

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НАТУРНЫХ ОБРАЗЦОВ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАНЕЛЕЙ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ С ЖЕСТКИМИ ПЕТЛЕВЫМИ СВЯЗЯМИ

И.С. Дербенцев

С целью определения прочности и деформативности вертикальных шпоночных стыков панелей в крупнопанельном здании проведены экспериментальные исследования опытных образцов¹. Образцы ЛСЖ представляли собой натурные фрагменты вертикальных стыков, состоящие из двух бетонных Г-образных элементов размерами 550×390×120 мм, с размещенными в них жесткими арматурными петлями Ø10 мм (А-I) и полостями в виде усеченных квадратных пирамид. При замоноличивании межпанельного шва толщиной 90 мм. Эти полости образуют шпонки, которые воспринимают усилие сдвига в стыке. Размеры шпонок 100×100 мм и 40×40 мм соответственно большее и меньшее основание (рис. 1), 30 мм – ее глубина. В каждом бетонном образце предусматривалось устройство двух шпонок. Помимо шпонок внутри контура петель вдоль его оси устанавливался арматурный стержень Ø16 мм (А-III).

¹ В испытаниях принимали участие: асп. каф. СКИИС Попп П.В., студент Прохасько С.Ю., магистрант Козенец А.С. Руководитель – к.т.н., проф. Карякин А.А.

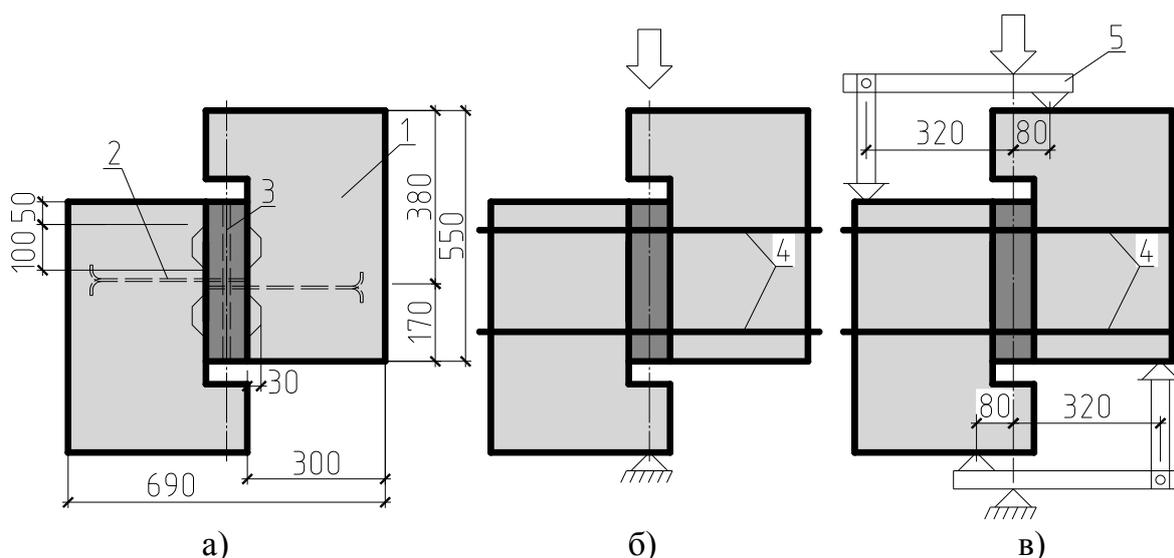


Рис. 1. Образец ЛРЖ. Конструкция (а), схемы испытаний с траверсой (в) и без (б). 1 – бетонный элемент; 2 – арматурная петля; 3 – вертикальный стержень; 4 – горизонтальный тяж $\varnothing 12$ мм; 5 – траверса

Г-образные элементы образцов были выполнены из бетона В22,5, в качестве раствора замоноличивания использована специальная смесь Р-400, состав которой указан в работе [1].

Образцы испытывались в горизонтальном положении. Испытания осуществляли последовательным нагружением при помощи домкрата, вплоть до разрушения. Величина этапа нагружения – 10 кН. В процессе испытаний контролировали сдвиг раствора шва и бетона элементов по их контакту индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм. Образцы были стянуты затяжками $\varnothing 12$ мм в горизонтальном направлении (перпендикулярно шву). Фибровые деформации для определения напряжений в затяжках контролировались тензорезисторами.

За разрушающую принимали максимальную величину нагрузки, полученную по показаниям манометра насосной станции независимо от ширины раскрытия трещин.

Всего было испытано 3 образца (ЛСЖ-1...ЛСЖ-3).

Образец ЛРЖ-1 испытывался по схеме, изображенной на рис. 1, б. При испытаниях разрушения шва не произошло из-за хрупкого разрушения консоли бетонного Г-образного элемента при нагрузке 130 кН. Это произошло вследствие нарушения технологии изготовления образцов – при бетонировании произошло смещение горизонтальных арматурных стержней из растянутой зоны в сжатую. Данный образец не имел начальных (усадочных) трещин. Первая трещина образовалась на границе контакта бетона сборного элемента и раствора шва при нагрузке 80 кН. На следующем этапе (90 кН) образовалась наклонная трещина по стыку. Ширина раскрытия данных трещин при нагрузке 130 кН составляла 0,1 мм.

