

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

УДК 620.171.20

DOI 10.21685/2307-5538-2017-4-11

*А. С. Ишков, А. В. Светлов, Г. А. Солодимова, С. И. Торгашин***КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ
ПОТЕНЦИОМЕТРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСТРОВОЙ
ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ***A. S. Ishkov, A. V. Svetlov, G. A. Solodimova, S. I. Torgashin***MONITORING THE TECHNICAL STATE
OF RESISTIVE POTENTIOMETERS USING SCANNING
ELECTRON MICROSCOPY**

А н н о т а ц и я. *Актуальность и цели.* Объектом исследования являются резистивные проволочные потенциометры, рассмотрены структура и состав изделий, определены основные узлы, обеспечивающие соответствие эксплуатационных характеристик установленным требованиям. Предметом исследования являются способы выявления дефектов, образующихся в резистивном элементе и деталях проволочных потенциометров в процессе их изготовления. Целью работы является разработка способов изготовления высоконадежных потенциометров с применением средств технического контроля на основе растровой электронной микроскопии. *Материалы и методы.* Для проведения исследований по выявлению внутренних скрытых дефектов проволочных потенциометров использован метод рентгеноспектрального микроанализа, позволяющего проводить контроль дефектов микро- и наноразмерных объектов и выполнять анализ химического состава материалов. *Результаты.* Рассмотрены виды и механизм влияния дефектов проволочных потенциометров, приводящих к их отказам. Установлено, что нарушение шага намотки резистивного элемента, микротрещины и посторонние включения являются основными видами дефектов. Разработаны рекомендации по совершенствованию технологического процесса изготовления проволочных потенциометров, позволяющие снизить процент брака в их производстве. Приведены технические решения, позволяющие улучшить качество резистивного элемента. *Выводы.* Контроль технического состояния проволочных потенциометров с применением растровой электронной микроскопии позволяет улучшить качество и надежность изделий путем совершенствования технологии изготовления и выявления дефектов, не обнаруженных визуально.

A b s t r a c t. *Background.* The object of research is resistive wire potentiometers, the structure and composition of products are considered, the main nodes are determined, ensuring the compliance of performance characteristics with the established requirements. The subject of the study are methods of detecting defects formed in the resistive element and the details of the wire potentiometers during their manufacture. The aim of the work is the development of methods for manufacturing highly reliable potentiometers using the means of

technical control based on scanning electron microscopy. **Materials and methods.** To conduct research on the detection of internal hidden defects of wire potentiometers, an x-ray spectral microanalysis method was used to monitor defects in micro- and nanoscale objects and perform an analysis of the chemical composition of materials. **Results.** The types and mechanism of influence of wire potentiometer defects, leading to their failures, are considered. It is established that the violation of the winding step of the resistive element, microcracks and foreign inclusions are the main types of defects. The recommendations for improving the technological process for manufacturing wire potentiometers have been developed, which make it possible to reduce the percentage of rejects in their production. Technical solutions allowing to improve the quality of the resistive element are given. **Conclusions.** Monitoring the technical condition of wire potentiometers with the use of scanning electron microscopy can improve the quality and reliability of products by improving the manufacturing technology and detecting defects that are not detected visually.

К л ю ч е в ы е с л о в а: проволочные потенциометры, отказ, резистивный элемент, электронный растровый микроскоп.

К e y w o r d s: wire potentiometers, failure, resistive element, electronic raster microscope.

Проволочные потенциометры широко используются в качестве первичных измерительных преобразователей в различных автоматизированных системах контроля, наведения и управления, электронно-коммуникационных устройствах, бытовой электронике, радио- и телеоборудовании, искусственных дыхательных аппаратах и т.д. Основным недостатком резистивных потенциометров является небольшой срок службы из-за наличия механического контакта, что привело к утрате их позиций на рынке и замене цифровыми датчиками [1]. Тем не менее успехи материаловедения последних лет, а также использование современного контрольно-измерительного оборудования существенно улучшили характеристики проволочных потенциометров. Их конкурентным преимуществом является моментальное восстановление коэффициента преобразования, соответствующего его текущему положению, после потери питания, что недоступно цифровым датчикам.

Проволочный потенциометр является сложным электромеханическим изделием, что следует из представленной на рис. 1 структуры и используемого количества комплектующих, входящих в его состав.

