



СВОЙСТВА НАХЛЕСТОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ДУГОВОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКОЙ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

И. В. ДОВБИЩЕНКО, В. С. МАШИН, В. А. ШОНИН, кандидаты техн. наук,
М. П. ПАШУЛЯ, инж. (Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние режима импульсно-дуговой точечной сварки плавящимся электродом на основные геометрические параметры швов, прочность среза ядра шва и внецентренному разрыву основного металла нахлесточных соединений тонколистовых алюминиевых сплавов АМг6 и АД33. Показано, что для снижения тепловложения в свариваемый металл и деформации верхнего листа необходимо применять максимально допустимый ток при минимальном времени сварки. Установлены оптимальные значения диаметра ядра для различных межточечных расстояний нахлесточного соединения, при которых достигается равенство усилия на срез точечного шва и на разрыв основного металла.

Ключевые слова: импульсно-дуговая точечная сварка, плавящийся электрод, алюминиевые сплавы, аргон, гелий, точечные швы, геометрические параметры, дефекты, сопровождающие срез, внецентренный разрыв, исследования

Дуговую точечную сварку алюминиевых сплавов плавящимся электродом применяют для соединения малонагруженных листов с силовыми элементами в транспортных конструкциях. Этот способ сварки можно выполнять при любых габаритных размерах соединяемых элементов как в заводских, так и монтажных условиях. Такая технология, по сравнению с дуговой точечной сваркой неплавящимся электродом, позволяет повысить производительность процесса, осуществить легирование металла шва и улучшить качество и механические характеристики сварного соединения [1–5].

Основными препятствиями для применения дуговой точечной сварки плавящимся электродом являются образование в верхней части точечного шва кратера с трещинами, порами и рыхлотами, а также отсутствие надежных сварочных автоматов с системой регулирования и управления всем циклом сварки [1–5].

Целью настоящей работы была оптимизация параметров режима точечной сварки плавящимся электродом с синергетическим управлением процессом для обеспечения качества и высоких показателей механических свойств нахлесточных соединений тонколистовых алюминиевых сплавов АМг6 и АД33. В исследованиях использовали следующие материалы: сплавы АМг6 толщиной 1,8 и 3,8 мм и АД33 толщиной 3,0 мм (ГОСТ 4784–74); сварочную проволоку СвАМг6 диаметром 1,6 мм (ГОСТ 7871–75); защитные газы — аргон высшего сорта (ГОСТ 10157–79) и гелий марки Б (ТУ 51-940–80).

Импульсно-дуговую точечную сварку плавящимся электродом (ИДТСПЭ) осуществляли от источника питания «Fronius TPS-450», предназначенного, в частности, для сварки алюминиевых сплавов точечными швами. С помощью горелки

«Fronius Pull MIG PM-502 Z», имеющей специальную насадку, обеспечивалось постоянное расстояние между соплом горелки и верхним листом нахлесточного соединения, а также прижатие верхнего листа к нижнему. При этом зазор между листами не превышал 0,8 мм. Вылет электродной проволоки (расстояние от торца мундштука до верхнего листа) находился в пределах 14...16 мм. Нахлесточные соединения листов размером 500×200 мм сваривали однорядными точечными швами с расстоянием между точками $l = 34$ мм. Величина нахлестки составляла 60 мм.

Для гарантированного проплавления нижнего листа, уменьшения выпуклости точечного шва, а также тепловложения в свариваемый металл на некоторых образцах в верхних листах высверливали отверстия диаметром 4...8 мм.

Скорость подачи проволоки $v_{п.пр}$, напряжение на дуге U_d , время сварки $\tau_{св}$ и заварки кратера $\tau_{з.кр}$ регулировали независимо друг от друга отдельными задающими устройствами. Импульсная дуга имела следующие электрические параметры: амплитуда $I_{имп} = 510...560$ А; частота $F_{имп} = 90...240$ Гц; длительность импульсов тока $\tau_{имп} = 2,5...3,5$ мс. Они устанавливались автоматическим микропроцессором источника в зависимости от скорости подачи проволоки и длины дуги на основании уравнений синергетического управления процессом плавления и переноса электродного металла [6]. Величину и форму импульсов тока фиксировали с помощью запоминающего двухлучевого осциллографа С1-55.

При ИДТСПЭ в аргоно и гелии листов из сплавов АМг6 и АД33 толщиной 1,8...3,8 мм использовали следующий режим: $I_{св} = 170...370$ А; $U_d = 21,5...31,5$ В; $\tau_{св} = 0,5...3,5$ с; $\tau_{з.кр} = 0,25$ с; $v_{п.пр} = 5,5...11,5$ м/мин.

Геометрические параметры точечного шва нахлесточного соединения (глубина проплавления $H_{пр}$, высота выпуклости наплавленного металла h_b , диаметры сварной точки D_T и ее ядра d_j в плоскости контакта листов) выявляли на поперечных макрошлифах с точностью $\pm 0,05$ мм в зависимости

ти от среднего значения сварочного тока $I_{св}$ и тепловложения в свариваемый металл $q_{св}$. Оценивали также размер усадочных раковин, количество пор и их диаметр в кратере.

