

УДК 693.554:621.791

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КРЕСТООБРАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ИЗ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ,
ВЫПОЛНЕННЫХ ДУГОВОЙ СВАРКОЙ ПОЛУАВТОМАТОМ В СРЕДЕ АКТИВНОГО ГАЗА**

**В.В. ВРУБЛЕВСКАЯ, канд. техн. наук, доц. А.А. ВАСИЛЬЕВ
(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель);
Д.М. ГУРСКИЙ
(ОАО «Гомельский домостроительный комбинат»)**

Выполнены исследования по дуговой сварке полуавтоматом в среде активного газа крестообразных соединений арматуры диаметром до 10 мм для снижения энергозатрат и повышения производительности труда при изготовлении арматурного блока АБВЦЗ-3 для наружных стеновых панелей. Получены и проанализированы экспериментальные данные испытаний на разрыв рабочей и распределительной арматуры крестообразных соединений. Проведено сравнение наиболее распространенных способов сварки таких соединений. Определена продолжительность сварки пространственного арматурного каркаса для наружных стеновых панелей. Предложен возможный вариант совершенствования технологии сварки арматурного блока для наружных стеновых панелей путем замены способа сварки на более эффективный.

Введение. Основная цель Комплексной программы по проектированию, строительству и реконструкции энергоэффективных жилых домов в Республике Беларусь на 2009 – 2010 годы и на перспективу до 2020 года – обеспечение снижения удельного потребления топливно-энергетических ресурсов на эксплуатацию на основе использования новых конструктивно-технологических, инженерных решений и инженерного оборудования. Поэтому в строительной отрасли сегодня идет масштабная реконструкция заводов крупнопанельного домостроения с внедрением передовых зарубежных технологий и современных технологических линий – основной базы для массового строительства доступного энергоэффективного жилья. Широко развернуты работы по модернизации и созданию новых конструктивно-технологических систем крупнопанельных жилых домов, приближающихся по комфортности к каркасным и кирпичным.

Проблема получения жилья в Беларуси еще долго не утратит своей актуальности. Наиболее эффективный способ ускорения строительства – замена строительных материалов на более качественные или усовершенствование технологии, при условии обеспечения безопасности и надежности зданий и сооружений. Но ускорение темпов развития строительного комплекса сегодня не может быть достигнуто без организации мероприятий по экономии материальных и трудовых ресурсов.

Панели наружных стен являются наиболее важным компонентом в крупнопанельном домостроении. Они выполняют разнообразные и сложные функции, поэтому их конструкция обязана отвечать целому ряду требований, таких как высокая прочность, отсутствие деформаций и трещин, высокие влаго-, воздухо- и теплоизолирующие качества, устойчивость к огню, экологичность, привлекательный внешний вид и долгий срок эксплуатации. Всем предъявляемым требованиям и задачам отвечают трехслойные наружные стеновые панели, основой которых является пространственный каркас, выполняемый из стальной арматуры различных диаметров.

При производстве стеновых панелей большой объем сварочных работ приходится на монтаж пространственного арматурного каркаса, где основным типом является крестообразное соединение. В соответствии с требованиями нормативных документов [1] стыковку крестообразного соединения следует осуществлять контактной точечной сваркой по типу К1-Кт и К2-Кт [1], которая предполагает соединение арматурных стержней диаметрами $d = 4...32$ мм сваркой в месте их пересечения. Однако процесс сварки усложняется тем, что сварочные клещи массой 6 кг снижают производительность труда и делают работу более трудоемкой. Габаритные размеры клещей не всегда позволяют подвести электроды в нужное место свариваемых накрест прутков арматуры пространственного каркаса (рис. 1). Также необходимо для каждого случая на электронном блоке подвесной машины устанавливать позиции сварочного цикла в зависимости от диаметров свариваемых прутков, что увеличивает время изготовления изделия.

За последнее десятилетие XX века доля сварки в защитных газах возросла с 64,3 до 75,7 %. Применение дуговой сварки полуавтоматами в среде защитных газов все больше возрастает благодаря простоте процесса сварки, возможности её применения в различных пространственных положениях и получении высокого качества сварных швов. Однако номинальный диаметр свариваемых стержней согласно нормативным документам [1] должен быть не менее 10 мм.

