

УДК 621.355.001.57

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АСИММЕТРИЧНОГО ТОКА
НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

Г. П. Сметанкин, А. С. Бурдюгов, Т. В. Плохова

*Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский
институт электровозостроения (ОАО «ВЭЛНИИ»)*

г. Новочеркасск, Ростовская обл., Россия

E-mail: velnii@novoch.ru

Поступила в редакцию 26.04.2012 г.

Проведено сравнение влияния параметров асимметричного тока на продолжительность процесса формирования никель-кадмиевых аккумуляторов. По совокупности полученных результатов формирования аккумуляторов НКМ-22 с тонкими прессованными кадмиевыми и металлокерамическими оксидноникелевыми электродами установлена перспективность применения асимметричного тока с параметрами, выбранными в ходе предшествующих экспериментов и примененными в данной работе. Форма импульса тока, которая дала наибольший прирост ёмкости, соответствует наиболее экономичному из диапазона параметров, определённых на моделях и предшествующими экспериментами. В частности, применение асимметричного тока с такими параметрами при формировании аккумуляторов НКМ-22 дало увеличение разрядной ёмкости по сравнению с формированием постоянным током на 11 %.

Ключевые слова: никель-кадмиевый аккумулятор, формирование аккумуляторов, тонкие электроды, параметры асимметричного тока.

Comparison of asymmetric current parameters influence on nickel-cadmium accumulators forming time is performed. According to the results of capacity forming of НКМ-22 accumulators with thin pressed cadmium and metal-ceramic electrodes, the perspective of application of asymmetric current with parameters chosen during experiments and used in this paper is established. Waveforms giving the biggest increase of capacity comply with the most economical parameters defined on models during experiments. In particular, application of asymmetric current with such parameters for НКМ-22 accumulators forming gave 11% increase of discharge capacity compared with direct current forming.

Key words: nickel-cadmium accumulator, accumulator formation, thin electrodes, asymmetric current parameters.

ВВЕДЕНИЕ

При производстве никель-кадмиевых аккумуляторов после их сборки следует технологический процесс формирования ёмкости и фазового состава активной массы электродов (далее – формирования), требующий значительных затрат времени и энергоресурсов. Интенсификация этого процесса является задачей, решаемой в настоящей работе.

Наиболее актуальная задача – сокращение времени формирования для аккумуляторов с тонкими электродами, в том числе с прессованными кадмиевыми и металлокерамическими оксидно-никелевыми электродами (МК ОНЭ). Так, в соответствии с существующими на сегодняшний день нормативными требованиями формирование аккумуляторов с МК ОНЭ постоянным током продолжается в течение нескольких недель.

Анализ факторов, ограничивающих интенсификацию электрохимических процессов в МК ОНЭ [1], показал, что при разработке способов формирования ёмкости необходимо принимать во внимание факторы, способствующие сохранению физико-химических свойств никелевой основы пористого металлокерамического электрода. Увеличению коррозии МК ОНЭ способствует высокая плотность тока, повышенная температура, а также перекрытие устьев пор газовыми пробками в условиях интенсивного газовыделения, что влечет за собой повышение плотности тока на отдельных участках электрода и локальные перенапряжения. При поляризации асимметричным током обратный импульс препятствует росту пузырьков газа, что снижает вероятность перекрытия устья пор и образования газовых пробок в МК ОНЭ. Это приводит к более равномерному распределению тока по объему МК ОНЭ, выравниванию плотности

тока по толщине и площади электрода и, как следствие, снижению вероятности возникновения коррозии.

На основании исследований имитационной модели, представленных в работе [2], были определены диапазоны изменения параметров асимметричного тока, обеспечивающие равномерное распределение тока по толщине и плотности электрода, а также взаимосвязь этих параметров. Диапазон частот асимметричного тока $f = (4-10)$ Гц, соотношение амплитуд катодного и анодного импульсов $n = I_k/I_a = 3-5$, коэффициент заполнения катодного импульса $\gamma = (0.04-0.10)$, паузы между импульсами $\tau^+ = \tau^- = 2$ мс.

Целью данной работы является экспериментальное уточнение параметров асимметричного тока, применение которого обеспечивает наибольшее сокращение продолжительности процесса формирования ёмкости при сохранении требуемых эксплуатационных характеристик аккумуляторов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для исследования были взяты пятнадцать свежизготовленных аккумуляторов НКМ-22, разделенных на три группы, по пять аккумуляторов в каждой.

Первую группу заряжали постоянным током $I_{зар} = 11$ А, эквивалентным половине номинальной ёмкости аккумулятора ($0.5C_{ном}$).

Вторую и третью группы аккумуляторов формировали асимметричным током со следующими параметрами: $f = 4$ Гц, $\tau^+ = \tau^- = 2$ мс. Для второй группы аккумуляторов соотношение амплитуд катодного импульса к анодному и коэффициент заполнения катодного импульса соответствовали нижнему пределу из рекомендованного в работе [2] диапазона. Среднее значение зарядного тока $I_{зар} = 11$ А, что эквивалентно $0.5C_{ном}$ (табл. 1).

