

Попков Ю.В., канд. техн. наук, доц.,  
Обернихин Д.В., аспирант,  
Фролов Н.В., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ НА ПРОЧНОСТЬ КРЕСТООБРАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ АРМАТУРЫ

pjvbel@yandex.ru

*Предоставление проектным организациям и заводам железобетонных изделий данных о минимально требуемой прочности сварки продольных и поперечных стержней арматуры станет одним из условий, определяющих успешное выполнение задач по повышению экономичности производства железобетона. Собран накопившийся научный материал по использованию контактной точечной сварки в строительной отрасли, проанализированы результаты испытания опытных образцов крестообразных соединений, сделан вывод по уменьшению объемов энергозатрат и перспективах применения полученных результатов при производстве железобетонных конструкций. Установлено что снижение прочности крестообразных соединений арматуры до 30% от равнопрочного является граничным значением, при котором не происходит преждевременного разрушения изделия. В связи с этим предлагается, что технология выполнения таких соединений должна учитывать мероприятия, не позволяющие выйти за граничный параметр прочности.*

**Ключевые слова:** контактная точечная сварка, крестообразные соединения металлической арматуры, прочность, экономия электроэнергии.

**Введение.** В настоящее время большинство развитых стран четко следуют курсу экономии энергоресурсов при получении продукции во всех сферах промышленной индустрии. Не исключением здесь является и строительная отрасль, поскольку снижение энергозатрат на производство строительных конструкций напрямую связано с их себестоимостью. Один из видов внедрения энергосберегающих технологий при изготовлении железобетонных конструкций и изделий может быть связан с расчетом стыковых соединений металлической арматуры, получаемых при помощи контактной точечной сварки.

Определение величины минимально требуемой прочности сварки продольных и поперечных стержней арматуры позволит вести проектирование и производство железобетона экономически оптимально.

Электрическая контактно-точечная сварка применялась как аналог паечным и клепочным соединениям при изготовлении мелких деталей бытового назначения, но благодаря высокой производительности стала использоваться в масштабном производстве и более крупных изделий [1].

Традиционными элементами армирования конструкций из железобетона являются плоские каркасы и сетки, образованные крестовыми соединениями металлических стержней. Для изготовления таких деталей, а также для приварки к поверхностям металлического проката (листового, уголкового и др.) используют контактно-точечную сварку.

Сварочный процесс, при котором элементы

соединяются либо в одной, либо параллельно в нескольких точках называется контактно-точечной сваркой. Прочность таких соединений определяет размер и структура провара точки, зависящие в большой степени от вида рабочей поверхности электродов [2], а также от силового значения сварочного тока, сжимающего усилия и состояния свариваемых поверхностей элементов.

Физический смысл контактно-точечной сварки арматуры заключается в следующем. Последовательно от вторичной обмотки трансформаторной машины по проводникам (медные шины, хоботы, электродержатели и электроды) ток подходит к месту пересечения арматурных стержней, закрепленных между электродами. Электрическое сопротивление в месте стыка имеет величину во много раз большую, чем на остальных участках цепи, вследствие чего именно здесь скапливается тепловая энергия, которая переводит арматурную сталь в пластическое состояние. Далее под влиянием сжимающего усилия электродов происходит соединение арматуры [1-3].

**Методология.** Испытания образцов крестообразных соединений арматуры, полученных при помощи контактно-точечной сварки, производились на разрывной машине. Физико-механические характеристики стержней, использованных для изготовления каркасов, определялись в лабораторных условиях путем замера, взвешивания и испытания на разрыв. Контактная сварка крестообразных соединений выполнялась на специализированной машине МТ-3001-1 УХЛ4.

**Основная часть.** Для получения соединений заданной прочности, сварочный процесс необходимо выполнять при определенном режиме подачи сварочного тока, зависящего от номинального диаметра стержней и марки стали из которой они изготовлены. Выбор и корректировку режимов сварки можно осуществить на основе анализа испытаний крестообразных соединений при срезе. В случае, когда прочность оказывается меньше предварительно обозначенной вследствие непровара, необходимо увеличить плотность тока или продолжительность его действия. Если же прочность будет недостаточна из-за пережога, то эти показатели соответственно уменьшают.

Аппараты применяемые для контактно-точечной сварки в зависимости от количества одновременно свариваемых узлов и подвода тока делят на одноточечные двусторонние, двухточечные одно- и двусторонние, многоточечные односторонние. По своему положению они бывают стационарными и подвесными. Регули-

рование продолжительности протекания тока в большинстве случаев осуществляется автоматически.