Тепловложение рассчитывали по формуле

$$q_{св} = \frac{I_{св} U_{д} (\tau_{св} + \tau_{з.кр})}{1000} \text{ [кДж].}$$

Для механических испытаний сварных соединений использовали образцы шириной $b = 30$ мм и длиной 340 мм, имеющие центральное расположение точечных швов. Ширину образцов принимали равной расстоянию между точечными швами ($b = l$).

Испытания соединений на растяжение до полного их разрушения выполняли на машине УМЕ-10тм с точностью усилия $\pm 1\%$. После разрушения образцов измеряли диаметр ядра сварной точки и рассчитывали номинальные напряжения среза (сдвига) соединения $\tau_{в} = P/F_{я}$, где площадь ядра точки

$$F_{я} = \frac{\pi d_{я}^2}{4} \text{ [мм}^2\text{]},$$

и номинальные растягивающие напряжения в основном металле в зоне точечного шва

$$\sigma_{в} = P/F_{обр} \text{ [МПа]},$$

где площадь поперечного сечения образца $F_{обр} = bs$ [мм²] (здесь s — толщина листа, мм).

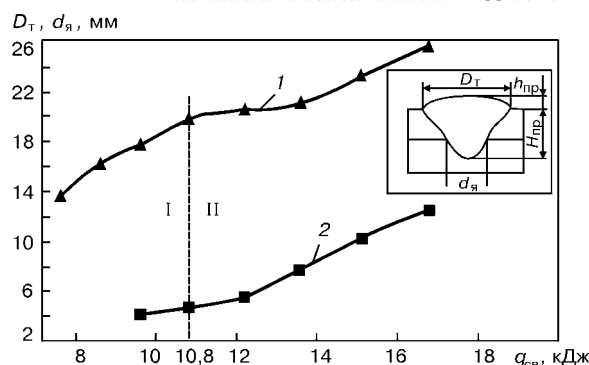


Рис. 1. Влияние тепловложения $q_{св}$ на диаметры сварной точки D_{τ} (1) и ее ядра $d_{я}$ (2) при сварке листов сплава АМг6 толщиной (1,8 + 1,8) мм в аргоне на режиме: $I_{св} = 190...330$ А; $U_{д} = 22,8...29,1$ В; $\tau_{св} = 1,5$ с; зона I — $H_{пр} < 3,6$ мм; зона II — $H_{пр} \geq 3,6$ мм

Результаты исследований показали, что в использованном диапазоне режима сварки импульсный ток обеспечивал стабильность процесса без разбрызгивания электродного металла при возбуждении дуги и заварке кратера. Частота, амплитуда и длительность импульсов тока при постоянном значении $I_{св}$ практически не влияли на геометрические параметры точечного шва. Поэтому при построении зависимостей они не учитывались, а использовались средние значения $I_{св}$, $U_{д}$, $\tau_{св}$ и $\tau_{з.кр}$.

Установлено, что при сварке в аргоне нахлесточных соединений листов сплава АМг6 толщиной (1,8 + 1,8) мм повышение тепловложения в 1,8...2,0 раза ($\tau_{св} = \text{const}$) приводит к увеличению

