

УДК 620.187.3

М.К. СКАКОВ, Б.К. УВАЛИЕВ, Н.А. ПОПОВА

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СВАРНОГО ШВА КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 30ХГСА

(Представлена академиком НАН РК Е.А. Мамбетказиевым)

Проведено исследование дислокационной структуры сварного шва стали 30ХГСА.

Установлено, что в центральной части сварного шва формируется структура, состоящая из зерен феррита и пластинчатого перлита. Обнаружено, что в переходной области сварного шва зерна феррита и частицы цементита в основном глобулярной морфологии.

Введение

Выбор материала сварного шва при создании надежного сварного соединения играет важную роль [1]. Сварной шов стали 09Г2С был исследован в [2]. Также уделено внимание изучению изучены особенностей формирования бейнитных зон в сварных соединениях стали 24Х2НАч при термодеформационных циклах [3]. В [4] определены объемные доли карбидных фаз и параметры дислокационной субструктуры стали 30ХГСА после термической обработки. Однако, до сих пор остаются неясными некоторые вопросы, касающиеся фазовый состава и структурное состояния сварного шва в сварных соединениях стали 30ХГСА после сварки с применением двухструйной газовой защиты.

В связи с вышеизложенным, целью данной работы является изучение морфологии структуры и фазового состава сварного шва стали 08Г2С в сварном соединении стали 30ХГСА.

Материал и методика эксперимента

Объектом исследования является сварное соединение стали 30ХГСА. Химический состав стали: 0,3%С; 0,8-1,1%Cr; 0,8-1,1%Mn; 0,8-1,1%Si; 0,025% P; 0,025% S; остальное Fe.

При сварке использовалась сварочная проволока Св-08Г2С с повышенным содержанием марганца. Химический состав сварочной проволоки: 0,08%С; 1,8-2,1%Mn; 0,7-0,95% Si; 0,25%Ni; 0,03%S; 0,03%F; 0,05%Al; остальное Fe.

Структурные исследования выполняли методом электронной дифракционной микроскопии на тонких фольгах на электронном микроскопе ЭМВ-100Л с использованием гониометрических приставок и при ускоряющем напряжении 100 кВ. Рабочее увеличение в колонне микроскопа выбиралось от 10000 до 50000 крат. Для проведе-

ния исследований с помощью электроискровой резки образцы сварного соединения размером 10 × 20 × 50 мм разрезали на пластиинки (фольги) толщиной 0.2-0.3 мм. Режим электроискровой резки был подобран таким, что не вносил дополнительных искажений в структуру материала.

Полученные фольги утоняли вначале химически в электролите 90% плавиковой кислоты и 10% пергидроля, а затем электролитически в пересыщенном растворе ортофосфорной кислоты хромовым ангидритом при комнатной температуре, рабочем напряжении 20 В и плотности тока 4 А/см². Определение объемных долей α -, γ - и карбидных фаз проводили по электронномикроскопическим изображениям, подтвержденным микродифракционными картинами и темнопольными изображениями, полученными в рефлексах соответствующих фаз. Идентификацию фаз проводили по методикам, описанным в [5, 6].

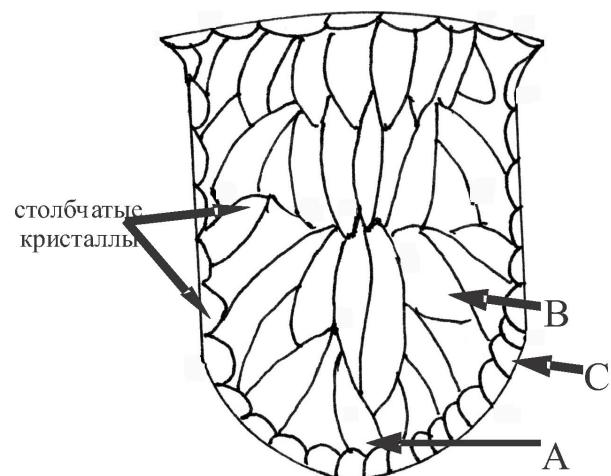


Рис.1. Схематическое изображение столбчатых кристаллов – зерен в материале сварного шва: А – центральная область, В – промежуточная и С – переходная