Из общего количества свариваемых элементов при производстве арматурных изделий на заводах ЖБИ порядка 60% выполняются при помощи контактно-точечной сварки [4]. Обусловлено это легкостью автоматизации сварочного процесса, высокой мощностью машин и стоимостью задействованного оборудования.

Для экономии затрат на электроэнергию, расходуемую при выполнении соединений арматуры, предлагается нахождение оптимальных режимов и параметров контактно-точечной сварки, при которых разрушение элементов происходило бы при нормируемом значении напряжений с минимально возможным потреблением электричества.

Для исследования прочности соединений был выбран тип сварки каркасов К1-Кт (соединения крестообразные, полученные контактно-точечной сваркой) по ГОСТ 14098-91 (рис. 1).

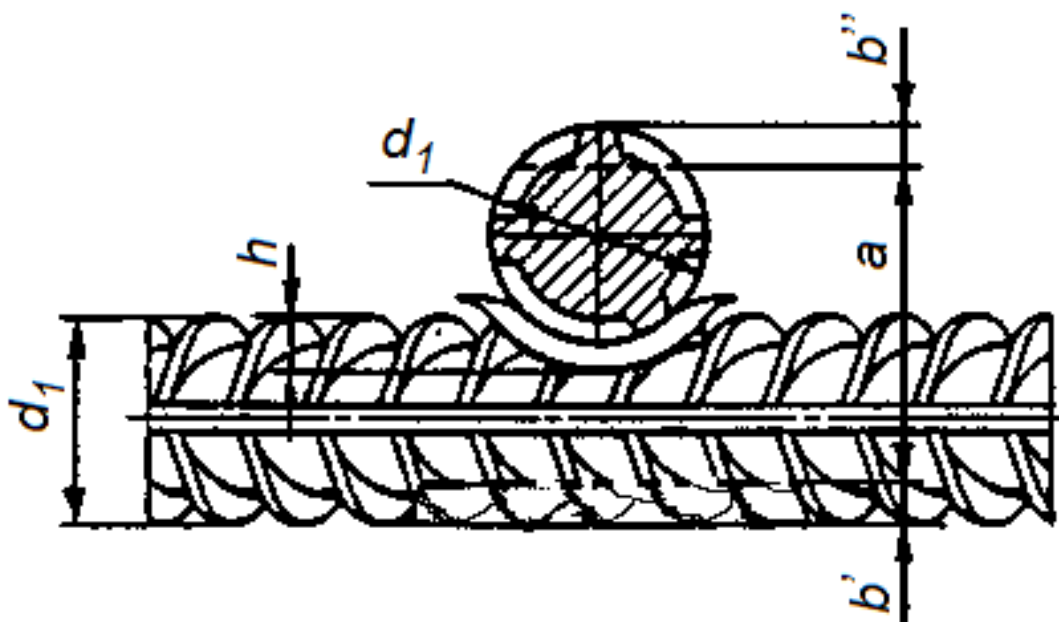


Рис. 1. Крестообразное сварное соединение

В проведенном эксперименте для изготовления каркасов использовалась бунтовая провололочная арматура периодического профиля класса А500С номинального диаметра 6 мм.

Физико-механические характеристики арматуры, использованной при изготовлении каркасов, определялись опытным путем по результатам испытания стержней на разрывной машине. Средние значения характеристик: временное сопротивление  $\sigma_{вр} = 555$  МПа, модуль упругости  $E_s = 2,08 \cdot 10^6$  МПа. Фактическая площадь поперечного сечения арматуры определялась аналитически по результатам взвешивания

образцов известной длины и объемного веса и составила  $A_s = 0,299$  см<sup>2</sup>.

Стержни сваривались на контактно-точечной машине МТ-3001-1 УХЛ4 с различными параметрами сварки (табл. 1), различающимися по степени «жесткости» и по величине относительной осадки  $h/d$ .

Осадка стержней ( $h$ , мм) в крестообразных соединениях – величина вдавливания стержней друг в друга на участке, нагретом при контактно-точечной сварке до пластичного состояния. Для соединений типов К1 (рис. 1) значение осадки для пары пересекающихся стержней вычисляют:

$$h = \sum d_i - (a+b), \quad (1)$$

где  $a$  – общая толщина арматуры после сварки в месте соединения, мм;  $b$  – общая величина вмятин ( $b' + b''$ ), мм.

“Жесткость” режима определялась силой сварочного тока регулируемой трансформатором контактной машины, выдержкой под током и величиной относительной осадки. Чем выше сварочный ток и меньше выдержка под ним (при

одинаковой величине относительной осадки), тем жестче режим сварки [5, 6].

