

# КОНТАКТНАЯ СТЫКОВАЯ СВАРКА СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ КЛАССОВ А400С–А600С ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

П. Н. ЧВЕРТКО, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрено применение контактной стыковой сварки стержневой арматуры в строительной индустрии в монтажных и полустационарных условиях при строительстве монолитных железобетонных конструкций. Этот способ отличается высокой стабильностью показателей качества соединяемой арматуры и отсутствием вспомогательных материалов. Определены основные технологические параметры процесса, разработаны базовые технологии, обеспечивающие увеличение срока эксплуатации железобетонных конструкций, повышения их надежности и гарантии высокого эксплуатационного ресурса.

*Ключевые слова:* контактная стыковая сварка, стержневая арматура, сварные соединения, монтажные условия, монолитный железобетон

При строительстве и ремонте железобетонных сооружений и конструкций применяются различные способы дуговой сварки арматуры. Наибольшее распространение получили ручная и полуавтоматическая электродуговая сварка, ванно-дуговая сварка и др. Следует отметить, что на заводах и комбинатах сборного железобетона, кроме упомянутых способов, широко применяется контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением, которая в настоящее время является одним из основных способов производства стыковых соединений арматуры в заводских условиях.

Контактная стыковая сварка отличается высоким стабильным качеством сварных соединений, практически равнопрочных с основным металлом, что позволяет существенно повысить надежность и эксплуатационный ресурс железобетонных конструкций и обеспечить высокую производительность. Процесс сварки происходит в автоматическом режиме, совмещает в едином цикле сборочные и сварочные операции, не требует применения вспомогательных расходных материалов (электродов, сварочной проволоки, флюсов, газов и др.). При этом специальные требования к квалификации сварщиков не предъявляются. В настоящее время в монтажных условиях этот способ сварки не применяется прежде всего в связи с отсутствием специальных технологий и оборудования.

Имеющийся опыт разработки технологий и специализированного оборудования контактной стыковой сварки в полевых условиях железнодорожных рельсов и труб позволяет применить этот процесс для соединения стержневой арматуры железобетона в монтажных и полустационарных ус-

ловиях. Для этого необходимо определить технологические особенности процесса и требования к специализированному оборудованию, которые зависят главным образом от условий его эксплуатации. Оборудование должно быть мобильным, компактным, иметь минимально возможную электрическую мощность и максимальную защиту от влияния окружающей среды.

Как правило, стержневую арматуру железобетона диаметром до 22 мм соединяют контактной стыковой сваркой непрерывным оплавлением, а большие диаметры — оплавлением с предварительным подогревом сопротивлением. Последний характеризуется широкой, нестабильной ЗТВ. Контактная стыковая сварка пульсирующим оплавлением позволяет соединять весь сортамент арматуры и имеет преимущества приведенных выше способов.

При строительстве монолитных железобетонных конструкций в соответствии с рекомендациями [1] наиболее часто используют арматуру классов А400С–А600С из сталей СтЗГпс, 25Г2С и 35ГС в горячекатаном или термически упрочненном состоянии, на которых проводили технологические исследования и разработку базовой технологии. Механические характеристики этих сталей в горячекатаном состоянии приведены в табл. 1, а химический состав — в табл. 2.

Проведенные технологические исследования сварки горячекатаной арматуры позволили установить значения основных параметров режимов сварки: установочной длины  $L_{уст}$ , припусков на

**Таблица 1. Механические характеристики стержневых арматурных сталей**

Марка стали	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
35ГС	370...500	610...670	18...30
25Г2С	380...400	590...620	23...31
ВСтЗГпс	235	370...490	25

Таблица 2. Химический состав стержневых арматурных сталей, мас. %

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Cu
25Г2С	0,20...0,29	1,20...1,60	0,60...0,90	<0,30	<0,30	<0,045	<0,040	<0,30
35ГС	0,30...0,37	0,80...1,20	0,60...0,90	<0,30	<0,30	<0,045	<0,040	<0,30
ВСтЗГпс	0,14...0,22	0,80...1,10	<0,15	<0,30	<0,30	<0,05	<0,040	<0,30

Таблица 3. Параметры режимов сварки горячекатаной арматуры железобетона классов А240С–А500С

$D$ , мм	$U_{2x,x}$ , В	$L_{опл}$ , мм	$L_{ос}$ , мм	$t_{св}$ , с
12...18	5,5...6,0	10...12	3	8...10
20...28	5,5...6,0	11...15	4...5	15...20
32...40	6,0...6,5	13...17	5...6	До 30

