

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННЫХ СПАЕВ В ГЕРМЕТИЧНЫХ РАДИОЧАСТОТНЫХ СОЕДИНИТЕЛЯХ

В.В. Лгалов¹, С.А. Зайдес²

¹ ПАО «Иркутский релейный завод», 664075, Иркутск, ул. Байкальская, 239

E-mail: lgalovvv@irzirk.ru

² Иркутский национальный исследовательский технический университет,

664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83

E-mail: zsa@istu.edu

В работе представлены результаты исследования влияния элементов режима спаивания на качество вакуумно-плотного металlostеклянного соединения. Приведены основные требования к металlostеклянным соединениям в герметичных радиочастотных соединителях. Даны рекомендации по выбору режима спаивания.

Герметичные радиочастотные соединители (СРГ) применяются в радиоэлектронной аппаратуре СВЧ (РЭА СВЧ). Они обеспечивают механическое и электрическое соединение радиочастотных кабелей между собой или с микрополосковой линией, а также внутривыводное и межвыводное соединение частей устройства [1].

Повышенные требования к герметичности РЭА СВЧ предъявляются в тех случаях, когда прибор должен обеспечивать радиогерметичность, а также обладать устойчивостью к климатическим и биологическим воздействиям. Герметичность субминиатюрных радиочастотных соединителей СРГ-50-751-ИрФВ и СРГ-50-876-ИрФВ (рис.1,а), выпускаемых в условиях Иркутского релейного завода (ИРЗ), определяется скоростью натекания гелия при испытании на течеискателе. Согласно техническим условиям (ТУ) она не должна превышать $1,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} \cdot \text{с}^{-1}$. Такая степень герметичности достигается путем применения вакуумно-плотного металlostеклянного соединения.

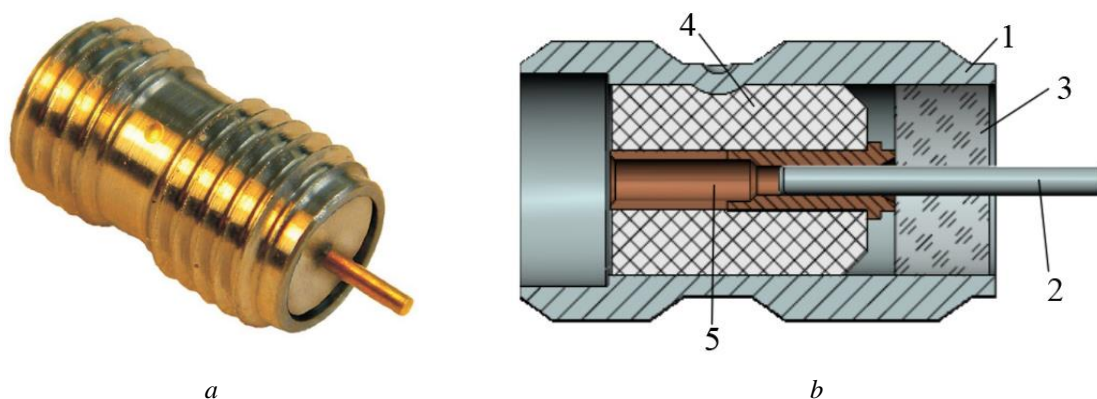


Рис. 1. Соединитель радиочастотный герметичный СРГ-50-876-ИрФВ (а) и его параметрическая модель (б), где 1 - втулка, 2 - вывод, 3 - стеклянный изолятор, 4 - изолятор, 5 - гнездо

Одним из параметров, по которому возможно оценить качество исполнения СРГ, является коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН), определяющийся из выражения:

$$K_{cmU} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}, \quad (1)$$

где U_{\max} и U_{\min} соответственно максимальное и минимальное напряжение в линии передачи.

Согласно ТУ на СРГ-50-751-ИрФВ и СРГ-50-876-ИрФВ коэффициент стоячей волны по напряжению в рабочем диапазоне частот от 0 до 18 ГГц не должен превышать значения 1,35. На ИРЗ величина $K_{ст}$ U измеряется с помощью скалярного анализатора цепей P2M производства ЗАО «НПФ «Микран» и для абсолютного большинства субминиатюрных СРГ не превышает 1,25.

К основным технологическим факторам, определяющим величину КСВН, при производстве СРГ относятся:

1. Точность изготовления втулки, вывода, изолятора и гнезда (см.рис.1,*b*);
2. Точность позиционирования вывода, относительно втулки;
3. Точность позиционирования стеклянного изолятора после спаивания;
4. Качество металлостеклянного соединения;
5. Качество нанесения покрытия;
6. Качество сборки соединителя.