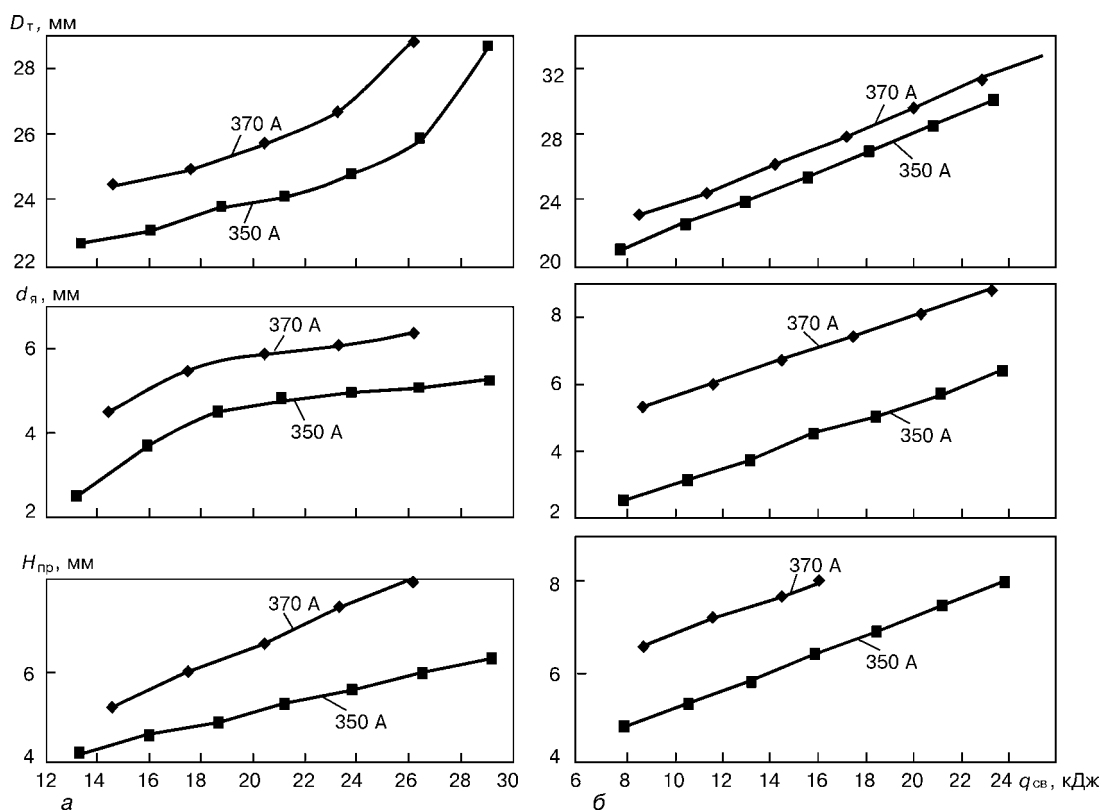


Рис. 2. Влияние тепловложения $q_{св}$ при ИДТСПЭ ($U_{д} = 30,3...31,5$ В) в аргоне (а) и гелии (б) листов сплава АМг6 толщиной (3,8 + 3,8) мм на геометрические параметры сварных точек: а — $\tau_{св} = 1,0...2,5$; б — $0,5...2,0$ с

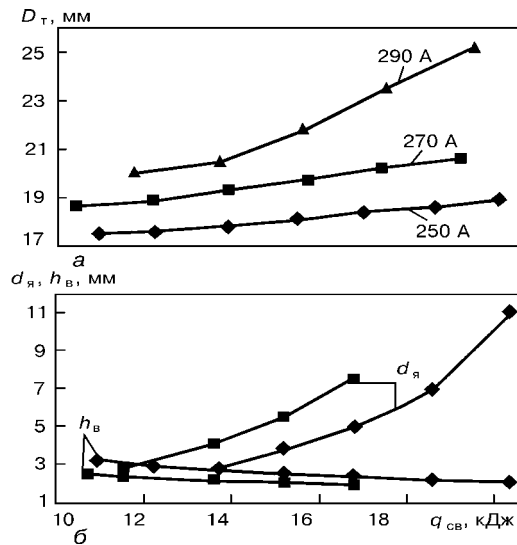


Рис. 3. Влияние тепловложения $q_{св}$ при ИДТСПЭ в аргоне листов сплава АД33 толщиной (3 + 3) мм на диаметры точки D_t (а), ее ядра $d_я$ и высоту выпуклости наплавленного металла $h_в$ (б): а — $U_d = 24,8... 26,9$ В; $\tau_{св} = 1,0... 3,0$ с; б — $I_{св} = 230... 270$ А; $U_d = 24,8... 31,5$ В; $\tau_{св} = 1,5$ с; \blacklozenge — без отверстия; \blacksquare — диаметр отверстия составляет 4 мм

диаметров точки в 1,4 раза и ее ядра в 2,5 раза. Полное проплавление этих двух листов достигается при тепловложении, превышающем 10,8 кДж (рис. 1). Для соединений листов сплава АМг6 толщиной (3,8 + 3,8) мм при повышении тепловложения в 2 раза (при $I_{св} = 370$ А) увеличивается на 20...25 % диаметр точки, на 50...70 % диаметр ее ядра и на 50...60 % глубина проплавления (рис. 2, а). Полное проплавление двух листов достигается при $q_{св} = 26$ кДж ($I_{св} = 370$ А) и $q_{св} = 38$ кДж ($I_{св} = 350$ А). Более высокое тепловложение при меньшем токе связано с увеличением времени сварки.

При сварке листов сплава АД33 толщиной (3 + 3) мм с повышенным в 1,5...2,0 раза тепловложением на токе $I_{св} = 290... 330$ А диаметр сварной точки увеличивается в 1,2 раза (рис. 3, 4). Приблизительно одинаковая глубина проплавления нижнего листа достигается при увеличении времени сварки от 0,25 до 3,75 с (в 15 раз) и одновременном снижении сварочного тока от 350 до 250 А (рис. 5, а). Увеличение времени сварки приводит к значительному (в 2...5 раз) повышению тепловложения в свариваемый металл (рис. 5, б) и уровня деформации соединений (особенно вер-

