

3 - позволяет реализовать процесс в условиях одностороннего доступа к упрочняемому отверстию.

Л и т е р а т у р а

1. В о р о н о в В.Ф. Исследование влияния посадок болта на выносливость болтовых соединений. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., МАИ, 1974.
2. Производственная инструкция ПМ-6843, 1978.
3. Д м с е н к о В.Д. и др. А.С. № 730481 (СССР) от 30.04.80. Устройство для обработки отверстий. Бюл. изобретений, 1980 № 16.

УДК 621.791.72:75

Г.Л.Зубриенко, Ф.З.Таненбаум, В.М.Петрованов
В.И.Бобринский, В.С.Вешпер

ОПЫТ СВАРКИ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ТЕРМОУПРОЧНЯЕМОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1201 В РАЗЛИЧНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ

Эффективность применения в сварных конструкциях термоупрочняемого алюминиевого сплава 1201 в значительной степени определяется такими показателями, как прочность сварных соединений, плотность, ширина зоны разупрочнения. От правильного выбора способа сварки и технологической схемы его осуществления зависят не только эксплуатационные показатели изделий, но и объемы капиталовложений на подготовку производства.

Сравнение потенциальных возможностей известных методов сварки и экспериментальная проверка показали, что наиболее перспективным является метод галвено-дуговой сварки постоянным током прямой полярности и электродно-дуговая сварка.

Технико-экономический анализ различных вариантов показал, что традиционное для сварки "нижнее положение" не всегда является оптимальным с точки зрения рационального построения общей технологии изготовления сборки из алюминиевых сплавов.

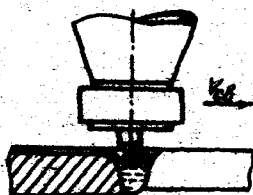
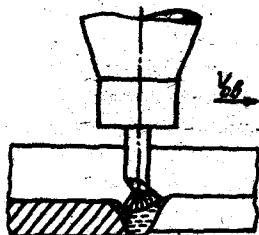
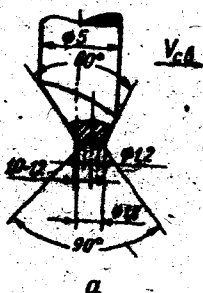
В связи с этим в нашей работе были изучены аспекты применения процессов дуговой и электродно-дуговой сварки не только в нижнем, но, в основном, в произвольных пространственных положениях, - "на подъем", горизонтальным швом на вертикальной поверхности и т.п.

При отработке процесса гелиево-дуговой электросварки основное внимание уделялось доводке этого процесса до практического, производственного уровня. В первую очередь решались вопросы обеспечения стабильности дуги и формирования шва. Экспериментальные данные, а также данные зарубежных исследователей показали, что стабильность процесса может быть обеспечена за счет некоторого смещения сварочной дуги по направлению к переднему фронту сварочной ванны. Авторами разработан эффективный способ сварки эксцентричным электродом (А.С. № 589102). Дальнейшие исследования показали, что аналогичный положительный эффект смещения дуги может быть достигнут установкой на сопловую часть горелки разрезанного ферромагнитного кольца (рис. 1). Установлено, что эксцентричный электрод целесообразно применять для сварки повышенных толщин по глубокой разделке, разрезное ферромагнитное кольцо - при сварке соединений без разделки кромок.

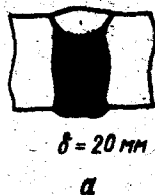
При гелиево-дуговой сварке повышенных толщин (15-20 мм) без разделки кромок с проплавлением их на всю толщину ширина зоны разупрочнения составляет 45-60 мм на сторону. В целях уменьшения ширины этой зоны и тем самым повышения весовых характеристик конструкции разработана технология сварки по узкой разделке шириной 6-8 мм, где сплавление корня толщиной 8-10 мм осуществляется гелиево-дуговой сваркой, а разделка заполняется плавящимся электродом (рис. 2). Применение многопроходной сварки для толщин 15-20 мм позволило уменьшить зону разупрочнения с 45-60 мм до 15-18 мм. При многопроходной сварке толщин 40-50 мм ширина зоны термического влияния не превышает 15 мм на сторону.

Технология сварки включает следующие операции: скоростная прихватка по всей длине шва гелиево-дуговой сваркой; сплавление кромок гелиево-дуговой сваркой; наплавка усиления аргоно-дуговой сваркой или заполнение разделки сваркой плавящимся электродом.

Необходимость применения скоростной прихватки по всей длине стыка продиктована тем, что при сварке крупногабаритных сборок сложное напряженное состояние металла в зоне теплового воздействия сварочной дуги вызывает деформации свариваемых кромок с образованием хлопнунов или смещений, что повышает склонность к прожогам. Как показал опыт, скоростная прихватка при глубине проплавления 20-25% от толщины листа обеспечивает надежную фиксацию кромок после сборки узлов в приспособлении и практически до нуля стягивает сборочные зазоры, если их исходная величина не превышает 1,0 мм.