Цель работы – определение прочности сцепления крестообразного соединения арматурных стержней диаметрами менее 10 мм, выполненного дуговой сваркой полуавтоматом в среде активного газа CO_2 плавящимся электродом, и возможности применения данного вида соединения крестообразных узлов для армирования наружных стеновых панелей типа 3 НС в ОАО «Гомельский ДСК».



Рис. 1. Внешний вид сварочных клещей КТП-8-7

Испытательные образцы и методика исследований. Для проведения исследования прочностных характеристик крестообразных соединений арматуры различного диаметра были изготовлены испытательные образцы. Эксперименты проводились в несколько этапов:

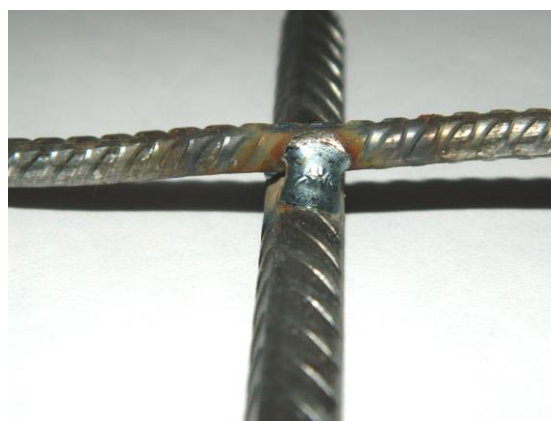
- 1) определение прочности сцепления крестообразного соединения, выполненного дуговой сваркой полуавтоматом в среде активного газа;
- 2) оценка прочности сцепления крестообразных соединений, выполненных наиболее распространенными способами сварки для арматуры диаметром менее 10 мм;
- 3) сравнение энергозатрат контактно-точечного способа сварки арматурного каркаса и дуговой сварки полуавтоматом в среде активного газа.

Для получения первоначальных экспериментальных данных, по которым можно судить о дальнейшей возможности и способах применения дуговой сварки полуавтоматом в среде активного газа к арматуре малых диаметров, были проведены испытания по определению прочности крестообразного соединения с различными диаметрами арматуры. Объектом исследований служил арматурный узел, выполненный в виде крестообразного соединения дуговой сваркой полуавтоматом в среде активного газа CO_2 плавящимся электродом в месте их пересечения. Для изготовления соединений использовалась рабочая и распределительная арматура диаметрами $d = 4; 5; 6; 8; 10$ мм. Материал образцов – сталь Ст3пс, класс S500.

Сварка производилась на сварочном автомате инверторного типа KIT500 дуговым способом в среде активного газа CO_2 плавящимся электродом, на постоянном токе обратной полярности 130-210 А. Материал проволоки – Св-08Г2С, диаметр $d = 1,2$ мм, вылет электрода – 10...15 мм. На арматурные стержни наносился односторонний и двухсторонний сварной шов типа КЗ-Рр [1]. Было изготовлено две партии образцов, соединенных сваркой с одной и двух сторон. Каждая партия состояла из 24 образцов крестообразного соединения с различной комбинацией диаметров арматуры (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Крестообразные соединения с различной комбинацией диаметров арматуры:
а – образцы соединений; б – соединение, выполненное дуговой сваркой в среде активного газа

Затем проводились механические испытания соединений путем приложения к продольному стержню распределительной арматуры одноосной растягивающей нагрузки, которые выполнялись на разрывной машине ИР-500 М-Авто согласно [1]. Погрешность измерения составляла $\pm 1\%$ [2].

По результатам серии испытаний крестообразных соединений на разрыв получены значения временного сопротивления для крестообразных соединений (табл. 1). Для сравнения в таблице 1 приведены нормативные значения по временному сопротивлению для такого типа соединений.

Таблица 1

Разрушающая нагрузка и рассчитанные значения временного сопротивления при разрыве распределительной арматуры крестообразных соединений