Для оценки влияния параметров режимов на прочность крестообразных соединений, образцы последних сваривались при различном варианном сочетании силы сварочного тока и времени выдержки, а также двух вариантах относительной осадки.

Таблица 1

Параметры машины МТ-3001-1 УХЛ4 при контактно-точечной сварки

Тип параметров сварки	Параметры станка					Уровень тока нагрева		Тип разрушения	Средняя нагрузка при разрушении, Н	Сила тока, А
	Предсжатие, Н	Сжатие, Н	Импульс тока 1, с	Интервал, с	Импульс тока 2, с	Ток 1	Ток 2			
Тип 1 (заводские параметры)	625	625	1,2	5	1,4	6	9	1	18320	20500
Тип 2 (100% прочность стыка)	375	500	1	1	1,2	4	6	1	18230	19120
Тип 3	375	500	0,6	1	0,7	1	1	2	15200	17500
Тип 4	375	500	0,6	1	0,7	4	6	2	14730	16890
Тип 5	375	500	0,6	1	0,7	3	3	2	7130	15310
Тип 6 (30% прочность стыка)	375	500	0,6	1	0,7	2	2	2	5500	14690
Тип 7	375	500	0,6	1	0,7	1	1	2	2100	14550
Тип 8	375	500	0,6	1	0,7	1	1	2	1450	13850

Примечания: тип разрушения 1 – по металлу стержня, 2 – по стыку

При каждом режиме сваривалось по три образца (рис. 2), после чего производилось их испытание в лаборатории на срез согласно ГОСТ 10922-90 при помощи разрывной машины по схеме (рис. 3).



Рис. 2. Операция приварки поперечной арматуры и образцы для испытания

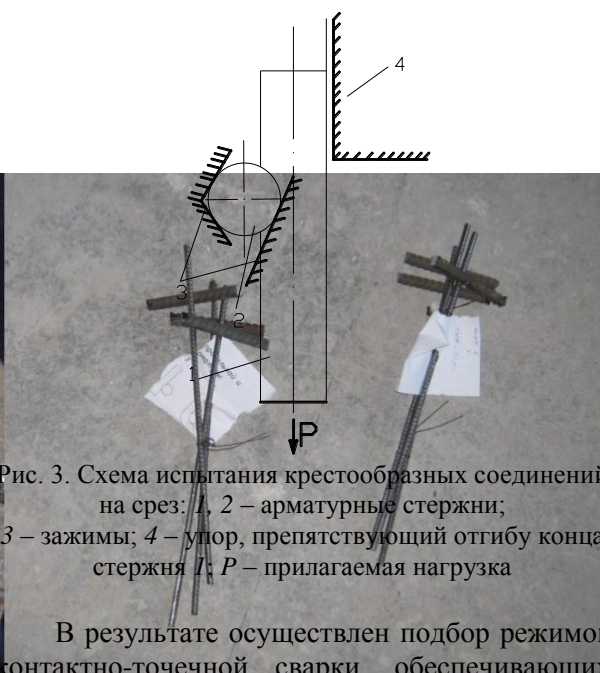


Рис. 3. Схема испытания крестообразных соединений на срез: 1, 2 – арматурные стержни; 3 – зажимы; 4 – упор, препятствующий отгибу конца стержня 1; P – прилагаемая нагрузка

В результате осуществлен подбор режимов контактно-точечной сварки, обеспечивающих при испытаниях крестообразных соединений на срез усилие, равное 100% и 30% от разрывной

нагрузки хомутов. Прочность сварных соединений при испытаниях на срез в целом возрастает как с увеличением осадки, так и с повышением жесткости режима, что соответствует общепринятым представлениям. При этом разрушение происходит по металлу стержня (рис. 4, а). Хотя для контактно-точечной сварки продольной и

поперечной арматуры, обеспечивающей 30% разрывного усилия хомутов (принятое согласно рекомендации норм проектирования Германии DIN-488-2-2009 с целью опытной проверки влияния данного типа соединения на работу изгибаемых элементов по наклонным сечениям), разрушение идет по стыку (рис. 4, б).

