

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ГРАНИЦЫ В БИМЕТАЛЛЕ СТАЛЬ+ТИТАН

О.Л. Первухина\*, Н.И. Мухина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, Черноголовка, Россия

\*[opervukhina@mail.ru](mailto:opervukhina@mail.ru)

Сочетание в одном конструкционном материале – биметалле сталь+титан высокой коррозионной стойкости титана в агрессивной среде и высокой прочности, технологичности углеродистой низколегированной стали позволяет создавать экономичные и надежные конструкции для атомного машиностроения, в частности конденсаторов АЭС. Единственным методом производства биметалла сталь+титан в виде крупногабаритных листов и заготовок является сварка взрывом, которая позволяет получить прочное соединение слоёв на поверхностях большой площади. Укрупнение модулей блочного конденсатора потребовало значительного увеличения габаритов биметаллических плит предназначенных для изготовления трубных решеток. Обеспечение стабильного качества крупногабаритных биметаллических заготовок требует постоянного совершенствования технологического процесса сварки взрывом, ужесточения механических характеристик и химического состава материалов исходных заготовок. В работе [1] были изучены условия появления участков пониженной прочности соединения слоёв (менее 150 МПа), которые не фиксируются неразрушающими методами контроля при принятой чувствительности прибора УЗК (настройка по отверстию диаметром 5 мм). Поэтому, была поставлена задача: исследовать структуру и свойства этих участков, влияние на них режима термической обработки, которой биметалл обычно подвергается после сварки взрывом. Эти области сравнивали с участками нормальной прочности соединения слоёв (свыше 300 МПа), вырезанных из различных участков крупногабаритного листа, после термообработки.

Объектом исследования был биметалл марки 09Г2С–ВТ1-0 размером 30(25+5)x1860x3280 мм, полученный сваркой взрывом в среде защитного газа аргона. В этой технологии аргоном заполняется сварочный зазор для исключения взаимодействия

титана с элементами воздуха. После ультразвукового контроля листа и выявления дефектных участков проводили отбор образцов по длине листа (вдоль направления детонации) и дефектных зонах. Дефектной зоной считали область, где при ультразвуковом контроле при изменении настройки чувствительности прибора фиксировались шумы. Образцы обрабатывались в печи по режиму: нагрев до 550°C, выдержка (1 ч, 2 ч, 3 ч, 6 ч, 12 ч), охлаждение на воздухе. На образцах проводили испытания механической прочности (на отрыв плакирующего слоя) и микротвердости. Методами оптической и сканирующей электронной микроскопии исследовали структуру сварного соединения, определяли состав включений. На границе соединения слоев измеряли усредненную толщину слоя включений как отношение суммарной площади включений к длине измеренного участка.

Анализ результатов испытаний механической прочности на отрыв плакирующего слоя и структурных исследований показал:

1. Прочность соединения в зонах, где УЗК не выявлено дефектов, составляет 302–424 МПа. Стабильная структура наблюдается по всей длине биметаллического листа, структура сварного соединения имеет волнообразный характер с одинаковыми параметрами волны и отдельными литыми включениями в гребнях волн (рис. 1а). Размер площади включений колеблется в относительно узких пределах.
2. В дефектной зоне, где прочность образцов составила меньше 100 МПа, волнообразование нарушается (рис. 1б). Вдоль границы соединения наблюдается прослойка включений толщиной до 200 мкм. В структуре прослойки имеются трещины.