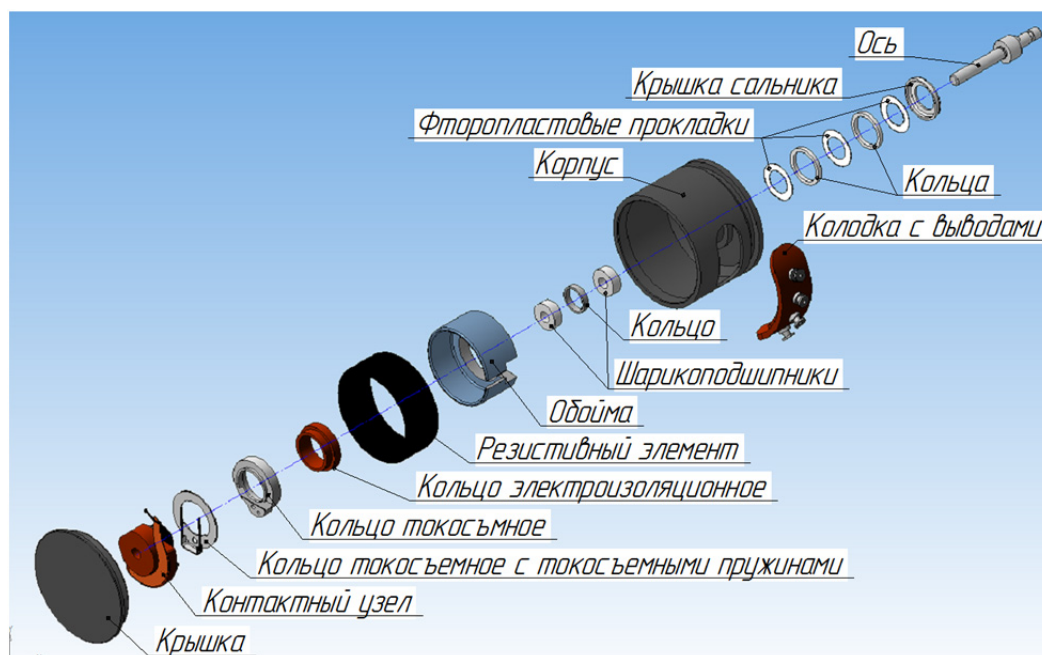


Рис. 1. Структура и состав проволочного потенциометра

Основу проволочного потенциометра составляет резистивный элемент, представляющий собой кольцевой каркас с намотанной резистивной проволокой. Комплексом свойств, обеспечивающих конкурентные эксплуатационные характеристики проволочных потенциометров, обладает резистивная проволока из специальных сплавов на основе хрома, меди, марганца [2]. Важным требованием является малое и стабильное во времени контактное сопротивление проводящего материала в паре с материалом скользящего контакта. Значение диаметра проволоки зависит от точности и сопротивления изделия: 0,01...0,10 мм – для потенциометров высокого класса; 0,1...0,4 мм – для потенциометров низкого класса [3].

На стадии проектирования проволочных потенциометров их соответствие требуемым техническим характеристикам обеспечивается рядом факторов (конструкция изделия, номенклатура комплектующих и материалов), обеспечивающих стабильность параметров в процессе функционирования при наличии климатических и механических воздействий. Правильная организация на предприятии системы входного контроля позволяет выявить дефекты материалов, не обнаруженные их изготовителем, и дефекты, проявившиеся при транспортировании и хранении [4].

При изготовлении проволочных потенциометров основными способами обеспечения их качества являются: применение высококачественного технологического и измерительного оборудования, соблюдение климатических условий при сборке изделий, рациональный состав технологических операций и проверок, жесткий контроль правильности выполнения каждой технологической операции [5].

В условиях жесткой финансовой экономии необходима разработка и внедрение системы контроля дефектов, позволяющей сформировать своевременные эффективные предупредительные действия для устранения их повторного появления, произвести модификацию изделия и внести усовершенствования в технологический процесс его производства для уменьшения рисков и финансовых потерь, связанных с выводом из эксплуатации изделия.

Основной причиной конструктивных и технологических отказов проволочных потенциометров являются их внутренние скрытые дефекты, образующиеся в резистивном элементе и деталях в процессе изготовления и не обнаруженные визуально [6]. Для анализа причин и видов отказов потенциометров применен метод рентгеноспектрального микроанализа, основанный на использовании растрового электронного микроскопа «Vega 3 SBH» фирмы «Tescan», снабженного системой рентгеноспектрального микроанализа и имеющего следующие основные характеристики:

- разрешение – 3 нм при 30 кВ, 8 нм при 3 кВ;
- ускоряющее напряжение – от 200 В до 30 кВ;
- внутренний диаметр камеры образцов – 160 мм.

