

С.В. БОСАКОВ, д-р техн. наук, проф., В.Н. БЕЛЕВИЧ, инж. (РУП "Институт БелНИИС", г. Минск); А.И. МОРДИЧ, канд. техн. наук (ООО "БЭСТинжиниринг", г. Минск)

КОНТАКТНЫЙ СТЫК СБОРНЫХ КОЛОНН С ДЕФОРМИРУЕМОЙ ЦЕНТРИРУЮЩЕЙ ПРОКЛАДКОЙ

Звенья сборных железобетонных колонн под расчетные продольные усилия свыше 5 МН, как правило, снабжают по плоским торцам стальными пластинами, которые чаще всего крепят сваркой к стержням продольной арматуры [1]. В стыках таких колонн между пластинами размещают тонкий слой цементной пасты, а пластины по периметру объединяют сваркой. Торцы колонны в таком стыке должны быть выполнены строго по нормали к ее оси. Установленная величина допуска отклонения от нормали составляет 3° [2]. Такая конструкция колонны и ее стыков, реализованная в ряде объектов строительства, при качественном выполнении обеспечивает их требуемую высокую несущую способность.

Однако для обеспечения необходимой точности размеров изготовление таких звеньев колонн вызывает повышенные затраты труда. Также требуется специальная оснастка для фиксации арматуры и торцовых закладных деталей, что не исключает перекосов торцов. В результате при монтаже возможно образование клиновидной полости в стыке, при которой возникает опасность скола бетона кромки торца колонны, а также появление нерасчетного эксцентриситета равнодействующей продольного сжатия [2].

В этой связи в стыке между торцовыми пластинами представляется целесообразным разместить деформируемую центрирующую прокладку (рис. 1). Ее наличие позволяет заметно уменьшить величину

эксцентриситета продольного усилия и исключить вероятность скола бетона на кромке торцов. Обычно [2-4] центрирующая прокладка (ЦП) в плоском стыке колонн в основном предназначена для обеспечения в нем требуемой толщины растворного монтажного шва, а также для удобства монтажа. Поэтому проверка прочности такого стыка на действие местного сжатия по торцам предусмотрена только для стадии монтажа, когда раствор не достиг проектной прочности [3, 4]. При этом расчетная площадь смятия бетона принята равной площади прокладки. Однако вследствие недостаточной толщины такая прокладка в клиновидном шве может быть выключена из работы стыка, и продольное усилие, действующее в колонне, концентрируется на ее кромке [2].

Очевидно, что для обеспечения эффективной работы стыка с деформируемой ЦП ее толщина должна быть достаточной, чтобы исключить касание краев торцовых пластин в стыковом зазоре даже при действии наибольшего расчетного продольного усилия. Чтобы сблизить положение равнодействующей расчетного продольного усилия с осью колонны, ЦП при достижении полной расчетной нагрузки должна быть способна претерпеть достаточные пластические деформации (см. рис. 1,б). В таком случае продольное сжимающее усилие концентрируется в стыке только вдоль оси колонны, а в ее сечениях у торцов может быть воспринято как бетоном, содержа-

щим косвенное армирование, так и прикрепленными сваркой к торцовым пластинам анкерными стержнями. Поэтому важным вопросом является распределение сжимающих напряжений под ЦП по толщине торцовых пластин. В нормативных и рекомендательных документах такие данные не содержатся.

В обычном расчете, не проводя никаких исследований, можно принять распределение сжимающих напряжений под ЦП под углом 45° , или $t:m = 1:1$. Здесь t – толщина торцовой пластины, m – заложение уширения площади передачи напряжений под пластиной у каждого края ЦП (см. рис. 1, б). В работе [5] на основании проведенных испытаний для контактных стыков колонн предложено принимать значение m , равное 2,5. Такое предложение заманчиво, поскольку заметно возрастает размер площади передачи местного сжатия на бетон по торцу колонны. Это позволяет уменьшить содержание арматуры у торцов, обеспечить качественное изготовление колонны и сокращение трудозатрат.