При формировании аккумуляторов группы № 3 соотношение амплитуд катодного импульса к анодному и коэффициент заполнения катодного импульса соответствовали верхнему пределу из рекомендованного в работе [2] диапазона. Возможности зарядного устройства позволили сформировать асимметричный ток с выбранными параметрами со значением среднего тока не более 6.3 А, что эквивалентно $0.3C_{ном}$ (см. табл. 1).

Разряжали аккумуляторы всех трех групп постоянным током $I_{разр} = 11.0$ А. Процесс формирования аккумуляторов осуществляли до стабилизации разрядной ёмкости. Формирование закончили после проведения шести зарядно-разрядных циклов. Режимы формирования аккумуляторов представлены в табл. 2

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке представлен график изменения усреднённой ёмкости при формировании

Таблица 1
Значения средних, полных и амплитудных токов заряда испытываемых режимов асимметричного тока при формировании аккумуляторов НКМ-22

| Режим для групп аккумуляторов | γ | n | $I_{ср}$, А | $I_{пол}$, А | I^+ , А | I^- , А |
|-------------------------------|----------|-----|--------------|---------------|-----------|-----------|
| № 1 | 0.00 | 0 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | 0.0 |
| № 2 | 0.04 | 3 | 11.0 | 14.2 | 13.4 | 40.0 |
| № 3 | 0.10 | 5 | 6.3 | 22.7 | 16.4 | 82.0 |

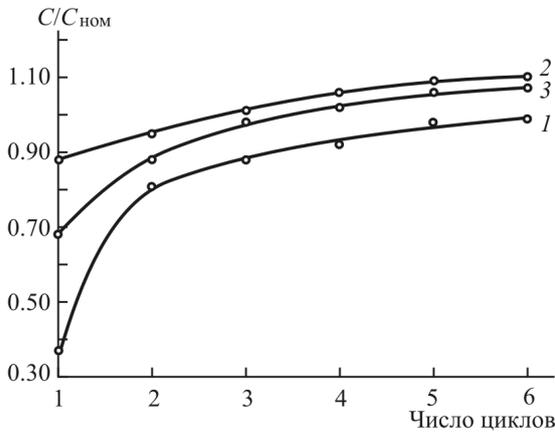
Примечание. $I_{ср}$ – средний зарядный ток ($I_{ср} = I^+ \cdot \gamma^+ - I^- \cdot \gamma^-$); $I_{пол}$ – полный ток ($I_{пол} = I^+ \cdot \gamma^+ + I^- \cdot \gamma^-$).

Таблица 2

Программа формирования аккумуляторов

| № группы | Количество аккумуляторов | Режим формирования | |
|----------|--------------------------|---|---------------|
| | | Зарядная ёмкость, $C_{зар}/C_{ном}$ для 1–6 циклов формирования | Зарядный ток |
| 1 | 5 | 1.0; 1.3; 1.5; 1.5; 1.6; 2.0 | Постоянный |
| 2 | 5 | 2.0; 2.0; 2.0; 2.0; 2.0; 2.0 | Асимметричный |
| 3 | 5 | 2.0; 2.0; 2.0; 2.0; 2.0; 2.0 | То же |

аккумуляторов группы № 1 постоянным током. После пятого цикла ёмкость составила 21.6 А·ч ($0.98C_{\text{ном}}$). Дальнейшее формирование не привело к увеличению разрядной ёмкости.



Изменение разрядной ёмкости при формировании аккумуляторов НКМ-22 различными режимами: 1 – постоянный ток, группа № 1; 2 – асимметричный ток, группа № 2; 3 – асимметричный ток, группа № 3

При формировании аккумуляторов групп № 2 и № 3 асимметричным током ёмкость росла до пятого цикла и составила 23.9 А·ч ($1.09C_{\text{ном}}$) для группы № 2 и 23.3 А·ч ($1.06C_{\text{ном}}$) для группы № 3. Следующий цикл формирования не привел к значительному увеличению ёмкости.

Превышение средней разрядной ёмкости аккумуляторов группы № 2 над средней разрядной ёмкостью аккумуляторов группы № 1 составило 11 %, а превышение средней разрядной ёмкости аккумуляторов группы № 3 над средней разрядной ёмкостью аккумуляторов группы № 1 составило 8 % (табл. 3).

