



ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНИКОВ НЕРЖАВЕЮЩАЯ СТАЛЬ–АЛЮМИНИЙ СПОСОБОМ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ В ВАКУУМЕ

Г. К. ХАРЧЕНКО, д-р техн. наук, Ю. В. ФАЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук,
В. Е. ФЕДОРЧУК, инж., С. Г. ГРИГОРЕНКО, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
М. М. РУДЕНКО, инж. (Чернигов. гос. технолог. ун-т)

Разработана технология сварки давлением в вакууме биметаллических трубных переходников из нержавеющей стали 10X18H10T с алюминием АД1. Установлено, что модифицирование поверхности стальной заготовки с помощью отверстий способствует локализации пластической деформации в стыке и получению сварных соединений с прочностью не ниже прочности алюминия.

Ключевые слова: сварка давлением в вакууме, биметаллические соединения, алюминий АД1, сталь 10X18H10T, переходники, микроструктура

В ряде современных конструкций, например энергетических аппаратах, вопрос о возможности образования надежных соединений труб из различных металлов является ключевым.

Соединение труб из алюминиевых сплавов с трубами из сталей с помощью переходников широко применяют в конструкциях узлов, где к ним предъявляют высокие требования по работоспособности. В сосудах для хранения и транспортировки криогенных продуктов используют трубы из нержавеющей стали и алюминиевых сплавов, соединяемых с помощью вставок и переходников.

Сложность получения сварных соединений алюминия со сталью обусловлена существенной разницей в значениях температуры плавления стали (около 1539 °С) и алюминия (660 °С); отличиями в коэффициентах линейного расширения: для алюминия — $23,5 \cdot 10^{-6}$, железа — $11,9 \cdot 10^{-6}$ 1/°С при комнатной температуре и соответственно $31,1 \cdot 10^{-6}$ и $14,3 \cdot 10^{-6}$ 1/°С при 500 °С; наличием на поверхности алюминия тугоплавкой оксидной пленки Al_2O_3 .

Цель настоящей работы заключалась в разработке технологического процесса сварки давлением в вакууме биметаллических трубных переходников сталь–алюминий с прочностью на уровне таковой алюминия.

Исследования влияния обработки поверхности на формирование сварных соединений проводили на плоских образцах из стали 10X18H10T (50×20×2 мм) и алюминия АД1 (50×20×4 мм) и цилиндрических образцах. Поверхность образцов из нержавеющей стали перед сваркой шлифовали или шлифовали и полировали, а образцов из алю-

миния — зашабривали. Сварку образцов выполняли в свободном состоянии в вакууме при температуре 500 °С, давлении 8 МПа, скорости нагрева около 5 °С/мин. Деформация соединений составляла примерно 25 %. Температуру и давление процесса сварки выбирали исходя из рекомендаций работ [1, 2].

Основные затруднения при диффузионной сварке в вакууме нержавеющей стали с алюминием возникают вследствие образования в стыке хрупких интерметаллидных соединений. Интерметаллиды на начальных стадиях развития, когда они не образуют сплошного слоя в контакте, практически не оказывают влияния на механические характеристики соединения. При наличии в контакте сплошного интерметаллидного слоя пластичность и прочность соединений уменьшается. Это обусловлено не только высокой хрупкостью новой фазы, но и внутренними напряжениями, возникающими вследствие объемных изменений [3]. В соответствии с рекомендациями работы [3] при сварке металлов, образующих интерметаллиды, необходимо свести к минимуму третью стадию процесса диффузионной сварки — стадию объемного взаимодействия, определяемую диффузионными процессами. Поэтому время сварки составляло 1 мин.

После сварки соединения разрезали на электроэрозионном станке на полоски размером 50×9 мм. Соединения испытывали на изгиб. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что больший угол загиба имеют образцы, у которых поверхность стальной детали обрабатывали шлифованием. Угол загиба таких соединений составляет 120°. Однако следует отметить, что в обоих случаях происходило растрескивание соединений по краям.