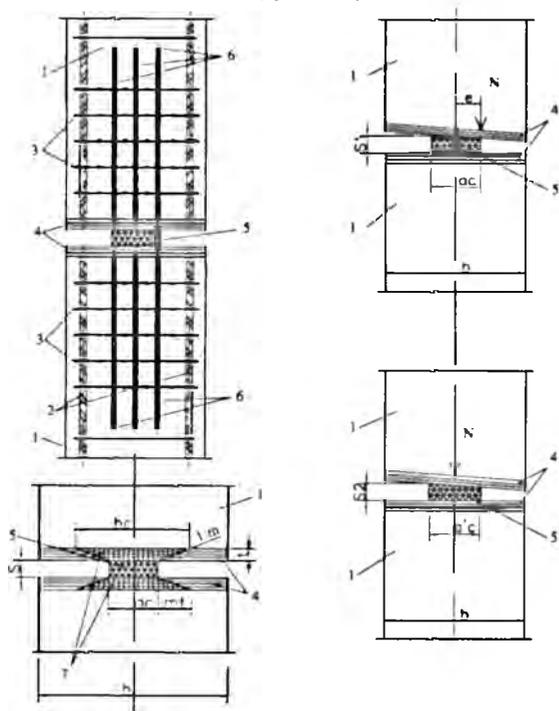


Рис. 1. Принципиальная конструкция стыка колонны (а, б) и схема работы под нагрузкой (в)

1 - звенья сборной колонны; 2 - продольная рабочая арматура; 3 - сварные сетки; 4 - торцовые пластины; 5 - центрирующая прокладка; 6 - анкерные стержни крепления торцовой пластины; 7 - распределение сжимающих напряжений в торцовых пластинах

Чтобы проверить указанные предпосылки в ООО "БЭСтинжиниринг" и РУП "Институт БелНИИС" были проведены экспериментально-теоретические исследования, основные результаты которых представлены ниже.

Для этого были сконструированы и изготовлены восемь фрагментов колонны сечением 400×400 мм. Образцы (рис. 2) были изготовлены из бетона од-

ной партии со средней призменной прочностью $\bar{R}_b = 34,1$ МПа. Каждый образец содержал 4 стержня диаметром 32 мм класса А400 ($\bar{R}_s = 450$ МПа). Хомуты выполнены из стержней диаметром 8 мм класса А400, объединенных по углам контактной сваркой. Вверху все фрагменты содержали по 7 сварных сеток. Каждая из них вдоль обеих осей симметрии включала по 5 стержней диаметром 8 мм класса А400 ($\bar{R}_s = 460$ МПа), объединенных в узлах пересечений контактной сваркой.

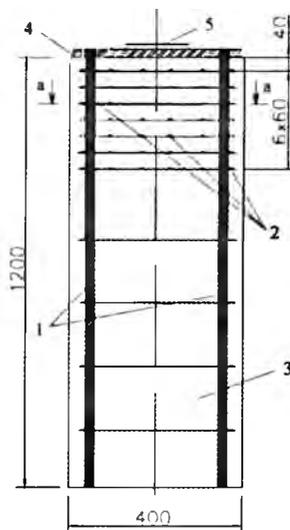


Рис. 2. Конструкция опытных образцов

1 - стержни продольной арматуры; 2 - сварные арматурные сетки; 3 - хомуты; 4 - стальная торцовая пластина; 5 - центрирующая прокладка

Коэффициент косвенного армирования $\mu_{(s, xy)} = 2,27 \cdot 10^{-2} < 0,04$. По верхнему торцу каждого фрагмента сваркой в раззенкованных отверстиях к продольным стержням были прикреплены стальные пластины размером 380×380 мм (С345, $\bar{\sigma}_y = 310$ МПа). Их толщина в различных образцах составляла 10...30 мм (табл. 1).

Для проведения испытаний на центральное сжатие (рис. 3) образцы были установлены в вертикальное положение торцовой пластиной кверху. Понизу они заранее были вбетонированы в опорные стальные башмаки. Сжимающее усилие при нагружении создавали четырьмя гидродомкратами ДГ-200, расположенными снизу, от одной насосной станции, с упором образца вверху в шарнирную траверсу силового пресса. Усилие на торец каждого образца передавали через стальную (С440) ЦП в виде круга диаметром 130 или 160 мм, или непосредственно на торцовую пластину. Испытания нагружением были проведены поэтапно возрастающим усилием по 0,1...0,2 от ожидаемого разрушающего, в соответствии со стандартной методикой. На каждом этапе фиксировали приращение деформаций арматуры и бетона, образование в нем трещин и сколов.

