

УДК 621.791.05:620.179

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛА БАРАБАНА КОТЛА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПОСЛЕ РЕМОНТНОЙ НАПЛАВКИ

© 2011 А.Н. Смирнов¹, Э.В. Козлов², Н.А. Конева², Н.А. Попова²,
Н.В. Абабков¹, В.Л. Князьков¹

¹ Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово

² Томский государственный архитектурно-строительный университет

Поступила в редакцию 16.03.2011

В статье описан пример восстановления поврежденного металла барабана котла высокого давления с применением наплавки модулированным током. Исследованы структура и свойства наплавленного металла методами электронной микроскопии.

Ключевые слова: *барабан котла высокого давления, ремонтная наплавка, структура металла*

Анализ причин повреждения оборудования ТУ ОПО (в том числе и барабанов котлов высокого давления), выполненный ранее [1, 2], показывает, что повреждаются в первую очередь участки оборудования в местах наибольшей концентрации напряжений. При ремонте и восстановлении ресурса барабанов таковыми являются:

- сквозные повреждения мостиков отверстий водоопускных труб и многочисленные повреждения трубных отверстий трещинами;
- повреждения поверхности обечаек всех видов (коррозия, трещины, в том числе расположенные в местах приварки внутрибарабанных устройств, штуцеров водоопускных труб и т.д.);
- трещины кольцевых швов обечаек.

Отрицательное воздействие напряжений может быть усилено неудачной конструкцией технического устройства. В качестве примера можно привести барабаны котлов Южно-Кузбасской ГРЭС, где расстояние между отверстиями трубной решетки в 2 раза меньше

толщины стенки обечаек барабана. Вследствие несовершенства конструкции ТУ ОПО возникает необходимость периодического восстановительного ремонта. Применение существующих методов восстановления позволяет лишь временно решить вопрос продления срока службы ТУ ОПО. Причиной этого является применение, как правило, материалов однородных ремонтируемым ТУ ОПО. Известные технологии ремонта [3] с применением наплавочных и сварочных материалов отличных от ремонтируемого, например аустенитного класса, имеют крайне ограниченное применение из-за их высокой стоимости (в 10 и более раз выше, чем материалы перлитного класса), неприменимости в вертикальном и потолочном положении шва, недолговечности при ремонте технических устройств, металл которых подвержен явлениям ползучести.

В настоящее время широко применяется способ наплавки под слоем флюса [4]. Однако этот способ восстановления отверстий водоопускных труб имеет существенные недостатки, а именно: высокие внутренние напряжения вследствие высокой проплавливающей способности дуги под слоем флюса, значительное (около 50%) разбавление наплавленного металла основным, что, как правило, снижает механические свойства наплавленного металла. Значительная ширина ЗТВ, вследствие высокой энергии дуги и высокой проплавливающей способности способа наплавки под слоем флюса.

В условиях ремонта барабанов котлов наиболее применим способ электродуговой сварки электродами с покрытием [5]. При сварке металлоконструкций, трудно поддающихся методам рациональной механизации и

Смирнов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения
Козлов Эдуард Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики. E-mail: Kozlov@tsuab.ru

Конева Нина Александровна, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики. E-mail: Koneva@tici.tomsk.ru

Попова Наталья Анатольевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: Popova@tici.tomsk.ru

Абабков Николай Викторович, аспирант. E-mail: n.ababkov@rambler.ru

Князьков Виктор Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: vntk@mail.ru

автоматизации, электродуговая сварка электродами с покрытием является одним из ведущих технологических процессов. По этим причинам сварка при ремонте, монтаже и реконструкции технических устройств не имеет альтернативы.

