

УДК 624.014.2

Гоголь М.В., Петренко О.В.

НУ “Львівська політехніка”, кафедра будівельного виробництва

## ВПЛИВ ПОДАТЛИВОСТІ З’ЄДНАНЬ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ КОМПЛЕКСНИХ КОНСТРУКЦІЙ

© Гоголь М.В., Петренко О.В., 2000

**Розглядається можливість врахування податливості з’єднань сталевих тонкостінних холодногнутих несучих елементів з обшивкою при розрахунку комплексних конструкцій каркасно-обшивного типу.**

Аналіз практики застосування каркасно-обшивних конструкцій показує, що серед видів з’єднань тонкостінних сталевих елементів каркасу з плитною неметалевою обшивкою найбільшого розповсюдження набули самопросвердлюючі шурупи (СШ) та комбіновані заклепки. Такі з’єднання характеризуються певною податливістю на зсув, тобто допускають можливість взаємного зсуву суміжних волокон з’єднаних частин. При визначенні несучої здатності каркасно-обшивних конструкцій, у яких дерев’яні елементи каркасу з’єдані з обшивкою податливим з’єднанням без приклеювання, норми [1] не рекомендують враховувати сумісну роботу обшивки з елементами каркасу.

Проте в [2] показано, що на відміну від з’єднань зсуву дерев’яних елементів, з’єднанню металевому і дерев’яного елемента властива значно менша податливість внаслідок особливого внутрішнього перерозподілу зусиль. Тому в каркасно-обшивних конструкціях, що складаються з тонкостінних сталевих елементів каркасу та плитної неметалевої обшивки, припускаємо наявність їх сумісної роботи. Ступінь включення обшивки в сумісну роботу з елементами каркасу залежить від механічних характеристик обшивки і несучої здатності та податливості з’єднання сталевих елементів з обшивкою. При достатньо високій несучій здатності та незначній податливості з’єднань, а також при відповідних механічних характеристиках обшивки, вплив сумісної роботи на несучу здатність каркасно-обшивної конструкції може бути суттєвим. Врахування сумісної роботи обшивки з каркасом при розрахунку комплексних каркасно-обшивних конструкцій може становити значний резерв несучої здатності таких конструкцій. Для визначення ступеня цієї сумісної роботи необхідно встановити несучу здатність та податливість з’єднань обшивки з каркасом при роботі на зсув. Характеристикою податливості групи елементів з’єднання зсуву при визначенні згинального моменту  $M$  та поздовжніх сил  $N$  (формули (2), (3)) є коефіцієнт жорсткості з’єднання  $\xi$  (формула (1) згідно з [3]).

$$\xi = \frac{N_1 m}{\Delta_{\Pi}}, \quad (1)$$

де  $N_1$  – зсуваюче зусилля, що припадає на один елемент з’єднання,  $m$  – кількість елементів з’єднання,  $\Delta_{\Pi}$  – деформація взаємного зсуву суміжних волокон обшивки і елемента каркасу, з’єднаних зв’язками зсуву.

$$M = -\frac{\sum EI}{\xi \times c} \times T'' - \left( c - \frac{\sum EI \times \gamma}{c} \right) \times T, \quad (2)$$

$$N = \pm T, \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{1}{E_{\text{обш}} A_{\text{обш}}} + \frac{1}{E_c A_c}, \quad (4)$$

де  $s$  – відстань між центрами ваги обшивки й елемента каркасу,  $T$  – зсуваюче зусилля між обшивкою й елементом каркасу.

При втраті місцевої стійкості стінки або стиснутої полиці несуча здатність тонкостінного елемента не вичерпується і він продовжує працювати в надкритичній стадії [4]. Особливістю роботи в надкритичній стадії є перерозподіл напружень внаслідок втрати місцевої стійкості, а також підвищена деформативність згинаної конструкції. Втрата несучої здатності тонкостінного згинаного елемента (руйнування або провисання) відбувається внаслідок наростання пластичних деформацій в стиснутій полиці, причому ці деформації при втраті несучої здатності можуть становити  $\epsilon = \sigma/E = 0.15\%$ . Для матеріалу обшивки при її руйнуванні відносна деформація становить  $\epsilon = R_{\text{обш}}/E_{\text{обш}} = 0.2 \dots 1.5\%$  залежно від виду обшивки. Тому навіть при відсутності взаємного зсуву суміжних волокон обшивки і каркасу напруження в обшивці не досягають граничних значень міцності при руйнуванні елемента каркасу. При податливості з'єднань зсуву напруження в обшивці, очевидно, будуть ще меншими.

Тому для розрахунку комплексних конструкцій з врахуванням сумісної роботи обшивки і ТГЕ необхідно визначити залежність податливості з'єднань від зсуваючих зусиль.