При нагружении образцов через ЦП разрушение их произошло от раздробления бетона у верхнего торца. На величину разрушающего усилия оказали влияние размер ЦП и толщина торцовой пластины. Оно изменялось в пределах 0,69...0,84 от величины предельного усилия, достигнутого для образцов-

Характеристика испытанных образцов

Марка образ-ца	Толщина торцо-вой пласти-ны, мм	Усло-вие нагруж-уствия N	Размер площад-ки пере-дачи, мм	Разрушающее усилие N_u , кН									Отн. деф./напряж. пр. арм. в сеч. $h/2$		Харак-тер разру-шения
				Расчетное N_u^{calc} , при передаче усилия											
				Опытн. N_u^{exp}	по торцу		через центральную прокладку (ЦП)								
					N_u^{calc}	N_u/N_u^{exp}	при отнош. 1:1			при отнош. 1:2,5					
			N_u^{calc}	N_u/N_u^{exp}	N_u^{calc}	N_u/N_u^{exp}	$A_{b,loc}$, 10^2 м^2	N_u^{calc}	N_u/N_u^{exp}	$A_{b,loc}$, 10^2 м^2	$\frac{\varepsilon_{s,max}}{\sigma_{s,max}}$, %	$\frac{\sigma_{s,max}}{R_s}$			
K1-1	10	ЦП	$d=130$	4560	–	–	2977	0,65	1,77	3573	0,78	2,54	0,18/350	0,78	Тип 1
K1-2	10	Трц.	380×380	6590	$\frac{6930^*}{8904}$	1,05	–	–	–	–	–	–	0,23/450	1,0	Тип 2
K2-1	20	ЦП	$d=130$	4680	–	–	3378	0,72	2,27	4569	0,98	4,16	0,17/340	0,76	Тип 1
K2-2	20	Трц.	380×380	6530	$\frac{6930^*}{8904}$	1,04	–	–	–	–	–	–	0,22/450	1,0	Тип 2
K2-3	20	ЦП	$d=130$	4720	–	–	3378	0,72	2,27	4569	0,97	4,16	–	–	Тип 1
K2-4	20	ЦП	$d=160$	5800	–	–	3970	0,71	3,14	5607	0,96	5,31	0,20/400	0,88	Тип 1
K3-1	30	то же	$d=130$	5940	–	–	3779	0,64	2,84	5662	0,95	6,16	0,20/395	0,88	Тип 1
K3-2	30	Трц.	380×380	7050	$\frac{6930^*}{8904}$	0,98	–	–	–	–	–	–	0,23/450	1,0	Тип 2

Примечания. * Над чертой - разрушающее усилие для сечений на середине высоты образца, под чертой - разрушающее усилие для сечений у торца; Тип 1 - разрушение от раздробления бетона у торца; Тип 2 - разрушение сечений в середине высоты образца



Рис. 3. Общий вид испытанных нагружением опытных фрагментов колонн

близнецов, нагруженных по всему торцу и разрушившихся в середине их высоты от достижения текучести в продольных стержнях (см. табл. 1).

При нагружении через ЦП первыми (при $N=500$ кН) появились вертикальные и косые трещины непосредственно под пластиной, а также вдоль продольных стержней в верхней половине колонны. С дальнейшим ростом нагрузки сетка трещин развивалась книзу, а вверху наметилось отделение защитного слоя бетона (рис. 4).

Такая картина повреждений свидетельствует о раскалывании и поперечной раздвижке бетона у торца колонны под ЦП. Аналогичный характер работы бетона у плоского торца при наличии ЦП был отмечен и в [6]. При нагружении образцов непосредственно по всему торцу повреждения их боковых граней были примерно равномерными по всей высоте.

На рис. 5 в сопоставлении приведены графики развития под нагрузкой средних продольных и поперечных относительных деформаций, зафиксированных посредством тензорезисторов на боковых гранях образцов K2-1 и K2-2 в сечениях у торца ("a-a" на рис. 2) и в середине их высоты. Каждый из этих образцов был сжат, соответственно, через ЦП (K2-1) и по всему торцу (K2-2). Характер деформирования



Рис. 4. Характер разрушения фрагмента колонны с торцовой пластиной толщиной 30 мм при нагружении через центрирующую прокладку (K3-1)

а - начало трещинообразования; б - начало разрушения; в - характер разрушения

этих образцов у верхнего торца существенно различается.

