



# ДУГОВАЯ ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА ТОНКОЛИСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С КАПЕЛЬНЫМ ДОЗИРОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА

Н. М. ТАРАСОВ, д-р техн. наук, С. С. КАПУСТИН, инж. (Нац. аэрокосмический ун-т, г. Харьков)

Описана разработанная технология соединения тонких элементов (0,8...2,0 мм) из алюминиевых сплавов аргонодуговой сваркой с использованием капельного дозирования. Представлен процесс дуговой сварки, приведены его основные параметры, исследована прочность полученных соединений. Даны рекомендации по выбору режимов сварки при выполнении стыковых соединений.

*Ключевые слова:* аргонодуговая сварка, алюминиевые сплавы, тонколистовые элементы, капельное дозирование, формирование капли, соединение, прочность, стабильность

В ряде отраслей техники (авиационной, приборостроения и др.) широкое применение получили тонколистовые конструкции из алюминия и его сплавов. Из тонких (0,8... 2,0 мм) листов алюминиевых сплавов изготавливаются кожухи, шасси, крышки различных приборов, трубопроводы, баки. Особые сложности сварки тонколистовых конструкций из алюминия обусловлена наличием тугоплавкой оксидной пленки на поверхности деталей, малой жесткости свариваемых кромок и склонности их к деформации в процессе нагрева дугой, что также в большем соотношении сил поверхностного натяжения к массовым [1, 2]. Неточность сборки и коробление кромок при сварке вызывают местное увеличение зазоров в стыке и изменяют характер теплоотвода, что повышает вероятность образования прожогов [3], усложняет технологию сварки, увеличивает затраты на изготовление деталей.

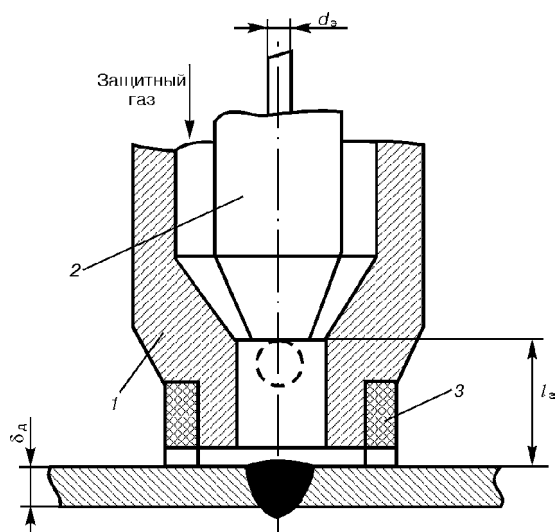


Рис. 1. Схема процесса дуговой точечной сварки: 1 — сопло; 2 — теплоотводящий мундштук; 3 — опорная втулка

Улучшить процесс образования соединений можно с помощью кратковременного локального нагрева изделия и капельного дозирования присадочного металла [4].

Особенностью указанного процесса (рис. 1) является то, что точечную сварку осуществляют одной каплей расплавленного металла заданных массы и температуры. Нагрев свариваемых элементов ведется дугой на токе при обратной полярности в аргоне. С целью локализации нагрева и снижения расхода газа диаметр выходного отверстия сопла  $l$  выбирается близким к диаметру сварной точки, а торец сопла располагается на небольшом расстоянии от поверхности детали. Для этого опорная втулка 3 подводится вплотную к этой поверхности. Масса капли выбирается исходя из толщины свариваемых элементов. Каждую каплю формируют из отрезка электрода (вылет) длиной  $l_в$ , расположенного у торца массивного теплоотводящего мундштука 2. При формировании капли и разогреве детали электрод и мундштук находятся в неподвижном состоянии. С помощью теплоотводящего мундштука обеспечивается более гибкое регулирование нагрева детали. После формирования капли дальнейшее горение дуги используется для нагрева детали. Масса капли при этом не изменяется. Она зависит от диаметра