Данный микроскоп выбран в качестве основного инструмента контроля технического состояния потенциометров и анализа дефектов, так как обеспечивает измерение линейных размеров и контроль дефектов микро- и наноразмерных объектов, проведение микроанализа материалов, построение профиля поверхности и измерение шероховатости бесконтактным способом.

Методом рентгеноспектрального микроанализа проведено исследование резистивного элемента и подвижного контакта потенциометров, не прошедших испытания на износоустойчивость вследствие резкого уменьшения сопротивления. С целью выяснения причин отказа и внедрения мероприятий по улучшению технологии изготовления проведены экспериментальные исследования резистивного элемента отказавших изделий. Установлено, что на их контактных дорожках имеются продукты износа в межвитковом пространстве (рис. 2).

Осмотр резистивного элемента с помощью микроскопа показал, что резистивная проволока имеет существенную деформацию в месте соприкосновения с подвижным контактом. В результате возникают наплывы материала проволоки в межвитковом пространстве, подобные заусенцам (рис. 3), образующимся при механической обработке металлов. Эти заусенцы удерживают свободные частицы износа и препятствуют их удалению. Между витками проволоки образуются перемычки и сопротивление резистивного элемента резко уменьшается. В процессе очистки удалить эти заусенцы с помощью кисти не получается, так как они имеют значительную жесткость.

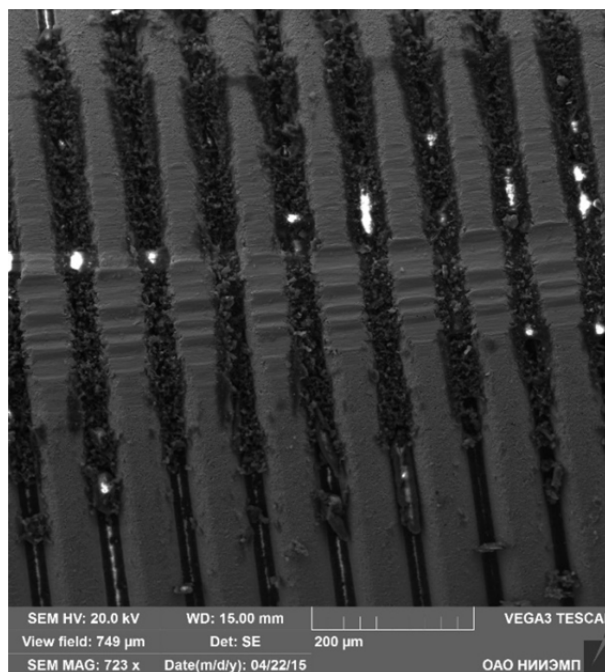


Рис. 2. Изображение резистивного элемента, содержащего частицы износа

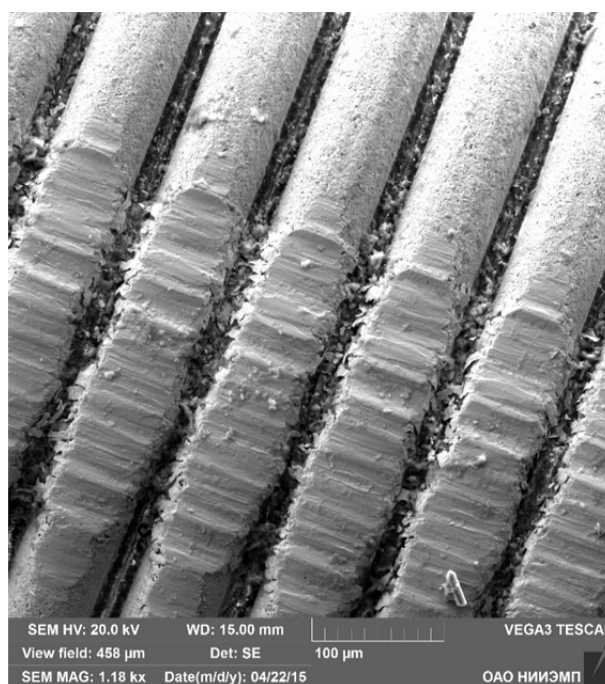


Рис. 3. Изображение резистивного элемента после очистки

Возможной причиной износа резистивного элемента явилось превышение давления контактной пружины [7]. Однако эта величина четко определена требованиями технических условий и должна тщательно контролироваться в процессе сборки. Другой вероятной причиной износа резистивного элемента является некачественный материал контактной пружины [8]. При нарушении химического состава контактная пружина может иметь излишнюю твердость, что приводит к увеличению износа резистивного элемента. Для уточнения причин отказа проведен рентгеноспектральный микроанализ контактных пружин, который не выявил отклонений в химическом составе материала, из которого были изготовлены контактные пружины. Однако в процессе исследований были найдены посторонние включения (рис. 4).