Р и с. 1. Способы управления дуговым разрядом при гелиево-дуговой сварке: а - электрод с эксцентричной заточкой; б - ферромагнитное кольцо



Р и с. 2. Типичное формирование соединений ИЗО1: а - гелиево-дуговая + аргонно-дуговая сварка; б - гелиево-дуговая + сварка плавящимся электродом

При освоении гелиево-дуговой сварки сплава I201 оказалось необходимым пересмотреть требования к точности сборки и оборотно-сварочной оснастке в сторону их ужесточения. Допустимое смещение кромок при сборке установлено не более 1,0 мм; зазор в стыке - не более 0,5; прилегание к подкладке - не более 0,3 мм.

Разработанная технология гелиево-дуговой сварки хорошо проявила себя как при сварке в нижнем положении, так и в произвольных пространственных положениях. Так, меридиональные швы днищ успешно выполняются сваркой "на подъем" при неподвижном днище. Одни и те же направляющие используются как для фрезерной, так и для сварочной головок. Тем самым достигается высокая точность сборки и движения горелки по стыку. Наклон линии шва к горизонту изменяется от 70° в нижней точке и до 30° в верхней, однако такое изменение не требует корректировки параметров режима сварки и наплавки усматривающего валика.

Интересным примером использования возможностей гелиево-дуговой сварки является сварка кольцевых швов обечаек емкости при вертикальной сборке. При такой технологической схеме сборки экономится производственная площадь, облегчается процесс сборки, повышается геометрическая точность шкостей. Однако при сварке горизонтальным швом на вертикальной стенке во избежание "утяжин" в корневой части шва оказалось необходимым создание небольшого разрыхления с обратной стороны 20-30 мм вод.ст.

Дальнейшее совершенствование гелиево-дуговой сварки позволило отказаться от подкладных устройств вообще. Сварка ведется "на весу" с визуальным контролем оператором формирования проплава непосредственно в процессе выполнения соединения. Оператор имеет постоянную телефонную связь со сварщиком. По информации оператора сварщик корректирует параметры режима, обеспечивая тем самым стабильные геометрические характеристики сварного соединения.

В этом случае для предотвращения "утяжин" в проплаве сварка проплавливающего прохода ведется с дозированной подачей присадочной проволоки.

Производственное освоение процесса гелиево-дуговой сварки для изготовления емкостей из алюминиевого сплава I201 показало возможность обеспечения высокого качества. Прочность сварных соединений составляет $\frac{24,0-28,0}{26,5}$ кг/мм², что превышает 0,55 от фактической прочности основного материала.

В составе цилиндрических емкостей наиболее нагруженными являются продольные швы обечаек. Стремление обеспечить для этих соединений наивысшие качественные показатели при минимальных затратах и экономии производственных площадей обусловило необходимость разработки электронно-лучевой сварки ЭЛС с применением камер локального вакуумирования.

Высокая точность изготовления обечаек может быть обеспечена только при условии сборки их из секций в вертикальном положении, что обуславливает необходимость сварки вертикальных швов горизонтальным лучом.

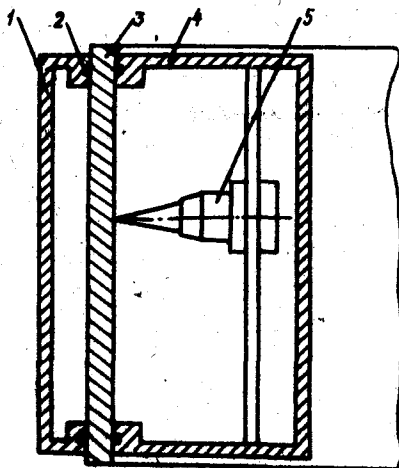
Разработана специальная камера, которая совместно со сборочным столом позволяет решить вопросы сборки соединяемых элементов, их совместной механической обработки, перемещений электронно-лучевой пушки, вакуумирования и самого процесса сварки (рис.3).

Все операции выполняются с одной установки и закрепления секций обечайки к опорным элементам стола. Это обеспечивает условия прилегания свариваемых кромок, требуемые спецификой ЭЛС.

В качестве энергетического оборудования использованы электронно-лучевая пушка ЦЭП-4 и источник питания У-250А.

Для обеспечения необходимой степени разрежения в рабочей зоне (10^{-4} - $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст.) применено стандартное вакуумное оборудование, обычно используемое в составе электронно-лучевых установок с камерами общего вакуумирования.