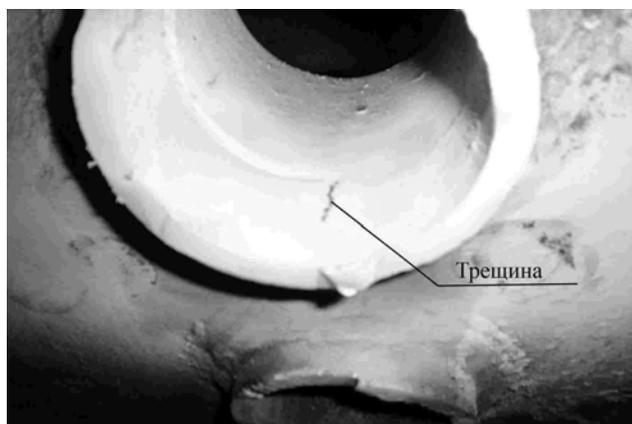


Рис. 1. Место повреждения в зоне приварки штуцеров водоопускных отверстий

Во время проведения планового осмотра 2004 г. был выполнен ремонт барабана котла высокого давления №1 на Южно-Кузбасской ГРЭС (тип котла ПК-10, габаритные размеры барабана $\varnothing 1490 \times 95$ мм, давление в барабане –

110 кгс/см², температура – 316°С, дата изготовления 1950 г., дата пуска 1951 г., время эксплуатации – 320033 час.) специализированной организацией с применением способа автоматической сварки под флюсом. Через год котел был вновь остановлен из-за обнаружения сквозного повреждения (трещины) мостика водоопускных труб (рис. 1). Найденное повреждение было ликвидировано путем выборки дефектного участка и наплавлено по технологии близкой к той, что описана в [5].

Фрагмент, полученный в результате выборки, был выбран для исследований. На первом этапе была произведена наплавка на образце по той же технологии, что и во время ремонта. Материалом для наплавки служили электроды типа Э-50А (УОНИ 13/55). Химический состав стали и электродов, как весовой, так и атомный, приведен в табл.1. На втором этапе производились исследования структурно-фазового состояния наплавленного металла. Исследования проводились двумя методами: метод растровой электронной микроскопии (РЭМ) и метод просвечивающей электронной дифракционной микроскопии (ПЭМ). Исследования проводились в 6 различных точках по сечению образца (рис. 2).

Таблица 1. Химический состав исследуемых сталей

Сталь	вес. %						ат. %					
	Fe	C	Mo	V	Mn	Si	Fe	C	Mo	V	Mn	Si
16М	98,64	0,195	0,4	0,03	0,4	0,26	97,93	0,74	0,18	0,03	0,61	0,51
Э-50А	остальное	0,14	-	-	0,8-1,2	0,2-0,5	97,66	0,65	-	-	1,01	0,69

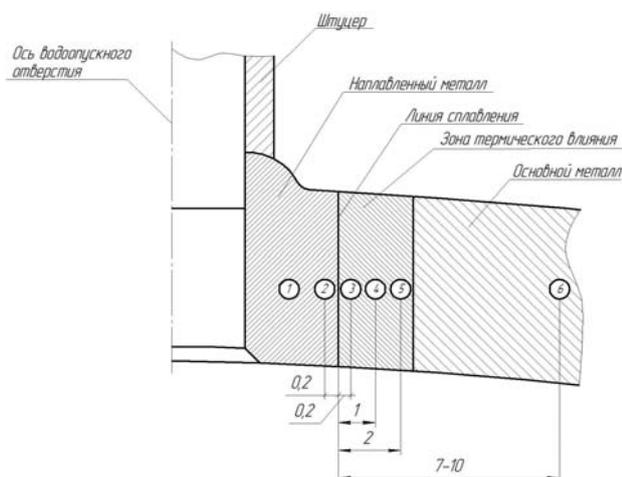


Рис. 2. Схема исследуемого основного и наплавленного металла и места вырезки образцов для структурных исследований

Исследования структурно-фазового состояния наплавленного металла, зоны термического влияния и прилегающего объема основного материала, выполненные методом РЭМ, проводили на травленых шлифах в направлении, перпендикулярном продольной оси шва, проходящей в центральной части. Как показали металлографические исследования травленого шлифа, кристаллизация сварного шва приводит к формированию структуры, которую по морфологическому признаку при любом способе сварки или наплавки можно условно разделить на несколько характерных областей, отличающихся формой, размерами и расположением ферритных и перлитных зерен. Первая область располагается в центральной зоне шва, третья – в зоне, примыкающей к зоне ЗТВ. В нашем случае наплавленный металл мы

условно разделили на две области: 1) центральная область наплавки и 2) область, примыкающая к зоне термического влияния (ЗТВ) основного металла. Центральная область наплавки представляет собой эвтектоидную смесь зерен феррита и перлита (рис. 3). Но однозначно различить зерна феррита и перлита по изображениям, полученным методом РЭМ, не представляется возможным. Это различие хорошо выявляется при анализе структуры стали методами дифракционной электронной микроскопии. Средний размер зерна в центральной области наплавки составил 12 ± 5 мкм.

