

УДК 541.136

**В.А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ<sup>1</sup>, Ю.И. КАЗАЧА<sup>2</sup>, С.В. ШНУРОВОЙ<sup>2</sup>, С.В. БУРЫЛОВ<sup>1</sup>,  
В.Ю. СКОСАРЬ<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг»*<sup>2</sup> *ПАО Международная научно-промышленная корпорация «ВЕСТА», Украина*

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОКОТВОДОВ ДЛЯ СВИНЦОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

*Предложены усовершенствования способов изготовления токоотводов для электродов свинцово-кислотных аккумуляторов, которые позволяют: для батарей, работающих в условиях высоких вибронагрузок и глубоких разрядов, снизить стоимость путем сокращения длительности технологического цикла; для герметизированных батарей понизить удельную материалоемкость изделий путем снижения затрат свинца. Сокращение длительности изготовления достигнуто за счет разработки рационального режима искусственного старения литых токоотводов. А снижение затрат свинца получено на пути модернизации конструкции отрицательного просечного токоотвода и изменения состава его сплава.*

**Ключевые слова:** аккумуляторные батареи, изготовление токоотводов, отливка, просечка, механические свойства.

### Введение

Аккумуляторы широко используются во многих отраслях хозяйства: для запуска двигателей внутреннего сгорания; в качестве источников питания различного оборудования; для электротранспорта. Находят они применение и в авиационной технике. Это подтверждается фактом постоянного внимания к аккумуляторной теме и наличием соответствующих публикаций. Достаточно указать на работы, посвященные тестированию аккумуляторов [1], подбору специального оборудования для контроля технического состояния аккумуляторных батарей [2], а также разработке экспериментальных стендов для исследований и испытаний аккумуляторов [3]. Среди электрохимических аккумуляторов наиболее распространены свинцово-кислотные аккумуляторы, как самые дешевые и доступные. Технические характеристики и стоимость этих аккумуляторов существенно зависят от качества их электродов и технологии изготовления токоотводов для электродов.

### 1. Формулирование проблемы

Ранее нашими сотрудниками докладывались результаты разработки непрерывной технологии изготовления токоотводов для свинцово-кислотных батарей, причем, в первую очередь, речь шла о токоотводах из свинцово-кальциево-оловянных сплавов [4]. Эта технология позволяет повысить качество токоотводов, обеспечивает высокую производи-

тельность, но она не лишена недостатка. У технологии обнаружилось сложность на пути снижения материалоемкости изготовления токоотводов и, соответственно, повышения удельной энергии (по массе) свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. Со всем недавно были доложены результаты разработки новой технологии гравитационной отливки токоотводов из малосурьмянистого свинцового сплава для батарей, работающих в условиях высоких вибронагрузок и глубоких разрядов [5]. Суть ее состояла в использовании свинцового сплава, легированного 1,0-2,3 мас.% Sb, 0,10-0,15 мас.% As, 0,07-0,25 мас.% Sn, 0,015-0,030 мас.% Se, в модернизации конструкции положительного токоотвода, а также в применении искусственного старения отлитых токоотводов при температуре 60°C в течение 12 ч с последующим охлаждением еще 12 ч. Причем расположение токоотводов в процессе старения было горизонтальным, стопками, на картонных или деревянных листах на поддонах – с целью обеспечения устойчивости размещения [5]. Недостатком этой технологии, как и всех способов гравитационной отливки токоотводов, является невысокая производительность, связанная с длительностью ряда технологических операций, в частности, длительностью дисперсионного твердения для достижения токоотводами необходимых механических свойств. А это влечет повышение стоимости аккумуляторов.

Итак, в производстве свинцово-кислотных батарей, работающих в условиях высоких вибронагрузок и глубоких разрядов, актуальной остается

проблема дальнейшего снижения стоимости изделий путем сокращения длительности технологического цикла. А в производстве герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей актуальной является проблема повышения удельной энергии (по массе) изделий путем снижения материалоемкости.

