

УДК 621.791.05:691.87

СОЕДИНЕНИЕ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ С КВАЗИКОМПОЗИТНОЙ СТРУКТУРОЙ ФЛАНГОВЫМИ ШВАМИ

канд. техн. наук, доц. **Е.А. МОЙСЕЙЧИК**
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Исследованы изменения структуры арматурных стержней с исходным слоистым (квазикомпозитным) строением в результате сварочных воздействий, перераспределение углерода в шве и околошовных зонах. Показано, что после сварки в сечениях стержня происходит существенное изменение первоначального слоистого структурного строения и прочностных характеристик слоев. Первоначально более прочные наружные слои свариваемых стержней в зоне термического влияния сварки становятся менее прочными. Соответственно, при работе таких стержней в железобетонной конструкции на ослабленных участках вместо центрального растяжения-сжатия возникает растяжение с изгибом и более сложные напряженные состояния. При увеличении количества сварочного тепла изменяются размеры зоны термического влияния, объем металла стержня, в котором происходят изменения первоначальной слоистой структуры и превращения структурных составляющих стали. При этом менее значительные изменения происходят при кратковременном воздействии сварочного тепла или его отводе от стержня с помощью накладок.

Введение. Для различных элементов железобетонных конструкций часто используют термоупрочненную арматуру, например, класса S500 [1]. Поперечные сечения такой арматуры имеют квазикомпозитное (слоистое) строение [2 – 6]. Это предопределено различиями в условиях структурообразования приповерхностных и внутренних слоев арматурных стержней в процессе металлургического производства: если в приповерхностных слоях аустенит превращается на стадии закалки при охлаждении, то процессы структурообразования в середине стержня протекают на стадии самоотпуска в условиях, приближенных к изотермическим. В результате по сечению термоупрочненных изделий формируются слои с различными структурно-фазовыми состояниями и физико-механическими характеристиками. Технологические приемы производства такой арматуры были разработаны в конце прошлого века [7 – 10], а детальные исследования строения таких арматурных стержней, их состава и механических свойств начали проводиться лишь в последние годы [2 – 6; 11 – 13].

При образовании изделий из термоупрочненной арматуры необходимо учитывать особенности их строения [14 – 17]. В настоящее время применяют три основных метода соединения арматурных стержней: сварное соединение, внахлестку без сварки, механическое. Для стыкования арматурной стали А500С практически без ограничения применяются следующие виды дуговой сварки: ручная дуговая протяженными швами, внахлестку и с накладками, ванно-шовная, многослойными швами на стальной скобе-накладке, дуговая в крест. Механические соединения (стыки) арматуры выполняются с помощью опрессованных и резьбовых муфт.

Соединения арматуры с использованием сварки в современной строительной практике распространены достаточно широко. Особенности сварки прокатных изделий (включая арматуру) являются: сравнительно высокие скорости нагревания и охлаждения; непродолжительное время пребывания металла шва в расплавленном состоянии; непрерывное перемещение фронта кристаллизации вслед за источником тепла; кристаллизация и набор прочности соединением при значительном градиенте температур; высокий нагрев отдельных объемов металла соединения [14 – 17]. В термомеханически упрочнённой арматуре при повторном нагреве образуются метастабильные структуры [16].

Цель настоящей работы – выявление изменений структуры арматурных стержней с исходным слоистым (квазикомпозитным) строением, перераспределение углерода в шве и околошовных зонах и особенностей разрушения соединений стержней с фланговыми швами.

Материал и методика исследования. Для исследования исходной структуры использовали образцы диаметром 12, 25 мм из арматурного проката Ат500С (табл. 1), изготовленного по ТУ РБ 04778771.001-97 на РУП БМЗ, из которых отбирались пробы, затем вырезали заготовки, темплеты и готовили шлифы. Подготовка проб производилась фрезой при малых оборотах и интенсивной подаче охлаждающей жидкости в зону реза. Структурную неоднородность выявляли по измерениям микротвердости прибором «Mісromet-П» с нагрузкой на призму 100 г в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76. Исследование морфологии образцов с ненарушенной сваркой структурой проводили на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mіга» фирмы «Тесcaп» (Чехия), оснащенном детекторами вторичных электронов SE и обратно отраженных электронов BSE, которые позволяют проводить исследование образцов в двух режимах.

Образцы со сварочными воздействиями вырезали после испытаний на разрыв сварных соединений с наплавками и фланговыми швами, которые проводили в соответствии с ГОСТ 1497-84 на универсальной испытательной машине Р-100. Исследование структуры образцов со сварочными воздействиями проводили на световом микроскопе «MeF-3» фирмы «Reichert» (Австрия) при увеличении $\times 100$, $\times 200$, $\times 500$. Структура устанавливалась по ГОСТ 8233-56, оценка балла Видманштетта – по ГОСТ 5640-86. Исследование изменений элементного состава при сварочных воздействиях проводили с помощью микрорентгеноспектрального анализатора «INCA 350» фирмы «Oxford Instruments» (Англия), посредством которого можно выявлять элементы от бора до урана. Минимальный предел обнаружения элемента 0,5 %; погрешность метода 3...5 относ. %.

Таблица 1

Характеристики арматурных стержней

№ п/п	Арматура	Ø, мм	Химический состав, %										Механические свойства			
			C*	Si*	Mn*	P**	S**	Cr*	Ni*	Cu*	As*	N ₂ **	σ_T , Н/м ²	σ_B , Н/м ²	$\Delta\delta$, %	угол изгиба
1	Ат500С	12	19	18	60	23	16	8	9	20	1	8	585,0	675,0	25,5	90
2	Ат500С	25	18	19	58	9	16	13	10	21	1	9	550,0	660,0	20,5	90

Примечания: 1. * – увеличенное в 100 раз; ** – увеличенное в 1000 раз;
2. Позиции 1, 2: прокат арматурный и термомеханически упрочненный по ТУ РБ 04778771.001-97, РУП БМЗ.

Металлографические и элементные исследования элементов соединений. Сварка выполнялась на постоянном токе обратной полярности в режиме: $I_{св} = 200...220A$, $U_d = 25...27V$, $V_{св} = 12...14 м/ч$, примерный расход углекислого газа – 16 л/мин. Макро- и микроструктура слоев арматурных стержней со сварочными воздействиями приведена в таблицах 2 – 6.