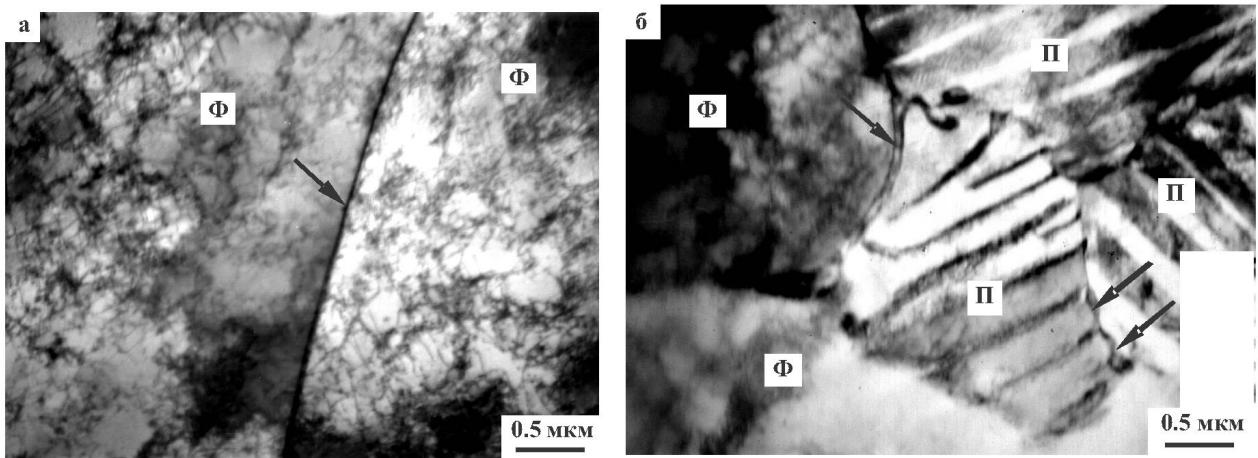


Рис.2. Тонкая структура стали 08Г2С в центральной зоне сварного шва (Ф – ферритные зерна, П – перлитные зерна). Стрелками на (б) отмечены частицы цементита, расположенные по границам зерен: а – стык двух ферритных зерен Ф – Ф (стрелкой указана граница зерна); б – стыки зерен двухфазной смеси феррит – перлит (Ф – П) и перлит – перлит (П – П)

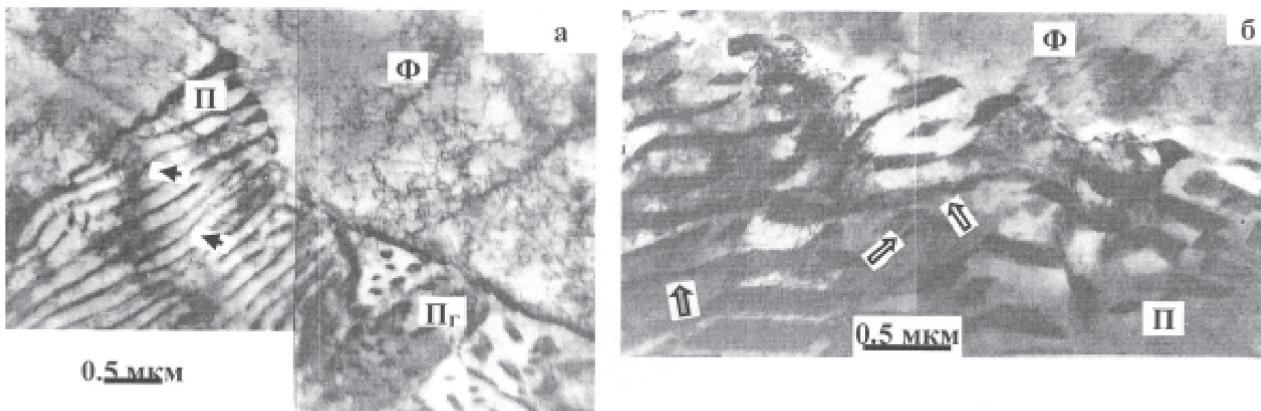


Рис. 3. Тонкая структура стали 08Г2С в центральной зоне сварного шва: Ф – зерна феррита; П – колония глобулярного перлита; Пг – колония несовершенного пластинчатого перлита. На (а) черными стрелками отмечены примеры изогнутых пластин цементита, на (б) белыми – ферритные мостики, серыми – пластины цементита, неоднородные по толщине

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Как следует из анализа полученных результатов, сварной шов стали 08Г2С представляет собой феррито-перлитную композицию, морфология которой зависит от расположения в объеме шва.

В центральной зоне в соответствие с рис.1 формируется двухуровневая зеренная структура, состоящая из зерен, размеры которых составляют десятки и единицы микрометров. Крупные зерна представляют собой зерна α -фазы. Электронно-микроскопическое изображение внутренней структуры зерен α -фазы приведено на рис. 2а. Как видно, внутри ферритных зерен отсутствуют частицы цементита.

