

УДК: 621.791

Определение оптимальной геометрии вольфрамового электрода при точечной сварке сжатой дугой

И.В. Стрельников, А.В. Коновалов

Рассмотрен вопрос выбора оптимальной геометрии рабочего торца неплавящегося электрода при точечной сварке сжатой дугой (PSW-сварке). Стойкость рабочего торца электрода наряду с величиной зазора между свариваемыми деталями в наибольшей степени определяют стабильность PSW-сварки. При комплексной оценке стойкости вольфрамового электрода после 500 циклов выявлено, что целесообразно применение вольфрамовых электродов с присадками оксидов лантаноидов, причем желательно притупление рабочего торца и его заточка на угол 20...30°.

Ключевые слова: плазменная точечная сварка (точечная сварка сжатой дугой), PSW-сварка, стойкость вольфрамового электрода, угол заточки неплавящегося электрода.

The article deals with the problem of determining the tungsten electrode optimal geometry during plasma spot welding (PSW). The durability of the electrode tip along with the gap value between the welded parts highly determine the PSW-welding stability. An integrated assessment of the tungsten electrode durability after 500 cycles has shown that it is expedient to use the alloyed tungsten electrode. Moreover, it is desirable that an electrode tip should be dulled and sharpened at an angle of 20...30°.

Keywords: plasma Spot Welding, PSW, tungsten electrode durability, alloyed tungsten electrode, electrode sharpening angle.

В машиностроении при изготовлении крупногабаритных листовых сварных конструкций нашла применение контактная точечная сварка (КТС) на медной подкладке. Однако, иногда применение КТС затруднено или невозможно: при сборке, при нечетном числе сварных точек, при недостаточном для пары сварных точек расстоянии до края нахлестки, при отсутствии медной подкладки (например, при трехслойном «сэндвиче»). В таких случаях целесообразно применять дуговую точечную сварку (ДТС).

При ДТС коррозионно-стойких сталей для уменьшения тепловложения и увеличения глубины проплавления дугу сжимают. С другой стороны, для обеспечения геометрических параметров и прочности сварных точек необходимо программирование импульса, обеспечение одинакового расстояния между электродом и деталью. Перечисленные достоинства присущи технологии плазменной точечной сварки PSW (Plasma spot welding) (рис. 1) [1].

Известно, что стабильность получения качественных точек при КТС зависит, помимо шунтирования, от износа электрода (либо его быстросменной части — колпачка): при многократной сварке проис-



СТРЕЛЬНИКОВ

Илья Владимирович
аспирант кафедры
«Технологии сварки
и диагностики»

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)



КОНОВАЛОВ

Алексей Викторович

доктор технических наук,
профессор кафедры
«Технологии сварки и
диагностики»

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

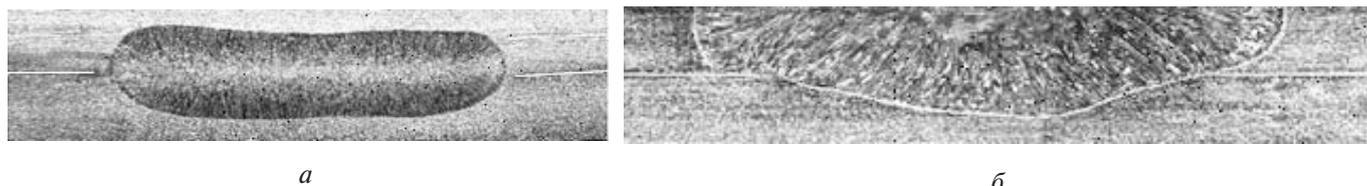


Рис. 1. Макрошлифы точечных соединений при контактной (а) и плазменной (б) сварке коррозионно-стойкой стали, 1,5+1,5 мм

ходит деформация рабочей поверхности, ее загрязнение. Все это приводит к уменьшению диаметра литого ядра, либо даже к непровару. Стабильность PSW-сварки определяется, прежде всего, отсутствием присадки, постоянством зазора между свариваемыми деталями [2, 3], а также стойкостью неплавящегося электрода.