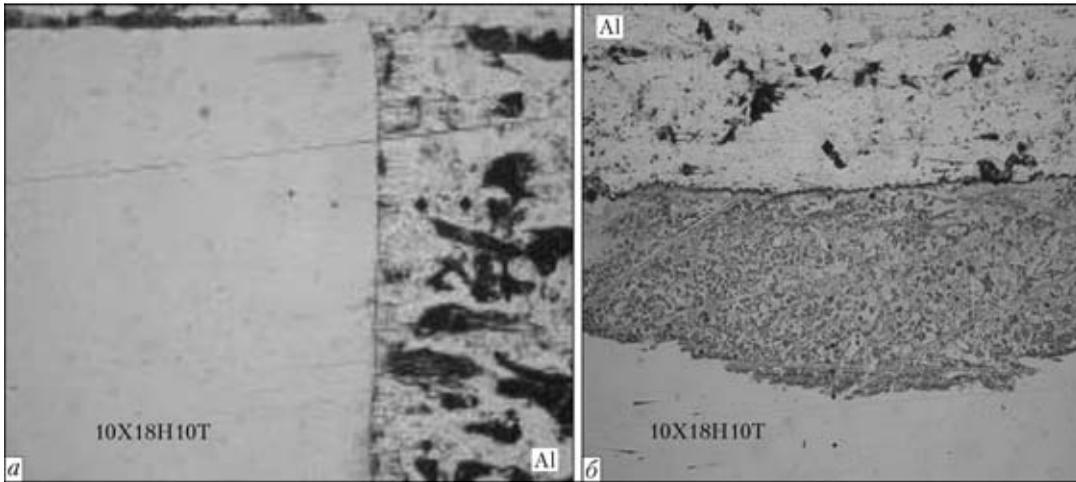


Рис. 1. Микроструктура ($\times 100$) зоны соединения образцов из стали X18H9T и алюминия АД1 с отверстиями на поверхности стальной заготовки (а) и без отверстий (б)

Применение мягких перфорированных прослоек позволяет локализовать пластическую деформацию на контактной поверхности свариваемых деталей [4, 5]. При сварке металлокерамических соединений модифицирование поверхности керамики [6] путем создания на ней «армирующих отверстий» позволяет повысить трещиностойкость изделий в 1,3...1,5 раза. Поэтому для устранения растрескивания соединений на поверхности стальной пластины высверливали «глухие» отверстия.

Отверстия на поверхности стальной пластины выполняли диаметром 2,5 мм глубиной приблизительно 1,2 мм с шагом 10×10 мм. Полученные соединения также испытывали на изгиб. Угол загиба составлял 180° , при этом растрескивания соединений не обнаружено.

Проведены металлографические исследования биметаллических соединений (рис. 1). В зоне соединения образцов с отверстиями выявлены от-

дельные участки с наличием слоя интерметаллида (рис. 1, а). В образце без отверстий интерметаллид занимал 50...70 % площади зоны соединения (рис. 1, б). Необходимо отметить, что оба образца сваривали одновременно.

Увеличение скорости пластической деформации приводит к уменьшению толщины интерметаллидного слоя в 2...3 раза [7]. В начальное время сварки действующие в контакте напряжения значительно превышают предел текучести, в результате чего развивается активная упругопластическая деформация микровыступов. Через несколько секунд после приложения нагрузки скорость деформации падает на 2...3 порядка, и процесс переходит в стадию неустановившейся ползучести [8].

Можно предположить, что разница в толщине образовавшегося слоя интерметаллида в образцах с отверстиями и без них обусловлена разными скоростями пластической деформации приконтак-

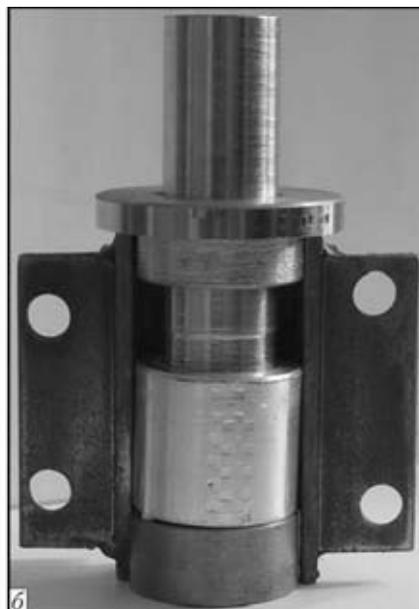
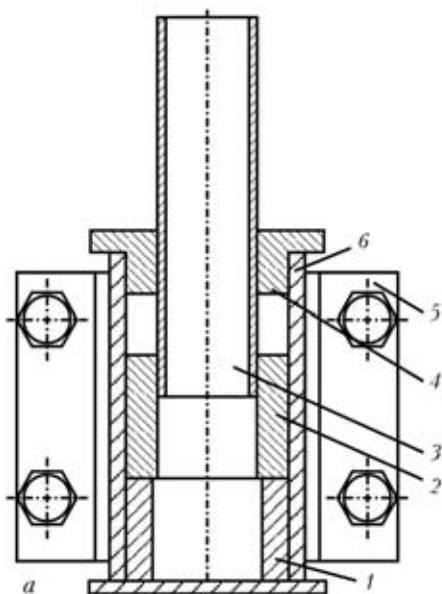


Рис. 2. Схема устройства для получения биметаллических труб (а) и вид в сборе (б); обозначения позиций 1–6 см. в тексте



Рис. 3. Вид стальной заготовки



Рис. 4. Макрошлиф сварного соединения; А — места отверстий, заполненных алюминием

тных слоев алюминия относительно поверхности нержавеющей стали. В первом случае скорость пластической деформации алюминия была выше, чем во втором.