Диаметры свариваемой арматуры, $d'_n \times d_n$, мм	Сварка арматурных стержней							
	с одной стороны				с двух сторон			
	Разруша- ющая нагрузка σ , кН	Временное сопротивление R_m , МПа		Характер разрыва	Разруша- ющая нагрузка σ , кН	Временное сопротивление R_m , МПа		Характер разрыва
		фактиче- ское	норматив- ное			фактиче- ское	норматив- ное	
4×5	12,4	633	Не менее 515	По стержню в зоне сварного шва	12,0	612	Не менее 515	По стержню в зоне сварного шва
	12,8	653			12,4	633		
	12,6	643			12,4	633		
4×6	12,0	612			15,0	765		
	13,2	673			13,8	704		
	13,4	684			13,2	673		
4×8	13,8	704			13,3	679		
	12,8	653			13,4	684		
	12,2	622			13,5	689		
4×10	12,5	638			13,4	684		
	11,9	607			13,1	668		
	14,2	612			13,9	709		
5×5	14,8	523	Не менее 515	По сварному шву	17,6	622	Не менее 515	По стержню в зоне сварного шва
	17,6	622			15,0	530		
	17,4	615			17,2	608		
5×6	18,0	636		По стержню в зоне сварного шва	18,2	643		
	17,4	615			17,8	629		
	16,2	572		По сварному шву	17,8	629		
5×8	15,1	534		По сварному шву	18,8	664		
	17,8	643			17,7	625		
	18,2	629		По стержню в зоне сварного шва	18,8	664		
5×10	15,0	530		По сварному шву	19,0	671		
	14,3	505			18,0	636		
	16,2	572			19,2	678		

Несущая способность сварного соединения определялась характером разрыва арматурного стержня. Результаты испытаний крестообразных соединений на разрыв показали, что при приложении нормативной нагрузки не было разрушено ни одно соединение (испытывались 48 образцов). Только при превышении нормативной нагрузки на 80...90 % был выявлен различный характер разрушения: по стержню в зоне сварного шва – 81 %, по сварному шву – 19 %.

Установлено, что все образцы крестообразных соединений, приваренных с двух сторон, имели характер разрушения по стержню в зоне сварного шва, что говорит о его достаточной прочности, поскольку разрывы стержней произошли при превышении нормативной нагрузки на 80...90 %. В то же время образцы крестообразных соединений, приваренных с одной стороны, имели различный характер разрушения. При испытании на разрыв распределительной арматуры $d'_n = 4$ мм все образцы имели одинаковый характер разрушения – по стержню в зоне сварного шва. При разрыве распределительной арматуры $d'_n = 5$ мм по сварному шву разрушилось 75 % образцов. Однако стоит учитывать тот факт, что во время испытаний разрушающая нагрузка превышала нормативную почти на 90 %. Таким образом, результаты первых испытаний говорят о достаточной прочности такого сварного соединения.

Следующий этап эксперимента – проверка на прочность крестообразных соединений при разрыве рабочей арматуры.

Три партии изготовленных образцов были соединены тремя способами сварки:

- контактно-точечным способом: на подвесной машине типа МТП 1110 клещами типа КТП-8-7, на переменном токе, тип электрода – Э50А, диаметр $d = 25$ мм;

- дуговым способом покрытым металлическим электродом: на сварочной машине ВД-301УЗ, на постоянном токе силой 150...175 А, тип электрода – Э50А, диаметр $d = 4$ мм;

- дуговым способом полуавтоматом в среде активного газа плавящимся электродом: на сварочном автомате инверторного типа КИТ500, на постоянном токе обратной полярности силой 130...210 А, материал проволоки – Св-08Г2С, диаметр $d = 1,2$ мм, вылет электрода – 10...15 мм.

Для изготовления соединений использовалась рабочая и распределительная арматура диаметрами $d = 4; 5; 6; 8$ мм. Материал образцов – сталь Ст3пс, класс S500. Сочетание диаметров арматуры крестообразных соединений было выбрано из наиболее часто встречающихся в пространственном каркасе наружной стеновой панели. После сварки соединения подверглись испытаниям на растяжение на разрывной машине ИР-500 М-Авто (табл. 2).

Таблица 2

Временное сопротивление рабочей арматуры крестообразных соединений, испытанных на разрыв

Диаметры свариваемой арматуры $d'_n - d_n$, мм,	Способ сварки									
	контактно-точечный способ сварки			дуговая сварка покрытым металлическим электродом			дуговая сварка в активном газе плавящимся электродом			
	Временное сопротивле- ние по рабочей арматуре R_m , МПа		Характер разрыва	Временное сопротив- ление по рабочей арматуре R_m , МПа		Характер разрыва	Временное сопротив- ление по рабочей арматуре R_m , МПа		Характер разрыва	
	фактиче- ское	норматив- ное		фактиче- ское	норматив- ное		фактиче- ское	норматив- ное		
4×8	885	He менее 515	По стержню	842	He менее 525	По сварке	563	He менее 515	По сварке	
	880			855			590			
	870			838			575			
5×5	730			726			533			
	725			735			525			
	735			716			514			
6×8	883	He менее 525		749	He менее 525		По сварке	616		He менее 525
	875			735				608		
	862			731				668		
8×4	783			759				599		
	882			765				600		
	785			783				612		
8×6	769			767				603		
	874			752				610		
	787			741				613		