Таблица 4. Результаты механических испытаний сварных соединений горячекатаной арматуры класса А400С из стали 35ГС

$D$ , мм	$\sigma_r$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа
16	$\frac{432,7...472,4}{457,9}$	$\frac{721,2...731,1}{726,1}$
18	$\frac{361,4...402,6}{387,9}$	$\frac{628,8...660,2}{647,6}$
20	$\frac{394,7...451,2}{418,0}$	$\frac{652,5...719,4}{699,4}$
22	$\frac{356,6...394,4}{372,2}$	$\frac{639,3...684,0}{657,7}$
25	$\frac{399,2...482,8}{432,9}$	$\frac{652,5...754,4}{678,7}$
28	$\frac{455,1...513,0}{490,0}$	$\frac{674,8...754,4}{724,8}$
32	$\frac{456,2...565,8}{505,9}$	$\frac{684,4...719,4}{697,1}$
36	$\frac{469,4...517,3}{498,1}$	$\frac{646,2...757,6}{708,8}$

оплавление  $L_{опл}$  и осадку  $L_{ос}$ , вторичного напряжения холостого хода  $U_{2x,x}$ , скоростей оплавления  $v_{опл}$  и осадки  $v_{ос}$ , времени сварки  $t_{св}$  и времени осадки под током  $t_{осл}$  (табл. 3). Значения припусков, необходимых для достижения требуемого разогрева зоны пластической деформации металла при осадке, с учетом скоса кромок свариваемых

деталей, определяли экспериментально. Установлено, что скорость оплавления в начале процесса 0,4...0,5 мм/с, а непосредственно перед осадкой повышается до 2,0...2,5 мм/с. Вторичное напряжение холостого хода, которое обеспечивает стабильное протекание процесса нагрева при оплавлении, должно быть минимальным [2].

Механические испытания натуральных образцов соединений горячекатаной арматуры из стали 35ГС, сваренных непрерывным оплавлением на оптимальных режимах, проводили в соответствии с требованиями [3]. Их результаты приведены в табл. 4. Разрушение всех образцов происходило по основному металлу на значительном расстоянии от сварного соединения и ЗТВ (рис. 1).

Аналогичные результаты получены и на сталях СтЗГпс и 25Г2С в горячекатаном состоянии. Макрошлиф соединения и распределение микротвердости показаны на рис. 2, микроструктуры зоны соединения и основного металла — на рис. 3.

Предварительное термическое упрочнение арматурной стали существенно повышает требования к выбору режима нагрева ее при сварке, обеспечивающего формирование сварного соединения равнопрочного к основному металлу.

При сварке термически упрочненной арматуры непрерывным оплавлением на мягких режимах или оплавлением с предварительным подогревом сопротивлением в металле ЗТВ наблюдается снижение предела прочности до уровня предела прочности стали, которая не подвергалась предварительной термической обработке. В качестве основных изменяемых параметров режима сварки выбраны  $L_{уст}$ ,  $L_{опл}$  и  $t_{осл}$ .

В ходе исследований и разработки технологии сварки термически упрочненной арматуры из стали 25Г2С определено, что оптимальное значение установочной длины находится в тех же пределах,

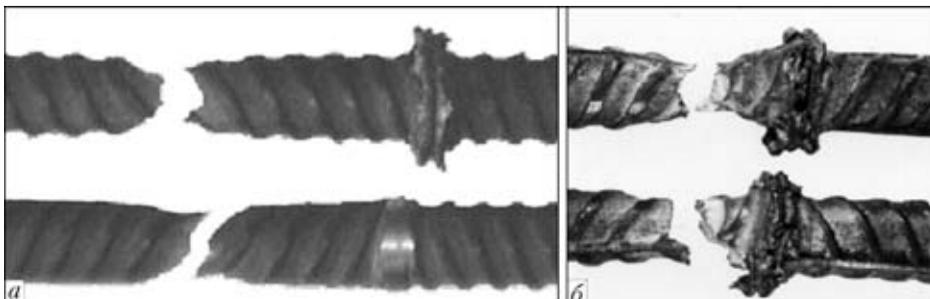


Рис. 1. Сварные образцы горячекатаной (а) и термически упрочненной (б) арматуры железобетона после испытаний на растяжение