Так, в первом образце продольное укорочение бетона на гранях развивалось менее интенсивно. Более того, после достижения усилием величины 2 МН их значения начали убывать, а при усилии свыше 3 МН грани по вертикали начинают удлиняться. Поперечные деформации удлинения граней этого же образца, наоборот, развиваются более интенсивно, чем в сопоставляемом образце. Такое деформирование указывает на перераспределение усилий в бетоне сечений у торца под ЦП, смятие бетона у оси образца и выпучивание его защитного слоя, начавшееся

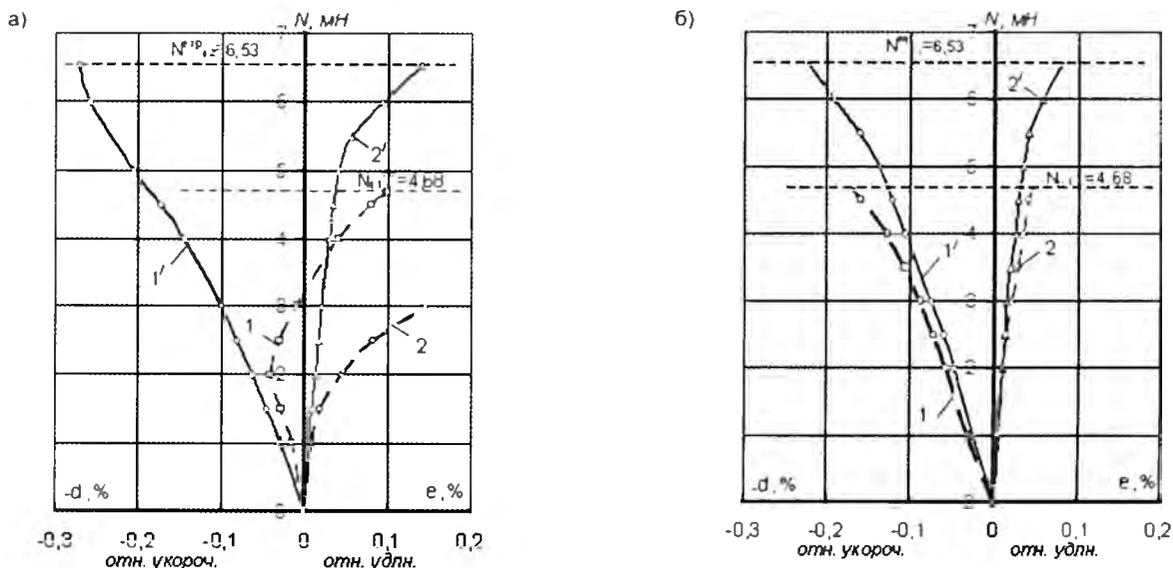


Рис. 5. Развитие под нагрузкой средних относительных деформаций бетона на боковых гранях образцов K2-1 (линии 1 - продольные; 2 - поперечные деформации) и K2-2 (соответственно, линии 1/ и 2/ у верха (а) и в сечении на середине высоты (б))

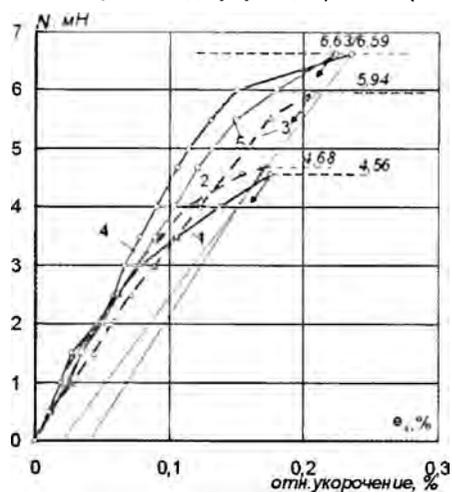


Рис. 6. Развитие деформаций в продольных стержнях в сечениях на середине высоты образца при передаче усилия через ЦП (1 - образец K1-1; 2 - K2-1; 3 - K3-1) и по всему торцу (4 - образец K1-2; 5 - K2-2)

после достижений усилия $N = 2$ МН. Все это сопровождалось интенсивным образованием на боковых поверхностях у верха образцов сетки вертикальных, горизонтальных и косых трещин.

