

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ НА СТАДИЯХ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

С.А. Бушин, С.Г. Давыдов, В.О. Ревазов, Р.Х. Якубов

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты работ по анализу связанных между собой стадий жизненного цикла электровакуумных приборов (ЭВП) с определением факторов и причин, приводящих к потере герметичности оболочек данных приборов. Сформулированы основные требования, предъявляемые на этапах проектирования ЭВП, позволяющие снизить вероятность возникновения течей в приборах и возникновения недопустимых отклонений от заданных показателей рабочего (остаточного) давления в их полостях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТИ, ДЕФЕКТ СПЛОШНОСТИ МАТЕРИАЛА, СКВОЗНОЙ КАНАЛ

ANALYSIS OF THE PROBLEMS OF ENSURING THE HERMETICITY OF ELECTROVACUUM DEVICES AT THE STAGES OF THEIR LIFE CYCLE

S.A. Bushin, S.G. Davydov, V.O. Revazov, R.Kh. Yakubov

ABSTRACT

The results of work on the analysis of the interconnected stages of the life cycle of electrovacuum devices (EVD) with the determination of the factors and causes leading to the loss of tightness of the shells of these devices are presented. The main requirements for the design stages of the EEW are formulated, which make it possible to reduce the likelihood of leaks in devices and the occurrence of unacceptable deviations from the specified indicators of the working (residual) pressure in their cavities.

KEYWORDS

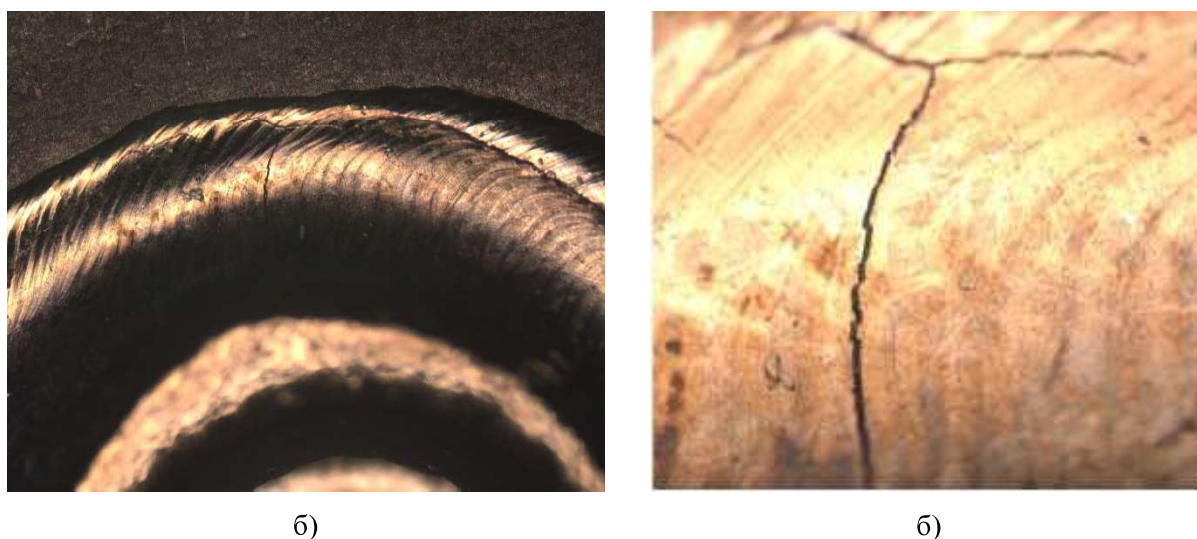
TIGHTNESS CONTROL, MATERIAL CONTINUITY DEFECT, THROUGH CHANNEL

ВВЕДЕНИЕ

Одними из ключевых задач при разработке и выпуске ЭВП являются как обеспечение технических характеристик приборов, так и надежности на всех стадиях их жизненного цикла, что обуславливает необходимость обеспечения глубокой проработки в вопросах контроля герметичности. Как показывает практика на каждой из основных стадий жизненного цикла прибора, таких как: проектирование, изготовление, сборка, эксплуатация и хранение приборов, вероятно существование различных причин, которые впоследствии вызывают появление течей. Понимание причин возникновения течей в оболочке в свою очередь может позитивно повлиять на процесс совершенствования характеристик прибора в целом.

Исключение причин, вызывающих нарушение целостности оболочек приборов, возможно именно на основе анализа совокупности различных процессов и воздействий, которым подвергается прибор на всех стадиях их жизненного цикла [1].