Для визначення коефіцієнта жорсткості різних типів з'єднання залежно від навантаження були проведені експериментальні дослідження серії модельних зразків. Кожен дослідний зразок (рис.1) являв собою дві сталеві пластини товщиною  $t = 0.7$  мм,

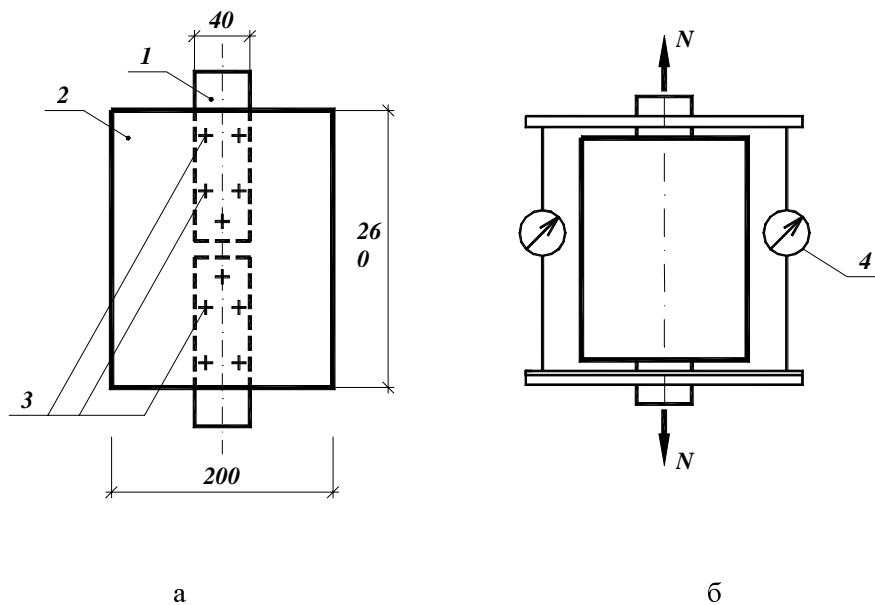


Рис.1. Конструкція (а) та схема випробування (б) зразків для визначення податливості групи з 10 елементів з'єднання:

- 1 – сталеві пластини  $t = 0.7$  мм; 2 – обшивка (ГК 12.5 мм фірми Knauf); 3 – елементи з'єднання пластини з обшивкою: шурупи СШ  $\varnothing 3.5$  мм, болти М4, заклепки КЗ  $\varnothing 3.2$  мм;
- 4 – індикатор ИЧ-0.01 для вимірювання деформацій з'єднання

Результати випробування дослідних зразків приведено в таблиці та на рис.2.

## Результати випробування на податливість групи з 10 елементів з'єднання

Вид з'єднання	Показники при руйнуванні				Показники при деформації $\Delta = 0.5$ мм		
	Зусилля $N$ , кН	напруж. $\sigma$ , МПа	Деформація $\Delta$ , мм	коэф. жорст. $\xi$ , кН/мм	Зусилля $N$ , кН	напруж. $\sigma$ , МПа	коэф. жорст. $\xi$ , кН/мм
Шурупи СШ $\varnothing$ 3.5	3.5	8.0	2.5	1.4	2.5	5.7	5.0
Болти М4	4.5	9.0	3.0	1.5	1.15	2.3	2.3
Заклепки КЗ $\varnothing$ 3.2	3.0	7.5	2.5	1.2	0.85	2.125	1.7

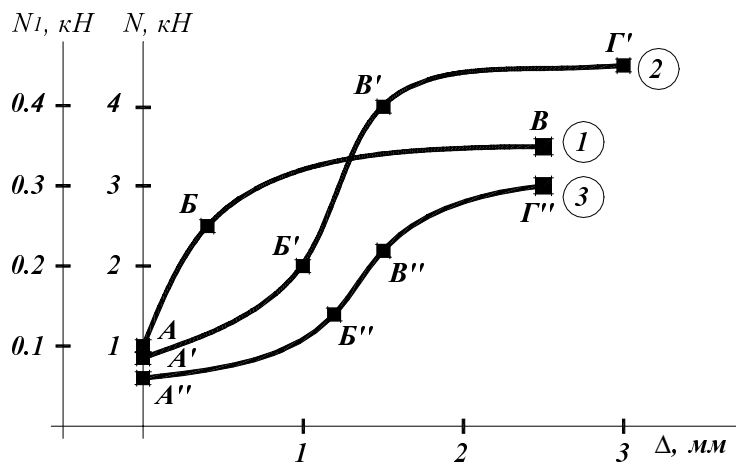


Рис.2. Діаграма  $N$ - $\Delta$  групи з 10 елементів з'єднання ТГЕ 0.7 мм з Г/К-плитою 12.5 мм ( $N_1$ - $\Delta$  для одного елемента з'єднання):

1 – шурупи СШ  $\varnothing$  3.5 мм; 2 – болти М4 (отвір  $\varnothing$ 4.2мм); 3 – заклепки КЗ  $\varnothing$  3.2мм (отвір  $\varnothing$  3.5мм.)