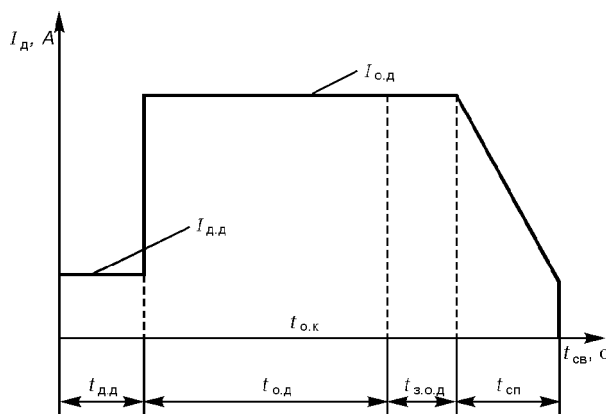


Рис. 2. Циклограмма сварочного тока при формировании и нанесении капли:  $I_{д.д}$  — ток дежурной дуги;  $I_{д.о}$  — ток основной дуги;  $t_{д.д}$  — время горения дежурной дуги;  $t_{о.к}$  — момент отрыва капли;  $t_{о.д}$  — время горения основной дуги;  $t_{з.о.д}$  — время задержки основной дуги;  $t_{сп}$  — время спада тока

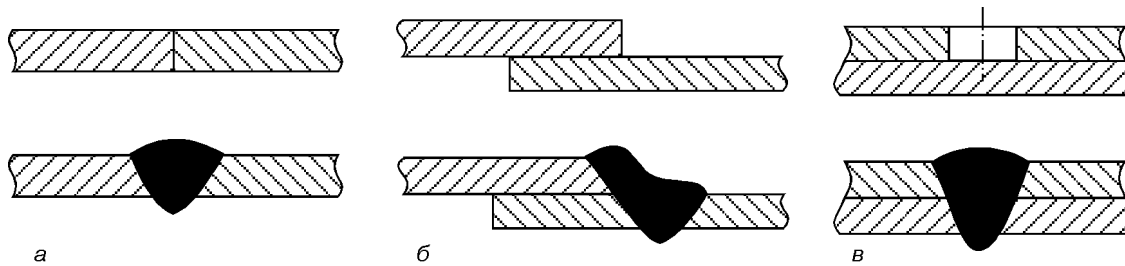


Рис. 3. Подготовка кромок и типы соединений: а — стыковое, б — нахлесточное; в — с отверстием в одном листе

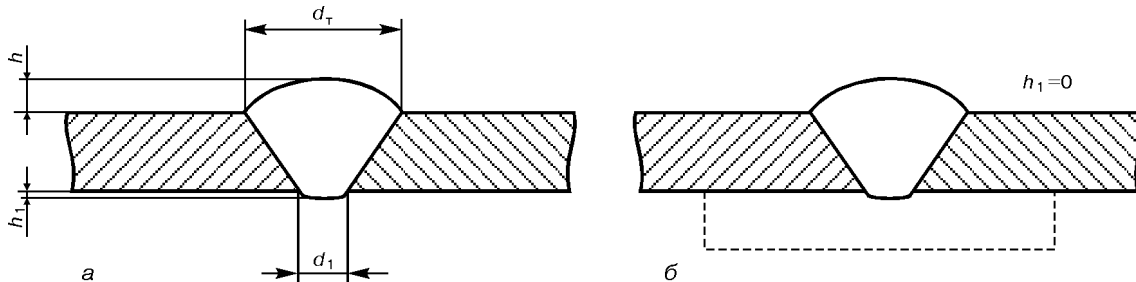


Рис. 4. Основные параметры сварной точки при сварке на весу (а) и на съемной подкладке (б)

электрода  $d_э$ , а также от его вылета  $l_э$  и в случае алюминиевых сплавов может регулироваться в пределах 0,03... 0,12 г. Диаметр электрода выбирают исходя из толщины детали  $\delta_д$ . Так, при  $\delta_д = 0,8... 1,2$  мм  $d_э = 1,6$  мм, при  $\delta_д = 1,2... 2,0$  мм  $d_э = 2,0$  мм. Отрыв расплавленной капли и нанесение ее на детали осуществляются принудительно газодинамическим способом [4].

Для обеспечения стабильности процесса сварки применяется программируемое изменение тока дуги (рис. 2). В начале цикла при возбуждении дуги коротким замыканием ток дежурной дуги  $I_{д.д}$  задается небольшим, а затем увеличивается до рабочего значения тока основной дуги  $I_{о.д}$ . Средняя температура капли регулируется в пределах 800... 1700 °С изменением диаметра электрода и тока дуги. С целью улучшения процесса кристаллизации и заварки кратера после отрыва капли применена задержка силового тока дуги с постепенным его снижением. Для повышения пространственной устойчивости дуги и увеличения степени ее контрагирования используются импульсы однополярного тока частотой 150 Гц [5].

