

# Электросварка тонких металлических пластин с помощью «ВЗРЫВОВ» проволок

КУЗЬМИН Р.Н., МИСКИНОВА Н.А., ШВИЛКИН Б.Н.

*Предложен способ торцевой электросварки тонких металлических пластин с использованием низковольтного импульсного газового разряда в воздухе, инициируемого при взрыве тонкой проволоки между электродами. Показана возможность получения однородного сварного соединения. Проведен анализ материала сварного шва.*

**Ключевые слова:** электросварка, низковольтный импульсный разряд, взрыв проволок

Известны разнообразные виды сварки [1]. Для сварки в воздухе используется сильноточный дуговой разряд. Сварка тонких металлических пластин обычно осуществляется с помощью точечной и роликовой сварки. Нами показано, что торцевую сварку тонких пластин можно проводить при использовании низковольтного импульсного газового разряда при взрыве тонкой проволоки между электродами разрядного промежутка, на одном из которых помещаются плотно прижатые друг к другу пластины. При этом в отличие от точечной и роликовой сварки при касании проволоки торца свариваемых пластин всего в одной точке за счет энергии разряда получается однородный протяженный сварной шов. В этом заключается одно из существенных отличий предлагаемой сварки от лазерного нагрева вещества.

Нами предложен и опробован способ торцевой сварки тонких металлических пластин в низковольтном газовом разряде в воздухе [2]. Этот способ импульсной сварки отличается от сварки электронным лучом и микроплазменной сварки [1]. Электронно-лучевая сварка проводится в вакууме ( $10^{-4}$ – $10^{-5}$  мм рт.ст.)<sup>\*</sup> – и в этом ее отличие от сварки в разряде на воздухе. При этом требуется специальное оборудование и отвод тепла от катода. То же относится и к плазменной сварке, но там необходим защитный газ. Иногда нужны различные присадки. В остальном отличия и преимущества предлагаемой сварки состоят в простоте и доступности.

В [2] для сварки пластин предложено использовать явления плавления и испарения проволок электрическим током в воздухе. В процессе сварки существенную роль играют электроны, ионы, наночастицы металла и световые кванты.

Действие устройства для сваривания двух металлических пластин можно понять из рис. 1. Электропитание разряда осуществляется от выпря-

*A method for butt welding of thin metal plates is proposed, central to which is the use of low-voltage impulse gas discharge in air initiated by exploding a thin film between the electrodes. The possibility of obtaining a uniform welded joint is shown. The weld joint material is analyzed.*

**Key words:** electric welding, low-voltage impulse discharge, explosion of metal wires

мительного агрегата «Дельфин». Выпрямленное напряжение 240 В, номинальный ток 220 А, внутреннее сопротивление источника 1 Ом. К источнику питания 1 подсоединены электроды. На отрицательном электроде 2 закреплены свариваемые плотно прижатые друг к другу металлические пластины 4. Расстояние между отрицательным 2 и положительным 3 электродами составляет 1–2 см. При напряжении между электродами 240 В газовый разряд в воздухе самопроизвольно не возникает, для пробоя воздуха между электродами, удаленными друг от друга на расстояние 1 см, требуется напряжение порядка 31000 В (см., например, [3]). Однако разряд можно инициировать, если на катод и анод положить тонкую металлическую проволоку 5, контактирующую с ними, диаметром порядка 0,05 мм и приложить к электродам напряжение всего 100 В. Этого оказывается достаточно, чтобы сварить между собой, например, две стальные бритвы толщиной 0,1 мм. Аналогично можно сваривать тонкие пластины из никеля, железа, алюминия, латуни, меди, а также две пластины из разных металлов (например, пластину из меди, алюминия, железа, титана). В наших исследованиях толщина используемых пластин составляла 0,1–0,4 мм. Диаметр проволок из меди, никеля и стали составлял 0,15–0,05 мм. Сварка пластин происходила практически при каждом пробое разрядного промежутка. Максимальный разрядный ток при пробоях изменялся в интервале 10–50 А. Для его регулирования использовалось балластное сопротивление в разрядной цепи, значение которого варьировалось в пределах нескольких ом.

Осциллографирование процесса осуществлялось прибором TDS 2024 с полосой пропускания 200 МГц. На рис. 2 нижняя осциллограмма характеризует изменение напряжения на балластном сопротивлении 5 Ом в цепи разряда. Максимальное значение тока в данном случае около 16 А. На верхней осциллограмме рис. 2 показано изменение

<sup>\*</sup> 1 мм рт. ст.=133,322 Па.

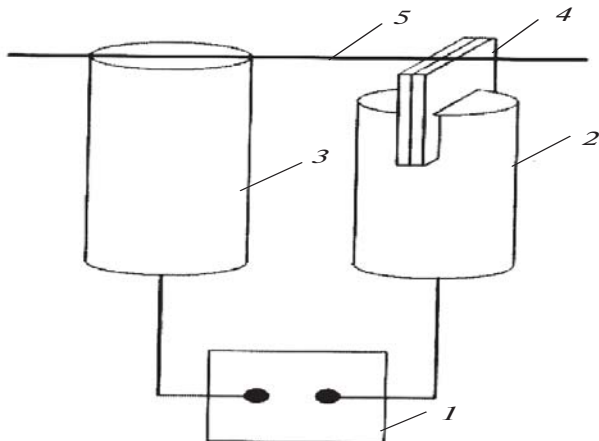


Рис. 1. Устройство для электросварки металлических пластин

напряжения на этом же сопротивлении с последовательно соединенным с ним разрядным промежутком. Длительность импульса в опытах менялась от 0,01 до 0,05 с. При параметрах разряда, соответствующих рис. 2, она составляет около 0,014 с. Температура катода в разряде достигала значений, превышающих 3500 К, что свидетельствует о возможности сварки тонких вольфрамовых пластин.

На рис. 3,а показан фрагмент шва свариваемых металлических пластин при однократном пробое разрядного промежутка между электродами. При обычной электросварке между электродами пропускается большой электрический ток, происходит интенсивное непрерывное испарение металла, в парах которого возникает самостоятельный стационарный дуговой разряд. В таких условиях тонкие пластины мгновенно испаряются. В предлагаемом нами способе сварки тонких металлических пластин при подаче напряжения на электроды, замкнутые накоротко проволокой 5, по ней (см. рис. 1) протекает электрический ток. Он плавит и испаряет проволоку, а также локально разогревает катод в месте его контакта с проволокой. Ионы, возникающие при ионизации между электродами в разрядном промежутке, наночастицы металла, атомы и

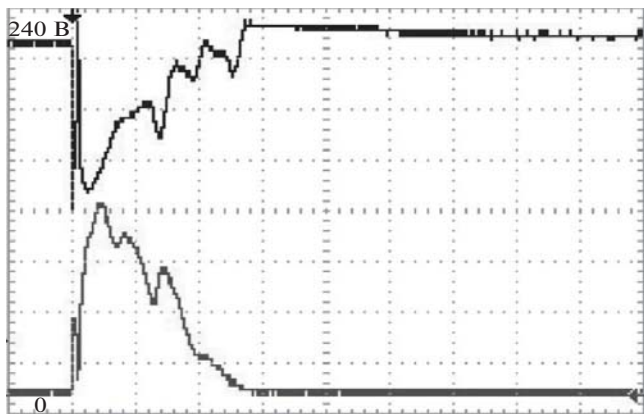


Рис. 2. Оциллограммы напряжения (масштаб по оси времени 5 мс)

молекулы, а также световые кванты бомбардируют катод, разогревая его. Над электродами образуется светящийся шар [4] (рис. 4) диаметром десять и более сантиметров. На рисунке шар виден на фоне листов ватмана и темной горизонтальной реперной линии. Электроды расположены под шаром. Температура катода не достигает значения, необходимого для образования стационарного самостоятельного разряда. Разряд оказывается несамостоятельным [5], поскольку он прекращается с выходом атомов металла испаряющейся проволоки на электроды и в окружающую среду, несмотря на приложенное между электродами напряжение. Однако, хотя температура катода оказывается недостаточной для зажигания самостоятельного разряда и не достигает значений, требуемых при обычной электросварке, она достаточна для сваривания тонких металлических пластин. При этом следует заметить, что, несмотря на то, что проволока, инициирующая газовый разряд, касается свариваемых пластин только в одной точке, образуется протяженный сварной шов по обе стороны от места соприкосновения пластин и проволоки (см. рис. 3,а). Длина шва, образующегося в процессе сварки, достигает 1,5–2 см. Последнее обстоятельство можно объяснить тем, что эмиссия электронов в разряде происходит преимущественно вдоль шва свариваемых пластин, где локализованы микровыступы, около которых напряженность электрического поля велика.

Показанное на рис. 3,а изображение шва двух никелевых пластин (толщиной 0,15 мм) получено с помощью растрового электронного микроскопа LE01455VP. Характерная бугристость шва объясняется действием капиллярных сил поверхностного натяжения. Ее удастся ликвидировать, если расположить свариваемые пластины не горизонтально, а вертикально. Шов без бугристости показан на рис. 3,б, где представлены две сваренные пластины из кровельного железа толщиной 0,2 мм. Однородность сварного шва в этом случае достигается, по-видимому, за счет стекания капель расплавленного металла под действием силы тяжести.

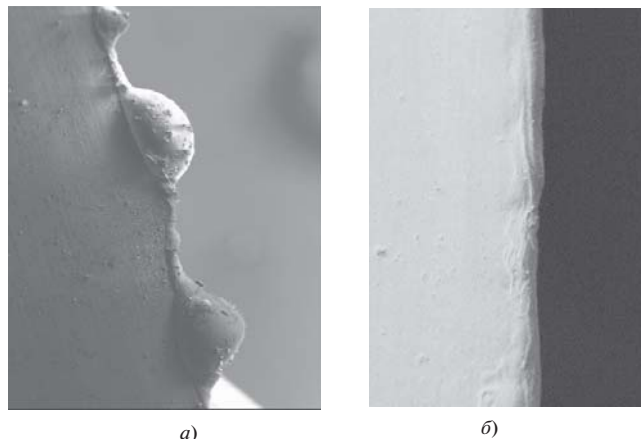


Рис. 3. Горизонтальный (а) и вертикальный (б) сварные швы



Рис. 4. Светящийся шар над электродами

На рис. 5 представлены результаты определения химического состава сварного шва (спектр 22) и материала пластин – никеля (спектр 23), полученные с помощью рентгеновского анализатора спектра Oxford. Из сопоставления этих спектров видно, что в процессе сварки происходит очистка исходного металла шва. В спектре шва отсутствует примесь алюминия (имеется в металле (никеле) пластин), нет и следов медной проволоки, которая использовалась для инициирования разряда, т.е. загрязнения шва медью не происходит.