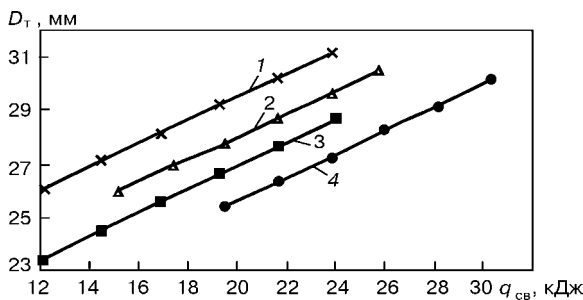


Рис. 4. Влияние защитного газа и тепловложения $q_{св}$ при ИДТСПЭ листов сплава АД33 толщиной (3 + 3) мм на диаметр точки при $U_d = 28,0... 29,2$ В и $\tau_{св} = 1,0... 3,5$ с: 1, 2 — сварка в гелии; 3, 4 — то же в аргоне; 1 — $I_{св} = 330$; 2 — 310; 3 — 330; 4 — 310 А

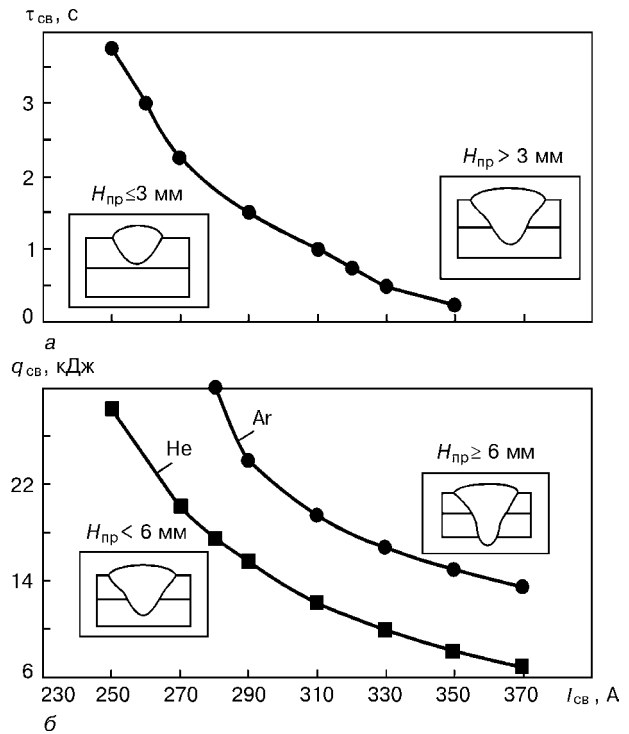


Рис. 5. Влияние сварочного тока и времени сварки (а), защитного газа и тепловложения (б) на глубину проплавления листов сплава АД33 толщиной (3 + 3) мм при ИДТСПЭ: а — $U_d = 24,8... 30,8$ В; $v_{н.пр} = 7,8... 11,5$ м/мин; б — $U_d = 24,8... 31,5$ В; $v_{н.пр} = 7,8... 11,5$ м/мин; $\tau_{св} = 0,5... 3,0$ с

хнего листа). В результате увеличивается зазор между листами (свыше 0,8 мм) и уменьшается диаметр ядра сварной точки. Поэтому ИДТСПЭ

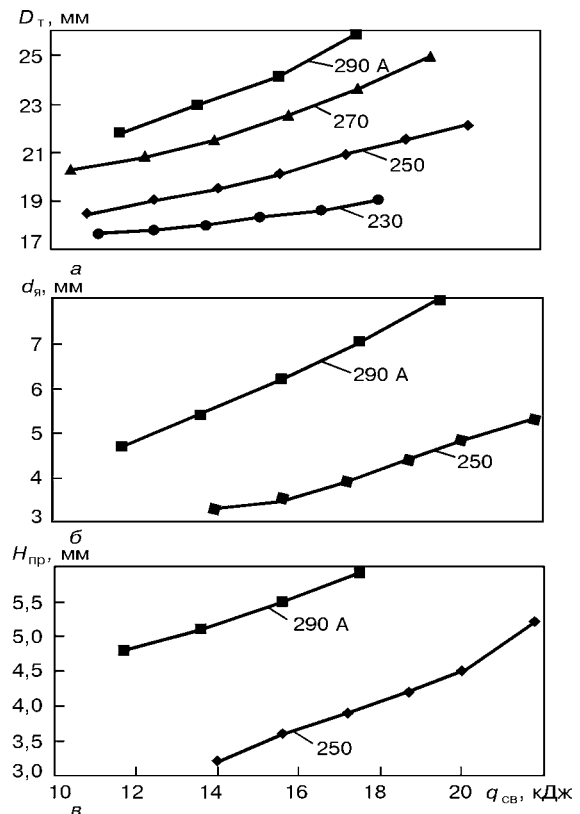


Рис. 6. Влияние тепловложения $q_{св}$ при ИДТСПЭ в гелии листов сплава АД33 толщиной (3 + 3) мм на диаметры точки D_t (а) и ее ядра $d_я$ (б), а также глубину проплавления $H_пр$ (в) при $U_d = 24,1... 26,9$ В и $\tau_{св} = 1... 3$ с