Целью данной работы являлось проведение анализа основных проблем обеспечения герметичности электровакуумных приборов и выработку основных требований к их конструкциям и технологиям в аспекте реализации высокочувствительного контроля герметичности, где особый интерес вызывает, так называемый масс-спектрометрический метод течеискания. Метод основан на обнаружении пробного вещества в смеси веществ, проникающих через течи, путем ионизации веществ с последующим разделением ионов отношению их массы к заряду под действием электрического поля с регистрацией потоков от 10^{-14} до 10^{-2} Па·м³/с.



а) – разветвленная трещина в месте сварного шва с увеличением $\times 50$, б – $\times 100$
Рис.1 – Вид типичного дефекта

СТАДИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРИБОРА

Стадии жизненного цикла электровакуумного прибора, включают следующую последовательность периодов. К ним относятся:

– исследования в рамках научно-исследовательской работы (НИР), связанные с получением необходимого объема научных и экспериментальных данных, доказывающих возможность создания прибора;

– по результатам НИР проводится опытно-конструкторская разработка (ОКР). В состав вышеназванных работ входит создание экспериментальных и опытных образцов прибора, испытания которых подтверждают заявленные требования, разработка конструкторской документации и на ее основе разработка технологической документации;

– производственный процесс начинается с процедуры внедрения. На данной стадии также возможны доработки в части совершенствования прибора с обязательным отражением в конструкторской и технологической документации.

– процесс эксплуатации прибора.

На каждой стадии жизни прибора определенного типа возможно появление различных причин негерметичности, вот почему необходимо их детальное рассмотрение.

Начиная с проектирования прибора, наличие потенциальных течей в нем обуславливается, прежде всего, правильностью выбора материала на уровне его химического и лигирующего (примесного) составов. Дефекты сплошности также могут определяться и

структурой кристаллической решетки, и размерами зерна, пор, а также поверхностными покрытиями (окислами, пленками, разного рода включениями). На данном этапе разработчику требуется проработать вопросы технологических принципов, на которых строится основная концепция герметизации прибора, что должно учитывать следующие факторы: типы зон разъёмных(неразъёмных) соединений, виды технологических приливов, конфигурации и толщины стенок деталей корпуса, применяемых материалов с учетом их температурных коэффициентов расширения, возможных продуктов разложения (распада) в процессе эксплуатации, а также наличия в рабочем объеме прибора остаточных газовых сред.

На следующих стадиях проектирования также формируются технические требования, которые призваны сформулировать и обеспечить требования по герметичности прибора, с указанием нормы герметичности. Также в отдельных случаях желательно установление требований и для промежуточного контроля герметичности отдельных узлов приборов (сварных, паяных, участков с нанесенными пластификатами, «технологических» пусот, включений и др.). Устанавливаемая величина нормы герметичности при этом должна определять возможность работоспособности прибора на протяжении всего гарантийного срока службы прибора.

При изготовлении приборов наличие дефектов, связанных с утратой целостности конструкции в результате образования сквозных трещин или отверстий, ведущих к беспрепятственному проникновению через перегородки корпуса окружающей среды, таких как проиллюстрировано на рисунке 1, могут быть обусловлены особенностями исходного материала детали, точностью производимых деталей, их условиями сборки, технологическими особенностями монтажа.

Важно отметить, что в период проведения производственных операций в числе причин, вызывающих нарушения герметичности прибора, стоят проблемы связанные с подготовкой прибора к испытаниям на герметичность, что сопряжено, с механической и термической обработками наружных поверхностей деталей прибора, разного рода повреждениями, и вместе с тем наличием разного рода покрытий в виде окисных пленок, паров воды на поверхностях, следов растворителей и других промывочных (проводящих) активных и нейтральных сред. Проведению надежного контроля на герметичность в таких случаях должны предшествовать вакуумная сушка, обезгаживание, очистка, устранение возможных следов твердых (пластичных) покрытий (лаков, красок, и т.п.). Процесс испытаний на герметичность в свою очередь требует дифференцированного подхода к поиску и локализации сравнительно больших и малых течей, поскольку это обуславливает использование различных способов контроля.

Кроме вышеназванного, среди основных факторов необходимых для обеспечения герметичности прибора можно выделить:

- важность наличия взаимозаменяемости¹ узлов и сборочных единиц прибора;
- непрерывное изучение явлений и процессов при технологических операциях подготовки и изготовлению приборов и явлений в процессе жизненного цикла прибора;
- строгое соблюдение требований сопроводительной технической документации (ГОСТы, ОСТы, стандарты предприятий);

¹ Здесь следует рассматривать парные взаимодействия (или матрицу взаимодействий), что подразумевает возможность всех элементов прибора, в процессе взаимодействия друг с другом вызывать негативные последствия [2]

– неукоснительной соблюдение норм в области управления качеством продукции на производстве.

