

УДК 620.17:658.56

Е. А. Беляева, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ ТАНТАЛОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ  
С ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ ПОСРЕДСТВОМ КОНТРОЛЯ  
ОПЕРАЦИОННОГО ВЫХОДА ГОДНЫХ****Введение**

**В** настоящее время танталовые объемно-пористые электролитические конденсаторы нашли широкое применение в промышленной и специальной электронике для нужд народного хозяйства и военного назначения благодаря своей высокой надежности и эффективности. Диэлектриком электролитического конденсатора должен быть материал с высокими диэлектрической прочностью и диэлектрической постоянной. Обычно в таких конденсаторах в качестве диэлектрика становится естественный оксид металлического анода благодаря своей способности быстрого наращивания на аноде тонкого слоя высокого качества. В танталовых конденсаторах диэлектриком выступает оксид тантала  $Ta_2O_5$ .

Одной из основных характеристик танталового конденсатора является ток утечки, величина которого зависит от качества и типа диэлектрика, материала анода и катода, толщины диэлектрика. Максимально допустимая величина напряжения, при которой конденсатор сохраняет свою работоспособность, называется напряжением пробоя конденсатора. Для надежной и стабильной работы конденсаторы, как правило, используют при номинальном или рабочем напряжении, приблизительно равном половине напряжения пробоя или даже ниже.

С одной стороны пробивное напряжение – это параметр конденсатора, определяемый технологией и производственным процессом, с другой – рабочее напряжение, задаваемое производителем на основе данных надежности и испытаний на безотказность, полученных на большой выборке конденсаторов. Допустимое напряжение без разрушения и (или) деструктуризации компонентов, называемое перенапряжением, обычно составляет 1,15 номинального рабочего напряжения.

Другой важный параметр конденсатора – напряжение обратной полярности – это максимальное напряжение обратной полярности, которое можно моментально приложить к конденсатору без повреждения диэлектрика. При нормальных условиях оно составляет приблизительно 10 % от номинального рабочего напряжения, однако данная величина может варьироваться и определяется на стадии разра-

ботки конкретного типа конденсатора с учетом набора статистических данных.

Для обеспечения надежности необходимо как достижение и сохранение в течение срока эксплуатации требуемых характеристик конденсатора, в том числе высоких удельных зарядов и емкости, низких и стабильных значений токов утечки при максимальных температурах и напряжениях, так и получение требуемых характеристик всех компонентов – составляющих конденсатора и обеспечение повторяемости результатов операций на всех этапах производства.

Возможность управления технологическим процессом изготовления герметичных танталовых объемно-пористых конденсаторов с жидким электролитом посредством контроля операционного выхода годных и отслеживания потенциальных дефектов, значительно изменяющих физические свойства и технические характеристики изделия, на стадии изготовления и предотвращения выпуска конденсаторов ненадлежащего качества является потенциальным фактором развития конденсаторостроения.

Вопросам контроля качества и обеспечения надежности изделий из металлов и сплавов посвящены работы [1–3], влиянию качества материалов и технологического процесса производства на надежность, долговечность и выход годных объемно-пористых танталовых конденсаторов – работы [4–10].

Данная статья посвящена анализу влияния технологической дисциплины и возможных дефектов на наиболее критичных операциях изготовления объемно-пористых танталовых герметичных конденсаторов с жидким электролитом на выход годных в зависимости от года изготовления.

**Методика эксперимента**

Объектом исследования являются базовые герметичные танталовые объемно-пористые конденсаторы с жидким электролитом (рис. 1).

Современная технология производства танталовых объемно-пористых конденсаторов с жидким электролитом состоит из нескольких стадий: изготовление объемно-пористого анода, изготовление корпуса-катода, стадии сборки, специализированных

операций типа тренировки, измерений электрических параметров, маркировки.