Образцы ЛРЖ-2 и ЛРЖ-3 были испытаны с применением траверсы передающей усилие от домкрата на оба бетонных элемента.

У образца ЛРЖ-2 образовалась начальная усадочная трещина шириной раскрытия 0,25 мм по границе контакта бетонного элемента и раствора стыка. Она начала раскрываться при сдвигающем усилии в стыке 72 кН. При усилении в стыке 84 кН образовалась наклонная трещина по стыку шириной 0,4 мм приблизительно под углом 45° к оси приложения нагрузки, одновременно с этим появилась трещина по второй границе контакта шириной 0,4 мм. Непосредственно перед разрушением при усилении в стыке 108 кН, ширина раскрытия указанных трещин составила 0,5 мм, при этом по стыку образовались множественные трещины разных направлений преимущественно параллельных оси приложения нагрузки или под углом 45° к ней.

Образец ЛРЖ-3 начальных трещин не имел, однако первая трещина шириной 0,05 мм появилась по границе контакта уже при усилении в шве 30 кН. При увеличении нагрузки данная трещина раскрывалась со скоростью около 0,017 мм/кН. Наклонная трещина шириной 0,05 мм под углом 45° к оси приложения нагрузки появилась при 90 кН в шве. В дальнейшем данные трещины развивались и, непосредственно перед разрушением при 120 кН в шве, их ширина раскрытия составила 0,35 мм – первой и 1,6 мм – второй, при этом параллельно последней появилась трещина в шве. Разрушение шва сопровождалось появлением множественных трещин в нем. Все трещины имели направление и положение схожее с образцом ЛСЖ-2, за исключением одной – перпендикулярной шву. Схемы разрушения образцов ЛСЖ-2 и ЛСЖ-3 представлены на рис. 2. С учетом вышесказанного можно констатировать, что характер разрушения данных образцов одинаков.

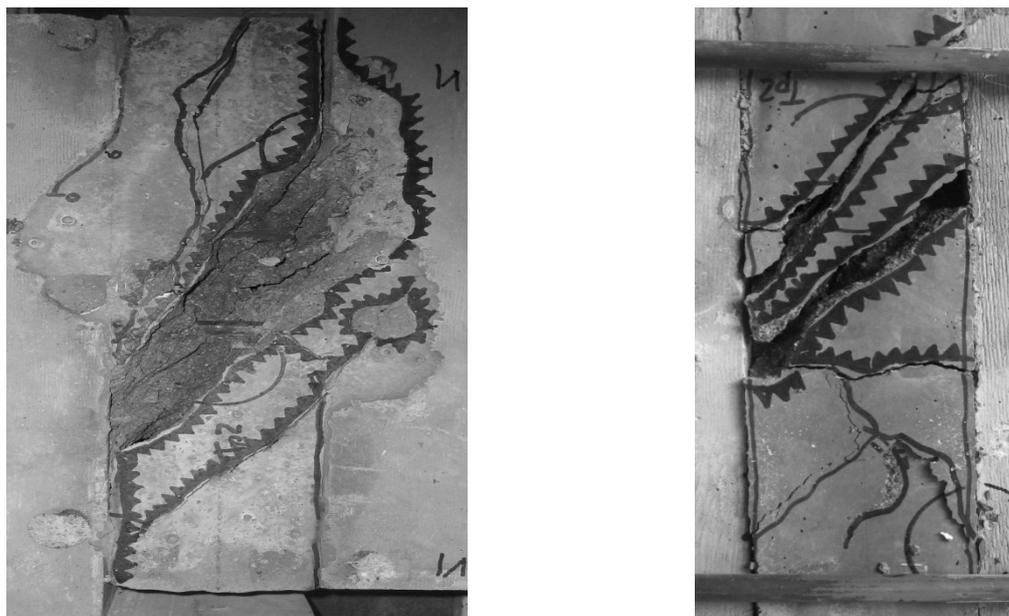


Рис. 2. Схема разрушения швов образцов ЛСЖ-2 (слева) и ЛСЖ-3 (справа)

В [2] из анализа результатов многочисленных испытаний шпоночных соединений делается вывод, что несущая способность армощпоночного соединения зависит от сопротивления шпонок (их формы, размеров, прочности бетона замоноличивания) и сопротивления горизонтальной арматуры (способ соединения и распределение арматуры по высоте стыка). Для определения несущей способности шпонок в приводится формула:

$$T = T_{ш} + \operatorname{tg}\varphi \cdot (N - k_{\alpha} \cdot T_{ш}),$$

здесь $T_{ш}$ – сопротивление сдвигу бетонных шпонок, $N = N_c + N_a$ – сумма сопротивления сдвигу поперечной арматуры стыка и поперечного обжатия, $\operatorname{tg}\varphi = 0,6$ – коэффициент трения бетона о бетон, k_{α} – коэффициент характеризующий горизонтальное усилие, необходимое для работы шпонок.