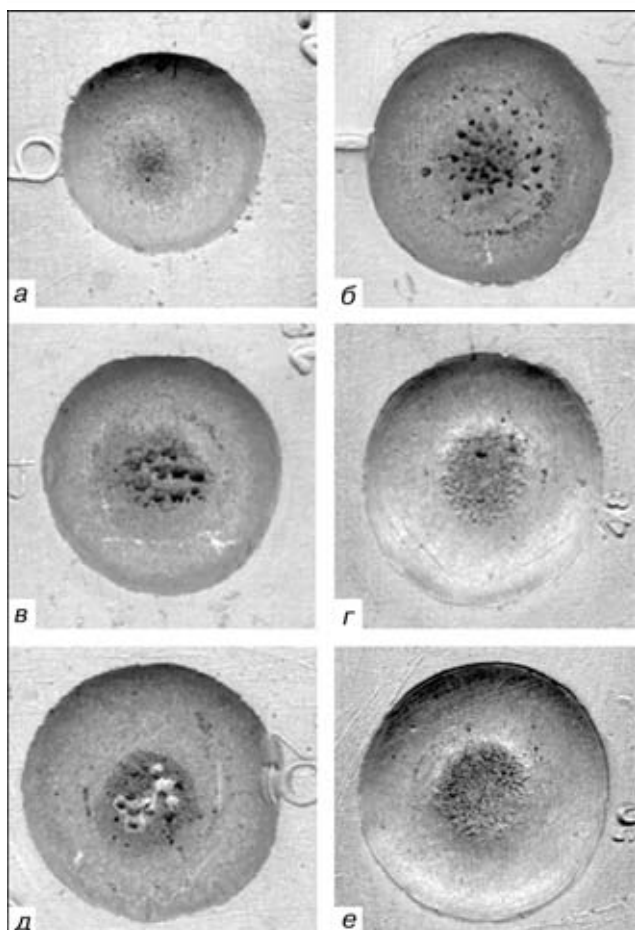


Рис. 7. Внешний вид сварных точек, полученных при различных режимах ИДТСПЭ: а-г — листы сплава АД33 толщиной (3 + 3) мм; д — то же АМГ6 (е) толщиной (3,8 + 3,8) мм; а — аргон; $\tau_{св} = 1,5$ с; $I_{св} = 270$ А; б — аргон; $\tau_{св} = 1,5$ с; $I_{св} = 370$ А; в, г — соответственно аргон и гелий; $\tau_{св} = 1,25$ с; $I_{св} = 310$ А; д, е — аргон; $\tau_{св} = 2,0$ с; $I_{св} = 290$ А

нахлесточных соединений необходимо выполнять при максимальном значении сварочного тока и минимальном времени горения дуги.

Применение гелия вместо аргона приводит к увеличению на 10...20 % диаметра сварной точки и на 20...40 % диаметра ее ядра (рис. 2, б, 4, 6).

Одинаковое проплавление сплавов в гелии независимо от их марки можно достигнуть при меньшем (в 1,5...2,0 раза) тепловложении, чем при сварке в аргоне (рис. 2, 5). Так, полное проплавление листов сплава АМГ6 толщиной (3,8 + 3,8)

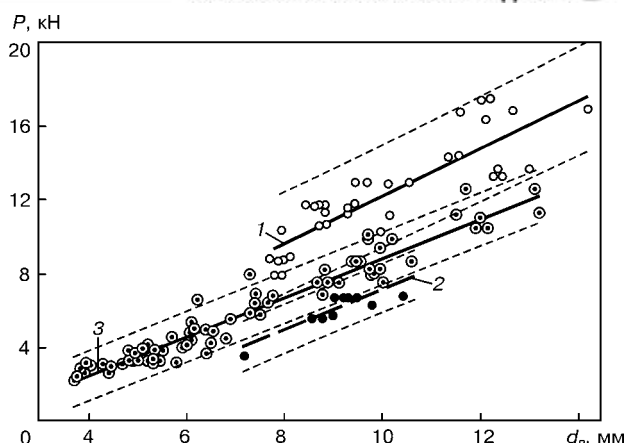


Рис. 8. Зависимость разрушающего усилия P нахлесточного соединения от диаметра ядра $d_{я}$ точки в образцах шириной 30 мм: 1, 2 — листы сплава АМГ6 соответственно толщиной 3,8 и 1,8 мм; 3 — то же АД33 толщиной 3,0 мм (точки — экспериментальные данные; штриховые линии — области рассеяния экспериментальных данных для 95%-й вероятности)

мм на токе $I_{св} = 370$ А достигается в гелии при $q_{св} = 15$ кДж, а в аргоне при $q_{св} = 26$ кДж (см. рис. 2).

В исследованных типах соединений и режимах сварки диаметр ядра точки увеличивается пропорционально диаметру выпуклости точечного шва. При сварке в аргоне на токе $I_{св} = 330$ А ($q_{св} = 10...25$ кДж) диаметр ядра точки меньше диаметра выпуклости в 5,5...6,0 раз, а при сварке в гелии — в 2,5...4,0 раза. Это позволяет по наружному диаметру точки ориентировочно определять диаметр ее ядра.

