

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*В.В. ТУР, Т.П. ШАЛОБЫТА, Н.Н. ШАЛОБЫТА*  
БРЕСТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

## Постановка задачи

Для описания поведения армированного или неармированного контактов, пронизанных трещиной в условиях плоского напряженного состояния, взаимосвязь между нормальными напряжениями в стыке и вертикальными перемещениями, а также касательными напряжениями и горизонтальными перемещениями в общем случае может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{Bmatrix} d\tau_{nt}^c \\ d\sigma_n^c \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{1n} \\ B_{n1} & B_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\delta_t \\ d\delta_n \end{Bmatrix} \quad (1)$$

где  $B_{11}, B_{nn}$  — элементы матрицы жесткости стыкового соединения, описывающие сдвиговую и нормальную жесткость контакта;

$B_{n1}, B_{1n}$  — элементы матрицы жесткости, описывающие эффект сцепления.

В нашей работе [1] было показано, что в общем случае для армированного контакта исходная система уравнений может быть преобразована к виду

$$\begin{Bmatrix} d\tau_{nt}^c \\ d\sigma_n^c \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} (K_t + \gamma_n) - (1 - \xi)K_\tau / \beta_d \\ -(K_t / \mu_f) \cdot (K_n / \xi) + \gamma_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\delta_t \\ d\delta_n \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

где  $k_t$  — коэффициент сдвиговой жесткости стыкового соединения;

$K_n$  — коэффициент нормальной жесткости стыкового соединения;

$\beta_d$  — дилатансионное отношение для стыкового соединения;

$\mu_f$  — коэффициент трения по поверхности стыка;

коэффициент  $\xi$  равен

$$\mu_f \cdot \beta_d \cdot k_n / k_t. \quad (3)$$

Таким образом, для формирования матрицы жесткостей  $[B]$  необходимо установить значения, входящих в ее состав элементов  $k_t, k_n, \beta_d, \tau_n$

### Экспериментальные исследования контактов

Исследования контактов с целью получения характеристик, описывающих работу стыкового соединения, выполняли на стационарной установке в условиях чистого кручения при действии продольного обжимающего усилия, приложенного нормально к плоскости стыкового соединения (рис. 1)

Схема испытания образцов показана на рис. 2. В качестве базового

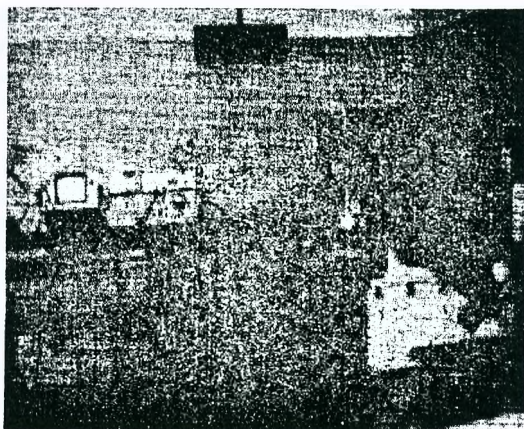


Рис. 1. Стационарная установка для испытаний

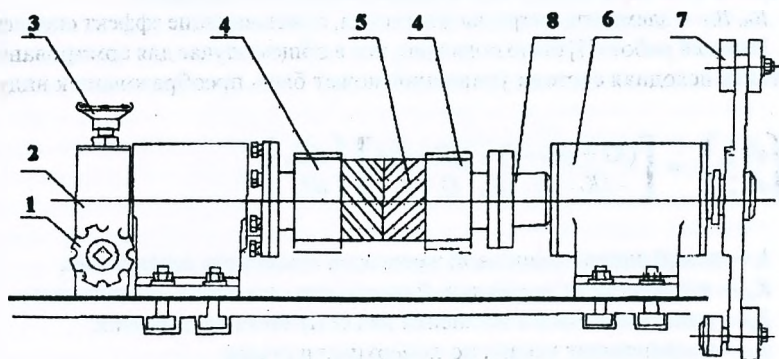


Рис. 2. Общая схема установки для испытания образца:

- 1, 2, 3 — механизм статического нагружения;
- 4 — захваты образца;
- 5 — испытываемый образец;
- 6 — передняя бабка механизма статического нагружения;
- 7 — рычаг статического нагружения;
- 8 — фиксатор захвата образца

Таблица 1

## Физико-механические характеристики бетонов, исследованных образцов

| Характеристика   | Сборная часть из бетона на портландцементе | Монолитная часть из бетона на напрягающем цементе |
|--|--|---|
| Призменная прочность, МПа                                    | 25,8                                       | 22,5  |
| Кубиковая прочность, МПа                                     | 45,5                                       | 35  |
| Самонапряжение, МПа  |  | 1,42  |
| Прочность на растяжение при раскалывании, МПа                | 2,38                                       | 1,82  |
| Напряжение обжатия в стыковом соединении $\sigma_{сж}$ , МПа |  | 1,43  |

образца были приняты составные цилиндры со сборной, ранее изготовленной частью из бетона на портландцементе и монолитной частью из напрягающего бетона. Конструкция опытного образца показана на рис. 3, а основные физико-механические характеристики бетонов приведены в табл. 1. Образцы испытывали после стабилизации процесса расширения напрягающего бетона монолитной части и не ранее, чем через 28 суток после бетонирования.

Степень обжатия образцов продольной силой варьировали сечением ограничивающего продольного стержня. В процессе испытания на лабораторной установке задавали не приращение крутящего момента, а изменения с постоянным шагом угла закручивания, что позволило получить полновесную диаграмму деформирования  $\tau_{сж} - \delta$ , с ярко выраженным нелинейным участком.

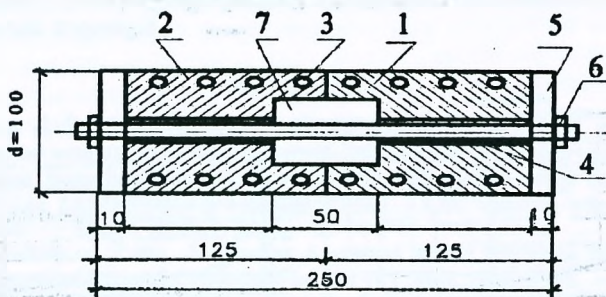


Рис. 3. Конструкция опытного образца:

1 — сборная часть из портландцементе; 2 — монолитная часть на напрягающем бетоне; 3 — косвенное армирование  $d = 3$  Вр-1, шаг 30 мм; 4 — продольный стержень  $d = (5-8)$  в кембрике; 5 — пластины-фиксаторы  $t = 10$  мм; 6 — гайка

### Результаты экспериментального исследования

Графики, связывающие основные характеристики стыкового соединения, построенные по результатам испытаний, показаны на рис. 4.

Как следует из графика рис. 4, *a* базовая точка диаграммы деформирования стыка равна  $\delta_{f1} = 0,2$  мм, соответствующее пиковому значению диаграммы  $\tau_{rd} = 1,35$  Н/мм<sup>2</sup>, и достаточно близко совпадает с данными, полученными в работе [2], где рекомендовано для неармированных стыков принимать  $\delta_{f1} = 0,18$  мм. Полученные зависимости показывают, что для аналитического описания диаграммы деформирования  $\tau - \delta$ , с достаточной для практики точностью может быть использована зависимость вида

$$\tau_{rd}^n / \tau_n = \text{tg}(k_0 / \tau_n (\delta_f - \delta_{f1})) + q, \quad (4)$$

где  $k_0 = k_{1,sl} \cdot (1 + q)$ ;  $q = \text{tg} \cdot (k / \tau_{RdA} \cdot \delta_{f1})$ .