Очевидно, что металлостеклянное соединение оказывает решающее воздействие на качество готового соединителя. В [1] отмечается, что на высоких рабочих частотах стеклянный изолятор вносит наибольшую долю в высокочастотные потери коаксиально-микроразветвляющихся переходов, т.к. диэлектрические потери преобладают над потерями проводимости. Любые неоднородности в стеклянном изоляторе повышают величины диэлектрической проницаемости среды и тангенса угла диэлектрических потерь, что ведет к увеличению потерь СВЧ.

При производстве СРГ применяется согласованный спай сплава 29НК (ковар) ГОСТ 10994-74 и боросиликатного стекла С52-1 ОСТ 11 027.010-75. Узел, получаемый после соединения втулки, вывода и стеклянного изолятора (рис.1,*b*) согласно ГОСТ 21962-76 называется вилок.

В табл.1 представлены основные виды брака металлостеклянных соединений, встречающегося при изготовлении СРГ и его влияние на характеристики соединителя.

Таблица 1

Виды брака металлостеклянных спаев и его влияние на качество СРГ

Вид брака	Вредное воздействие
Наплывы стекла на вывод и втулку соединителя	Повышение КСВН, ухудшение условий сборки и монтажа соединителя
Газовые пузыри в спае	Повышение КСВН, нарушение герметичности спая, увеличение вероятности пробоя изоляции
Трещины и сколы стекла	Нарушение герметичности спая, увеличение вероятность пробоя изоляции
Неспаянные участки (отверстия в стекле)	Повышение КСВН, нарушение герметичности спая
Нарушение взаимного расположения поверхностей	Повышение КСВН, ухудшение условий сборки и монтажа соединителя

В профильной литературе [2,3,4] предложены методы борьбы с представленными в табл.1 дефектами. Однако, такие рекомендации носят общий характер и требуют адаптации под условия конкретного производства. Кроме того, технические требования к металлостеклянным соединениям изделий, работающих в СВЧ диапазоне, существенно отличаются от таковых для низкочастотной техники. Например, для СРГ-50-876-ИрФВ допуск на зазор между втулкой и стеклянным изолятором составляет 0,06 мм. Таким образом существенно возрастает роль ориентации и закрепления деталей в приспособлении перед спаиванием.

Необходимо сказать, что качество подготовки деталей к спаиванию вносит существенный вклад в конечный результат. Однако, рассмотрение этого вопроса выходит за рамки работы, ограничимся перечислением необходимых подготовительных операций. Детали из сплава 29НК подвергаются обезжириванию, окислению, травлению и обезгаживающему отжигу; детали из стекла очищаются от загрязнений и обезжириваются.

Остановимся подробнее на процессе получения вакуумно-плотного металлостеклянного соединения. Спаивание осуществляется при следующих неизменных технологических факторах: электропечь камерная с защитной атмосферой ПКЗ-1,0-7; азот газообразный особой чистоты 2-й сорт по ГОСТ 9293-74. Перед спаиванием втулка, вывод и стеклянный изолятор собираются в специальном приспособлении, которое обеспечивает регламентируемое конструкторской документацией расположение деталей. Отметим, что части приспособления, контактирующие со стеклом, изготавливаются из специального мелкозернистого графита, полученного методом изостатического прессования. Два приспособления в специальном контейнере помещают в нагретую камеру. После выдержки в печи контейнер с узлами устанавливают в специальное приспособление для охлаждения, куда по внешнему контуру подается азот. Осуществляется выдержка в течение 35 минут, затем контейнер перемещают в следующий охлаждающий контур и это повторяется еще дважды. Так вилки охлаждаются до комнатной температуры ($\approx 22^\circ\text{C}$). Это позволяет снизить внутренние напряжения в спае и, следовательно, повышает надежность соединителя.

Элементами режима спаивания являются температура (T), время выдержки (t) и расход азота (Q_0). Границы, в которых допустимо их варьирование, определяются физической природой адгезии стекла к металлу. Спай образуется в диапазоне размягчения стекла от 10^6 Пуаз до 10^4 Пуаз. Для С52-1 это соответствует интервалу температур $T \in [825; 1130]$ °C. Время минимально необходимое для образования спая равняется 10 минутам. Расход азота зависит от объема камеры печи, а диапазон его варьирования лимитируется настройкой газового щита печи.