Физические особенности сплава I201 не позволили решить все вопросы его сварки на основе имеющегося опыта ЭЛС алюминиевых сплавов. Это вызвало необходимость проведения исследований по изм-



Р и с.3.Схема электронно-лучевой сварки в камере локального вакуумирования: 1-вспомогательная камера; 2-вакуумные уплотнения; 3-свариваемое изделие; 4-основная камера; 5- электронно-лучевая пушка

сканию оптимальной области режимов и условий ЭДС в вертикальной плоскости с учетом особенностей изделий и используемого оборудования.

Исследован следующий диапазон основных параметров: скорость сварки - 25-50 м/час; ускоряющее напряжение - 25-30 кВ; положение фокального пятна - ± 40 мм от поверхности; ток луча - до 350 м; наклон луча в плоскости сварки - $\pm 3^\circ$.

Исследованный диапазон параметров, особенно скорости сварки, существенно отличается от общепринятого. В известной степени выбор такого диапазона обусловлен техническими возможностями применяемого оборудования. Однако есть и другая причина. Предварительные эксперименты показали, что именно в этом диапазоне параметров обеспечивается наибольшая стабильность и воспроизводимость результатов, что имеет решающее значение для производственных условий. После предварительных экспериментов целесообразной признана сварка без технологической подкладки со свободным формированием обратного валика как представляющая наибольшие возможности по управлению формой шва и зоной термовлияния. Важной является также представляющаяся в этом случае возможность судить о характере и величине проплавления по внешним признакам шва с лицевой стороны. Это особенно ценно при ЭДС в производственных условиях.

Для поглощения остаточной энергии луча в пазу задней крышки вакуумной камеры устанавливается рейка одноразового использования из материала, соответствующего по марке свариваемому. Расстояние от поверхности рейки до свариваемых деталей - не меньше 15 мм. Обеспечить многократное применение рейки за счет изготовления ее из более теплостойких материалов (меди и т.п.) оказалось невозможным в связи с интенсивным напылением материала рейки на обратную сторону шва.

Наилучшие результаты по большинству критериев обеспечиваются в диапазоне: скорость сварки - 25-30 м/час; ускоряющее напряжение - $25 \pm 0,5$ кВ; положение фокального пятна - 20-30 мм ниже лицевой поверхности свариваемого металла.

Недостатком этого диапазона режимов является относительно большое занижение шва с лицевой стороны - до 3,5 мм. Для устранения этого недостатка применена сварка с дополнительным "разглаживающим" проходом.

Следует также упомянуть о такой особенности принятой технологии, как необходимость сплошной прихватки стыка. Это обусловлено

тем, что при относительно небольшой скорости сварки волна деформации заметно опережает перемещение луча, вследствие чего имели место случаи возникновения в процессе сварки чрезмерных зазоров.

Параметры оптимального режима ЭДС сплава 1201 толщиной 20 мм в вертикальной плоскости горизонтальным лучом представлены в таблице.

Исследования сварных соединений, выполненных на оптимальном режиме показали:

- 1 - сварные соединения обладают высокой плотностью, внутренние дефекты практически отсутствуют;
- 2 - прочность сварных соединений

$$G_{в.св} = \frac{32,0 - 34,8}{33,5} \text{ кг/мм}^2,$$

что составляет не менее 73% фактической прочности основного материала;

- 3 - зона разупрочнения составляет $\leq 8,0$ мм (на сторону от центра шва).

Разработанные технологические процессы гелиево-дуговой и электронно-лучевой сварки успешно внедрены в производство.

Наименование прохода	Скорость сварки, м/час	Ускоряющее напряжение, кВ	Ток луча	Положение фокального пятна, мм	Поперечные колебания луча	
					частота Гц	амплитуда, мм
Прихватка	45 \pm 1	25 \pm 0,5	110 \pm 5	+45 \pm 5	-	-
Сварка	30 \pm 1	25 \pm 0,5	270 \pm 10	-25 \pm 5	-	-
Регулирование	45 \pm 1	25 \pm 0,5	140 \pm 5	+50 \pm 5	50	2 \pm 0,5

В ы в о д ы

1. Применительно к толстостенным конструкциям из термоупрочняемого алюминиевого сплава А201 в целях обеспечения наиболее высоких показателей качества сварных соединений (прочность, плотность, размер зоны разупрочнения) целесообразно использовать методы электронно-лучевой и галлево-дуговой сварки.

2. Разработанные технологические процессы и технические приемы обеспечивают возможность сварки крупногабаритных конструкций в произвольных пространственных положениях, что позволяет значительно снизить затраты на подготовку производства и исполнение.

3. Практически достигнутый в производственных условиях коэффициент прочности сварных соединений составляет: для ЭЛС - не менее 0,73; для ГДС - не менее 0,55.