Проведенные исследования показали, что если соседствуют два ферритных зерна (Ф – Ф), то разделяющая их граница, как правило, свободна от карбидных частиц (см. рис. 2, а). Если соседствуют два перлитных зерна (П – П), то на границе между ними присутствуют частицы цементита округлой формы (см. рис. 2б, правая часть). В случае, когда граница разделяет ферритное и перлитное зерна (Ф – П), то на границе образуются прослойки цементита (см. рис. 2, б, левая часть).

Мелкие зерна представляют феррито-перлитную смесь и располагаются вдоль границ крупных зерен (зерен кристаллизации) в виде прослоек (рис. 2, б). Строение перлитных зерен весьма несовершенно (рис.3) – наблюдаются

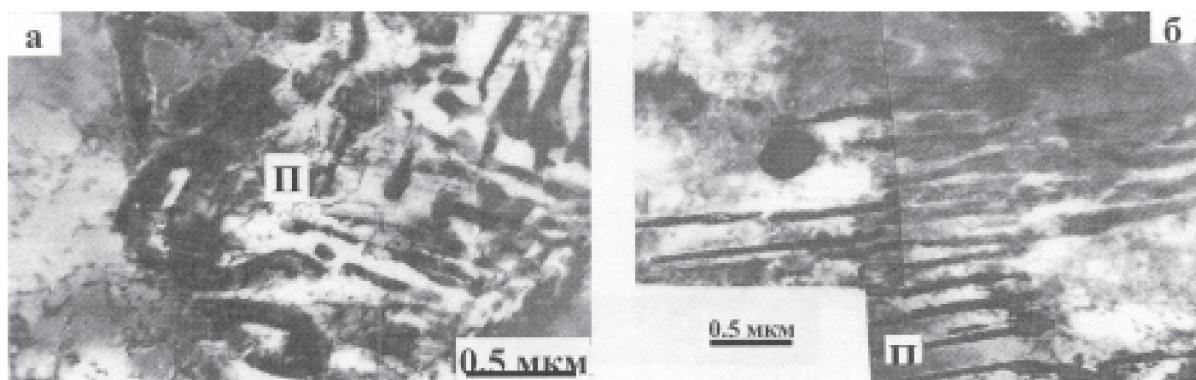


Рис.4. Зерна искаженного пластинчатого перлита (П), присутствующего в переходной зоне сварного соединения

ферритные мостики, пластины цементита искривлены, неоднородны по толщине. Отметим, что структура перлитных колоний и зерен в составе других сталей (как совершенных, так и несовершенных) подробно обсуждается в [7] и классифицирована в работах [8,9].

По мере удаления от центра шва объемная доля мелких зерен увеличивается, достигая 100% в переходной зоне сварного шва. Формирование зернистой структуры уже в промежуточной зоне сварного шва приводит к увеличению дефектности перлитной структуры, и в переходной зоне шва (в зоне, примыкающей к зоне термического влияния – ЗТВ) перлитная структура оказывается практически полностью дефектной (рис.4). В этой зоне присутствуют, во-первых, перлитные зерна, сильно искаженные квазипластинчатой структурой (рис.4а).

Во-вторых, присутствует карбидная фаза, не объединенная в зерна и колонии (рис.5). Карбидная фаза располагается главным образом: а) вдоль границ зерен феррита в виде частиц глобулярной формы (рис. 5а,б); б) в стыках ферритных зерен (рис.5в); в) внутри зерен феррита в виде хаотически распределенных глобул или ограненных кристаллов (рис.5а,б) или пластин (рис.5б,г); г) карбидные частицы могут прорастать в ферритное зерно от его границ отдельно расположеннымими пластинами (рис.5г) или небольшими пачками (рис.5д).

Следовательно, измельчение зернистой структуры стали есть результат реализации быстрой кинетики распада аустенита. Образовавшиеся частицы цементита тормозят миграцию границ зерен и, соответственно, рост самих зерен. В центральной части шва охлаждение после сварки идет медленно. Там наряду с феррито-карбидной смесью образуется несовершенный (не-

равновесный) пластинчатый перлит. В промежуточной и особенно в переходной зоне, охлаждение после сварки идет быстрее, и поэтому в этой зоне формируется иная структура.

