



## ТИГ-СВАРКА ТОЛСТОЛИСТОВОГО ТИТАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОРМИРУЮЩЕЙ ПОДКЛАДКИ

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

Разработан метод сборки под сварку в узкий зазор вольфрамовым электродом деталей из титановых сплавов толщиной 20...100 мм, который обеспечивает высокое качество сварных соединений, а также существенное снижение стоимости технологического процесса сварки. Сборка деталей под сварку осуществляется с применением формирующей подкладки, выполняющей функцию кристаллизатора при выполнении корневого прохода. Применение подкладок позволяет упростить подготовку кромок под сварку, сборку сварного соединения, а также сократить сварочные деформации.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, узкий зазор, титан, вольфрамовый электрод, формирующая подкладка, управляющее магнитное поле

Сварка в узкий зазор — экономичный и эффективный способ соединения металла большой толщины. Факторами, наиболее важными при выполнении сварки титана и сплавов на его основе, являются снижение расхода присадочной проволоки, инертного газа и других сварочных материалов, трудоемкости подготовки кромок свариваемых деталей. Известным способом сварки титана является сварка в узкий зазор (СУЗ) вольфрамовым электродом [1], основными достоинствами которого являются малые ширина получаемого шва, объем наплавляемого металла, а также простота формы кромок под сварку. По этой технологии сборка деталей под сварку проводится с применением остающейся подкладки, которую вручную приваривают с обратной стороны детали [1]. Эта подкладка служит нижней стенкой разделки при выполнении первого прохода. В ряде случаев подкладку необходимо изготавливать из того же титанового сплава, что и основной металл. В дальнейшем приваренная остающаяся подкладка никаких функций не несет, но ее наличие затрудняет надежную защиту обратной стороны деталей от окисления воздухом при наплавке следующего слоя. После сварки приваренную подкладку, как правило, следует удалять. Кроме того, существенным недостатком данного способа сборки деталей под СУЗ применительно к титановым сплавам является то, что после удаления подкладки на изделии остаются поверхностные дефекты. Для их устранения необходимо частично удалять металл сопряженной поверхности сваренных деталей на глубину 1...1,5 мм.

Известен способ СУЗ титана с использованием U-образной разделки [2]. При этом корневого прохода заваривается без подачи присадочной про-

локи и без применения остающейся подкладки, однако при этом нивелируется такое преимущество СУЗ, как простота формы свариваемых кромок. Кроме того, в данном случае корневого прохода необходимо выполнять на специальных режимах, отличающихся от тех, на которых осуществляются последующие (заполняющие) проходы. Вместе с тем при сварке титана для защиты обратной стороны швов и прилегающих к ним нагретых участков сварного соединения от окисления применяют съемные медные подкладки с формирующими канавками и системой отверстий для подачи инертного газа [3]. Применяются также водоохлаждаемые накладки для уменьшения сварочных деформаций [4].

Проведены исследования, целью которых являлась разработка технологии СУЗ титана и титановых сплавов без применения остающихся подкладок. Для практического применения СУЗ целесообразно разработать технологию, предусматривающую выполнение корневого прохода на специальной съемной формирующей подкладке. Такая подкладка, наряду с защитой сварного соединения, должна нести функцию кристаллизатора для формирования валика корневого прохода.

Предлагаемая конструкция медной подкладки (рис. 1) имеет формирующую канавку, каналы для подачи защитного газа и снабжена водяным охлаждением. Применение охлаждения позволяет

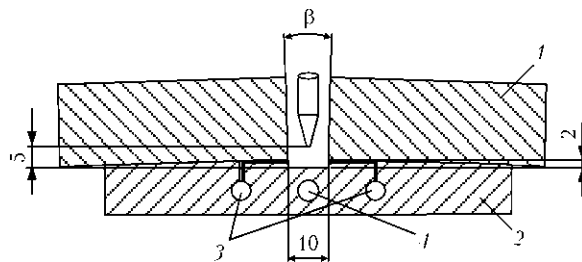


Рис.1. Схема сборки деталей под сварку: 1 — свариваемые плиты; 2 — формирующая подкладка; 3, 4 — соответственно отверстия для подачи защитного газа и протока охлаждающей воды

поддерживать стабильность теплового режима при выполнении всего прохода, уменьшать ширину ЗТВ. Формирующая подкладка обеспечивает защиту сварочной ванны, неплавящегося электрода, расплавленного металла и обратной стороны детали от контакта с воздухом.

Проведенные исследования показали, что для качественного выполнения второго прохода наплавленный слой металла первого, т. е. корневого прохода, должен удовлетворять следующим требованиям: иметь вогнутую форму поверхности; обратная сторона шва должна не иметь подрезов и несплавлений. Кроме того, после выполнения корневого прохода ширина зазора между боковыми стенками разделки должна быть не менее 10 мм.