Цель данной работы — оценить стойкость вольфрамового электрода, исследовать механизм его разрушения, а также геометрию сварной точки при различных углах заточки при PSW-сварке.

Выбор марки и подготовка торца неплавящегося электрода

При ДТС применяют вольфрамовые электроды с присадками редкоземельных металлов или их смесей. В настоящее время широкое распространение получили электроды WL-15, WC-20, WS-2, WT-20 и др., изготавливаемые согласно DIN EN 26848. Электроды марки WT содержат оксид тория ThO_2 , и, вследствие своей радиоактивности, наносят вред здоровью сварщика и окружающей среде. Хорошие сварочно-технологические свойства имеют электроды WL-15 (неполное соответствие электроду ЭВЛ ГОСТ 23949), легированные 1,3...1,7% оксида лантала La_2O_3 . Однако, уже после 150–200 циклов PSW-сварки подготовленный торец электрода WL-15 несколько оплавляется, покрывается налетом. Более высокие сварочные качества показал вольфрамовый электрод марки WS-2, легированный безториевой смесью оксидов редкоземельных металлов (лантаноидов) с преобладанием лантана. Приведенные в статье исследования выполнялись для электрода WS-2 марки производства Witstar (Германия).

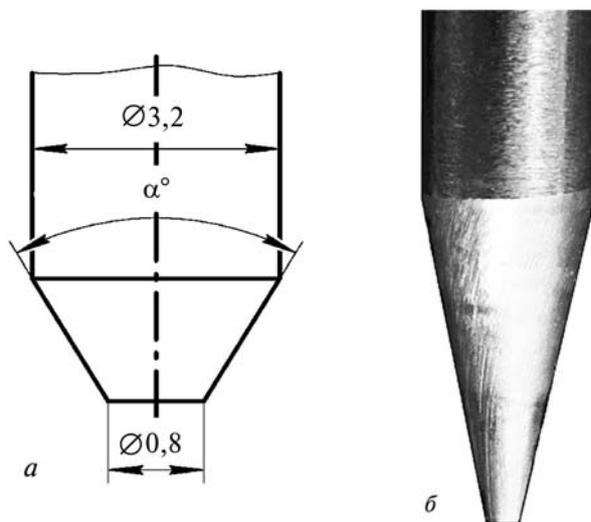


Рис. 2. Подготовка рабочего торца электрода для PSW-сварки:
а — конструктивные размеры; б — образец

Подготовка электрода заключалась в заточке рабочего торца на конус с углом α , с притуплением диаметром 0,5...0,8 мм (рис. 2). Притупление, с одной стороны, повышает стойкость вольфрамового электрода [4], с другой — увеличивает диаметр литого ядра сварной точки при некотором уменьшении глубины проплавления за счет расфокусировки дуги. Исследования проводились для электродов с углами заточки 15, 20, 25, 30, 35 и 40°. Заточка выполнялась на машинке для заточки электродов типа F3 производства Ernst Furtmayr Schweißtechnik (Германия). Диаметр электрода принят 3,2 мм, исходя из конструкции сварочной горелки.

Причины потери работоспособности вольфрамового электрода

Выделяют три причины, приводящие к потере работоспособности неплавящихся электродов.

1. Перенос металла детали на электрод, вызванный заниженным расстоянием до детали

и несоблюдением продолжительности включения источника питания (рис. 3).



Рис. 3. Вольфрамовый электрод с налипшим материалом свариваемых деталей

При выполнении большого количества сварных точек возникают две следующие причины.

2. Перегрев и оплавление, либо выгорание конусной части (характерно для углов $\alpha = 15...25^\circ$).

3. Эрозия с образованием типичного «венчика» на конце конусной части (характерно для углов $\alpha = 20...40^\circ$) (рис. 4, 5). Можно предположить, что на конусной части с острым углом заточки ($15...25^\circ$) «венчик» выгорает.