Таким образом, кристаллизация сварного шва стали 08Г2С и последующее его охлаждение приводят к формированию двухфазной структуры, характерной для эвтектоидного превращения низко- и среднеуглеродистых сталей и состоящей из феррита (ОЦК кристаллическая решетка, а-фаза) и карбида железа – цементита (орторомбическая кристаллическая решетка). Морфология структуры сварного шва определяется расстоянием до границы раздела расплав / твердое тело. В центральной части сварного шва формируется структура, состоящая из зерен феррита и пластинчатого перлита, а в переходной области сварного шва – зерна феррита и частицы цементита в основном глобулярной морфологии, расположенные в объеме и по границам зерен феррита. Схема изменения вида структуры карбидной фазы по мере удаления от центральной зоны шва представлена на рис.6.

В мелких зернах пластинчатого и глобулярного перлита искажается внутренняя структура (см. переход от рис.6а к рис.6б-в). Одновременно в ферритных зернах на дислокациях появляются мелкие частицы (рис.7). В дальнейшем, по мере удаления от центральной зоны, размеры этих частиц растут. При переходе от центральной зоны к промежуточной и переходной усиливается тенденция локализации частиц цементита по границам зерен и в их стыках.

Выходы

На основании ПЭМ-исследований тонкой структуры сварного шва из стали 08Г2С можно сделать следующие выводы:

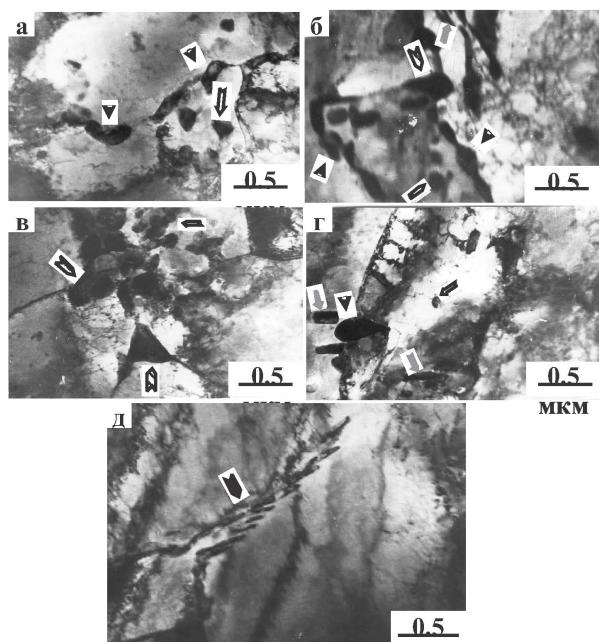


Рис. 5. Расположения частиц цементита в зернах феррита. Переходная зона сварного шва.
Частицы глобулярной формы, расположенные по границам ферритных зерен, отмечены \rightarrow ,
в стыках зерен – $\diagup\!\!\!\diagdown$, в теле зерен – \Rightarrow ; частицы пластинчатой формы \Rightarrow , находящиеся внутри зерен,
отмечены \Rightarrow , прорастающие от границы – \Rightarrow (г,д – поперечные структуры в зернограницевых прослойках)

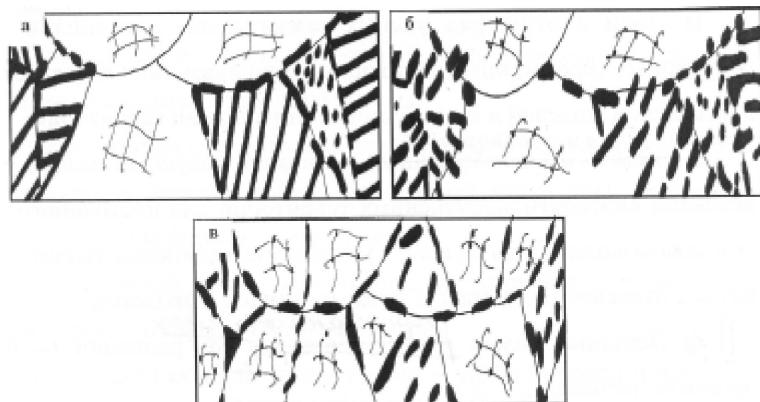


Рис.6. Схема изменения вида структуры карбидной фазы в различных зонах сварного шва:
а – центральная зона; б – промежуточная зона; в – переходная зона