Данная формула по своему физическому смыслу и со сменой некоторых обозначений и других незначительных изменений повторяется в нормах [3, 4]. Поскольку испытанные образцы были затянуты шпильками, необходимо учитывать включение их в работу стыка после исчерпания несущей способности шпонок. У образца ЛСЖ-2 шпильки включились в работу после исчерпания несущей способности шпонки при 84 кН, максимальное усилие растяжения в шпильках составило 57 кН. Шпильки образцов ЛСЖ-1 и ЛСЖ-3 в работу не включились (максимальное усилие 1,8 кН). Значения усилий в стыке образца ЛРЖ-2 после 84 кН, уменьшены на $N_a \cdot \operatorname{tg}\varphi$ и представлены в таблице.

Результаты испытания образцов типа ЛСЖ

Тип образца	Факт. призм. прочность бетона Rb, МПа	Факт. прочность раствора Rсж, МПа	Предельное усилие в шпонке, кН		Предельное усилие сдвига в стыке, кН		Жесткость начальная, кН/мм		Жесткость расчетная, кН/мм	
			опыт	расч.	опыт	расч.	опыт	расч.	опыт	расч.
ЛСЖ-1	14,19	40,7	80		–		2400		88	
ЛСЖ-2	14,37	40,6	84	26,5	96/84*	58,2	1003	370	13	81
ЛСЖ-3	14,53	38,4	78		126/90*		131		7,1	

* Под чертой предельные усилия исходя из требований трещиностойкости или деформативности.

Теоретические значения предельных сдвиговых усилий в стыке и его жесткости рассчитаны по [4] и занесены в таблицу. За начальную жесткость принята жесткость стыка до разрушения шпонки, за расчетную – после.

По [4] предельная ширина раскрытия трещин составляет 1 мм, взаимный сдвиг сборных элементов – 0,8 мм. С учетом этих критериев разрушения, предельная нагрузка воспринимаемая стыком откорректирована (см. таблицу).

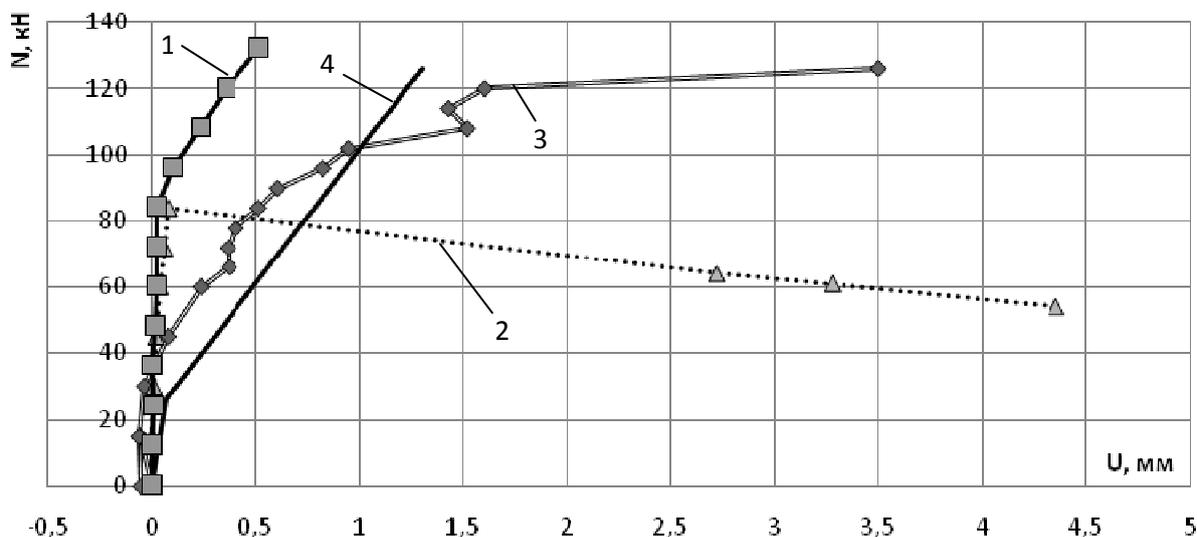


Рис. 3. Изменение деформаций сдвига U от усилия сдвига в шве N . 1 – образец ЛСЖ-1; 2 – образец ЛСЖ-2; 3 – образец ЛСЖ-3; 4 – теоретические данные

Результаты испытаний узлов сопряжения панелей были использованы при проектировании крупнопанельных жилых домов, в том числе повышенной этажности.

Библиографический список

1. Дербенцев, И.С. Результаты испытаний натуральных образцов шпоночных соединений панелей крупнопанельных зданий с гибкими связями / И.С. Дербенцев // Научный поиск: материалы второй науч. конф. аспирантов и докторантов. Техн. науки. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – Т. 1. – С. 72–76.

3. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций: Опыт СССР и ЧССР / Е. Горачек, В.И. Лишак, Д. Пуме и др.; под ред. В.И. Лишака. – М.: Стройиздат, 1980. – 192 с.

4. ВСН 32-77. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий. – М.: Стройиздат, 1978. – 177 с.

5. Пособие по проектированию жилых зданий/ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01–85). – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.