Основными параметрами процесса сварки являются диаметр  $d_э$  и вылет  $l_э$  электрода, ток дежурной  $I_{д.д}$  и основной  $I_{о.д}$  дуги, время горения дежурной  $t_{д.д}$  и основной  $t_{о.д}$  дуги, время задержки силового тока основной дуги после отрыва капли  $t_{з.о.д}$ , расход аргона.

Была разработана технология дуговой точечной сварки тонколистовых элементов, использующая перечисленные выше приемы. Экспериментальные исследования показали, что в этом случае сварные точки получают одинаковыми по внешнему виду, основным размерам и прочности. Нанесенный электродный металл надежно соединяется со свариваемыми деталями. Разработанная технология позволяет осуществлять сварку деталей из алюминиевых сплавов АМц, АМг, АК и др. Сварку можно выполнять как на весу, так и на съемной подкладке, используя различные типы соединений — стыко-

вое, нахлесточное, в том числе с отверстием в одном листе (рис. 3). Соединение типа 3, б предпочтительнее при небольшой нахлестке.

Исследовали механизм образования соединений и их характеристики при изменении различных параметров и факторов процесса сварки. В частности, изучали влияние тока дуги  $I_д$  ( $I_{о.д}$ ) и времени сварки  $t_{св}$  ( $t_{о.д}$ ) на прочность стыковых соединений и размеры его основных конструктивных элементов.

Стандартные образцы шириной 20 мм и толщиной 1,2 мм из сплава АМц сваривали встык одной точкой на установке, которая обеспечивала локальный разогрев и бесступенчатое регулирование тока дуги  $I_д$  и времени сварки  $t_{св}$  в широких пределах. Сварку производили специальным сварочным пистолетом, с помощью которого происходит дозированное нанесение расплавленного металла. В качестве присадочного материала использовали проволоку СВАМц диаметром 2 мм. Масса наносимой капли оставалась неизменной —  $m_к = 90$  мг.

Выполняли два варианта сварки — на съемной подкладке и на весу. Одноточечные соединения испытывали на разрывной машине (по три образца на каждом режиме) и определяли разрушающее усилие точки  $P_p$ . Измеряли также основные параметры сварной точки (рис. 4): диаметр точки  $d_τ$ , высоту верхнего усиления  $h$ , диаметр зоны расплавления с обратной стороны  $d_1$  и высоту провисания  $h_1$ .

При сварке на съемной подкладке значения  $P_p$  главным образом зависят от размеров и формы литого ядра точки, которые определяются  $t_{св}$  и  $I_д$ . С увеличением  $t_{св}$  и  $I_д$  усилие разрушения возрастает, достигая максимального значения, которое зависит от массы наносимых капель, толщины и материала соединяемых элементов. Дальнейшее увеличение  $I_д$  и  $t_{св}$  при сохранении высокой прочности соединения, выполненного дуговой точечной сваркой (рис. 5, а), приводит к ухудшению внешнего вида точек из-за перегрева жидкого металла.

При сварке на весу формирование провисания обеспечивается поверхностным натяжением оксид-

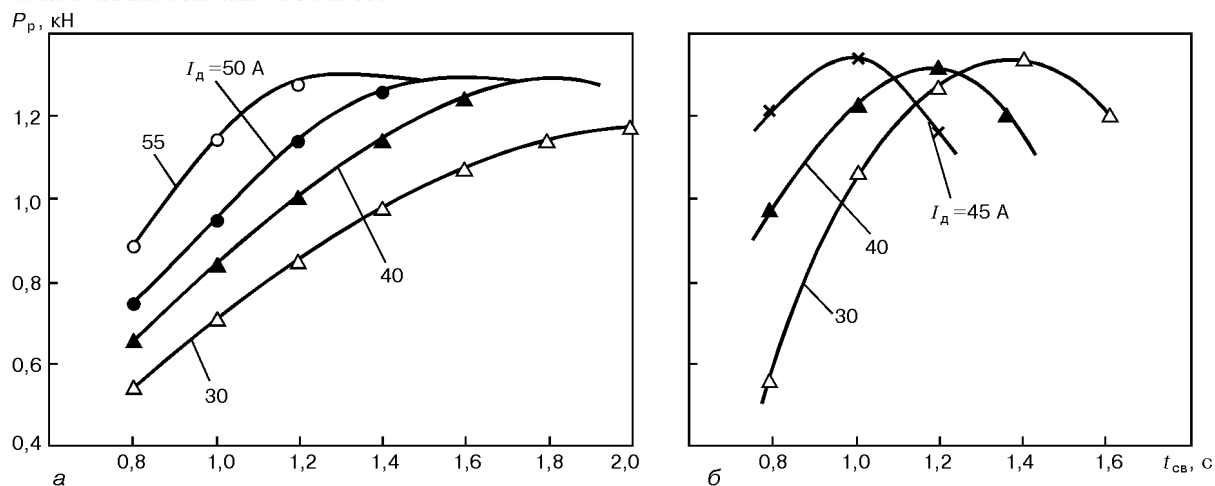


Рис. 5. Зависимость усилия разрушения  $P_p$  от  $t_{св}$  при различных значениях  $I_d$ : а — сварка на съемной подкладке; б — то же на весу

