

# ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННЫХ СОЕДИНЕНИЙ СВЧ КОМПОНЕНТОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОЛПАКОВОЙ ПЕЧИ

В.В. Лгалов<sup>1</sup>, С.А. Зайдес<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ведущий инженер НТЦ, к.т.н, ПАО «Иркутский релейный завод», 664075, Иркутск, ул. Байкальская, 239, E-mail: lgalovvv@irzirk.ru

<sup>2</sup> Зав.кафедрой машиностроительных технологий и материалов, д.т.н., профессор, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, E-mail: zsa@istu.edu

Герметичные радиочастотные соединители (СРГ) находят применение в радиолокации, радиовещании, телевидении, телеметрической связи, радиоастрономии, ядерной физике, сотовой телефонной связи [1]. Требования к герметичности радиоэлектронной аппаратуры СВЧ (РЭА СВЧ) предъявляются в тех случаях, когда прибор должен обладать устойчивостью к климатическим и биологическим воздействиям. На Иркутском релейном заводе (ИРЗ) освоен выпуск герметичных соединителей типа SMA: СРГ-50-751-ИрФВ и СРГ-50-876-ИрФВ (рис.1,*a*). Для того чтобы достичь герметичности  $1,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} \cdot \text{с}^{-1}$  втулка (рис.1,*b* поз.1) и вывод (рис.1,*b* поз.2) из сплава 29НК (ковар) ГОСТ 10994-74 спаиваются с изолятором из боросиликатного стекла С52-1 ОСТ 11 027.010-75.

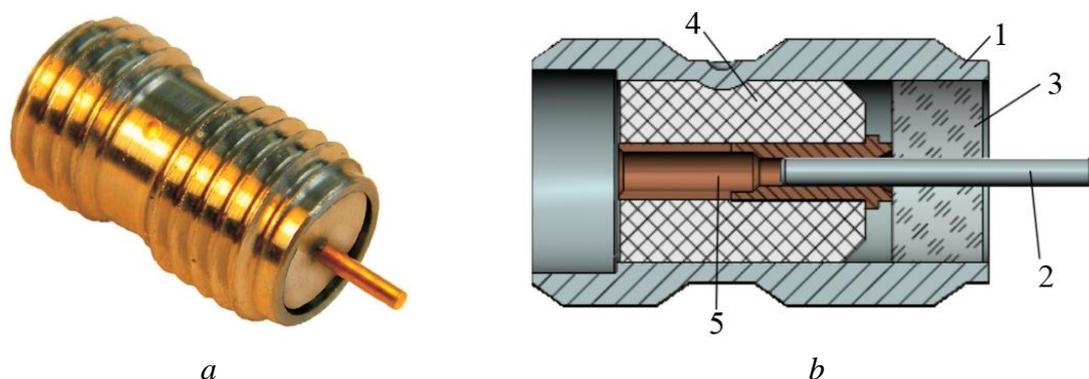


Рис. 1. Соединитель радиочастотный герметичный СРГ-50-876-ИрФВ (*a*) и его параметрическая модель (*b*), где: 1 - втулка, 2 - вывод, 3 - стеклянный изолятор, 4 - изолятор, 5 – гнездо

Элементами режима спаивания являются температура ( $T$ , °C), время выдержки ( $t$ , мин) и давление груза на изолятор ( $m$ , г). Спай ковара со стеклом С52-1 образуется в интервале температур  $T \in [825; 1130]$  °C при  $t_{\min} = 10$  мин. Масса груза подбирается опытным путем.

В период освоения герметичных соединителей на ИРЗ для получения спая использовались лабораторные камерные печи с защитной атмосферой ПКЗ-1,0-7 и специальные приспособления для охлаждения. Однако, данная технология имеет следу-

ющие недостатки: при загрузке узлов в печь также попадет кислород; невозможно программно задать время выдержки садки в печи; невозможно управлять нагревом и охлаждением узлов; приспособления с соединителями выгружаются из печи при  $850^{\circ}\text{C}$ - $880^{\circ}\text{C}$ , когда стекло находится в размягченном состоянии, что негативно отражалось на качестве спая. Изложение только усугубляется при переходе на серийное производство соединителей.

С целью совершенствования технологии металлостеклянных соединений ИРЗ приобретена автоматизированная колпаковая печь АПВД.2.300x400-1200 производства НПО «ГКМП» (Брянск), которая позволяет вести нагрев и охлаждение в автоматическом цикле с одновременной сменой рабочих газов (см. рис.2).