Таблица 2

Характеристики сечений и участков соединений

Образец, сечение	Характерные схемы, макроструктура сечений, микроструктура зон сечений	
Образец № 13, Ø12 мм, сечение 1 – 1, наплавка на поперечное ребро		

Окончание таблицы 2

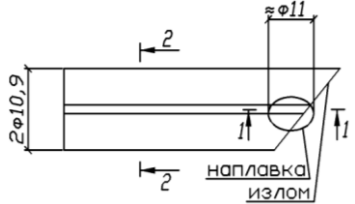
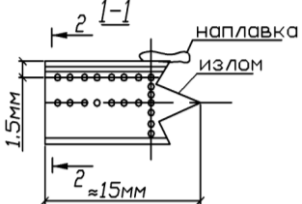
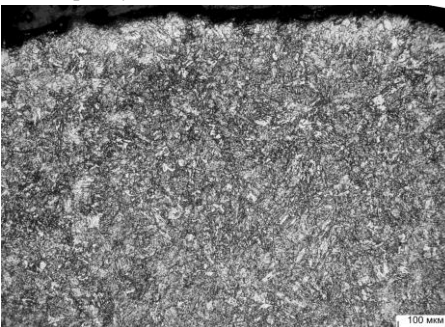
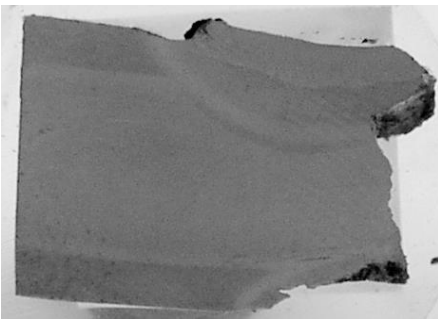
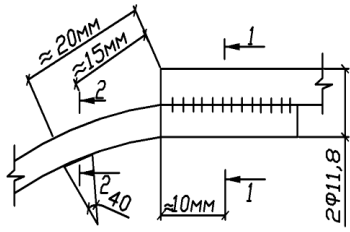
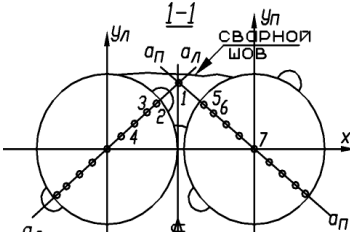
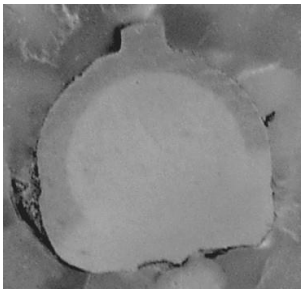
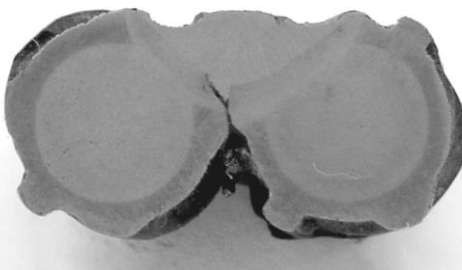
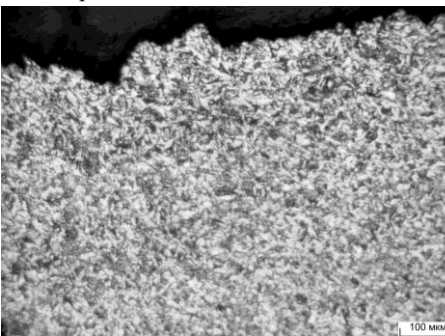

Образец, сечение	Характерные схемы, макроструктура сечений, микроструктура зон сечений	
Образец № 57, Ø12 мм, сечение 1 – 1, наплавка на продольное ребро		
	<p>1 – 1, край, у излома</p> 	<p>1 – 1</p> 

Таблица 3

Характеристики сечений и участков соединений

Образец, сечение	Характерные схемы, макроструктура сечений, микроструктура зон сечений	
Образец № 41, Ø12 мм, сечения 1 – 1, 2 – 2, соединение фланговым швом		
	<p>2 – 2</p> 	<p>1 – 1</p> 
	<p>2 – 2, край</p> 	<p>2 – 2, участок 2</p> 

Окончание таблицы 3

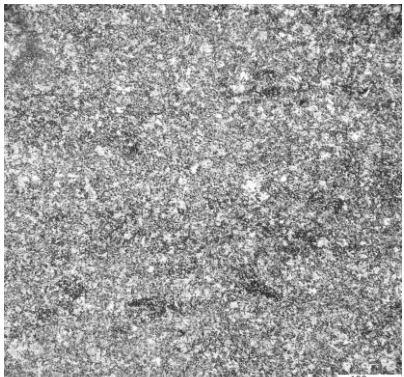
Образец, сечение	Характерные схемы, макроструктура сечений, микроструктура зон сечений	
Образец № 41, Ø12 мм, сечения 1 – 1, 2 – 2, соединение фланговым швом	2 – 2, участок 4 	1 – 1, участок 2 

Таблица 4

Характеристики сечений и участков соединений

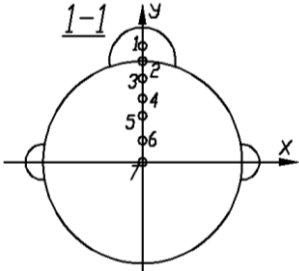
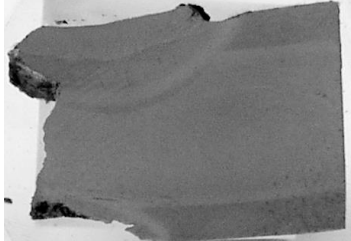
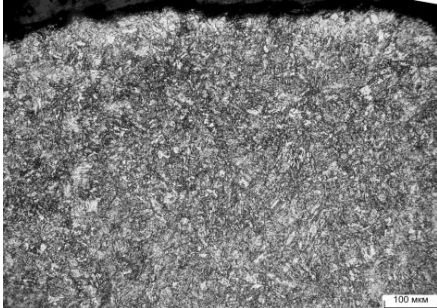
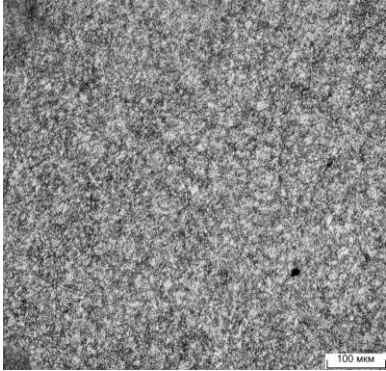
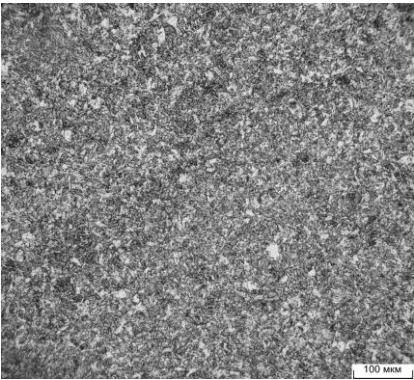
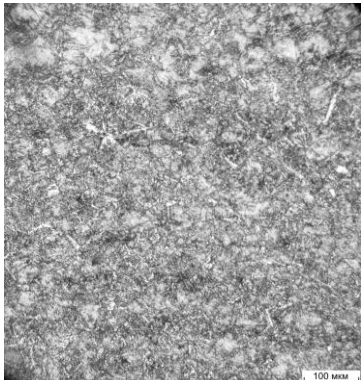
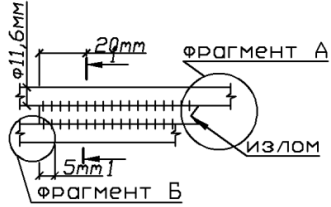
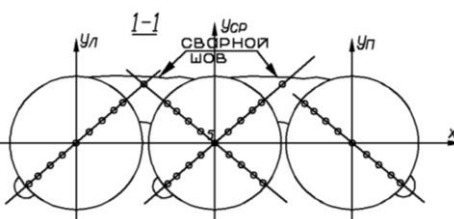
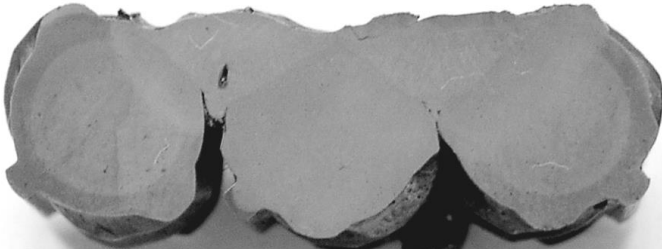