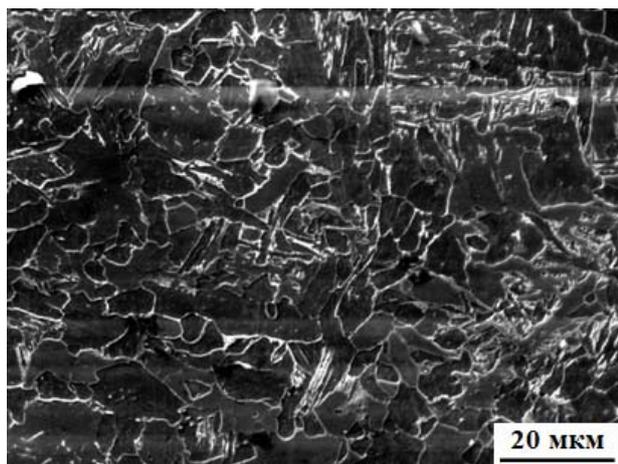


Рис. 3. Изображение зеренной структуры центральной зоны наплавленного металла, полученное методом РЭМ

По мере удаления от центральной области наплавки к области, примыкающей к ЗТВ основного металла, вид зеренной структуры не изменяется (рис. 4). Не изменяется и средний размер зерна.

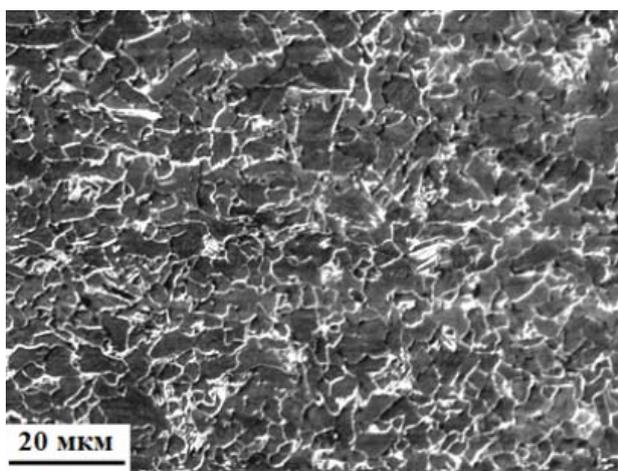


Рис. 4. Изображение зеренной структуры зоны наплавки, примыкающей к ЗТВ основного металла, полученное методом РЭМ

ЗТВ четко выделена и ее размер составляет 2,5 мм. Известно [6-8], что в ЗТВ химический состав стали при сварке не изменяется, однако в структуре этой зоны происходят существенные изменения. Таким образом, ЗТВ разделяется на ряд участков с различной структурой. Как показали проведенные исследования, число участков и их ширина зависит от термической обработки сварного соединения. Линия сплавления (граница) хорошо выявляется на макрошлифах вследствие разной травимости ЗТВ и материала наплавки (рис. 5).

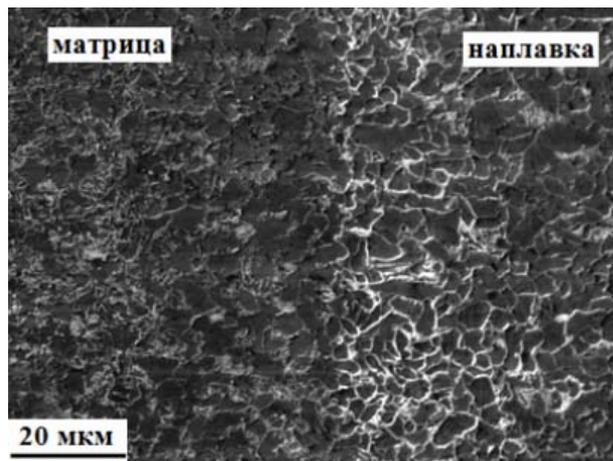


Рис. 5. Изображение зеренной структуры наплавленного металла, полученного методом РЭМ