ной пленки на нижней поверхности свариваемых элементов. В этом случае изменения значений  $I_d$  и  $t_{св}$  в большей степени оказывают влияние на прочность сварных точечных соединений. При малых значениях  $I_d$  и  $t_{св}$  имеет место несплавление элементов. В случае чрезмерного нагрева с нижней стороны листов наблюдается значительное (до 5 мм) провисание. При этом точки получаются без верхнего усиления и имеют вогнутую поверхность. Прочность таких соединений невелика. Удовлетворительные по внешнему виду сварные точки имеют небольшое провисание с нижней стороны листа, по форме напоминающее головку заклепки. При этом максимальное значение  $P_p$  составляет 1,2...1,3 кН (рис. 5, б).

Разрушение сварных образцов происходит с вырывом металла в одном из листов. Отклонение значений  $t_{св}$  более чем на 0,2 с способствует получению некачественного соединения, в то время при сварке на съемной подкладке такое же возрастание  $t_{св}$  приводит лишь к увеличению размеров литой зоны при сохранении высокой прочности точек. Следовательно, при сварке на весу необходимо более точно устанавливать и поддерживать постоянными значения  $I_d$  и  $t_{св}$ .

Существенное значение имеет стабильность характеристик получаемых соединений и в первую очередь прочности. Прочность соединений изучали при растяжении образцов из сплава АМц толщиной 1,2 мм и шириной 20 мм, сваренных одной точкой на весу, на следующем оптимальном режиме:  $I_d = 40$  А;  $t_{св} = 1,2$  с;  $d_э = 2,0$  мм;  $m_k = 90$  мг. Материалом электрода служил сплав АМц. Количество испытуемых образцов составляло 100 шт. в партии. Во избежание влияния свойств основного металла на прочность соединений все образцы для сварки вырезали из одного листа. Поверхность образцов

предварительно обезжировали ацетоном и зачищали металлической щеткой. Обработку результатов испытаний производили с помощью методов математической статистики.

Полученные результаты испытаний показали, что среднее значение разрушающего усилия (математическое ожидание) для сварной точки диаметром 7 мм составляло 1,2 кН, отклонения разрушающего усилия от среднего не превышали  $\pm 10\%$ . При этом наблюдается отрыв одного из листов вокруг точки. Полученные результаты свидетельствуют о достаточно высоком уровне отладки процесса дуговой точечной сварки с дозированием электродного металла. При этом качество сварки мало зависит от квалификации сварщика, поскольку процесс выполняется по автоматическому циклу.

Выполненные исследования позволили дать обоснованные рекомендации по выбору режимов сварки, обеспечивающие получение качественных сварных точечных соединений со стабильной прочностью.

1. Сварка в самолетостроении / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: МИИВЦ, 1998. — 696 с.
2. Лозовский В. П., Тимошенко А. Н. Дуговая точечная сварка тонколистовых нахлесточных соединений алюминиевых сплавов // Автомат. сварка. — 1987. — № 7. — С. 49–51.
3. Автоматическая сварка неплавящимся электродом тонколистовых алюминиевых сплавов импульсной дугой / Г. А. Славин, А. В. Петров, С. В. Смирнова, Г. М. Короткова // Свароч. пр-во. — 1965. — № 12. — С. 18–20.
4. Тарасов Н. М., Тулин В. М. Управление переносом электродного металла кратковременным повышением скорости истечения защитного газа // Там же. — 1982. — № 8. — С. 23–25.
5. Тарасов Н. М., Рогачев Е. П., Гребенников А. В. Источник однополярных импульсов частотой 150 Гц и особенности дуговой сварки с его применением // Автомат. сварка. — 1997. — № 6. — С. 37–40.

The technology for joining thin elements with thickness of 0,8...2,0 mm made from aluminium alloys by argon-arc welding using droplet feeding is described, its basic parameters are given and strength of the produced joints is investigated. Recommendations for selection of butt welding parameters are presented.

Поступила в редакцию 20.12.2000