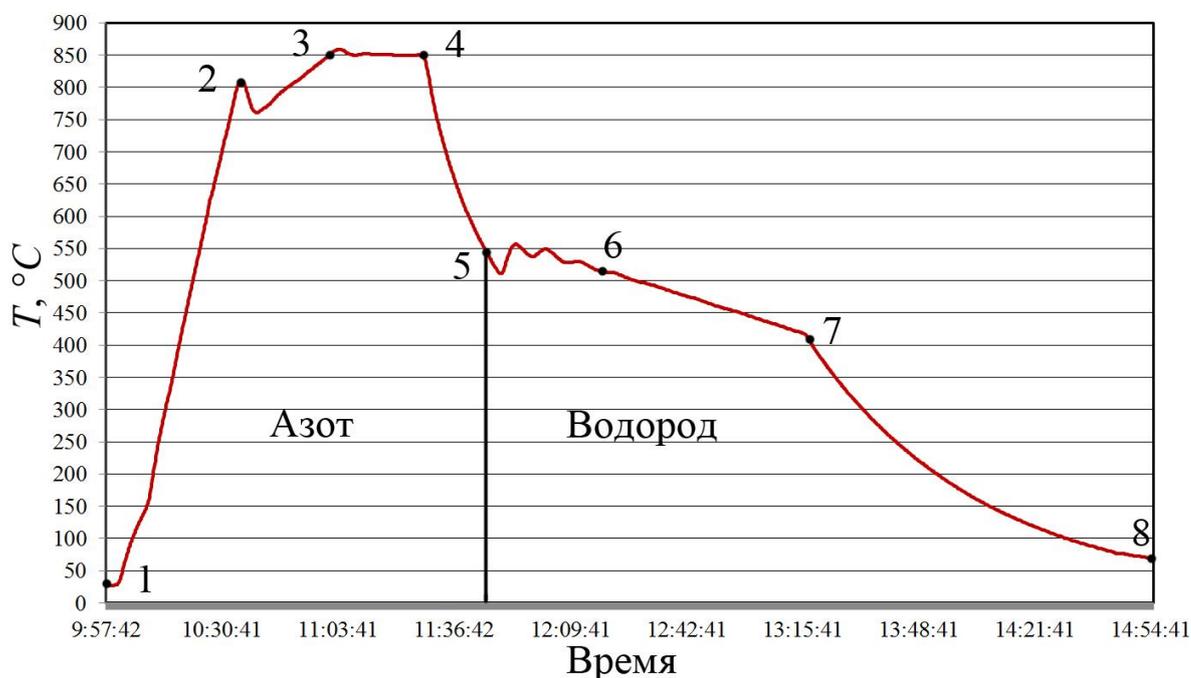


Рис.2 Процесс получения и отжига металлостеклянного соединения в автоматизированной колпаковой печи

Рассмотрим процесс получения спая в этой печи. Первоначально происходит откачка атмосферы до разряжения 93 Па и наполнение колпака азотом. На следующем этапе (1-2 по рис.2) происходит нагрев до  $760^{\circ}\text{C}$ - $800^{\circ}\text{C}$  со скоростью  $25^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ , затем выдержка в течение 5 минут и нагрев со скоростью  $5$ - $8^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  до заданной температуры  $T = 840^{\circ}\text{C}$ - $860^{\circ}\text{C}$  (2-3). Ступенчатый нагрев позволяет избежать перегрева садки, связанного с тепловой инерцией при достижении заданной температуры. Далее (3-4) происходит выдержка при заданной температуре в течение 15-25 минут и затем охлаждение (4-5) до  $535^{\circ}\text{C}$ - $545^{\circ}\text{C}$  с максимально возможно скоростью. Затем производят-

ся отжиг спаянных узлов, а азот в колпаке начинает замещаться водородом. После выдержки в течение 30-60 минут (5-6) при температуре  $535^{\circ}\text{C}$ - $545^{\circ}\text{C}$  происходит охлаждение со скоростью  $2-4^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  до  $400^{\circ}\text{C}$  (6-7). Далее узлы остывают вместе с печью до  $T = 65^{\circ}\text{C}$  (7-8). Таким образом, весь процесс приходит в автоматическом цикле без вмешательства человека.

Применение печи с программным управлением позволило отработать стратегию термообработки и подобрать режим спаивания и отжига для соединителей SMA:

Спаивание в  $N_2$ : 1. нагрев до  $760^{\circ}\text{C}$ ,  $V=25^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ; 2. выдержка 5 мин; 3. нагрев до  $850^{\circ}\text{C}$ ,  $V=5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ; 4. выдержка 20 мин; 5. Охлаждение до  $535^{\circ}\text{C}$ ,  $V=25^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ;

Отжиг в  $H_2$ : 1. выдержка при  $535^{\circ}\text{C}$  в течение 30 мин; охлаждение до  $400^{\circ}\text{C}$ ,  $V=2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ; охлаждение до  $65^{\circ}\text{C}$  вместе с печью.

В результате внедрения автоматизированной печи удалось: снизить число наплывов стекла на втулку и вывод от 5%-9% до 0,5%-1% операционной партии; снизить образование газовых пузырей и следов от графитовой оснастки от 10%-18% до 2%-3%; снизить брак по некачественному растеканию стекла от 4%-10% до 2%-5%; за счет восстановительного отжига в среде водорода исключить из технологического процесса покрытия соединителя операцию травления в смеси кислот и улучшить микро- и микрорельеф покрываемой поверхности; снизить остаточные напряжения в спае за счет выполнения отжига; за счет минимизации доли кислорода в рабочей среде до 0,1%-0,05% (только тот, что попадает в печь с азотом) повысить стойкость графитовой оснастки до 5 раз.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джуринский К.Б. Современные радиочастотные компоненты и помехоподавляющие фильтры / К.Б. Джуринский; под ред. А.А. Борисова. – СПб.: ЗАО «Медиа Группа Файнстрит», 2014. - 428 с.

2. Кондакова Л.В. Стеклометаллические корпуса для полупроводниковых и электровакуумных приборов / Л.В. Кондакова, В.А. Михайлова; под общ. ред. М.Л. Любимова. – М.: Энергия, 1979. – 96 с.

3. ОСТ 107.460092.002-86 Соединения металлостеклянные вакуумно-плотные. Типовые технологические процессы.