



# РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ ВЗРЫВОМ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ДЕКОМПОЗЕРОВ ОБЪЕМОМ ДО 5000 м<sup>3</sup>

Академик НАН Украины **Л. М. ЛОБАНОВ**, **Л. Д. ДОБРУШИН**, д-р техн. наук,  
**А. Г. БРЫЗГАЛИН**, канд. техн. наук, **С. Ю. ИЛЛАРИОНОВ**, **П. С. ШЛЕНСКИЙ**, инженеры  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),  
**Л. А. ВОЛГИН**, канд. техн. наук, **В. Г. ЛАШКЕВИЧ**, **Е. В. ГРАБАР**, инженеры  
(НИЦ «Материалообработка взрывом ИЭС им. Е. О. Патона»)

Исследована эффективность снижения остаточных напряжений поэтапной обработкой взрывом протяженных многопроходных швов, а также сварных соединений декомпозеров с толщиной стенки 40 мм.

*Ключевые слова:* обработка взрывом, низкоуглеродистая сталь, декомпозеры, сварные соединения, остаточные напряжения, растрескивание под напряжением

На сегодня обработка взрывом (ОВз) является единственным способом обеспечения стойкости сварных соединений декомпозеров к коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН), применяемым на практике в условиях глиноземных и алюминиевых заводов. С 1971 по 2007 гг. ОВз подвергнуты декомпозеры Уральского (26 шт.), Днепровского (12), Павлодарского (36), «Бинач» (Югославия, 24) алюминиевых заводов, Николаевского глиноземного завода (63), а также другое баковое оборудование этих заводов. Всего обработано более 400 тыс. пог. м сварных швов на 300 крупногабаритных баках. Длительная эксплуатация обработанных баков без появления до сегодня каких-либо серьезных повреждений подтвердила высокую эффективность использования ОВз для обеспечения работоспособности оборудования, работающего в условиях воздействия агрессивной щелочной среды.

Реализация ОВз осуществляется с помощью накладных зарядов взрывчатого вещества, размещаемых на внутренней поверхности бака вдоль сварных швов. Форма и погонная масса взрывчатого вещества зависят от толщины обрабатываемого материала и вида сварного соединения. Стенки бака, благодаря расположению зарядов внутри, служат защитой от вредного воздействия взрыва. Максимальная масса одновременно закладываемого заряда взрывчатого вещества, определяющая мощность создаваемой при взрыве ударной волны в воздухе, рассчитывается, как правило, из условия обеспечения целостности остекления расположенных вблизи объекта обработ-

ки зданий. На рис. 1 приведены объекты обработки. В зависимости от условий проведения взрывных работ и толщины обрабатываемого металла за один подрыв может быть обработано от 20 до 180 пог. м сварных швов.

Совершенствование конструкции декомпозеров и увеличение их рабочего объема до 5000 м<sup>3</sup> привело к возрастанию общей протяженности сварных швов, выполняемых при монтаже, увеличению толщины стенки нижних поясов до 40 мм. В связи с этим актуальной становится оценка эффективности ОВз толстолистовых соединений применительно к условиям работы декомпозера и поэтапной (за несколько подрывов) обработки швов большой длины.

Прежде всего следует отметить, что в 1970–1980-х годы для декомпозеров с толщиной стенки не более 20 мм критерием стойкости к КРН было принято условие  $\sigma_{\max} \leq 0,25\sigma_T$  [1], где  $\sigma_{\max}$  — максимальные остаточные напряжения (ОН),  $\sigma_T$  — предел текучести стали, примененной для изготовления стенки декомпозера. Исследования, проведенные в ИЭС им. Е. О. Патона [2], показали, что стойкость сварных соединений из стали Ст3 против КРН в щелочной среде с увеличением толщины соединения повышается и для современных декомпозеров в качестве критерия стойкости против КРН могут быть приняты следующие значения:

при толщине стенки декомпозера менее 14 мм  $\sigma_{\max} \leq 0,25\sigma_T$ ; от 14 до 24 мм —  $\sigma_{\max} \leq 0,35\sigma_T$ ; свыше 24 мм —  $\sigma_{\max} \leq 0,5\sigma_T$ .

Исследование ОН в сварных образцах, изготовленных из листовой стали Ст3 ( $\sigma_T = 330$  МПа), проводили методом разрезки, деформации измеряли механическим деформометром с ценой де-



Рис. 1. Внешний вид конструкций, подвергаемых ОВз: а — батарея строящихся декомпозеров; б — технологические баки; в — рабочий момент монтажа зарядов; г — сварные соединения после ОВз

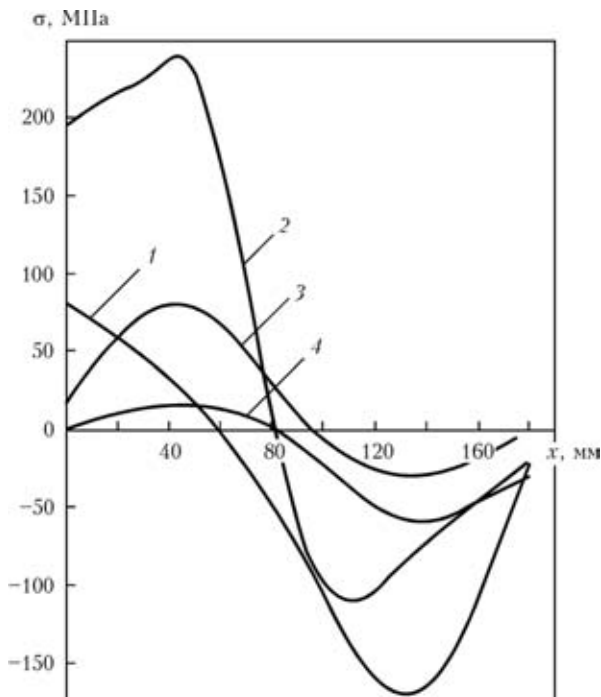


Рис. 2. Эпюры продольных ОН в пластине толщиной 40 мм со стороны ОВз (1) и необработанной стороны (2), а также поперечных с необработанной (3) и стороны ОВз (4)

ления шкалы 2 мкм. Образец толщиной 40 мм размером 600×450 мм был изготовлен с помощью полуавтоматической дуговой сварки в среде  $\text{CO}_2$  (Х-образная разделка кромок, 17 проходов) по

технологии, разработанной для строительства декомпозеров Николаевского глиноземного завода (НГЗ). Обработку взрывом проводил НИЦ «Материалобработка взрывом ИЭС им. Е. О. Патона» по технологии ИЭС им. Е. О. Патона. В соответствии с технологическим процессом, составленным для проведения ОВз сварных соединений декомпозеров НГЗ, обрабатывали одну сторону образца. Эпюры продольных и поперечных ОН представлены на рис. 2.

Как уже отмечалось, при выполнении работ на строящемся декомпозере ОВз проводится с внутренней стороны, т. е. со стороны контакта стенки декомпозера с коррозионноактивной средой. Продольные и поперечные напряжения со стороны ОВз не превышают требуемый уровень  $0,5\sigma_T$ .

Распределение ОН по толщине после ОВз неравномерно, чем объясняется некоторая неуравновешенность полученных на поверхностях образца эпюр, однако с необработанной стороны также произошло заметное снижение максимальных ОН растяжения, значение которых после сварки было на уровне предела текучести. С учетом положительных результатов исследований, проведенных ранее в ИЭС им. Е. О. Патона на образцах толщиной 30 и 35 мм, можно заключить, что ОВз толстолистовых сварных соединений декомпозеров со стороны контакта с агрессивной

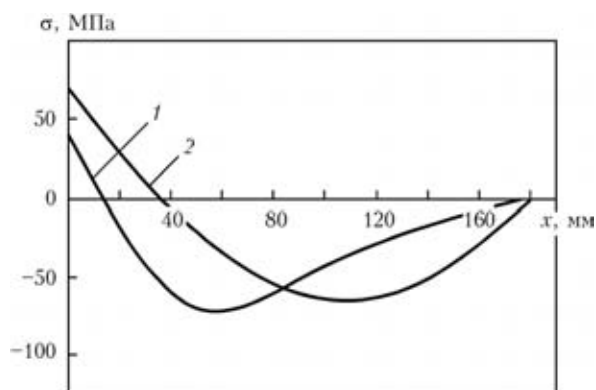


Рис. 3. Продольные ОН в пластине толщиной 10 мм со стороны ОВз в обработанной первой (1) и второй (2) половине длины пластины

средой обеспечивает снижение ОН до требуемого уровня.

Для исследования эффективности поэтапной ОВз были изготовлены сварные образцы из стали Ст3 ( $\sigma_T = 370$  МПа) размером 1500×500 мм с толщиной стенки 10 мм. Полуавтоматическую сварку также осуществляли по технологии, разработанной для НГЗ — X-образная разделка, три прохода (первый — корневой, второй и третий — заполняющие с двух сторон пластины). При монтаже декомпозеров последовательность наложения проходов предусматривает создание наименьших поперечных напряжений с внутренней стороны. Соответственно ОВз выполняли со стороны второго прохода. Один образец обработан наполовину его длины одним взрывом, второй — на всю длину поэтапно двумя отдельными взрывами.

На рис. 3 представлены эпюры продольных ОН полностью обработанного образца со стороны ОВз. Эффективность ОВз половины образца, обработанной первой, оказалась несколько выше, однако максимальные напряжения в обеих половинах (45 и 70 МПа) не превышают допустимые (90 МПа).

Результаты измерения ОН в образце, ОВз которого проведена лишь наполовину длины, приведены на рис. 4. Максимальные продольные напряжения в обработанной части образца не пре-

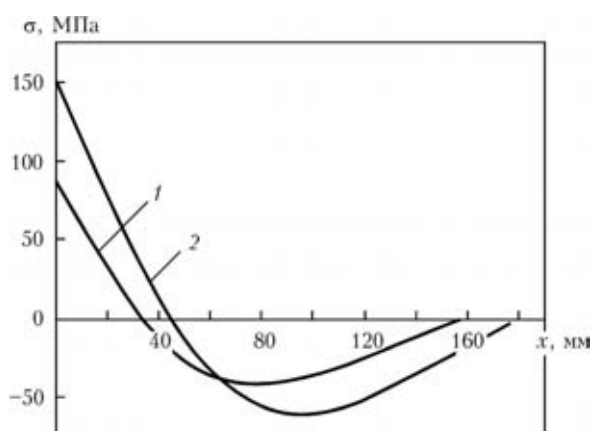


Рис. 4. Средние по толщине продольные ОН в пластине, половина длины которой обработана взрывом в обработанной (1) и в необработанной (2) части

вышают допустимые. В необработанной части произошло существенное снижение ОН, что свидетельствует о перераспределении ОН вдоль длины шва при ОВз его части.

Проведенные исследования позволяют сделать заключение о том, что поэтапная ОВз протяженных сварных швов приводит к эффективному снижению ОН и применима к решению задач обеспечения стойкости сварного соединения против КРН.

## Выводы

1. ОВз с внутренней стороны сварных соединений декомпозеров, изготовленных из стали Ст3 с толщиной стенки 40 мм, снижает ОН до уровня, необходимого для обеспечения стойкости к КРН в щелочной среде.

2. При практическом использовании технологии ОВз на строящихся декомпозерах может применяться поэтапная обработка протяженных сварных соединений.

1. *Стеклов О. И.* Прочность сварных конструкций в агрессивных средах. — М.: Машиностроение, 1976. — 200 с.
2. *Петушков В. Г.* Применение взрыва в сварочной технике / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Наук. думка, 2005. — 756 с.

The effectiveness of residual stress lowering by step-by-step explosion treatment of extended multipass welds, as well as welded joints of decomposers with 40 mm wall thickness was studied.

Поступила в редакцию 07.09.2009