С повышением тепловложения в свариваемый металл (сплав АД33) при использовании в качестве защитного газа аргона увеличиваются не только геометрические параметры шва, но также количество и диаметр пор, сосредоточенных в центральной области кратера (рис. 7). Замена аргона на гелий приводит к увеличению значений геометрических параметров точечного шва, а также к заметному снижению размера и количества пор в швах. Их диаметр на поверхности кратера и в сечении шва не превышает соответственно 0,8 и 0,5 мм. Независимо от вида защитного газа, значений сварочного тока и времени сварки количество и размер пор в швах сплава АМГ6 ниже, чем сплава АД33 (рис. 7).

Рекомендуемые режимы ИДТСПЭ в аргоне нахлесточных соединений сплавов АД33 и АМГ6, выполненных в нижнем положении

Толщина листа сплава, мм	Диаметр проволоки, мм	$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	$F_{нш}$, Гц	$\tau_{св}$, с	$\tau_{з.кр}$, М/мин	$v_{п.лр}$, М/мин	Диаметр отверстия, мм
2 + 2	1,2	230...240	24...25	200...210	1,2...1,4	0,1...0,2	13,0...13,2	Без отверстий
		200...210	23...24	180...190	1,1...1,3	0,1...0,2	11,4...11,6	5...6
3 + 3	1,6	320...330	28...29	200...210	1,9...2,1	0,2...0,3	10,0...10,2	Без отверстий
		300...310	27...28	180...190	1,8...2,0	0,2...0,3	9,6...9,8	6...7
4 + 4	1,6	350...360	30...31	220...230	1,9...2,1	0,2...0,3	10,8...11,2	Без отверстий
		330...340	29...30	200...210	1,8...2,0	0,2...0,3	10,2...10,6	7...8

Примечания. 1. При сварке в гелии значения $I_{св}$ и $\tau_{св}$ необходимо уменьшить соответственно на 20...30 А и 0,2...0,5 с, а при сварке в вертикальном положении — на 30...40 А и 0,1...0,2 с.
2. Режимы сварки должны корректироваться в зависимости от конструктивного расстояния между точками.



Благодаря отверстиям диаметром 4...8 мм, предварительно высверленным в верхних листах нахлесточных соединений толщиной 1,8...3,8 мм, можно увеличить на 1...3 мм диаметр ядра точки, уменьшить высоту выпуклости швов и на 20 % тепловложение в свариваемый металл (см. рис. 3). Отверстия в верхнем листе целесообразно выполнять не цилиндрической формы, а в виде усеченного конуса, благодаря чему достигается гарантированное проплавление кромок. Рекомендуемые режимы ИДТСПЭ нахлесточных соединений толщиной 2...4 мм приведены в таблице.

Испытания на растяжение сварных нахлесточных соединений показали, что разрушающие усилия при постоянной ширине образцов возрастают с увеличением диаметра ядра сварной точки и толщины листа сплава (рис. 8). Нахлесточные соединения сплава АМг6 толщиной 3,8 мм разрушаются при усилии на 2,7...4,0 кН больше, чем сплава АД33 толщиной 3 мм с таким же диаметром ядра ($d_{я} = 8...13$ мм). Соединения с малым диаметром ядра точки разрушаются срезом ядра сварной точки без значительной деформации образцов в зоне нахлестки. С увеличением диаметра ядра сварной точки возрастает пластическая деформация образца в зоне разрушения и происходит переход от разрушения срезом ядра точки к внецентренному разрыву основного металла. Трещина зарождается в верхнем или нижнем листе по границе ядра сварной точки, а долом образца проходит из-за внецентренного разрыва основного металла или вырывания ядра точки с нижней и верхней пластины по зоне сплавления. Кратер на поверхности точечного шва, не превышающий 30...50 % высоты его выпуклости, расположен выше по-

верхности верхнего листа сплава независимо от его марки, и поэтому практически не влияет на механические свойства нахлесточных соединений. Глубина кратера швов, полученных на оптимальных режимах (см. таблицу), составляет не более 5...10 % высоты их выпуклости.

Из зависимости сопротивления срезу ядра точечного шва и разрыву основного металла от отношения площади среза к площади сечения образца $F_{я}/F_{обр}$ следует, что максимальным сопротивлением срезу $\tau_{в}$ обладают соединения с минимальными значениями диаметра ядра точки (рис. 9). Увеличение $d_{я}$ и $F_{я}/F_{обр}$ приводит к существенному снижению значений $\tau_{в}$ до значений сопротивления внецентренному разрушению основного металла $\sigma_{в}$. Равнозначность сопротивления разрушению точечного шва и основного металла ($\tau_{в} = \sigma_{в}$) характерна при $F_{я}/F_{обр} = 1$. Предельные напряжения в нахлесточных соединениях при условии $\tau_{в} = \sigma_{в}$ составляют 130 МПа в листах сплава АМг6 толщиной 3,8 мм и 110 МПа в листах сплава АД33 толщиной 3,0 мм. При межточечном расстоянии 30 мм условию равного сопротивления разрушению отвечает диаметр ядра шва 11,2 мм в листах сплава АД33 толщиной 3,0 мм и 12,2 мм в листах сплава АМг6 толщиной 3,8 мм.

