеми дослідних зразків для визначення анкерування зубчатої пластини з ефективними (робочими) ділянками пластин (A_{ef})



Вигляд зразків серії Т-100 після випробування представлено на рис. 7.

Вигляд зруйнованих зразків серії Т-100 представлено на рис. 7. Два зразки даної серії було зруйновано внаслідок зминання деревини та висмикування зубів металозубчатої пластини, один зразок – внаслідок зминання деревини та зрізу зубів пластини.

На рис. 8. представлено залежність абсолютних деформацій з'єднання від навантаження дослідних зразків серії Т-75.

Вигляд зруйнованих зразків серії Т-75 показано на рис. 9. Всі три зразки були зруйновані внаслідок зминання деревини та висмикування зубів металозубчатої пластини.

Граничне навантаження зубчатої пластини при розтягу

Граничне навантаження зубчатої пластини при розтягу для кута $\alpha=0^\circ$, Н/мм розраховано за формулою:

$$f_{t,0} = \frac{(F_{t,0,max} t_{cor,d} f_{t,k})}{(2 l_j t_{act} f_{t,act})}, \quad (2)$$

де: $F_{t,0,max}$ – максимальне навантаження, Н;

$l_j=77$ мм – довжина пластини по лінії з'єднання;

$t_{cor,d}=0,779$ мм – розрахункове значення товщини зубчатої пластини;

$t_{act}=1,2$ мм – фактичне значення товщини зубчатої пластини;

$f_{t,k}=300$ Н/мм² – характеристичне значення межі міцності при розтягу матеріалу зубчатої пластини [3];

$f_{t,act}=305$ Н/мм² – фактична межа міцності при розтягу матеріалу зубчатої пластини.

Схему зразка серії Т-200 для дослідження навантаження на зубчату пластину представлено на рис. 10.

У табл. 3 представлено значення несучої здатності (граничного навантаження зубчатої пластини на розтяг) зразків серії Т-200.

На рис. 11 представлено залежність абсолютних деформацій з'єднання від навантаження зразків серії Т-200.

Вигляд зруйнованих зразків серії Т-200 показано на рис. 12. Усі зразки даної серії були зруйновані по матеріалу металозубчатої пластини.

Таблиця 2. Несуча здатність зразків для визначення анкерування зубчатої пластини

Марка зразка	Максимальне навантаження, $F_{a,0,0}$, Н	Навантаження анкерування, $f_{a,0,0}$, Н/мм ²
Т-100.1	17000	1,415
Т-100.2	18000	1,499
Т-100.3	16000	1,332
Т-75.1	11500	1,383
Т-75.2	11000	1,323
Т-75.3	10000	1,203
середнє		1,359

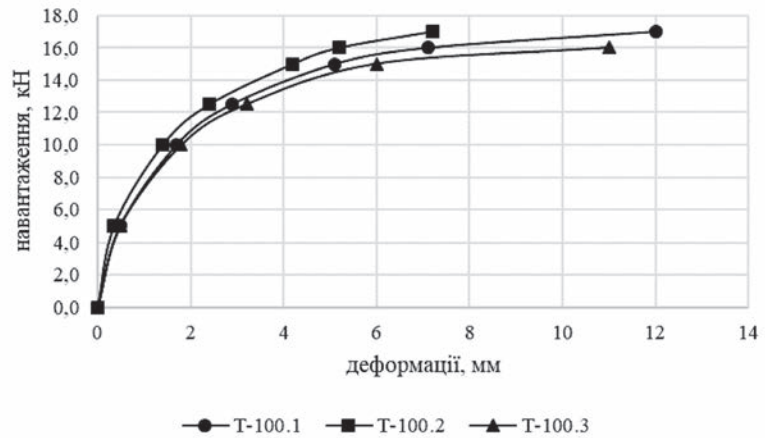


Рис. 6. Залежність абсолютних деформацій з'єднання від навантаження зразків із розміром пластини 100x77 мм

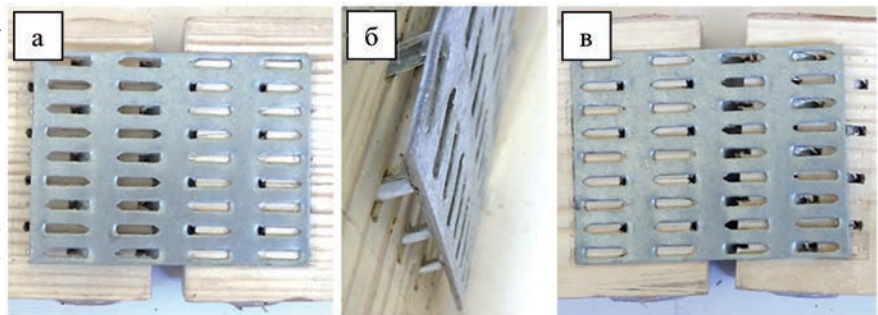


Рис. 7. Вигляд зруйнованих зразків із розміром пластини 100x77 мм: а) Т-100.1; б) Т-100.2; в) Т-100.3

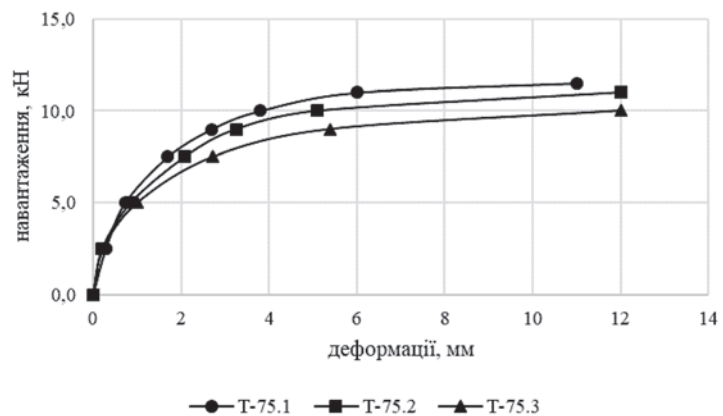


Рис. 8. Залежність абсолютних деформацій з'єднання від навантаження зразків з розміром пластини 75x77 мм