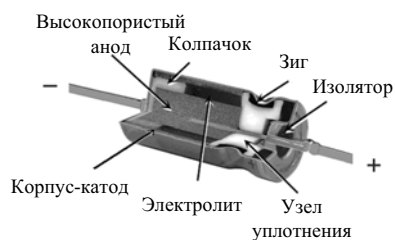


Рис. 1. Конструкция герметичного танталового объемно-пористого конденсатора с жидким электролитом

Этап изготовления объемно-пористого анода включает в себя операции:

- приготовление танталового порошка путем добавления к нему технологической связки, обеспечивающей при ее последующем удалении максимальную удельную пористость анодного электрода;
- придание анодному электроду необходимой геометрической формы и габаритов посредством

прессования смеси танталового порошка и специальной технологической связки и последующего высокотемпературного спекания высокопористого прессованного тела с целью закрепления заданных во время предыдущей операции формы и габаритов анодного электрода;

– процесс анодирования спеченной объемно-пористой таблетки анодного электрода для получения необходимых электрических параметров анода.

Процесс производства корпуса-катода состоит из подготовки танталового корпуса, создания на внутренней поверхности корпуса высокопористого катодного покрытия и приварки катодного вывода.

Немаловажную роль для анализа процесса изготовления конденсаторов играет исследование изменения выхода годных во временном производственном интервале и анализ возможных дефектов в течение времени.

В таблице представлены основные операции изготовления герметичных объемно-пористых танталовых конденсаторов и возможные виды дефектов.

#### Технологические операции и возможные дефекты конденсаторов

№ п/п	Наименование операции	Возможные дефекты
1	Спекание высокопористого тела анода	Трещины на объемно-пористом теле анода; хрупкий вывод
2	Оксидирование анода	Большие токи утечки (БТУ); нарушение оксидного слоя
3	Сборка пакета анода	Обрыв вывода; хрупкий вывод; гнутый вывод; серые пятна; трещины, царапины; разрушение анода
4	Зиговка конденсатора (обжатие резиновой прокладки), лазерная сварка корпуса с изолятором	Течь электролита
5	Сварка анодного вывода с трубочкой изолятора	Течь электролита; разрушение оплавленной сферы
6	Проверка конденсаторов на течь электролита	Течь электролита
7	Сварка встык анодного никелевого вывода конденсатора с танталовым выводом анода	Несоосность
8	Измерение тока утечки конденсаторов	БТУ
9	Тренировка конденсаторов	БТУ
10	Проверка конденсаторов на герметичность в конденсаторном масле	Течь электролита
11	Сортировка конденсаторов по электрическим параметрам (раскалибровка)	БТУ; высокие значения тангенса угла диэлектрических потерь
12	Контроль конденсаторов по внешнему виду	Механическое повреждение корпуса; вмятины; некачественная завальцовка; посторонние включения на выводе
13	Измерение полного сопротивления конденсаторов	Высокие значения полного сопротивления

Наличие или отсутствие вышеперечисленных дефектов на технологической операции, а как следствие – операционный выход годных определяют критерии оценки качества конденсаторов в процессе производства изделий. Результаты исследования процента выхода годных на основных этапах производства типовых (базовых) герметичных танталовых объемно-пористых конденсаторов с жидким электролитом в зависимости от года изготовления представлены на рис. 2, а–ж.

#### Результаты и их обсуждение

Анализируя графики, приведенные на рис. 2, можно сделать вывод, что в целом на технологических операциях изготовления конденсаторов, за исключением некоторых операций, фактический

выход годных выше планового и со временем повышается за счет выполнения специальных мероприятий. Однако выявляются моменты снижения выхода годных.

Зависимость, приведенная на рис. 2, а, свидетельствует о повышении фактического выхода годных конденсаторов на операции «спекание высокопористого тела анода» в течение 4 лет, за исключением 2011 г. В данном периоде наблюдалось увеличение числа технологических потерь по виду дефекта «трещины» на пористом теле анода, связанное с выходом из строя технологического оборудования при выполнении цикла спекания.

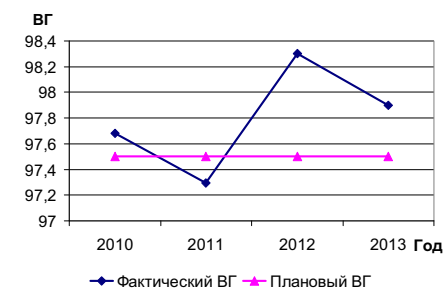
На рис. 2, б на операции «оксидирование анода» выявлено снижение фактического выхода годных

в пределах нормированных значений, что дополнительного анализа не требует.