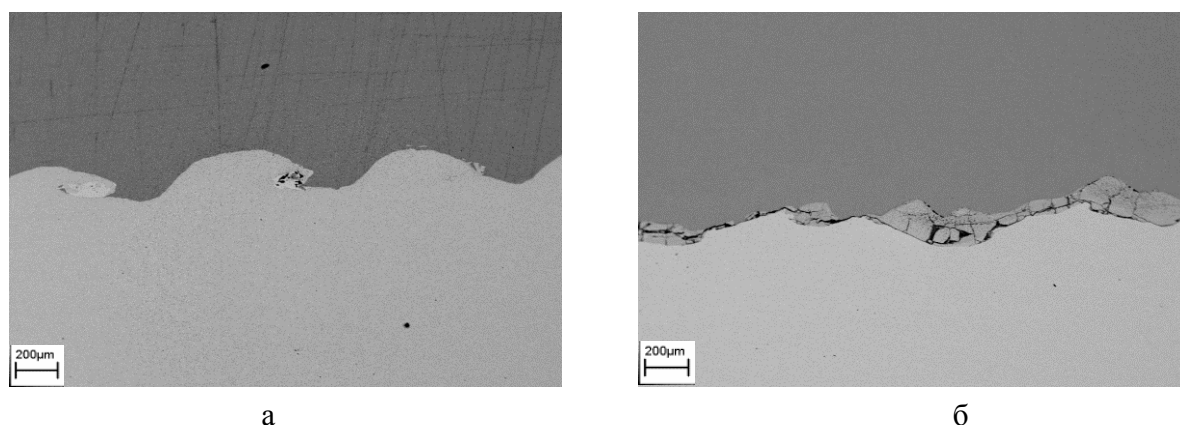


Рисунок 1. Структура контактной границы биметалла сталь+титан на участке с нормальной прочностью соединения слоёв (а) и в дефектной зоне (б).

На основе построения рентгеновских карт распределения элементов и микроанализа включений установлено, что в их составе содержится титан и железо (рис. 2). Их соотношение соответствует интерметаллидам  $TiFe$ ,  $TiFe_2$ ,  $Ti_2Fe$ . В дефектной зоне выявлены соединения смешанного состава с величиной микротвердости до 1620HV. В их состав входят оксиды титана и железа, интерметаллиды и основные элементы соединяемых материалов.

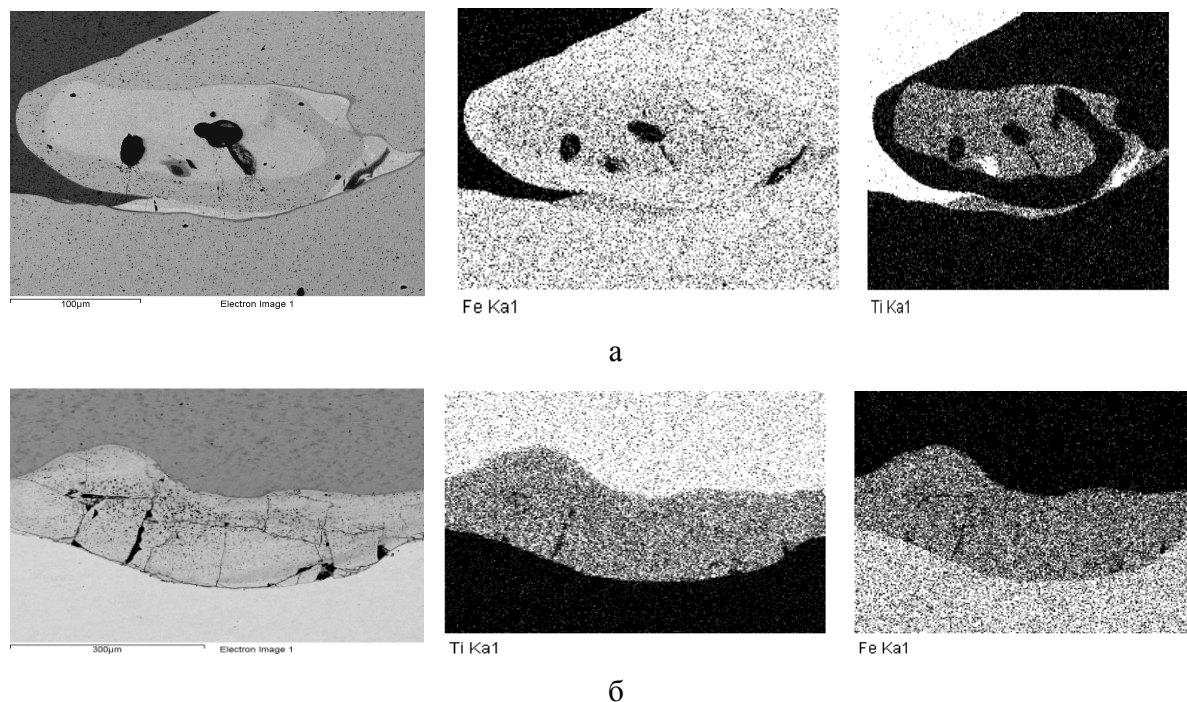


Рисунок 2. Рентгеновская карта распределения элементов на контактной границе биметалла сталь+титан в гребнях волн (а) и дефектной зоне (б).