«Венчик», представленный на рис. 4, образуется при многократном воспроизведении импульса PSW-сварки в результате разрушения конусной части электрода. Интенсивное ее разрушение вызвано бомбардировкой отрицательными ионами, возникающими в прикатодной зоне, и приводит к нарушению ламинарного течения потока плазмы [5]. На рис. 4 видно, что «венчик» об-



Рис. 4. Вольфрамовый электрод с образовавшимся на конусной части «венчиком», $N = 500$ св. точек

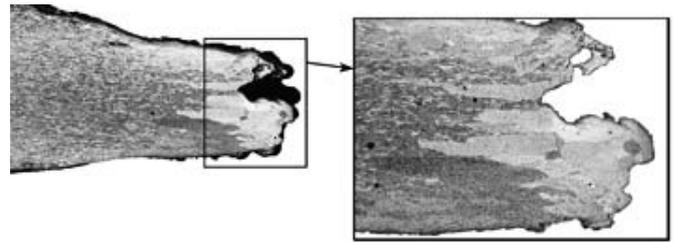


Рис. 5. Макрошлиф вольфрамового электрода с обедненной редкоземельными металлами зоной крупных кристаллитов на конусной части, $N = 500$ св. точек

разуется только в относительно небольшой зоне катодного пятна.

На рис. 5 видно, что макроструктура вольфрама, модифицированного смесью оксидов редкоземельных металлов (зона мелких равноосных кристаллитов), уступает место обедненному присадками вольфраму (зона сравнительно крупных кристаллитов).

Влияние угла заточки электрода на геометрию точки, выполненной PSW-сваркой

Влияние угла заточки на размеры и глубину проплавления сварной точки исследовалось по макрошлифам сварных образцов после приработки ($N \geq 50$). PSW-сварка образцов производилась на медной подкладке из заготовок коррозионно-стойкой стали EN 10088-2X6CrNiTi18-10+2B, отечественным аналогом которой является сталь 12X18H10T ГОСТ 5632, сочетанием толщин 2+2 мм, с использованием инверторного источника питания PMI-500 производства SBI (Австрия) [6] на режимах, приведенных в табл. 1. Цикл сварки одной точки включал три импульса, причем в среднем применялся режим прямоугольной модуляции тока (рис. 6). В качестве плазмообразующего и за-

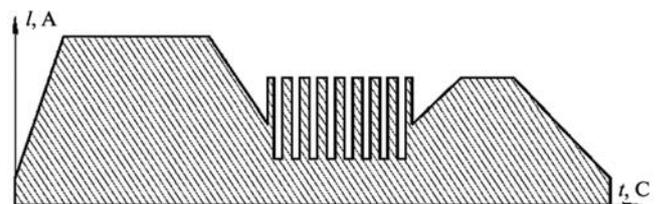


Рис. 6. Цикл PSW-сварки из трех импульсов с прямоугольной модуляцией среднего импульса (250 Гц)

Таблица 1

Режимы PSW-сварки: коррозионно-стойкая сталь 2+2 мм; спад последнего импульса 0,3 с, подъем и спад остальных импульсов 0,1 с; ток начала и окончания сварки 30 А, HF-старт, расход газовой смеси 2 л/мин

Номер импульса	Ток, А	Время, с	Параметры модуляции		
			Время импульса, мс	Время паузы, мс	Ток паузы, А
1-й импульс	350	0,4	—	—	—
2-й импульс	310	0,4	2	2	70
3-й импульс	310	0,1	—	—	—