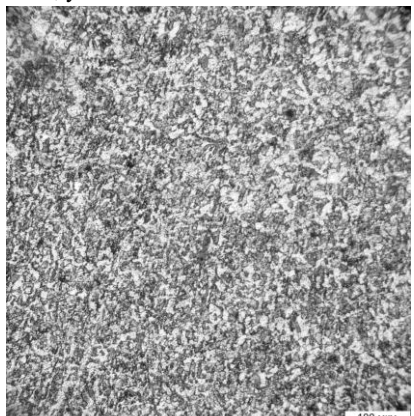
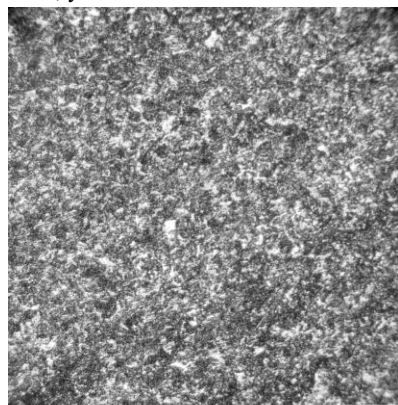
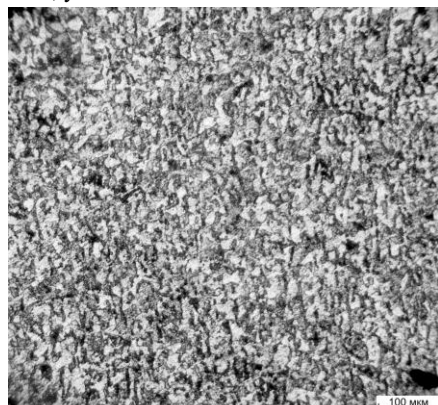
Образец, сечение	Характерные схемы, макроструктура сечений, микроструктура зон сечений	
Образец № 57-1, Ø25 мм, сечение 1 – 1, наплавка на продольное ребро		Вид сечения YOZ 
	1 – 1 край, участок 1 	1 – 1, участок 2 
	1 – 1, участок 3 	1 – 1, участок 7 

Таблица 5

Характеристики сечений и участков соединений

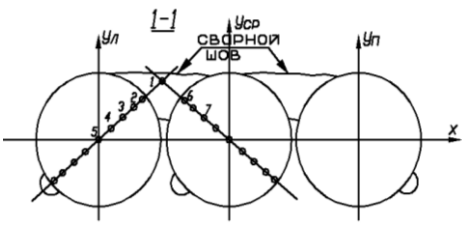
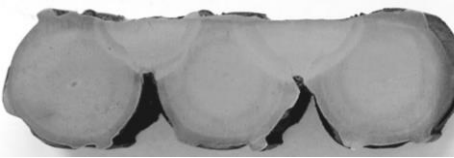
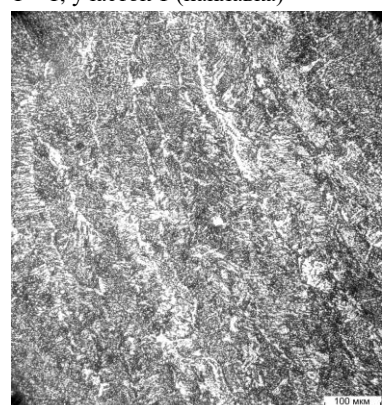
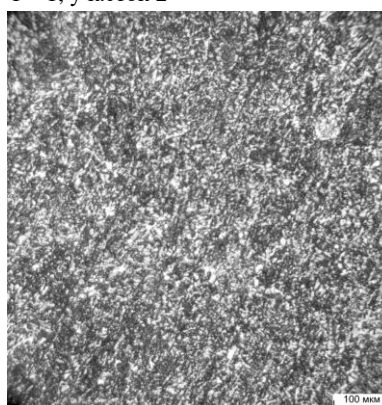
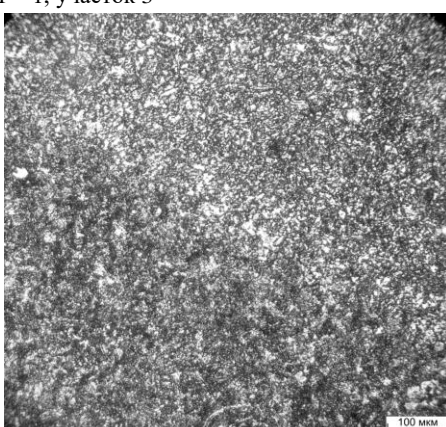
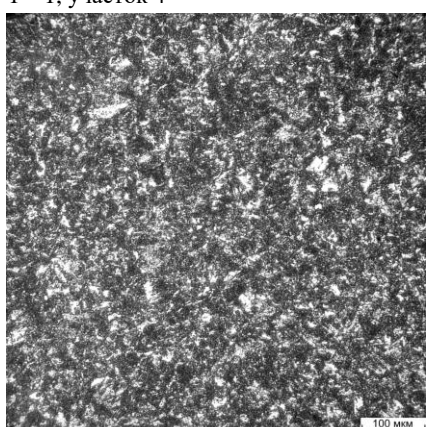
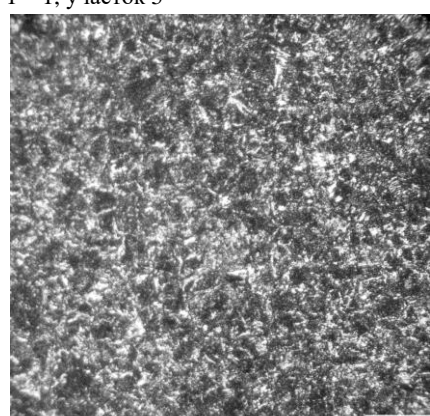
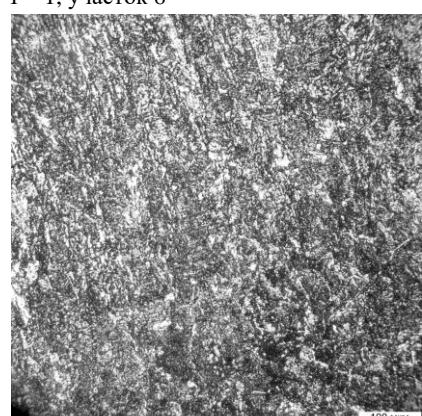
Образец, сечение	Характерные схемы, макроструктура сечений, микроструктура зон сечений	
<p>Образец № 65, Ø12 мм, сечение 1 – 1, соединение фланговыми швами, участок 2 – 5 – левый стержень</p>		
<p>1 – 1</p> 		
<p>1 – 1, участок 1 (наплавка)</p> 		<p>1 – 1, участок 2</p> 
<p>1 – 1, участок 3</p> 		<p>1 – 1, участок 5</p> 

Изменения микротвердости по сечениям арматурных стержней со сваркой показаны на рисунках 1 – 5. Результаты исследований элементного состава после испытания соединения стержней фланговыми швами (на примере образца № 65) представлены на рисунках 6 – 11.