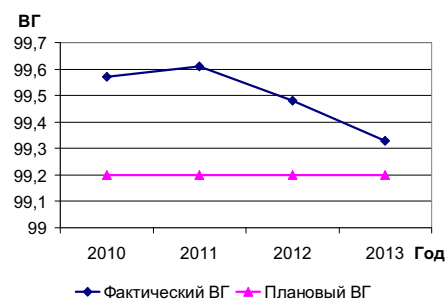
На операциях «сборка пакета анода» и «сварка встык анодного никелевого вывода конденсатора с танталовым выводом анода» (см. рис. 2, в и д) наблюдается идентичная зависимость: технологические потери ниже плановых.

На операции «тренировка конденсаторов» (см. рис. 2, е) выявлено резкое снижение выхода годных на 0,55 % в 2011 г. в связи с увеличением количества технологических потерь по виду дефекта «боль-

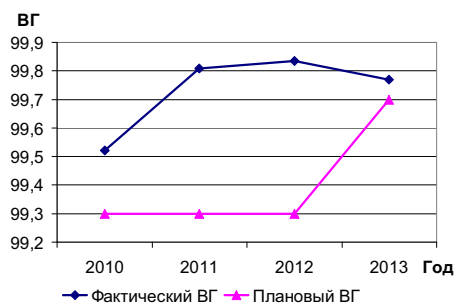
шие токи утечки» с предположительной причиной – низкая температура спекания анодов (в пределах технологической документации) в связи с выходом из строя технологического оборудования. Следствием заниженной температуры спекания является недостаточное выгорание вредных примесей из объемно-пористого тела анода, изготовленного из танталового порошка, что в конечном итоге влияет на качество диэлектрика, а как следствие – приводит к завышенным значениям тока утечки конденсатора.



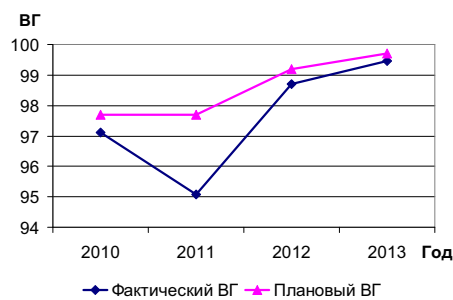
а



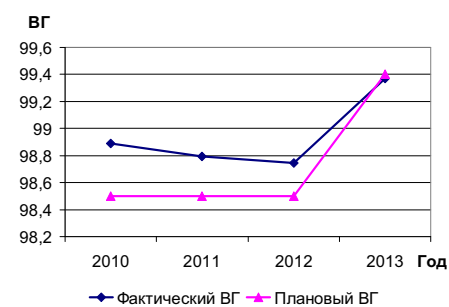
б



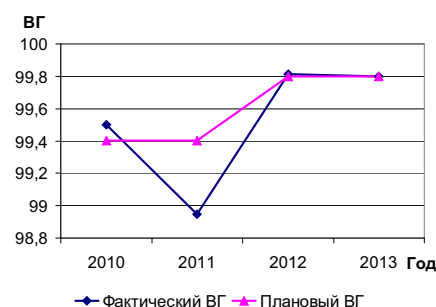
в



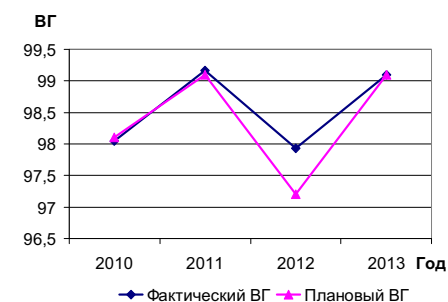
г



д



е



ж

Рис. 2. Выход годных (ВГ) конденсаторов на операциях «спекание высокопористого тела анода» (а); «оксидирование анода» (б); «сборка пакета анода» (в); «зиговка конденсатора, лазерная сварка корпуса с изолятором» (г); «сварка встык анодного никелевого вывода конденсатора с танталовым выводом анода» (д); «тренировка конденсаторов» (е); «проверка конденсаторов на герметичность в конденсаторном масле» (ж) в зависимости от года изготовления

На операции «зиговка конденсаторов, лазерная сварка корпуса с изолятором» (см. рис. 2, з) фактический выход годных конденсаторов ниже планового в связи с максимальной дозой электролита, установленной с целью достижения необходимых значений тангенса угла диэлектрических потерь готового конденсатора (в конденсаторостроении существует прямо пропорциональная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от дозы электролита). По аналогичной причине наблюдается увеличение технологических потерь по течи электролита на операции «проверка конденсаторов на герметичность в конденсаторном масле» (см. рис. 2, ж).