Для количественной оценки влияния элемента режима спаивания на качество соединения использовано выражение расчета доли брака:

$$\text{Доля брака} = (B_b / V) \cdot 100\% \quad (2)$$

где B_b - количество забракованных по данному дефекту вилок, V - объем операционной партии вилок.

На основании проведенных на ИРЗ экспериментов установлены следующие интервалы варьирования элементов режима спаивания:

1. Температура $T \in [860; 920]$ °C;
2. Время выдержки $t \in [25; 45]$ мин;
3. Расход азота $Q_0 \in [0,98; 3,32]$ л / мин.

Поясним приведенные значения. При спаивании СРГ в интервале температур $T \in [825; 860]$ °C до 90% вилок не отвечают требованию к герметичности, что объясняется излишней вязкостью стекла и его плохой адгезией к ковару. При повышении температуры до $T \in (920; 1130]$ °C значительно возрастает количество газовых пузырей в спае. Кроме того, повышение температуры усиливает износ нагревательных элементов печи, а на фоне интенсификации окислительных процессов значительно снижается стойкость графитовых элементов оснастки. Обратимся к рис.2., где представлена зависимость температурного режима в камере печи от времени выдержки контейнера с деталями. После загрузки нового контейнера температура в

камере снижается в течение 2 минут, достигая минимума $T=809^{\circ}\text{C}$. После этого функция монотонно возрастает до температуры $T=899^{\circ}\text{C}$ и затем возвращается к установленному оператором значению $T=890^{\circ}\text{C}$. Последнее объясняется инерцией печи, т.е. после того, как устройство управления отключает подачу тока на нагревательные элементы, температура некоторое время продолжает расти. Анализируя график, можно сказать, что как минимум в течение 7 минут (до достижения $T=825^{\circ}\text{C}$) после загрузки деталей спай не образуется. Следует также учитывать, что смачивание металла стеклом начнется после разогрева спаиваемых деталей, а не атмосферы в печи. В связи с этим диапазон варьирования времени составил $t \in [25;45]$ мин.

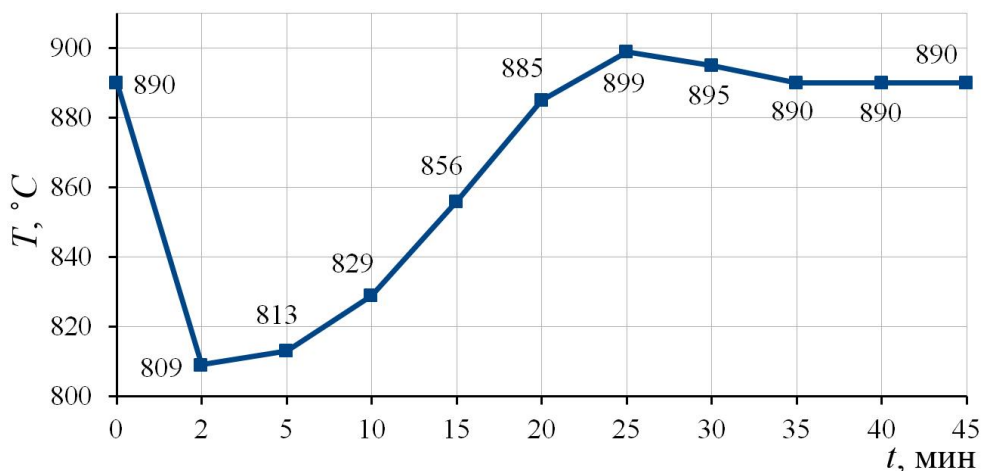


Рис.2. Влияние времени выдержки деталей на температуру в камере печи при заданном значении $t=890^{\circ}\text{C}$

Рассмотрим влияние расхода азота на долю брака (2) по напльвам и газовым пузырям (рис.3). Видно, что доля брака по напльвам снижается с увеличением значения Q_0 . Это обусловлено тем, что интенсивная обдувка контейнера ведет к снижению температуры внутри него и, соответственно, к повышению вязкости стекла.