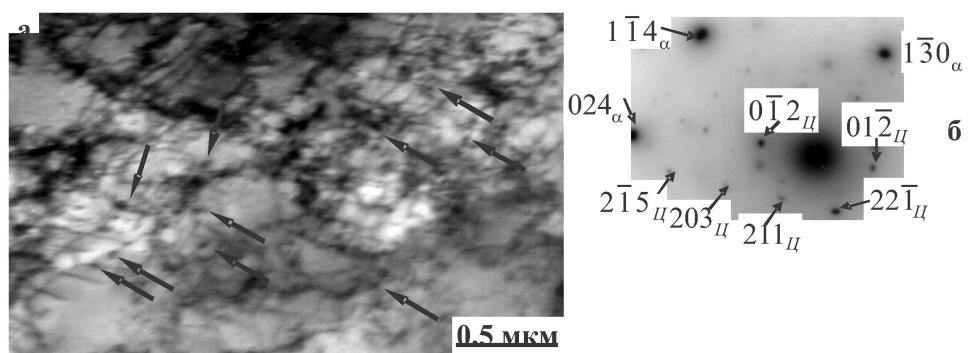


Рис.7. Тонкая структура ферритного зерна в промежуточной зоне сварного шва. На дислокациях локализованы частицы цементита (отмечены стрелками): а – светлопольное изображение; б – индицированная микродифракционная картина, полученная с ферритного зерна (содержит рефлексы, относящиеся к плоскостям $(\bar{3}42)$ цементита и (\quad) а-фазы)

- кристаллизация сварного шва стали 08Г2С и последующее его охлаждение приводят к формированию двухфазной структуры, состоящей из б-феррита и карбida железа – цементита;

- в центральной части сварного шва формируется структура, состоящая из зерен феррита и пластинчатого перлита;

- в переходной области сварного шва – зерна феррита и частицы цементита в основном губулярной морфологии, расположенные в объеме и по границам зерен феррита.

- при переходе от центральной зоны к промежуточной и переходной усиливается тенденция локализации частиц цементита по границам зерен и в их стыках.

- морфология структуры сварного шва определяется расстоянием до границы раздела расплав / твердое тело.

Данная работа выполнена на основе договора о научно-техническом сотрудничестве между Восточно-Казахстанским государственным университетом им. С.Аманжолова и Томским государственным архитектурно-строительным университетом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лившиц Л.С., Хакимов А.Н.* Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. М.: Машиностроение, 1989. 336 с

2. *Гагауз В.П., Громов В.Е., Коваленко В.В., Попова Н.А., Иванов Ю.Ф., Козлов Э.В.* Градиентные структуры и фазовый состав толстых сварных швов // Материаловедение. 2003. №1. С.40-43.

3. *Чепрасов Д.П., Сейдуров М.Н., А.А. Иванайский* Влияние термодеформационных циклов на формирование зернистого бейнита в околосшовной зоне при дуговой сварке стали 24Х2НАЧ // Ползуновский вестник. 2008. № 4. С. 89-94.

4. *Скаков М.К., Увалиев Б.К., Козлов Э.В.* Фазово-структурное состояние отпущеной стали // Вестник НЯЦ РК. 2008. №4. С. 66-71.

5. Эндрюс К., Дайсон Д., Куон С. Электронограммы и их интерпретация. М.: Мир, 1971. 256с.

6. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. М.: Металлургия, 1973. 584с.

7. Тушинский Л.И., Батаев А.А., Тихомирова Л.Б. Структура перлита и конструктивная прочность стали. Новосибирск: ВО Наука, 1993. 280с.

8. Громов В.Е., Козлов Э.В., Базайкин В.И. и др. Физика и механика волочения и объемной штамповки. М.: Недра, 1997. 293с.

9. Ветер В.В., Попова Н.А., Игнатенко Л.Н., Козлов Э.В. Фрагментация и образование трещин в перлитной стали опорных валков прокатного стана // Изв. вузов. Черная металлургия. 1994. №10. С.44-48.

Резюме

30ХГСА болатының дәнекерленіп қосылған жерінің дислокациялық құрылымын зерттеу өткізілді. Дәнекерленіп қосылған жердің орталық түсінде феррит дәндерінен және илгіш перлиттен тұратын құрылым калыптасатыны анықталды. Дәнекерленген жердің аудиспалы аумағында феррит дәндері және цементит бөлшектері негізінен губулярлы морфологиялық турде болатыны айқындалды.

Summary

Research dislocation structures of a welded seam of a steel 30ХГСА is conducted. It is established that in the central part of a welded seam the structure consisting of grains of ferrite and lamellar perlite is formed. It is revealed that in transitive area of a welded seam – grains of ferrite and a particle cementite basically globalical morphology.

*Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан;*

*Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова
г. Усть-Каменогорск, Казахстан;*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г.Томск, Россия*

Поступила 25.01.2010 г.