Целью настоящей работы является усовершенствование технологий изготовления токоотводов для свинцово-кислотных аккумуляторов, которые позволили бы обеспечить изделиям снижение стоимости и снижения материалоемкости, в зависимости от варианта исполнения и области применения.

## 2. Решение проблемы

В качестве решения указанных задач нами предложены: а) модернизация технологии гравитационной отливки токоотводов из малосурьмянистого сплава, а именно, условий искусственного старения; б) использование непрерывной технологии изготовления токоотводов для герметизированных батарей, предполагающей просечку отрицательных токоотводов, с увеличением размера ячеек и изменения состава сплава. Наши эксперименты показали, что заметного сокращения технологического цикла изготовления литых токоотводов можно добиться на пути подбора рациональных условий искусственного старения, что существенно уменьшит время этой операции. Горизонтальное размещение токоотводов стопками с перекрытиями картонными или деревянными листами затрудняет обдув их горячим воздухом, что влечет ухудшение теплообмена, необходимого для ускорения дисперсионного твердения. Эта причина является основным недостатком технологии [5]. Нами предложено подвешивать токоотводы рядами на стеллажах, причем расстояния между рядами токоотводов по вертикали и горизонтали должны быть не менее 0,25 от линейного размера токоотводов, стеллажи должны не препятствовать обдуву воздухом, а обдув обеспечивать вентилятором производительностью не менее 200 м<sup>3</sup>/ч на один кубометр объема стеллажей с токоотводами. Стеллажи у нас размещаются в термокамере с температурой воздуха 60°C, мощность обдува ограничивается, исходя из условий недопущения пылеобразования при высыхании пасты, а максимальные расстояния между рядами токоотводов ограничиваются размерами термокамеры и стеллажей.

На рис. 1 приведено расположение рядов токоотводов, размещенных в подвешенном состоянии на стеллажах. Стеллаж представляет собой объемную конструкцию, образованную вертикальными и горизонтальными металлическими профилями. Горизон-

тальные профили образуют поверхности, на которых размещены ряды токоотводов. Конструкция стеллажа такова, что общая площадь профилей не превышает 5-10% общей площади конструкции стеллажа, что делает стеллаж «прозрачным» для обдува. Расстояние между поверхностями-уровнями стеллажа обеспечивает зазор по вертикали  $h$  не менее 0,25 от размера (высоты) токоотвода  $H$ . Зазор между соседними рядами токоотводов по горизонтали обеспечивается соответствующим расположением горизонтальных поперечных направляющих так, чтобы этот зазор был не менее  $h$ .

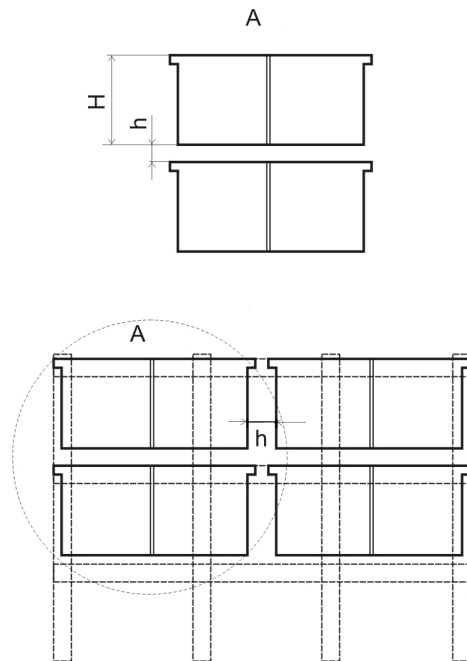


Рис. 1. Расположение рядов токоотводов на стеллажах

Эффективный теплообмен токоотводов с горячим воздухом, который реализован в нашей технологии, способствует равномерному прогреву токоотводов, их ускоренному дисперсионному твердению, и обеспечивает равномерный уровень механических свойств по всей плоскости решетки, в отличие от [5], где прогрев неравномерен, рамка нагревается больше, чем сетка жилок, что влечет неравномерность процесса старения и упрочнения.