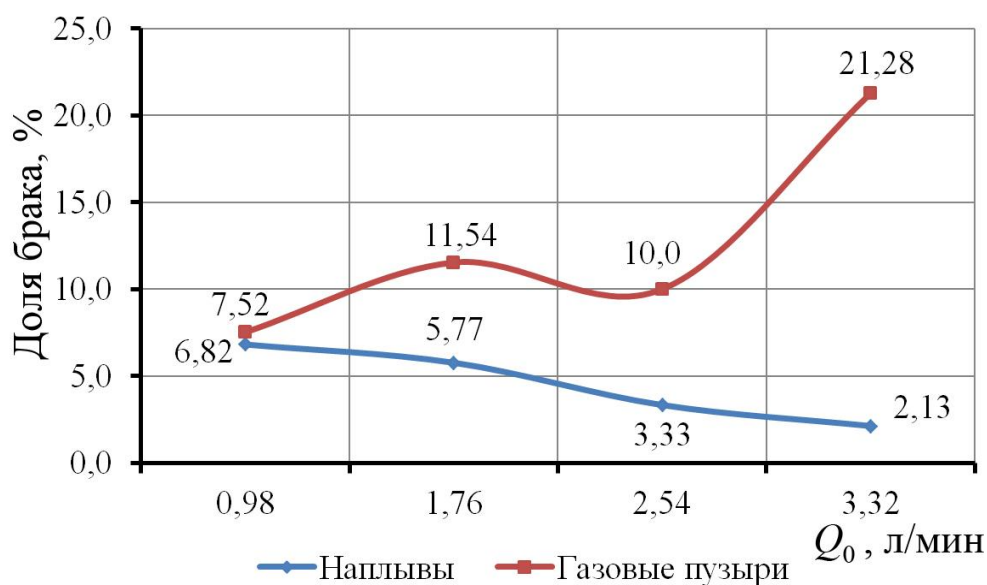


Рис.3. Влияние расхода азота на долю брака в металлостеклянном соединении

С другой стороны повышение расхода азота от 0,92 л / мин до 3,32 л / мин ведет к росту доли брака по газовым пузырям от 7,52% до 21,28%. Таким образом, оптимальное по критерию минимизации брака решение находится в интервале значений $Q_0 \in [1,9; 2,54]$ л / мин.

Таблица 2

Влияние элементов режима спаивания на качество металлостеклянного соединения

Вид брака	Параметр		
	$T, ^\circ C$	$t, \text{ мин}$	$Q_0, \text{ л / мин}$
Наплывы стекла на вывод и корпус соединителя	+*	+	-
Газовые пузыри в спае	+	0	+*
Неспаянные участки (отверстия в стекле)	-*	-	0

Примечание. Обозначения «+» и «-» показывают, что увеличение или уменьшение этих параметров вызывает соответственно повышение или снижение доли данного вида брака по (2); «*» - параметр оказывает основное влияние на данный вид брака; «0» - параметр не влияет на данный вид брака.

С целью обобщения рекомендаций по выбору режима спаивания сформирована табл.2. Видно, что повышение температуры в камере печи ведет к увеличению числа наплывов. Это объясняется снижением вязкости стекла при его нагреве. С другой стороны рост температуры до $920^\circ C$ положительно сказывается на адгезии стекла к ковару и позволяет снизить долю брака по неспаянным участкам от 5%-8% до 2%-3%. Минимизировать этот вид брака также возможно при тсабильном обеспечении зазора между стеклянным изолятором и втулкой при сборке – 0,02-0,06 мм. Однако, это требует использования стеклянных капилляров повышенной точности. Время выдержки оказывает то же влияние, что и температура, но имеет несколько меньшую «силу воздействия». Следует сказать, что приведенные в табл.2 оценки значимы в указанной выше области варьирования элементов режима спаивания. Например, выдержка ниже минимально допустимого значения времени вне зависимости от величин остальных параметров оборачивается дефектом по неспаянным участкам.

На основании проведенных экспериментов было установлено, что в условиях ИРЗ оптимальными по критерию качества спаивания являются следующие величины элементов режима спаивания:

1. Температура $T \in [880; 890]$ $^\circ C$;
2. Время выдержки $t \in [30; 35]$ мин;
3. Расход азота $Q_0 = 2,54$ л / мин.

Список литературы

1. Джурицкий К.Б. Современные радиочастотные компоненты и помехоподавляющие фильтры / К.Б. Джурицкий; под ред. А.А. Борисова. - СПб.: ЗАО «Медиа Групп Файнстрит», 2014. - 428 с.
2. ОСТ 107.460092.002-86 Соединения металлостеклянные вакуумно-плотные. Типовые технологические процессы.
3. Любимов М.Л. Спаи металла со стеклом / М.Л. Любимов. - М.: Энергия, 1968. - 280 с.
4. Роус Б. Стекло в электронике / Роус Б., пер. с чешского Н.М. Вайсфельд, под ред. Г.А. Степанова. - М.: Советское радио, 1969. - 356 с.