

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ РЕАКТОРОВ В УСТРОЙСТВАХ ОЧИСТКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ СТОКОВ

На сегодняшний день разработаны и широко применяется множество атмосферных методов нанесения покрытий, заключающихся в нагреве мелких частиц материала покрытия до расплавленного, полурасплавленного или ионизованного состояния, их ускорении потоком газа, пламени или плазмы до высоких скоростей (100...1000 м/с) и последующем осаждении на поверхность детали. Эти методы повышают износостойкость, механическую и термическую сопротивляемость, коррозионную устойчивость, антифрикционные свойства материалов.

В промышленности освоено нанесение покрытий из карбидов, окислов (алюминия, титана, хрома, вольфрама) и чистых металлов.

Одним из методов получения порошков чистых и окисленных металлов может служить метод электроимпульсной очистки гальванических стоков [1] с одновременной утилизацией отходов механообработывающих производств (порошки металлов и их окислов имеют размеры 2...70 мкм).

Этот метод основан на использовании электроразрядного реактора [2] с низковольтным электрическим разрядом в среде гальваностоков.

При работе электроразрядного реактора существенное значение имеет организация процесса электрических разрядов. В работе [3] показано, что имеется оптимальное значение энергии, вводимой за единственный разряд, при котором удельное значение выбрасываемого из лунки металла и количество образованного коагулянта имеют максимум.

При работе реактора реализуется последовательно-параллельная схема индивидуальных разрядов в загрузке.

Количество последовательных разрядов зависит от межэлектродного расстояния (рис. 2), среднего размера частиц загрузки, зазора между ними примесей в гальваностоках, материала и состояния поверхности элементов материала засыпки [1].

В табл. 1 и 2 приведено число пробоев межэлектродного зазора в водопроводной воде и ГС в зависимости от напряжения на межэлектродном зазоре и величины зазора δ на полированных электродах и стальной стружке. Каждая экспериментальная точка получена осреднением по выборке из 30 разрядов конденсаторной батареи. Схема измерительной установки выполнена на основе приведенной в работе [4].

Анализ приведенных в таблицах данных показывает, что при использовании гальваностоков и стружки количество пробоев при прочих равных условиях (величина зазора и напряжение) возрастает.

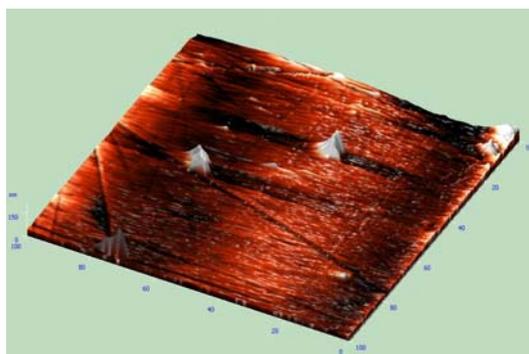
Таблица 1 – Количество пробоев межэлектродного зазора в водопроводной воде и гальваностоках на стальных полированных электродах

$\delta, 10^{-6}\text{м}$	Водопроводная вода			Гальваностоки		
	Напряжение, В			Напряжение, В		
	30	50	70	30	50	70
<1	17	19	30	21	27	30
1	20	23	30	24	30	30
2	22	24	30	24	30	30
3	22	23	28	22	30	30

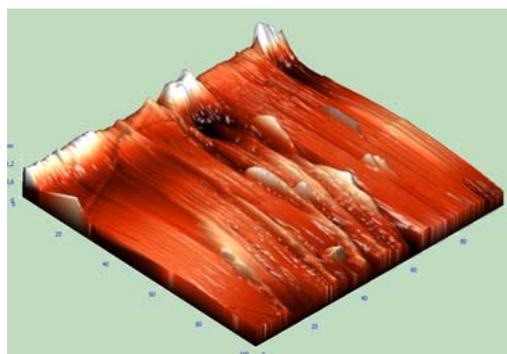
Таблица 2 – Количество пробоев межэлектродного зазора в водопроводной воде и гальваностоках на стальной стружке

$\delta, 10^{-6}\text{м}$	Водопроводная вода			Гальваностоки		
	Напряжение, В			Напряжение, В		
	30	50	70	30	50	70
<1	29	30	30	30	30	30
1	30	30	30	30	30	30
2	29	30	30	30	30	30
3	30	30	30	30	30	30

На рис. 1 приведены фотографии поверхностей стального электрода и стальной стружки, полученные на зондовом микроскопе Solver PRO NT-MDT. На поверхности металла четко просматриваются микролунки и микронеровности. На стружке их значительно больше и они имеют более рельефный характер.



