

УДК 621.791

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ НАРУЖНОГО И
ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРОВ ЛИТОГО ЯДРА СВАРНОГО
СОЕДИНЕНИЯ И СВАРОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ
ПЛАЗМЕННОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ**

**А. Н. Михайлова¹, И. В. Стрельников^{2,3}, А. В. Стрельников⁴,
С. Е. Ильяшенко¹**

¹ Тверской государственный технический университет,
кафедра технологии металлов и материаловедения

² ОАО «Тверской вагоностроительный завод»

³ МГТУ им Н.Э.Баумана, *кафедра сварки и диагностики*

⁴ Тверской государственный технический университет,
кафедра торфяных машин и оборудования

С использованием метода магнитной металлографии исследована взаимосвязь между размерами литого ядра сварной точки и сварочными параметрами при плазменной точечной сварке. Показано, что эффективность сварки возрастает при уменьшении отношения наружного к внутреннему диаметру литого ядра вследствие уменьшения размеров зоны термического влияния и сварочных деформаций. При уменьшении сварочного тока внутренний диаметр литого ядра уменьшается в большей степени, чем наружный диаметр.

Ключевые слова: *магнитная металлография, плазменная точечная сварка, литое ядро сварной точки*

**STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE MELTED CORE
OF THE WELDED JOINT OUTER AND INNER DIAMETERS AND
WELDING PARAMETERS DURING PLASMA SPOT WELDING**

A. N. Mikhailova¹, I. V. Strelnikov^{2,3}, A. V. Strelnikov³, S. E. Ilyashenko⁴

¹ Tver State Technical University,
Chair of metal technology and materials science

² JSC «Tver Carriage Works»

³ Bauman MSTU, *Chair of welding and diagnostics*

⁴ Tver State Technical University

Chair of peat machines and equipment

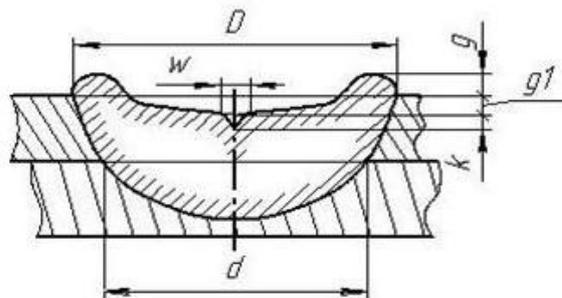
The relationship between the melted core size and parameters of the plasma point welding was studied with the aid of magnetic metallography. It is shown that the welding efficiency increases with the decrease of melted core outer/inner diameter ratio due to decrease of the thermal influence zone and welding deformations. The melted core inner diameter decreases with the welding current to a greater extent than the outer one.

Keywords: *magnetic metallography, plasma spot welding, welding spot melted core*

Введение. В вагоностроении нашла широкое применение точечная плазменная сварка (PSW – Plasma Spot Welding) [1]. Так, PSW-сварка используется при производстве боковых стен пассажирских вагонов из нержавеющей стали и позволяет получать сварные соединения с сочетанием толщин от 1 мм до 2,5 мм. Сущность процесса PSW-сварки заключается в расплавлении верхней и частично нижней деталей струей ионизированного инертного газа.

Применение нормативных требований для TIG-соединений (TIG – Tungsten Inert Gas, сварка неплавящимся электродом в инертном газе) к PSW-соединениям затруднительно [2–4]. Поперечное сечение сварной точки имеет характерную геометрию (рис. 1) [5].

Кроме того, при производстве боковых стен вагонов применяются PSW-соединения с нестандартным сочетанием толщин, например, 2,5 + 2,0 мм, 2,5 + 1,0 мм и т.д. [2]. Поэтому для проведения контроля качества и оформления конструкторской документации был разработан стандарт организации (СТО) «Плазменная точечная сварка. Соединения сварные точечные». СТО устанавливает размеры PSW-соединений, применяемых на боковых стенах вагонов. Основой при разработке СТО служили государственные и отраслевые стандарты [2, 6-11] и фактические размеры плазменных точек.



