



## ПОДВОДНАЯ МОКРАЯ СВАРКА СТАЛИ 17Г1С С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКОЙ КРОМОК ВЗРЫВОМ

С. Ю. МАКСИМОВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние типа заряда взрывчатых веществ и способа их наложения при предварительной ударно-волновой обработке свариваемых кромок на параметры ЗТВ соединений стали 17Г1С, выполненных под водой. Установлена возможность значительного измельчения зерен на участке ЗТВ, уменьшения его ширины, локализации строчечных неметаллических включений. Применение предварительной обработки кромок взрывом позволяет снизить риск образования холодных трещин в металле ЗТВ.

**Ключевые слова:** подводная сварка, обработка взрывом, зона термического влияния, холодные трещины

Ускоренное охлаждение и водородная атмосфера парагазового пузыря, характерные для мокрой подводной сварки, увеличивают опасность образования холодных трещин в металле ЗТВ. Особенно остро эта проблема стоит при сварке сталей (типа 17Г1С), склонных к образованию закалочных структур и имеющих строчечные сульфидные включения. В этом случае вблизи линии сплавления наблюдается образование холодных трещин по границам крупных зерен мартенсита или бейнита, а наличие строчечных сульфидных включений, расположенных по направлению проката, способствует их распространению в глубь металла ЗТВ. В обычной практике эта проблема решается с помощью соответствующей термической обработки, что практически невозможно в условиях водной среды. В начале 1980-х гг. в ИЭС им. Е. О. Патона для улучшения свойств сварных соединений предложено использовать обработку взрывом кромок, подготовленных к сварке плавлением [1]. Возникающий при взрыве заряда взрывчатых веществ (ВВ) импульс давления приводит к возбуждению в металле ударной волны, которая вызывает дробление зерен и нарушение сплошности сульфидных строчек, увеличение концентрации дефектов кристаллической решетки. При последующем сварочном нагреве это создает благоприятные условия для возникновения большого количества центров перекристаллизации. Рост зерен тормозится, сужая ширину зоны крупного зерна в металле ЗТВ. Представляет интерес оценка возможности использования предварительного ударно-волнового нагружения свариваемых кромок как инструмента для снижения опасности образования холодных трещин при сварке под водой.

Опыты проводили на пластинах размером 14×150×200 мм из стали 17Г1С, содержащей, %: 0,19С, 0,49Si, 1,43Mn, 0,021P и 0,033S и характеризующейся высокой склонностью к образованию холодных трещин. Для предварительной обработки применяли ВВ с давлением на фронте детонации 1...20 ГПа. Взрывное нагружение\* осуществляли по схеме косых ударных волн, возбуждаемых в металле детонационной волной, скользящей по поверхности. После обработки в лабораторном бассейне на глубине 1 м выполняли сварку порошковой проволокой ППС-АН1 на режимах:  $I_{св} = 180$  А,  $U_{д} = 32$  В,  $v_{св} = 6$  м/ч. Затем из образцов изготавливали поперечные шлифы и подвергали их металлографическому исследованию. Результаты сравнивали с данными исследований образцов, выполненных без обработки.

Первую серию образцов подвергали обработке шнуровым контактным зарядом (ДША-12), уложенным по периодической кривой. При этом стремились, чтобы ширина зоны, охваченная зарядом ВВ, максимально совпадала с зоной действия остаточных растягивающих напряжений, которые образовались бы в данном сварном соединении при выбранных режимах сварки. Во второй серии образцов использовали полосовые заряды пластичных ВВ НИЛ-2 (с давлением на фронт детонации 1,0; 2,0 и 2,5 ГПа) и эластит типа В84-1994-82 (с давлением 20 ГПа). В обеих сериях заряд укладывали на лицевую и

обратную поверхности пластин, так называемый плоский способ наложения заряда.

Результаты металлографического анализа показывают (таблица), что более заметное сужение участка крупного зерна ЗТВ происходит при использовании полосового заряда пластичных ВВ, особенно НИЛ-2, однако избежать образования холодных трещин не удалось (рис. 1, а), хотя их количество заметно уменьшилось по сравнению с необработанными образцами.

### Влияние типа заряда ВВ и способа их наложения на ширину участка крупного зерна в металле ЗТВ

№ п/п	Тип заряда ВВ	Способ наложения заряда	Ширина участка крупного зерна, мкм
1	Без обработки	—	1652...1950
2	ДША-12	Плоский	1495...1950
3	Эластит	»»	1755...1820
4	НИЛ-2	»»	1300...1365
5	Эластит	Объемный	1300...1365
6	НИЛ-2	»»	780...1170

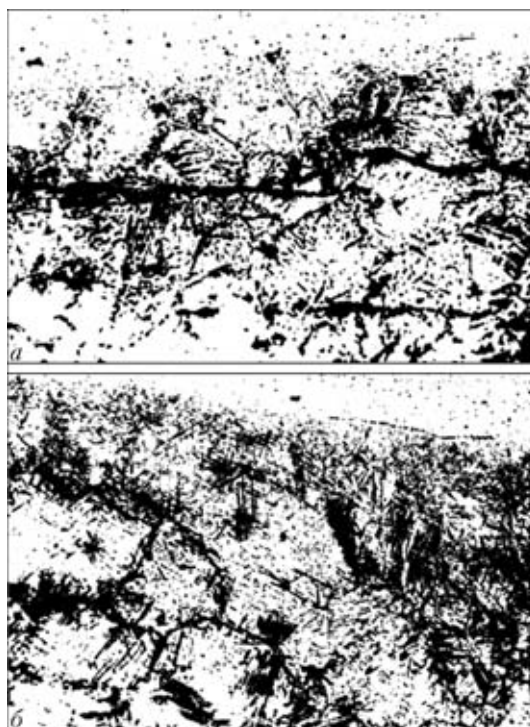


Рис. 1. Микроструктура металла ЗТВ сварного соединения стали 17Г1С, выполненного под водой: а — обработка плоским полосовым зарядом (эластит); б — обработка объемным зарядом (НИЛ-2), ×200

\*Подготовка образцов выполнена инж. Е. Я. Локшиной.



Для усиления эффекта обработки ВВ в следующей серии образцов заряд НИЛ-2 укладывали не только на лицевую и обратную, но и на торцевую поверхность свариваемых кромок [2], так называемый объемный способ наложения заряда. Благодаря такому расположению к поперечной деформации, возникающей под действием встречных волн от заряда ВВ, находящегося на лицевой и обратной плоскостях, добавляется продольная, которую обуславливает заряд ВВ на торцевой плоскости. В процессе двухмерного перемещения металла достигается большая степень деформации, приводящая к еще большему измельчению зерен в области металла ЗТВ, прилегающей к линии сплавления (см. таблицу). При этом нарушается текстура в металле, что приводит к разрушению и локализации строчечных неметаллических включений. Кроме того, возникающие в обработанном металле сжимающие напряжения [3] ликвидируют благоприятные условия для диффузии водорода из ме-

талла шва в околошовную зону. Совместное воздействие перечисленных факторов в итоге препятствует образованию холодных трещин в металле ЗТВ (рис. 1, б).

1. Улучшение свойств сварных соединений путем предварительной обработки взрывом подлежащих сварке кромок / В. Г. Петушков, Е. Я. Локшина, Д. П. Новикова, Ю. И. Фаденко // Автомат. сварка. — 1992. — № 9–10. — С. 48–52.
2. А. с. 1487319, МКИ В 23 К 28/00. Способ подготовки кромок под сварку плавлением / В. Г. Петушков, И. М. Савич, Е. Я. Локшина и др.; Выдано 15.02.89.
3. Investigation of stressed state of 17G1S steel welded joints in wet underwater welding / M. L. Lobanov, V. A. Pivtorak, S. T. Andrushchenko et al. // Proc. of Intern. conf. (Helsinki, 4–5 Sept., 1989). — Helsinki, 1989. — P. 137–140.

The influence was studied of the type of explosive charges and method of their application at preliminary shock-wave treatment of the edges being welded on the parameters of the HAZ of welded joints in 17G1S steel, made under the water. Possibility is established of a considerable refinement of the grain in the coarse grain region, narrowing of the region, localizing the line nonmetallic inclusions. Application of pretreatment of the edges by explosion allows reducing the risk of cold cracking in the HAZ metal.

Поступила в редакцию 13.10.2003

## ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины



**Л. Д. Добрушин** (ИЭС) защитил 10 декабря 2003 г. докторскую диссертацию на тему «Создание технологических процессов прецизионной сварки взрывом элементов металлоконструкций».

Диссертационная работа посвящена научному обоснованию и созданию промышленных технологических процессов прецизионной сварки взрывом (ПСВ) элементов металлоконструкций из одно- и разнородных металлов, в том числе с резко различающимися физико-механическими свойствами, которые обеспечивают заданные геометрические характеристики и требуемые служебные свойства сварных соединений элементов и конструкций в целом.

Диссертантом проведены детальные теоретические и экспериментальные исследования по оптимизации условий образования соединения металлов вблизи нижней границы области сварки взрывом (СВ). Изучены особенности процессов плакирования взрывом и упругопластического деформирования тонкостенных оболочковых и трубчатых длинномер-

ных, а также сварки «ударной волной» (СУВ) толстолистовых, в том числе многоэлементных, металлоконструкций. Предложены и апробированы оригинальные способы сварки и плакирования взрывом, а также опорные устройства, обеспечивающие заданные и/или допустимые остаточные деформации конструкций и их элементов. Достигнутая в результате применения разработанных ПСВ величина удельного расхода взрывчатого вещества составляет  $\approx 0,3$  г/см, что примерно на порядок ниже, чем при обычно применяемых схемах и режимах СВ.

Разработаны технология ПСВ для ремонта топливных баков универсальных ракетно-космических транспортных систем «Энергия-Буран» и «Ариан-5»; технология ПСВ для плакирования канала артиллерийских стволов типа КБАЗ износостойким покрытием из хастеллоя «С»; технология СУВ для монтажа стыков токоведущих алюминиевых магистральных шинопроводов; комбинированная технология ПСВ и ЭЛС биметаллических (Al + нержавеющая сталь) анододержателей для электролизеров алюминия и др. Все разработанные технологии прошли натурные испытания и нашли широкое применение на предприятиях аэрокосмического комплекса, общего машиностроения, энергетики, цветной металлургии в Украине, в странах СНГ и за рубежом.

УДК 621.791 (688.8)

## ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА\*

**Устройство для сварки**, отличающееся тем, что в него дополнительно введен датчик коротких замыканий, работающий в фазе с блоком сравнения напряжения дуги с задающим напряжением, причем вход датчика коротких замыканий подключен ко второму выходу блока сравнения напряжения дуги с задающим напряжением, а выход — через усилительное устройство к дополнительному входу блока формирования длительности импульса. Патент РФ 2210475. А. Ф. Князьков, С. А. Князьков, А. В. Веревкин (Томский политехнический университет) [23].

**Сборочно-сварочный вращатель-кантователь**, отличающийся

тем, что подшипники передней и задней бабки выполнены в виде втулок-ориентаторов с открытыми продольными пазами, в которые с возможностью высвобождения введены штифты, смонтированные в шпиндели перпендикулярно к их осям. Патент РФ 2210476. Н. Н. Новиньков (ОАО Московский «Завод им. И. А. Лихачева») [23].

**Способ высокоскоростной аргоно-дуговой наплавки цилиндрических деталей**, отличающийся тем, что торцу присадки предварительно придают форму конуса с углом при вершине  $2\alpha$ , присадку ориентируют продольной осью относительно оси вращения детали под углом  $\alpha = 75 \dots 88^\circ$ , совмещая образующую последней с образующей конуса присадки, и разогревают конец присадки до пластического состояния, а присадку вращают с условием совпадения вектора окружной скорости основания конуса по величине и направлению с вектором окружной ско-

\* Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетенях РФ «Изобретения. Полезные модели», № 23, 2003 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).