Экспериментально выполняли сварку плит толщиной 40 мм из технического титана, листов толщиной 30 мм из титанового сплава ПТЗВ и толщиной 20 мм из титанового сплава ВТ23. Сварку выполняли вольфрамовым электродом марки ЭВИ-2 диаметром 5 мм в так называемый свободный зазор, т. е. отсутствовало жесткое закрепление свариваемых деталей, поэтому в процессе сварки происходило сокращение ширины разделки из-за поперечной усадки металла шва. Для снижения поперечной усадки применены П-образные выводные планки специальной конструкции (рис. 2) из сплава ВТ1-0, равные по толщине основному металлу, которые приваривали к свариваемым плитам. Начало и конец сварки проводятся на выводных планках. Возбуждение сварочной дуги происходит между вольфрамовым электродом и формирующей подкладкой, присадочная проволока подается после возбуждения дуги. В процессе сварки напряжение на дуге составляет 12 В и автоматически поддерживается системой АРНД, ток сварки 400...450 А. Расход защитного газа, проходящего через формирующую подкладку, незначительный — 4...10 л/мин.

Как показали проведенные исследования, предложенная конструкция формирующей подкладки обеспечивает качественную защиту зоны сварки и остывающего сварного соединения. Поверхность обратного валика блестящая, без побелости.

Для оценки качества защиты зоны сварки и металла шва корневого прохода, выполненного на формирующей подкладке, определяли содержание в нем остаточных примесей газов — кислорода, азота и водорода. Результаты исследований показали, что содержание газов в металле шва находится на уровне основного металла (таблица) и соответствует требованиям предельно допусти-

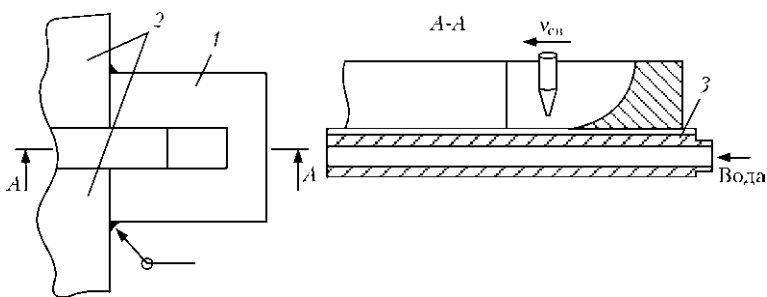


Рис. 2. Схема выполнения сварки с выводной планкой: 1 — выводная планка; 2 — свариваемые плиты; 3 — формирующая подкладка

**Содержание примесей (газов) в металле, мас. %**

Объект анализа	O	N	H
Основной металл ВТ1-0	0,07	0,024	0,0020
Присадочная проволока ВТ1-00св	0,06	0,016	0,0023
Металл корневого шва	0,06	0,020	0,0022

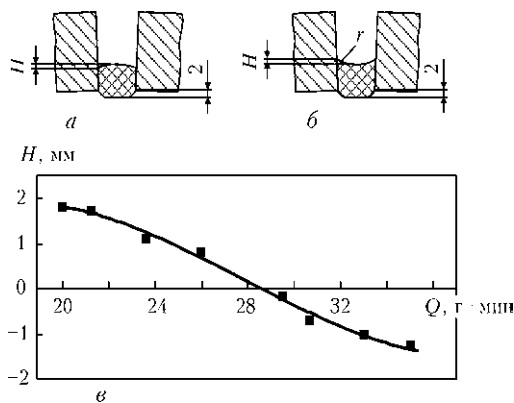


Рис. 3. Схема формирования первого прохода при удельной подаче присадочного металла менее 30 (а) и более 30 г/мин (б); зависимость высоты усиления шва H от удельного количества присадочного металла Q (в)

мого содержания примесей внедрения для технического титана.

Для разработки технологии выполнения корневого прохода необходимо исследовать процесс формирования сварных швов титана при СУЗ на медной водоохлаждаемой формирующей подкладке. Проведенные исследования показали, что при сварке на формирующей подкладке необходимо контролировать тепловложение в вертикальные противоположные свариваемые стенки. Для дозированного тепловложения применили магнитное управление сварочной дугой [5]. Перераспределение тепловой энергии дуги осуществляется поочередным принудительным отклонением дуги к противоположным боковым стенкам под воздействием внешнего управляющего магнитного поля, со значением поперечной составляющей магнитной индукции 8...12 мТл.