Все образцы (45 шт.) выдержали нормативную нагрузку. Несмотря на самое маленькое значение временного сопротивления рабочей арматуры диаметрами 6 и 8 мм соединений, выполненных дуговой сваркой в активном газе плавящимся электродом, при разрыве нагрузка превышала нормативную в среднем на 20...30 %.

На рисунке 3 представлены результаты средних значений временного сопротивления для разного диаметра арматуры и разных способов сварки. Из диаграммы видно, что контактно-точечный способ сварки показал более высокие значения временного сопротивления арматуры, однако дуговой способ сварки полуавтоматом в среде активного газа не уступает ему по прочности.

Последним этапом эксперимента было сравнение энергозатрат на изготовление арматурного блока дуговой сваркой полуавтоматом в среде активного газа и контактно-точечной сваркой.

Объектом исследований служил арматурный блок АБВЦ3-3. Арматурный блок состоял из арматурных каркасов типов КР-6, КР-11, КР-18, ПКВ-1, фиксаторов ФС1 и ФС2, подъемных петель П2 диаметром $d = 20$ мм, класса S240 и арматуры диаметром $d = 4, 5, 8, 12$ различной длины, класса S500. На места соединений наносился сварной шов типа К3-Рр.

Сварка арматурного блока производилась в помещении цеха 2 способами:

- дуговым способом в среде активного газа плавящимся электродом на сварочном автомате инверторного типа КИТ500, на постоянном токе обратной полярности 170-190 А;

- контактно-точечным способом на подвесной машине МТП1110 клещами типа КТП-8-7.

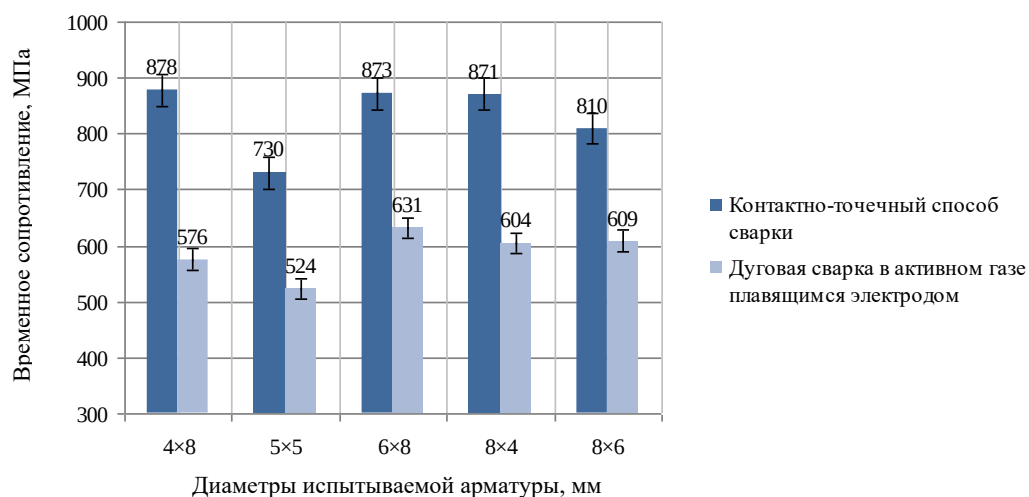


Рис. 3. Среднее временное сопротивление арматуры крестообразных соединений для каждого вида сварки

Внешний вид процесса сварки арматурного каркаса во время эксперимента представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Процесс сварки арматурного каркаса в цехе:
а – раскладка составляющих элементов арматурного блока; б – общий вид готового арматурного блока

Основные технические характеристики применяемого оборудования для контактно-точечной сварки и дуговой сварки полуавтоматом в среде активного газа, а также результаты замера времени сварки арматурного блока приведены в таблицах 3 и 4 соответственно.