Для сравнения качества токоотводов, полученных по технологии [5], и токоотводов по предлагаемой технологии, партии токоотводов подвергались испытаниям на разрыв усилием, прилагаемым к плоскости токоотвода в направлении вдоль и поперек «ушка». Первая партия токоотводов подвергалась искусственному старению в течение 10 ч с последующим остыванием в термокамере еще 11 ч; вторая партия токоотводов подвергалась искусственному старению на стеллажах с зазорами  $h = 0,3 H$  при скорости обдува горячим воздухом 4100 м<sup>3</sup>/ч на

20м 3 стеллажей в течение 6 ч с последующим остыванием еще 5 ч. Испытания на разрыв проводились на разрывной машине Р-0,5 с использованием специального приспособления, позволяющего производить нагружение токоотвода равномерно по всей плоскости решетки. Результаты сведены в табл. 1, из которой видно, что прочность токоотводов не стала меньше. Токоотводы были отлиты из одного свинцового сплава (1,7 мас.% Sb, 0,12 мас.% As, 0,11 мас.% Sn, 0,020 мас.% Se), температура воздуха в термокамере в обоих случаях составляла 60°C. Последующие испытания батарей с токоотводами, изготовленными по предлагаемой технологии, показали, что их характеристики не стали хуже.

Таблица 1  
Разрушающая нагрузка (кг)

№ п/п	Токоотводы по [5]		Токоотводы по предлагаемой технологии	
	Поперек ушка	Вдоль ушка	Поперек ушка	Вдоль ушка
1	53,3	28,1	53,5	34,5
2	60,9	31,4	48,1	30,5
3	58,0	28,5	63,1	33,8
4	55,0	30,3	68,3	32,1
5	50,3	31,5	63,1	34,3
6	63,1	28,5	47,3	32,3
7	55,6	32,0	57,7	29,8
8	58,3	33,5	63,5	30,5
9	63,3	27,6	61,0	30,4
Сред	<b>57,53</b>	<b>30,15</b>	<b>58,4</b>	<b>32,03</b>

Далее. Анализ известных технологий непрерывного изготовления токоотводов для герметизированных батарей убедил нас, что минимальной материалоемкости токоотводов и, соответственно, максимальной удельной энергии свинцово-кислотных аккумуляторов следует искать на пути выбора просечной технологии, путем ее дальнейшей модернизации. Токоотводы просечной конструкции наиболее легкие: у них отсутствуют боковые рамки, они легко допускают получение самых тонких жилок, они способны хорошо удерживать достаточно большой слой активной массы. Это значит, что в них допустимо увеличивать размер ячейки сетки жилок отрицательного токоотвода, сохраняя необходимую надежность фиксации активной массы. Произведенные нами оценки показали, что допустимо увеличение размеров ячейки от 8,4×12 до 10×18 мм<sup>2</sup> без заметного ухудшения электрических характеристик аккумуляторов, но дающее снижение материалоемкости. При этом для компенсации снижения механической прочности можно несколько увеличить содержание олова в сплаве: нижнюю границу повысить от 0,2 до 0,3 мас.%. Однако, оставался нерешенным вопрос бездефектного изготовления токоотводов.

В связи с этим нами были отлиты серийные Pb-Ca-Sn ленты шириной в пределах 75-90 мм. Состав используемого сплава по Ca был фиксирован в допустимых пределах 0,091-0,10 мас.%, тогда как содержание Sn менялось. Исследованию подвергались ленты, содержащие Sn: 0,30; 0,43; 0,54 и 0,63 мас.%. Ленты подвергались старению (в помещении аккумуляторного завода при температурах 22-25°C) и затем контролировались на механические характеристики на разрывной машине Р-0,5. На рис. 2 приведены результаты испытаний на величину временного сопротивления ленты на разрыв ( $\sigma_B$ ) при различном времени дисперсионного твердения. На рис. 3 приведены данные испытаний на относительное удлинение ленты ( $\delta$ ).