Таблица 3

Ёмкость аккумуляторов после шести циклов формирования

| Номер группы | Номер аккумулятора | $C_{\text{разр}}$, А·ч | $C_{\text{ср}}$, А·ч | $C_{\text{ср}}/C_{\text{ном}}$ |
|--------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 1 | 1 | 20.8 | 21.6 | 0.98 |
| | 2 | 22.3 | | |
| | 3 | 22.7 | | |
| | 4 | 20.5 | | |
| | 5 | 21.5 | | |
| 2 | 6 | 23.8 | 23.9 | 1.09 |
| | 7 | 24.5 | | |
| | 8 | 23.2 | | |
| | 9 | 25.1 | | |
| 3 | 10 | 22.7 | 23.3 | 1.06 |
| | 11 | 22.2 | | |
| | 12 | 23.1 | | |
| | 13 | 24.1 | | |
| | 14 | 22.8 | | |
| | 15 | 24.4 | | |

Действие обратного импульса меняет характер и интенсивность газовыделения, что позволило сократить время на отгазовку между зарядом и разрядом для аккумуляторов второй и третьей групп в два раза. С учетом разрядов (для расчета время разряда принято равным двум часам) и перерывов на отгазовку общее время формирования составило 108 ч для аккумуляторов группы № 2 и 126 ч для аккумуляторов группы № 3 с учетом ограничений зарядного устройства. Общее время формирования постоянным током составило 174.2 ч (табл. 4–6).

Общее время формирования асимметричным током было сокращено в 1.7 раза для аккумуляторов

Таблица 4

Суммарное время шести циклов формирования аккумуляторов НКМ-22, рассчитанное для группы № 1

| Номер цикла | Время заряда, ч | Время на отгазовку, ч | Время разряда, ч | Суммарное время цикла, ч |
|-------------|-----------------|-----------------------|------------------|--------------------------|
| 1 | 2.0 | 24.0 | 2.0 | 28.0 |
| 2 | 2.6 | 24.0 | 2.0 | 28.6 |
| 3 | 3.0 | 24.0 | 2.0 | 29.0 |
| 4 | 3.0 | 24.0 | 2.0 | 29.0 |
| 5 | 3.6 | 24.0 | 2.0 | 29.6 |
| 6 | 4.0 | 24.0 | 2.0 | 30.0 |
| Всего | Σ 18.2 | – | – | Σ 174.2 |

Таблица 5

Суммарное время шести циклов формирования аккумуляторов НКМ-22, рассчитанное для группы № 2

| Номер цикла | Время заряда, ч | Время на отгазовку, ч | Время разряда, ч | Суммарное время цикла, ч |
|-------------|-----------------|-----------------------|------------------|--------------------------|
| 1 | 4.0 | 12.0 | 2.0 | 18.0 |
| 2 | 4.0 | 12.0 | 2.0 | 18.0 |
| 3 | 4.0 | 12.0 | 2.0 | 18.0 |
| 4 | 4.0 | 12.0 | 2.0 | 18.0 |
| 5 | 4.0 | 12.0 | 2.0 | 18.0 |
| 6 | 4.0 | 12.0 | 2.0 | 18.0 |
| Всего | Σ 24.0 | – | – | Σ 108.0 |

Таблица 6

Суммарное время шести циклов формирования аккумуляторов НКМ-22, рассчитанное для группы № 3

| Номер цикла | Время заряда, ч | Время на отгазовку, ч | Время разряда, ч | Суммарное время цикла, ч |
|-------------|-----------------|-----------------------|------------------|--------------------------|
| 1 | 7.0 | 12.0 | 2.0 | 21.0 |
| 2 | 7.0 | 12.0 | 2.0 | 21.0 |
| 3 | 7.0 | 12.0 | 2.0 | 21.0 |
| 4 | 7.0 | 12.0 | 2.0 | 21.0 |
| 5 | 7.0 | 12.0 | 2.0 | 21.0 |
| 6 | 7.0 | 12.0 | 2.0 | 21.0 |
| Всего | Σ 42.0 | – | – | Σ 126.0 |

муляторов группы № 2 и в 1.4 раза для аккумуляторов группы № 3 по сравнению со временем формирования постоянным током.

Сравнивая значения параметров асимметричного тока двух испытываемых режимов, представленных в табл. 2 и полученные результаты, необходимо отметить следующее:

а) при значении среднего тока формирования группы № 3 составляющем 57% относительно значения среднего тока формирования группы 2, итоговая средняя ёмкость аккумуляторов группы № 3 ниже средней ёмкости аккумуляторов группы № 2;

б) превышение средней разрядной ёмкости аккумуляторов группы № 2 над средней разрядной ёмкостью аккумуляторов группы № 1 составило 11 %, а превышение средней разрядной ёмкости аккумуляторов группы № 3 над средней разрядной ёмкостью аккумуляторов группы № 1 составило 8 %;

в) амплитудные значения анодного импульса тока формирования группы № 3 на 22 %, а катодного импульса на – 100 % выше, чем у тока формирования группы № 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование аккумуляторов асимметричным током привело к сокращению времени формирования и увеличению разрядной ёмкости по сравнению с формированием этих аккумуляторов постоянным током.

Более эффективным оказался асимметричный ток, примененный при формировании аккумуляторов группы № 2.

Установлено, что из исследуемого диапазона параметров асимметричного тока наиболее эффективным и технически простым в реализации является асимметричный ток, примененный при формировании группы № 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матекин С. С. Формирование и восстановление ёмкости никель-кадмиевых аккумуляторов и батарей : дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2007. 158 с.
2. Сметанкин Г. П., Матекин С. С., Бурдюгов А. С. // Электрохим. энергетика. 2009. Т. 9, № 1. С. 40–43.