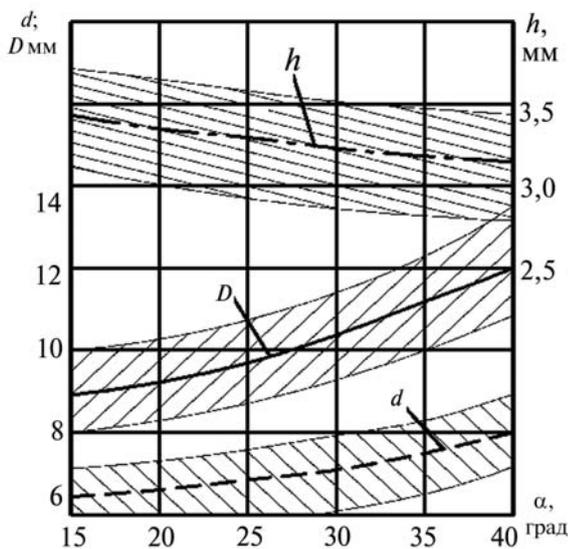


Рис. 7. Взаимосвязь угла заточки вольфрамового электрода (с глубиной проплавления h , диаметром литого ядра d и наружным диаметром D), $N = 50$ св. точек

щитного газа использовалась смесь газовая «Варигон» (95% Ar + 5% H₂) производства Linde (Германия).

Известно, что сварная точка, выполненная сжатой дугой по технологии PSW, имеет характерную геометрию с достаточно широкой номенклатурой конструктивных элементов [7]. Однако, в данном исследовании рассмотрено влияние угла заточки вольфрамового электрода только на наружный диаметр D , диаметр литого ядра d и глубину проплавления h (рис.7). Увеличение угла заточки благотворно сказывается на прочностных характеристиках сварной точки — увеличивается диаметр литого ядра, несколько увеличивается наружный диаметр, что отрицательно сказывается на качестве

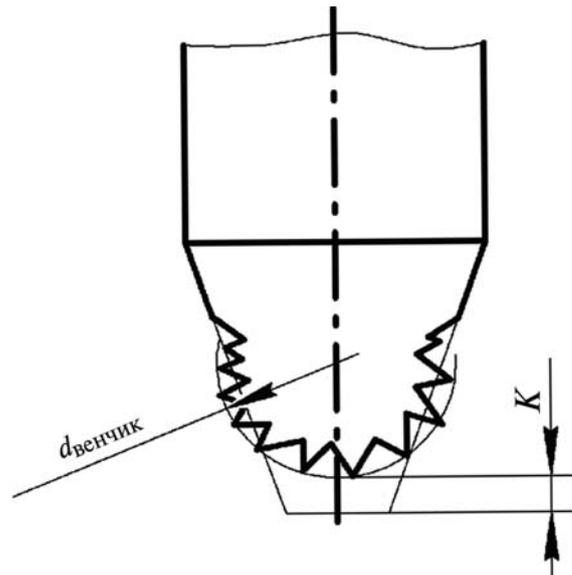


Рис. 8. Схематическое представление геометрии вольфрамового электрода после длительной эксплуатации: $d_{\text{венчик}}$ — диаметр «венчика», K — величина сгорания конусной части

сварной конструкции вследствие нарастания деформаций и остаточных растягивающих напряжений. Следует отметить относительно малое снижение глубины проплавления, что выгодно отличает ДТС сжатой дугой от ДТС свободной дугой.

Влияние угла заточки электрода на стабильность PSW-сварки

Стойкость вольфрамового электрода после 500 циклов при различных углах заточки оценивалась комплексно: как по изменению геометрии, по уменьшению прочности (рис. 8), так и по сварочно-технологическим свойствам (проценту ложного поджига) (табл. 2).

Таблица 2

Стойкость вольфрамового электрода при различных углах заточки, $N = 500$.

α , град	K , мм	$d_{\text{венчик}}$, мм	Отсутствие поджига при включении, %
15	2,0...2,5	Отсутствует	5
20	0,5...0,8	1,3...1,6	5
25	0,4...0,6	1,2...1,4	5
30	0,3...0,4	1,0...1,2	~10
35	0,2...0,3	1,0...1,2	~30
40	0,2...0,3	1,0...1,2	~50