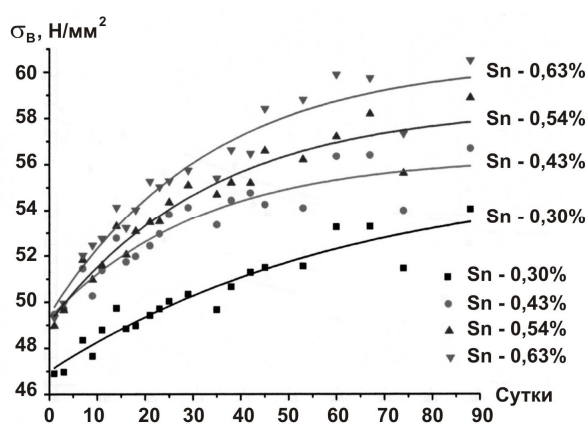


Рис. 2. Влияние срока старения и содержания олова на величину временного сопротивления ленты на разрыв

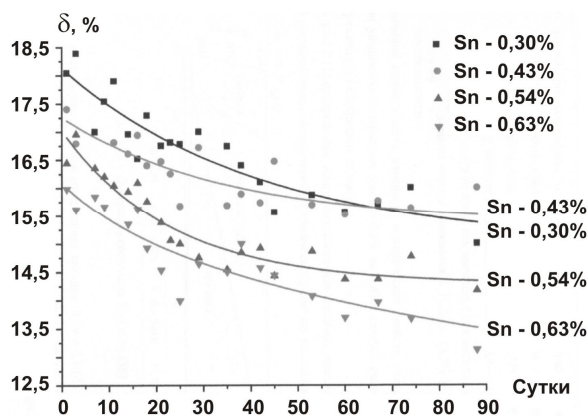


Рис. 3. Влияние срока старения и содержания олова на величину относительного удлинения ленты

Из рис. 2-3 видно, что увеличение содержания Sn от 0,30 до 0,43 мас.% приводит к заметному увеличению прочности:  $\sigma_B$  скачкообразно растет от 46,9 до 49,5 Н/мм<sup>2</sup>. Тогда как увеличение содержания Sn от 0,43 до 0,63 мас.% дает незначительный рост прочности. Но, в процессе старения ленты, со-

державшие Sn от 0,43 до 0,63 мас.%, обнаруживают тем более быстрый рост прочности, чем больше олова. В тоже время, увеличение содержания Sn с 0,30 до 0,63 мас.% приводит к снижению пластичности. Наиболее вероятной причиной заметного (скачкообразного) изменения механических свойств лент при увеличении содержания Sn от 0,30 до 0,43 мас.% следует считать изменения в структуре сплавов, отраженные на диаграмме тройной системы Pb-Ca-Sn (рис. 4). Как следует из рис. 4, при содержании Ca 0,09-0,10 мас.% (что соответствует нашим сплавам), концентрация Sn в сплаве около 0,4 мас.% является граничной для двух областей, характеризующих наличие разных фаз. При содержании Sn менее 0,4 мас.% в сплаве образуются фазы Pb и Pb<sub>3</sub>Ca. При увеличении содержания Sn свыше 0,4 мас.% в сплаве дополнительно появляется фаза Sn<sub>3</sub>Ca. Но механическая прочность этой фазы выше, чем у Pb<sub>3</sub>Ca [6], что и приводит к более высоким прочностным характеристикам.

После старения ленты подвергались просечке, согласно штатному процессу изготовления токоотводов. На лентах шириной 75 мм, изготовленных из сплава с оловом 0,54 и 0,63 мас.%, после просечки обнаруживались дефекты в виде обрыва жилок решетчатой сетки, причем, чем больше олова, тем больше было количество дефектов. Это связано с пониженной пластичностью указанных сплавов. Но такие же ленты, изготовленные из сплава с оловом 0,30 и 0,43 мас.%, просечку проходили без дефектов. Более широкие ленты 90 мм тоже проходили без дефектов просечку при содержании олова 0,30 мас.%, и они не нуждались в компенсации потери прочности путем увеличения олова в их сплаве.