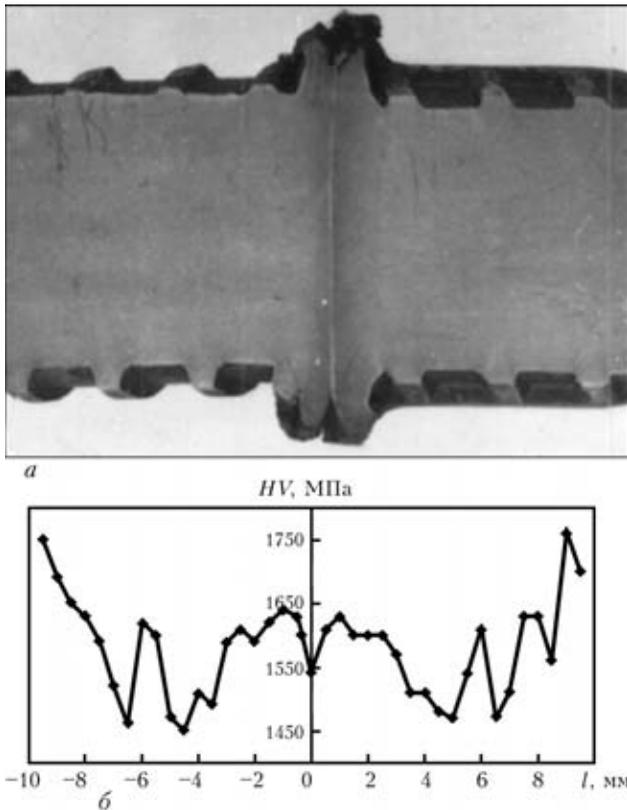


Рис. 2. Макрошлиф (а) и распределение микротвердости (б) в зоне сварного соединения арматуры из стали Ст3Гпс

Т а б л и ц а 5. Параметры режимов сварки и результаты механических испытаний арматуры класса А600С из стали 25Г2С

$L_{\text{уст}}$ , мм	$L_{\text{опл}}$ , мм	$t_{\text{осл}}$ , с	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\sigma_{\text{св}}/\sigma_{\text{ом}}$ , %	Место разрушения
25	11	0,10	$\frac{830...850}{847}$	$\frac{96,1...98,2}{97,3}$	ЗТВ
11	4	0,10	$\frac{800...825}{816}$	$\frac{93,7...96,6}{95,5}$	По стыку
7	4	0,10	$\frac{870...875}{873}$	$\frac{93,7...102,0}{97,9}$	»
12	8	0,04	$\frac{825...845}{831}$	$\frac{95,5...97,0}{96,3}$	По стыку 2 образца
15	10	0,04	$\frac{835...845}{836}$	$\frac{96,1...97,0}{96,4}$	То же
17	12	0,04	$\frac{820...850}{838}$	$\frac{95,0...98,2}{96,7}$	По основному металлу 2 образца

что и при сварке горячекатаной арматуры (1,7...2,0)D. Значение припуска на оплавление также мало отличается и его можно принять равным соответствующему припуску, определенному для горячекатаной арматуры.

Повышенная чувствительность к нагреву термически упрочненной арматуры предъявляет дополнительные требования к термическим циклам нагрева при сварке. Поскольку основные параметры режимов сварки горячекатаной и термически упрочненной арматуры имеют практически одинаковые значения, наибольшее влияние на механические характеристики соединений оказывает время осадки под током, т. е. значение разупрочнения, которое в значительной степени зависит от дополнительного нагрева при осадке.

В ходе исследований время осадки под током изменялось от 0,10 до 0,04 с. Полученные результаты приведены в табл. 5.

Первые пять сварных образцов при механических испытаниях разрушились пластично в ЗТВ с разупрочнением не более 2...4 % (см. рис. 1, б).

При сварке на режимах с более низкими припусками на оплавление происходит хрупкое разрушение, обусловленное интенсивным отводом тепла в охлаждаемые электроды сварочной машины. Увеличение зоны разогрева при оплавлении с одновременным сокращением времени осадки под током позволило получить сварные соединения практически равнопрочные с основным металлом. Разупрочнение не превышало 2 %. При этом разрушение большинства образцов (около 90 %) происходило по основному металлу вне ЗТВ.

Макрошлиф такого соединения и распределение микротвердости в нем приведены на рис. 4.