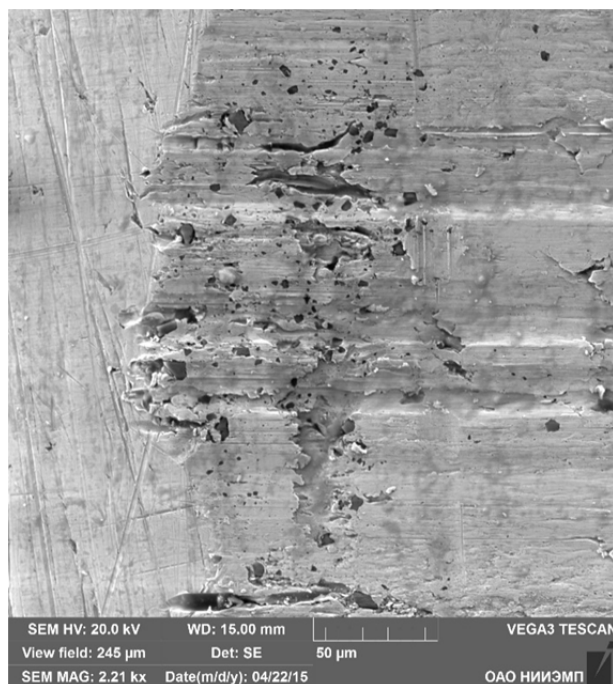


Рис. 4. Изображение контактной пружины с посторонними включениями

Анализ химического состава включений в материале пружин показал, что ими являются кристаллы оксида алюминия (корунд), которые применяются для зачистки проволоки с последующей полировкой при изготовлении потенциометров.

Несмотря на то, что в процессе изготовления резистивного элемента предусмотрена операция его очистки, частицы оксида алюминия проникли в состав основного материала контактной пружины, которые вызвали повышенный износ проволоки. При этом от резистивной проволоки стали отделяться частицы, покрытые слоем окислов, так как в процессе трения происходит сильная деформация частиц, что приводит к их повышенному окислению, так называемое фрикционное окисление [1].

В ходе проведенных экспериментальных исследований других отказавших образцов потенциометров установлено, что отказы изделий также могут быть вызваны нарушением шага намотки проволоки на каркас резистивного элемента (рис. 5).

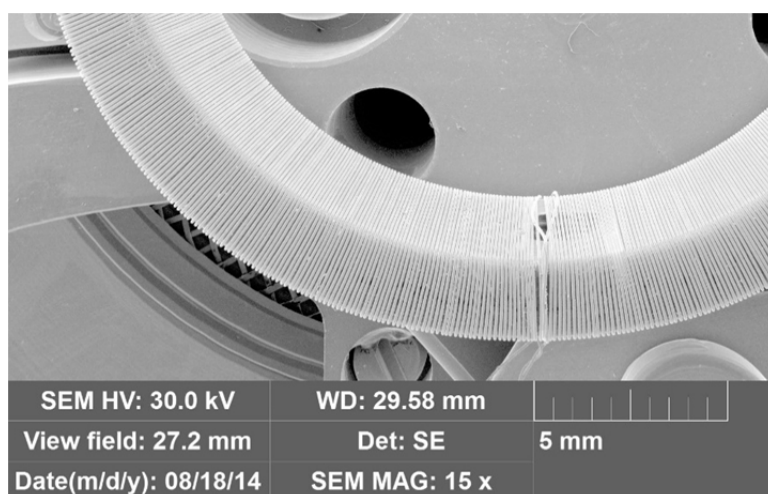


Рис. 5. Нарушение шага намотки проволоки на каркас резистивного элемента

Таким образом, проведенные эксперименты позволили выявить основные причины отказов проволочных потенциометров, которые могут быть вызваны следующими скрытыми дефектами резистивного элемента:

- нарушение шага намотки при навивке проволоки на каркас резистивного элемента;
- микротрещины резистивной проволоки, образующиеся при навивке резистивного элемента и изготовлении выводов;
- деформация резистивного элемента, наличие неоднородностей и посторонних включений.

С целью совершенствования технологии изготовления проволочных потенциометров и предотвращения повторения подобных отказов по результатам проведенных экспериментальных исследований были сформулированы следующие выводы.

1. Необходимо проведение более тщательной очистки резистивного элемента от посторонних частиц. Рекомендуется применять многоэтапную промывку резистивного элемента с использованием различных типов моечных машин (ультразвуковые, струйные) с продувкой сжатым обеспыленным воздухом. После операций очистки в технологический процесс изготовления потенциометров включить контроль каждого резистивного элемента с помощью микроскопа при большом увеличении [9].

2. Следует определить минимальное допустимое давление контактной пружины на резистивную проволоку, что может снизить износ контактной пары потенциометра при сохранении его надежной работы в течение всего срока службы [10].

3. Необходимо оценить возможность применения способов зачистки и полировки резистивной проволоки без применения абразивных порошков, например, использовать химическую, ультразвуковую или лазерную зачистку.

4. В соответствии с технологией изготовления потенциометра этап контроля функциональной характеристики резистивного элемента не предусмотрен. Однако результаты исследования резистивного элемента с помощью растровой электронной микроскопии свидетельствуют о том, что необходимо внедрение в технологический процесс промежуточного этапа контроля функциональной характеристики. Это позволит на начальной стадии производства отбраковать резистивные элементы с несоответствующими техническим требованиям функциональной характеристики, снизить процент бракованных изделий и сократить финансовые затраты на производство.

Библиографический список

1. Крагельский, И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. – М. : Машгиз, 1962. – 220 с.
2. Недорезов, В. Г. Электрические свойства контактирующей пары «резистивный слой-контактная пружина» в керметных подстроечных резисторах / В. Г. Недорезов, Т. П. Каминская, С. В. Подшибякин, М. Б. Анкирская // Электронная техника. Сер. 5, Радиодетали и радиокомпоненты. – 1988. – Вып. 1 (70). – С. 20–22.
3. ОСТ В 25 21-86 Потенциометры прецизионные проволочные. Общие технические условия.
4. Ишков, А. С. Повышение качества и надежности прецизионных потенциометров / А. С. Ишков, А. И. Цыганков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 2. – С. 136–138.
5. Ишков, А. С. Методика диагностики датчиков угла высоконадежных информационно-измерительных и управляющих систем / А. С. Ишков, В. Д. Зуев // Контроль. Диагностика. – 2015. – № 8. – С. 53–57.
6. Цыганков, А. И. Исследование причин отказа датчика угла маршевых двигателей ракет-носителей / А. И. Цыганков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 89–95.
7. Кузнецов, Е. А. О причинах устойчивого нарушения контакта потенциометров / Е. А. Кузнецов // Авиационная промышленность. – 1965. – № 2.
8. Недорезов, В. Г. Ограничения в создании однооборотных прецизионных проволочных потенциометров / В. Г. Недорезов, А. И. Цыганков, А. Ю. Доросинский // Электронные компоненты. – 2015. – № 2. – С. 88–93.
9. Ишков, А. С. Разработка новых технических решений по улучшению характеристик датчиков положения управляющих систем / А. С. Ишков, Г. А. Солодимова, А. И. Цыганков // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2016. – № 2. – С. 35–40.
10. Мещеряков, В. Ф. Установка измерения контактного сопротивления резистивных элементов / В. Ф. Мещеряков, В. Г. Недорезов, М. Г. Смыченко // Электронная промышленность. – 1985. – Вып. 8 (146). – С. 67–68.

Ишков Антон Сергеевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра радиотехники и радиоэлектронных систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40);
старший научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт
электронно-механических приборов
(Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)
E-mail: ishkovanton@mail.ru

Светлов Анатолий Вильевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой радиотехники
и радиоэлектронных систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: rtech@pnzgu.ru

Солодимова Галина Анатольевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационно-измерительной
техники и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: solodimova@mail.ru

Торгашин Сергей Иванович

кандидат технических наук,
заведующий кафедрой ракетно-космического
и авиационного приборостроения,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: rkap@pnzgu.ru

Ishkov Anton Sergeevich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radioengineering
and radioelectronic systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia);
senior researcher,
Scientific Research Institute
of electro-mechanical devices
(44 Karakozov street, Penza, Russia)

Svetlov Anatoliy Vil'evich

doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of radioengineering
and radioelectronic systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Solodimova Galina Anatol'evna

candidate of technical sciences, associate professor,
syb-department of information-measuring
technique and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Torgashin Sergey Ivanovich

candidate of technical sciences,
head of syb-department of rocket-space
and aerospace instrumentation,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 620.171.20

Ишков, А. С.

Контроль технического состояния резистивных потенциометров с применением растровой электронной микроскопии / А. С. Ишков, А. В. Светлов, Г. А. Солодимова, С. И. Торгашин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 4 (22). – С. 77–83. DOI 10.21685/2307-5538-2017-4-11.