### Заключение

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что наиболее критичными операциями изготовления объемно-пористых танталовых герметичных конденсаторов, непосредственно на которых необходимо выявлять дефекты и, как следствие, отслеживать выход годных, являются:

1) на первоначальной стадии изготовления конденсатора с целью исключения потенциально ненадежной продукции – операции изготовления объемно-пористого танталового анода, а именно: «спекание высокопористого тела анода» и «окисление анода»;

2) в процессе сборки – «зиговка конденсатора», «лазерная сварка корпуса с изолятором», «проверка конденсаторов на течь электролита»;

3) на заключительном этапе производства конденсаторов с целью отбраковки несоответствующих установленным требованиям конденсаторов и недопущения поставки потребителям бракованной продукции – «тренировка конденсаторов», «измерение электрических параметров (емкость, тангенс угла диэлектрических потерь, ток утечки, полное сопротивление) конденсаторов».

### Библиографические ссылки

1. Муравьев В. В., Ноева М. Р., Шарко А. В. Исследование процесса распада пересыщенного твердого раствора в алюминиевом сплаве Д16 // Физика металлов и металловедение. – 1978. – Т. 46. – № 4. – С. 746–749.

2. Смирнов А. Н., Муравьев В. В., Хапонен Н. А. Акустический критерий предельного состояния длительно

работающего металла технических устройств опасных производственных объектов // Контроль. Диагностика. – 2004. – № 5. – С. 19–23.

3. Распределение остаточных напряжений при электроконтактном упрочнении бандажей локомотивных колес / В. В. Муравьев, С. Ю. Петров, А. В. Платунов, Е. Н. Болобанов, Л. В. Волкова, А. А. Рябов, О. В. Соколов, Т. П. Печенова, В. В. Костюк // Технология машиностроения. – 2011. – № 9. – С. 42–45.

4. Кузнецова В. А., Кузнецов П. Л., Муравьев В. В. Исследование надежности танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов на основе экспериментальных данных // Вестник ИжГТУ. – 2013. – № 3(59). – С. 88–91.

5. Факторы, определяющие емкость танталового оксидного конденсатора на стадии изготовления анода / В. А. Кузнецова, П. Л. Кузнецов, А. А. Масалев, В. В. Муравьев // Труды II Междунар. конф. «Влияние высокоэнергетических воздействий на структуру и свойства конструкционных материалов» 23–30 сентября 2013 г. Серия «Фундаментальные проблемы современного материаловедения» / под ред. В. Е. Громова. – В 2 т. – Новокузнецк : Изд-во СибГИУ, 2013. – 273 с. – Т. 1. – С. 233–239.

6. Исследование влияния на эксплуатационные характеристики качества материалов танталовых оксидно-полупроводниковых чип-конденсаторов / В. А. Кузнецова, П. Л. Кузнецов, Е. А. Беляева, В. В. Муравьев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2(22). – С. 140–143.

7. Беляева Е. А., Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Исследование влияния срока сохраняемости на эксплуатационные характеристики и состояние объемно-пористых танталовых конденсаторов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1(23). – С. 96–99.

8. Беляева Е. А., Муравьев В. В. Влияние переменной синусоидальной составляющей пульсирующего напряжения при окислении объемно-пористых анодов танталовых конденсаторов на электрические параметры // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2(24). – С. 96–102.

9. Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Влияние качества корпуса оксидно-полупроводниковых танталовых чип-конденсаторов на эксплуатационные параметры // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2(24). – С. 112–115.

10. Кузнецова В. А., Муравьев В. В. Влияние конструктивных характеристик анода на эксплуатационные параметры оксидно-полупроводниковых танталовых чип-конденсаторов // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 4(64). – С. 105–107.