Распределение углерода на участках фрагмента образца приведено на спектрограммах, графиках и показано в форме наложения на фотографии микроструктуры (рис. 9 – 11).

Таблица 6

Характеристики сечений и участков соединений

Образец, сечение	Характерные схемы, макроструктура сечений, микроструктура зон сечений	
Образец № 54, Ø25 мм, сечение 1 – 1, соединение фланговыми швами	<p>1 – 1</p> 	<p>1 – 1</p> 
	<p>1 – 1, участок 1 (наплавка)</p> 	<p>1 – 1, участок 2</p> 
	<p>1 – 1, участок 3</p> 	<p>1 – 1, участок 4</p> 
	<p>1 – 1, участок 5</p> 	<p>1 – 1, участок 6</p> 

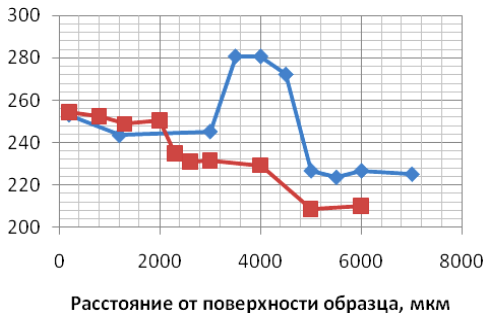


Рис. 1. Микротвердость в сечениях 1 – 1, 2 – 2 образца № 13: ряд 1 – поперечное 1 – 1, от наплавки к центру стержня; ряд 2 – продольное 2 – 2, от края поверхности к центру

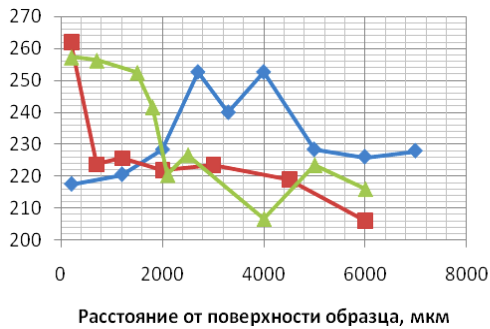


Рис. 2. Микротвердость в сечениях 1 – 1, 2 – 2 образца № 57: ряд 1 – поперечное 1 – 1, от наплавки к центру стержня; ряд 2 – продольное 1 – 1, от излома к исходному; ряд 3 – поперечное 2 – 2, от поверхности к центру, исходное



Рис. 5. Изменение микротвердости в сечениях 1 – 1, 2 – 2 образца № 54: ряд 1 – сечение 1 – 1, от шва к центру левого стержня; ряд 2 – сечение 1 – 1, от шва к центру правого стержня; ряд 3 – начало флангового шва, от шва к центру левого стержня

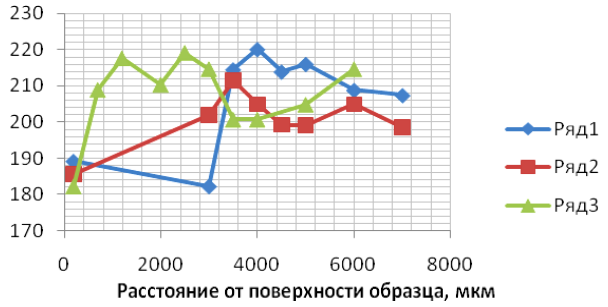


Рис. 3. Микротвердость в сечениях 1 – 1, 2 – 2 образца № 41: ряд 1 – сечение 1 – 1, от шва к центру левого стержня; ряд 2 – сечение 1 – 1, от шва к центру правого стержня; ряд 3 – сечение 2 – 2, от излома шва к центру

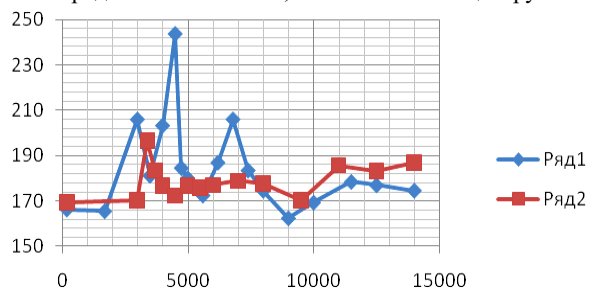


Рис. 4. Микротвердость в сечениях 1 – 1, 2 – 2 образца № 57-1: ряд 1 – сечение 1 – 1, от наплавки к центру стержня; ряд 2 – продольное сечение 1 – 1, от края к центру