Р и с . 1. Размеры плазменной сварной точки: диаметр литого ядра d (1), наружный диаметр D (2), выпуклость g (3), общая вогнутость g_1 (4), диаметр W (5) и глубина k (6) лунки

Важным размером PSW-соединения является наружный диаметр D . Очевидно, что чем меньше отношение D/d , тем более эффективна PSW-сварка, тем меньше и сварочные деформации, и зона термического влияния. В идеале, при $D/d = 1$, обеспечивается расплавление минимально необходимого для получения сварного соединения объема металла. Кроме того, при уменьшении отношения D/d несколько возрастает стабильность качества сварки при колебании технологических факторов, таких, как зазор между свариваемыми заготовками, износ вольфрамового электрода (рис. 2).

Стандарт [2] задает сравнительно большие значения размеров наружного диаметра по отношению к диаметру литого ядра для различных сочетаний толщин. В то время, как PSW-сварка обеспечивает получение сварных плазменных точек с существенно меньшими D/d и относительно малыми значениями допусков наружного диаметра.

При разработке СТО нижняя граница допуска наружного диаметра D определялась исходя из соответствия нижней границе диаметра литого ядра d . Верхняя граница допуска определялась прибавлением фактического допуска, определяемого измерением. При определении нижней границы допуска на наружный диаметр производилось варьирование сварочным током, временем сварки и зазором между заготовками. При этом нарастание, спад импульса сварочного тока, расход и состав газа принимались постоянными. Поэтому вопрос о размере и допуске на наружный диаметр плазменной сварочной точки остается открытым.

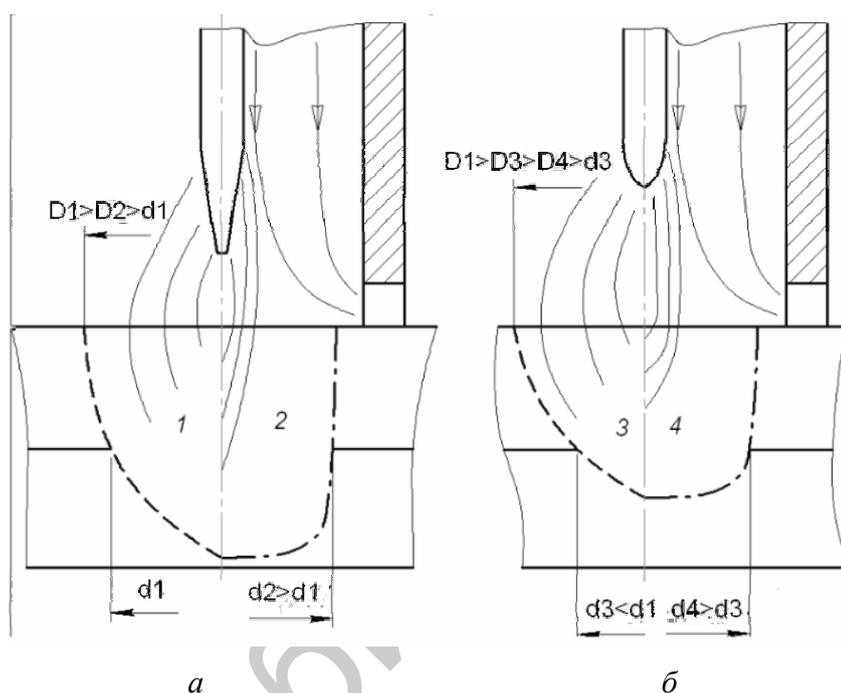


Рис. 2. Влияние отношения D/d на стабильность качества сварки при вариациях технологических факторов. Справа от оси электрода – TIG-сварка, слева от оси электрода – PSW-сварка. *a*) – сварка новым электродом, *б*) – сварка изношенным электродом.

Целью данной работы явилось исследование взаимосвязи наружного диаметра и диаметра литого ядра плазменной сварочной точки с временем сварки и силой сварочного тока.

Методика эксперимента и образцы для исследования. Для проведения экспериментальных исследований из хромоникелевой нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т с толщинами 1,0 и 2,5 мм были изготовлены образцы, выполненные плазменной точечной сваркой с различными сварочными параметрами. PSW-сварка выполнялась в нижнем положении одним импульсом без модуляции сварочного тока с постоянным значением следующих параметров: нарастание и спад тока соответственно 10,0 А/мс и 0,3 А/мс, расход газа 1,5 л/мин. Измерения диаметра литого ядра производили после разрыва образцов испытательной машине ЦД-40. Исследования структуры сварного шва производились на металлографическом микроскопе МИМ-8, оснащенный цифровой видеокамерой Sony 580S с ПЗС матрицей с числом пикселей 600×800 методом магнитной металлографии с использованием магнитной жидкости на основе магнетита EMG 807 фирмы Ferrotec (США). Образец подмагничивался постоянным магнитным полем 30 мТ, создаваемым соленоидом постоянного тока.