Заметим, что сварка металлов происходит также и тогда, когда обе свариваемые пластины помещаются на аноде, который нагревается (как и катод) из-за бомбардировки его электронами, отрицательными ионами и световыми квантами. Возможность сильного и даже более интенсивного по сравнению с катодом разогрева анода была известна еще П.Н. Яблочкову, о чем упоминается в историческом обзоре [6].

**Выводы.** 1. Используя явление плавления и испарения тонких проволок электрическим током, можно сваривать металлические пластины, применяя их в качестве электродов при осуществлении низковольтного импульсного газового разряда в воздухе при атмосферном давлении.

2. При контакте проволоки и свариваемых пластин только в одной точке образуется однородный протяженный сварной шов длиной до двух сантиметров по обе стороны от места контакта пластин и проволоки.

3. В предлагаемом способе сварки используются низкие, не превышающие 240 В, напряжения, максимальные разрядные токи составляют 10–50 А при пробоях.

Авторы выражают признательность Э.И. Рау, Р.А.Сеннову и В.М. Шахпаронову за оказанную помощь в работе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Теория** сварочных процессов/Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988.

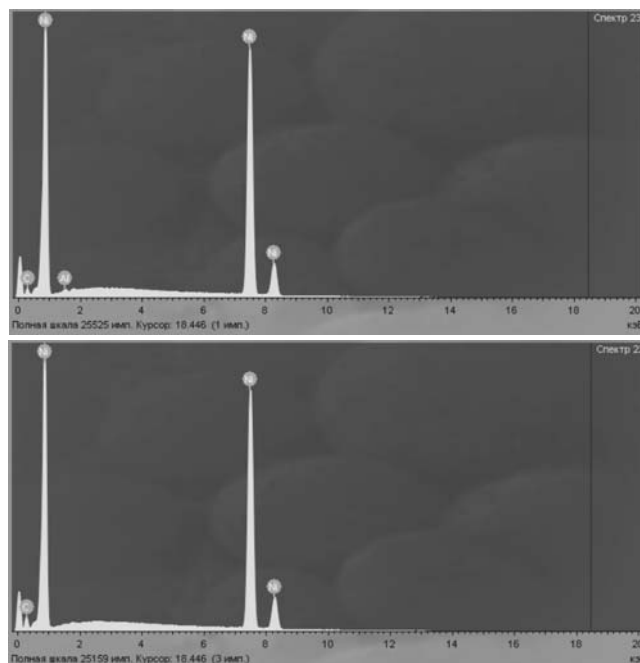


Рис. 5. Рентгенограммы: спектр 23 – спектр точки исходного материала (Ni); спектр 22 – спектр точки сварного шва

2. **Патент РФ** на изобретение № 2368472. Способ торцевой сварки тонких металлических пластин/Р.Н. Кузьмин, Н.А. Мискинова, Б.Н. Швилкин, 2009.

3. **Радиофизическая электроника**/Под ред. Н.А. Капцова. – М.: Изд-во МГУ, 1960.

4. **Кузьмин Р.Н., Мискинова Н.А., Швилкин Б.Н.** Лабораторная модель шаровой молнии. – Химическая физика, 2006, т. 25, №3.

5. **Патент РФ** на изобретение № 2388192. Способ нагрева катода и зажигания дугового разряда с металлической проволокой между электродами/Р.Н. Кузьмин, Н.А. Мискинова, Б.Н. Швилкин, 2010.

6. **Капцов Н.А.** Павел Николаевич Яблочков. – М.: ГИТТЛ, 1957.

[22.11.10]

*Авторы: Кузьмин Рунар Николаевич окончил Московский инженерно-физический институт в 1955 г. В 1969 г. защитил докторскую диссертацию «Применение эффекта Мессбауэра в структурных исследованиях кристаллов» на физическом факультете Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ). Профессор кафедры физики твердого тела физического факультета МГУ.*

*Мискинова Наталья Аркадьевна окончила физический факультет МГУ в 1965 г. В 1970 г. защитила кандидатскую диссертацию «Исследование катафореза в бинарных смесях» на физическом факультете МГУ. Профессор кафедры физики Московского технического университета связи и информатики.*

*Швилкин Борис Николаевич окончил физический факультет МГУ в 1960 г. В 1993 г. защитил докторскую диссертацию «Неустойчивости газоразрядной плазмы низкого давления» в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова. Ведущий научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ.*