Для предупреждения возникновения различных дефектов сварки необходимо строго соблюдать рекомендуемые режимы, особенно при работе с термически упрочненной арматурой. Выше было показано, что при недос-

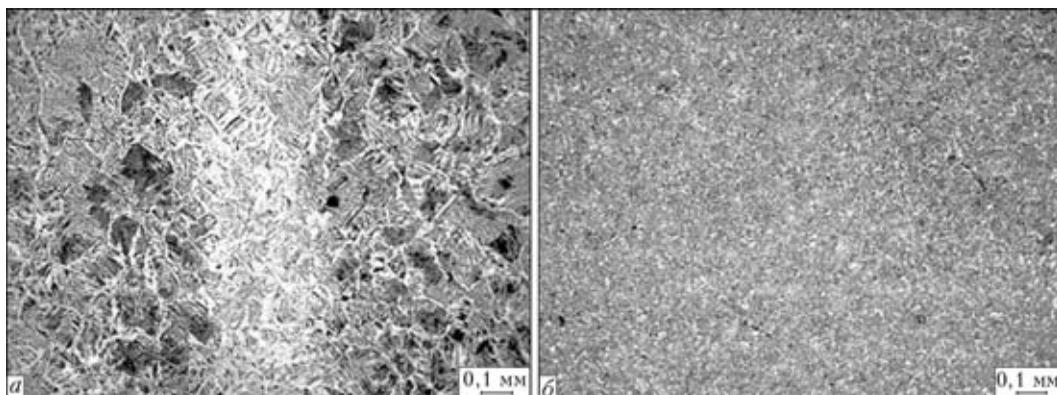


Рис. 3. Микроструктуры сварного соединения (а) и основного металла (б) арматуры из стали Ст3Гпс

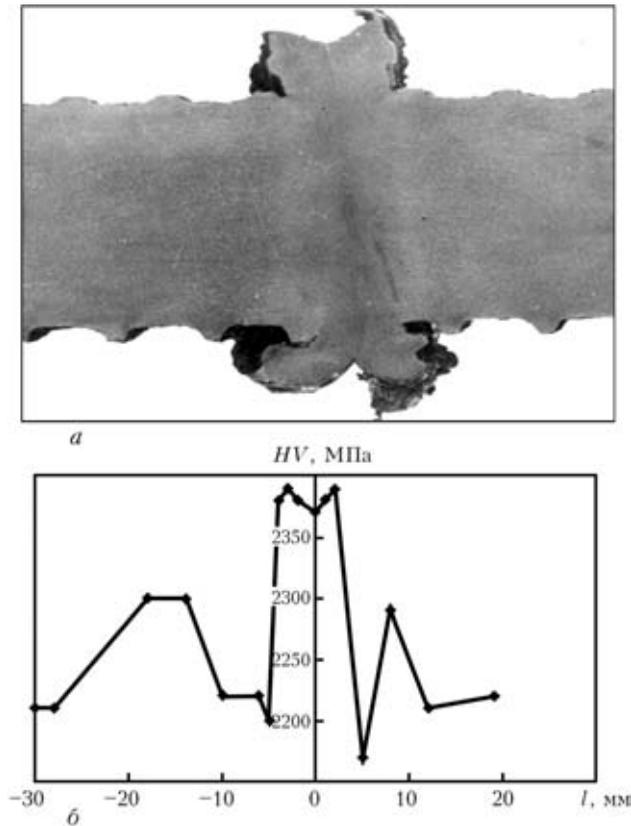


Рис. 4. Макрошлиф (*a*) и распределение микротвердости (*б*) в зоне сварного соединения арматуры из стали 25Г2С

таточном нагреве свариваемых деталей значительно снижаются пластические характеристики арматуры. При механических испытаниях происходит хрупкое разрушение непосредственно по стыку или ЗТВ. Перегрев соединения приводит к снижению прочностных характеристик в ЗТВ. При дальнейшем увеличении цикла нагрева до 30...40 с происходит характерное разрушение с наличием горячих трещин в плоскости соединения (рис. 5, *a*), предел прочности при этом не превышает 100...140 МПа.

Кроме того, в ряде случаев наблюдалось разрушение образцов по подгарам (рис. 5, *б*). Как правило, образование таких дефектов происходит при недостаточном усилии зажатия свариваемых деталей или сильном загрязнении токоподводящих губок. В месте неплотного прилегания детали к электроду увеличивается переходное электрическое сопротивление до значения, превышающего сопротивление искрового зазора и начинается процесс локального оплавления по контактной поверхности деталь–электрод. Как отмечено выше, образующиеся при этом подгары в виде кратеров существенно снижают механические свойства сварных соединений. Образованию подгаров также способствует повышенное электрическое сопротивление между профильной боковой поверхностью арматуры и электродом. Исходя из этого усилие зажатия выбирается, по крайней мере, в два раза больше чем усилие осадки.