Если делать некоторую обобщенную оценку по «весомости вклада» в появление отказов в каждый из периодов жизненного цикла приборов, то начиная с проектирования, в качестве одной из главных причин, можно обозначить «искусство» конструктора в создании прибора наименее подверженного влиянию различных случайных факторов. Примером такого влияния в конструкторской практике, и, в частности, внезапных отказов, может служить применение технологических «карманов», т.е. искусственно созданных пустот. Кажущиеся на первый взгляд, например, защитные функции в виде закрытия шва – размещение дополнительной герметизируемой перегородки над поверхностью, ограничивающей рабочий объем прибора от внешней среды, – может существенным образом повлиять на чувствительность испытаний на герметичность.

При эксплуатации приборов одним из весомых факторов выхода из строя прибора являются внешние атмосферные условия и условия, в которых прибор применяется. Например, в условиях термических ударов или при сравнительно значимых вибрациях, а также в условиях динамической нагрузки, ударах и других внешних воздействиях появление дефектов, оцениваемых по параметру – нарушение герметичности, будет для одних и тех же приборов тем интенсивней, чем выше по величине данные показатели. Кроме того, в период эксплуатации прибора по мере увеличения его наработки естественным образом возникают скрытые процессы, обусловленные деструкцией и износом материалов, а также их коррозионной усталостью. Это в свою очередь после определенного накопительного интервала времени ведет к необратимому росту повреждений, среди которых и нарушение герметичности, что в итоге приводит к отказам приборов.

Дополнительно следует отметить, что ошибочные действия со стороны обслуживающего персонала также могут приводить к возникновению дефектов. При этом их появление, к сожалению, нельзя полностью исключить.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИЯМ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЗИРУЕМЫХ ПРИБОРОВ

Конструкции приборов и производственные технологии должны обеспечивать герметичность оболочек приборов и возможность их контроля с требуемой чувствительностью. Для этого необходимо придерживаться соблюдения следующих сформулированных основных требований, выдвигаемых при проектировании, изготовлении и сборки приборов:

1) техническая документация по проведению контроля герметичности должна разрабатываться с учётом конструкторских и технологических особенностей поверяемых приборов и испытательного оборудования;

2) конструкция приборов должна быть проверяема, то есть должна быть обеспечена возможность прохождения пробного газа ко всем поверхностям, отделяющим внутренний объём прибора от атмосферы, сварным швам, разборным и неразборным соединениям;

3) при разработке конструкции герметизируемых приборов необходимо исключать образование внутренних плохо откачиваемых полостей. Такие полости могут быть образованы, например, за резьбовым крепежом внутренних деталей, за их сопряжением по плотной посадке, во фланцевом соединении при неравномерном поджиге фланцев. Малые

внутренние течи из таких полостей являются источниками длительного и стабильного поступления воздуха в откачиваемый объём прибора.

В местах явного образования внутренних полостей должны предусматриваться прорезы или специальные проточки, способные ускорить удаление из них газа. Трудно или практически невозможно выявить течи в соединениях, заваренных с двух сторон, например, электрический ввод, из-за наличия внутренней полости. Поэтому необходимо всячески исключать образование внутренних полостей и дефектов в оболочках приборов, что может быть достигнуто только совершенствованием конструкции и технологии;

4) при изготовлении приборов необходимо учитывать возможность перекрытия течей с последующим неконтролируемым их вскрытием. Перекрытие течей может происходить в результате попадания в них пыли, технологических жидкостей и атмосферной влаги;

5) максимально снизить возможность перекрытия течей, которое в некоторой степени возможно при соблюдении определённых условий: проведения контроля герметичности сразу после высокотемпературного прогрева приборов (в тех случаях, где это допустимо), сокращение до минимума возможного времени пребывания приборов в условиях влажного атмосферного воздуха, проведение специальной подготовки приборов к контролю герметичности.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ различных стадий жизненного цикла электровакуумных приборов в части их герметичности показал, что исследования по выявлению совокупности связей между составом работ при разработке и производстве приборов, могут привести к оптимизации конструкции и технологии изготовления деталей, узлов, составных частей и приборов.

С точки зрения надёжности контроля герметичности, для обеспечения полной проверяемости контролируемых оболочек, предложены и сформулированы основные требования, предъявляемые к конструкциям и технологиям изготовления герметизируемых электровакуумных приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Локтев И. И. Обеспечение герметичности изделий на всех этапах жизненного цикла. Локтев И. И. // Научн.-техн. семинар «Вакуумная техника и технология»: матер. семинара. – Санкт-Петербург, 2003. – С.17–22.
2. I.I. Loktev, Y. General behavior of leaky fuel rod depending on defect size / Loktev, Y. Bibilashvily K. // International Topical Meeting on Light Water Reactor Fuel Performance, Park City, 9"13 April 2000.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

С А Бушин – ведущий научный сотрудник, ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», г. Москва. e-mail: vniia4@vniia.ru

Все авторы – сотрудники ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», г. Москва.