Результаты исследований. В работе определяли нижнюю границу наружного диаметра сварной точки, получаемой PSW-сваркой на весу для сочетания толщин 2,5 + 1 мм. Данный случай является одним из наиболее неблагоприятных как по сочетанию толщин (2,5:1), так и по условиям кристаллизации (отсутствие медной подложки) и встречается, например, в трехслойном «сэндвиче» из гофрированных листов на боковой стене пассажирского вагона.

На рис. 3 представлены экспериментальные значения и линейные аппроксимации зависимостей диаметра литого ядра d и наружного диаметра D сварной точки от времени сварки t при различных значениях сварочного тока I для случая с нулевым зазором ($b = 0$ мм).

Экспериментальным путем определяли точки пересечения графиков диаметра литого ядра от времени с минимальным значением диаметра, заданного расчетом на прочность. Пересечение ординат данных точек с зависимостями наружного диаметра от времени задавали его нижнюю границу. Верхняя граница определялась прибавлением к нижней границе допуска, определяемого статистическими измерениями.

Как видно из представленного рисунка, зависимости как наружного диаметра, так и диаметра литого ядра сварной точки от времени имеют примерно равный наклон и разброс значений. Следует отметить, что с уменьшением сварочного тока диаметр литого ядра уменьшается в несколько большей степени, чем наружный диаметр сварной точки.

На рис. 4, *a* представлена макроструктура сварной точки, выявленная с помощью магнитной суспензии при наложении постоянного магнитного поля 30 мТл.

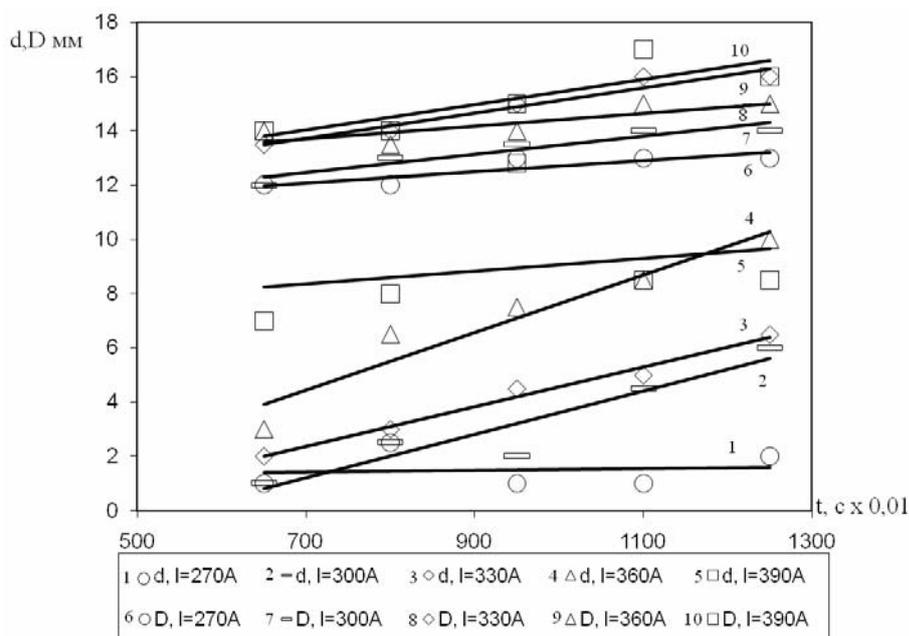


Рис. 3. Зависимость верхнего и нижнего диаметров от времени сварки

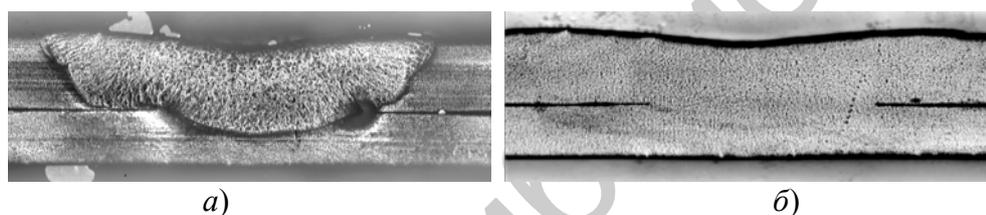


Рис. 4. Макроструктура сварной точки, выявленная магнитопорошковым методом (а) и то же сварное соединение без магнитной жидкости (б). Точечная плазменная сварка, сталь 12Х18Н10Т, толщина листов 1,0 и 2,5 мм