На рис. 9 представлены также номинальные напряжения растяжения, действующие в основном металле при разрушении срезом ядра сварной точки и напряжения сдвига, действующие в ядре точки при разрушении внецентренным разрывом основного металла. Внецентренный разрыв образца происходит при условии, если площадь среза ядра точки превышает поперечное сечение основного металла ($F_{я}/F_{обр} > 1$). Причем увеличение площади сечения ядра точки приводит к повышению предельных напряжений внецентренного разрыва основного металла.

Если принять в качестве допустимых минимальные значения разрушающих напряжений сдвига в ядре сварной точки для условия ($F_{я} = F_{обр}$), т. е. $\pi d_{я}^2/4 = ts$, то следует, что

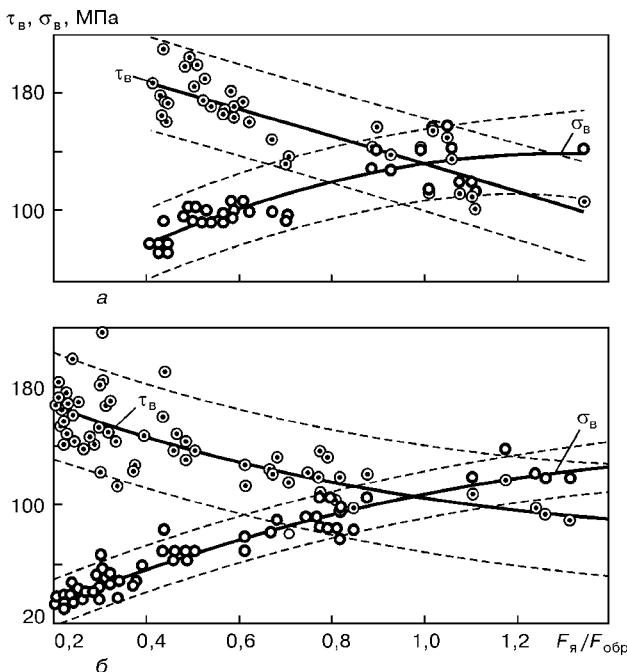


Рис. 9. Зависимость разрушающих и действующих напряжений сдвига $\tau_{в}$ и растяжения $\sigma_{в}$ от $F_{я}/F_{обр}$ в зоне соединения точечными швами образцов шириной 30 мм: а — листы сплава АМг6 толщиной 3,8 мм; б — то же АД33 толщиной 3,0 мм (остальные объяснения см. рис. 8)

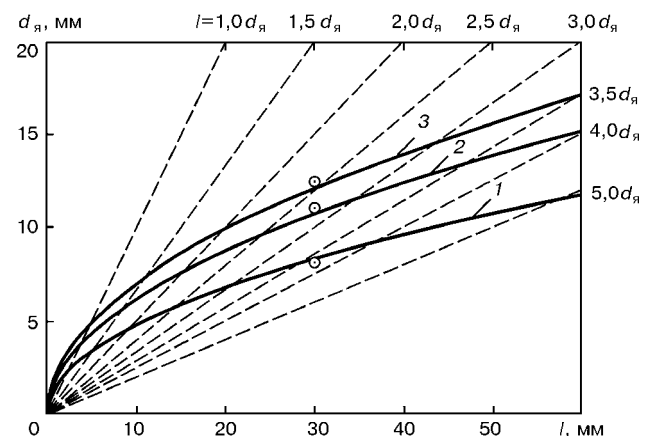


Рис. 10. Зависимость диаметра ядра точки $d_{я}$ от межточечного расстояния, рассчитанная для условий равной прочности $d_{я}$ и основного металла толщиной 1,8 (1), 3,0 (2) и 3,8 мм (3), (экспериментальные данные (точки) получены на образцах шириной 30 мм соответствующей толщины)



$$d_{\text{я}} = \sqrt{\frac{4ts}{\pi}}$$

Основываясь на условии равной прочности ядра сварной точки и основного металла рассматриваемых типов соединений, полученную зависимость можно распространить на другие межточечные расстояния и толщину соединяемых листов металла.

По условию равной прочности ядра сварной точки и основного металла характер зависимости оптимальных значений диаметра ядра точки для различных межточечных расстояний в нахлесточных соединениях листов сплавов толщиной 1,8...3,8 мм и принятых в практике отношений $l/d_{\text{я}}$ показан на рис. 10. Здесь приведены экспериментально установленные оптимальные значения диаметра ядра для межточечного расстояния, равного 30 мм, и указанной толщины металла. Пересечения кривых, характеризующих оптимальные значения $d_{\text{я}}$ и l при постоянных значениях толщины листа s , с линиями, задающими отношение $l/d_{\text{я}}$, дают значения $d_{\text{я}}$. Для конкретных значений s и принятого отношения $l/d_{\text{я}}$ можно получить только одну пару оптимальных значений $d_{\text{я}}$ и l .