а



б

Рисунок 1 – Фотографии поверхности стальных электродов: а – полированный электрод; б – стружка

Наиболее важной характеристикой процесса пробоя является напряжение пробоя $U_{пр}$. Для определения величины этого напряжения проводились прямые измерения по следующей схеме. В стеклянную трубку, которая располагалась вертикально, заливались гальваностоки и засыпались либо стальные окатыши, либо гранулы алюминия диаметром 3...7 мм. От внешнего источника питания подавалось постоянное

напряжение, величина которого медленно повышалась. При достижении определенного напряжения происходил пробой между частицами. Зная подводимое напряжение U_0 и число контактов между частицами n , определяли напряжение пробоя

$$U_{пр} = \frac{U_0}{n}. \quad (1)$$

Для каждого из материалов эта величина определялась в ходе пяти последовательных измерений. Количество засыпаемых гранул изменялось от 8 до 15. Было получено:

а) средняя величина пробойного напряжения при засыпке стальными окатышами $\bar{U}_{пр} = 21,4$ В;

б) средняя величина пробойного напряжения при засыпке гранулами алюминия $\bar{U}_{пр} = 27$ В;

в) абсолютная и относительная погрешности величины пробойного напряжения для каждого металла составили:

1) для стали $20 \Delta S_U = 0,53$ В; $\varepsilon_U = 6,9\%$;

2) для алюминия $\Delta S_U = 0,69$ В; $\varepsilon_U = 7,1\%$.

Большее значение $\bar{U}_{пр}$ при алюминиевой засыпке можно объяснить наличием на поверхности оксидной пленки.

Зная величину напряжения, подводимого к электродам реактора U_0 и пробойное напряжение $U_{пр}$, можно определить число последовательных контактов в засыпке реактора, где возникает разряд:

$$n_{посл} = \frac{U}{U_{пр}}. \quad (2)$$

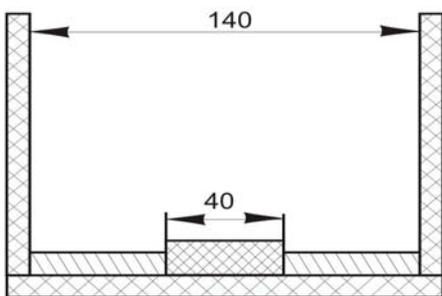


Рисунок 2 — Схема электроразрядного реактора

При используемой схеме реактора (электроды реактора расположены в одной плоскости) длина последовательных одновременно работающих цепей реактора будет различной. Это определяется различным расстоянием между электродами реактора, изменяющимся от $l_{\min} = 40$ мм до $l_{\max} = 140$ мм (рис. 2). Таким образом, схема разряда соответствует случаю с переменной длиной последовательной цепи. По мере нарастания

напряжения в импульсе пробой вначале развивается по треку минимальной протяженности, а затем по мере роста напряжения включаются более длинные разрядные цепи. В табл. 3 приведено максимальное ко-

личество точек пробоя $n_{\text{посл}}$ между соседними элементами загрузки (сталь, алюминий) в последовательной цепи разряда, определенное по напряжению пробоя зазора, в зависимости от напряжения на конденсаторной батарее U_0 .