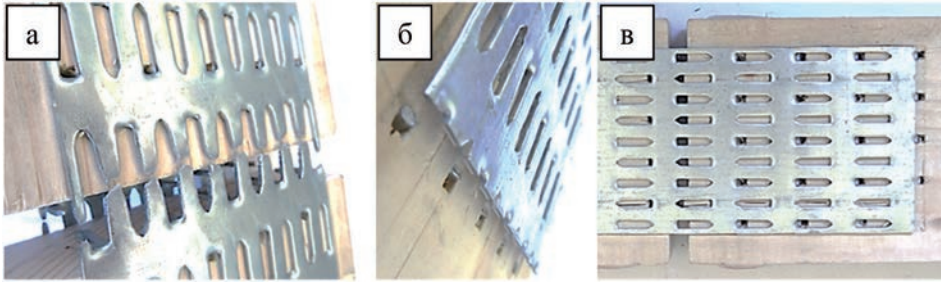


Рис. 12. Вигляд зруйнованих зразків із розміром пластини 200x77 мм: а) Т-200.1; б) Т-200.2; в) Т-200.3

Таблиця 4. Несуча здатність зразків для дослідження навантаження на зубчасту пластину на стиск

Марка зразка	Максимальне навантаження, $F_{c,0,max}$, Н	Міцність на стиск, $f_{c,0}$, Н/мм
C-200.1	28750	106,649
C-200.2	27500	102,012
C-200.3	37000	137,252
C-200.4	36875	136,789
середнє	32531	120,675

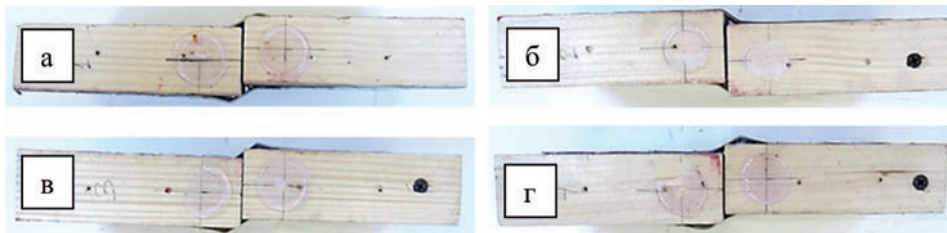


Рис. 13. Вид руйнування зразків із розміром пластини 200x77 мм: а) С-200.1; б) С-200.2; в) С-200.3; г) С-200.4

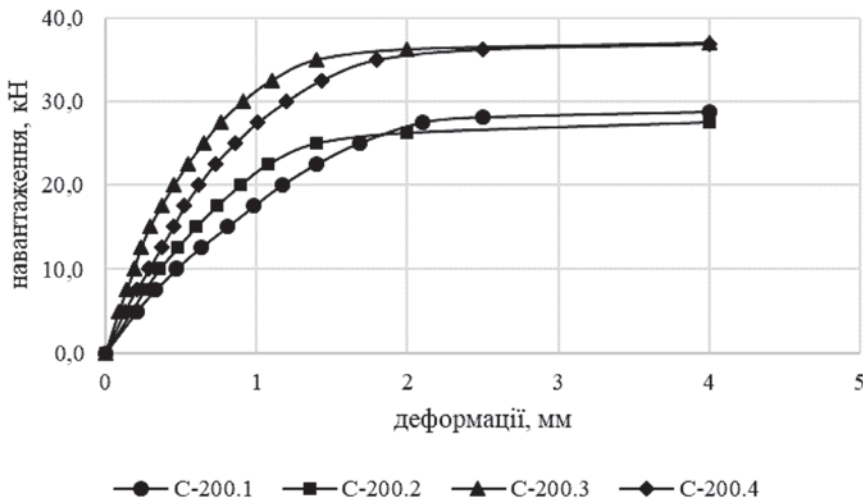


Рис. 14. Залежність абсолютних деформацій з'єднання від навантаження дослідних зразків із розміром пластини 200x77 мм

2. British Standart EN 28970:1991 Timber structures. Testing of joints made with mechanical fasteners. Requirements for wood density. – 12 p. (Дерев'яні конструкції - Випробування з'єднань, зроблених за допомогою механічних кріплень - Вимоги по щільності деревини).

3. British Standart EN 10147:2000 Continuously hot-dip zinc coated structural steels strip and sheet - technical delivery conditions. – 24 p. (Сталь конструкційна холодова і тонколистова з покриттям, нанесеним безперервним методом гарячого цинкування. Технічні умови поставання).

REFERENCES

1. Timber structures. Test methods. Joints made with punched metal plate fasteners : DSTU B EN 1075:2011. - [Valid from 2013-01-01]. – Kyiv: SE “Ukrarhbudinform”, 2011. – 23 p. (National Standard of Ukraine) [in Ukrainian].

2. British Standart EN 28970:1991 Timber structures. Testing of joints made with mechanical fasteners. Requirements for wood density. – 12 p.

3. British Standart EN 10147:2000 Continuously hot-dip zinc coated structural steels strip and sheet - technical delivery conditions. – 24 p.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2017.