После термической обработки усредненная толщина включений для всех зон с высоким качеством сварки по длине листа изменяется незначительно. Трещины в локальном включении даже после отжига в течении 12 часов не выходят за его пределы (рис. 3а).

В дефектной зоне, размер усредненной площади включений резко повышается уже после 3 часов отжига за счет развития диффузии на контактной границе. Во всем объеме включений в структуре выявляется пористость, связанная с выходом газов, растворенных в расплавах на контактной границе в условиях высоких температуры и давления в процессе сварки взрывом (рис. 3б). Увеличение выдержки при термообработке приводит к росту

размеров пор. Распространение трещин происходит вдоль контактной границы, вплоть до разрушения и расслоения биметалла.

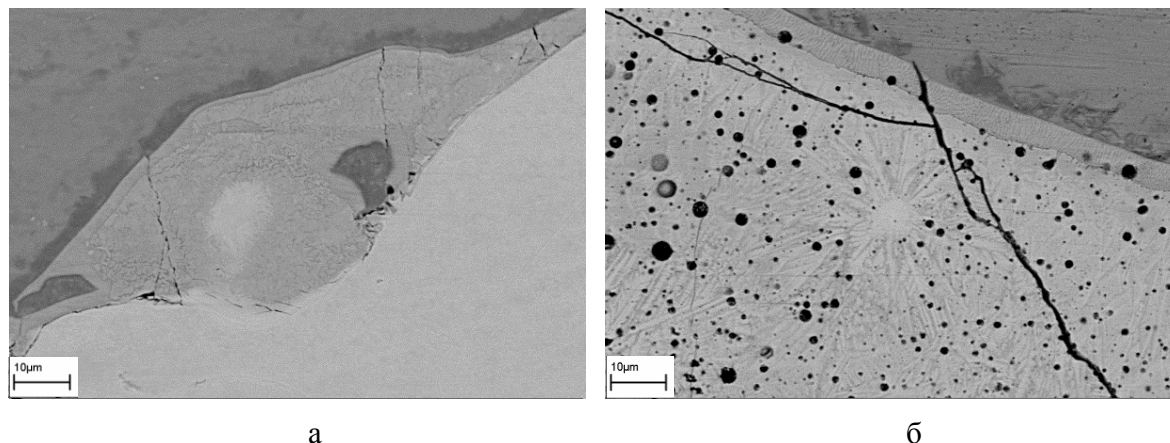


Рисунок 3. Структура включений на контактной границе биметалла сталь+титан после отжига в течении 12 часов на участке с нормальной прочностью соединения слоёв (а) и в дефектной зоне (б).

Скорость роста прослойки в дефектной зоне соответствует данным по кинетике роста интерметаллидных прослоек при сварке пары сталь+титан после сварки взрывом по технологии без использования защитного газа [2]. На основании чего сделан вывод, что появление участков пониженной прочности, в структуре которых наблюдается повышенное содержание включений, обусловлено локальным образованием воздушных карманов в сварочном зазоре. Размеры включений при термообработке при 550°C изменяются с увеличением времени выдержки и зависят от атмосферы, в которой проводилась сварка взрывом (аргон, воздух).

### Литература

- [1] О.Л. Первухина, И.А. Счастливая, А.М. Федоров, Л.Б. Первухин, Т.А. Шишкин. Известия ВолГТУ. Серия «Сварка взрывом и свойства сварных соединений», 208, (2017) 46–54.
- [2] Ю.П. Трыков, Л.М. Гуревич, В.Н. Арисова. Диффузия в слоистых композитах. Волгоград: ВолгГТУ, 2006, 403 с.