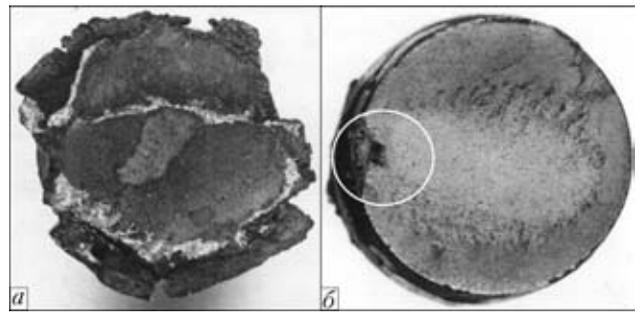


Рис. 5. Излом арматуры после испытаний на растяжение: *a* — перегрев при сварке; *б* — наличие подгара

Уменьшение вероятности образования и количества подгаров достигается путем правильного выбора удельного усилия зажатия, регулярной зачисткой токоподводящих электродов через каждые 5...10 сварок и максимально возможным снижением вторичного напряжения  $U_{2x.x}$ .

Применение технологий соединения горячекатаной и термически упрочненной арматуры позволит получать практически равнопрочные с основным металлом стыковые соединения в монтажных и полустационарных условиях, увеличить срок эксплуатации железобетонных конструкций, повысить их надежность и гарантировать высокий эксплуатационный ресурс.

## Выводы

1. Для стыковой сварки арматуры из высокопрочных сталей перспективно применение контактной стыковой сварки. Она выполняется в автоматическом режиме и не требует применения вспомогательных сварочных материалов. При этом квалификация сварщиков не влияет на качество сварных соединений. Производительность процесса достаточно высокая, время сварки одного соединения не превышает 1 мин.

2. При наличии большого количества сварных соединений (например, на одном мостовом переходе выполняется от сотен тысяч до миллионов сварных соединений) применение контактной стыковой сварки в монтажных и полустационарных условиях обеспечивает высокую экономическую эффективность, повышает производительность строительства и значительно снижает количество бракованных соединений.

3. Распределение температуры в приконтактной зоне при сварке непрерывным оплавлением на жестких режимах и особенно пульсирующим оплавлением создает наиболее благоприятные условия для пластической деформации во время осадки.

4. Применение способа контактной стыковой сварки пульсирующим оплавлением обеспечивает стабильное качество сварных соединений из высокопрочных и термически упрочненных арма-

турных сталей. При этом величина разупрочнения не превышает 2...4 %.

5. Повышение плотности тока при пульсирующем оплавлении по сравнению с непрерывным создает повышенную угрозу образования подгаров, что отрицательно влияет на качество сварных соединений.

1. *ДСТУ 3760:2006*. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Загальні технічні умови. — Київ: Держспоживстандарт України, 2007. — 21 с.
2. *Кучук-Яценко С. И.* Контактная стыковая сварка оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1992. — 234 с.
3. *ГОСТ 10922-90*. Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 30 с.

Application of resistance welding of reinforcement bars in construction industry in site and in semi-stationary conditions in construction of monolithic concrete structures is considered. This process features a high stability of quality characteristics of the joined reinforcement bars and absence of auxiliary materials. Main technological parameters of the process were determined, basic technologies were developed, which ensure an extension of the service life of concrete structures, improvement of the reliability and guarantee of prolonged operating life

Поступила в редакцию 26.04.2010

## **НАНОТВЕРДОСТЬ И СОВРЕМЕННЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ**

Международная научно-техническая  
и научно-методическая конференции

10–11 октября 2010

г. Харьков ХНАДУ (ХАДИ)

### **Тематика конференции:**

- ✓ актуальные проблемы определения нанотвердости материалов
- ✓ современные технологии получения и методы исследования наноструктурных слоев и покрытий
- ✓ использование нанотехнологий для повышения конструктивной прочности деталей машин
- ✓ нанотехнологии в содержании инженерных и специальных дисциплин, методические особенности их преподавания
- ✓ конструкционные функциональные наноматериалы (методы исследования и результаты)

**По вопросам участия в конференции, опубликования докладов  
обращаться по тел. (057) 700-38-75; (057) 707-37-29;  
E-mail: mvi@knadi.kharkov.ua**