Второй участок в ЗТВ – участок перегрева. Этот участок характеризуется типом структуры, состоящим из относительно крупных зерен, содержащих пластинчатые образования. Такая структура по морфологическому признаку может быть отнесена к видманштеттовому ферриту [8, 9]. Возникновению видманштеттовой структуры способствуют большая величина аустенитного зерна, низкое содержание углерода и высокие скорости охлаждения стали [10]. Наличие видманштеттова феррита подтверждают и данные ПЭМ. На рис. 6 приведена микрофотография тонкой структуры, полученной методом ПЭМ в ЗТВ (обр. 2) на расстоянии 1 мм от линии сплавления. Хорошо видны характерные для видманштеттова феррита длинные тонкие пластины.

Перлит в данной области материала методом РЭМ не обнаруживается. Имеющийся в стали углерод формирует дисперсные частицы карбидной фазы, располагающиеся в объеме ферритных пластин и на их границах. Частицы нанометрового диапазона методами металлографии не выявляются и могут быть обнаружены лишь при использовании методик дифракционной электронной микроскопии.

Результаты фазового состава сварного соединения, полученные при электронно-микроскопических исследованиях тонких фольг, подтверждают наличие перлита в исследованной области. Типичный пример пластинчатого перлита в данной области ЗТВ (1 мм от линии сплавления) приведен на рис. 7.

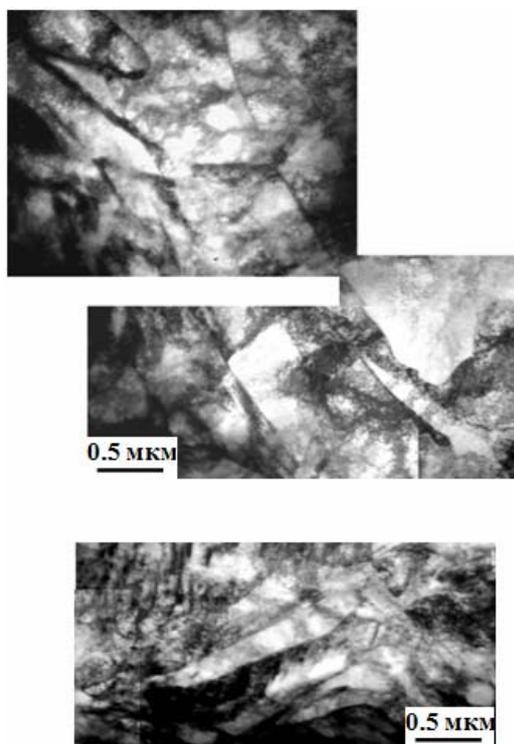


Рис. 6. Изображение тонкой структуры, полученное методом ПЭМ в ЗТВ на расстоянии 1 мм от линии сплавления. Пластины видманштеттова феррита

Перлит в данной области материала методом РЭМ не обнаруживается. Имеющийся в стали углерод формирует дисперсные частицы карбидной фазы, располагающиеся в объеме ферритных пластин и на их границах. Частицы нанометрового диапазона методами металлографии не выявляются и могут быть обнаружены лишь при использовании методик дифракционной электронной микроскопии. Результаты фазового состава сварного соединения, полученные при электронно-микроскопических исследованиях тонких фольг, подтверждают наличие перлита в исследованной области. Типичный пример пластинчатого перлита в данной области ЗТВ (1 мм от линии сплавления) приведен на рис. 7.

По мере удаления от границы шва в ЗТВ зеренная структура заметно меняется. На фоне групп мелких зерен появляются отдельные более крупные зерна. Размер их, а также их объемная доля постепенно возрастают. Ферритные

и перлитные зерна становятся хорошо различимыми.