Характер развития продольных и поперечных деформаций боковых граней образцов K2-2 в сечениях у торца был примерно таким же, как и для его сечений посередине, различаясь, однако, величиной деформаций при одной и той же нагрузке. Вместе с тем, из рассмотрения графиков рис. 5, б можно отметить, что в сечениях у середины образца-близнеца, нагруженного через ЦП, деформации развиваются несколько интенсивнее, чем в образце, нагруженном по всему торцу. По-видимому, раскалывание бетона под ЦП, несмотря на наличие торцевой пластины и косвенное армирование, может развиваться на значительном удалении от торца колонны и вызывать на этом участке повышенную деформативность.

Деформации продольных стержней в этих же средних сечениях развивались под нагрузкой нели-

нейно и также более интенсивно в образцах, нагруженных через ЦП (рис. 6), по сравнению с образцами, нагруженными по всему торцу.

В последнем случае, а также при толщине пластины 30 мм (образец K3-1) развитие деформаций арматуры до уровня нагрузки 0,75...0,90 от разрушающего усилия было практически линейным. К моменту разрушения образцов, нагруженных через ЦП, напряжения в продольной арматуре в средних сечениях составляли 0,76...0,88 от ее предела текучести (см. табл. 1). Таким образом, передача продольного сжимающего усилия через ЦП на торец колонны, снабженный стальной пластиной, оказывает влияние на характер работы бетона и арматуры не только у ее торца, но и на достаточном удалении от него.

Сварные сетки также эффективно включились в работу под нагрузкой, и по величинам зафиксированных деформаций можно судить, что напряжения в некоторых их стержнях у оси колонны достигли предела текучести при нагрузке, равной 75...80% от разрушающего усилия [6].

Для оценки испытанных образцов был выполнен расчет прочности их оголовков на местное сжатие по фактическим характеристикам арматуры и бетона. Расчет выполнен согласно методике СП 52-101 для случаев распределения сжимающих напряжений в торцевой пластине под ЦП по соотношениям 1:1 и 1:2,5. Сопоставление результатов расчета с опытами показал (см. табл. 1), что во всех случаях расчет недооценивает (в запас) прочность испытанных образцов. При распределении напряжений 1:1 отношение расчетного разрушающего усилия к опытному составляет 0,64...0,72. При распределении 1:2,5 результаты расчета сближаются с опытными, составляя 0,78...0,98 от опытной прочности, и полностью согласуются с результатами аналогичных опытов [5], выполненных в Горном университете г. Вуппертале (Германия). В приведенных расчетных и опытных соотношениях меньшие значения получены для образ-

ца, содержащего на торце пластину толщиной 10 мм. Это означает, что пластина такой толщины неэффективна и оказывает незначительное влияние на повышение прочности торцов колонны. В целом, результаты расчета и опытов с учетом данных [6] подтверждают возможность использования методики СП 52-101 для оценки прочности контактного стыка с деформируемой центрирующей прокладкой при распределении сжимающих напряжений в торцевой пластине под ЦП по соотношению 1:2,5.

Полученное удовлетворительное соответствие между расчетными и опытными значениями разрушающего усилия позволяет оценить величину последнего в стыке при увеличении содержания косвенного армирования. Так, при возрастании диаметра стержней в сварных сетках с 8 до 10 мм коэффициент косвенного армирования оголовков опытных образцов составит $3,56 \cdot 10^{-2}$.

Результаты расчета образцов с таким армированием (табл. 2) показывают, что их прочность возрастает и превышает опытную на 5,2...15,3% и первоначальную расчетную на 8,8...20,6%. Возможность управлять прочностью оголовков стыкуемых звеньев колонны позволяют реализовать самоцентрирование стыка с деформируемой ЦП и воспринять значительное продольное усилие, концентрируемое в стыке вдоль оси колонны.