Проведені експериментальні дослідження показали:

1. Для всіх досліджуваних видів з'єднання зафіксовано відсутність деформацій зсуву в межах ділянок О-А (рис.2), що, очевидно, може пояснюватись впливом сил тертя. Діаграма  $N$ - $\Delta$  для з'єднання на шурупах СШ  $\varnothing$  3.5 мм на ділянці пружної роботи А-Б (при сталому коефіцієнті жорсткості  $\xi$ ) являє собою пряму. Наростання пластичних деформацій починається при  $\Delta = 0.4$  мм,  $N = 2.5$  кН. Границя міцності групи СШ  $\varnothing$  3.5 мм становить  $N = 3.5$  кН при  $\Delta = 2.5$  мм.

2. Діаграма  $N$ - $\Delta$  групи болтів М4 під отвір  $\varnothing$ 4.2 мм (групи заклепок КЗ  $\varnothing$ 3.2 мм під отвір  $\varnothing$ 3.5 мм) характеризується наявністю двох ділянок підвищеної деформативності: А'-Б' (А''-Б'') при послідовному включенні в роботу всіх елементів з'єднання і В'-Г' (В''-Г'') при послідовному їх переході до пластичної роботи внаслідок змінання матеріалу обшивки. Руйнуюче навантаження становить  $N = 4.5$  кН (3.0 кН) при деформаціях 3 мм (2.5 мм).

3. При збільшенні навантаження коефіцієнт жорсткості групи з'єднань зменшується: для шурупів СШ  $\varnothing$  3.5 від 85 до 1.4 кН/см; для болтів М4 під отвір  $\varnothing$ 4.2 мм від 13.5 до 1.5 кН/см; для заклепок КЗ  $\varnothing$ 3.2 мм під отвір  $\varnothing$ 3.5 мм від 7.5 до 1.2 кН/см.

На графіку рис.2 показано також залежність  $N_1$ - $\Delta$  для одного елемента з'єднання, за допомогою якої можна визначати несучу здатність з'єднання при заданій податливості.

Така залежність може бути використана при розрахунку каркасно-обшивної конструкції з врахуванням сумісної роботи сталевих елементів і обшивки при податливих з'єднаннях. Як показують розрахунки, для ефективної сумісної роботи згинаної каркасно-обшивної конструкції податливість з'єднань на половині прольоту не повина перевищувати граничних деформацій  $\varepsilon = 0.15 \%$  при втраті несучої здатності тонкостінного сталевих елемента. Наприклад, для балки прольотом 3 м податливість з'єднань на половині прольоту не повинна перевищувати  $\Delta = \varepsilon l/2 = 0.15 \% \cdot 3 \text{ м}/2 = 2.25 \text{ мм}$ . Задавшись податливістю з'єднань 0.5 мм, крок елементів з'єднання (СШ  $\varnothing 3.5 \text{ мм}$ ) визначаємо з рис.2, виходячи з несучої здатності одного елемента з'єднання 0.25 кН. При цьому коефіцієнт жорсткості з'єднання становитиме:

$$\xi = \frac{N_1 m}{\Delta} = \frac{0.25}{0.5 \times 10^{-3}} \times m,$$

де  $m$  – кількість елементів з'єднання на припорній чверті прольоту балки – в зоні максимальної дії зсуваючих зусиль.

Після проведених експериментально-теоретичних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Розрахунок комплексних конструкцій каркасно-обшивного типу зі сталевим тонкостінним каркасом слід проводити з врахуванням податливості з'єднань обшивки і каркасу. Податливість з'єднання може бути врахована коефіцієнтом жорсткості  $\xi$ , який входить у розрахункові формули для визначення внутрішніх зусиль та напружень в комплексній конструкції.

2. Крок елементів з'єднання (їх несуча здатність) може бути визначений залежно від попередньо заданої податливості за графіками експериментальної залежності  $N-\Delta$ . Такий метод проектування з'єднань потребує експериментального підтвердження випробуванням зразків згинаних комплексних конструкцій.

3. Залежність податливості від навантаження є пропорційною для з'єднань, у яких діаметр отвору не перевищує діаметра з'єднувального елемента (наприклад, самопросвердлюючі шурупи). Для з'єднань з попереднім влаштуванням отвору більшого діаметра залежність податливості від навантаження містить дві ділянки з підвищеною деформативністю: при послідовному включенні в роботу всіх елементів з'єднання і при послідовному їх переході до пластичної роботи.

4. Оскільки податливість з'єднання негативно впливає на несучу здатність та жорсткість згинаної комплексної конструкції, для розрахунку і виготовлення каркасно-обшивних конструкцій, з врахуванням сумісної роботи обшивки і каркасу з тонкостінних сталевих елементів, серед досліджуваних видів з'єднання, найбільш придатні самопросвердлюючі шурупи без попереднього влаштування отворів.

1. СНиП II-25-80 "Деревянные конструкции". 2. Составные металло-деревянные балки на упруго-податливых связях. Стоянов В.В. / Тезисы докладов VI Украинской науч.-техн. конф. «Металлические конструкции». – Киев – Николаев, 1996. – С.65. 3. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластинки. – М., 1986. Ил. 4. Брудка Я., Лубиньски М. Легкие стальные конструкции (пер. с польского). – М., 1974.