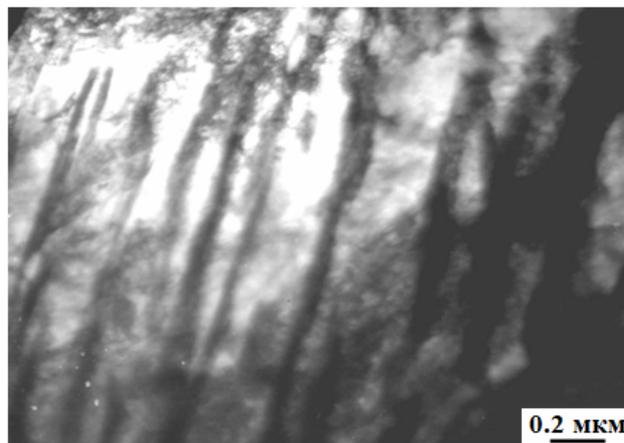


Рис. 7. Пластинчатый перлит в области ЗТВ (1 мм от линии сплавления) основного металла. Метод ПЭМ

Выводы:

1. После года эксплуатации барабана котла высокого давления с ремонтными заварками выявлено послеремонтное сквозное повреждение (трещина) мостика водоопускных труб.
2. Предложена технология ремонта зон водоопускных отверстий барабанов котлов высокого давления с применением электродуговой наплавки модулированным током.
3. Исследованы структура и свойства наплавленного металла методами электронной микроскопии.
4. Для оценки качества выполненных ремонтных работ с применением разработанной технологии необходимо периодически проводить мероприятия по исследованию структуры и свойств наплавленного металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гринь, Е.А.* Анализ состояния парка барабанов котлов высокого давления ТЭС в России / *Е.А. Гринь, А.В. Зеленский, А.Е. Анохов* // Электрические станции. 2009. №3. С. 32-39.
2. *Смирнов, А.Н.* Анализ проблем, связанных с безопасной эксплуатацией элементов энергетического машиностроения / *А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков* // Вестн. КузГТУ. 2010. №2. С.12-17.
3. *Готальский, Ю.Н.* Восстановление отверстий водоопускных труб в барабане парового котла высоконикелевыми электродами / *Ю.Н. Готальский, В.В. Снисарь, И.И. Марчак* и др. // Электрические станции. 1974. №5. С. 73-75.
4. СО 153-34.26.608-2003. Инструкция по обследованию и технологии ремонта барабанов котлов высокого давления
5. *Смирнов, А.Н.* Опыт ремонта барабана из специальной молибденовой стали котлоагрегата ПК-10 / *А.Н. Смирнов, В.Л. Князьков, Н.М. Макаров* и др. // Электрические станции. 2003. №6. С. 17-22.

6. Патон, Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. – М.: Машиностроение, 1974. 767 с.
7. Гарбин, В.Ф. Металловедение сварки плавлением. – Киев: Наукова думка, 1982. 414 с.
8. Гривняк, И. Свариваемость сталей. – М.: Машиностроение, 1984. 215 с.
9. Лямбер, Н. Металлография сплавов железа / Н. Лямбер, Т. Греди, Л. Хабракен и др. – М.: Металлургия, 1985. 248 с.
10. Гудремон, Э. Специальные стали. Т.1. – М.: Металлургия, 1966. 736 с.

RESEARCH THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF METAL AT HIGH PRESSURE BOILERS DRUM AFTER REPAIR BUILDING-UP WELDING

© 2011 A.N. Smirnov¹, E.V. Kozlov², N.A. Koneva², N.A. Popova²,
N.V. Ababkov¹, V.L. Knyazkov¹

¹ Kuzbass State Technical University, Kemerovo

² Tomsk State Architecturally-building University

In article the example of restoration the damaged metal of high pressure boilers drum with application building-up welding by modulated current is described. Are investigated structure and properties of welded metal by methods of electronic microscopy.

Key words: *high pressure boilers drum, repair building-up welding, metal structure*

Alexander Smirnov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Machine Building Technology Department
Eduard Kozlov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of the Physics Department. E-mail: Kozlov@tsuab.ru
Nina Koneva, Doctor of Physics and Mathematics, Professor at the Physics Department. E-mail: Koneva@tici.tomsk.ru
Natalia Popova, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow. E-mail: Popova@tici.tomsk.ru
Nikolay Ababkov, Post-graduate Student. E-mail: n.ababkov@rambler.ru
Viktor Knyazkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Machine Building Technology Department. E-mail: vntk@mail.ru