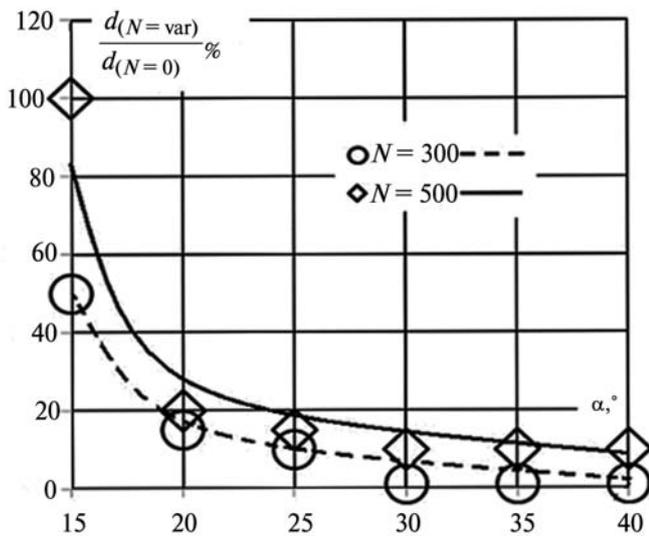


Рис. 9. Относительное уменьшение диаметра литого ядра при различных углах заточки вольфрамового электрода

Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что угол заточки менее 15...20° приводит к эрозии и разрушению конусной части электрода — увеличивается параметр K . С другой стороны, при углах, больших 35...40°, ухудшается способность к поджигу [8, 9].

На рис. 9 видно, что вольфрамовый электрод с малым углом заточки (менее 15...20°) резко ухудшает качество сварки (глубину проплавления и диаметр литого ядра) после нескольких сотен циклов PSW-сварки.

Выводы

1. При PSW-сварке целесообразно применение электродов с углом заточки 20...30°.
2. При малых углах заточки ($\leq 15...20^\circ$) существенно снижается качество сварной точки,

при больших углах заточки ($\geq 35...40^\circ$) ухудшается способность к поджигу.

3. При сварке сжатой дугой по технологии PSW угол заточки электрода не оказывает существенного влияния на глубину проплавления, в отличие от сварки свободной дугой по технологии TIG.

Литература

1. Ф. Штемплер, Р. Индрачек, Ф. Баумгартнер. Устройство специальной сварочной горелки для образования плазмы. ЕР 1 168 896 А2, 2001.
2. Лобжа Г.И., Коновалов А.В., Стрельников И.В. Влияние зазора на прочность и диаметр литого ядра плазменной сварной точки для сочетаний толщин 2,5+1 и 2,5+2 мм // Материалы I Всеросс. научн.-практ. конф. «Прогрессивные технологии и перспективы развития», 5–6 ноября 2009. Тамбов, 2010. С. 126–129.
3. Коновалов А.В., Стрельников И.В. Разработка технологии PSW-сварки боковин из нержавеющей стали // Сб. мат-лов III Всеросс. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», 23–25 сентября 2010. М., 2010. С. 110–111.
4. Коновалов В.А., Вишняков В.И., Астахин В.И. Гелиеводуговая точечная сварка листовых алюминиевых конструкций // Сварочное производство. 1986. № 4. С. 14–15.
5. В.Н. Селянников, В.В. Степанов, Р.З. Сайфиев. Зависимость давления сварочной дуги от параметров вольфрамового электрода // Сварочное производство. 1980. № 5. С. 5–7.
6. www.sbi.at. SBI Produktion techn. Anlagen GmbH.
7. Разработка стандарта организации на сварные точечные соединения, выполненные плазменной сваркой / И.В. Стрельников и др. // Сб. мат-лов II Всеросс. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», 21–27 сентября 2009. М., 2009. С. 73–74.
8. Атрощенко В.В., Бычков В.М., Селиванов А.С. Экспериментальное определение предельных токовых нагрузок для лантанированных вольфрамовых электродов // Вестник УГАТУ. 2009. Т. 13. № 1 (34). С. 161–165.
9. Стойкость прямоугольных и круглых вольфрамовых электродов при длительной работе / В. И. Шубин и др. // Сварочное производство. 1979. № 1. С. 12–13.

Статья поступила в редакцию 12.05.2011 г.