Таблица 3

Технико-экономические показатели применяемого оборудования

Наименование параметра (условия)	Контактно-точечная сварка	Дуговая сварка полуавтоматом в среде активного газа
Мощность при ПВ 50 %, кВт	60	17,3
Водяное охлаждение (расход), л/ч	530	—
Расход воздуха, м ³ /100 ходов	0,4	—
Расход СО ₂ , л/мин	—	1
Мощность компрессора (для обеспечения воздуха), кВт	30	—
Мощность насоса для охлаждения электродов, кВт	—	0,07

Во время испытаний при сварке контактно-точечным способом отмечена сложность работы со сварочными клещами, отсутствие возможности подвода клещей в труднодоступные места, что может

грозить пропуском сварных швов, а в случае доступа – недостаточной выдержкой арматуры между электродами и как следствие низкая прочность сцепления арматурного узла.

Таблица 4

Трудоемкость изготовления арматурного блока

Наименование работы	Контактно-точечная сварка	Дуговая сварка полуавтоматом в среде активного газа
Подготовка, мин	5	5
Сварочные работы, мин	22	8

Анализ технических характеристик и времени сварки, приведенных в таблицах 3 и 4, показывает явные преимущества дугового способа сварки полуавтоматом в среде активного газа перед контактно-точечной [3]. Экономический эффект дугового процесса сварки будет проявляться в снижении трудоемкости изготовления, сокращении времени сварки, увеличении производительности выпуска арматурных блоков для наружных стеновых панелей без потери качества и прочности сварных соединений.

Преимущества дуговой сварки полуавтоматом в среде активного газа обеспечиваются:

- минимальным воздействием на структуру и свойства металла, прилегающего к зоне сварки (высокая плотность тока, локальный нагрев);
- высоким качеством шва, уменьшением трудоемкости его обработки (отсутствие окалины, вскипания сварочной ванны);
- простотой применения, не требующей высокой квалификации сварщика (автоматический поджиг и удержание дуги, постоянный контроль качества шва).

Заключение. Результаты проведенных исследований показывают возможность замены контактно-точечного способа сварки дуговым способом сварки полуавтоматом в среде активного газа, однако в настоящее время она практически не может использоваться для сварки арматуры малых диаметров (до 10 мм), которая широко применяется в современном панельном домостроении. Это обусловлено отсутствием нормативной базы, регламентирующей требования к дуговой сварке арматуры малых диаметров. Зачастую разработчики нормативных документов не учитывают технической возможности предприятий-изготовителей железобетонных изделий. Поэтому необходимо нарабатывать результаты практических испытаний по данному виду сварки для дальнейшей разработки технологического регламента и внедрения его в современное производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изделия арматурные сварные для железобетонных конструкций. Технические условия: СТБ 2174-2011. – Введ. 2011-02-23. – Минск: Госстандарт, 2011. – 46 с.
2. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования: ГОСТ 28840-90. – Введ. 1990-12-29. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1990. – Переизд. декабрь, 2003 г. – 8 с.
3. Врублевская, В.В. Уменьшение трудоемкости изготовления арматурных блоков для наружных стеновых панелей / В.В. Врублевская, А.А. Васильев, Д.М. Гурский // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VI междунар. науч.-техн. конф. – Гомель: БелГУТ, 2012. – С. 280 – 281.

Поступила 19.12.2012

INVESTIGATION OF DURABILITY OF CROSSWISE CONNECTIONS FROM STEEL REINFORCEMENT OF SMALL DIAMETER, MADE WITH ARC WELDING BY A SEMIAUTOMATIC DEVICE IN THE ENVIRONMENT OF ACTIVE GAS

V. VRYBLEVSKAYA, A. VASILIEV, D. GYRSKI

Researches on arc welding by a semiautomatic device in the environment of active gas of crosswise connections of fittings with a diameter up to 10 mm for decrease in energy consumption and labor productivity increase at production of the reinforcing block ABVC3-3 for external wall panels are carried out. Experimental data of tests for a rupture of working and distributive fittings of crosswise connections are obtained and its analysis is carried out. Comparison of the most widespread ways of welding of such connections is made. Duration of welding of a spatial reinforcing framework for external wall panels is determined. The possible option of improvement of technology of welding of the reinforcing block for external wall panels by replacement of the way of welding by a more effective one is offered.