Полученные результаты позволили установить необходимые контрольные параметры  $\sigma_B$  и  $\delta$  для бездефектной просечки лент, а также установить составы сплавов для серийных лент шириной 75 и 90 мм. В частности, для лент шириной 90 мм количество Sn в сплаве рекомендуется 0,2-0,4 мас.%, тогда как для более узких лент 75 мм - рекомендует-

ся повысить содержание Sn до 0,3-0,5 мас.%. При этом содержание Ca в обоих случаях сохранить на уровне 0,1 мас.%. Последующие технологические операции производства свинцово-кислотных аккумуляторных батарей с указанными лентами производились без дополнительных дефектов или сложностей. Весовые измерения показали, что, в зависимости от ширины применяемых лент и размеров токоотводов, экономия свинцового сплава для отрицательных токоотводов с увеличенным размером ячейки составляет 10,9-24,8 %. Испытания аккумуляторных батарей, в которых были применены новые облегченные токоотводы, продемонстрировали их соответствие требованиям стандартов и ТУ.

### Заключение

Полученные результаты позволяют сформулировать выводы и предложения:

- в производстве свинцово-кислотных батарей, работающих в условиях высоких вибронагрузок и глубоких разрядов, нами достигнуто значительное сокращение длительности операции искусственного старения литых токоотводов – в 2 раза;

- сокращение операции старения позволяет уменьшить длительность технологического процесса в целом, что способствует увеличению производительности труда и делает возможным дальнейшее снижение стоимости изделий;

- в производстве герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей нами достигнуто снижение материалоемкости отрицательных просечных токоотводов на 10,9-24,8 %;

- снижение материалоемкости делает возможным повышение удельной энергии (по массе) изделий.

Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на усовершенствование конструкции герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторов и аккумуляторных батарей с целью решения задачи повышения их удельной энергии.

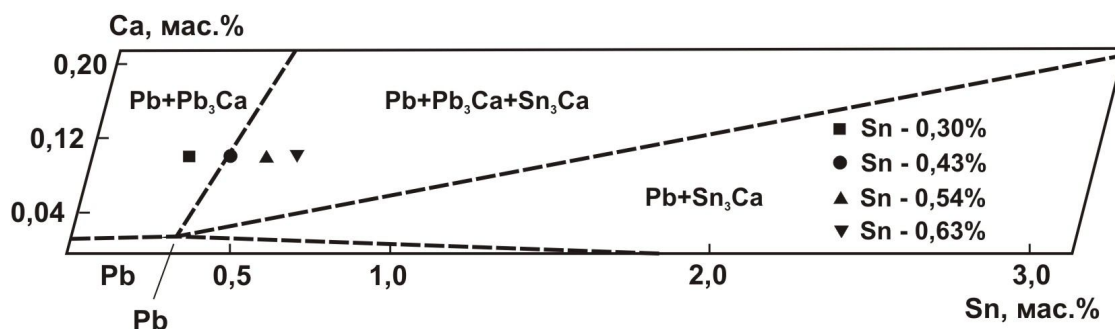


Рис. 4. Диаграмма состояния сплава Pb-Ca-Sn [7]

### Литература

1. Методы определения емкости электрохимических аккумуляторов [Текст] / К.В. Безручко, А.О. Давидов, С.В. Сидоренко, С.В. Ширинский // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 7(43). – С. 120-124.

2. Обзор и анализ оборудования для определения технического состояния электрохимических аккумуляторов [Текст] / А.Л. Азарнов, К.В. Безручко, А.О. Давидов, В.И. Лазненко, С.В. Синченко, С.В. Ширинский, А.А. Харченко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 4(81). – С. 44-49.