Таблица 3 – Число точек пробоя $n_{\text{посл}}$ в последовательной цепи разряда при напряжении U_0

Материал	$U_0, В$				
	300	400	500	600	700
$n_{\text{посл}}$					
Сталь 20	14	19	24	28	33
Алюминий	11	15	19	22	26

На основе полученных значений пробойного напряжения для стали и алюминия и размеров разрядной области реактора можно определить граничные значения рабочего напряжения реактора. При среднем диаметре частиц загрузки $d_{\text{ср}}=7$ мм, пробойном напряжении для стальной засыпки $\bar{U}_{\text{пр}}=21,4 В$, пробойном напряжении для алюминиевой засыпки $\bar{U}_{\text{пр}}=27 В$ возможное количество частиц, участвующих в разряде:

$$\text{– минимальное число } n_{\text{посл}} = \frac{40}{7} \approx 6;$$

$$\text{– максимальное число } n_{\text{посл}} = \frac{140}{7} \approx 20,$$

рекомендуемые значения рабочего напряжения реактора:
для стальной засыпки (стал 20):

$$U_{0\text{min}} = 21,4 \cdot 6 = 128,4 \text{ (В)};$$

$$U_{0\text{max}} = 21,4 \cdot 20 = 428 \text{ (В)};$$

для алюминиевой засыпки:

$$U_{0\text{min}} = 27 \cdot 6 = 162 \text{ (В)};$$

$$U_{0\text{max}} = 27 \cdot 20 = 540 \text{ (В)}.$$

Значение рабочих напряжений, выходящих за указанные границы, нецелесообразно по причинам:

– напряжение ниже минимального приводит к неустойчивой работе реактора;

– напряжение выше максимального приводит к неэффективному использованию энергии.

В течение импульсного разряда в засыпке реактора происходит возникновение параллельных пробойных цепочек. Это связано с резким

возрастанием активного сопротивления в цепочке предыдущего последовательного пробоя за счет:

- возникновения паровой полости между гранулами;
- разлета гранул с нарушением электрического контакта;
- магнитного обжатия разрядного канала собственным магнитным полем.

Количество параллельных разрядных цепей, одновременно существующих в течение одного разряда конденсатора, можно определить исходя из следующих соображений. Используя предположение о стабильной работе многоконтурного электроимпульсного станка [4], можно представить принципиальную схему разрядных цепей в генераторе (рис. 3), когда источником ЭДС является конденсаторная батарея.

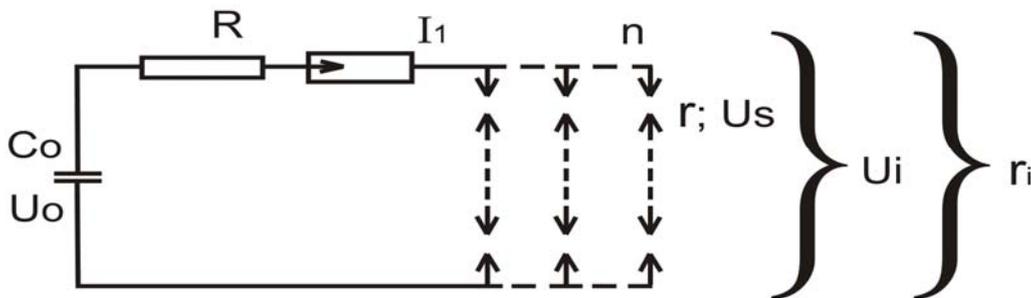


Рисунок 3 – Принципиальная схема разрядной цепи при работе электроразрядного генератора

На рисунке приняты следующие обозначения: C_0 – емкость конденсаторной батареи (внешний источник питания); U_0 – максимальное напряжение конденсаторной батареи; R – активное сопротивление всего генерирующего контура вместе с источником питания (без учета сопротивления разрядных промежутков в засыпке реактора); r – сопротивление одного разрядного промежутка между элементами засыпки; U_s – падение напряжения на разрядном промежутке при пробое: $U_s = I_1 \cdot r \cdot n_{\text{посл}}$, где I_1 – разрядный ток в последовательном разрядном канале; U_j – напряжение на электродах реактора в момент пробоя; r_j – сопротивление одной разрядной цепи: $r_j = r \cdot n_{\text{посл}}$.

Рассмотрим промежуток времени, равный длительности одного разрядного цикла конденсатора. После появления напряжения в цепи и до начала пробоя напряжение между элементами реактора возрастает в зависимости формы разрядного импульса конденсатора и в каждый момент времени является для всех элементов засыпки (электродов) одинаковым.

Когда напряжение U_j на электродах достигает величины U_1 , дос-

таточное для пробоя разрядных промежутков одной последовательной цепи гранул $n_{\text{посл}}$, происходит разряд.