Частицы магнитного коллоида, находясь в подвижном состоянии, стремятся занять положение вблизи градиентов магнитного поля, которые могут создаваться на границах магнитных и немагнитных фаз. Как видно из рис. 4, а, зона сплавления имеет ассиметричную форму, проплавление тонкого листа в данном случае произошло лишь в незначительной области, что снижает прочность сварного соединения. На рис. 4, б показано то же сварное соединение после шлифовки и полировки без использования магнитной жидкости. Представленные данные показывают, что метод магнитной металлографии позволяет быстро и эффективно выявлять макро- и микроструктуру сварного соединения нержавеющей сталей. Высокий контраст изображения

обусловлен значительными изменениями магнитных свойств нержавеющей стали после термического воздействия сварочного тока.

Выводы. В работе исследована структура сварных соединений нержавеющей стали разной толщины, выполненных плазменной точечной сваркой. Показано, что эффективность PSW-сварки повышается при уменьшении отношения D/d , что связано с уменьшением зоны термического влияния и сварочных деформаций. При снижении сварочного тока диаметр литого ядра уменьшается в несколько большей степени, чем наружный диаметр.

Формулировка требований к определению размеров и допуска на наружный диаметр плазменной сварной точки нуждается в дальнейшем уточнении, т.к. при определении нижней границы допуска на наружный диаметр варьирование сварочным током, временем сварки и зазором между заготовками производилось при неизменном расходе и составе газа и фиксированных параметрах нарастания и спада импульса сварочного тока.

Список литературы

1. Акимкин П. А., Башарин А. В., Стрельников И. В. Надежность линии сборки и сварки боковых стен пассажирских вагонов нового поколения ОАО «ТВЗ». //Сварка и диагностика. №11. 2009. С. 54–56.
2. ГОСТ 14776. Дуговая сварка. Соединения сварные точечные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры, 1979.
3. Соснин Н. А., Ермаков С. А., Тополянский П. А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.
4. ГОСТ 19521. Сварка металлов. Классификация, 1974.
5. ГОСТ 15878. Контактная сварка. Соединения сварные. Конструктивные элементы и размеры, 1979.
6. Коновалов А. В., Стрельников И. В., Акимкин А. П., Лобжа Г. И. Разработка стандарта организации на сварные точечные соединения, выполненные плазменной сваркой //Сб. м-лов II ВКМУиС. «Будущее машиностроения России». М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. С.73–74.
7. ОСТ 24.050.34. Проектирование и изготовление стальных сварных конструкций вагонов. Технические требования, 1984.
8. 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 //М-лы I ВНК «Прогрессивные технологии и перспективы развития». Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2010. С.126–129.
9. Коновалов А. В., Стрельников И. В. Плазменная точечная сварка: возможные дефекты и меры по их устранению //Сб. тр. XVII ВНК «Инновации. Интеллект. Культура». Тобольск: Изд-во ТИИ ТюмГНГУ, 2010. С.57–59.

10. Лобжа Г. И., Акимкин А. П., Стрельников И. В., Коновалов А. В. Размеры и дефекты PSW-соединения для различных режимов сварки //Сварка и диагностика. 2009. №5. С.45–49.
11. Коновалов А. В., Стрельников И. В., Акимкин А. П., Лобжа Г. И. Влияние параметров режима на геометрию плазменной сварной точки //Сб. тр. VIII МНПК. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». СПб.: СПбГТУ, 2009. С.158–164.

Об авторах:

МИХАЙЛОВА Александра Николаевна – студентка
машиностроительного факультета ТГТУ;

СТРЕЛЬНИКОВ Илья Владимирович – аспирант МГТУ им.
Баумана, инженер-технолог ОАО ТВЗ;

СТРЕЛЬНИКОВ Андрей Владимирович – инженер-конструктор
Центрального конструкторского бюро транспортного машиностроения
г.Твери;

ИЛЬЯШЕНКО Светлана Евгеньевна – кандидат физ.-мат наук,
доцент кафедры технологии металлов ТГТУ, SvIlyashenko@yandex.ru.