3. Безручко, К.В. Особенности построения экспериментальных стендов для исследований и испытаний электрохимических аккумуляторов [Текст] / К.В. Безручко, А.О. Давидов, С.В. Ширинский // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2012. – № 7(94). – С. 147-152.

4. Технология непрерывного изготовления токоотводов свинцово-кислотных аккумуляторов [Текст] / В.А. Дзензерский, С.В. Бурьлов, В.Ю. Скосарь, Д.В. Дзензерский, Ю.И. Скосарь, Ю.И. Казача, М.А. Незнанов, Е.В. Аникеев, Р.Н. Пономаренко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 7(43). – С. 125-129.

5. Разработка новой технологии изготовления литых токоотводов аккумуляторных батарей [Текст] / В.А. Дзензерский, Ю.И. Казача, В.А. Иванов, С.В. Бурьлов, В.Ю. Скосарь // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2012. – № 7(94). – С. 27-31.

6. Manufacturing and operational issues with lead-acid batteries [Text] / D.A.J. Rand, D.P. Boden, C.S. Lakshmi, R.F. Nelson, R.D. Prengaman // *Journal of Power Sources*. – 2002. – № 107. – P. 280-300.

7. Диаграммы состояния металлических систем / под общ. ред. Л.А. Петровой. – М.: ВИНТИ, 1990. – С. 479-482.

Поступила в редакцию 25.05.2013, рассмотрена на редколлегии 14.06.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Задонцев, Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», Днепропетровск.

### УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРУМОВІДВОДІВ ДЛЯ СВИНЦЕВИХ АКУМУЛЯТОРІВ

*В.О. Дзензерський, Ю.І. Казача, С.В. Шнуровий, С.В. Бурьлов, В.Ю. Скосар*

Запропоновано вдосконалення способів виготовлення струмовідводів для електродів свинцево-кислотних акумуляторів, які дозволяють: для батарей, що працюють в умовах високих вібравантажень і глибоких розрядів, знизити вартість шляхом скорочення тривалості технологічного циклу; для герметизованих батарей знизити питому матеріалоемність виробів шляхом зниження витрат свинцю. Скорочення тривалості виготовлення досягнуто за рахунок розробки раціонального режиму штучного старіння литих струмовідводів. А зниження витрат свинцю отримано на шляху модернізації конструкції негативного просічного струмовідводу і зміни складу його сплаву.

**Ключові слова:** акумуляторні батареї, виготовлення струмовідводів, виливок, просікання, механічні властивості

### IMPROVEMENT OF TECHNOLOGIES OF LEAD BATTERY GRID MANUFACTURING

*V.A. Dzenzersky, Yu.I. Kazacha, S.V. Shnurovov, S.V. Burylov, V.Yu. Skosar*

The improved methods of grid manufacturing of the electrodes lead-acid batteries are propose. The methods allows for battery, operating at high vibrations and deep discharge, reduce the cost by reducing the duration of the production cycle. The methods allows for sealed batteries to reduce the specific consumption of materials by reducing the production costs of lead. Shorter production achieved through the development of a rational mode of artificial aging cast grids. A cost reduction of lead produced in the modernization construction of the negative punching grid and changing the composition of an alloy.

**Key words:** batteries, making grids, casting, punching, mechanical properties

**Дзензерский Виктор Александрович** – д-р техн. наук, профессор, директор Института транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», Днепропетровск, Украина.

**Казача Юрий Иванович** – начальник отдела новых технологий ПАО Международной научно-промышленной корпорации «ВЕСТА», Днепропетровск, Украина.

**Шнуровой Сергей Владимирович** – начальник управления металлургии ПАО Международной научно-промышленной корпорации «ВЕСТА», Днепропетровск, Украина.

**Бурьлов Сергей Владимирович** – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., заведующий отделом Института транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», Днепропетровск, Украина.

**Скосарь Вячеслав Юрьевич** – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Института транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг», Днепропетровск, Украина, e-mail: svu@westa-inter.com.