Проведенные авторами эксперименты по сварке трубных заготовок на воздухе положительных результатов не дали. Полученные соединения разрушились при порезке.

Трубные заготовки из нержавеющей стали 10Х18Н10Т и алюминия АД1 сваривали в вакуумной камере установки П-115. Наружный диаметр стальной трубы составлял 25 мм, внутренний — 20 мм, высота — 30 мм, а алюминиевой трубы — соответственно 41,5 и 23,6 мм при высоте 30 мм.

Для проведения экспериментов изготовлено разборное устройство, предназначенное для центровки и фиксации трубных заготовок перед сваркой. Схема устройства и его общий вид представлены на рис. 2. Во внутрь устройства вставляли опорную шайбу 1, на которую устанавливали алюминиевую заготовку 2. В плотном контакте с алюминиевой находилась стальная заготовка 3, которую сверху центровала разборная направляющая шайба 4. Фиксацию трубных заготовок и центрирующих втулок осуществляли с помощью двух стальных ободов 5, к которым приварены проу-

Technology of vacuum pressure welding of bimetal tubular transition pieces from 18KhN9T stainless steel with AD1 aluminium was developed. It is established that modifying the steel blank surface using holes promoted localizing of plastic deformation in the butt joint and producing welded joints with the strength not lower than that of aluminium.

шены 6 с отверстиями. В соответствии с отработанной на образцах методике на поверхности стальной трубки высверливали отверстия (рис. 3). На конце стальной трубки для центровки с алюминиевой трубкой создавали конусность. Непосредственно перед сваркой поверхности, подлежащие сварке, обезжировали ацетоном.

После сварки полученное биметаллическое соединение разрезали на электроэрозионном станке на цилиндрические заготовки толщиной 5 мм. На рис. 4 представлен макрошлиф сварного соединения 10Х18Н10Т–АД1. Как видно из рисунка, в процессе сварки происходит полное заполнение отверстий алюминием, выдавливаемым в результате пластической деформации приконтактных объемов металла. Механические испытания показали, что разрушение сварных соединений происходит по алюминию.

Выводы

1. Разработана технология получения биметаллических трубных соединений 10Х18Н10Т–АД1 способом сварки давлением в вакууме.

2. Модифицирование поверхности более твердой стальной заготовки отверстиями позволяет увеличить скорость пластической деформации приконтактных слоев алюминия, что обеспечивает получение сварных соединений с минимальной толщиной интерметаллидного слоя.

1. *Теория, технология и оборудование диффузионной сварки* / В. А. Бачин, В. Ф. Квасницкий, Д. И. Котельников и др. — М.: Машиностроение, 1991. — 271 с.
2. *Диффузионная сварка материалов: Справочник* / Под ред. Н. Ф. Казакова. — М.: Машиностроение, 1981. — 351 с.
3. *О формировании соединений при диффузионной сварке в вакууме* / Ю. Н. Копылов, Н. Ф. Казаков, И. С. Гришин, Г. В. Конюшков // Диффузионное соединение в вакууме металлов, сплавов и неметаллических материалов: Сб. науч. тр. VII Всесоюз. науч.-техн. конф. (Москва, май, 1973). — М., 1973. — С. 12–25.
4. *Мусин Р. А., Лямин Я. В.* Интенсификация пластической деформации прокладок при диффузионной сварке // Автомат. сварка. — 1991. — № 8. — С. 26–29.
5. *Мусин Р. А., Лямин Я. В.* Деформируемость перфорированных прокладок при диффузионной сварке // Свароч. пр-во. — 1994. — № 6. — С. 24–26.
6. *Лямин Я. В.* Разработка методов интенсификации процесса диффузионной сварки и повышение прочности металл-керамических соединений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Пермь, 1998. — 20 с.
7. *Терновский А. П., Каракозов Э. С., Зимидченко С. С.* Особенности образования соединений разнородных металлов при диффузионной сварке по схеме принудительного деформирования // Автомат. сварка. — 1983. — № 3. — С. 31–34.
8. *Конюшков Г. В., Копылов Ю. Н.* Диффузионная сварка в электронике. — М.: Энергия, 1974. — 167 с.

Поступила в редакцию 25.09.2011