Сдвиговая жесткость стыкового соединения

$$k_f / k_{1,sl} = \text{sech}^2(k_0 / \tau_n (\delta_f - \delta_{f1})). \quad (5)$$

Пиковое значение диаграммы  $\tau - \delta_f$  соответствует расчетному сопротивлению контакта с учетом его нелинейной работы, полученному в условиях

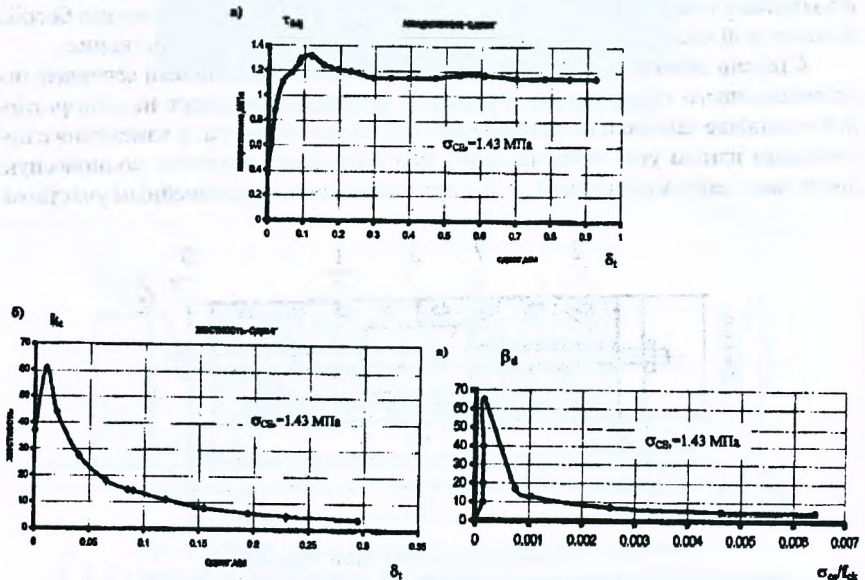


Рис. 4. Опытные зависимости, связывающие деформационные характеристики стыкового соединения

## Данные сравнительного анализа

| Расчетная методика | Расчетная зависимость   | $\tau_{rd,cal}$<br>Н/мм <sup>2</sup> | $\tau_{rd,ex}$<br>Н/мм <sup>2</sup> | $\tau_{rd,cal} / \tau_{rd,ex}$ |
|--------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Методика НИИЖБ [3] | $\tau_{rd,j} = 12 \cdot f_{ctd}(m) \cdot (K_1 / (a/h + 5))$   | 1,64                                 |                                     | 1,18                           |
| Методика НИИСК [4] | $\tau_{rd,j} = K_1 \cdot K_2 \cdot f_{ctd}(m)$  | 1,53                                 |                                     | 1,13                           |
| Eurocode-2 [5]     | $\tau_{rd,j} = \tau'_{rd,j} + \tau''_{rd,j}$<br>$\tau'_{rd,j} = K_t \cdot \tau_{rd}$<br>$\tau''_{rd,j} = \mu \cdot \sigma_{ce}$ | 1,323                                | 1,35                                | 0,91                           |

действия нормальных сжимающих напряжений  $\sigma_{ce} = 1,43$  МПа. Для сравнения определяли расчетные сопротивления неармированных контактов с естественной шероховатостью, пользуясь методиками [3—5]. Данные сравнительного анализа приведены в табл. 2.

## Выводы

1. Выполненные исследования позволили получить диаграммы деформирования для стыкового соединения неармированного контакта с учетом нелинейного поведения связей сдвига.

2. Использование диаграммы позволяет рассчитывать составные конструкции с учетом нелинейного поведения стыкового соединения и составляющих стержней.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тур В.В., Шалобыта Т.П., Шалобыта Н.Н. К построению аналитической модели работы стыкового соединения железобетонных сборно-монолитных конструкций. // Проблемы и перспективы современных строительных конструкций и технологий. / Сб. трудов под редакцией В.И. Драгана. — Брест, БПИ, 1998. — С. 74—77.
2. H. Yoshikawa, Z. Wu., T. Tanabe., Analytical Model For Shear Slip of Cracked Concret. // Journal of Structural Engineering, vol 115, № 4, april, 1989. — s. 771—788.
3. Руководство по проектированию сборно-монолитных конструкций / Под редакцией Е.А. Кузьмичева. — М.: Стройиздат. 1989. — С. 59.
4. Проектирование и изготовление сборно-монолитных конструкций. / Под редакцией А.Б. Голышева. — К.: Будівельник, 1982. — 274 с.
5. Eurocode-2. General Rules and Rules for Building.