Допустим, что вначале наиболее благоприятные условия для пробоя оказались на одной последовательной цепочке и по ней прошел разряд, в результате чего в этой цепи появился ток. Тогда напряжение в цепи упадет на величину U_s , равную падению напряжения на разрядном канале. Напряжение источника питания продолжает расти. Разряд в следующей разрядной цепи может возникнуть только в том случае, если напряжение возрастает до величины $U_2 \geq U_1$, в противном случае первый пробой произошел бы на второй цепочке или они произошли бы одновременно. Из аналогичных рассуждений следует, что

$$U_n \geq U_{n-1} \geq \dots \geq U_2 \geq U_1. \quad (3)$$

С другой стороны, напряжение U_2 на всех n возможных цепочках пробоя (кроме первой цепочки, где пробой уже произошел) к моменту пробоя второй цепочки гранул при величине напряжения U'_{02} (мгновенное значение напряжения в разрядной цепи, соответствующее ЭДС источника питания) определяем как

$$U_2 = U'_{02} - I_1 R, \quad (4)$$

где I_1 – ток в первом разрядном канале при напряжении U_2 на электродах.

К моменту пробоя n -го промежутка, полагая $U'_{0n} = U_0$, в соответствии с законом Ома для замкнутой цепи будем иметь

$$U_n = U_0 - \frac{U_0 - U_s}{1 + \frac{r_i}{R(n-1)}}. \quad (5)$$

Подставив значение U_n из (3) в выражение (5), получим

$$n = \frac{r_i(U_0 - U_1)}{R(U_1 - U_s)} + 1. \quad (6)$$

В последнем выражении величина r_i рассчитывается как произведение сопротивления одного разрядного промежутка на их количество в последовательной цепи, а величина U_1 определяется выражением

$$U_1 = U_0 - IR, \quad (7)$$

где I – ток, протекающий в общей цепи разрядного контура реактора; R – сопротивление общей цепи разрядного контура.

Таким образом, для рассматриваемого электроразрядного реактора с заданными геометрическими параметрами и электрическими характеристиками питания при стальной засыпке $C_0 = 20$ мкФ; $R = 0,05$ Ом; $U_0 = 600$ В; $r = 0,20$ Ом; $I_1 = 88,25$ А и количестве контактов $n_{\text{посл}}$ в пределах 6 – 20 получим, что количество параллельно существующих цепей разряда находится в диапазоне от 5 до 9. При этом общее число элементарных разрядов в последовательно-параллельной цепи реактора изменяется в пределах 30 – 180 (среднее число разрядов – 105).

Выводы

1. Рекомендуемое значение рабочего напряжения реактора, рассматриваемой геометрии

для засыпки из стали 20:

$$U_{\min} = 21,4 \cdot 6 = 128,4 \text{ (В)}; U_{\max} = 21,4 \cdot 20 = 428 \text{ (В)};$$

для алюминиевой засыпки:

$$U_{\min} = 27 \cdot 6 = 162 \text{ (В)}; U_{\max} = 27 \cdot 20 = 540 \text{ (В)}.$$

2. Общее число элементарных разрядов в последовательно-параллельной цепи реактора изменяется в пределах 30 – 180.

Список использованных источников

1. Кручина, В.В. Фізико-технічні процеси електроімпульсного диспергування струмопровідного матеріалу при утилізації виробничих відходів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.03.07 «Процеси фізико-технічної обробки» / В.В. Кручина. – Харків, 2010. – 20 с.

2. Левченко, В.Ф. Исследование процесса электроимпульсной очистки сточных вод [Текст] / В.Ф. Левченко, А.Н. Глупак. – Х.: ИПМаш, 1999. – 50 с.

3. Исследование гранулометрического состава порошков, образующихся при электроимпульсном диспергировании [Текст] / Кручина В.В., Гайдуков В.Ф., Нечипорук Н.В., Говоренко А.Д. // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е.Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (64).-Х., 2010. – С.148 – 155.

4. Намитоков, К.К. К вопросу о возникновении и развитии низковольтных разрядов [Текст] / К.К. Намитоков // Электроискровая обработка металлов. – М., 1963. – С. 44 – 55.

Поступила в редакцию 01.06.2012.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Н. Кобрин,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков*