

УДК 537.525

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДУГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ И НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ МЕЖДУ ТВЕРДЫМ И ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОДАМИ

© 2020 г. Л. Н. Багаутдинова¹, *, Р. Ш. Садриев², Аз. Ф. Гайсин³, Р. Т. Насыбуллин²,
Ф. М. Гайсин¹, И. М. Галеев¹, Ш. Ч. Мастюков¹

¹Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, Казань, Россия

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Набережные Челны, Россия

³Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

*E-mail: lilup@bk.ru

Поступило в редакцию 20.11.2019 г.

После доработки 20.11.2019 г.

Принято к публикации 24.12.2019 г.

Представлены результаты экспериментального исследования дуги переменного тока между твердым и жидким электродами при низких частотах и атмосферном давлении. Установлено формирование дуги при частоте 33.3 Гц. Приведены осциллограмма и вольт-амперная характеристика в одном полупериоде дуги переменного тока между медным электродом и технической водой. Представлены вольт-амперные характеристики дугового разряда между пластинчатыми металлическими электродами и технической водой.

DOI: 10.31857/S0040364420030035

ВВЕДЕНИЕ

Исследование электрических разрядов переменного тока между твердым и жидким электродами представляют большой практический интерес. Особенностью является использование их как генераторов дуговой плазмы малой мощности, применяемых для сварки, резки и нагрева металлов. Для разработки новых технологических устройств по обработке металлов плазмой электрической дуги требуется знание ее электрических, тепловых и газодинамических характеристик. Необходимость определения и анализа параметров электрической дуги связана с тем, что в этих технологических процессах основную роль при различных процессах играют термическое и динамическое воздействие электрической дуги на твердые материалы.

На характеристики электрической дуги оказывают влияние большое число параметров. Исследования пульсаций тока и напряжения электрического разряда имеют важное значение при расчетах характеристик плазмы электрического разряда. При анализе осциллограмм колебаний напряжения и тока для разных источников плазмы показано, что в колебаниях присутствуют как низкочастотные, так и высокочастотные составляющие [1–5]. С помощью преобразования Фурье определен частотный спектр данных пульсаций [1, 2]. При понижении давления до 2 кПа наблюдается сглаживание пульсаций тока [6, 7],

а также изменение характера вольт-амперных характеристик (ВАХ) при переходе от тлеющего разряда к аномально тлеющему и нормально тлеющему [8, 9].

Паровоздушные разряды переменного и постоянного тока при пониженном и атмосферном давлении можно использовать как источники низкотемпературной плазмы. Применение дуги постоянного тока до 15 А при частоте 50 Гц приведено в работе [10]. При этом источник питания обеспечивал изменение частоты разрядов от 50 до 25 импульс/с с паузами через один и два периода питающей сети, что использовалось для плазменной сварки легкоплавких сплавов. Было показано [10], что при одновременном зажигании между электродами плазматрона дежурной дуги постоянного тока и подачи на электрод положительного относительно изделия напряжения достигается стабильность сварки даже при малых токах и качественная сварка цветных металлов малых толщин.

Несмотря на практическую ценность низкочастотных разрядов переменного тока, протекающие в них физические процессы, механизмы и характеристики остаются малоизученными как экспериментально, так и теоретически.

Целью данной работы является исследование дугового разряда переменного тока между твердым и жидким электродами при частоте 33.3 Гц и атмосферном давлении.

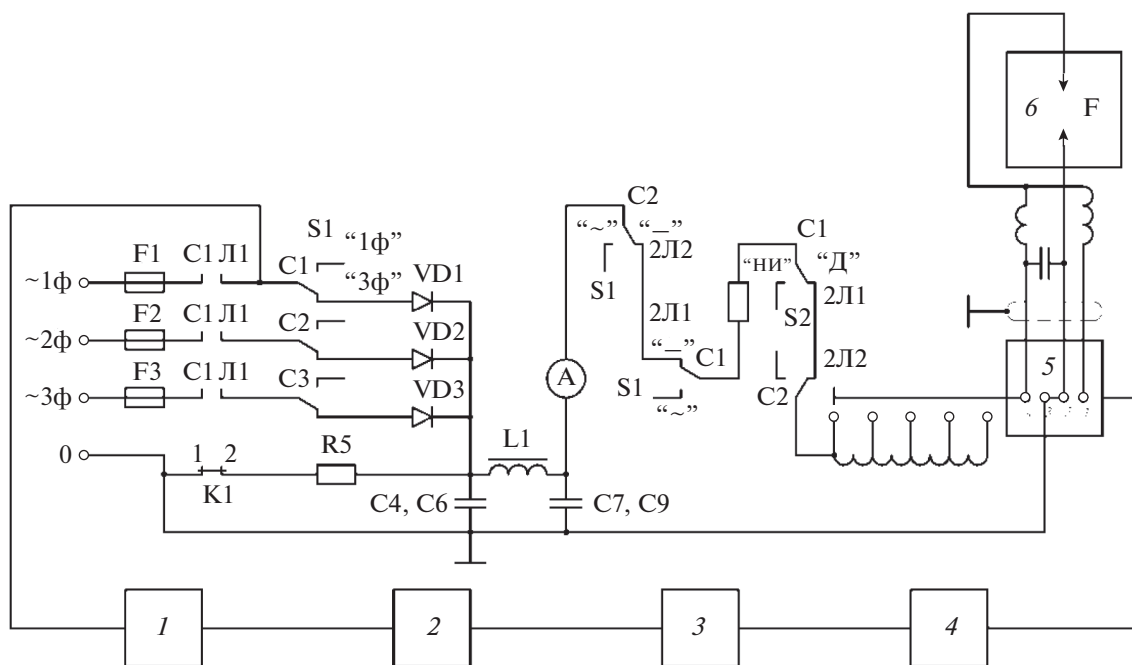


Рис. 1. Блочная принципиальная схема дуги постоянного и переменного тока малой мощности: 1 – фазовращатель, 2 – компаратор нулевого уровня, 3 – схема пересчета, 4 – формирователь запускающих импульсов, 5 – генератор поджигающих импульсов, 6 – аналитический промежуток.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальная установка предназначена для исследования особенностей дуги переменного тока малой мощности между твердым и жидким электродами при низких частотах и атмосферном давлении. Блочная принципиальная схема установки, реализующей перечисленные условия, представлена на рис. 1. Установка состоит из трех основных частей: источника постоянного и переменного тока, силовой разрядной цепи дуги, электронной схемы поджига дуги в межэлектродном промежутке.

Источником питания дуги постоянного тока до 15 А является выпрямленный (вентили VD1, VD2, VD3) трехфазный ток сети переменного тока 380 В, 50 Гц. Для уменьшения пульсаций тока в разрядный контур включен индуктивно-емкостный фильтр, индуктивность L1 с железным сердечником 2000 мкГн. Поджиг дуги постоянного и переменного тока в межэлектродном промежутке производится генератором поджигающих импульсов. Снятие остаточного заряда с электродов межэлектродного промежутка после выключения источника (разрыв контактов в каждой фазе питающей сети) производится с помощью разрядного резистора R5, подключаемого параллельно межэлектродному промежутку при замыкании контактов 1–2 магнитного пускателя K1.

Источник при работе обеспечивает: высокую воспроизводимость повторной установки фазы поджига дуги из-за использования дискретных параметров фазовращателя; независимость установки фаз поджига от частоты и полярности разряда дуги, а также колебаний напряжения питающей сети в регламентируемых пределах 220 ± 11 В; изменение частоты разрядов униполярной пульсирующей дуги от 50 до 25 импульс/с с паузами через один и два периода питающей сети, что важно при сварке легкоплавких металлов.

ВАХ разряда измерялись с помощью вольтметров М367 класса точности 0,5, амперметра Ц4311 класса точности 0,5 и мультиметра МУ68 класса точности 0,5. Относительные погрешности измерения напряжения разряда не превышали 1,5%. Для каждого набора значений межэлектродного расстояния и материала электродов регистрация параметров разряда проводилась не менее семи раз. Фотографирование разряда осуществлялось фотоаппаратами 10-мегапиксельным цифровым зеркальным Canon 400D, пленочным зеркальным “Зенит-120”. Видеозапись разряда велась на трехматричную 10-мегапиксельную видеокамеру JVC GZ-HD7ER.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты экспериментальных исследований дуги переменного тока малой мощности между

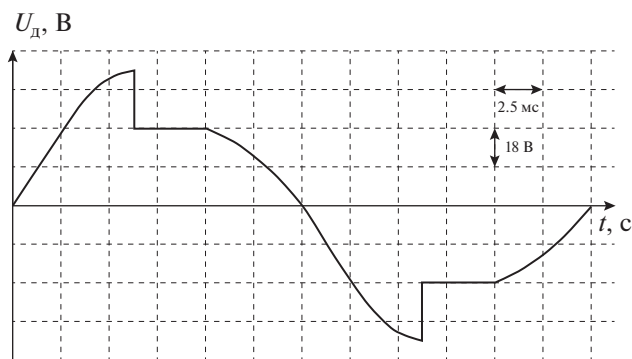


Рис. 2. Осциллограмма дуги переменного тока между медным электродом и технической водой при частоте разряда 33.3 Гц.

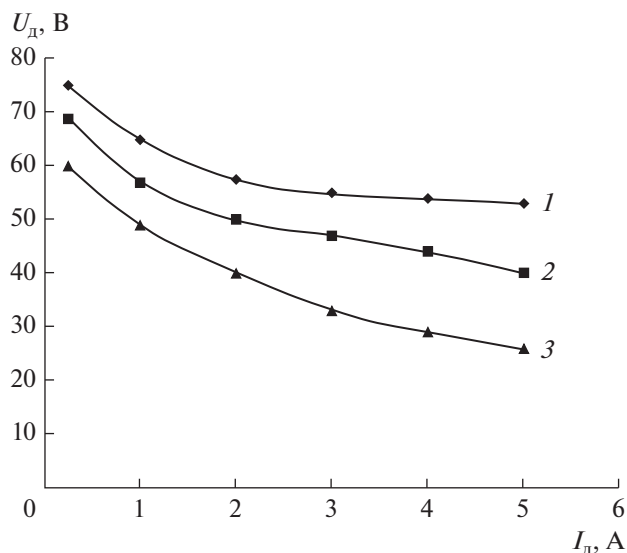


Рис. 4. ВАХ разрядов между пластинчатыми металлическими электродами и технической водой при межэлектродном расстоянии 5 мм.

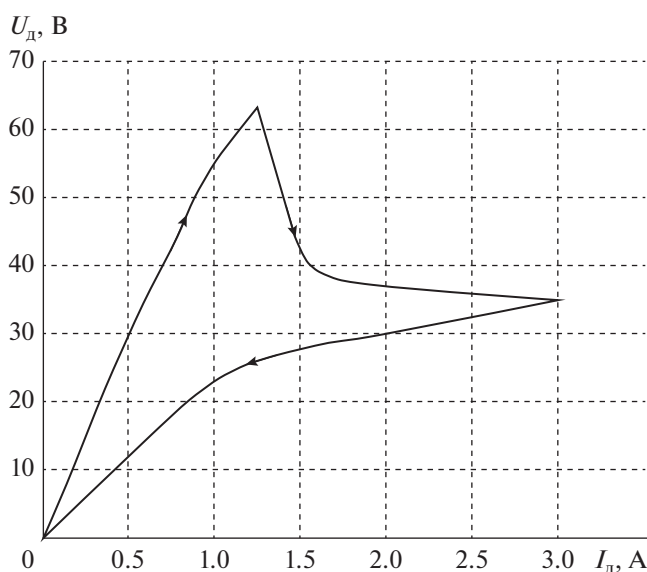


Рис. 3. ВАХ дуги переменного тока между медным электродом и технической водой в одном полупериоде.

твердым и жидким электродами при низких частотах $f = 33.3$ Гц и атмосферном давлении представлены на рис. 2–4.

На рис. 2. показана осциллограмма дуги переменного тока между медным электродом и технической водой при частоте разряда $f = 33.3$ Гц. Особенностью данной дуги переменного тока является ее поведение с течением времени. Каждый полупериод напряжение дугового разряда проходит через нулевую точку и ток меняет направление. В связи с этим меняется и полярность электродов. Каждый раз происходит погасание и зажигание электрической дуги. При угасании дуги в межэлектродном промежутке происходят процессы деионизации и увеличения потенциала на электродах. При этом ток дуги и напряжение источника питания совпадают по фазе. Электриче-

ская дуга при определенных условиях может существовать с паузой тока и без нее в момент перехода тока через нуль. С целью обеспечения зажигания и поддержания непрерывного горения дуги в цепь последовательно с ней включена катушка индуктивности.

На рис. 3 приведена ВАХ дуги переменного тока между медным электродом и технической водой в одном полупериоде. В момент ступенчатого уменьшения напряжения ток дуги меняется от 1.25 до 1.5 А. С дальнейшим уменьшением напряжения от 40 до 35 В ток резко возрастает от 1.5 до 3 А. С течением времени напряжение и ток дуги уменьшаются до нуля.

На рис. 4 показаны ВАХ разрядов между пластинчатыми металлическими электродами и технической водой при межэлектродном расстоянии 5 мм, ширина электродов — 25 мм, толщина — 0.7 мм. В качестве металлических электродов использовались стальные (кривая 1), латунные (2) и медные (3). Из анализа ВАХ рис. 4 следует, что напряжение горения дуги плавно уменьшается с ростом тока для различных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые выявлены особенности горения дуги переменного тока малой мощности между твердым и жидким электродами при низких частотах $f = 33.3$ Гц и атмосферном давлении.

2. Показана динамика развития дуги переменного тока между медным электродом и технической водой в одном полупериоде.

3. Установлено влияние материала пластинчатого электрода на напряжение горения дуги переменного тока малой мощности при низких частотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Галимзянов И.И., Гайсин Ал.Ф., Фахрутдинова И.Т., Шакирова Э.Ф., Ахатов М.Ф., Каюмов Р.Р.* Некоторые особенности развития электрического разряда между струйным анодом и жидким катодом // ТВТ. 2018. Т. 56. № 2. С. 306.
2. *Фахрутдинова И.Т., Гайсин Аз.Ф., Сон Э.Е., Галимзянов И.И., Гайсин Ф.М., Мирханов Д.Н.* Об особенностях электрического разряда между струйным анодом и металлическим катодом // ТВТ. 2017. Т. 55. № 6. С. 775.
3. *Багаутдинова Л.Н., Гайсин А.Ф., Мастюков Ш.Ч., Абдуллин И.Ш.* Экспериментальные исследования колебаний напряжения и тока электрического разряда в электролитической ячейке с твердым электродом // Вестн. Казанск. технол. ун-та. 2011. № 23. С. 79.
4. *Насибуллин Р.Т., Гайсин Ал.Ф.* Колебания тока электрического разряда между электролитическим катодом и металлическим анодом // Междун. конф. "Физика высокочастотных разрядов", посвященная 100-летию со дня рождения Г.И. Баба-та: Казань: КГТУ, 2011. С. 188.
5. *Гайсин Ал.Ф., Саримов Л.Р.* Колебания напряжения электрического разряда между металлическим катодом и электролитическим анодом // Междун. конф. "Физика высокочастотных разрядов", посвященная 100-летию со дня рождения Г.И. Баба-та: Казань: КГТУ, 2011. С. 190.
6. *Гайсин Ал.Ф., Гумеров А.З., Саримов Л.Р., Насибуллин Р.Т.* Исследование колебаний тока электрического разряда между металлическим и электролитическим электродами при атмосферном и пониженных давлениях // Науч.-техн. вестн. Поволжья. 2011. № 6. С. 29.
7. *Гайсин Ал.Ф., Насибуллин Р.Т.* Об особенностях электрического разряда между электролитическим катодом и металлическим анодом // Физика плазмы. 2011. Т. 37. № 10. С. 959.
8. *Багаутдинова Л.Н., Гайсин Аз.Ф., Абдуллин И.Ш., Гасимова Л.Ш., Гайсин Ф.М., Леушка М.А., Гайсин Ал.Ф.* Некоторые характеристики низкочастотного разряда с жидким электродом // Вестн. Казанск. технол. ун-та. 2013. Т. 16. № 19. С. 296.
9. *Хазиев Р.М.* Характеристики паровоздушного разряда переменного тока с электролитическими электродами при пониженном и атмосферном давлениях. Автореф. дис.канд. техн. наук. Казань: КГТУ, 2004. 14 с.
10. *Садриев Р.Ш.* Дуговой разряд малой мощности в паровоздушной среде и в струе электролита при атмосферном давлении. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань: КГТУ, 2008. 18 с.