Можно полагать, что характеристика прочности на срез или предельное напряжение сдвига отдельного точечного шва в однорядном нахлесточном соединении в основном зависит от диаметра ядра точки, а не от межточечного расстояния. Поскольку уменьшение диаметра ядра сварной точки способствует повышению предельного напряжения сдвига, то следует задавать минимальные значения $d_{\text{я}}$, которые можно получить для условия равной прочности ядра сварной точки и основного металла заданной толщины s только снижением отношения $l/d_{\text{я}}$.

В реальной конструкции межточечное расстояние устанавливают в широком диапазоне значений в зависимости от рекомендуемого отношения $l/d_{\text{я}}$. Однако при малых значениях $l/d_{\text{я}}$ необходимо учитывать сокращение расстояния между внешними границами точечных швов вследствие того, что при точечной сварке плавящимся электродом формируются швы с малым отношением диаметра ядра сварной точки к диаметру внешней выпуклости сварной точки $d_{\text{я}}/D_{\text{т}} < 0,5$. Если задавать однорядный многоточечный шов по внешним параметрам, например $l/D_{\text{т}} = 2,5$ (для условий $d_{\text{я}}/D_{\text{т}} = 0,5$), то действительным параметром соединения будет $l/d_{\text{я}} = 5$. При этом нарушаются условия равной прочности ядра шва и основного металла. Для увеличения разрушающего усилия

нахлесточного соединения с однорядным точечным швом при уменьшении диаметра ядра точки и сокращении межточечного расстояния необходимо увеличить отношение $d_{\text{я}}/D_{\text{т}}$ до значений, близких или равных единице, т. е. до приближения диаметра ядра к значениям, равным внешнему диаметру выпуклости точечного шва.

Дальнейшие исследования по совершенствованию технологии дуговой точечной сварки плавящимся электродом должны быть направлены на увеличение отношения $d_{\text{я}}/D_{\text{т}}$.

Выводы

1. Оптимальные значения прочности нахлесточных соединений алюминиевых сплавов, выполненных импульсно-дуговой точечной сваркой плавящимся электродом, достигаются при равенстве усилий на срез сварной точки и усилий на разрыв основного металла и определяются размером ядра сварной точки, который, в свою очередь, зависит от расстояния между швами и толщины свариваемых листов.

2. Предварительное высверливание отверстия в верхних листах соединения обеспечивает увеличение диаметра ядра точки и снижение на 15...20 % тепловложения в свариваемый металл. Замена аргона на гелий приводит к увеличению на 20...40 % диаметра ядра сварной точки и в 1,5...2,0 раза глубины проплавления металла, уменьшению количества и размера пор на поверхности и в сечении шва, а также к повышению прочности соединения. Для снижения деформаций верхних листов нахлесточных соединений рекомендуется выполнять сварку при максимально допустимых значениях тока и минимальном времени сварки.

1. *Mc Fall E. S.* Inert-gas-shielded metal-arc spot welding of aluminum // *Welding J.* — 1960. — **39**, № 12. — P. 1230–1236.
2. *Stochz R. A.* Gas metal-arc spot welding of aluminium // *Ibid.* — 1962. — **41**, № 9. — P. 815–821.
3. *Omer G.* Schutzgaspunktschweißen der hochfesten Aluminiumlegierung Al-Zn-Mg1 // *Schweißen und Schneiden.* — 1969. — **21**, № 2. — S. 64–70.
4. *Тимошенко А. П., Лозовский В. П., Новиков В. И.* Дуговая точечная сварка алюминиевых сплавов неплавящимся электродом в гелии // *Автомат. сварка.* — 1977. — № 7. — С. 69–71.
5. *Лозовский В. П., Тимошенко А. Н.* Дуговая точечная сварка тонколистовых конструкций из алюминиевых сплавов // *Актуальные проблемы сварки цветных металлов: Докл. II Всесоюз. конф.* — Киев: Наук. думка, 1985. — С. 109–112.
6. *Воропай Н. М., Илюшенко В. М., Ланкин Ю. Н.* Особенности импульсно-дуговой сварки с синергетическим управлением параметрами режимов // *Автомат. сварка.* — 1999. — № 6. — С. 26–32.

The effect on geometric parameters of the welds, shear strength of the weld nugget and resistance to off-centre rupture of base metal of the lap joints in thin-sheet aluminium alloys AMg6 and AD33 by the spot pulsed-arc metal-electrode welding parameters has been investigated. It is shown that the maximum permissible current at a minimum welding time should be used to decrease heat input to the base metal and reduce distortion of the upper sheet. Optimal values of the nugget diameter have been found for different distances between the spots in the lap joints to provide the shear load on the weld equal to the rupture load on the base metal.

Поступила в редакцию 11.03.2002,
в окончательном варианте 29.04.2002