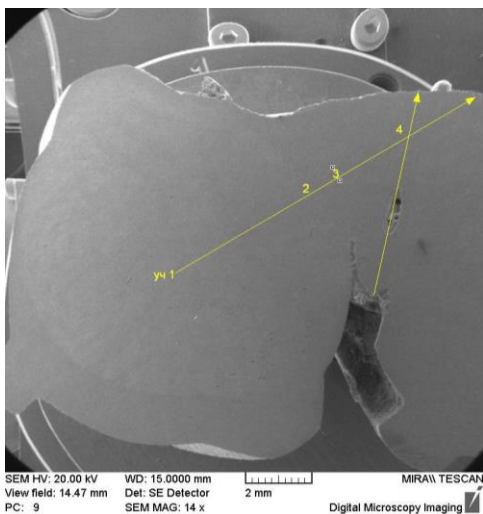


Рис. 6. Общий вид образца № 65 и схема расположения участков 1...4

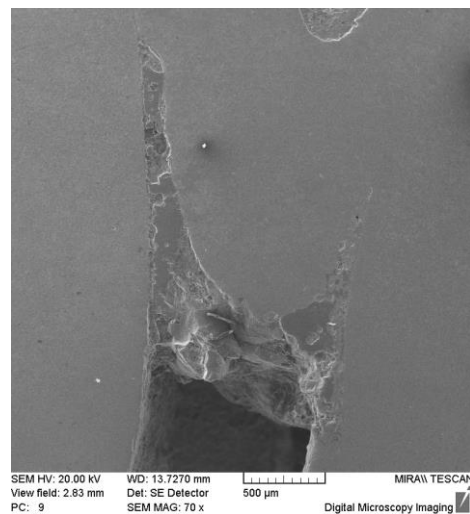


Рис. 7. Фрагмент непровара в корне шва образца № 65

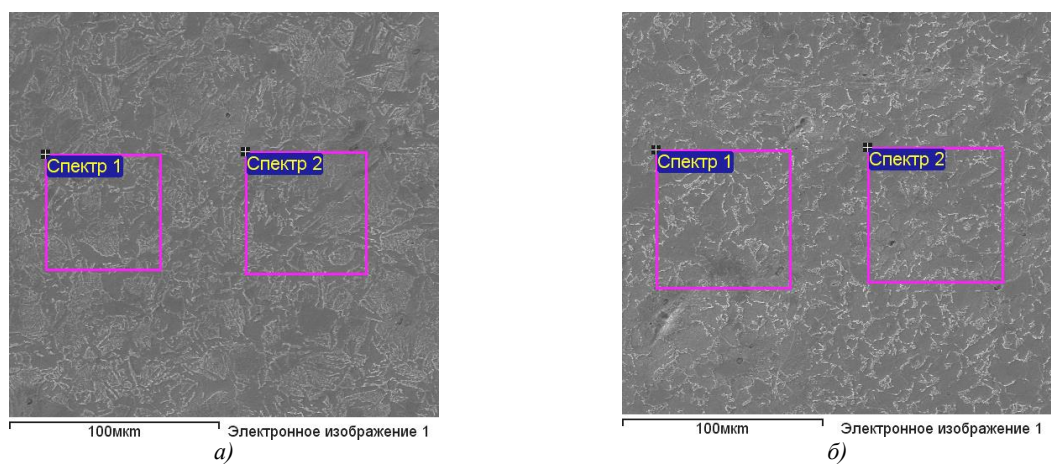


Рис. 8. Вид микроструктуры участков 1 (а), 2 (б) и расположение зон спектрального анализа образца № 65

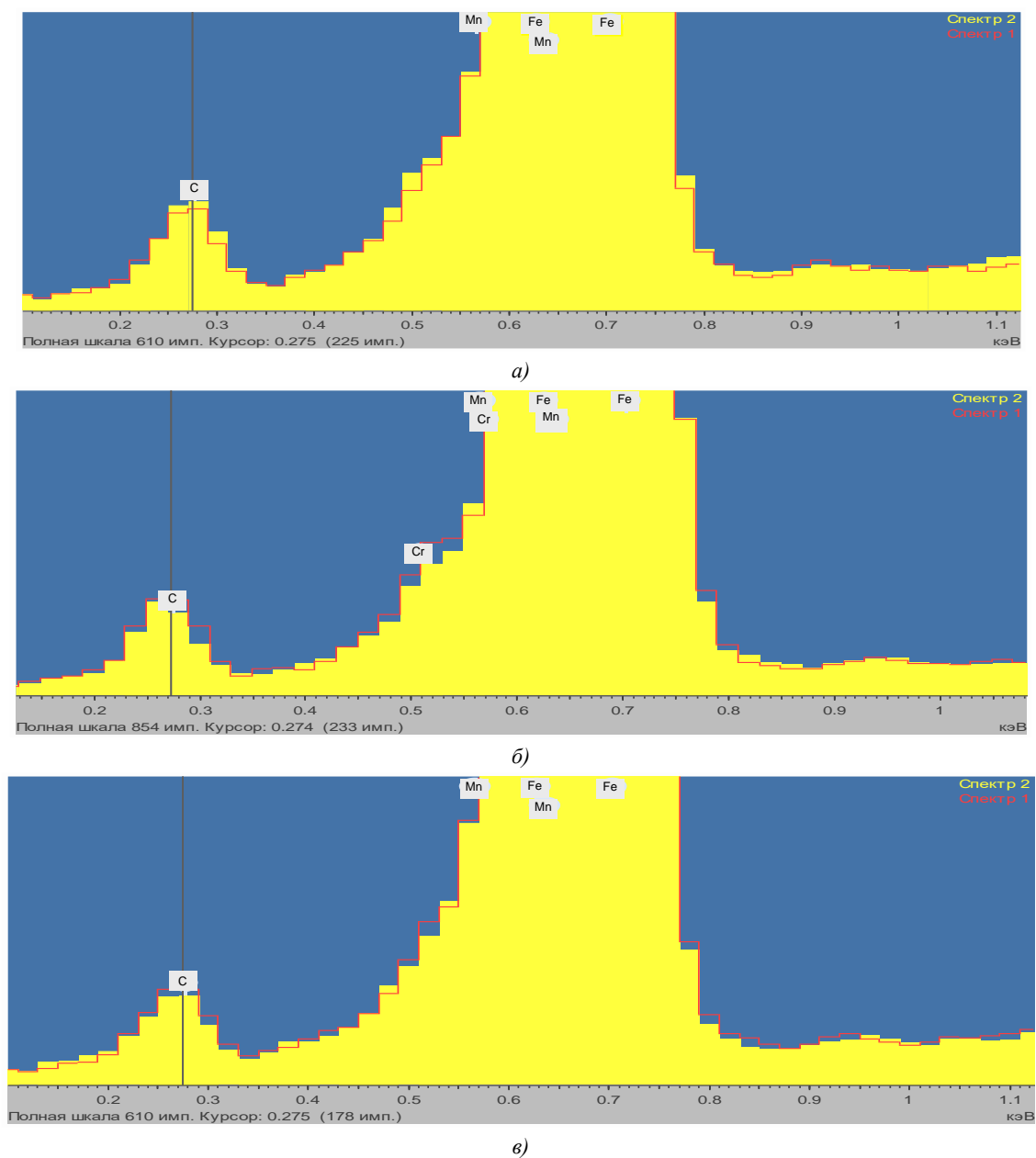
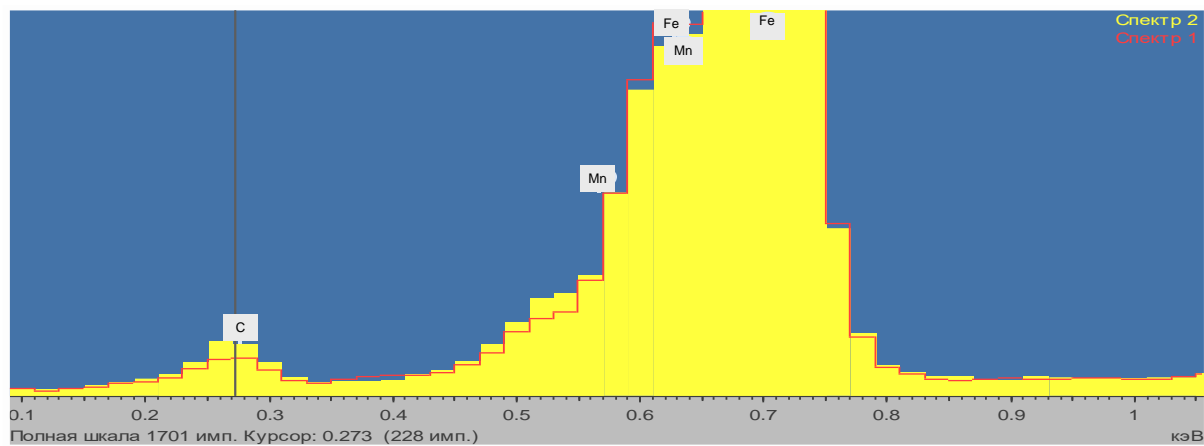