Таблица 2
Прочность торцов опытных образцов при сварных сетках со стержнями диаметром 10 мм

Марка образца	Условие нагружения	Разрушающее усилие N_u для оголовка, кН			Увеличение прочности (%) при замене косв. армир.	
		опытное	расчетное, при		относительно	
			факт. косв. армиров. ($\mu_{(s, xy)} = 2,27 \cdot 10^{-2}$)	св. сетках $2 \times 5 \varnothing 10$ мм ($\mu_{(s, xy)} = 3,56 \cdot 10^{-2}$)	опытного усилия	расчетного по фактич. армир.
K1-1	ЦП, 130	4560	3573	4219	–	18,1
K1-2	T	–	8904	–	–	–
K2-1	ЦП, 130	4680	4569	5398	15,3	18,1
K2-2	T	–	8904	–	–	–
K2-3	ЦП, 130	4720	4569	5398	14,4	18,1
K2-4	ЦП, 160	5800	5607	6103	5,2	8,8
K3-1	ЦП, 130	5940	5662	6571	10,6	16,0
K3-2	T	–	8904	–	–	–

Для обеспечения самоцентрирования стыка под действием наибольшего расчетного сжимающего усилия напряжения в ЦП должны достичь текучести, обеспечивая плотный контакт ЦП с обоими торцами стыкуемых звеньев колонны (см. рис. 1,а). Поскольку за счет поперечных деформаций размеры деформируемой ЦП увеличиваются, дополнительно возрастает размер площади смятия бетона. Указанное также исключает опасность повреждения торцов колонны в стыке.

В целом приведенные выше данные показывают, что в рассмотренном типе стыков колонн, включающем торцовые стальные пластины и деформируемую центрирующую прокладку, последняя существенно влияет на напряженно-деформированное состояние арматуры и бетона у торцов и на значительное удаление от них (до $2,0h$, где h – меньший размер сечения). Расчет прочности торцов колонны в таких стыках на местное сжатие следует выполнять с учетом распределения сжимающих напряжений в торцевых пластинах под ЦП по отношению 1:2,5.

Выводы

1. Для объединения сборных колонн, предназначенных воспринимать продольные усилия свыше 5 МН, целесообразно применять стыки, включающие стальные торцовые пластины и деформируемую центрирующую прокладку между ними. Толщина последней должна быть достаточной, чтобы исключить касание кромок стыкуемых торцов при действии полной расчетной нагрузки. Толщину торцовых пластин целесообразно принимать не менее 20 мм, а коэффициент косвенного армирования сварными сетками у торцов колонны в стыке назначать не менее 0,035. Объединение торцовых пластин стыкуемых звеньев колонн следует производить сварными накладками на стадии завершения строительства объекта после достижения в стыке усилия от полной расчетной постоянной нагрузки и после зачеканки стыкового зазора цементным раствором.

2. Расчет прочности на местное сжатие и конструирование торцов стыкуемых колонн следует выполнять в соответствии с методикой СП 52-101 и с учетом распределения сжимающих напряжений в торцевых пластинах под центрирующей прокладкой по соотношению $t:m = 1:2,5$, где t – толщина пластины, m – заложение уширения площади передачи напряжений по низу пластины относительно каждой кромки центрирующей прокладки.

Библиографический список

1. Цейтлин С.Ю., Антонов В.П., Гуревич Ю.С., Брагинский В.А. Колонны многоэтажных зданий под большие нагрузки // Бетон и железобетон. - 1985. - № 3. - С. 9-11.
2. Дыховичный Ю.А., Максименко В.А. Сборный железобетонный унифицированный каркас: Опыт московского строительства. - М.: Стройиздат, 1985. - 296 с.
3. Довгалюк В.И. Соединения сборных железобетонных каркасных конструкций зданий / Обзор. - М.: ВНИИТПИ, 1989. - 59 с.
4. Рекомендации по проектированию и выполнению контактных стыков с обрывом арматуры в железобетонных колоннах многоэтажных зданий. - М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1985. - 49 с.
5. Muess H. Verbundstützen für den Stahlbetonbau. Bemessung, Konstruktion, Genehmigung. Berlin. Beton-und Stahlbetonbau 98. Heft 1, 2003. - Pp. 1-12.
6. Васильев А.П., Матков Н.Г., Мирмунинов М.М. Местное сжатие в стыках колонн каркаса многоэтажных зданий // Бетон и железобетон. - 1977. - № 9. - С. 30-32.