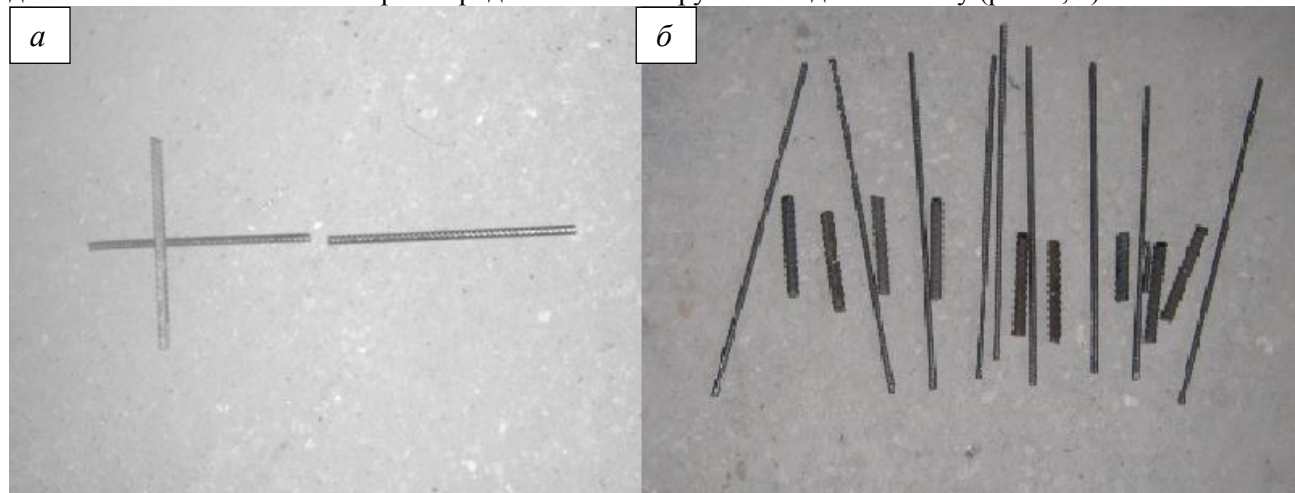


Рис. 4. Разрушение опытных образцов по металлу стержня (а) и по стыку (б)

Важным фактором при производстве железобетонных конструкций является расход электроэнергии (табл. 2), который зависит от не-

скольких параметров: сила тока, времени сварки и силы давления на стержни.

Таблица 2

Затраты электроэнергии машины МТ-3001-1 УХЛ4 при различных типах сварки

Тип параметров сварки	Время сварки, с	Сила тока, А	Сопротивление, мкОм	Мощность, кВт	Затраты электроэнергии, Вт·ч
Тип 1 (заводские параметры)	1,4	20500	36	15,13	5,9
Тип 2 (100% прочность стыка)	1,2	19120	36	13,16	4,4
Тип 6 (30% прочность стыка)	0,7	14690	36	7,77	1,5

Таким образом, проведя оптимизацию параметров сварки, можно уменьшить затраты электроэнергии на 25% при равнопрочном соединении, а снизив значение прочности до 30% (нижнее граничное значение) энергозатраты сократятся до 70%.

**Выводы.** Оптимизация режимов контактно-точечной сварки на заводах ЖБИ при получении равнопрочных соединений арматурных стержней типа К1-Кт по ГОСТ 14098-91 позволит добиться значительной экономии электроэнергии без существенного снижения прочности железобетонных конструкций (на данном этапе исследований экономия составляет 25% от общего количества энергозатрат при производстве).

Уменьшение величины прочности сварки продольной и поперечной арматуры до 30% от нормативного значения при изготовлении каркасов и сеток позволит сэкономить до 70% элек-

троэнергии, при этом данная прочность будет иметь граничное значение, когда не происходит преждевременного разрушения изделия. Поэтому, технология производства таких крестообразных соединений должна предусматривать мероприятия, не позволяющие перейти за граничную величину.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кочергин К.А. Контактная сварка. Л.: Машиностроение, 1987. 240 с.
2. Орлов Б.Д., Чакалев А. А., Дмитриев Ю. В. и др. Технология и оборудование контактной сварки. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
3. Малышев Б. Д., Акулов А. И., Алексеев Е. В., Блинов А. Н. и др. Сварка и резка в промышленном строительстве. М.: Стройиздат, 1989. 590 с.
4. Смоляго Г.А., Луценко А.Н., Дрокин С.В.

К оценке живучести каркасных конструктивных систем из монолитного железобетона с учетом дефектов изготовления и монтажа. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. № 2. С. 80-83.

5. Козловский С. Н. Критерий оценки режима контактной точечной сварки // Сварочное

производство. 1992. №9. С. 5-7.

6. Емельянов С.Н., Попковский В.А., Катыкало А.А., Коротеев А.О. О выборе параметров режима при контактной точечной сварке оцинкованных сталей с сохранением покрытия. // Вестник Белорусско-Российского университета. 2011. № 2. С. 34-40.