Рис. 9. Фрагменты спектрограмм 1 и 2 на участках 1 – 4 (а – в) образца № 65 (см. также с. 65)



з)

Рис. 9. Окончание

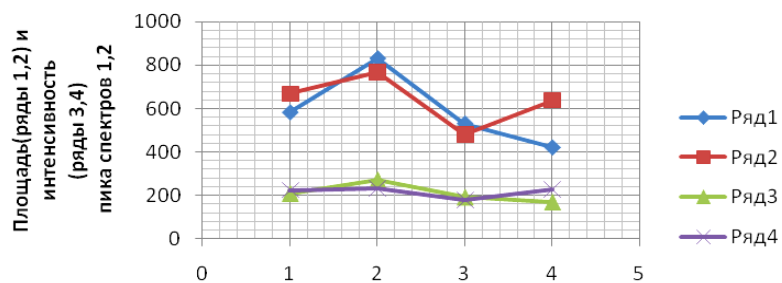


Рис. 10. Распределение углерода по участкам 1 – 4 сварного соединения образца № 65 (ряды 1 (2), 3 (4) соответствуют спектрам 1, 2)

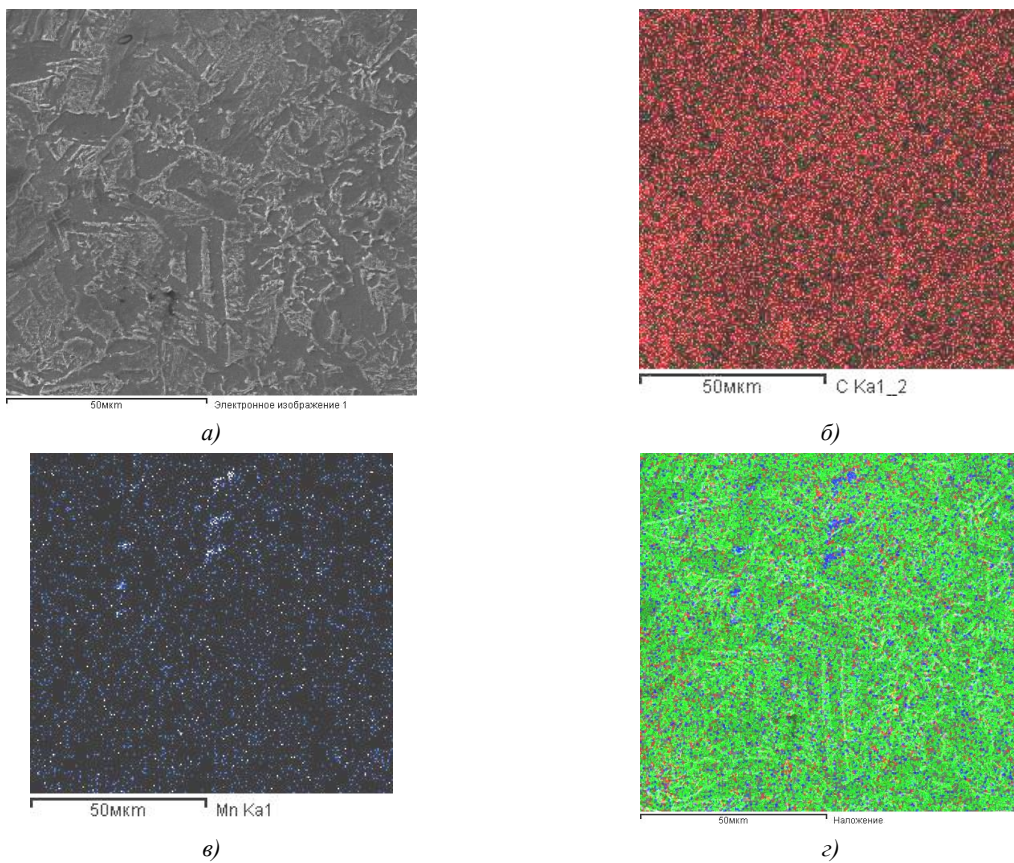


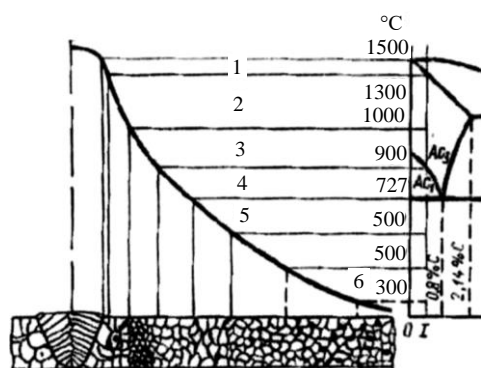
Рис. 11. Микроструктура участка 1 образца № 65 (а) и распределение на них углерода (б), марганца (в), железа (г)

Обсуждение результатов и особенности сварного соединения слоистых стержней. Механические свойства металла шва и сварного соединения зависят от его структуры, которая определяется химическим составом, режимом сварки, предыдущей и последующей термической обработками [14 – 17]. Химический состав металла шва зависит от доли участия основного и электродного металлов в образовании шва и взаимодействия между металлом и газовой фазой (флюсом). Основным легирующим элементом в низкоуглеродистой стали исследованной арматуры является углерод, содержание которого и определяет механические свойства стали вне сварного шва. Повышение его содержания усложняет технологию сварки и затрудняет возможности получения равнопрочного сварного соединения без дефектов. Углеродный эквивалент рассматриваемой стали $C_3 = 0,39$ (0,33) (соответственно для стержней $\varnothing 12$ и 25 мм), т.е. горячекатаные арматурные стали были бы не склонны к образованию трещин, а для их сварки не потребовалось бы специальных технологических мероприятий [17]. Например, согласно австрийским нормам для обеспечения свариваемости арматуры металл должен иметь углеродный эквивалент не выше 0,50 % при содержании углерода не выше 0,22 % [18, с. 166]. По современным украинским нормам (ДСТУ 3760:2006) сталь класса А500С считается свариваемой при углеродном эквиваленте в пределах 0,30...0,52 % и содержании углерода в металле не более 0,25 %.

Сравнительное распределение углерода в различных зонах шва показано на графике (см. рис. 10). На участке 4 (сварной шов) наблюдается повышенное содержание марганца. Меньшее содержание углерода в металле шва предупреждает образование структур закалочного характера при повышенных скоростях охлаждения. Возможное снижение прочности металла шва, вызванное уменьшением содержания углерода, компенсируется легированием металла марганцем через сварочную проволоку. Марганец относительно равномерно распределен по материалу шва. По отсутствию элементов на отдельных участках можно уверенно идентифицировать эти участки как поры.