Исследования показали, что СУЗ на медной водоохлаждаемой подкладке сопровождается интенсивным теплоотводом из зоны сварки. Фор-

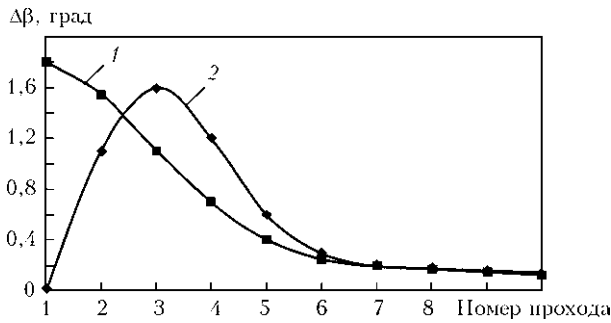


Рис. 4. Зависимость угловой деформации стыкового соединения от номера прохода при СУЗ с магнитоуправляемой дугой на остающейся (1) и формирующей (2) подкладке

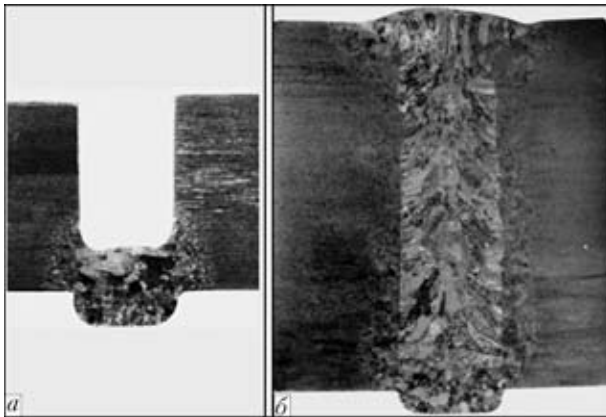


Рис. 5. Макрошрифты корневого прохода (а) и сварного соединения технического титана ВТ1-0 толщиной 40 мм (б)

мирование качественного валика корневого прохода с вогнутой поверхностью происходит при значительном объеме расплавленного металла — при удельной подаче присадочного металла в зону сварки более 30 г/мин (рис. 3). При меньшей удельной подаче присадочного металла формируется выпуклый валик, в результате чего при наложении последующего прохода в углах разделки образуются несплавления.

Особенностью сварки по предлагаемой схеме является то, что угловые деформации после первого прохода незначительны ( $<0,1^\circ$ ). При СУЗ по схеме с остающейся подкладкой после выполнения первого прохода угловые деформации мак-

симальны и составляют  $1,8^\circ$  (рис. 4). При СУЗ на формирующей подкладке максимальная угловая деформация сварного соединения отмечается после третьего прохода, а суммарное значение угловых деформаций после сварки на формирующей подкладке меньше по сравнению со сваркой с остающейся подкладкой. Особенностью сварных соединений, выполненных по разработанной технологии, является малая протяженность ЗТВ (рис. 5) и равномерное по высоте оплавление основного металла.

## Выводы

1. Предложена и разработана технология сборки и сварки в узкий зазор деталей из титановых сплавов на формирующей водоохлаждаемой подкладке, которая по сравнению с традиционной схемой сборки (с остающейся подкладкой) позволила отказаться от необходимости удалять после сварки приваренную подкладку.

2. Применение формирующей водоохлаждаемой подкладки позволяет отказаться от выполнения механической обработки поверхности сваренных деталей с обратной стороны.

3. При сварке на формирующей водоохлаждаемой подкладке угловые деформации после выполнения корневого прохода практически отсутствуют, а суммарное значение угловых деформаций после сварки меньше по сравнению со сваркой с остающейся подкладкой.

1. Paton B. E., Zamkov V. N., Prilutsky V. P. Narrow-groove welding proves its worth on thick titanium // *Welding J.* — 1996. — № 4. — P. 37–41.
2. Matsui S., Nakayama S., Sakurai T. Application of narrow gap GTA welding to various products. — Osaka: JWS, 1988. — P. 127–134.
3. *Металлургия и технология сварки титана и его сплавов* С. М. Гуревич, В. Н. Замков, В. Е. Блашук и др. — Киев: Наук. думка, 1986. — 240 с.
4. Касаткин Б. С., Прохоренко В. М., Чертов И.М. Напряжения и деформации при сварке. — Киев: Вища шк., 1987. — 246 с.
5. Белоус В. Ю., Ахонин С. В. Влияние параметров управляющего магнитного поля на формирование сварных швов при аргонодуговой сварке титановых сплавов в узкий зазор // *Автомат. сварка.* — 2007. — № 4. — С. 3–6.

A method of assembly for tungsten electrode narrow-gap welding of titanium alloy parts (20...100 mm) thick was developed, which provides a high quality of welded joints, as well as an essential lowering of the cost of the technological process of welding. Part assembly for welding is performed with application of a forming backing, acting as a mould when making the root pass. Application of backing allows simplification of edge preparation for welding, assembly of welded joint, as well as reducing the magnitude of welding deformations.

Поступила в редакцию 14.05.2009