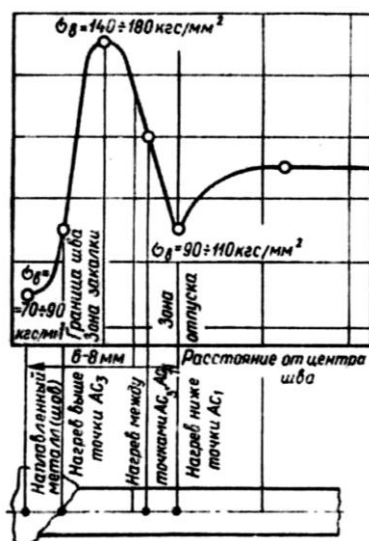
В окрестности отдельных пор заметны повышенные отложения марганца и углерода. Наличие легирующих элементов в стали образца изменяет ход процессов образования и распада карбидов. При этом одни легирующие элементы повышают (кремний, никель, медь), а другие понижают (марганец) термодинамическую активность углерода и тем самым влияют на диффузионные процессы с участием углерода. Легирование стали марганцем приводит к замедлению диффузии углерода и торможению выделения карбидов из пересыщенного феррита, в результате чего содержание марганца и углерода в феррите при повышенных температурах сохраняется на верхнем пределе. Марганец и никель понижают устойчивость пересыщенного твердого раствора. Существенно тормозит карбидообразование кремний. Легирование стали хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием, титаном, кремнием, кобальтом обеспечивает сохранение решетки феррита вплоть до 450...500 °С. Азот в стали играет примерно такую же роль, как углерод. Требуется дополнительное изучение влияние меди на процессы деформирования строительных сталей [19].

Механические свойства металла околошовной зоны зависят от конкретных условий сварки и от вида термической обработки стали до сварки [17]. Конечную структуру металла в отдельных участках зоны термического влияния определяет термический цикл, которому подвергался металл в этом участке при сварке. Решающими факторами термического цикла сварки являются максимальная температура участка и скорость его охлаждения. Ширина и конечная структура различных участков зоны термического влияния определяется способом и режимом сварки, составом и толщиной основного металла (рис. 12, а).



- 1 — зона плавления; 2 — участок перегрева;
3 — участок полной перекристаллизации; 4 — зона частичной перекристаллизации; 5 — зона высокотемпературного отпуска;
6 — зона низкотемпературного отпуска и механического влияния и зона теплового воздействия

а)



б)

Рис. 12. Схема строения сварного соединения при сварке стыкового шва (а) и изменения твердости при дуговой сварке стали 30ХГСА (б) [17]

При сварке низкоуглеродистых горячекатаных (в состоянии поставки) сталей при толщине металла до 15 мм на режимах, обеспечивающих небольшие скорости охлаждения, структуры металла шва и околошовной зоны примерно такие же, как были рассмотрены выше. Повышение скоростей охлаждения при сварке на форсированных режимах металла повышенной толщины, а также однопроходных угловых швов при отрицательных температурах и т.д. может привести к появлению в металле шва и на участках перегрева полной и неполной рекристаллизации в околошовной зоне закалочных структур. Повышение содержания в стали марганца увеличивает эту вероятность. При этих условиях при сварке горячекатаной низкоуглеродистой стали марки ВСтЗ возможно получение в сварном соединении закалочных структур. Если эта сталь перед сваркой проходила термическое упрочнение – закалку, то в зоне термического влияния шва на участках рекристаллизации и синеломкости будет наблюдаться отпуск металла, т.е. снижение его прочностных свойств. Изменение этих свойств зависит от погонной энергии, типа сварного соединения и условий сварки.

Характерной особенностью сварки стержней с начальной квазикомпозитной (слоистой) структурой является ее заметное изменение под воздействием сварочного тепла. Об этом свидетельствуют сопоставления данных рисунка 1 и таблиц 1...6, а также сопоставление хода графиков изменения микротвердости для начальной структуры и структуры стержней в составе сварного соединения.

Связь этих изменений с распределением тепла сварки можно проследить и по литературным данным [17] (см. рис. 12). Из рисунка 12 следует, что наибольшая твердость металла соединения будет в зоне 3 (участок полной перекристаллизации), а наименьшая – в сварном шве и в зоне высокотемпературного отпуска. Примерно в таких же соотношениях находятся и временные сопротивления металла соответствующих участков соединения.

Сварочное тепло создало повторный нагрев участков 1...5 до температуры примерно 100...1500 °С. В работе [11] исследовали при повторном нагреве до 650 °С с выдержкой 10 минут арматурные стержни класса А500С (диаметр 25 мм, сталь 25Г2С) поточного производства ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог». При этом методами электронной микроскопии выявлены структурные зоны, образующиеся при термическом упрочнении стержневой арматуры и морфологические изменения в материале. Установлено [11], что изменениям в основном подвержены количественный и фазовый составы карбидных фаз. После дополнительного нагрева начальное строение бейнита и мартенсита сохранилось, перлитные колонии выглядят такими же, как и до отпуска. В бейнитных составляющих структуры понизилась плотность дислокаций и появились признаки коагуляции карбидной фазы. По границам реек мартенсита отмечено интенсивное образование карбидов, которые при этом претерпевают карбидное фазовое превращение. То же самое отмечается и в более глубоких слоях на границах ферритных и бейнитных реек. В перлите также наблюдаются процессы коагуляции пластин цементита. Особенно крупные карбиды на границах перлитных колоний приобретают форму удлиненных цилиндров. На некоторых границах феррит – феррит также образуются карбиды, при больших увеличениях выявляется их некоторая огранка. Перечисленные изменения можно отнести к зонам 6...4 (см. рис. 12). Соответствующие процессы в зонах 1...3 должны быть более завершенными.

В соединениях с фланговыми швами наиболее ослабленными должны быть участки у концов накладок. Смещение равнодействующей сил сопротивления материала вследствие частичного разупрочнения со стороны сварочного шва приводит к изменению схемы деформирования стержня: от центрального растяжения-сжатия к внецентренному. Прежде всего это проявится в снижении сопротивления переменным нагрузкам и действию низких температур.

Результаты экспериментальных исследований структуры арматуры А500С после сварки приведены в работе [12]. В [13] исследована работа 2-х типов сварных нахлесточных соединений арматуры: 1) стыка арматурного стержня с односторонней боковой накладкой из стержня того же диаметра и материала, что и стыкуемая арматура; 2) узла с уменьшенными двусторонними накладками на растяжение с основной продольной арматурой Ø16, накладками Ø14 класса А500С по ДСТУ 3760:2006. Сварка выполнялась вручную электродами марки УОНИИ 13/55, на постоянном токе обратной полярности, с односторонними многослойными протяженными швами, в шахматном порядке. Соединение первого типа работает на нормальную силу и изгибающий момент, а второго – только на нормальную силу. Разрушения соединений происходили в местах окончания фланговых швов. Испытания позволили авторам [13] сформулировать ряд требований к технологии сварки арматуры А500С.

Из рассмотренных данных следует, что основным затруднением при сварке термоупрочненных арматурных сталей является разупрочнение участка околошовной зоны, подвергавшегося нагреву в интервале температур 400...700 °С. Этот участок имеет более низкую прочность по сравнению со сварным соединением в целом. Чем больше погонная энергия сварки, тем шире зона разупрочнения. В связи с этим для термоупрочненного металла целесообразно применять маломощные режимы сварки (до 5000 кал/см), а также использовать способы сварки с минимальным теплоотводом в основной металл.

Заключение. Исследования макроструктуры поперечных и продольных сечений сварных соединений арматурных стержней и распределения микротвердости по участкам сварных соединений показали, что после сварки в сечениях происходит существенное изменение первоначального слоистого структурного строения и прочностных характеристик слоев. При увеличении количества сварочного тепла изменяются размеры зоны термического влияния, объем металла стержня, в котором происходят изменения первоначальной слоистой структуры и превращения структурных составляющих стали. При этом менее значительные изменения происходят при кратковременном воздействии сварочного тепла или его отводе от стержня с помощью накладок. Первоначально более прочные наружные слои свариваемых стержней в зоне термического влияния сварки становятся менее прочными. Соответственно, при растяжении-сжатии таких стержней на ослабленных участках возникает растяжение с изгибом и более сложные напряженные состояния. В сварном шве наблюдается повышенное содержание марганца. Меньшее содержание углерода в металле шва, видимо, предупреждает образование структур закалочного характера при повышенных скоростях охлаждения, а снижение прочности металла шва из-за уменьшения содержания углерода компенсируется легированием шва марганцем через сварочную проволоку. Марганец относительно равномерно распределен по материалу шва.

В процессе сварки в заводских условиях в соединениях могут возникнуть отдельные дефекты. Так, электродуговая сварка в среде углекислого газа по недостаточно очищенным поверхностям приводит к возникновению пор в швах. Это свидетельствует о необходимости более тщательной отладки сварочного процесса. При разработке технологии сварки арматуры А500С с использованием накладок целесообразно учесть следующие основанные на опытах рекомендации:

- начало сварного шва формировать на начале стыковой накладки;
- конец шва выводить на конец соединяемого стержня;
- для исключения перегрева применять электроды диаметром не более 2...3 мм, а для снижения сварочных напряжений выполнять сварку за несколько проходов;
- сварку термоупрочненной арматуры вести с предварительным подогревом с выполнением каждого последующего прохода при многослойном шве после остывания предыдущего шва до температуры не выше 100 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мадатян, С.А. Арматура железобетонных конструкций / С.А. Мадатян. – М.: Воентехлит, 2000. – 256 с.
2. Кривые течения, механизмы разрушения и размерный эффект малоуглеродистых низколегированных сталей с квазикомпозитной структурой / Э.В. Козлов [и др.] // Изв. высш. учеб. заведений. Физика. – 2002. – № 3. – С. 49 – 60.
3. Структура термически упрочненной стержневой арматуры / А.Б. Юрьев [и др.] // Технология металлов. – 2005. – № 9. – С. 5 – 7.
4. Прочность структурных слоев в сечении термически упрочненной арматуры / В.Я. Чинокалов [и др.] // Технология металлов. – 2005. – № 10. – С. 15 – 18.
5. Взаимосвязь структурной неоднородности термически упрочнённой арматуры с изменением твёрдости по сечению стержней / В.И. Большаков [и др.] // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. 36, ч. 1. – Днепропетровск: ПГАСА. – 2006. – С. 159 – 167.
6. Василевич, Ю.В. Макроструктура арматурных стержней, упрочненных в потоке стана, и их сварных соединений / Ю.В. Василевич, Е.А. Мойсейчик, Е.К. Мойсейчик // Инновационные технологии в строительстве автомобильных дорог, мостов и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: материалы 6-й междунар. науч.-техн. конф. «Наука образованию, производству, экономике», Минск, 17 – 18 дек. 2008 г.; Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: И.И. Леонович [и др.]. – Минск, 2008. – С. 326 – 332.
7. Стародубов, К.Ф. Термическое упрочнение проката / К.Ф. Стародубов, И.Г. Узлов, В.Я. Савенков. – М.: Металлургия, 1970. – 368 с.
8. Узлов, И.Г. Термическая обработка проката / И.Г. Узлов, В.Я. Савенков, С.Н. Поляков. – Киев: Техника, 1981. – 159 с.
9. Высокопрочная арматурная сталь / А.А. Кукушкин [и др.]. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
10. Натапов, А.С. Производство эффективных арматурных профилей для железобетона / А.С. Натапов, Л.Н. Левченко, С.Л. Баскин. – М.: Металлургия, 1992. – 208 с.
11. Особенности изменения свойств по сечению термически упрочненной арматуры после повторного нагрева / В.И. Большаков [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск. – 2004. – № 3. – С. 71 – 74.

12. Мойсейчик, Е.А. Изменения макроструктуры арматурных стержней при технологических воздействиях / Е.А. Мойсейчик // Инновационные технологии в строительстве автомобильных дорог, мостов и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: материалы 6-й междунар. науч.-техн. конф. «Наука образованию, производству, экономике», Минск, 17 – 18 дек. 2008 г.; Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: И.И. Леонович [и др.]. – Минск, 2008. – С. 279 – 281.
13. Ажермачев, Г.А. Сварные стыки продольной арматуры класса А500С в каркасах сейсмостойких зданий и сооружений / Г.А. Ажермачев, Э.М. Меннанов, А.З. Абдурахманов // Вісник Донбаської нац. акад. будівництва і архітектури. – 2009. – № 4(78). – С. 139 – 142.
14. Бродский, А.Я. Сварка арматуры железобетонных конструкций / А.Я. Бродский. – М.: Госстройиздат, 1961. – 379 с.
15. Дегтярев, И.Я. Сварка при изготовлении и монтаже арматурных конструкций / И.Я. Дегтярев. – М.–Л.: Энергия, 1965. – 240 с.
16. Гривняк, И. Свариваемость стали / И. Гривняк. – М.: Машиностроение, 1984. – 216 с.
17. Сварка в машиностроении: в 4-х т. / редкол.: Г.А. Николаев (пред.) [и др.]. – М.: Машиностроение, 1978 – 1979. – Т. 1 / Н.А. Ольшанский (ред.) [и др.]. – 1978. – 504 с.
18. Сборник научных трудов специалистов Белорусского металлургического завода, 2001 – 2008 гг.: в 3 т. / редкол.: В.И. Грицаенко [и др.]. – Минск: Тэхналогія, 2009. – Т. 3.
19. Моисеенко, В.И. Основы структурной равнопрочности стали и элементов крупногабаритных деталей машин / В.И. Моисеенко, П.Л. Мариев. – Минск: Ин-т технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 200 с.

Поступила 18.02.2010

COMPOUND REBAR WITH KVAZIKOMPOZITNOY STRUCTURE FLANK SEAMS

E. MOISSEITCHIK

Changes the structure of rebar with the original layered (kvazikompozitnym) structure as a result of welding effects, the redistribution of carbon in the weld and weld zones. Shown that after welding in the sections of the bar there is a substantial modification of the original structure of the layered structure and strength characteristics of the layers. Originally a strong outer layers of welded rods in the zone of thermal influence of welding are less strong. Accordingly, in the work of such rods in reinforced concrete construction on the weakened sections instead of the central tension, compression, tension arises from the bending and more complex stress states. When the number of welding heat change in the heat-affected zone, the volume of the metal rod, which is changing the original layered structure and the transformation of structural components of steel. In this case less significant changes occur at short-term effects of welding heat or his disqualification from the rod with the help of the linings.